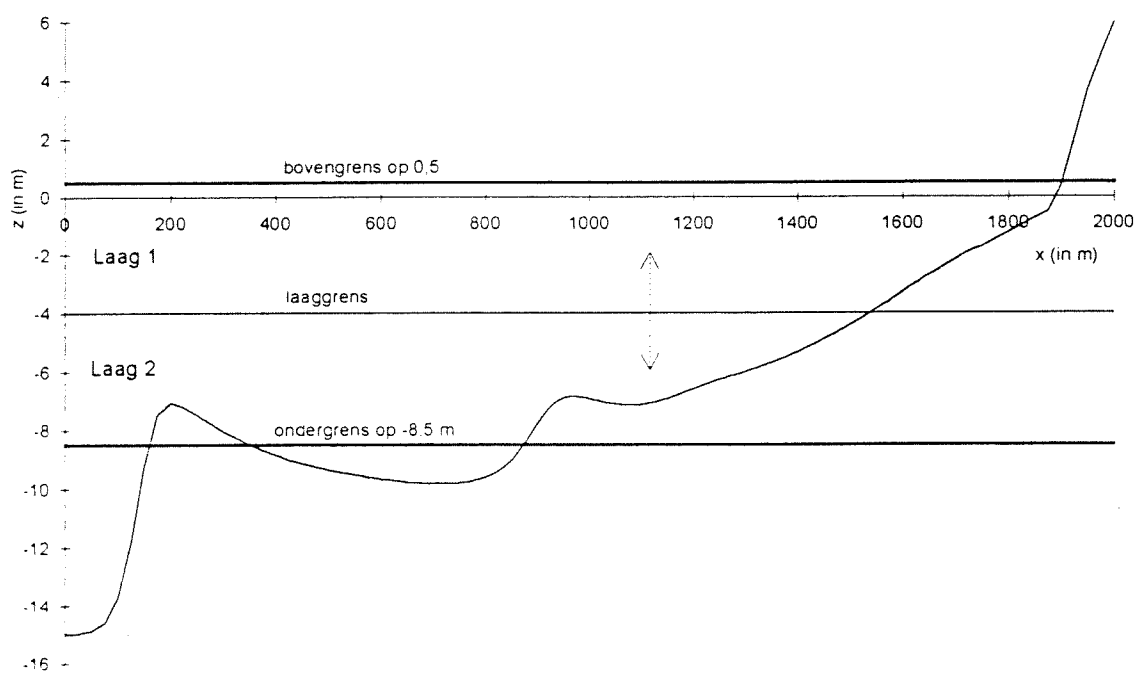


LAGEN-MODELLEN

bepalen van dwarstransportcoëfficiënten

Mei 1998

A.H. Koeman



afstudeerscriptie:
Lagen-modellen

A.H. Koeman
Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek

Afstudeercommissie:

prof. ir. K. d'Angremond	(TU Delft)
ir. S.C. van der Biezen	(TU Delft)
dr. ir. J. van de Graaff	(TU Delft)
dr. ir. H.J. Steetzel	(Alkyon; Emmeloord)

Samenvatting

Een groot deel van de Nederlandse kust bestaat uit zand, waardoor de ligging van de kust niet vast is, maar constant in beweging is onder invloed van wind, golven en stromingen. Om de (zandige) kust goed te beheren is het nodig dat voorspeld kan worden wat er met de kust in de toekomst gaat gebeuren, door verschillende klimatologische veranderingen en/of menselijke ingrepen. Een voorspelling op korte termijn (1 jaar) is wel te maken met huidige modellen, maar voorspellingen op lange termijn (20 à 100 jaar) zijn met de huidige modellen nog niet goed te maken. Daarom wordt er onderzoek verricht naar modellen die (mogelijk) geschikt zijn voor het modelleren van lange termijn effecten. Een geschikt model voor het modelleren van dwarstransporten lijkt het lagen-model. Omdat dit een eenvoudig model is, kan het goed gecombineerd worden met modellen voor de langstransporten. Het nadeel is dat er gebruik wordt gemaakt van dwarstransportcoëfficiënten, die lastig zijn te bepalen. In dit rapport wordt het onderzoek beschreven naar de invloed van de lagenindeling en het 'type' verstoring op de grootte van deze coëfficiënten. Het onderzoek is verricht voor een 2-lagen-model, bij een constant golfveld met een significante golfhoogte van 3 m.

Uit verschillende simulaties is gebleken dat de grootte van de verstoring, zoals verwacht, geen invloed heeft op de waarde van de dwarstransportcoëfficiënten. Verder blijkt dat bij verstoringen die een zeewaarts gericht transport veroorzaken, een grotere waarde van de coëfficiënt hoort, dan bij verstoringen die landwaarts gericht transport veroorzaken. Als de richting van het transport gelijk blijft, dan zijn de waarden voor de coëfficiënten bij een suppletie groter dan bij een ontgraving. Als de helling (van een groot deel) van het profiel wordt veranderd zijn de waarden van de coëfficiënt kleiner dan bij lokale verstoringen, zoals suppleties en ontgravingen.

Uit het onderzoek kan geen kwantitatieve relatie tussen de dwarstransportcoëfficiënten en de verschillende verstoringen worden afgeleid, maar de invloed van de verstoringen kan wel kwalitatief worden beschreven. Omdat er met één golfhoogte in een 2-lagen-model is gerekend, zal het onderzoek verder moeten worden uitgebreid, zodat ook de invloed van de golfhoogte en meerdere lagen beschreven kan worden. Om niet voor elke golfhoogte een ander evenwichtsprofiel te hoeven bepalen, wordt aanbevolen om één evenwichtsprofiel te kiezen voor een wisselend golfveld en daarvoor de coëfficiënt(en) te bepalen. Bij een meer-lagen-model, zijn ook meer coëfficiënten nodig, die onderling gekoppeld zijn, waardoor het lastig is om de optimale waarden voor de coëfficiënten te bepalen.

Het is erg lastig om een algemeen toepasbaar model of een algemeen toepasbare vergelijking te bepalen waarmee de coëfficiënten kunnen worden bepaald. Zolang de coëfficiënten niet goed kunnen worden bepaald zijn lagen-modellen niet algemeen toepasbaar. Het lijkt wel mogelijk om voor een gegeven kustgedeelte met behulp van een computerprogramma de dwarstransportcoëfficiënten te bepalen, zodat de lagen-modellering kan worden gebruikt voor het (grootschalig) modelleren van de kust.

INHOUD

samenvatting

1. Inleiding	1
2. Beschrijving van onderzoek	
2.1 achtergrond	3
2.2 lagen-modellen	3
2.3 doel van het onderzoek	6
2.4 uitgangspunten	7
2.5 globale aanpak	7
2.6 samengevat	8
3. Bepalen van profielen	
3.1 ontwikkelen van evenwichtsprofielen	11
3.2 evenwichtstransport	13
3.3 aanbrengen van verstoringen	16
3.4 lagenindeling	19
3.5 samenvatting	20
4. Berekeningen	
4.1 bepalen van coëfficiënten	23
4.2 resultaten uit UNIBEST-berekeningen	26
5. Resultaten bij $z_g = -4$ m	
5.1 algemeen	29
5.2 verloop van L_2-L_1	29
5.3 dwarstransportcoëfficiënten	31
5.4 analyse van de resultaten	33
5.5 samengevat	34
6. Resultaten bij $z_g = -5$ en -3 m	
6.1 algemeen	35
6.2 verloop van L_2-L_1	35
6.3 dwarstransportcoëfficiënten	37
7. Resultaten bij $z_g = -6,5$ en $-1,5$ m	
7.1 algemeen	39
7.2 verloop van L_2-L_1	39
7.3 dwarstransportcoëfficiënten	41
8. Evaluatie	
8.1 overzicht van de resultaten	43
8.2 geldigheid van resultaten	45
8.3 conclusies	46
8.4 aanbevelingen en verwachtingen	47

Gebruikte symbolen en termen

Literatuurlijst

Bijlage A. Beschrijvingen

Inhoud	A.1
A.1 morfologische modellen	A.2
A.2 toelichting UNIBEST-TC	A.4
A.3 (2-)lagen-modellen	A.6
A.4 berekening van inhoud van de lagen	A.9
A.5 model voor het bepalen van q	A.10
A.6 rest-transporten en meer-lagen-model	A.12

Bijlage B. Profiel-ontwikkeling

Inhoud	B.1
B.1 ontwikkeling evenwichtsprofiel	B.2
B.2 t.g.v. suppleties bovenin	B.3
B.3 t.g.v. ontgravingen bovenin	B.4
B.4 t.g.v. suppleties onderin	B.5
B.5 t.g.v. ontgravingen onderin	B.6
B.6 t.g.v. versteilingen	B.7
B.7 t.g.v. verflauwingen	B.8

Bijlage C. Verloop van L_2 - L_1

Inhoud	C.1
C.1 lagenindeling met $z_g = -4$ m	C.2
C.2 lagenindeling met $z_g = -5$ en -3 m	C.4
C.3 lagenindeling met $z_g = -6,5$ en $-1,5$ m	C.7

Bijlage D. Eindresultaten

Inhoud	D.1
D.1 lagenindeling met $z_g = -4$ m	D.2
D.2 lagenindeling met $z_g = -5$ m	D.3
D.3 lagenindeling met $z_g = -3$ m	D.4
D.4 lagenindeling met $z_g = -6,5$ m	D.5
D.5 lagenindeling met $z_g = -1,5$ m	D.6
D.6 karakteristieke tijdschalen	D.7

1. INLEIDING

De bodemligging van een zandige kust verandert continu onder invloed van wind, golven en stromingen. Deze veranderingen worden veroorzaakt door twee verschillende processen, namelijk: langtransport en dwarstransport. In het geval van langtransport wordt er sediment langs de kust getransporteerd door een stroming, veroorzaakt door het getij, de wind en/of golven. Door verschillen in langtransport kan over langere perioden (jaren) aanzienlijke erosie of sedimentatie van de kust optreden.

Dwarstransport veroorzaakt over het algemeen geen blijvende verandering van de kust, maar tijdens stormen kunnen er tijdelijk grote veranderingen van het dwarsprofiel ontstaan. In perioden met rustiger weer (in de zomer), herstelt het profiel zich weer, totdat er een nieuwe verstoring optreedt. In principe verandert de vorm van de kust voortdurend onder invloed van dwarstransporten, maar de hoeveelheid zand in het dwarsprofiel blijft in het algemeen constant, mits er geen verschillen in de grootte van het langtransport zijn. Door zware stormen kan het profiel zo sterk worden verstoord, dat het langer dan een jaar duurt voordat het profiel zich weer hersteld heeft. Maar in het algemeen kan worden gesteld dat het jaarlijks gemiddelde profiel constant is.

In de winter is het profiel in het algemeen flauwer dan het gemiddelde profiel, doordat er in de winter meer stormen zijn, dus ook grotere golven dan in de rest van het jaar. Doordat brekende golven een retourstroom (bij de bodem)¹ veroorzaken is er een netto zeewaarts gericht transport van zand, waardoor het profiel flauwer wordt. In rustigere perioden (in de zomer) overheerst een netto landwaarts gericht transport, dat wordt veroorzaakt door de asymmetrie van de golven in ondiep water. Door dit transport wordt het profiel weer steiler. Er wordt dan ook wel gesproken over een zomer- en een winterprofiel, waarbij in beide gevallen dus eigenlijk sprake is van een gemiddeld profiel over een bepaald periode (seizoen).

Het gemiddelde profiel over meerdere jaren kan als constant worden beschouwd, als er in die periode geen extreme stormen optreden. Dit profiel kan als een (dynamisch) evenwichtsprofiel worden gezien, dat hoort bij (de omstandigheden van) de kust. Omstandigheden die de vorm van het (evenwichts)profiel beïnvloeden zijn bijvoorbeeld: het golfklimaat, de wind, het sediment, menselijk ingrijpen en dergelijke. Als het evenwichtsprofiel wordt verstoord, door bijvoorbeeld een zware storm, of een suppletie, dan zal na verloop van tijd toch weer het evenwichtsprofiel worden bereikt, als de omstandigheden niet blijvend zijn veranderd.

Als het evenwichtsprofiel en het verstoorde (of momentane) profiel bekend zijn, dan is ook de hoeveelheid zand bekend die (netto) verplaatst zal worden, totdat het verstoorde profiel de vorm van het evenwichtsprofiel weer benadert. Op dit principe zijn de lagen-modellen gebaseerd. Met lagen-modellen wordt het zandtransport bepaald op basis van het verschil tussen het evenwichtsprofiel en een verstoord profiel. De snelheid waarmee het profiel zich herstelt hangt af van de grootte van het zandtransport. De grootte van het zandtransport hangt weer af van de verschillende factoren die invloed hebben op de kust, maar ook van de verstoring zelf. Om het

¹ Bij het wateroppervlak ontstaat een landwaarts gerichte stroming, maar die neemt minder bodem materiaal mee.

zandtransport (en/of herstel van het profiel) met de lagen-modellen te modelleren, moeten deze factoren in een (dwarstransport)coëfficiënt worden verwerkt.

In dit rapport wordt het onderzoek naar de invloed van de verschillende factoren op de grootte van de dwarstransportcoëfficiënten behandeld. Als eerste wordt in hoofdstuk 2 de achtergrond van dit onderzoek toegelicht en verder wordt het doel van het onderzoek geformuleerd. Daarna worden de uitgangspunten en beperkingen behandeld en tenslotte wordt ook de opzet van het onderzoek (globaal) beschreven. In hoofdstuk 3 wordt toegelicht, hoe met UNIBEST, verschillende profielen kunnen worden bepaald en hoe deze resultaten worden verwerkt. Met de resultaten uit UNIBEST worden vervolgens de dwarstransportcoëfficiënten bepaald met een methode die behandeld wordt in hoofdstuk 4. De resultaten van verschillende berekeningen worden in hoofdstuk 5, 6, 7 en 8 behandeld en tenslotte worden in hoofdstuk 9 de conclusies van het onderzoek besproken. En verder worden in hoofdstuk 9 de beperkingen behandeld van dit onderzoek en ook worden aanbevelingen voor een eventueel vervolg onderzoek gegeven.

Voor de symbolen, afkortingen en begrippen die in het rapport worden gebruikt, wordt verwezen naar de lijst met 'gebruikte symbolen en termen'. Verder is er voor dit rapport ook gebruik gemaakt van verschillende andere rapporten, die in de literatuurlijst zijn vermeld.

2. BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEK

2.1 achtergrond

Voor het bepalen van de kustontwikkeling op lange termijn, moeten zowel het langs- als het dwarstransport worden gemodelleerd, omdat deze transporten elkaar beïnvloeden. Op dit moment zijn er een aantal modellen ontwikkeld, die meestal bestaan uit een model voor golven en stromingen, een model voor transporten en een balansmodel. In een aantal gevallen zijn deze modellen samengebracht in één model; soms worden de modellen los van elkaar gebruikt. Voorbeelden van golfmodellen zijn opgenomen in bijlage A.1. Deze modellen kunnen niet (of beperkt) gebruikt worden voor het (grootschalig) modelleren van zowel het langs- als het dwarstransport. Het lijkt voorlopig niet mogelijk om deze modellen zo uit te breiden of aan te passen dat dit wel mogelijk is. Daarom wordt er gezocht naar een eenvoudig model voor het modelleren van dwarstransport, dat goed te combineren is met een langstransport model. Een mogelijk model dat hiervoor in aanmerking komt is het lagen-model. De theorie van de lagen-modellen is ontwikkeld door Bakker (1969) en is onder andere verder uitgewerkt door Swart (1974). De modellering zoals die door Swart wordt beschreven, wordt in dit rapport gebruikt (bijlage A.3).

2.2 lagen-modellen

Bij een lagen-model wordt het dwarsprofiel opgedeeld in twee of meer horizontale lagen. Van elke laag wordt het verloop van het volume berekend gedurende de ontwikkeling van het profiel. Een belangrijk uitgangspunt is dat voor elk golfveld er een evenwichtsprofiel bestaat, dat na een verstoring weer de oorspronkelijke vorm aanneemt (bij gelijk blijvende omstandigheden). Met het verschil in laaglengte tussen het evenwichtsprofiel en een profiel dat afwijkt van het evenwichtsprofiel, kan het transport (in het 'afwijkende' profiel) tussen twee aan elkaar grenzende lagen worden bepaald¹. Omdat de boven- en ondergrens van een laag, constant blijven, kan de (volume) verandering van een laag worden beschreven door de lengteverandering van de laag. De lengte van een laag wordt bepaald door het volume van de laag tussen een (willekeurige) verticale referentielijn en het profiel te delen door de dikte van de laag (zie figuur 2.1).

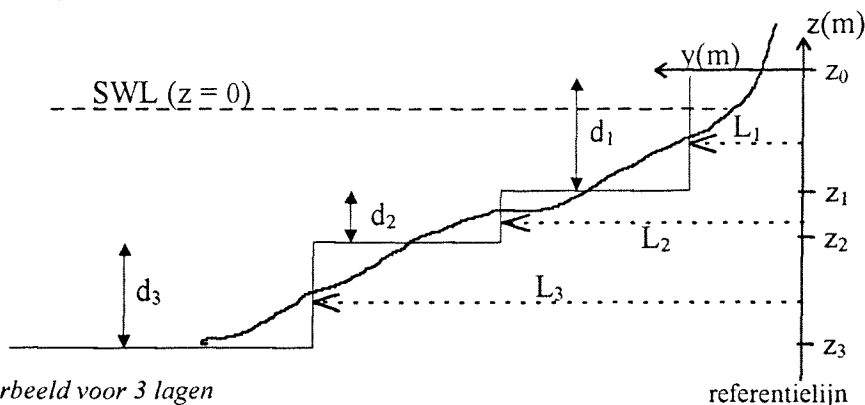


fig. 2.1 voorbeeld voor 3 lagen

In figuur 2.1 is: $z_{0,1,2,3}$ = de diepte van grens 1, 2 of 3 (m)
 $d_{1,2,3}$ = de dikte van laag 1, 2 of 3 (m)
 $L_{1,2,3}$ = de lengte van laag 1, 2 of 3 tot de referentielijn (m)

¹ Voor 'n' lagen, wordt het transport dus op 'n-1' dieptes bepaald, maar voor elke extra laag, moet wel een extra coëfficiënt (q) worden bepaald.

In de figuur is (een deel van) het profiel opgedeeld in 3 lagen, maar het is natuurlijk ook mogelijk om 2 lagen toe te passen, of meer dan 3 lagen.

Een verstoring van het evenwichtsprofiel (bijvoorbeeld een suppletie, zie figuur 2.2) zal een transport veroorzaken, waardoor het profiel weer terug gaat naar de vorm van het evenwichtsprofiel. Om de vorm van het evenwichtsprofiel te bereiken, moet een verstoring over alle lagen worden verdeeld, zodanig dat na verloop van tijd de lengteveranderingen van alle lagen gelijk zijn. Als in dit geval de lengteveranderingen van laag 1, laag 2 en laag 3 worden geschreven als respectievelijk y_1 , y_2 en y_3 dan kan de situatie die uiteindelijk zal ontstaan (in de evenwichtstoestand) geschreven worden als: $y_1 = y_2 = y_3$ (m).

In figuur 2.2 is dit proces schematisch weergegeven:

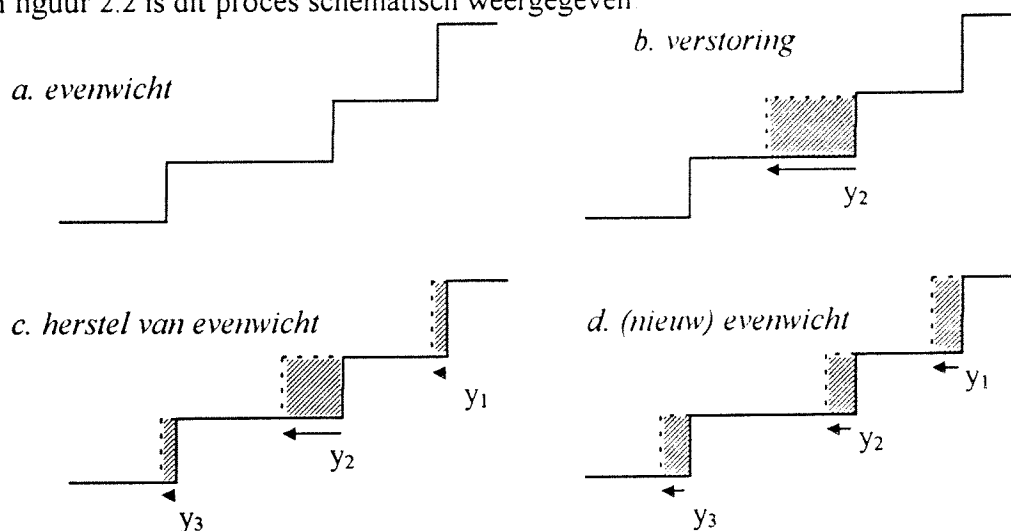


fig. 2.2 verdeling verstoring

In het geval van een suppletie, zoals in figuur 2.2, wordt er meer sediment in het profiel gebracht dan in het oorspronkelijke evenwichtsprofiel aanwezig was, zodat uiteindelijk het gehele evenwichtsprofiel in zeevaartse richting is verschoven.

Bij het toepassen van de lagen-modellen wordt een relatie verondersteld tussen het zandtransport en het lengteverschil tussen aan elkaar grenzende lagen. Voor de grootte van het transport tussen twee (openvolgende) lagen wordt bij de lagen-modellering uitgegaan van:

$$S = q [W - (L_2 - L_1)] \quad (\text{m}^3/\text{d}/\text{m})$$

vgl. 2.1

In deze vergelijking is:

- S = grootte van het transport tussen 2 lagen ($\text{m}^3/\text{d}/\text{m}$)
- L_1 = lengte van de bovenste laag (m)
- L_2 = lengte van de onderste laag (m)
- W = $L_2 - L_1$ bij het evenwichtsprofiel (m)
- q = de dwarstransportcoëfficiënt (m/d)
- d = dag (meestal wordt in jaren gerekend, maar in dit rapport wordt gebruik gemaakt van dagen)

In een lagen-model wordt het zandtransport met deze vergelijking berekend op de grens tussen twee lagen. Deze grens tussen twee lagen wordt, in het vervolg van het

rapport, de laaggrens genoemd. Voor het onderzoek is alleen een 2-lagen-model gebruikt, zodat er maar één vergelijking nodig is om de grootte van het zandtransport te berekenen. Als er meer lagen worden gebruikt, moet ook het zandtransport op meerdere dieptes (grenzen) worden berekend, waardoor er ook meer vergelijkingen nodig zijn. Het aantal vergelijkingen dat nodig is om een lagen-model te gebruiken is gelijk aan het aantal lagen min één. Voor bijvoorbeeld een 4-lagen-model zijn er dus 3 vergelijkingen nodig om de zandtransporten te berekenen.

In de praktijk wordt de waarde van 'W' (vergelijking 2.1) meestal bepaald aan de hand van het (jaarlijks) gemiddelde profiel en L_2-L_1 volgt dan uit de ligging van het momentane profiel. De waarde van 'q' kan worden geschat uit metingen die zijn verricht na een eerdere suppletie, zoals door Groenewoud (1996) is beschreven voor suppleties op de kust van Terschelling. Als er geen metingen zijn, dan is het niet mogelijk om een goede schatting van de waarde van 'q' te maken. In dit rapport wordt in plaats van metingen gebruik gemaakt van een computerprogramma (UNIBEST), waarmee de ontwikkeling van het profiel kan worden berekend, waaruit vervolgens 'q' kan worden afgeleid. Het grote voordeel van een computerprogramma is dat het mogelijk is om de omstandigheden (zoals bijvoorbeeld golfhoogte en korreldiameter) zelf te bepalen. Het is dus mogelijk om bijvoorbeeld de golfhoogte tijdens de simulaties constant te houden, wat in de praktijk niet mogelijk is. Als de golfhoogte constant blijft zullen er geen (of minder) grote schommelingen zijn in de transporten en in de ontwikkeling van het profiel. Hierdoor is het vergelijken van de resultaten van de simulaties met de resultaten van het lagen-model eenvoudiger.

Het transport en de ontwikkeling van de lagen zijn onderling afhankelijk. Als bijvoorbeeld zand in zeewaartse richting wordt getransporteerd, dan zal de inhoud (lengte) van de onderste laag toenemen en de inhoud van de bovenste laag zal dan afnemen. Dit geldt natuurlijk omgekeerd ook voor landwaarts gericht transport. Er kan worden gesteld dat een verschil tussen L_2-L_1 en 'W' een transport veroorzaakt, waardoor dit verschil afneemt. Als de grootte van het zandtransport met vergelijking 2.1 kan worden beschreven dan geldt bij een sluitende zandbalans (bijlage A.3):

$$[W - (L_2 - L_1)] = [W - (L_2^0 - L_1^0)] * EXP(-q * D * t)$$

vgl. 2.2

In deze vergelijking is: $L_2^0 - L_1^0$ = lengteverschil bij het (verstoorde) profiel aan het begin van de berekening.

$$D = \frac{d_1 + d_2}{d_1 * d_2} \text{ (in 1/m), waarbij } d_i \text{ de laagdikte (in m) is.}$$

In figuur 2.3 worden 4 ontwikkelingen van L_2-L_1 als voorbeeld getoond, die zijn bepaald met vergelijking 2.2.

In figuur 2.3 is de (constante) waarde van 'W' = 500 m en de waarde van $D = 0,444 \text{ m}^{-1}$ ('D' volgt uit $d_1 = d_2 = 4,5 \text{ m}$). De waarde van $L_2^0 - L_1^0$ is voor 2 gevallen 600 m, zodat $L_2^0 - L_1^0 > W$, waardoor er een landwaarts gericht transport optreedt. Voor de andere 2 gevallen is de waarde $L_2^0 - L_1^0 = 400 \text{ m}$, zodat $L_2^0 - L_1^0 < W$, waardoor er zeewaarts gericht transport optreedt. Door het zeewaarts gerichte transport neemt L_2 toe met de tijd en neemt L_1 af, totdat $L_2-L_1 = W$. Hetzelfde geldt ook voor de andere 2 gevallen, maar dan is er neemt L_2 af en L_1 toe. Door de waarde van 'q' te vergroten gaat L_2-L_1 sneller naar 'W', wat dus inhoudt dat het profiel sneller wordt hersteld na een verstoring, dan wanneer 'q' kleiner is.

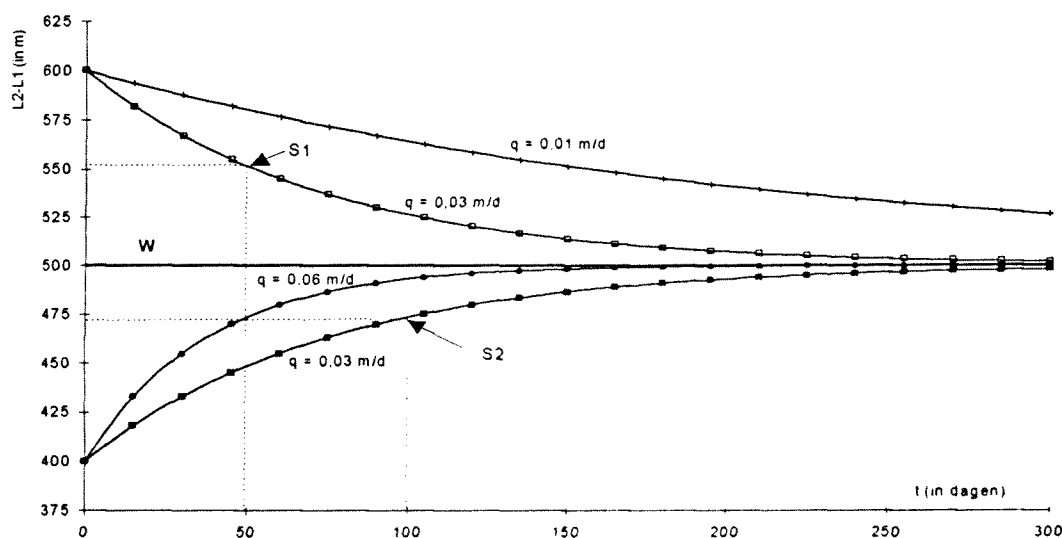


fig. 2.3 voorbeeld van verloop van $L_2 - L_1$.

De grootte van het zandtransport op een bepaald tijdstip kan uit figuur 2.3 worden bepaald met vergelijking 2.1. Hiervoor moet dan het verschil tussen 'W' en $L_2 - L_1$ worden bepaald en vermenigvuldigd met de bijbehorende 'q'.

Bijvoorbeeld op $t = 50$ dagen is het transport bij punt 'S1':

$$S = q (W - (L_2 - L_1)) \approx 0,03 * (500 - 550) = -1,5 \text{ m}^3/\text{m/d}$$

en op $t = 100$ dagen is het transport bij punt 'S2':

$$S \approx 0,03 * (500 - 475) = 0,75 \text{ m}^3/\text{m/d}$$

Het minteken voor het transport bij 'S1', betekent dat er (netto) landwaarts gericht transport is, dus een transport van laag 2 naar laag 1.

2.3 doel van het onderzoek

Om een lagen-model te gebruiken zijn dwarstransportcoëfficiënten nodig, die van verschillende factoren afhankelijk zijn. Als de coëfficiënten van tevoren bekend zijn is het lagen-model een zeer efficiënt middel voor het bepalen van dwarstransporten, maar vaak zijn de coëfficiënten niet bekend. Daarnaast is het bepalen van de coëfficiënten uit metingen lastig en vaak zijn er geen geschikte metingen aanwezig. Daarom zal dit onderzoek gericht zijn op het ontwikkelen van een methode om de dwarstransportcoëfficiënten te bepalen. De methode moet zo algemeen mogelijk zijn, zodat in principe elke (zandige) kust kan worden gemodelleerd. Hierbij wordt rekening gehouden met verschillende factoren die invloed hebben op het dwarsprofiel van de kust (en op de coëfficiënten). Factoren die (mogelijk) invloed hebben op de waarde van de coëfficiënten zijn bijvoorbeeld:

- golfparameters (hoogte, periode en hoek van inval)
- bodemmateriaal (dichtheid, korreldiameter en porositeit)
- de indeling in lagen (aantal lagen en dikte van lagen)
- verstoring (grootte, plaats en vorm)

Er moet ook rekening worden gehouden met verschillende golfvelden, want in werkelijkheid zal een golfveld niet, voor lange tijd, hetzelfde blijven. In principe moeten voor elk golfveld andere coëfficiënten en een ander evenwichtsprofiel worden bepaald. Maar meestal worden in de praktijk voor zowel de coëfficiënten als het evenwichtsprofiel gemiddelden genomen over lange periode (jaar) en dus meerdere golfvelden. Wanneer gemiddelde dwarstransportcoëfficiënten (jaargemiddelde) worden

gebruikt en er is sprake van een variërend golfveld, dan zijn dus de invloeden van verschillende golfvelden verwerkt in één dwarstransportcoëfficiënt (per laaggrens).

Het doel van de studie is het vinden van een methode om de dwarstransportcoëfficiënt te bepalen voor een willekeurige kust. De invloed van alle verschillende invloeden (golfklimaat, sediment parameters en dergelijke) op de waarde van 'q' zullen, indien mogelijk, in deze methode worden verwerkt. Omdat dit zeer veel werk met zich mee brengt zal in dit onderzoek alleen de invloed van verschillende type verstoringen en verschillende lagenindelingen worden onderzocht voor een 2-lagen-model.

⇒ De doelstelling is dus: *Het bepalen van de invloed van verschillende verstoringen en lagenindelingen op de waarde van de dwarstransportcoëfficiënt voor een 2-lagen-model.*

Met de resultaten van dit onderzoek kan dan worden bepaald of het al dan niet aanbeveling verdient om een algemene methode te ontwikkelen voor het bepalen van de dwarstransportcoëfficiënten. Als dat mogelijk lijkt zal het onderzoek moeten worden uitgebreid, om ook de invloed van de andere factoren op de waarde van 'q' te onderzoeken, waarbij vooral de invloed van de golfhoogte belangrijk lijkt.

2.4 uitgangspunten

De bodemligging en de ontwikkeling daarvan wordt bepaald met het computerprogramma UNIBEST(-TC) (zie bijlage A.2), waarbij de uitkomsten als de werkelijkheid worden aangenomen. Omdat een computer programma een model is van de werkelijkheid, moet er kritisch naar de uitkomsten worden gekeken. Als er eventuele onrealistisch ontwikkelingen optreden, dan zullen de bijbehorende uitkomsten niet (of beperkt) worden gebruikt. Het grote voordeel van het gebruik van een model is dat de omstandigheden (factoren) kunnen worden gestuurd, zodat de invloed van één bepaalde factor kan worden onderzocht. Met een model kan dat relatief eenvoudig, maar met metingen in de 'natuur' is dat niet mogelijk.

De overige uitgangspunten bij het onderzoek zijn:

- Een constante significante golfhoogte (H_s) van 3 m en een piekperiode (T_p) van 10 s, waarbij de golfrichting loodrecht op de kust staat. In dit onderzoek zijn nog geen andere golfhoogtes gebruikt, omdat het onderzoek dan te uitgebreid zou worden.
- Er wordt (alleen) gemodelleerd met een 2-lagen-model, zodat het bepalen van 'q' eenvoudiger is en dus ook het bepalen van de invloed van verschillende verstoringen eenvoudiger zal zijn dan wanneer er meer lagen worden toegepast.
- Verder wordt voor het bodemmateriaal een korreldiameter (d_{50}) van 225 μm gebruikt, een dichtheid van 2650 kg/m^3 en een porositeit van 0,4.

2.5 globale aanpak

1. Als eerste wordt het evenwichtsprofiel bepaald, dat hoort bij het constante golfveld, met een significante golfhoogte (H_s) van 3 m. Dit profiel wordt daarna gebruikt om 'W' te bepalen en dient ook als basis waarop de verstoringen worden aangebracht. Het evenwichtsprofiel wordt bepaald door met UNIBEST net zolang te simuleren totdat er een profiel is ontstaan waarin (bijna) geen transporten meer zijn. Om de simulatietijd te beperken is het verstandig om (de helling van) een beginprofiel zodanig te kiezen, dat het (mogelijke) evenwichtsprofiel al zo goed mogelijk wordt benaderd. Door na elke simulatie het ontstane profiel te gebruiken als beginprofiel voor de volgende simulatie, kan de gesimuleerde tijd (oneindig) worden uitgebreid.

2. Als er uiteindelijk een geschikt evenwichtsprofiel is gevonden, dan wordt dit profiel verstoord, door suppleties op het evenwichtsprofiel aan te brengen, of door ontgravingen in het evenwichtsprofiel. Verder wordt het evenwichtsprofiel ook verstoord door systematisch veranderingen van de helling op te leggen. Als er systematisch een aantal verschillende verstoringen zijn aangebracht, worden er simulaties uitgevoerd met deze verstoorde profielen als beginprofielen. De simulatietijd moet lang genoeg zijn, zodat een verstoord profiel aan het eind van de simulatie (de vorm van) het evenwichtsprofiel benadert.
3. Wanneer voor één of meer verstoorde profielen de ontwikkeling naar het evenwichtsprofiel bekend is, worden zowel het evenwichtsprofiel als de verstoorde profielen zodanig bewerkt, dat ze beschreven kunnen worden door het verloop van L_2-L_1 in de tijd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een spreadsheet programma om de inhoud en dus ook lengte van de lagen te bepalen (zie bijlage A.4). Het (theoretische) verloop van L_2-L_1 is voor vier gevallen (met een sluitende zandbalans voor de twee aangegeven lagen) in figuur 2.3 tegen de tijd uitgezet. Duidelijk is te zien dat L_2-L_1 in de tijd exponentieel nadert tot de waarde van L_2-L_1 die bij het evenwichtsprofiel behoort (de 'W' waarde).
4. Verder is er een (2)lagen-model ontwikkeld, waarmee het verloop van L_2-L_1 in de tijd kan worden bepaald afhankelijk van de dwarstransportcoëfficiënt. Door de uitkomsten van het model te vergelijken met de (bewerkte) resultaten van UNIBEST kan de optimale dwarstransportcoëfficiënt worden bepaald. De optimale coëfficiënt, die hoort bij een bepaalde verstoring en lagenindeling, is die coëfficiënt waarvoor het verschil tussen het model en UNIBEST minimaal is.
5. Als voor verschillende verstoringen en lagenindelingen de coëfficiënten zijn bepaald, kan tenslotte worden onderzocht wat de invloed is van de verschillende verstoringen en lagenindelingen op de grootte van de dwarstransportcoëfficiënt.

Deze aanpak wordt in bijlage A.5 verder toegelicht en schematisch weergegeven. Als voor elk 'type' verstoringen de waarde van de coëfficiënt (q) is bepaald kan het verschil in invloed op 'q' tussen suppleren en ontgraven worden bepaald en kan ook de invloed van versteilen of verflauwen van het evenwichtsprofiel worden onderzocht. Doordat de suppleties en ontgravingen op verschillende dieptes zijn aangebracht kan ook de invloed van de diepte op de waarde van 'q' worden bepaald. Verder is de grootte van de verstoringen gevarieerd, zodat de eventuele invloed van de grootte van de verstoringen kan worden bepaald. Maar de verwachting is dat de grootte van de verstoring nauwelijks invloed zal hebben op de waarde van 'q'.

2.6 samengevat

Lagen-modellen lijken geschikt voor het modelleren van de kustontwikkeling over lange perioden, maar het probleem bij lagen-modellen is het bepalen van de dwarstransportcoëfficiënt. In de praktijk worden de coëfficiënten geschat op basis van (eventuele) metingen die zijn uitgevoerd. Vaak zijn er geen (bruikbare) metingen aanwezig, waardoor de schatting niet (erg) betrouwbaar is. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van computer-simulaties (met UNIBEST), waardoor de omstandigheden kunnen worden gestuurd en de benodigde waarden worden berekend. Met de resultaten uit deze simulaties worden voor verschillende gevallen de dwarstransportcoëfficiënten bepaald, waarmee het verband tussen verschillende omstandigheden en de waarde van de coëfficiënten kan worden onderzocht. Hoewel de golfhoogte waarschijnlijk een grote invloed heeft op de waarde van de coëfficiënten, wordt er maar met één golfhoogte ($H_s = 3$ m) gerekend. Wel worden de waarden van

de coëfficiënten voor verschillende type verstoringen en verschillende lagenindelingen berekend.

Als eerste wordt voor het golfveld het bijbehorende evenwichtsprofiel bepaald, waarna op dit evenwichtsprofiel verstoringen worden aangebracht. De door UNIBEST berekende ontwikkeling van het (verstoorde) profiel wordt omgerekend naar L_2-L_1 waarden en deze waarden worden uitgezet tegen de tijd. Door in vergelijking 2.2 de waarde van 'q' te variëren kan het theoretische verloop van L_2-L_1 zodanig worden aangepast dat het verschil met het verloop volgens UNIBEST minimaal is. Voor verschillende verstoringen en lagenindelingen worden de waarden voor 'q', die horen bij het minimale verschil, bepaald en met elkaar vergeleken.

3. BEPALEN VAN PROFIELEN

3.1 ontwikkelen van evenwichtsprofielen

Een belangrijk uitgangspunt van de lagen-modellering is dat een (willekeurig) dwarsprofiel van een kust onder invloed van constante condities naar een evenwicht gaat. In de praktijk zijn de condities nooit lang constant, zodat er ook geen evenwichtsprofiel zal ontstaan. Met een computerprogramma (bijvoorbeeld UNIBEST) kan wel voor onbeperkte tijd met constante condities worden gerekend. Voor het bepalen van een evenwichtsprofiel kan dan in principe elk willekeurig profiel als beginprofiel worden gekozen. Met een dergelijk beginprofiel kan dan vervolgens net zo lang worden gerekend totdat het evenwicht is bereikt. Hoewel deze aanpak voor het bepalen van het evenwichtsprofiel met behulp van UNIBEST (bijlage A.2) vrij eenvoudig lijkt, blijkt het erg lastig te zijn om een bruikbaar evenwichtsprofiel te bepalen.

In het begin van het onderzoek werd gesteld dat een profiel in evenwicht is als er geen zandtransporten meer aanwezig zijn. Om dat te bereiken is met een min of meer willekeurig beginprofiel een simulatie uitgevoerd, waarna het resultaat van deze simulatie is ingevoerd als beginprofiel. Deze procedure is herhaald, totdat er aan het einde van een simulatieperiode geen of nauwelijks meer transporten in het profiel aanwezig waren. In figuur 3.1 is het evenwichtsprofiel afgebeeld dat is verkregen door een beginprofiel van 11000 m lang over 75000 dagen te simuleren. In dit profiel is het maximale zandtransport kleiner dan $10^{-8} \text{ m}^3/\text{m}/\text{s}$ ($\approx 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$).

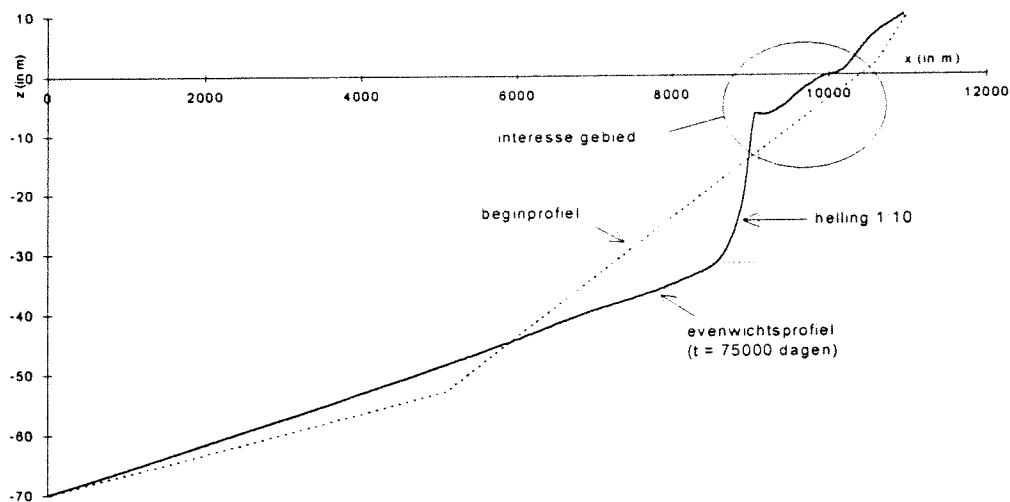


fig. 3.1 lang evenwichtsprofiel

Opvallend is het steile gedeelte in het evenwichtsprofiel tussen $z \approx -10$ en $z \approx -35$ m, met een helling van 1/10. Of een dergelijk profiel in werkelijkheid ook zal ontstaan onder de invloed van dezelfde condities is moeilijk te beoordelen, omdat deze situatie in werkelijkheid niet op zal treden.

Het profiel van figuur 3.1 wordt verder niet gebruikt als het evenwichtsprofiel vanwege de grote afstanden tussen de roosterpunten. In het onderste gedeelte van het profiel zijn namelijk 10 stappen van 510 m gebruikt en in het bovenste gedeelte 130 stappen van 45 m. Door deze grote stappen is de schematisatie van het 'interesse' gebied (tussen $z \approx -15$ en 5 m) erg grof, waardoor er een aantal effecten niet zijn te onderscheiden. Het is niet mogelijk om de afstanden tussen de roosterpunten te

verkleinen door bijvoorbeeld meer roosterpunten te gebruiken, want op 8 roosterpunten na wordt het maximaal aantal roosterpunten (149) al gebruikt. Daarom is de lengte van het simulatiegebied verkleind, terwijl het aantal roosterpunten (141) niet wordt veranderd. Voor het onderzoek is in principe alleen het gedeelte van het profiel tot een diepte van 10 à 15 m interessant. Voor het bepalen van een nieuw en korter evenwichtsprofiel is daarom het bovenste gedeelte van het 'grote' profiel afgehaald (tot een diepte van $z = -15$ m). Dit gedeelte is zodanig aangepast dat er een beginprofiel van 2000 m lang ontstaat, zoals figuur 3.2 laat zien. De ligging van dit profiel wordt weer gedefinieerd door 141 roosterpunten. De afstanden tussen de roosterpunten zijn nu aanzienlijk kleiner dan bij het profiel uit figuur 3.1. Vanaf de zeerand van het simulatiegebied gezien worden er 35 stappen van 25 m, 100 stappen van 10 m en tenslotte 5 stappen van 25 m gebruikt om de ligging van het profiel te definiëren.

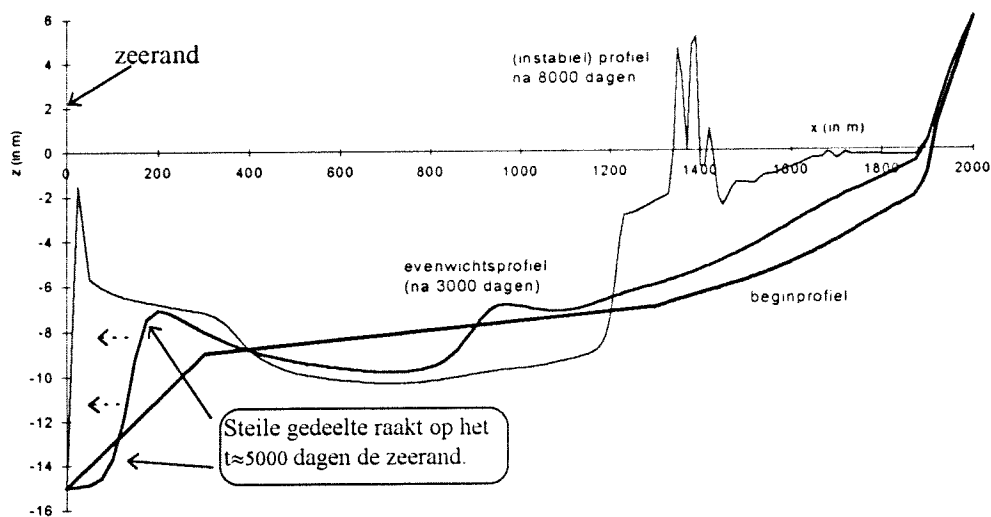


fig. 3.2 (nieuw) begin profiel

Met dit beginprofiel zijn weer simulaties uitgevoerd waarbij het profiel dat aan het eind van een simulatieperiode van 300 dagen is ontstaan, wordt gebruikt als beginprofiel voor de volgende simulatie. Nadat op deze manier een simulatietijd van 3000 dagen is bereikt, verandert het dwarsprofiel nauwelijks meer van vorm. Het dwarsprofiel verplaats nog wel langzaam in zeevaartse richting. Dit wordt veroorzaakt door een constante hoeveelheid zand die door de zeerand van het simulatiegebied in het profiel wordt getransporteerd (volgens de berekeningen met UINBEST).

Na een simulatietijd van ongeveer 5000 dagen raakt het steile gedeelte van het profiel de zeerand van het simulatiegebied. Daarna ontstaan er vervormingen in het profiel, zoals duidelijk is te zien aan het profiel dat na 8000 dagen is ontstaan, zoals figuur 3.2 laat zien. In paragraaf 3.2 wordt de grootte van het transport en de snelheid waarmee het profiel in zeevaartse richting verplaatst verder behandeld. Ondanks de zeevaartse verplaatsing van het profiel en de aanwezige transporten wordt toch het profiel dat na een simulatietijd van 3000 dagen is ontstaan gebruikt als evenwichtsprofiel (figuur 3.3). Een reden om dit profiel als evenwichtsprofiel te gebruiken is dat de vorm van het profiel niet of nauwelijks meer verandert. Ook de transporten zijn vrij klein en nemen nauwelijks verder af als er langer wordt gerekend (figuur 3.4). Voor simulaties met dit evenwichtsprofiel wordt een simulatietijd gebruikt van 300 dagen. Door deze korte simulatietijd zijn de verplaatsingen van het profiel klein zoals bijlage B.1 laat zien en zal het profiel niet instabiel worden.

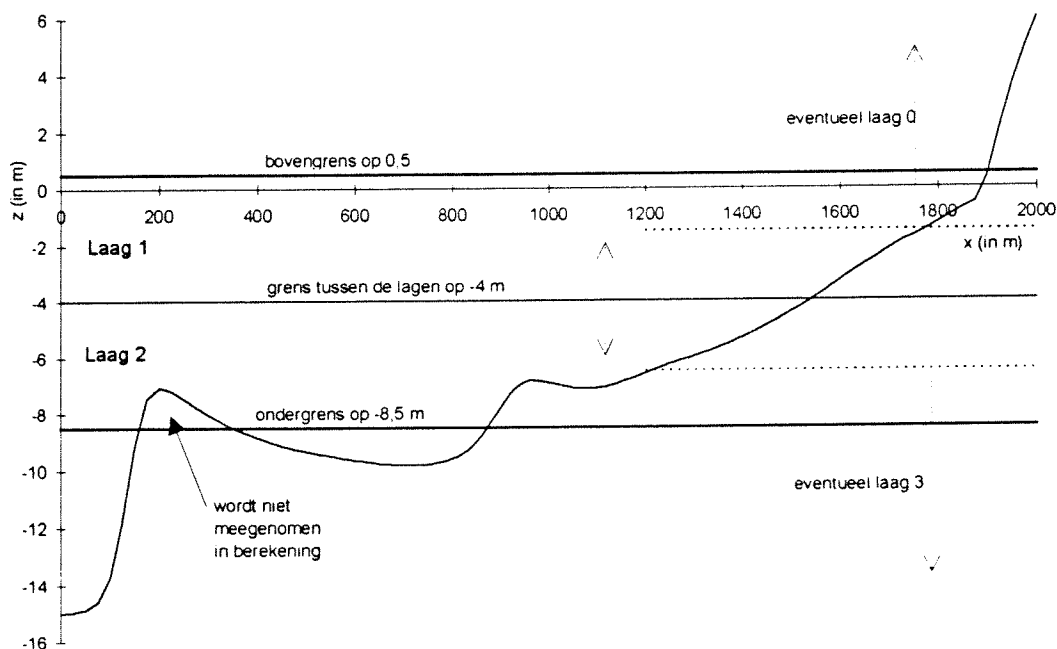


fig. 3.3 uiteindelijke evenwichtsprofiel

Opvallend aan de vorm van het evenwichtsprofiel is dat er twee banken in voorkomen in plaats van één bank zoals in het profiel uit figuur 3.1. De bovenste bank lijkt vrij realistisch is; de onderste bank gaat over in een lang steil gedeelte dat doorloopt tot een diepte van 15 m. Als door de zeevaartse verplaatsing van het profiel de onderste bank de zeerand van het simulatiegebied bereikt, wordt het profiel instabiel, zoals figuur 3.2 ook laat zien. Door de lengte van het dwarsprofiel te vergroten zal het profiel misschien minder snel verplaatsen en zal het profiel pas op een later tijdstip instabiel worden. Het nadeel hierbij is dat de afstanden tussen de roosterpunten dan weer groter zijn. In het vervolg van dit onderzoek wordt daarom toch het evenwichtsprofiel gebruikt zoals figuur 3.3 laat zien.

3.2 evenwichtstransport

Als met het evenwichtsprofiel uit figuur 3.3 verder wordt gerekend, dan blijkt dat er nog transporten aanwezig zijn. Figuur 3.4 laat het verloop van het transport zien over de lengte van het profiel zoals die met UNIBEST is berekend voor verschillende tijdstippen.

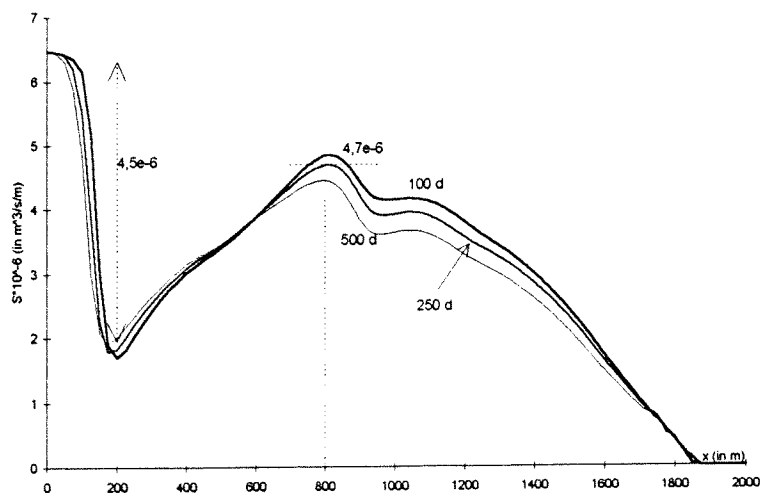


fig. 3.4 zandtransporten tijdens 'evenwicht'

Opvallend aan de verdeling van de berekende zandtransporten (figuur 3.4) over het profiel, is dat er bij de zeerand van het simulatiegebied een constante hoeveelheid zand ($6,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} = 0,56 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}$) het simulatiegebied in wordt getransporteerd. Het volume van het profiel neemt hierdoor toe, zodat het profiel in zeewaartse richting migreert (bijlage B.1).

Uit figuur 3.4 is te bepalen dat er $0,38 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}$ zand in de eerste 200 m wordt afgezet, namelijk: $(6,5-2) \cdot 10^{-6} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m} \approx 0,38 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}$. Hiermee is het tijdstip te bepalen waarop het onderste gedeelte van het profiel de zeerand bereikt en het profiel instabiel wordt. De voet van het steile gedeelte is ongeveer 100 m van de zeerand verwijderd (zie figuur 3.3) en het hoogteverschil tussen de top en de voet van het steile gedeelte is ongeveer 7,5 m. Voordat de voet van het steile gedeelte de zeerand bereikt zal er dus ongeveer $100 \cdot 7,5 = 750 \text{ m}^3/\text{m}$ zand in dit gebied moeten zijn gesedimenteerd. Bij een gemiddelde sedimentatie van $0,38 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}$ zijn er $750/0,38 \approx 2000$ dagen nodig voordat het profiel de zeerand bereikt en instabiel wordt. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat het steile gedeelte als geheel migreert en de helling van dit gedeelte dus niet verandert.

Na $x = 200$ m nemen de berekende transporten weer toe doordat de diepte sterk is afgenomen. Bij deze kleinere diepte is de invloed van de golven op de bodem groter en daardoor neemt de transportcapaciteit toe. Door de toename van de transportcapaciteit vindt er erosie plaats tussen $x = 200$ en 800 m. Op $x = 800$ m is de grootte van het transport ongeveer $0,4 \text{ m}^3/\text{d}/\text{m}$. Vanaf $x = 800$ m, neemt het transport weer geleidelijk af, totdat er geen transport meer is op $x = 1850$ m. Het punt $x = 1850$ m komt ongeveer overeen met de grens tussen water en land. In het gebied tussen $x = 800$ en 1850 m, vindt er sedimentatie plaats. Uit een simulatie met UNIBEST van 300 dagen blijkt dat over deze afstand van 1050 m ($1850-800$ m) ongeveer $0,4 \cdot 300 = 120 \text{ m}^3/\text{m}$ zand wordt afgezet. Dit komt neer op een toename van de hoogte van bodemligging met 11 cm ($120/1050 = 0,11$ m) ten opzichte van het beginprofiel. Tussen $x = 200$ en 800 m wordt er in 300 dagen ongeveer $80 \text{ m}^3/\text{m}$ geërodeerd, wat neer komt op een afname van de bodemhoogte met gemiddeld 40 cm.

Het verloop van de met UNIBEST berekende zandtransporten over de lengte van het profiel is vrij geleidelijk tijdens de eerste 300 dagen. Daardoor verandert gedurende deze periode de vorm van het profiel nauwelijks. Dit betekent dat ook de invloed van deze transporten op het verloop van L_2-L_1 in de tijd (paragraaf 2.2) beperkt zal zijn, omdat zowel de waarde van L_2 als de waarde van L_1 evenveel toenemen. Desondanks wordt de invloed van deze transporten verrekend in de lagen-modellering. Deze transporten, die bij de verdere ontwikkeling van het evenwichtsprofiel optreden, worden in het vervolg van het rapport 'evenwichtstransport(en)' genoemd. De invloed van het evenwichtstransport op het verloop van L_2-L_1 in de tijd, wordt afgeleid uit de verdere ontwikkeling van de bodemligging van het evenwichtsprofiel. Deze ontwikkeling wordt met UNIBEST berekend, waarbij het evenwichtsprofiel als beginprofiel wordt ingevoerd. Figuur 3.5 laat de volumeveranderingen van de verschillende lagen in de tijd zien zoals die zijn berekend uit de ontwikkeling van het evenwichtsprofiel over de simulatieperiode van 300 dagen. De profielen zijn hiervoor in vier horizontale lagen ingedeeld, namelijk:

- laag 0 tussen $z = 0,5$ en $5,0$ m
- laag 1 tussen $z = -4,0$ en $0,5$ m
- laag 2 tussen $z = -8,5$ en $-4,0$ m
- laag 3 tussen $z = -15$ en $z = -8,5$ m.

De verschillende lagenindelingen worden in paragraaf 3.4 behandeld.

Om de volumeveranderingen van elke laag te bepalen wordt voor het evenwichtsprofiel (aan het begin van de simulatie) het aanwezige volume zand in elke laag bepaald, zoals beschreven in bijlage A.4. Hieruit volgt voor de volumes ($= V_{\text{laag}}$) op het tijdstip $t = 0$:

- $V_0(0) = 284,5 \text{ m}^3/\text{m}$,
- $V_1(0) = 1162,2 \text{ m}^3/\text{m}$,
- $V_2(0) = 2562,3 \text{ m}^3/\text{m}$ en
- $V_3(0) = 11744,3 \text{ m}^3/\text{m}$.

Vervolgens is het volume per laag voor elke tijdstap ($V_{\text{laag}}(t)$) bepaald en verminderd met het beginvolume van elke laag ($V_{\text{laag}}(0)$). De resultaten van deze berekeningen zijn de volumeveranderingen per laag, zoals figuur 3.5 laat zien.

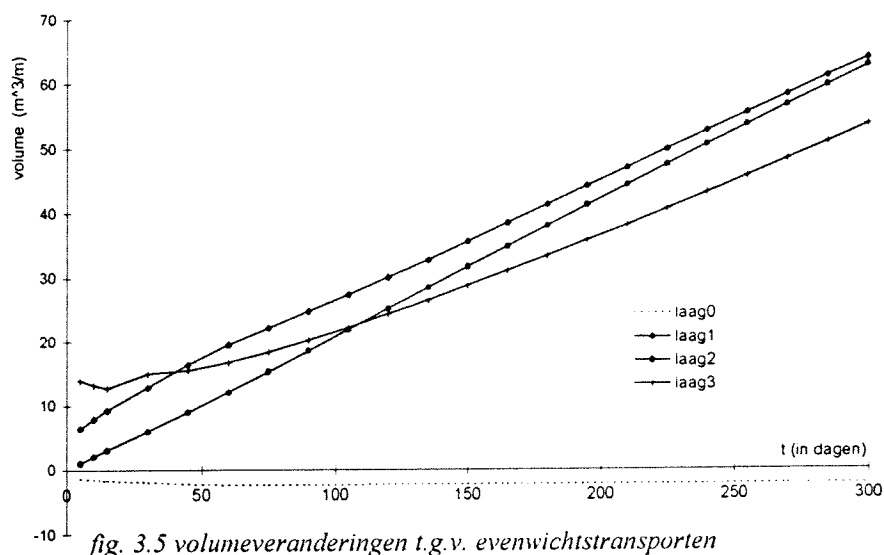


fig. 3.5 volumeveranderingen t.g.v. evenwichtstransporten

Zoals verwacht verandert het volume van het gebied boven de waterlijn (laag 0) nauwelijks. De volumeveranderingen van laag 1 en laag 2 zijn vrij groot, maar het verschil tussen deze volumeveranderingen blijft klein tijdens de ontwikkeling van het evenwichtsprofiel. De volumeverandering van laag 3 is ook vrij groot, maar dit komt vooral door de grote laagdikte (6,5 m).

De resultaten van de UNIBEST berekeningen worden vervolgens omgerekend naar het lengteverschil tussen laag 2 en laag 1, zodat deze resultaten kunnen worden vergeleken met het lagen-model dat is gebaseerd op vergelijking 2.2. De lengtes van de lagen worden bepaald door de volumes van de lagen te delen door de bijbehorende laagdiktes. Het volume op $t = 0$ van laag 1 is: $1162,2 \text{ m}^3/\text{m}$ en van laag 2: $2562,3 \text{ m}^3/\text{m}$. De laagdiktes van beide lagen (d_1 en d_2) zijn bij deze lagenindeling gelijk aan 4,5 m. Op tijdstip $t = 0$ is dan: de lengte van laag 1: $L_1(0) = 1162,2/4,5 = 258,3 \text{ m}$ en de lengte van laag 2: $L_2(0) = 2562,3/4,5 = 569,4 \text{ m}$.

Het verschil in lengte tussen laag 2 en laag 1 is $L_2(0) - L_1(0) = 311,1 \text{ m}$. In principe zou dit verschil constant moeten zijn tijdens de ontwikkeling van het evenwichtsprofiel, maar zoals figuur 3.6 laat zien is dit verschil ($W+$) niet constant in de tijd. De waarde van $L_2 - L_1$ is wel constant als het verloop van $L_2 - L_1$ (in dit geval $W+$) wordt verminderd met het verloop van de lengteveranderingen ten gevolge van het evenwichtstransport. De lengteveranderingen worden bepaald door de volumeveranderingen van laag 1 en laag 2 (figuur 3.5) te delen door de laagdiktes. De lengteveranderingen van laag 1 en laag 2 worden respectievelijk ΔL_1 en ΔL_2 genoemd. Als het verloop van $L_2 - L_1$ ($W+$) wordt verminderd met het verloop van $\Delta L_2 - \Delta L_1$, dan ontstaat er dus een horizontale lijn ($W-$) waarbij $L_2 - L_1 = 311,1 \text{ m}$.

In figuur 3.6 wordt het verloop van 'W' aangegeven met '+' als er geen rekening wordt gehouden met het evenwichtstransport. Als de waarden van 'W', of L_2-L_1 zijn verminderd met $\Delta L_2-\Delta L_1$, dan wordt dit aangegeven met '-'.

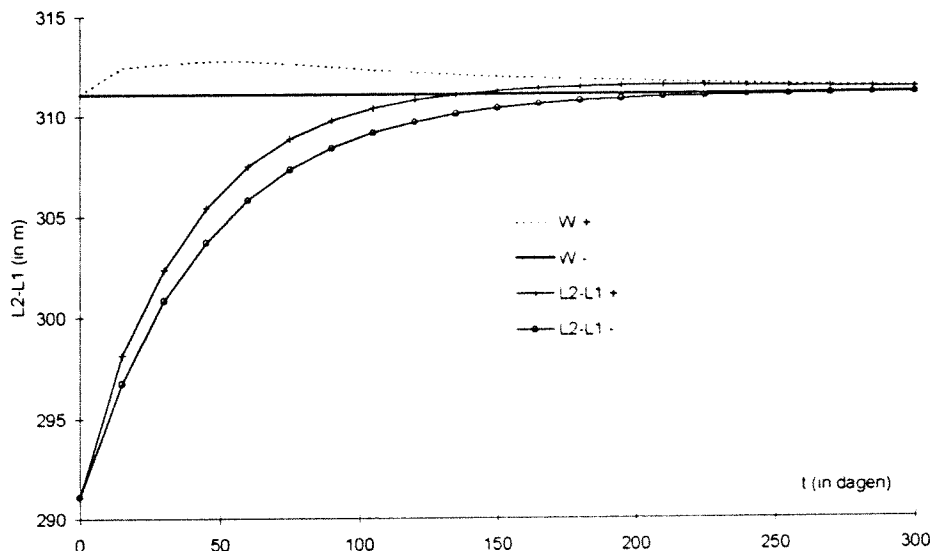


fig. 3.6 invloed van evenwichtstransport op W en L_2-L_1

Figuur 3.6 laat ook de ontwikkeling van een profiel met een (willekeurige) verstoring zien. Als er geen rekening wordt gehouden met het evenwichtstransport dan gaat het verloop van L_2-L_1 (+) in de tijd niet exponentieel naar de waarde van 'W'. Als het verloop van L_2-L_1 wordt verminderd met het verloop van $\Delta L_2-\Delta L_1$ dan nadert L_2-L_1 (-) wel exponentieel in de tijd tot 'W'. Hoewel de invloed niet zo groot is wordt toch de invloed van het evenwichtstransport in de berekeningen meegenomen (als $\Delta L_2-\Delta L_1$).

In de waarden van $\Delta L_2-\Delta L_1$ worden automatisch de invloeden van de lagen 0 en 3 meegenomen. Een toename van het volume van laag 2 (ΔL_2) wordt veroorzaakt door een afname het volume van laag 3 of laag 1. Een toename van het volume van laag 1 wordt veroorzaakt door een afname van het volume van laag 0 of laag 2. In de waarden van $\Delta L_2-\Delta L_1$ zijn dus de volumeveranderingen van laag 3 en laag 0 verwerkt. In dit geval worden alleen de invloeden ten gevolge van het evenwichtstransport verrekend. Het blijkt dat de ontwikkeling van het volume van zowel laag 3 als laag 0 bij deze lagenindeling nauwelijks veranderen als er verstoringen op het evenwichtspatief worden aangebracht. In paragraaf 3.4 worden de invloeden van veranderingen in laag 3 en laag 0 en de lagenindeling verder toegelicht.

3.3 aanbrengen van verstoringen

Om de grootte van de dwarstransportcoëfficiënten te bepalen zijn naast het evenwichtspatief ook de ontwikkelingen van één of meer profielen nodig die niet in evenwicht zijn. De verwachting is dat voor verschillende (type) verstoringen die op het evenwichtspatief worden aangebracht verschillende waarden van 'q' nodig zijn om de ontwikkeling van een dergelijk profiel te modelleren. Voor dit onderzoek worden daarom verschillende type verstoringen aangebracht op het evenwichtspatief. De verstoringen zijn verdeeld in 4 types namelijk: suppleties, ontgravingen, versteilingen van het evenwichtspatief en verflauwingen van het evenwichtspatief. Daarnaast worden ook het volume en de plaats van de verschillende verstoringen gevarieerd.

In het geval van de suppleties en de ontgravingen wordt de dikte van verstoring gevarieerd, tussen 0,1 m en 1,5 m. Hierdoor kan worden bepaald of het volume van de verstoring invloed heeft op de waarde van 'q'. Deze 2 type verstoringen (suppleties en ontgravingen) worden op het evenwichtsprofiel aangebracht tussen $z = -6,5$ en $-4,0$ m, of tussen $z = -4,0$ en $-1,5$ m, zoals de figuren 3.7a en b laten zien.

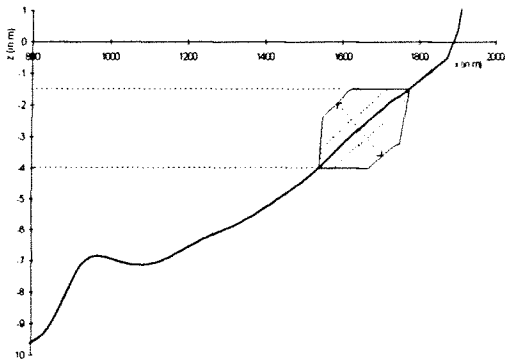


fig. 3.7a suppletie en ontgraving bovenin

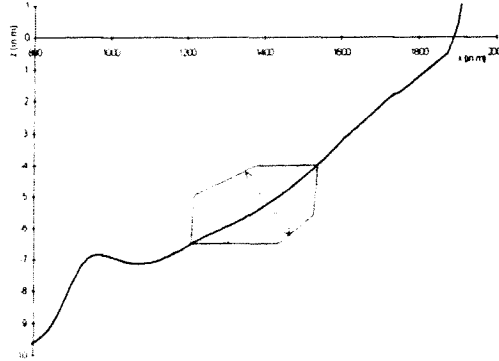


fig. 3.7b suppletie en ontgraving onderin

De versteilingen en verflauwingen van het evenwichtsprofiel worden doorgevoerd in het gebied tussen $z = -7$ m en $z = -1,5$ m. De helling wordt gevarieerd door de roosterafstanden van het oorspronkelijke profiel te variëren tussen 7 m en 13 m in plaats van de oorspronkelijke roosterafstand van 10 m. Als de roosterafstanden worden verkleind neemt de helling in dat gebied toe en als de roosterafstanden worden vergroot neemt de helling af (zie figuur 3.7c).

Door een deel van de roosterafstanden te vergroten of te verkleinen, verandert de lengte van het profiel. Dit is in verband met de verdere berekeningen niet gewenst en daarom worden de lengteveranderingen van het profiel gecompenseerd door in een ander deel van het profiel de roosterafstanden zodanig aan te passen dat de lengte van het profiel weer 2000 m is. Deze compensaties worden uitgevoerd in het gebied tussen $z = -1$ en 5 m. In bijlagen B.6 en B.7 is te zien dat boven $z = -1$ m

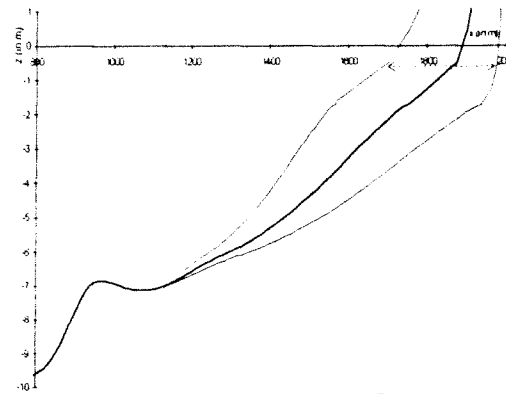


Fig. 3.7c versteiling en verflauwing

weinig veranderingen optreden, ondanks de versteilingen of verflauwingen van het profiel in het gebied tussen $z = -1$ en 5 m. Versteilen of verflauwen van het evenwichtsprofiel tussen $z = -1$ en 5 m heeft dus weinig invloed op de ontwikkeling van het evenwichtsprofiel. In figuur 3.7c zijn als voorbeeld de grootste versteiling met roosterafstanden van 7 m en de grootste verflauwing met roosterafstanden van 13 m ten opzichte van het evenwichtsprofiel weergegeven.

Voor elke verstoring wordt een afkorting gebruikt, zo is bijvoorbeeld:

- ontgraving tussen $z = -6,5$ en $-4,0$ m van 50 cm dik = oo50
- ontgraving tussen $z = -4,0$ en $-1,5$ m van 125 cm dik = ob125
- suppletie tussen $z = -6,5$ en $-4,0$ m van 25 cm dik = so25
- suppletie tussen $z = -4,0$ en $-1,5$ m van 100 cm dik = sb100
- versteiling, met roosterafstanden van 7,5 m i.p.v. 10 m = stl75
- verflauwing, met roosterafstanden van 12 m i.p.v. 10 m = flw120

De grootte van de verstoring in het geval van een suppletie of een ontgraving wordt bepaald door het volume zand dat is toegevoegd, of onttrokken ten opzichte van het evenwichtsprofiel. Als het volume (op $t = 0$) wordt omgerekend naar een waarde van L_2-L_1 , zal bij een suppletie in de bovenste laag de waarde van L_2-L_1 kleiner zijn dan de waarde van 'W'. Hetzelfde geldt voor een ontgraving in de onderste laag, of voor een versteiling van het evenwichtsprofiel. In deze drie gevallen geldt op $t = 0$: $L_2-L_1 < W$. Bij een suppletie in de onderste laag zal de waarde van L_2-L_1 (op $t = 0$) groter zijn dan de waarde van 'W'. Hetzelfde geldt voor een ontgraving in de bovenste laag, of voor een verflauwing van het evenwichtsprofiel. In deze gevallen geldt op $t = 0$: $L_2-L_1 > W$. Wanneer (op $t = 0$) $L_2-L_1 < W$, zal er netto een zeewaarts gericht transport ontstaan. Na verloop van tijd zal dan het evenwichtsprofiel weer worden bereikt. Voor het geval dat $L_2-L_1 > W$ zal er een netto landwaarts gericht transport zijn, totdat het evenwichtsprofiel weer wordt bereikt. De verwachting is dat een profiel met een verstoring waarbij $L_2-L_1 < W$ zich sneller herstelt dan een profiel waarbij $L_2-L_1 > W$.

Met UNIBEST wordt de ontwikkeling van alle profielen waarop de verstoringen zijn aangebracht over 300 dagen berekend. Hierbij wordt een tijdstap van een 0,5 dagen toegepast, dus elke halve dag wordt een nieuw dwarsprofiel berekend. In dit geval wordt om de 15 (gesimuleerde) dagen het berekende dwarsprofiel opgevraagd. Het resultaat van één berekening is dus een serie van 20 dwarsprofielen. Deze dwarsprofielen worden ingedeeld in 2 lagen en van beide lagen wordt vervolgens het verloop van de inhoud in de tijd berekend. Het verloop van de laaglengtes (L_1 en L_2) in de tijd wordt verkregen door het verloop van de inhoud van beide lagen te delen door de bijbehorende laagdiktes. Hieruit is dan eenvoudig het verloop van L_2-L_1 in de tijd te bepalen. Het berekende verloop van L_2-L_1 wordt vervolgens gebruikt voor het bepalen van de dwarstransportcoëfficiënten met vergelijking 2.2 (zie hoofdstuk 4 en volgende). Voor het bepalen van de inhoud en de lengtes van de lagen moeten deze lagen wel eerst worden gedefinieerd. Het definiëren van de lagenindeling wordt in paragraaf 3.4 behandeld.

In dit onderzoek wordt $[W-(L_2-L_1)]$ op het tijdstip $t = 0$ gebruikt als maat voor de grootte van de verstoring in plaats van het volume van de verstoring. Om een indruk te krijgen van de hoeveelheid zand die zal worden herverdeeld laat tabel 3.1 de volumes van de verschillende suppleties en ontgravingen zien. Het is opvallend dat het volume van de verstoringen bovenin het profiel kleiner zijn dan de vergelijkbare verstoringen onderin het profiel. Een verklaring hiervoor is dat de helling in het onderste deel van het profiel flauwer is, zodat de horizontale afstand tussen $z = -6,5$ en -4 m groter is dan de horizontale afstand tussen $z = -4$ en $-1,5$ m (zie figuur 3.7a en 3.7b).

dikte (cm)	suppl. bovenin		suppl. onderin		ontgr. bovenin		ontgr. onderin	
	W-(..)	volume	W-(..)	volume	W-(..)	volume	W-(..)	volume
10	4,9 m	22,1 m ²	-7,1 m	32,0 m ²	-4,8 m	21,6 m ²	7,0 m	31,5 m ²
25	12,0 m	54,0 m ²	-17,3 m	77,9 m ²	-11,7 m	52,7 m ²	16,9 m	76,1 m ²
50	22,2 m	99,9 m ²	-33,4 m	150,3 m ²	-22,4 m	100,8 m ²	31,3 m	140,9 m ²
75	31,1 m	140,0 m ²	-48,0 m	216,0 m ²	-31,8 m	143,1 m ²	43,2 m	194,4 m ²
100	38,7 m	174,2 m ²	-61,2 m	275,4 m ²	-40,1 m	180,5 m ²	52,9 m	238,1 m ²
120	43,8 m	197,1 m ²	-70,6 m	317,7 m ²	-45,9 m	206,6 m ²	59,4 m	267,3 m ²
150	50,0 m	225,0 m ²	-82,7 m	372,2 m ²	-53,0 m	238,5 m ²	67,0 m	301,5 m ²

tabel 3.1 volume per verstoring (in $m^3/m = m^2$)

3.4 lagenindeling

Het evenwichtsprofiel en de dwarsprofielen die met UNIBEST zijn berekend worden door het lengteverschil tussen 2 lagen geschematiseerd. Het resultaat van een dergelijke schematisatie wordt omgerekend tot het verloop van L_2-L_1 in de tijd, of in het geval van het evenwichtsprofiel tot één waarde van 'W'. Het verloop van L_2-L_1 dat uit de (met UNIBEST berekende) dwarsprofielen wordt berekend zal zo goed mogelijk met vergelijking 2.2 worden benaderd. Omdat vergelijking 2.2 wordt gebruikt moet het gedeelte van het profiel dat in (2) lagen wordt verdeeld gesloten zijn, anders is de vergelijking niet geldig. Het gebied dat in lagen wordt verdeeld, wordt in het vervolg 'lagensysteem' genoemd. Een gesloten lagensysteem betekent dat er (bij dit onderzoek) geen transport is ten gevolge van een verstoring, tussen het lagensysteem en het gebied buiten het lagensysteem. Er is in dat geval nog wel evenwichtstransport (paragraaf 3.2) tussen het lagensysteem en het gebied buiten het lagensysteem. Behalve volumeveranderingen ten gevolge van het evenwichtstransport zal het volume van het gebied buiten het lagensysteem dus niet veranderen in de tijd.

Voor twee verschillende lagensystemen zijn de volumeveranderingen van de lagen ten opzichte van het evenwichtstransport bepaald. Voor het eerste lagensysteem is een gebied gekozen waar de bovenste bank niet in zit, namelijk tussen $z = -6,5$ en $-1,5$ m; 'gebied A'. Voor het tweede lagensysteem is gerekend met een groter gebied waar de bank wel in valt, namelijk tussen $z = -8,5$ en $0,5$ m; 'gebied B'. In tabel 3.2 zijn voor verschillende verstoringen de volumeveranderingen per laag berekend die na een simulatieperiode van 300 dagen zijn ontstaan. De volumeveranderingen ten gevolge van de verstoringen zijn bij beide lagensystemen verminderd met de volumeveranderingen ten gevolge van het bijbehorende evenwichtstransport (= even.).

	Laag 0		laag 1		laag 2		laag 3	
	gebied A	gebied B	gebied A	gebied B	gebied A	gebied B	gebied A	gebied B
even.	22,2	-2,3	39,2	63,8	38,3	62,5	77,4	53,5
ob75	-12,7	0,0	67,1	54,5	-31,8	-55,3	-24,0	-0,6
oo75	-29,8	-0,7	-37,4	-66,5	107,5	70,5	-41,6	-4,6
sb75	12,8	1,0	-64,5	-52,6	26,7	49,2	23,9	1,5
so75	31,8	1,0	49,2	80,1	-129,9	-98,1	48,0	16,2
stl80	-56,0	1,0	-75,7	-132,6	32,7	114,7	97,3	15,3
flw120	8,6	-1,7	85,9	96,2	-14,2	-92,2	-82,1	-4,0

tabel 3.2 volumeverandering per laag na 300 dagen (in m^3/m)

Het lagensysteem bestaat uit laag 1 en laag 2 en het gebied boven het lagensysteem wordt laag 0 genoemd en het gebied onder het lagensysteem wordt laag 3 genoemd. In het geval dat voor het lagensysteem 'gebied A' wordt gebruikt dan ligt:

- laag 0 tussen $z = -1,5$ en $5,0$ m,
- laag 1 tussen $z = -4,0$ en $-1,5$ m,
- laag 2 tussen $z = -6,5$ en $-4,0$ m en
- laag 3 tussen $z = -15$ en $-6,5$ m

Voor het lagensysteem 'gebied B' is de indeling gelijk aan de indeling zoals die in paragraaf 3.2 is gebruikt om de volumeverandering ten gevolge van het evenwichtstransport te bepalen (figuur 3.5). Hierbij ligt:

- laag 0 tussen $z = 0,5$ en $5,0$ m,
- laag 1 tussen $z = -4,0$ en $0,5$ m,
- laag 2 tussen $z = -8,5$ en $-4,0$ m en
- laag 3 tussen $z = -15$ en $z = -8,5$ m.

Een volumeverandering van laag 0 wordt veroorzaakt door een even grote, maar tegengestelde verandering van laag 1. Hetzelfde geldt in principe voor laag 2 en laag 3, namelijk een volumeverandering van laag 3 wordt veroorzaakt door een even grote, maar tegengestelde verandering van laag 2. Deze laatste veronderstelling klopt alleen als het transport door de zeerand wordt verrekend in het volume van laag 3. Als er na het verrekenen van de volumeveranderingen ten gevolge van het evenwichtstransport nog volumeveranderingen van laag 0 of laag 3 zijn dan is er niet alleen evenwichtstransport tussen het lagensysteem (laag 1 en laag 2) en het gebied daarbuiten. De transporten die na het verrekenen van het evenwichtstransport nog aanwezig zijn worden in het vervolg 'rest-transporten' genoemd.

Omdat vergelijking 2.2 zal worden gebruikt, moet het te gebruiken lagensysteem gesloten zijn. Bij dit onderzoek wordt een lagensysteem als gesloten beschouwd als er (bijna) geen rest-transporten meer aanwezig zijn. De volumeveranderingen van laag 0 en laag 3 (tabel 3.2) worden gebruikt als een maat voor de rest-transporten. Uit de waarden van tabel 3.2 blijkt dat de volumeveranderingen van laag 0 en laag 3 veel kleiner zijn als 'gebied B' wordt gebruikt dan wanneer 'gebied A' wordt gebruikt als lagensysteem. De volumeveranderingen van laag 0 en laag 3 zijn in het geval van 'gebied B' ook veel kleiner dan de volumeveranderingen van laag 1 en laag 2. Als het lagensysteem 'gebied B' wordt gebruikt dan zijn de rest-transporten dus klein in vergelijking met de transporten die binnen het lagensysteem (tussen laag 1 en laag 2) plaatsvinden. De invloed van de rest-transporten kan worden verwaarloosd in het geval van 'gebied B', zodat het systeem als gesloten kan worden beschouwd. In het vervolg van het rapport wordt dan ook voor het lagensysteem het gebied tussen $z = -8,5$ en $0,5$ m gebruikt.

Tot nu toe is alleen een (2-)lagensysteem onderzocht, waarbij de grens tussen de twee lagen in het midden van het systeem ligt (op $z = -4$ m). Het is natuurlijk ook mogelijk om deze grens binnen het lagensysteem te verschuiven of het systeem in meer dan 2 lagen te verdelen. In bijlage A.6 wordt een modelering met een 3-lagen-model kort toegelicht, maar verder wordt alleen gewerkt met een 2-lagen-model. Het verschuiven van de grens tussen de lagen is wel onderzocht. De grens tussen de 2 lagen wordt in het vervolg van het rapport 'laaggrens' genoemd en de ligging van deze grens wordt aangegeven met ' z_g '. De laaggrens zal op vijf verschillende dieptes worden gelegd om de invloed van de diepte van de laaggrens op het verloop van L_2-L_1 te bepalen. De vijf dieptes van de laaggrens die worden gebruikt zijn: $z_g = -6,5 / -5,0 / -4,0 / -3,0$ en $-1,5$ m. De meeste aandacht zal echter worden besteed aan het geval de laaggrens in het midden van het lagensysteem ligt namelijk $z_g = -4$ m. Bij deze lagenindeling zijn de laagdiktes van beide lagen gelijk namelijk $d_1 = d_2 = 4,5$ m.

3.5 samenvatting

Voor het vastleggen van een profiel worden 141 roosterpunten gebruikt, ingevoerd (in UNIBEST) als 140 roosterafstanden (Δx). De lengte van de profielen en de tijdschaal zijn bij het onderzoek een aantal malen veranderd; de uiteindelijke situatie is als volgt.:

- 35 stappen (vanaf de zeerand) van 25 m,
- dan 100 stappen van 10 m
- en tenslotte 5 stappen van 25 m, waardoor de lengte van het profiel 2000 m is.

De initiële bodemligging wordt ingevoerd door voor elk roosterpunt de diepte (in m) aan te geven. De bodemligging kan ook worden ingevoerd door voor een beperkt aantal punten de diepte aan te geven, waarna het programma (UNIBEST) de diepte van

de tussenliggende punten bepaald door interpolatie. Bij dit onderzoek wordt een simulatieperiode van 300 dagen gebruikt, met tijdstappen van een halve dag. De simulatietijd kan worden uitgebreid door het profiel dat aan het eind van een simulatieperiode is ontstaan in te voeren als beginprofiel. Op deze manier is ook het evenwichtsprofiel ontwikkeld dat voor dit onderzoek gebruikt wordt (figuur 3.3). Het gebruikte evenwichtsprofiel is niet volledig in evenwicht, omdat er nog transporten zijn bij de verdere ontwikkeling van het evenwichtsprofiel. Deze transporten worden evenwichtstransporten genoemd.

Vervolgens worden op het evenwichtsprofiel systematisch verstoringen aangebracht. De verschillende profielen met verstoringen worden als beginprofiel ingevoerd in UNIBEST, waarna de ontwikkeling van deze profielen over 300 dagen wordt berekend. Het resultaat van elke simulatie (met UNIBEST) is een serie dwarsprofielen op verschillende tijdstippen. Een serie dwarsprofielen geeft dus de ontwikkeling van een bepaald profiel in de tijd weer. Van elk dwarsprofiel wordt het gebied tussen $z = -8,5$ m en $z = 0,5$ m verdeeld in twee horizontale lagen. Van beide lagen wordt de lengte bepaald door de inhoud van de lagen te delen door de bijbehorende laagdiktes. De ontwikkeling van profiel kan dan vervolgens worden geschematiseerd door het verschil in lengte (L_2-L_1) tussen deze twee lagen.

4. BEREKENINGEN

4.1 bepalen van de coëfficiënten

De twee uitgangspunten voor het bepalen van 'q' zijn vergelijking 2.2 en de ontwikkelingen van de bodemligging, zoals die met UNIBEST zijn berekend. Bij dit onderzoek wordt met UNIBEST voor elke 15 dagen een nieuw dwarsprofiel berekend en opgeslagen. Elk dwarsprofiel wordt vervolgens in horizontale lagen (in dit geval 2) verdeeld en daarna omgerekend naar het verschil in lengte (= $L_2 - L_1$) tussen twee opeenvolgende lagen (zie bijlage A.4). Als de waarden van $L_2 - L_1$ tegen de tijd worden uitgezet zoals figuur 4.1 laat zien dan kan het verloop van deze punten worden benaderd door een exponentieel verloop op basis van vergelijking 2.2 namelijk:

$$(L_2 - L_1) = W - (W - (L_2^0 - L_1^0) * \text{EXP}(-q * D * t))$$

vgl. 4.1

Deze vergelijking is aangepast door vergelijking 2.2 te vermenigvuldigen met '-1' en de term 'W' naar de rechterkant van het '='-teken over te brengen. In de vergelijking is:

L_1, L_2 = lengte van respectievelijk laag 1 en laag 2 op tijdstip t (in m).

W = $L_2 - L_1$ bij het evenwichtsprofiel (in m).

L_1^0, L_2^0 = lengte van respectievelijk laag 1 en laag 2 op t = 0 (in m).

q = dwarstransportcoëfficiënt (in m/dag)

D = $\frac{d_1 + d_2}{d_1 * d_2}$ (1/m)

d_1, d_2 = de laagdiktes zijn van respectievelijk laag 1 en laag 2 (in m).

t = tijd (in dagen)

Het verloop dat met vergelijking 4.1 wordt bepaald is alleen afhankelijk van de waarde van 'q', omdat de andere parameters ('W', D en $L_2^0 - L_1^0$) constant blijven. Als 'q' te groot of te klein wordt gekozen (stippelijnen) gaat het verloop van $L_2 - L_1$ dat met vergelijking 4.1 wordt bepaald respectievelijk te snel of te langzaam naar 'W' in vergelijking met het verloop zoals dat met UNIBEST wordt berekend (20 'losse' punten in figuur 4.1).

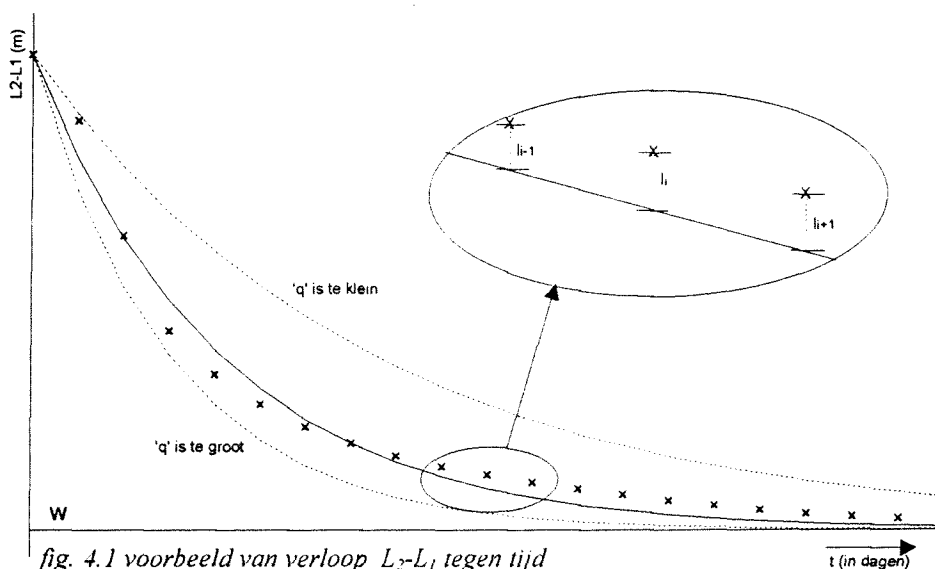


fig. 4.1 voorbeeld van verloop $L_2 - L_1$ tegen tijd

Het verschil op een bepaald tijdstip tussen de waarde van $L_2 - L_1$ die met UNIBEST is berekend en de waarde van $L_2 - L_1$ die met vergelijking 4.1 is berekend wordt

aangegeven met ' l_i ' (waarbij $i = 1,2,3...20$). Dit verschil wordt om de 15 dagen bepaald, zodat er 20 punten zijn waarvoor dit verschil wordt berekend. Het verschil op $t = 0$ wordt niet bepaald, omdat voor zowel vergelijking 4.1 als voor UNIBEST hetzelfde beginprofiel wordt gebruikt zodat er geen verschil is op tijdstip $t = 0$. De waarden van de verschillen op de 20 tijdstippen worden vervolgens gekwadrateerd en bij elkaar opgeteld ($=\sum(l_1^2, l_2^2, \dots, l_{20}^2)$). Door te kwadrateren vallen negatieve waarden van het verschil niet weg tegen positieve waarden. Tenslotte wordt de som van de gekwadrateerde verschillen gedeeld door het aantal punten (20) en daaruit wordt de wortel getrokken. Het resultaat van deze bewerkingen is de standaardafwijking, die hoort bij één gekozen waarde van ' q '.

De waarde van ' q ' wordt gevarieerd, totdat de waarde van ' q ' is gevonden waarvoor de standaardafwijking minimaal is, zie figuur 4.2. In de figuur is voor een willekeurig geval (suppletie bovenin van 50 cm) de standaardafwijking uitgezet tegen ' q '. In dit geval ligt de minimale waarde van de standaardafwijking bij $q = 0,0439$ m/dag.

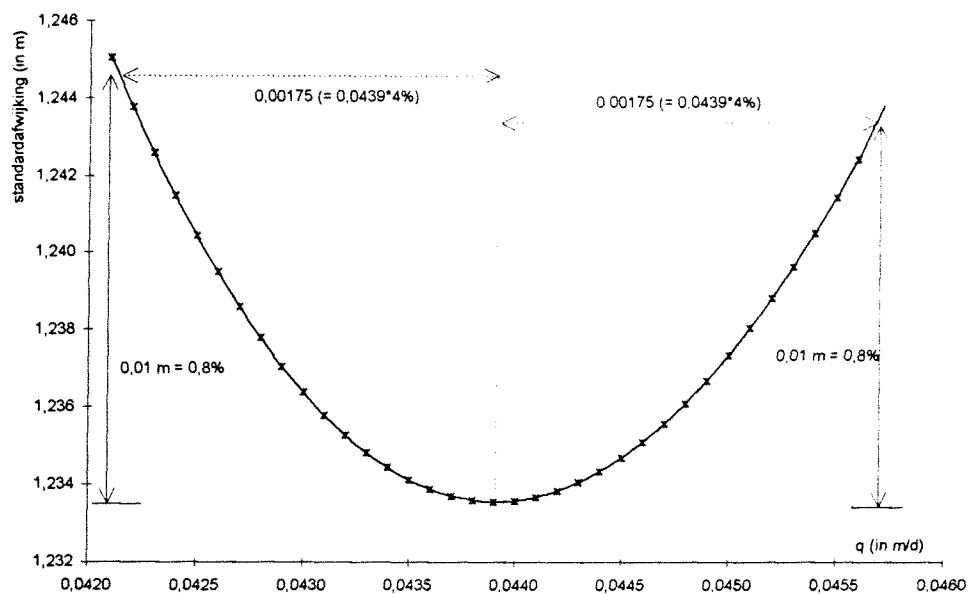


fig. 4.2 standaardafwijking uitgezet tegen ' q ' voor sb50

Uit figuur 4.2 blijkt dat een verandering van de waarde van ' q ' geen grote toename van de standaardafwijking veroorzaakt. Als bijvoorbeeld de waarde van ' q ' met 4% toeneemt of afneemt ($\pm 0,0018$ m/dag), dan is de toename van de standaardafwijking gelijk aan 0,8% ($\approx 0,01$ m). Dit betekent dat in dit geval de waarde van ' q ' over een redelijk groot bereik kan worden gevarieerd zonder dat de standaardafwijking sterk toeneemt.

Figuur 4.2 toont de grafiek van de standaardafwijking tegen de waarde van ' q ' voor het geval dat een suppletie van 50 cm dik bovenin (sb50) het evenwichtsprofiel wordt aangebracht (zie paragraaf 3.4). Als er een andere verstoring wordt gesimuleerd, dan zal er waarschijnlijk ook een andere waarde van ' q ' worden gevonden waarvoor de standaardafwijking minimaal is. Ook de waarde van de standaardafwijking zal wellicht groter of kleiner zijn dan bij de verstoring die voor figuur 4.2 is gebruikt. Er wordt verwacht dat bij andere verstoringen de standaardafwijking niet sterk toe zal nemen als de waarde van ' q ' wordt gevarieerd.

In figuur 4.3 zijn voor 2 verschillende ontgravingen van 50 cm in het evenwichtsprofiel (onderin en bovenin het profiel) de standaardafwijkingen uitgezet tegen de waarden van 'q'. De bijbehorende waarden van 'q' waarbij de standaardafwijkingen minimaal zijn, zijn in deze gevallen behoorlijk kleiner dan bij de suppletie uit figuur 4.2. Het verschil tussen de waarden van 'q' die bij de ontgravingen horen is klein. Het lijkt dan ook mogelijk om één waarde van 'q' te gebruiken voor het modelleren van beide ontgravingen. Bijvoorbeeld $q = 0,0387$ m/dag lijkt geschikt om voor beide gevallen met vergelijking 4.1 het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST te benaderen. Als een dergelijke waarde van 'q' wordt gebruikt neemt de standaardafwijking bij beide ontgravingen nauwelijks toe (zie figuur 4.3)

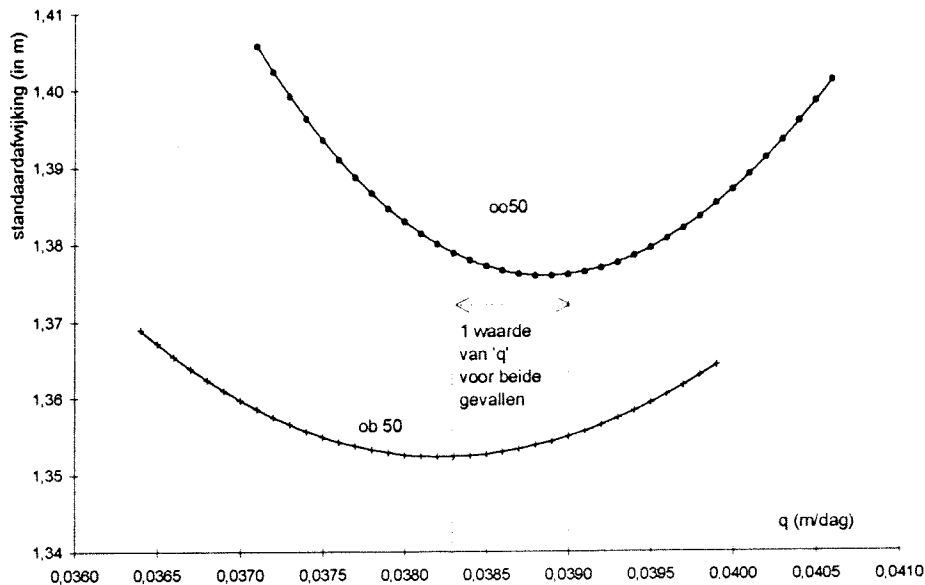


fig. 4.3 standaardafwijking

Het is de vraag of deze (algemene) waarde van 'q' gebruikt kan worden voor alle profielen die zijn verstoord door (vergelijkbare) ontgravingen. Het is mogelijk dat wanneer het volume van de ontgravingen toeneemt (bijvoorbeeld ob100 en oo100), dat ook het verschil tussen de bijbehorende waarden van 'q' toe neemt. Als er dan met de algemene waarde van 'q' ($0,0387$ m/dag) wordt gerekend, dan is het mogelijk dat de standaardafwijking in een aantal gevallen (onaanvaardbaar) groot wordt.

De resultaten van de verschillende profielen waarop verstoringen zijn aangebracht worden in hoofdstuk 5 verder behandeld. Dan wordt ook onderzocht of er één waarde van 'q' kan worden gebruikt om de ontwikkeling van verschillende profielen te benaderen. De verwachting is dat het volume van de verstoringen weinig invloed zal hebben op de waarde van 'q' en dat het dus mogelijk is om per type verstoring (bijvoorbeeld alle suppleties bovenin of alle ontgravingen onderin) één waarde van 'q' te gebruiken. Eventueel is het ook mogelijk om één waarde van 'q' te gebruiken voor twee verschillende types verstoringen, zoals aan de hand van figuur 4.3 is toegelicht.

Eerst zullen de waarden van 'q' worden berekend voor een lagenindeling met de laaggrens op $z_g = -4$ m. Daarna worden ook de waarden van 'q' voor verschillende lagenindelingen berekend. Hierbij worden dezelfde (series van) profielen gebruikt die met UNIBEST zijn berekend. Door de laaggrens (paragraaf 3.4) op verschillende dieptes te leggen veranderen ook de laagdiktes en dus ook de volumes en lengtes van de lagen. Dit betekent ook dat het verloop van L_2-L_1 en de bijbehorende waarde van 'q' voor verschillende dieptes worden berekend.

Door de ligging van de laaggrens te variëren veranderen de laagdiktes en dus ook de term $D = \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$, in vergelijking 4.1.

Omdat 'D' direct met 'q' wordt vermenigvuldigd heeft een verandering van 'D' invloed op de waarde van 'q'. Hierdoor kunnen de waarden van 'q' voor verschillende lagenindelingen niet direct met elkaar worden vergeleken. De invloed van de verschillende laagdiktes kan worden verrekend door in plaats van 'q' met de karakteristieke tijdschaal (T_k) te rekenen. De karakteristieke tijdschaal kan afgeleid worden door vergelijking 2.2 te schrijven als:

$$[W - (L_2 - L_1)] = [W - (L_2^0 - L_1^0)] * EXP\left(-\frac{t}{T_k}\right), \text{ met}$$

$$T_k = \frac{1}{qD} = \frac{1}{q} \frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)} \text{ (in dagen).}$$

vgl. 4.2

De karakteristieke tijdschaal geeft aan hoe snel de waarde van $[W - (L_2 - L_1)]$ afneemt in de tijd. In dit geval (een e-macht) is de karakteristieke tijdschaal de tijd waarin de oorspronkelijke waarde van $[W - (L_2 - L_1)]$ (op $t = 0$) met een factor 'e' afneemt. Voor het vergelijken van resultaten met dezelfde lagenindeling maakt het niet uit of de waarden van 'q' of de waarden van ' T_k ' met elkaar worden vergeleken. Als de resultaten van verschillende lagenindelingen met elkaar worden vergeleken zullen de waarden van ' T_k ' worden gebruikt.

4.2 resultaten uit UNIBEST-berekeningen

De resultaten (grafieken) van de verschillende simulaties en berekeningen kunnen in drie groepen worden verdeeld namelijk:

- Ontwikkeling van de profielen (bijlage B)
- Verloop van $L_2 - L_1$ (bijlage C)
- Waarden van 'q' (bijlage D)

Deze resultaten zijn niet onafhankelijk van elkaar, want de ontwikkeling van de profielen wordt verwerkt tot het verloop van $L_2 - L_1$ als functie van de tijd, waarmee vervolgens waarden van 'q' worden bepaald (zie paragraaf 4.1). Hoewel de waarden van 'q' van verschillende factoren afhankelijk zijn, wordt bij dit onderzoek (hoofdzakelijk) de invloed van de lagenindeling (in 2 lagen) en de invloed van verschillende verstoringen onderzocht. De resultaten die worden besproken zijn verkregen met het model dat is gebaseerd op vergelijking 4.1 en toegepast op het gebied (lagensysteem) tussen $z = -8,5$ en $0,5$ m.

Bijlage B toont de ontwikkeling van dertien profielen met verschillende verstoringen, waarbij alleen het bovenste deel van het profiel is afgebeeld, namelijk boven $z = -10$ m. Niet voor elke verstoring wordt de ontwikkeling getoond, omdat bijvoorbeeld de ontwikkeling van een suppletie van 50 cm dik vergelijkbaar is met de ontwikkeling van een suppletie van 75 cm dik (in het zelfde gebied). Er zijn voor elk type verstoring maar twee profiel-ontwikkelingen afgebeeld. Aan deze figuren is te zien hoe het zand (ten gevolge van de verstoringen) zich verdeelt over het profiel, waarbij een aantal verschijnselen opvallen, namelijk:

- De ontwikkeling van het evenwichtsprofiel wordt in bijlage B.1 getoond. Duidelijk is te zien dat het profiel ook na 300 dagen nog in beweging is, terwijl de vorm van het profiel nauwelijks meer verandert. Het profiel verplaatst langzaam in zeewaartse richting waaruit blijkt dat het volume van het profiel toe neemt. Deze toename van

het volume wordt veroorzaakt door de constante hoeveelheid zand die door de zeerand in het profiel wordt getransporteerd (zie paragraaf 3.2).

- Bij de suppleties bovenin (bijlage B.2) vindt sedimentatie plaats in het gebied dat onder de suppleties ligt ($z < -4$ m). In het gebied waar de suppleties zijn aangebracht is erosie. Er wordt ook een hoeveelheid zand naar het gebied tussen $z = -1,5$ en 0 m getransporteerd. Het gehele gebied tussen de bovenste bank ($z = -7,5$ m) en de waterlijn ($z = 0$) is hierdoor een paar centimeter in zeewaartse richting verschoven ten opzichte van het evenwichtsprofiel. Er ontstaat een 'oneffenheid' net onder de waterlijn, waaruit blijkt dat het gebied boven de waterlijn niet in zeewaartse richting verplaatst.
- Bij ontgravingen bovenin (bijlage B.3) is in tegenstelling tot de suppleties, het profiel na 300 dagen nauwelijks verschoven ten opzichte van het evenwichtsprofiel. Het profiel dat na 300 dagen is ontstaan, lijkt net zo veel zand te bevatten als het evenwichtsprofiel op $t = 0$ (zonder verstoring). Aangenomen wordt dat de ontgraving wordt aangevuld door de constante hoeveelheid zand die bij de zeerand in het profiel wordt getransporteerd (paragraaf 3.2).
- In het geval van suppleties onderin (bijlage B.4) wordt een hoeveelheid zand in landwaartse richting verplaatst, zoals verwacht. Maar er wordt ook een hoeveelheid zand in zeewaartse richting getransporteerd, want de (bovenste) bank verplaatst sneller in zeewaartse richting dan bij de ontwikkeling van het evenwichtsprofiel zonder verstoring. Net als bij de suppleties bovenin is er ook nu een oneffenheid net onder de waterlijn.
- Voor ontgravingen onderin (bijlage B.5) is de ontwikkeling vergelijkbaar met de ontwikkeling van de ontgravingen bovenin het profiel (ob 50 en 100).
- Ten gevolge van de versteilingen (stl09 en 75 in bijlage B.6) is er een verplaatsing van zand in zeewaartse richting. De helling van het profiel wordt daardoor flauwer, zodat de helling van het evenwichtsprofiel weer wordt bereikt.
- Bij verflauwingen (flw110 en 125 in bijlage B.7) wordt het profiel steiler en neemt daardoor dus (langzaam) weer de vorm van het evenwichtsprofiel aan.

Bij alle profielen is de constante hoeveelheid zand die bij de zeerand in het profiel wordt getransporteerd even groot. Maar bij de ontwikkeling van de profielen waarin een ontgraving is gesimuleerd is de invloed van dit (evenwichts)transport duidelijker te zien dan bij profielen waarop een suppletie is aangebracht.

Het verloop van L_2-L_1 in de tijd wordt in bijlage C voor verschillende verstoringen en voor verschillende lagenindelingen getoond. In de grafieken van bijlage C zijn zowel de waarden van L_2-L_1 uitgezet die zijn berekend met UNIBEST als de waarden van L_2-L_1 die met vergelijking 4.1 zijn berekend. Bij de berekening met UNIBEST is de invloed van het evenwichtstransport op de waarden van L_2-L_1 verrekend zoals in paragraaf 3.2 is behandeld. In bijlage C zijn de waarden van L_2-L_1 die met UNIBEST zijn berekend verbonden door getrokken lijnen en de resultaten van vergelijking 4.1 zijn weergegeven door stippellijnen.

De waarden van 'q' waarbij de standaardafwijkingen minimaal zijn, worden getoond in bijlage D.1 t/m D.5. Bij suppleties en ontgravingen stellen de waarden in de eerste kolom van de tabellen in bijlage D.1a t/m D.5a de dikte (in cm) van de verstoringen voor. De waarden bij de versteilingen en verflauwingen stellen de veranderde roosterafstand voor. De oorspronkelijke roosterafstand is 10 m, zodat een toename betekent dat het profiel flauwer wordt. Een afname van de roosterafstand veroorzaakt een versteiling. Verder betekent '↓', dat er netto zeewaarts gericht transport door de

verstoring wordt veroorzaakt en '↑' staat voor landwaarts gericht transport door de laaggrens (z_g). De grootte van de verstoring en de richting van het transport kan ook worden afgeleid uit de waarden van L_2-L_1 of $[W-(L_2-L_1)]$, in respectievelijk de 2^e en 3^e kolom. Deze waarden zijn bepaald op tijdstip $t = 0$. De waarden van 'q' en de bijbehorende (minimale) standaardafwijkingen staan in de laatste twee kolommen. De standaardafwijking wordt in de tabellen met 'fout' aangeduid.

Afhankelijk van de grootte van de verstoring ligt de waarde van de (minimale) standaardafwijking in de meeste gevallen tussen 0,2 en 2,5 m. De waarden voor de versteilingen en de verflauwingen zijn meestal iets groter. In de meeste gevallen bedraagt de waarde van de standaardafwijking (veel) minder dan 10% van de waarde van $[W-(L_2-L_1)]$. De waarden waarbij de standaardafwijking meer dan 10% van de bijbehorende waarde van $[W-(L_2-L_1)]$ bedraagt, zijn in de tabellen aangegeven, door een ander lettertype en/of onderstreping.

Het verloop van 'q' is in de grafieken van bijlage D.1 t/m D.5 uitgezet tegen de grootte van de verstoringen, uitgedrukt in de waarde van $[W-(L_2-L_1)]$. Deze waarden van $[W-(L_2-L_1)]$ zijn bepaald op het tijdstip $t = 0$. De grafieken tonen de verschillen tussen de waarden van 'q' voor de verschillende type verstoringen. De tabellen en grafieken worden per lagenindeling getoond en zo zullen de resultaten ook worden behandeld in de hoofdstukken 5, 6 en 7.

5. RESULTATEN bij $z_g = -4$ m

5.1 algemeen

Het gedeelte tussen $z = -8,5$ en $0,5$ m van het evenwichtsprofiel en de profielen met de verschillende verstoringen wordt geschematiseerd door de lengte van twee horizontale lagen. De grens tussen deze twee lagen ligt in dit geval op $z_g = -4$ m. Hierdoor zijn de laagdiktes van zowel de bovenste laag (laag 1) als de onderste laag (laag 2) gelijk aan $4,5$ m. In het geval van het evenwichtsprofiel is bij deze lagenindeling het verschil in lengte tussen laag 2 en laag 1 gelijk aan $W = 311,1$ m. Het evenwichtstransport wordt in rekening gebracht, zodat de waarde van 'W' constant is in de tijd (zie paragraaf 3.2).

De bijlagen B.2 t/m B.7 laten de ontwikkelingen in de tijd (300 dagen) zien van de profielen waarop de verstoringen zijn aangebracht zoals die zijn berekend met UNIBEST. Deze ontwikkelingen worden omgerekend naar het verloop van L_2-L_1 in de tijd, waarbij het evenwichtstransport in rekening wordt gebracht (paragraaf 3.2). Voor de profielen met verschillende verstoringen zijn in bijlage C.1 de waarden van L_2-L_1 afgebeeld in drie grafieken, waarbij de laaggrens op $z_g = -4$ m ligt. De grafieken laten ook het verloop van L_2-L_1 in de tijd zien, zoals dat is berekend met vergelijking 4.1. Voor de berekening van het verloop van L_2-L_1 wordt in vergelijking 4.1 de waarde van 'q' gebruikt waarbij de standaardafwijking ten opzichte van het verloop dat met UNIBEST is berekend minimaal is. In bijlage C.1 geven de getrokken lijnen de waarden van L_2-L_1 weer die zijn berekend met UNIBEST en de stippellijnen geven de waarden weer die met vergelijking 4.1 zijn berekend. Elke grafiek in bijlage C laat de waarden van L_2-L_1 zien voor vier verstoringen van hetzelfde type. De verstoringen die in bijlage C.1 worden getoond zijn achtereenvolgens suppleties (C.1a), ontgravingen (C.1b) en veranderingen van de helling van het evenwichtsprofiel (C.1c).

5.2 verloop van L_2-L_1

Suppleties

In de grafiek van bijlage C.1a zijn voor twee suppleties bovenin en voor twee suppleties onderin (op het evenwichtsprofiel) de waarden van L_2-L_1 weergegeven. Uit het verloop van L_2-L_1 blijkt:

- Bij de suppleties bovenin (sb50 en 100), neemt de waarde van L_2-L_1 in de eerste 25 dagen sterk toe. Wanneer echter het verschil tussen 'W' en L_2-L_1 ongeveer de helft is van het verschil dat op $t = 0$ dagen aanwezig is, wordt het verloop van L_2-L_1 flauwer (de toename van L_2-L_1 per tijdstap neemt af). Hierdoor wijkt het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST iets af van het (exponentiële) verloop dat is berekend met vergelijking 4.1.
- Het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST verloopt bij de profielen met suppleties onderin (so50 en 100) geleidelijker, dan bij profielen met de suppleties bovenin. Hierdoor komt het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend voor so50 en so100 beter overeen met het (exponentiële) verloop dat met vergelijking 4.1 is berekend.
- Het verschil tussen 'W' en de beginwaarde ($t = 0$) van L_2-L_1 , na de verstoring, is groter bij suppleties onderin, dan bij suppleties bovenin. Dit wordt veroorzaakt doordat het gedeelte van het profiel tussen $z = -6,5$ en -4 m flauwer is dan het gedeelte van het profiel tussen $z = -4$ en $-1,5$ m. Hierdoor is het volume van de verstoringen onder in het profiel groter dan het volume van de verstoringen (van dezelfde dikte) boven in het profiel.

- Het verschil tussen het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST en bijbehorende verloop dat is berekend met vergelijking 4.1 is voor alle (vier) suppleties klein.

Ontgravingen

In bijlage C1.b is net als bij de suppleties het verloop van L_2-L_1 uitgezet tegen de tijd, voor vier profielen met verschillende verstoringen. In dit geval worden de resultaten getoond van twee ontgravingen bovenin het profiel en voor twee ontgravingen onderin het profiel. Het verloop van L_2-L_1 voor deze profielen met ontgravingen lijkt veel op het verloop dat is berekend voor de profielen waarop suppleties zijn aangebracht.

- Bij de ontgravingen bovenin is het verloop dat is berekend met UNIBEST in het begin ook vrij steil, net als voor de suppleties bovenin. Maar nu nadert het verloop van L_2-L_1 van boven tot 'W' en is er dus landwaarts gericht transport.
- Hetzelfde geldt voor de ontgravingen onderin, waarbij het verloop geleidelijker is dan bij de suppleties onderin en L_2-L_1 nadert hierbij van onder tot 'W' en er is dus zeewaarts gericht transport.
- Ook is er weer een behoorlijk verschil in grootte tussen de verstoringen bovenin en verstoringen onderin, waarbij de volumes van de ontgravingen onderin groter zijn.
- De verschillen tussen het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST en het verloop dat met vergelijking 4.1 is berekend is ook bij ontgravingen in het evenwichtsprofiel klein.

Veranderingen van de helling van het evenwichtsprofiel

In de grafiek van bijlage C.1c is weer L_2-L_1 tegen de tijd uitgezet, maar nu voor versteilingen en verflauwingen van het evenwichtsprofiel. In dit geval wordt het verloop van L_2-L_1 voor twee versteilingen van het evenwichtsprofiel vergeleken met twee verflauwingen. Uit de grafiek blijkt:

- De ontwikkeling na versteilingen en verflauwingen verloopt langzamer dan de ontwikkeling ten gevolge van suppleties en ontgravingen. Zelfs na 300 dagen zijn bij de versteilingen en verflauwingen van het evenwichtsprofiel de verschillen tussen L_2-L_1 en 'W' nog behoorlijk groot.
- Vooral bij stl09 en 75 is dit verschil erg groot en het lijkt wel of de lijnen naar een andere evenwichtstoestand gaan. Het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend is aan het eind van de simulatie bijna horizontaal is, terwijl het verloop van L_2-L_1 in het begin vrij steil is. Het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend kan dus minder goed met vergelijking 4.1 worden benaderd dan bij de suppleties en ontgravingen.
- Bij de verflauwingen is het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend geleidelijker, waardoor het verloop beter met vergelijking 4.1 kan worden benaderd dan bij de versteilingen.

Toch wijkt het verloop van L_2-L_1 dat met vergelijking 4.1 is berekend bij geen van de verstoringen veel af van het verloop dat met UNIBEST is berekend. Er kan dus worden gesteld dat bij deze lagenindeling ($z_g = -4$ m) vergelijking 4.1 een goede benadering is van werkelijke verloop van L_2-L_1 .

5.3 Dwarstransportcoëfficiënten

De invloed van de grootte van de verstoring (op $t = 0$) op de waarde van 'q' is in de meeste gevallen beperkt, want bij elk type verstoring is er maar een klein verschil tussen de maximale en de minimale waarde van 'q', zie bijlage D.1. Het lijkt dan ook mogelijk om voor alle verstoringen van één bepaald type (bijvoorbeeld alle suppleties bovenin) één waarde van 'q' te gebruiken. Het ligt voor de hand om als algemene waarde van 'q' van een bepaald type verstoring het gemiddelde van de bijbehorende (zeven) waarden van 'q' uit bijlage D.1a te gebruiken. De algemene (gemiddelde) waarden van 'q' worden in het vervolg 'q_{gem}' genoemd. Hieraan wordt een voorwaarde gesteld, namelijk: de standaardafwijkingen van alle verstoringen die bij deze waarde van 'q_{gem}' horen mogen niet meer dan 10% afwijken van de bijbehorende minimale standaardafwijkingen. Voor elke verstoring wordt de minimale standaardafwijking met 10% verhoogd. Bij deze '10% waarde' van de standaardafwijking horen per verstoring twee waarden van 'q'. Vervolgens moet de waarde van 'q_{gem}' voor alle verstoringen (van het bepaalde type) binnen deze twee waarden van 'q' liggen. Het is erg bewerkelijk om voor alle waarden van 'q' de 10% grenzen te bepalen. Daarom worden alleen de 10% grenzen bepaald voor de minimale en de maximale waarden van 'q'. Hieronder wordt als voorbeeld de waarde van 'q_{gem}' bepaald voor ontgravingen onderin in het profiel.

Bij de ontgravingen onderin (oo) is de maximale waarde van $q = 0,0435$ m/dag (bij oo150) en de minimale waarde van $q = 0,0383$ m/dag (bij oo25). De ondergrens van het gebied waarbinnen 'q_{gem}' moet liggen wordt bepaald met de maximale waarde van 'q' ($q = 0,0435$ m/dag). De bovengrens van dit gebied wordt bepaald met de minimale waarde van 'q' ($q = 0,0383$ m/dag). Figuur 5.1 laat de boven- en ondergrens zien van het gebied waarbinnen de waarde van 'q_{gem}' volgens de voorwaarde moet liggen.

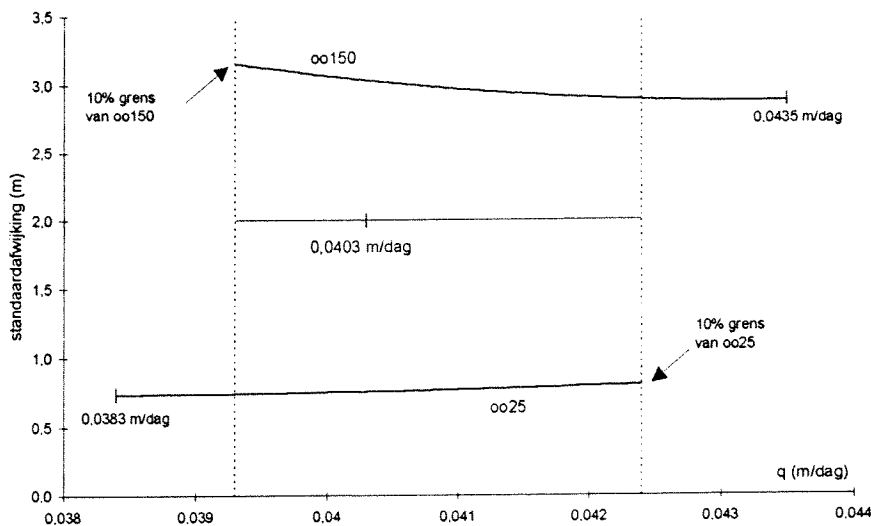


fig. 5.1 'q_{gem}' voor ontgravingen onderin

De twee 10% grenzen die in figuur 5.1 worden getoond worden als volgt berekend:

- Bij de ontgraving van 150 cm (oo150) is de minimale standaardafwijking: 2,9 m (= de 'fout' in bijlage D.1a). De 10% grens van de standaardafwijking wordt vervolgens: $2,9 \cdot 1,1 = 3,2$ m. Bij deze waarde van de standaardafwijking horen twee waarden van 'q', maar voor de ondergrens is in dit geval alleen de kleinste waarde van 'q' interessant, namelijk: $q = 0,0393$ m/dag.

- Bij de ontgraving van 25 cm (oo25) is de minimale standaardafwijking: 0,77 m. De 10% grens van de standaardafwijking is dan 0,85 m. De bovengrens wordt gevormd door de grootste waarde van 'q' die bij deze standaardafwijking hoort, namelijk: $q = 0,0424$ m/dag.
- Het gemiddelde van de (zeven) waarden van 'q' voor de ontgravingen onderin is $q_{gem} = 0,0403$ m/dag en valt dus ruim binnen de 10% grenzen.

De waarden van 'q' van de ontgravingen bovenin (ob) en de suppleties onderin (so) liggen erg dicht bij elkaar (bijlage D.1b). Het lijkt dus mogelijk om één algemene waarde van 'q_{gem}' te bepalen die voor beide type verstoringen voldoet. Voor het bepalen van de ondergrens wordt nu zowel ob10 als so10 gebruikt en voor het bepalen van de bovengrens worden zowel ob150 en so150 gebruikt. In figuur 5.2 zijn de maatgevende grenzen uitgezet en het blijkt dat zowel de bovengrens als de ondergrens worden bepaald door waarden van 'q' die horen bij de suppleties onderin. De ondergrens ligt bij: $q = 0,0346$ m/dag en de bovengrens ligt bij: $q = 0,0369$ m/dag.

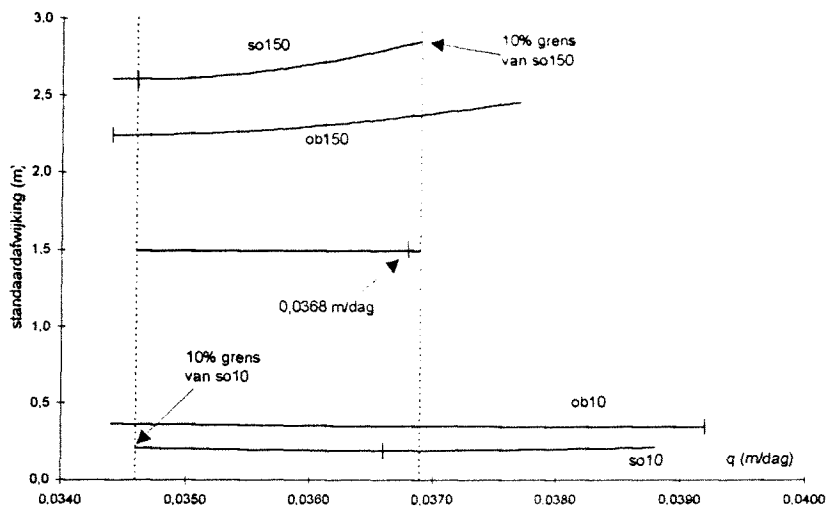


fig. 5.2 'q_{gem}' voor suppleties onderin en ontgravingen bovenin

De waarde van 'q_{gem}' valt nog net in het gebied en het is dus mogelijk om één algemene waarde van 'q' te gebruiken voor beide type verstoringen namelijk: $q = q_{gem} = 0,0368$ m/dag.

In paragraaf 4.1 is er één waarde van 'q' bepaald voor een combinatie van een ontgraving onderin van 50 cm en een ontgraving bovenin van 50 cm (figuur 4.3). Het blijkt dat wanneer ook de waarden van 'q' die bij de ontgravingen onderin horen worden meegenomen, dat het gemiddelde niet binnen de 10% grenzen valt. Bij een combinatie van de ontgravingen bovenin en de suppleties onderin is dit dus wel het geval (figuur 5.2). Bij suppleties bovenin blijkt dat $q_{gem} = 0,0465$ m/dag midden tussen de boven- en ondergrens valt. Dus ook voor de suppleties bovenin kan één waarde van 'q' worden gebruikt namelijk $q_{gem} = 0,0465$ m/dag.

Tot nu toe blijkt dat voor alle onderzochte gevallen de waarden van 'q_{gem}' voldoen aan de '10% eis' en daarom wordt aangenomen dat dit voor de andere gevallen ook geldt, mits de waarden van 'q' (bijlage D.1b, D.2b...D.5b) niet erg verspreid liggen. Bij versteilingen van het evenwichtsprofiel is $q_{gem} = 0,0253$ m/dag en bij verflauwingen is $q_{gem} = 0,0185$ m/dag. Maar bij de verflauwingen is er één waarde van 'q' die sterk

afwijkt, namelijk bij flw105, waarbij: $q = 0,0257$ m/dag. De bijbehorende (minimale) standaardafwijking is 0,445 m. De standaardafwijking die bij 'q_{gem}' (= 0,0185 m/dag) hoort is voor flw105 gelijk aan 0,738 m en wijkt dus bijna 66% af van de minimale standaardafwijking. De waarde van 'q' die bij flw105 hoort wordt daarom verder buiten beschouwing gelaten bij het bepalen van de algemene (gemiddelde) waarde van 'q'. Hierdoor wordt voor verflauwingen $q_{gem} = 0,0171$ m/dag.

Als de waarden van q_{gem} met de bijbehorende verstoringen van groot naar klein worden uitgezet dan volgt:

$q_{gem} = 0,0465$ m/dag voor suppleties bovenin het profiel

$q_{gem} = 0,0403$ m/dag voor ontgravingen onderin het profiel

$q_{gem} = 0,0368$ m/dag voor suppleties onderin en ontgravingen bovenin het profiel

$q_{gem} = 0,0253$ m/dag voor versteilingen van het evenwichtsprofiel

$q_{gem} = 0,0171$ m/dag voor verflauwingen van evenwichtsprofiel

5.4 analyse van de resultaten

Er wordt vervolgens onderscheid gemaakt tussen drie 'factoren' die invloed hebben op de waarden van 'q' (of 'q_{gem}') namelijk:

- het type verstoring (suppleties, ontgravingen of veranderingen van de helling),
- de richting van het transport dat door de verstoringen wordt veroorzaakt en
- de plaats van de verstoringen in het profiel (alleen bij suppleties en ontgravingen).

Het type verstoring heeft een tamelijk grote invloed op de waarde van 'q', want bij veranderingen van de helling van het evenwichtsprofiel horen veel kleinere waarden van 'q_{gem}' dan bij suppleties en ontgravingen.

Als onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende type verstoringen dan blijkt:

q_{gem} voor suppleties bovenin (z.w.) > q_{gem} voor suppleties onderin

q_{gem} voor ontgravingen onderin (z.w.) > q_{gem} voor ontgravingen bovenin

q_{gem} voor versteilingen (z.w.) > q_{gem} voor verflauwingen.

In dit geval betekent z.w.: zeewaarts gericht transport. De grootste waarden van 'q_{gem}' horen dus bij de verstoringen die zeewaarts gericht transport veroorzaken ($W > L_2 - L_1$).

Als de verstoringen naar de richting van het transport worden gerangschikt dan blijkt (voor de ontgravingen en suppleties):

q_{gem} voor suppleties bovenin > q_{gem} voor ontgravingen onderin

q_{gem} voor suppleties onderin = q_{gem} voor ontgravingen bovenin

Hieruit kan worden afgeleid dat de waarde van 'q' bij suppleties groter is dan bij ontgravingen. Ook blijkt dat bij verstoringen bovenin het profiel de waarden van 'q' groter zijn dan bij vergelijkbare verstoringen onderin het profiel, want:

- Bij suppleties bovenin is de waarde van 'q_{gem}' groter dan bij ontgravingen onderin, waaruit volgt dat de waarde van 'q' groter wordt door de 'factor' suppleties en/of de 'factor' hoogte van de verstoring.
- De waarde van 'q_{gem}' is bij suppleties onderin even groot als bij ontgravingen bovenin, waaruit kan worden afgeleid dat de invloed van de 'factor' suppleties even groot is als de 'factor' hoogte (bovenin). Gezien het eerste punt hebben beide factoren dus een positieve invloed op de grootte van de waarde van 'q'.

Uit bijlage D.1a blijkt dat de minimale standaardafwijking (of de fout) bij elke verstoring minder dan 8% bedraagt van de waarde van $[W - (L_2 - L_1)]$ op tijdstip $t = 0$.

Bijvoorbeeld bij een suppletie bovenin met een dikte van 120 cm (sb120) is de minimale standaardafwijking: 2,3 m; de waarde van $[W-(L_2-L_1)] = 43,8$ m (op $t = 0$). De minimale standaardafwijking, uitgedrukt in procenten, is gelijk aan: $2,3/43,8 \cdot 100\% = 5,3\%$. De bijbehorende waarde van $q = 0,0483$ m/dag (bijlage D.1a). In dit geval wordt de algemene waarde van 'q' bij suppleties bovenin gebruikt: $q_{gem} = 0,0465$ m/dag. Verondersteld dat 'q_{gem}' binnen de 10% grenzen valt⁽¹⁾, die bij sb120 horen, dan wordt de standaardafwijking maximaal $5,3 \cdot 1,1 = 5,8\%$ van de waarde van $[W-(L_2-L_1)]$. Hieruit wordt geconcludeerd dat vergelijking 4.1 (of 2.2) nog een goede benadering is van de werkelijkheid (resultaten van UNIBEST) als de waarde van 'q_{gem}' wordt gebruikt.

5.4 Samengevat

In het geval de laaggrens op $z_g = -4$ m ligt, dan liggen de waarden van 'q' voor suppleties en ontgravingen tussen 0,035 en 0,05 m/dag. Hierbij is de invloed van het type verstoring zodanig dat bij verstoringen waarvoor geldt: $W > L_2-L_1$ de waarden van 'q' groter zijn dan de waarden van 'q' bij verstoringen waarvoor geldt: $W < L_2-L_1$. De grootte van de verstoringen heeft nog wel enige invloed op de waarde van 'q', maar het is toch mogelijk om voor één type verstoring ook maar één waarde van 'q' te gebruiken. Voor deze waarde van 'q' wordt het gemiddelde genomen ('q_{gem}') over de waarden van 'q' die horen bij een bepaald type verstoring (bijvoorbeeld suppleties bovenin). Als 'q_{gem}' wordt gebruikt dan blijkt dat bij geen van de verstoringen de toename van de standaardafwijking groter is dan 10% van de oorspronkelijke (minimale) standaardafwijking. Ook zijn de standaardafwijkingen van alle verstoringen kleiner dan 10% van de bijbehorende waarden van $[W-(L_2-L_1)]$ op het tijdstip $t = 0$. Voor suppleties bovenin is de waarde van 'q_{gem}': 0,0465 m/dag, voor ontgravingen onderin: $q_{gem} = 0,0403$ m/dag, voor suppleties onderin en ontgravingen bovenin wordt één waarde van 'q_{gem}' gebruikt namelijk: $q_{gem} = 0,0368$ m/dag en voor de versteilingen: $q_{gem} = 0,0253$ m/dag en tenslotte voor de verflauwingen: $q_{gem} = 0,0171$ m/dag. De waarden van 'q_{gem}' voor versteilingen en verflauwingen van het evenwichtsprofiel zijn dus aanmerkelijk kleiner dan de waarden voor suppleties en ontgravingen.

⁽¹⁾ Dit is zeer waarschijnlijk, omdat 'q_{gem}' ook tussen de 10% grenzen van sb150 ligt.

6. RESULTATEN bij $z_g = -5$ en -3 m

6.1 algemeen

De resultaten die in hoofdstuk 5 zijn besproken zijn gebaseerd op de resultaten die ontstaan als binnen het lagensysteem ($z = -8,5$ tot $0,5$ m) de grens in het midden wordt gelegd, namelijk op $z_g = -4$ m. In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken die ontstaan als de laaggrens 1 m hoger ($z_g = -3$ m) of 1 m lager ($z_g = -5$ m) wordt gelegd. Door deze andere lagenindelingen veranderen ook de lengtes van de lagen en de verschillen in lengte tussen de lagen. Zo is bij het evenwichtsprofiel het verschil (L_2-L_1) bij de lagenindeling met $z_g = -5$ m: $W = 568,4$ m en met $z_g = -3$ m: $W = 511,3$ m.

Ook de waarden van L_2-L_1 voor de verstoorde profielen veranderen als de lagenindeling wordt veranderd. Doordat het verloop van L_2-L_1 verandert, zullen ook de bijbehorende waarden van 'q' en het transport door de laaggrens veranderen. Verder ligt de laaggrens bij $z_g = -5$ of -3 m in een aantal gevallen op een bepaalde afstand van de verstoring of juist midden in de verstoring. Verwacht wordt dat wanneer de laaggrens op een bepaalde afstand van de verstoring ligt, het transport door de laaggrens niet direct vanaf $t = 0$ reageert. Hierdoor zal het verloop van L_2-L_1 de eerste dagen na de verstoring ook niet of nauwelijks veranderen (bijvoorbeeld bijlage C.2a; so50). Als daarentegen de laaggrens midden in een verstoring ligt, dan zal het transport wel direct reageren. Maar doordat de laaggrens midden in de verstoring ligt zal een toename van het volume van de verstoring nauwelijks invloed hebben op de waarde van L_2-L_1 op het tijdstip $t = 0$. Bijvoorbeeld bij so50 met $z_g = -5$ m is de waarde van L_2-L_1 ongeveer even groot als de waarde van L_2-L_1 bij so150 (zie bijlage D.2a).

Een verandering van de lagenindeling heeft ook invloed op het evenwichtstransport en daardoor zal ook het verloop van L_2-L_1 veranderen. De volumeveranderingen ten gevolge van het evenwichtstransport worden voor zowel $z_g = -5$ als -3 m berekend op dezelfde wijze als dat voor $z_g = -4$ m is gedaan (zie paragraaf 3.3). Vervolgens worden ook weer de volumeveranderingen ten gevolge van het evenwichtstransport verrekend in de waarden van L_2-L_1 . Het verloop van L_2-L_1 dat ontstaat na het verrekennen van het evenwichtstransport wordt dan volledig veroorzaakt door een verstoring van het evenwichtsprofiel. In de paragraaf 6.2 worden de invloeden van de verschillende verstoringen op het verloop van L_2-L_1 per type verstoring behandeld voor beide lagenindelingen.

6.2 verloop van L_2-L_1

Suppleties (bijlage C.2a)

- Bij suppleties onderin met $z_g = -5$ m wordt het verschil tussen 'W' en L_2-L_1 eerst groter, waarna L_2-L_1 in de tijd tot 'W' nadert. Het eerste deel van het verloop van L_2-L_1 kan daardoor niet goed met vergelijking 4.1 worden benaderd. De berekening van L_2-L_1 met vergelijking 4.1 wordt daarom niet op $t = 0$ begonnen, maar op een later tijdstip. Bij so100 is vanaf het tijdstip $t = 70$ dagen het verloop van L_2-L_1 goed te benaderen met vergelijking 4.1; bij so50 vanaf het tijdstip $t = 35$ dagen.
- Bij suppleties onderin met $z_g = -5$ m, wijkt het verloop van L_2-L_1 dat is bepaald met UNIBEST in het begin ook af van het exponentiële verloop dat met vergelijking 4.1 wordt berekend. Toch kan vanaf het begin het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend redelijk worden benaderd met vergelijking 4.1. Als in deze gevallen een later tijdstip wordt gebruikt, dan is het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend minder goed te benaderen met vergelijking 4.1.

- Bij suppleties bovenin en $z_g = -3$ m valt op dat vanaf $t = \pm 30$ dagen het steile verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend, overgaat in een veel flauwer verloop. Op $t = 30$ dagen is het verschil tussen 'W' en L_2-L_1 al behoorlijk klein is, zodat met vergelijking 4.1 voornamelijk het steile gedeelte wordt gevolgd en niet het flauwe verloop.
- Bij suppleties onderin en $z_g = -3$ m kan het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend goed met vergelijking 4.1 worden gevolgd.

Ontgravingen (bijlage C.2b)

- Bij de ontgravingen in het profiel, met $z_g = -5$ m wijkt het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend in het begin (eerste 75 dagen) iets af van het exponentiële verloop dat met vergelijking 4.1 wordt berekend. Toch kan het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend in deze vier gevallen nog redelijk met vergelijking 4.1 worden benaderd. Daarom wordt de berekening met vergelijking 4.1 gewoon op het tijdstip $t = 0$ gestart en niet op een later tijdstip, zoals dat bij suppleties onderin is gedaan (bijlage C.2a).
- Bij de ontgravingen bovenin het profiel in combinatie met $z_g = -3$ m, wijkt het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend behoorlijk af van het exponentiële verloop dat met vergelijking 4.1 wordt berekend. De grafiek gaat bij ongeveer 250 dagen door het evenwicht (W) en daardoor kan het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is bepaald niet goed worden gevolgd met vergelijking 4.1.
- Het verloop van L_2-L_1 voor de ontgravingen onderin (bij $z_g = -3$ m) dat met UNIBEST is berekend loopt vanaf ± 125 dagen bijna horizontaal. Omdat het horizontale verloop onder het evenwicht ligt, is het verloop niet goed met vergelijking 4.1 te benaderen.

Versteilingen en verflauwingen (bijlage C.2c)

- Bij de versteilingen en verflauwingen met $z_g = -5$ m is er op het laatst een behoorlijk verschil tussen het 'W' en L_2-L_1 . Voor een deel wordt dit veroorzaakt door de grote verstoringen. De waarden van $[W-(L_2-L_1)]$ zijn voor versteilingen en verflauwingen van het profiel bijna 2 keer zo groot als bij profielen met suppleties of ontgravingen.
- In het geval van de verflauwingen is er een (opmerkelijk) goede overeenkomst tussen het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST en het verloop dat is berekend met vergelijking 4.1. Bij de versteilingen van het profiel is deze overeenkomst minder goed, doordat het verloop van L_2-L_1 na enige tijd (ongeveer 200 dagen) bijna horizontaal is en afwijkt van de waarde van 'W'.
- Voor $z_g = -3$ m geldt hetzelfde als voor $z_g = -5$ m.

Het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend voor de verschillende verstoringen met de laaggrens op $z_g = -5$ of -3 m kan (op het eerste gezicht) minder goed met vergelijking 4.1 worden gevolgd dan voor het geval de laaggrens op $z_g = -4$ m ligt. Toch lijkt in de meeste gevallen het verschil tussen het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend en het verloop dat met vergelijking 4.1 is berekend vrij klein. Of dit verschil inderdaad klein is kan beter worden bepaald op basis van de standaardafwijkingen. In paragraaf 6.3 worden de standaardafwijking ('fout') en de waarden van 'q' voor de verschillende verstoringen besproken.

6.3 dwarstransportcoëfficiënten

Bij een aantal verstoringen is het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend niet goed met vergelijking 4.1 te volgen. Toch zijn voor alle verstoringen de waarden van 'q' berekend waarbij de bijbehorende standaardafwijkingen ('fouten') minimaal zijn. Als voorwaarde wordt gesteld dat de (minimale) standaardafwijking niet meer dan 10% van de waarde van $[W-(L_2-L_1)]$ mag bedragen. In bijlage D.2 en D.3 zijn de waarden van de standaardafwijking die niet aan deze voorwaarde voldoen aangegeven door schuingedrukte getallen (en in een aantal gevallen onderstreept als de afwijking meer dan 15% bedraagt).

Opvallend (bijlage D.2 en D.3) is dat:

- De grafieken van 'q' uitgezet tegen $[W-(L_2-L_1)]$ van de suppleties onderin en van de ontgravingen onderin, bij $z_g = -5$ m zijn bijna verticaal (bijlage D.2b). Hetzelfde geldt voor ontgravingen bovenin bij $z_g = -3$ m (bijlage D.3b). In deze drie gevallen loopt de laaggrens midden door de verstoringen. Een verandering van het volume van de verstoringen heeft in deze gevallen een (bijna) even grote invloed op het volume van laag 1 als op het volume van laag 2. Hierdoor neemt de waarde van $[W-(L_2-L_1)]$ niet of nauwelijks toe als het volume van de verstoring toeneemt (op $t = 0$).
- Het verschil tussen de maximale en de minimale waarden van 'q' zijn in de hierboven besproken gevallen erg groot.
- De waarden van 'q' voor suppleties bovenin, bij $z_g = -3$ m, zijn veel groter dan de overige waarden van 'q'. Daarom is het verloop niet afgebeeld in de grafiek. De bijbehorende waarden staan wel in de tabel van bijlage D.3a.
- Bij $z_g = -5$ m is voor suppleties onderin, in drie gevallen de fout meer dan 10% en in één geval zelfs meer dan 20% (dubbel onderstreept) van de bijbehorende waarde van $[W-(L_2-L_1)]$ op $t = 0$. Voor so150 is er zelfs geen waarde van 'q' te vinden waarmee het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST redelijk kan worden benaderd met vergelijking 4.1.
- Bij de lagenindeling met $z_g = -3$ m zijn er bij ontgravingen boven in het profiel meerdere waarden van de standaardafwijking die groter zijn dan 10% van de bijbehorende waarden van $[W-(L_2-L_1)]$. Voor ob150 is geen waarde van 'q' berekend, omdat het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend te veel afwijkt van het exponentiële verloop dat met vergelijking 4.1 wordt berekend.
- Er is ook geen waarde van 'q' bepaald voor flw105, omdat in dat geval de waarde van $[W-(L_2-L_1)]$ erg klein is. Hierdoor is er nauwelijks enig verloop in de waarden van L_2-L_1 zodat er ook geen benadering met vergelijking 4.1 mogelijk is.

Voor de gevallen dat het verschil tussen de maximale en de minimale waarde van 'q' niet te groot is (minder dan 0,005 m/dag) wordt de gemiddelde waarde (q_{gem}) gebruikt.

Voor $z_g = -5$ m volgt:

suppleties bovenin:	$q_{gem} = 0,0210$ m/dag
ontgravingen bovenin:	$q_{gem} = 0,0174$ m/dag
versteelingen:	$q_{gem} = 0,0124$ m/dag
verflauwingen:	$q_{gem} = 0,0132$ m/dag (flw105 niet meegerekend)

Voor $z_g = -3$ m volgt:

suppleties onderin:	$q_{gem} = 0,0267$ m/dag
ontgravingen onderin:	$q_{gem} = 0,0277$ m/dag
versteelingen:	$q_{gem} = 0,0293$ m/dag

Wat vooral opvalt is dat de waarden van ' q_{gem} ' bij $z_g = -3$ m aanmerkelijk groter zijn dan bij $z_g = -5$ m. Bij $z_g = -5$ m en $z_g = -3$ m is de term ' D ' in vergelijking 4.1 even groot, zodat de waarden van ' q ' voor beide lagenindelingen kunnen worden vergeleken. Het blijkt uit de resultaten bij deze twee lagenindelingen dat de waarde van ' q ' (of q_{gem}) groter is bij een hoger gelegen laaggrens dan bij een lagere gelegen laaggrens. Dit lijkt aannemelijk, want het transport boven in het profiel is meestal groter dan onder in het profiel bij dezelfde omstandigheden. Maar daarentegen zijn de waarden van ' q_{gem} ' bij $z_g = -4$ m (zie paragraaf 5.5) veel groter dan bij $z_g = -3$ m. Voor een deel kan dit worden veroorzaakt doordat de waarde van ' D ' bij $z_g = -4$ m groter is dan bij $z_g = -3$ m. Daardoor kunnen de waarden van ' q ' niet direct met elkaar worden vergeleken. De invloed van de term ' D ' blijkt niet zo groot te zijn, want $D = \frac{d_1 + d_2}{d_1 * d_2}$,

zodat: bij $z_g = -4$ m: $D = 0,444$ m; bij $z_g = -3$ m (of -5 m): $D = 0,468$ m.

De verhouding tussen de waarden van ' D ' bij $z_g = -4$ m en $z_g = -3$ m is dus $0,468/0,444 \approx 1,05$. Maar het verschil tussen de waarden van ' q_{gem} ' voor $z_g = -4$ m en $z_g = -3$ m is veel groter dan een factor van 1,05.

Bij verstelingen en verflauwingen van het evenwichtsprofiel, ligt de laaggrens zowel bij $z_g = -4$ m als bij $z_g = -3$ en -5 m midden in de verstoring. Als dan de waarden van ' q ' van de verschillende lagenindelingen voor verstelingen en verflauwingen worden vergeleken dan blijkt dat de waarden van ' q_{gem} ' bij $z_g = -3$ m iets groter zijn dan de waarden van ' q_{gem} ' bij $z_g = -4$ m. Deze waarden van ' q_{gem} ' zijn weer groter dan de waarden van ' q_{gem} ' bij $z_g = -5$ m. Bij een hoger gelegen laaggrens de bijbehorende waarden van ' q ' groter zijn dan bij een lager gelegen laaggrens.

De invloeden van de 'factoren' op de waarde van ' q ' zoals in paragraaf 4.3 zijn behandeld, namelijk: de richting van het transport, de plaats van de verstoring en het type verstoring, zijn bij $z_g = -3$ m en $z_g = -5$ m niet duidelijk te onderscheiden.

7. RESULTATEN bij $z_g = -6,5$ en $-1,5$ m

7.1 algemeen

Als de laaggrens naar $z_g = -1,5$ m wordt verschoven dan liggen alle (gesimuleerde) suppleties en ontgravingen onder de laaggrens. Dit betekent dat voor de suppleties geldt: $W < L_2 - L_1$, zodat er landwaarts gericht transport optreedt door de laaggrens. Voor de ontgravingen geldt: $W > L_2 - L_1$ en er zal dus zeewaarts gericht transport zijn. Als de laaggrens naar $z_g = -6,5$ m wordt verschoven, dan liggen alle suppleties en ontgravingen boven de laaggrens. Ten gevolge van de op het profiel aangebrachte suppleties zal er dan zeewaarts gericht transport door de laaggrens zijn. Ten gevolge van de ontgravingen in het profiel zal er landwaarts gericht transport zijn.

Als het evenwichtsprofiel door 2 lagen wordt geschematiseerd dan is bij $z_g = -1,5$ m de waarde van $L_2 - L_1 = W = 491,1$ m en bij $z_g = -6,5$ m: $W = 645,7$ m. Omdat het evenwichtstransport bij beide lagenindelingen wordt verrekend zijn deze waarden constant in de tijd. Ook bij de ontwikkeling van de profielen waarop verstoringen zijn aangebracht zal het evenwichtstransport worden verrekend. Het evenwichtstransport wordt op de zelfde wijze verrekend als bij de lagenindelingen met $z_g = -4$ m (zie ook paragraaf 3.3).

7.2 verloop van $L_2 - L_1$

Suppleties

Het verloop van $L_2 - L_1$ ten gevolge van suppleties is voor respectievelijk $z_g = -6,5$ m en $z_g = -1,5$ m in bijlage C.3a uitgezet tegen de bijbehorende waarde van $[W - (L_2 - L_1)]$. Alle op het evenwichtsprofiel aangebrachte suppleties liggen bij $z_g = -6,5$ m boven de laaggrens, zodat geldt (op $t = 0$) dat $W > L_2 - L_1$. Het verloop van $L_2 - L_1$ nadert dus van onder af tot 'W'. Bij $z_g = -1,5$ m liggen (op $t = 0$) alle aangebracht suppleties onder de laaggrens en daardoor nadert het verloop van $L_2 - L_1$ van boven af tot 'W'.

- Bij de suppleties onder in het profiel met $z_g = -6,5$ m snijdt het verloop van $L_2 - L_1$ dat met UNIBEST is berekend het evenwicht (W) twee keer. Een dergelijk verloop is met vergelijking 4.1 niet goed te benaderen, omdat het verloop van $L_2 - L_1$ dat met vergelijking 4.1 wordt berekend altijd exponentieel naar de waarde van 'W' gaat en deze waarde nooit snijdt.
- Het verloop van $L_2 - L_1$ dat met UNIBEST is berekend voor de suppleties bovenin bij $z_g = -6,5$ m, is de eerste 85 dagen horizontaal en daarna gaat het verloop (exponentieel) naar 'W'. Het duurt dus ongeveer 85 dagen voordat de verstoring invloed heeft op de onderste laag. Een verklaring voor deze 'vertraging' is dat het zandtransport door $z_g = -6,5$ m niet direct reageert op een verstoring (suppletie) die 2,5 m hoger is aangebracht. Het begintijdstip van de berekening met vergelijking 4.1 wordt (voor zowel sb50 als sb100) verschoven naar 85 dagen. Hierdoor kan het verloop van $L_2 - L_1$ dat met UNIBEST is berekend wel goed worden benaderd.
- Bij de profielen met de suppleties onderin met $z_g = -1,5$ m is er geen vertraging in het verloop van $L_2 - L_1$ dat door UNIBEST is berekend. Dit is opvallend want in dit geval is de afstand tussen de verstoring en de laaggrens ook 2,5 m, maar er is geen vertraging in het verloop zoals dat wel het geval is bij $z_g = -6,5$ m en suppleties boven in het profiel.
- Voor zowel de suppleties bovenin als de suppleties onderin is er bij $z_g = -1,5$ m vanaf het begin ($t = 0$) invloed op het verloop van $L_2 - L_1$.

- Het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend voor de profielen met de suppleties bovenin lijkt bij een lagenindeling met $z_g = -1,5$ m naar het evenwicht te gaan, maar als het evenwicht bijna wordt bereikt buigt het verloop af. Hierdoor is het eerste deel (tot ongeveer $t = 100$ dagen) redelijk goed met vergelijking 4.1 te volgen; daarna kan het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend niet meer goed worden benaderd met vergelijking 4.1.
- Bij de suppleties onderin bij $z_g = -1,5$ m is het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend het eerste gedeelte redelijk steil; na ongeveer 100 dagen wordt het verloop veel flauwer. Hierdoor blijft de waarde van L_2-L_1 ver van de waarde van 'W' (het evenwicht) verwijderd. Dit verloop van L_2-L_1 is niet goed te benaderen met vergelijking 4.1.

Ontgravingen

Bijlage C.3b laat het verloop van L_2-L_1 ten gevolge van verschillende ontgravingen zien voor zowel een lagenindeling met $z_g = -6,5$ m als voor $z_g = -1,5$ m. Opvallend zijn de overeenkomsten met het verloop van L_2-L_1 ten gevolge van de suppleties bij de zelfde lagenindelingen. Het grootste verschil is dat het verloop van L_2-L_1 bij de ontgravingen ongeveer het gespiegelde is van het verloop van L_2-L_1 bij de suppleties (gespiegeld om 'W'). Verder valt op:

- Het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend voor de ontgravingen bovenin, bij $z_g = -6,5$ m kan redelijk worden gevolgd met vergelijking 4.1 als er vanaf ongeveer $t = 95$ dagen wordt gerekend.
- Het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend voor de profielen met ontgravingen onderin, bij $z_g = -6,5$ m snijdt 'W' twee keer. Het verloop is daardoor niet goed te volgen met vergelijking 4.1.
- Het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend voor profielen met ontgravingen onderin, bij $z_g = -1,5$ m gaat zonder vertraging naar 'W'. Toch is er op het tijdstip $t = 0$ een verticale afstand van 2,5 m tussen de verstoring en de laaggrens.
- Het verloop van L_2-L_1 van de ontgravingen onderin kan met een lagenindeling met $z_g = -1,5$ m niet goed met vergelijking 4.1 worden benaderd.
- Het verloop van L_2-L_1 voor profielen met ontgravingen bovenin bij $z_g = -1,5$ m gaat eerst naar het evenwicht en buigt daarna af.
- Bij de ontgravingen onderin bij $z_g = -1,5$ m blijft de waarde van L_2-L_1 ver van 'W' verwijderd. Hierdoor is het verloop van L_2-L_1 niet goed met vergelijking 4.1 te volgen.

Versteilingen en verflauwingen

Tenslotte worden ook de resultaten van versteilingen en verflauwingen getoond in bijlage C.3c. Hierbij valt op dat:

- Het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST voor versteilingen en verflauwingen van het evenwichtsprofiel aan het eind van de simulatieperiode (300 dagen) nog ver van het evenwicht is verwijderd. Dit geldt voor zowel de lagenindeling met $z_g = -6,5$ m als de lagenindeling met $z_g = -1,5$ m.
- Het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST voor de versteilde en verflauwde profielen is redelijk goed te benaderen met vergelijking 4.1.
- Het verloop dat met UNIBEST is berekend voor versteilingen van het profiel lijkt bij de lagenindeling met $z_g = -1,5$ m niet tot 'W' te naderen, maar tot een andere

waarde. Dit verloop is met vergelijking 4.1 niet goed te benaderen, omdat het verloop van L_2-L_1 dat met vergelijking 4.1 is berekend wel tot 'W' nadert.

- Het verloop van L_2-L_1 voor flw110 dat is berekend met UNIBEST bij $z_g = -1,5$ m is niet met vergelijking 4.1 benaderd, omdat het verloop al in de eerste 75 dagen twee keer het evenwicht snijdt. Het verloop van L_2-L_1 voor flw125 bij $z_g = -1,5$ m is daarentegen wel redelijk goed te benaderen met vergelijking 4.1.

In de meeste gevallen is het verloop van L_2-L_1 (dat met UNIBEST is berekend) niet goed met vergelijking 4.1 te benaderen als een lagenindeling met $z_g = -6,5$ m of een lagenindeling met $z_g = -1,5$ m wordt gebruikt. Een mogelijke oorzaak is dat de laagdikte van één laag (2 m) erg klein is in verhouding met de andere laag (7 m). Een verandering van het volume van de smalle laag heeft een grote invloed op de lengte van deze laag en dus ook op de waarde van L_2-L_1 . Een verandering van het volume van de dikkere laag heeft daarentegen veel minder invloed op de waarde van L_2-L_1 . Opvallend is dat het verloop van L_2-L_1 voor suppleties veel lijkt op het (gespiegelde) verloop van L_2-L_1 voor ontgravingen bij deze lagenindelingen.

7.3 dwarstransportcoëfficiënten

Bij zowel $z_g = -6,5$ als $-1,5$ m zijn er veel waarden van de standaardafwijking die groter zijn dan 10% van de bijbehorende waarden van $[W-(L_2-L_1)]$. Dit is vooral het geval wanneer een verstoring tegen de grens aanligt. Bijvoorbeeld voor $z_g = -6,5$ m is vooral bij verstoringen onderin (so en oo) het verschil (standaardafwijking) tussen het verloop van L_2-L_1 dat is berekend met UNIBEST en het verloop dat met vergelijking 4.1 is berekend erg groot. Dit blijkt ook uit de figuren van de bijlagen C.3a en C.3b (zie ook paragraaf 7.2).

Voor de verstoringen waarbij de waarden van 'q' niet te ver uit elkaar liggen is voor deze lagenindelingen de gemiddelde waarde van 'q' bepaald. Bij $z_g = -6,5$ m zijn de gemiddelde waarden van 'q' voor:

- suppleties bovenin: $q_{gem} = 0,0099$ m/dag
- ontgravingen bovenin: $q_{gem} = 0,0089$ m/dag
- versteilingen: $q_{gem} = 0,0055$ m/dag
- verflauwingen: $q_{gem} = 0,0054$ m/dag.

Voor suppleties onderin en ontgravingen onderin is de waarde van ' q_{gem} ' niet bepaald, omdat het verschil tussen minimale waarde van 'q' en maximale waarden van 'q' erg groot is. Ook de fout (standaardafwijking) is in deze gevallen erg groot.

Bij $z_g = -1,5$ m zijn de waarden van ' q_{gem} ' voor:

- ontgravingen bovenin: $q_{gem} = 0,0556$ m/dag
- suppleties onderin: $q_{gem} = 0,0103$ m/dag
- ontgravingen onderin: $q_{gem} = 0,0095$ m/dag
- versteilingen: $q_{gem} = 0,0103$ m/dag

Voor suppleties bovenin het profiel en voor verflauwingen van het profiel zijn de waarden van ' q_{gem} ' niet bepaald, omdat het verschil tussen de maximum en minimum waarden van 'q' in deze gevallen te groot is.

Uit de gemiddelde waarden van 'q' en de bijlagen D.4 en D.5 blijkt:

- Voor een lagenindeling met $z_g = -6,5$ m zijn de waarden van 'q' voor suppleties bovenin en ontgravingen bovenin ongeveer gelijk. De waarden van 'q' zijn voor deze verstoringen en bij deze lagenindeling erg klein in vergelijking met de waarden

van 'q' die met andere lagenindelingen zijn bepaald. In dit geval liggen de waarden van 'q' in de buurt van $q = 0,0095$ m/dag.

- De waarden van 'q' voor versteilingen en verflauwingen zijn ongeveer gelijk bij een lagenindeling met $z_g = -6,5$ m/dag, maar erg klein namelijk $q_{gem} = 0,0054$ m/dag.
- Bij $z_g = -1,5$ m zijn de waarden van 'q' voor suppleties onderin, ontgravingen onderin en versteilingen ongeveer gelijk. Voor deze gevallen liggen de waarden van 'q' bij $q = 0,01$ m/dag. De waarden voor de verflauwingen zijn hierbij niet meegenomen omdat de betrouwbaarheid erg klein lijkt.
- Voor ontgravingen bovenin bij $z_g = -1,5$ m zijn de waarden van 'q' (veel) groter dan de waarden van 'q' voor de andere verstoringen; $q_{gem} = 0,0556$ m/dag.

Om een goede vergelijking te maken tussen de verschillende lagenindelingen wordt in hoofdstuk 8 gerekend met een karakteristieke tijdschaal, waarin de invloed van de verschillende laagdiktes wordt verwerkt. Wel blijkt dat hoe verder de laaggrens uit het midden van het lagensysteem wordt gelegd hoe groter de waarde van standaardafwijking wordt. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de ligging van de verstoringen, want de verstoringen (suppleties en ontgravingen) zijn zodanig aangebracht dat deze grenzen aan $z_g = -4$ m. Het is ook mogelijk dat de standaardafwijking toeneemt doordat de ene laagdikte van één laag groter is dan de laagdikte van de andere laag. Dit lijkt echter niet waarschijnlijk omdat de laagdikte van de smalste laag nog altijd aanzienlijk is namelijk: 2 m.

8. EVALUATIE

8.1 overzicht van de resultaten

De invloed van de lagenindeling op de waarde van 'q' is onderzocht door de grens tussen de lagen op verschillende dieptes (z_g) te leggen. Door de diepte van deze laaggrens te variëren, verandert ook de verhouding tussen de (twee) laagdiktes. Om de invloed van de verschillen in laagdikte te verrekennen, wordt in plaats van 'q' gebruikt gemaakt van de karakteristieke tijdschaal (T_k), zoals in paragraaf 4.1 is behandeld. De waarde van 'q' kan worden omgerekend naar ' T_k ' volgens vergelijking 4.2:

$$T_k = \frac{1}{qD} = \frac{1}{q} \frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)} \text{ (in dagen)}$$

De waarde van ' T_k ' is dus omgekeerd evenredig aan de waarde van 'q'. In bijlage D.6a is voor elke verstoring deze karakteristieke tijdschaal berekend. In de figuren 8.1a, b en c zijn als voorbeeld de waarden van ' T_k ' tegen de diepte van de laaggrens uitgezet. In de figuren 8.1a en b zijn de waarden van ' T_k ' afgebeeld voor respectievelijk suppleties en ontgravingen van 75 cm dik. In figuur 8.1c zijn de waarde van ' T_k ' uitgezet voor een versteiling en een verflauwing, met roosterafstanden van respectievelijk 8,5 m en 12 m. Deze verstoringen zijn gebruikt, omdat ze representatief zijn voor het type verstoring. Hoewel per verstoring maar 5 punten zijn bepaald kan er uit de figuren toch een beeld worden gekregen van het globale verloop over de diepte.

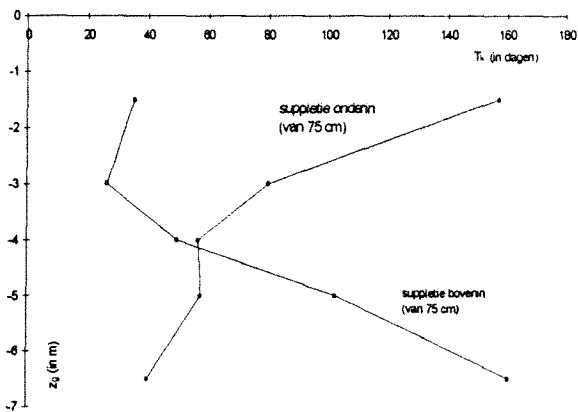


fig. 8.1a T_k voor suppleties

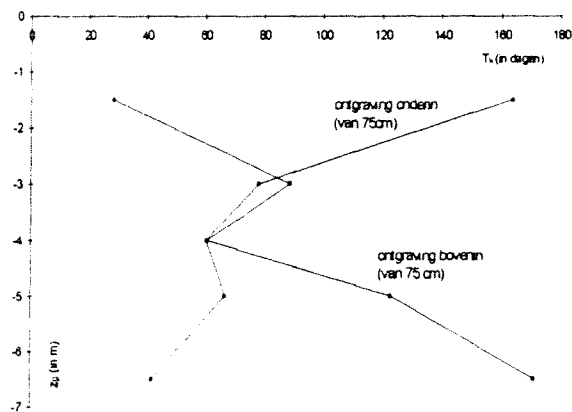


fig. 8.1b T_k voor ontgravingen

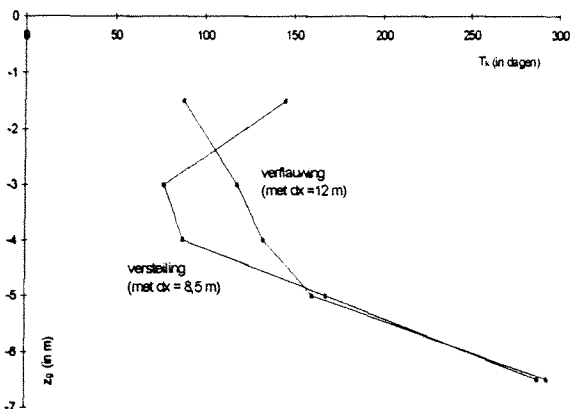


fig. 8.1c T_k voor versteilingen en verflauwingen

Uit de figuren blijkt:

- Bij suppleties onderin en bij ontgravingen onderin zijn de waarden van 'T_k' het grootst als de laaggrens bovenin het lagensysteem ligt (z_g = -1,5 en -3 m). Bij alle andere verstoringen zijn de waarden van 'T_k' het grootst als de laaggrens bovenin ligt (z_g = -6,5 of -5 m).
- De waarden van 'T_k' voor versteilingen en verflauwingen van het evenwichtsprofiel zijn in het algemeen veel groter dan profielen met 'lokale' verstoringen (suppleties en ontgravingen). Bij z_g = -6,5 m zijn de karakteristieke tijdschalen voor versteilingen en verflauwingen zelfs net zo groot als de simulatietijd (300 dagen).

De gemiddelde waarden van de karakteristieke tijdschalen over de verschillende lagenindelingen zijn berekend en uitgezet in de tabel van bijlage D.6b. Uit deze tabel blijkt dat de waarde van 'T_k' (zoals verwacht) bijna niet verandert als het volume van de verstoringen wordt gevarieerd. Tabel 8.2 laat per type verstoring de gemiddelde waarden van 'T_k' over het volume van de verstoringen zien. Voor de gemiddelde waarden van 'T_k' in de laatste kolom van tabel 8.2 zijn de waarden van 'T_k' bij z_g = -6,5 m en z_g = -1,5 m niet meegenomen. Door deze waarden niet mee te nemen in het gemiddelde kan er onderscheid worden gemaakt tussen verstoringen die zeewaarts (↓) gericht transport veroorzaken en verstoringen die landwaarts (↑) gericht transport veroorzaken.

	Over totaal	over: z _g = -3,-4 en -5 m
sb	74,4 d	59,0 d ↓
so	80,9 d	64,2 d ↑
oo	82,4 d	68,5 d ↓
ob	95,7 d	91,6 d ↑
stl	133,1 d	95,5 d ↓
flw	134,1 d	111,1 d ↑

tab. 8.2 gemiddelde waarden van T_k

Uit tabel 8.2 blijkt:

- Bij suppleties in het profiel gaat het verloop van L₂-L₁ in het algemeen sneller naar het evenwicht dan bij ontgravingen of veranderingen van de helling van het profiel. Dit blijkt uit de kleinere waarden van 'T_k' en dus grotere waarde van 'q' bij de suppleties.
- bij verstoringen die zeewaarts gericht transport (↓) veroorzaken gaat het verloop van L₂-L₁ sneller naar het evenwicht dan bij verstoringen die landwaarts gericht transport (↑) veroorzaken (T_k[sb] < T_k[so], T_k[oo] < T_k[ob] en T_k[stl] < T_k[flw]).

Een verstoring kan worden beschreven door het type namelijk: suppletie, ontgraving, versteiling of verflauwing en de richting van het transport door de laaggrens. De richting van het transport wordt bepaald door het verschil tussen 'W' en L₂⁰ - L₁⁰. Ten gevolge van een verstoring waarbij W > L₂⁰ - L₁⁰, zal er zeewaarts gericht transport zijn. Ten gevolge van een verstoring waarbij W < L₂⁰ - L₁⁰, zal er landwaarts gericht transport zijn.

Als de waarden van 'q' en 'T_k' die bij dit onderzoek zijn berekend worden vergeleken met waarden die zijn berekend uit meetgegevens, dan blijkt dat de waarden die bij dit onderzoek zijn gevonden tamelijk veel afwijken. Bijvoorbeeld de waarden die door Groenewoud (1996) zijn berekend aan de hand van metingen die zijn verricht op de kust van Terschelling. Deze metingen zijn verricht nadat er suppleties op de kust werden aangebracht. Bij het onderzoek door Groenewoud is gebruik gemaakt van een 3-lagen-model waarbij één laaggrens op -3 m ligt en de andere grens op -6 m. De suppleties waren ongeveer aangebracht in het gebied tussen de twee laaggrenzen. De waarden van 'T_k' die door Groenewoud zijn bepaald zijn voor de bovenste laaggrens 1,5 jaar en voor de onderste laaggrens 5 jaar. Deze waarden zijn dus 5 tot 50 keer zo groot als de waarden van 'T_k' uit de tabellen van bijlage D.6. Hierbij is vooral gekeken

naar de waarden van ' T_k ' voor suppleties onderin, omdat deze suppleties het meest overeenkomen met de suppleties die op de kust van Terschelling zijn aangebracht. Het grote verschil tussen de waarden van ' T_k ' (en ' q ') wordt vooral veroorzaakt door de verschillende golfvelden, want bij het onderzoek van Groenewoud is gebruik gemaakt van metingen uit de natuur, waarbij de gemiddelde significante golfhoogte in de orde van 1,5 m ligt, met een periode van ongeveer 8 s. Voor de simulaties met UNIBEST is een constante significante golfhoogte van 3 m gebruikt met een (piek)periode van 10 s. Verder is er bij het onderzoek van Groenewoud invloed van het getij en ook de zandparameters wijken af van de zandparameters die bij UNIBEST zijn gebruikt.

8.2 geldigheid van resultaten

Bij de resultaten uit het onderzoek zijn een aantal onzekerheden zoals:

1) UNIBEST is een benadering van de werkelijkheid, waarbij een aantal processen die in werkelijkheid plaatsvinden, niet worden meegenomen in de modellering. Hierdoor zal de ontwikkeling van de profielen niet precies hetzelfde zijn zoals in werkelijkheid de ontwikkeling zal zijn onder dezelfde omstandigheden. De belangrijkste beperkingen van UNIBEST en de gebruikte invoer zijn:

- Het evenwichtsprofiel dat met UNIBEST is bepaald is niet volledig in evenwicht. Maar als er langer wordt gesimuleerd treden er geen grote veranderingen meer op in het profiel. Als er een verstoring op het evenwichtsprofiel wordt aangebracht blijkt dat de vorm van een dergelijk profiel weer naar het evenwichtsprofiel terug gaat. Er kan dus worden gesteld dat het gebruikte evenwichtsprofiel een redelijke benadering is van het evenwichtsprofiel.
- De constante hoeveelheid zand die per dag het profiel binnen komt, wordt verrekend in het evenwichtstransport. Toch kan dit transport enige invloed hebben op de ontwikkeling van een profiel dat ontstaat nadat een verstoring op het evenwichtsprofiel is aangebracht.
- De transporten gedurende de eerste tijdstappen van de simulaties wijken af van de verdere ontwikkeling van de transporten door (wellicht) een vorm van inspeelgedrag. Dit verschijnsel lijkt echter weinig invloed te hebben op de ontwikkeling van de profielen.
- De roosterafstanden zijn vrij groot, omdat er maar maximaal 150 roosterpunten kunnen worden gebruikt.
- De situatie die wordt gemodelleerd is niet realistisch, omdat een constant golfveld met $H_s = 3$ m in werkelijkheid nooit 300 dagen lang aanwezig zal zijn. Hierdoor is het ook niet mogelijk om de uitkomsten te controleren met meetgegevens.

2) Naast de beperkingen van UNIBEST zijn er ook een beperkingen aan de methode die is gebruikt voor het bepalen van de dwarstransportcoëfficiënten.

- Bij het bepalen van de waarden voor ' q ' (en T_k) uit het verloop van L_2-L_1 wordt de standaardafwijking vergeleken met de grootte van de verstoring, uitgedrukt in waarden van $[W-(L_2-L_1)]$ op $t = 0$. In bijlage D, zijn de waarden waarbij het verschil groter is dan 10% van $[W-(L_2-L_1)]$ aangegeven. In het geval van $z_g = -4$ m overschrijdt geen enkele waarde deze 10%. Bij de vier andere lagenindelingen is er bij elke lagenindeling minimaal één verstoring, waarbij deze grens van 10% wordt overschreden. Deze waarden zijn wel in de verdere beschouwing meegenomen, maar de betrouwbaarheid daarvan is beperkt.
- Voor het bepalen van de standaardafwijking van vergelijking 4.1 ten opzichte van UNIBEST resultaten worden maar 20 tijdstippen gebruikt uit het verloop van L_2-L_1

over 300 dagen. Het lijkt echter niet nodig om meer waarden te gebruiken, omdat het verloop met deze 20 punten redelijk vast ligt (zie bijlage C).

8.3 conclusies

Het doel van het onderzoek is het bepalen van de invloed van verschillende verstoringen en lagenindelingen op de waarde van 'q' in een 2-lagen-model (zie paragraaf 2.3). Daarvoor zijn 6 verschillende verstoringen aangebracht op het evenwichtsprofiel. Daarnaast is ook het volume van deze verstoringen gevarieerd, zodat de invloed van het volume van de verstoringen kon worden onderzocht. Het evenwichtsprofiel en de ontwikkelingen van de profielen met de verschillende verstoringen zijn met UNIBEST bepaald voor een constant golfveld met $H_s = 3$ m. Op basis van de resultaten uit UNIBEST is voor iedere verstoring het verloop van L_2-L_1 bepaald. Door met vergelijking 4.1 dit verloop zo goed mogelijk te benaderen is uiteindelijk voor iedere verstoring een waarde van 'q' (en T_k) bepaald.

Een belangrijke conclusie is dat het verloop van L_2-L_1 dat met UNIBEST is berekend, in de meeste gevallen, goed kan worden benaderd met het 2-lagen-model gebaseerd op vergelijking 4.1. Aangenomen is dat de ontwikkelingen van de dwarsprofielen die zijn berekend met UNIBEST gelijk zijn aan de werkelijke ontwikkelingen van de profielen. Er kan dus worden gesteld dat het lagen-model een goed model is voor de werkelijke ontwikkeling van een dwarsprofiel.

Een nadeel van de lagen-modellen is dat de dwarstransportcoëfficiënten lastig zijn te bepalen, omdat deze coëfficiënten van veel factoren afhankelijk zijn. Uit dit onderzoek is gebleken dat bij een constant golfveld met $H_s = 3$ m de volgende factoren invloed hebben op de dwarstransportcoëfficiënt van een 2-lagen-model:

1. Bij verstoringen waarbij zeewaarts gericht transport optreedt horen grotere waarden van 'q' dan bij vergelijkbare⁽¹⁾ verstoringen die landwaarts gericht transport veroorzaken.
2. Bij suppleties horen grotere waarden van 'q', dan bij 'vergelijkbare' ontgravingen.
3. Als de helling van het profiel wordt veranderd, zijn de waarden van 'q' (ca. 2 keer) kleiner dan bij een plaatselijke verstoring in het profiel, zoals een suppletie of een ontgraving.
4. Als de verstoring over meerdere (in dit geval beide) lagen is verdeeld, kan het verloop van L_2-L_1 tamelijk veel afwijken van het exponentiële verloop zoals dat met vergelijking 4.1 wordt berekend. Het is dus van belang om de lagenindeling aan te passen aan de verstoring (of andersom).
5. Als de laaggrens op een bepaalde afstand onder een verstoring ligt, is er een 'vertraging' in het verloop van L_2-L_1 . Dit betekent dat het verloop van L_2-L_1 in de eerste dagen horizontaal is. Als de laaggrens op een bepaalde afstand boven een verstoring ligt, dan is er geen (of nauwelijks) vertraging in het verloop van L_2-L_1 .

Informatie over de plaats van de laaggrens (z_g) ten opzichte van de plaats van de verstoring kan van belang zijn. Als de laaggrens in de verstoring ligt, zal in een aantal gevallen het verloop van L_2-L_1 niet exponentieel zijn. Als de laaggrens een bepaalde afstand onder de verstoring ligt, dan zal het verloop van L_2-L_1 de eerste dagen horizontaal zijn. In beide gevallen kan het werkelijke verloop van L_2-L_1 (met UNIBEST

⁽¹⁾ met 'vergelijkbare' wordt hier bedoeld dat de invloed van de overige factoren zoals het type verstoring en de hoogte van de verstoring gelijk zijn of zijn verrekend in de waarde van L_2-L_1 .

berekend) minder goed met het lagen-model (vergelijking 4.1) worden benaderd dan wanneer de laaggrens direct aan de verstoring grenst. De meest betrouwbare resultaten worden dan ook verkregen als de laaggrens aan de verstoring grenst.

Bij $z_g = -4$ m liggen de waarden van 'q' bij suppleties en ontgravingen tussen 0,035 en 0,05 m/dag. Als bijvoorbeeld een suppletie is aangebracht, waardoor er zeewaarts gericht transport optreedt, dan zal de waarde van 'q' in de buurt van de 0,05 m/d liggen. Als daarentegen een ontgraving wordt aangebracht waardoor er landwaarts gericht transport ontstaat, zal de waarde van 'q' in de buurt van 0,035 m/d liggen. Bij andere combinaties van deze twee factoren liggen de waarden van 'q' tussen 0,035 en 0,05 m/dag.

Bij veranderingen van de helling van het profiel liggen de waarden van 'q' ($z_g = -4$ m) tussen 0,015 en 0,03 m/d. De grootste waarden van 'q' horen bij de versteilingen, omdat daarbij zeewaarts transport optreedt. Als de laaggrens wordt verschoven blijkt dat wanneer de laaggrens naar boven wordt verschoven dat de waarden van ' T_k ' afnemen. Een afname van ' T_k ' komt overeen met een (relatieve) toename van 'q'. Als de laaggrens lager wordt gelegd nemen de waarden van ' T_k ' toe (figuur 8.1c). De transporten door de laaggrens zijn bovenin het profiel dus groter, dan onderin het profiel.

De keuze van de lagen heeft op verschillende manieren invloed op de waarden van de coëfficiënten en de modellering namelijk:

- Er kunnen afwijkende resultaten ontstaan als de laaggrens niet aan de verstoring grenst. Dit is meestal duidelijk aan het verloop van L_2 - L_1 te zien, zoals bijvoorbeeld het snijden van de waarde van 'W' (zie bijlage C.2a).
- Als vergelijking 4.1 wordt gebruikt moet het gebied dat in lagen wordt verdeeld gesloten zijn, of op de grenzen van het lagensysteem moeten de transporten bekend zijn. Deze transporten kunnen in een aangepaste vergelijking worden verrekend, zoals in bijlage A.6 wordt toegelicht.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de belangrijkste factoren die invloed hebben op de waarde van 'q': de richting van het transport, het type verstoring en de lagenindeling zijn. De invloed van deze factoren op de waarde van 'q' kan met de resultaten van dit onderzoek kwalitatief worden beschreven. Het lijkt niet mogelijk om een (eenvoudige) algemene methode te ontwikkelen, waarmee de waarde van 'q' kan worden bepaald. Vooral omdat bij een dergelijke methode ook de invloeden van de variërende golfhoogte en eventueel meerdere lagen moeten worden meegenomen. Het is wel mogelijk om voor een (willekeurig) gedeelte van een kust de waarde van 'q' te bepalen met behulp van een computerprogramma (bijvoorbeeld UNIBEST).

8.4 aanbevelingen en verwachtingen

Het lijkt niet mogelijk om een algemene methode te ontwikkelen waarmee een betrouwbare schatting kan worden gemaakt van de dwarstransportcoëfficiënten voor een willekeurig gedeelte van een kust. De reden hiervoor is dat er erg veel factoren invloed hebben op de ontwikkeling van het dwarsprofiel. Als er toch verder onderzoek zal worden verricht naar een dergelijke methode dan is het aan te bevelen om een ander computerprogramma te gebruiken voor het bepalen van het evenwichtsprofiel. Het uiteindelijke evenwichtsprofiel dat bij dit onderzoek is gebruikt is niet volledig in evenwicht en een deel van het profiel lijkt niet erg realistisch. Het is misschien mogelijk

om met een aangepaste versie van UNIBEST te werken of met een ander model waarmee een evenwichtsprofiel eenvoudiger kan worden bepaald.

Invloed van het volume van de verstoring

Uit dit onderzoek is gebleken dat in de meeste gevallen de invloed van het volume van de verstoringen op de waarde van 'q' te verwaarlozen is. Bij een vervolgonderzoek is het dus niet nodig om het volume van de verschillende verstoringen te variëren.

Invloed van lagenindeling

Als de lagenindeling wordt aangepast aan de plaats en grootte van de verstoring(en) is het modelleren met lagen-modellen betrouwbaarder dan wanneer een willekeurige lagenindeling wordt gebruikt. Bij de lagen-modellering wordt er vanuit gegaan dat de verstoring vanaf het begin gelijkmatig over de laag is verdeeld. In werkelijkheid zal een verstoring die bijvoorbeeld alleen het in het onderste deel van een laag is aangebracht niet vanaf het begin invloed hebben op het volume van een bovenliggende laag. Dit uit zich onder andere in een horizontaal verloop van L_2-L_1 gedurende de eerste tijd van de simulatie. Een dergelijk verloop kan worden voorkomen door een meer-lagen-model toe te passen, waardoor de afstand tussen de verstoring en de laaggrens wordt verkleind

Meer-lagen-model

Door meer lagen te gebruiken kan de ontwikkeling van het profiel nauwkeuriger worden bepaald. Daarnaast wordt ook het transport op meerdere dieptes berekend. Als er meer lagen worden gebruikt zullen er ook meer waarden van 'q' moeten worden bepaald. Het bepalen van deze waarden zal een probleem zijn, omdat de waarden van 'q' onderling afhankelijk zijn. Dit betekent dat er niet één optimale waarde van 'q' moet worden bepaald, maar er moet een optimale combinatie van de waarden van 'q' worden bepaald. In bijlage A.6 wordt als voorbeeld een meer-lagen-model besproken.

Invloed van verschillende golven

Het bepalen van de invloed van verschillende golfvelden lijkt behoorlijk veel werk, vooral als het probleem van het bepalen van het evenwichtsprofiel blijft bestaan. Voor elk golftype moet in principe een ander evenwichtsprofiel worden bepaald. Een oplossing hiervoor is om te werken met een (jaarlijks) gemiddeld evenwichtsprofiel. Op basis van een dergelijk evenwichtsprofiel kan dan ook voor het variërende golfveld één waarde van 'q' worden bepaald of één combinatie in het geval van meerdere lagen.

Langere termijnen modelleren

In dit rapport is het verloop van L_2-L_1 over 300 dagen bepaald, maar voor het bepalen van lange termijn ontwikkelingen zal het vooral interessant zijn om te weten hoe een (gemiddeld) profiel over een heel jaar eruit ziet. Om met het lagen-model de profielontwikkeling goed te kunnen bepalen, moet wel de juiste waarden van 'q' worden gebruikt. Om deze coëfficiënten te bepalen, is het eenvoudiger om te werken met een kortere simulatietijd.

Gebruikte symbolen en termen

symbolen

d_i	dikte laag 'i'	m
D_i	$\frac{d_i + d_{i+1}}{d_i * d_{i+1}}$	1/m
H_s	significante golfhoogte	m
L_i	lengte van laag 'i'	m
q, q_i	dwarstransportcoëfficiënt voor 2- en meer-lagen-model	m/d
S, S_i	transport door grens voor 2- en meer lagen model	m ³ /d/m
T_p	piekperiode	s
t	tijd	d
Δt	tijdstap	d
W, W_i	L_2-L_1 of $L_{i+1}-L_i$ voor het evenwichtsprofiel	m
x	afstand vanaf zeerand	m
Δx	roosterafstand	m
z	diepte met waterniveau op $z = 0$ m	m
z_g	diepte van de grens tussen de twee lagen	m

In de tekst, de tabellen en grafieken wordt gebruikt gemaakt van aanduidingen voor het type verstoring, waarbij op de stippellijn de aanduiding staat voor de grootte van de verstoring. Hierbij betekent:

- flw... verflauwing
- ob... ontgraving bovenin
- oo... ontgraving onderin
- sb... suppletie bovenin
- so... suppletie onderin
- stl... verstelling

In het geval van flw... en stl.. geeft het getal de veranderde roosterafstanden weer in meters, maar als het laatste cijfer een 5 is, staat die 5 voor een halve meter. De oorspronkelijke roosterafstand is 10 meter, dus flw125, betekent dat de rooster afstand is vergroot naar 12,5 m, waardoor het profiel dus flauwer wordt. Bij de andere verstoringen staat het getal voor de dikte van de verstoring in centimeters.

termen

beginprofiel	= profiel dat als invoer dient voor een simulatie met UNIBEST
evenwichtsprofiel	= profiel dat niet (of nauwelijks) meer verandert onder de heersende condities
evenwichtstoestand	= situatie als het profiel in evenwicht is
laaggrens	= de grens tussen twee lagen van het lagen-model
lagenindeling	= de plaats van de lagen
lagensysteem	= gedeelte van het profiel dat met 2 lagen wordt gemodelleerd
simulatieperiode	= het aantal dagen dat met één run van UNIBEST wordt berekend
simulatietijd	= de tijd die wordt gesimuleerd door meerdere runs achter elkaar uit te voeren
zeerand	= het meest zeewaarts gelegen (en diepste) punt van het profiel

LITERATUURLIJST

Literatuur waarvan gebruik is gemaakt voor het samenstellen van dit rapport:

- Bakker, W.T., 1969
Berekening van het langstransport door golven met de methode van evenwijdige dieptelijnen
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishoudig en Waterbeweging
- Delft Hydraulics, 1993
UNIBEST User Manual (version 1.10)
- Groenewoud, M.D., 1996
Three-line modelling of the Terschelling supply
Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek
- Swart, D.H. 1974
Offshore Sediment Transport and equilibrium Beach Profile
Proefschrift, Technische Universiteit Delft
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1995
Basisrapport Zandige Kust (behorende bij de leidraad zandige kust)
Rijkswaterstaat, Dienst weg en Waterbouwkunde

Aanvullende informatie is te vinden in bijvoorbeeld:

- Steetzel, H.J., 1993
Cross-shore transport during storm surges
Proefschrift, Technische Universiteit Delft
 - Massie, W.W., 1976
Coastal engineering: volume I - Introduction
Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek
 - Velden, E.T.J.M. van der, 1989
Coastal engineering: volume II
Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek
-

BIJLAGE A. BESCHRIJVINGEN

INHOUD

A.1 morfologische modellen	A.2
Beschrijving van de verschillende modellen die gebruikt worden voor het modelleren van morfologische processen.	
A.2 toelichting UNIBEST-TC	A.4
waarbij het programma (UNIBEST), dat wordt gebruikt in het onderzoek verder wordt toegelicht	
A.3 (2-)lagen-modellen	A.6
Beschrijving van de vergelijkingen en afleidingen die gebruikt worden bij het modelleren met lagen-modellen.	
A.4 berekening van inhoud van de lagen	A.9
Beschrijving van de methode die wordt gebruikt om de inhoud van de lagen te bepalen voor de profielen die met UNIBEST zijn bepaald.	
A.5 model voor het bepalen van q	A.10
Met de vergelijking die is afgeleid in bijlage A.2, is een model ontwikkeld, dat het verloop van L_2-L_1 bepaalt. Dit verloopt wordt vergelekt met het verloop van L_2-L_1 dat is bepaald met UNIBEST (bijlage A.3).	
A.6 rest-transporten en meer-lagen-model	A.12
Als er bij de toepassing van een lagen-model transport is door de buitenste grenzen van het model dan kunnen deze (rest-)transporten worden verrekend zoals in deze bijlage is beschreven. Verder wordt als voorbeeld een meer-lagen-model beschreven, waaruit blijkt dat het bepalen van de dwarstransportcoëfficiënten voor een meer-lagen-model lastig is.	

BIJLAGE A.1 morfologische modellen

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van een morfologische modellen, waarbij een onderverdeling is gemaakt naar verschillende soorten modellen en model onderdelen. Ook wordt het aantal (horizontale) dimensies aangegeven. Een meer uitgebreide lijst is te vinden in bijlage IV van 'Basisrapport Zandige Kust' (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen - juli 1995 -).

Aan de hand van het aantal dimensies wordt er onderscheid gemaakt tussen:

- Puntmodellen (0-D)
- Raai-, stroombuis- en lijn modellen (1-D)
- Veldmodellen (2-D)

Binnen deze drie categorieën modellen kan er verder onderscheid worden gemaakt naar de mate waarin de verticale dimensie wordt gemodelleerd. Uitgaande van het standaard model (zonder verticale informatie) kan ook de verticale dimensie, al dan niet volledig, worden gemodelleerd. De tussenvorm wordt aangeduid met het voorzetsel quasi (q). Omdat er geen voorbeelden van puntmodellen zijn opgenomen in deze bijlage worden alleen de gebruikte vormen van 1-D en 2-D modellen behandeld.

Gebruikte vormen van raai-, stroombuis- en lijnmodellen zijn:

- ◆ Standaard eendimensionaal horizontaal lijnmodel = 1-D
- ◆ Raaimodel met verticale informatie = q1-DV
- ◆ Raai- of stroombuismodel¹ met volledig vlak = 1-DV

Vormen van veldmodellen zijn:

- ◆ Standaard tweedimensionaal horizontaal veldmodel = 2-DH
- ◆ Veldmodel met verticale informatie = q3-DV
- ◆ Volledig veldmodel = 3-D

Golfmodellen:

- ENDEC; raai-model (1-D), werkt met het 'golfhoogte-afname-model' volgens Battjes-Janssen en wordt gebruikt voor bepalen van golfhoogte-afname van diep naar ondiep water en wordt in veel morfologische modellen ingebouwd.
- HISWA; veldmodel (2-DH), zodat richtingspreiding kan worden bepaald, overig als ENDEC. Wordt gebruikt voor het bepalen van het golfklimaat op ondiep water.

Stromingsmodellen:

- WAQUA; veldmodel (2-DH), rechthoekig of kromlijinig model, dat stroomsnelheden en/of waterstanden voor elk roosterpunt bepaald (gedurende een gehele getijcyclus). In geval van het kromlijnige model kan ook golfgedreven stroming worden bepaald.
- TRISULA; veldmodel (3q-DV / 2-DH), overig net als WAQUA (kromlijinig)

Transport modellen:

- UNIBEST-LT; raai-model (1-D), zie bijlage A.2
- SUSTRA; veldmodel (2-DH), diepte-geïntegreerd model (tijdafhankelijk).
- SUSTIM; veldmodel (q3-DV), voor complexe gevallen (tijdafhankelijk; gehele getijcyclus in één keer doorrekenen).

¹ Een raaimodel heeft betrekking op de modellering van een kustrai (loodrecht op de kust), een lijnmodel heeft betrekking op het gedrag van de kustlijn en een stroombuismodel beschrijft het gedrag van het profiel in de as van een stroombuis.

- JGZ; veldmodel (3-D), wordt gebruikt voor het bepalen van transportvectoren in vooraf gedefinieerde punten (gehele getijcyclus).

Balansmodellen:

- SCOUR; veldmodel (2-DH), op basis van snelheidsveld in oude en nieuwe situatie, waarbij nieuwe bodemligging wordt geschat aan de hand van ongewijzigd transportpatroon. Wordt gebruikt voor voorspelling van erosie en aanzandingsgebieden.

Morfologische modellen:

- DUROS/DUINAF; raaimodel (1-D), bepaalt vorm van afslagprofiel op basis van o.a. hydraulische condities.
- DUROSTA; raaimodel (q2-DV), dwarstransportmodel voor profiel veranderingen tijdens extreme hydraulische condities. Maakt gebruik van ENDEC, voor de afname van de golfhoogte. Model wordt gebruikt voor het voorspellen van het effect van een stormvloed op het kustprofiel.
- UNIBEST-TC; raaimodel (q2-DV), zie bijlage A.2
- UNIBEST-CL; lijnmodel (q2-DH), zie bijlage A.2
- COMOR; veldmodel (2-DH), algemeen modellenstelsel, bestaande uit verschillende basismodellen en wordt gebruikt voor complexe morfologische problemen.

BIJLAGE A.2 Toelichting UNIBEST-TC

UNIBEST_TC is een module van het programma pakket UNIBEST, dat staat voor: UNiform BEach Sediment Transport. Het pakket bestaat uit drie modules namelijk:

- UNIBEST_LT is een raaimodel (1D) voor de berekening van langstransport ten gevolge van golfaanval en/of getijstrooming, bij evenwijdige dieptelijnen.
- UNIBEST_CL (CoastLine): is een lijnmodel (q2DH) voor het voorspellen van kustlijnontwikkeling, waarbij gebruikt wordt gemaakt van de gegevens van UNIBEST_LT.
- UNIBEST_TC (Time-dependent Cross-shore): is een raaimodel (q2DV), voor het bepalen van dwarstransporten, op basis van Bailard. Voor de golfhoogte afname wordt ENDEC gebruikt.²

UNIBEST_TC is opgedeeld in 3 subprogrammas, die apart van elkaar kunnen worden gebruikt. Met het eerste subprogramma wordt de invoer gedefinieerd en weggeschreven naar een datafile. De invoer bestaat uit het definiëren van:

- het profiel; waterniveau, roosterafstand en aantal roosterpunten
- de golfcondities; golfhoogte, -periode en -hoek en parameters voor bodemruwheid- en wrijving en voor het breken. Eventueel kan een variërend golfveld later in de tabellen worden gedefinieerd
- eventuele getijstromen; referentie diepte en snelheid
- sedimentparameters; valsnelheid, dichtheid, porositeit, inwendige wrijving en coëfficiënten voor bodem- en suspensietransport.
- runparameters; aantal tijdstappen, grootte van tijdstap en ook kunnen
- tabellen; voor het beschrijven van het profiel en eventueel voor: waterniveau, golfhoogte, -periode -en hoek en/of stroomsnelheden.
- de ASCII-uitvoer; waarin parameters waarvoor de data naar een ASCII- file wordt geschreven, zodat de data gebruikt kan worden in andere programma's.

Met de gegevens uit de invoer kan vervolgens de berekening worden gestart. Bij de berekening wordt gebruik gemaakt van verschillende modellen en/of vergelijkingen om uiteindelijk tot een morfologische beschrijving te komen. Hieronder worden de belangrijkste uitgangspunten (vergelijkingen en modellen) aangegeven:

- Voor het modelleren van golf voortplanting wordt het 'golfenergie-afname-model' van Battjes en Janssen (1978) gebruikt (is het ENDEC-model).
- De retourstroom wordt bepaald volgens Stive en Vriend (1987).
- De orbitale snelheden bij de bodem worden bepaald met het model 'RFWAVE' van Klopman (1989).
- Sedimenttransport wordt bepaald met de vergelijkingen volgens Bailard (1981).
- Voor de morfologie (veranderingen van bodemligging) wordt gebruik gemaakt van de massabalans.

Voor een meer uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar 'UNIBEST-TC manual' (Delft Hydraulics; 1993).

² Voor het onderzoek wordt alleen gebruik gemaakt van UNIBEST_TC (versie 1.0 uit maart 1992) en daarom wordt alleen deze module verder toegelicht.

Voor een numerieke beschrijving wordt gebruik gemaakt van een horizontale(x-)as, waarbij de oorsprong ligt bij het meest zeewaartse roosterpunt. De x-as wordt gedefinieerd door het aantal en de grootte van de roosterafstanden, waarbij maximaal 149 afstanden (150 roosterpunten) kunnen worden opgegeven. De onbekenden worden bepaald op de roosterpunten, behalve het bodemniveau. Het bodemniveau wordt bepaald in het midden tussen twee opeenvolgende roosterpunten. Omdat bij het beginprofiel het bodemniveau wel op de roosterpunten wordt gegeven, zal er een kleine fout worden geïntroduceerd, als het bodemniveau op de tussen liggende punten wordt bepaald door interpolatie. Voor het oplossen van de vergelijkingen van de verschillende processen, wordt gebruik gemaakt van een (4 punts) impliciet Preismann schema.

Voor het bekijken van de resultaten kan gebruik worden gemaakt van het subprogramma 'VIZ-TC'. Ook kunnen resultaten worden weggeschreven naar een ASCII- file zodat deze gegevens kunnen worden gebruikt in een spreadsheet programma. De uitvoer bestaat onder andere uit: het bodem- en waterniveau, golfhoogtes, golfgetal, fase- en groepsnelheid, turbulente energie (produktie en dissipatie), retour- en orbitale snelheid, golfenergie, dwars- en langtransport en bodemschuifspanning. Deze waarden kunnen worden bekeken of gebruikt als functie van de tijd of plaats (x).

BIJLAGE A.3 (2-)lagen-modellen

Met lagen-modellen kan het zandtransport worden berekend tussen 2 horizontale lagen in het dwarsprofiel. Het transport binnen de gekozen lagen wordt niet berekend met de lagen-modellen. Als een dwarsprofiel wordt opgedeeld in 2 lagen dan geldt:

$$S = -d_1 \frac{\Delta L_1}{\Delta t} = d_2 \frac{\Delta L_2}{\Delta t}$$

vgl. A.1

- S = transport (m³/d/m)
- d₁, d₂ = laag dikte van resp. laag 1 (boven) en laag 2 (onder) (m)
- L₁, L₂ = lengte van laag 1 en 2 (= volume/dikte) (m)
- t = de tijd (in dagen)

Vergelijking A.1 geldt alleen voor het geval er geen transport is tussen het gebied dat in lagen is verdeeld en het gebied daarbuiten. Het transport is volgens vergelijking A.1 gelijk aan de volumeverandering van één van de lagen in een bepaalde tijd. De verandering van volume van één laag levert een even grote maar tegengestelde verandering aan het volume van de andere laag. Dit geldt alleen als het gebied dat in lagen is verdeeld gesloten is.

Als een gegeven golfveld voor langere tijd op een kust inwerkt, dan zal de kust na verloop van tijd een evenwichtstoestand bereiken. Wanneer deze evenwichtstoestand wordt verstoord en het golfveld blijft constant zal het profiel weer (ongeveer) hetzelfde profiel aan nemen als in de evenwichtstoestand. Een verstoring op het evenwichtsprofiel wordt na verloop van tijd dus gelijkmatig verdeeld over het profiel, zodanig dat de vorm van het profiel weer gelijk is aan het evenwichtsprofiel. Als dit proces wordt beschreven met een lagen-model, dan zal ten gevolge van een verstoring die op het evenwichtsprofiel wordt aangebracht de waarde van 'L₂-L₁' groter of kleiner zijn dan de waarde van L₂-L₁ voor het evenwichtsprofiel. Naarmate de verstoring verder over het profiel wordt verdeeld zal de waarde van 'L₂-L₁' naderen tot de waarde van 'L₂-L₁' voor het evenwichtsprofiel. De waarde van 'L₂-L₁' voor het evenwichtsprofiel wordt verder aangeduid met 'W'. Het transport tussen laag 1 en laag 2, dat ervoor zorgt dat het profiel terug gaat naar het evenwicht kan worden berekend met (Bakker, 1969):

$$S = q[W - (L_2 - L_1)],$$

vgl. A.2

'q' is de dwarstransportcoëfficiënt met eenheid van snelheid (m/dag).

Deze vergelijking geeft aan dat het transport tussen de 2 lagen afhankelijk is van het lengteverschil van de 2 lagen, want 'W' en 'q' zijn verder constant. Dit betekent dus hoe groter het verschil tussen 'W' en L₂-L₁ is, hoe groter ook het transport tussen de lagen zal zijn.

Door vergelijking A.1 en A.2 te combineren kan een vergelijking worden afgeleid, die het exponentiële verloop van L₂-L₁ in de tijd weergeeft. De afleiding die hier wordt behandeld is gebaseerd op de afleiding, zoals die wordt beschreven in het rapport 'Offshore Sediment Transport and Equilibrium Beach Profiles (D.H. Swart; 1974) (blz. 38-39). Voor deze afleiding worden de vergelijkingen A.1 en A.2 gecombineerd tot:

$$\frac{\Delta L_1}{\Delta t} = -\frac{q}{d_1}(W - (L_2 - L_1)) \text{ en } \frac{\Delta L_2}{\Delta t} = \frac{q}{d_2}(W - (L_2 - L_1)), \text{ waaruit volgt dat}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta(L_2 - L_1)}{\Delta t} &= \frac{q}{d_2}(W - (L_2 - L_1)) - \left[\frac{-q}{d_1}(W - (L_2 - L_1)) \right] \\ &= \left(\frac{q}{d_2} + \frac{q}{d_1} \right) (W - (L_2 - L_1)) \\ &= q \frac{(d_1 + d_2)}{d_1 d_2} (W - (L_2 - L_1)) \end{aligned}$$

De term $\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$ in deze vergelijking wordt verder aangeduid met 'D', zodat:

$$\frac{\Delta(L_2 - L_1)}{\Delta t} = q * D(W - (L_2 - L_1)) \quad \text{vgl. A.3}$$

Door vergelijking A.3 te integreren ontstaat:

$$W - (L_2 - L_1) = (W - (L_2^0 - L_1^0)) * \exp(-q * D * t) \quad \text{vgl. A.4}$$

De waarde van $L_2^0 - L_1^0$ is constant en beschrijft het profiel aan het begin van de lagenmodellering. Omdat ook 'W', 'q' en 'D' constant zijn, is het verloop van $L_2 - L_1$ exponentieel in de tijd, waarbij $L_2 - L_1$ nadert tot de waarde van 'W'. De snelheid waarmee $L_2 - L_1$ tot 'W' nadert is afhankelijk van 'q' en 'D'. De waarde van 'D' is afhankelijk van de gekozen lagenindeling. In figuur A.1 is voor verschillende waarden van 'q' en $L_2^0 - L_1^0$ het verloop van $L_2 - L_1$ weergegeven. De lagenindeling is voor alle gevallen gelijk, dus ook de waarde van 'D'.

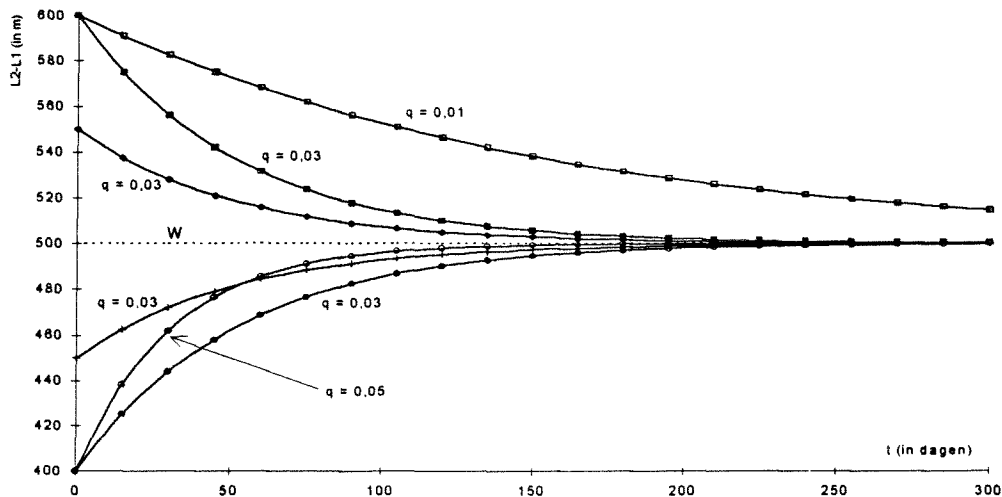


fig. A.1 voorbeelden van het verloop van $L_2 - L_1$

Duidelijk is te zien dat bij een grotere waarde van 'q' (0,05 m/dag) het verloop sneller naar 'W' gaat. Voor het onderzoek zijn 2 lagen gebruikt, zoals hierboven behandeld, maar als er meer lagen worden gebruikt komt er per laag één coëfficiënt (q_i) bij en dus ook één vergelijking. Bij 'n' lagen wordt dus op 'n-1' dieptes (grenzen) het zandtransport bepaald en zijn er dus ook 'n-1' coëfficiënten nodig. Omdat deze lagen en coëfficiënten ook invloed op elkaar hebben zal het verloop van $L_2 - L_1$ afwijken van het exponentiële verloop zoals getoond in fig. A.1. In bijlage A.5 wordt het modelleren met meerdere lagen toegelicht.

BIJLAGE A.4 Berekening van inhoud van de lagen

De uitvoer van UNIBEST, die voor het onderzoek worden gebruikt zijn de dieptes, die bij elk roosterpunt³ horen. Per roosterpunt wordt bepaald of het onder of boven een bepaalde grens ligt en ook de helling tussen 2 roosterpunten wordt bepaald. Om de methode duidelijk te maken wordt één laag behandeld, zoals afgebeeld in fig. A.3a

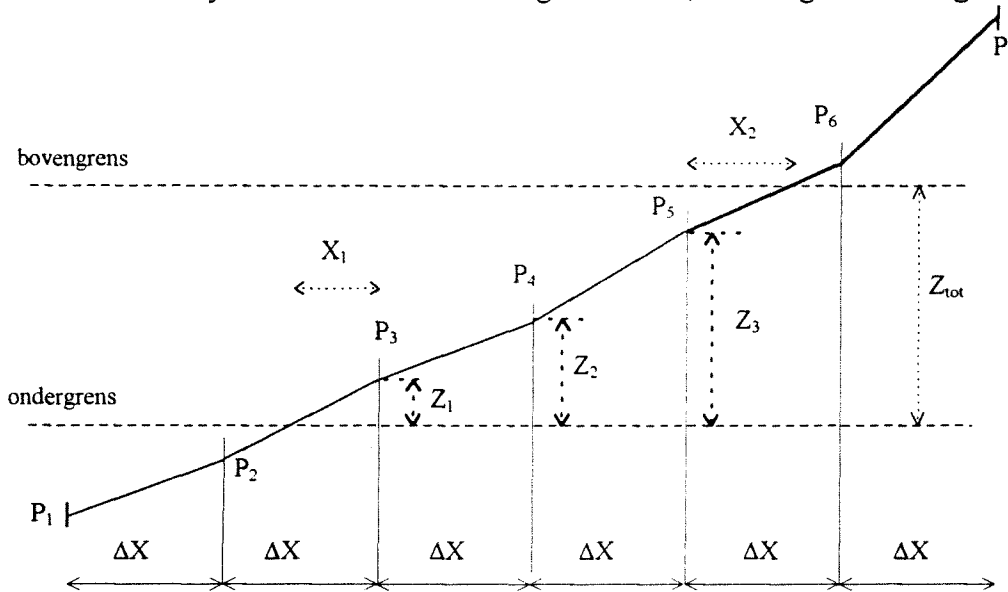


fig. A.3a schematisatie van profiel

- (P₁-P₂) Als een roosterpunt onder de ondergrens van de laag ligt en ook het daarop volgende roosterpunt, dan ligt dus het totale lijnstuk buiten de laag en heeft dit gedeelte van het profiel geen bijdrage aan de inhoud van de laag.
- (P₂-P₃) Als een roosterpunt buiten de laag ligt, maar het daarop volgende roosterpunt ligt binnen de laag, dan levert het gedeelte van het lijnstuk dat binnen de laag ligt een bijdrage aan de inhoud. Deze bijdrage is in dit geval $0,5 \cdot X_1 \cdot Z_1$.
- (P₃-P₄) Als het hele lijnstuk binnen de laag valt, dan wordt de bijdrage bepaald door de 'rechthoek' en de 'driehoek' op te tellen. In dit geval $Z_1 \cdot \Delta X + \frac{1}{2} \cdot (Z_2 - Z_1) \cdot \Delta X$
- (P₄-P₅) idem, de bijdrage is nu $Z_2 \cdot \Delta X + \frac{1}{2} \cdot (Z_3 - Z_2) \cdot \Delta X$
- (P₅-P₆) in principe het zelfde als (P₂-P₃), maar nu wordt de driehoek van het totaal afgehaald, zodat de bijdrage wordt bepaald door: $Z_{tot} \cdot \Delta X - \frac{1}{2} \cdot (Z_{tot} - Z_3) \cdot X_2$.
- (P₆-P₇) hoewel het hele lijnstuk volledig buiten de laag ligt levert dit gedeelte toch een bijdrage aan de inhoud, namelijk $Z_{tot} \cdot \Delta X$, dit geldt voor alle lijnstukken die hoger liggen dan de bovengrens.

Om uiteindelijk de lengte van de laag te schematiseren worden alle bijdragen bij elkaar opgeteld en gedeeld door de laagdikte (Z_{tot}).

Ook als er in het profiel een negatieve helling zit (b.v. drempel), dan wordt ook de invloed daarvan meegenomen in de inhoud van de laag. Verder zijn de roosterafstanden, die worden gebruikt om de inhoud te bepalen hetzelfde als de roosterafstanden van de UNIBEST- resultaten, zodat de nauwkeurigheid van de inhoud even nauwkeurig is als die van de UNIBEST-resultaten.

³ Het maximale aantal roosterpunten dat ingevoerd kan worden is 150 (149 roosterafstanden), maar in dit geval worden 141 roosterpunten gebruikt, omdat dan de totale lengte van het profiel eenvoudiger kan worden ingedeeld met gehele getallen voor de roosterafstanden.

BIJLAGE A.5 Model voor het bepalen van q

Invoer

Voor het bepalen van q wordt gebruik gemaakt van een model dat is gebaseerd op het lagen model (bijlage A.2). Het doel van het model is dat er een grafiek van L_2-L_1 in de tijd kan worden gemaakt, die alleen afhankelijk is van één q. De overige invoer moet gelijk zijn aan de indeling van de profielen waarmee de uitkomsten worden vergeleken. De invoer die nodig is voor het bepalen van het verloop van L_2-L_1 is:

- de lagen-indeling; zowel het aantal lagen als de hoogte van elke laag.
- evenwichtslengte(s) 'W', bepaald met de resultaten uit UNIBEST en afhankelijk van de lagen-indeling.
- het effect van de grootte van de verstoring aan het begin = $L_2^0 - L_1^0$

Deze gegevens moeten gelijk zijn aan de gegevens die worden gebruikt om de UNIBEST-resultaten te bewerken. Daarom is er een koppeling gemaakt tussen dit model en het "model" dat de gegevens van UNIBEST bewerkt (bijlage A.3), zodat deze gegevens altijd gelijk zijn.

De enige invoer die dan voor dit model nog nodig is, zijn 'q' zelf, het aantal tijdstappen en de grootte van de tijdstap. In dit geval wordt er, in alle gevallen, gebruik gemaakt van 100 tijdstappen van 3 dagen, voor het bepalen van het verloop van L_2-L_1 . De enige variabele is dus de waarde van 'q'.

Berekening

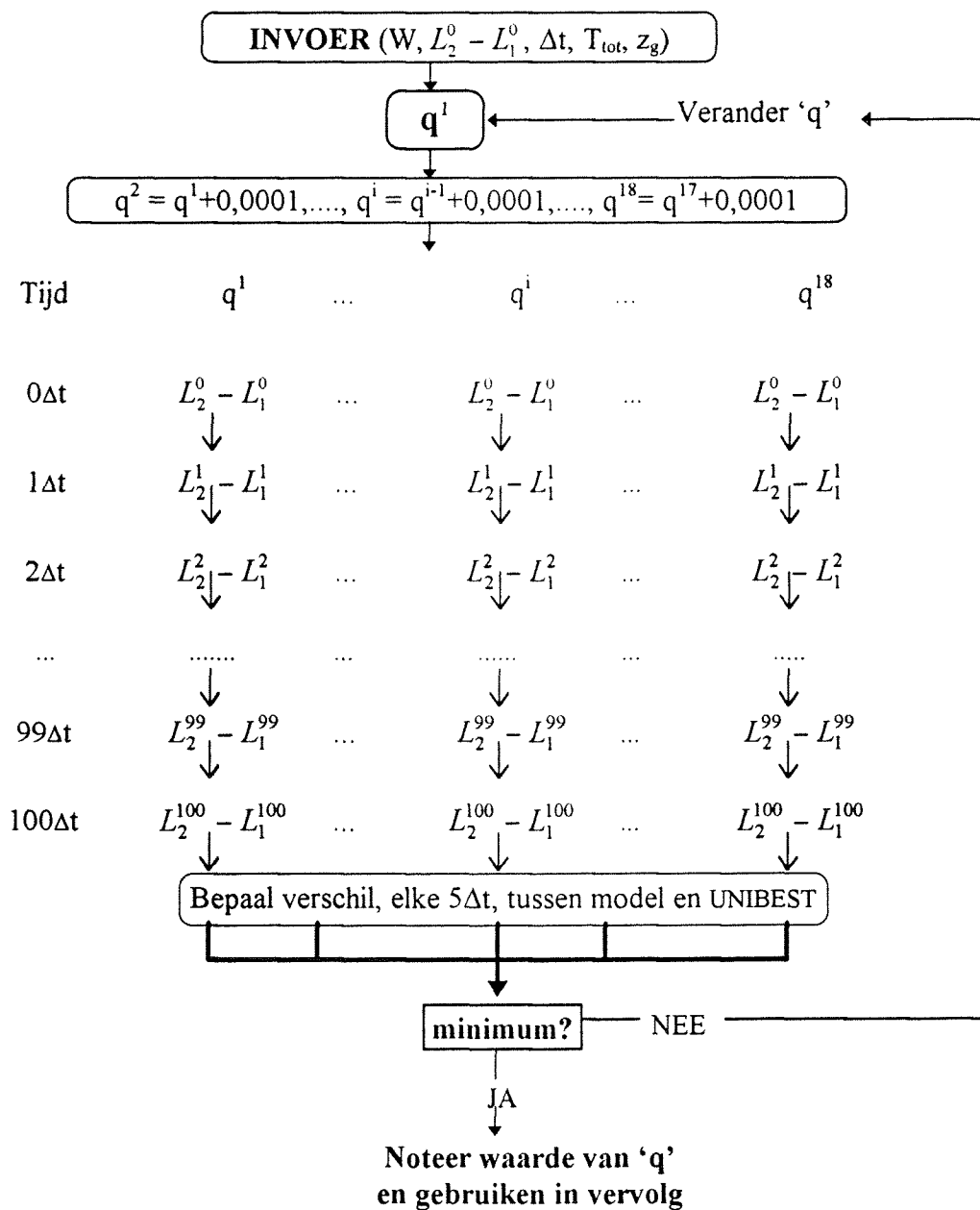
Voor het model is gebruik gemaakt van vergelijking A.3, die is gediscretiseerd zodat:

$$(L_2^t - L_1^t) = W - (W - (L_2^{t-1} - L_1^{t-1})) * EXP(-q * D * \Delta t)$$

In deze vergelijking is 'W' in de linker term naar rechts gebracht en de totale vergelijking is met '-1' vermenigvuldigd. Hierdoor ontstaat dus een vergelijking voor het verloop van L_2-L_1 in de tijd. Voor elke tijdstap (Δt) wordt een nieuwe waarde voor L_2-L_1 bepaald, die weer wordt gebruikt voor het bepalen van L_2-L_1 voor de volgende tijdstap. Het is ook mogelijk om in plaats van $L_2^{t-1} - L_1^{t-1}$ gebruik te maken van $L_2^0 - L_1^0$, maar als eventueel rest-transporten worden verrekend, dan is de gebruikte methode beter. Als er geen rest-transporten worden verrekend, is het resultaat in beide gevallen gelijk.

Als het verloop over de volledige simulatieperiode is bepaald, wordt om de 5 tijdstappen het verschil tussen het verloop van L_2-L_1 volgens het model en het verloop volgens UNIBEST bepaald. Het verschil wordt dus op 20 tijdstippen berekend. Deze verschillen worden vervolgens gekwadrateerd. Tenslotte wordt de wortel van het gemiddelde van deze 20 waarden gebruikt als maat voor het verschil (is de standaardafwijking). De waarde van 'q' waarvoor het verschil tussen het model en UNIBEST minimaal is, wordt gebruikt als de waarde van 'q' die hoort bij de verstoring. Om dit minimum te vinden wordt voor 18 waarden van 'q' (elke 0,0001 m/d) het verschil bepaald en uitgezet tegen 'q'. Als in het bereik van de 18 waarden geen minimum is, dan worden de 18 waarden van 'q', afhankelijk van de helling van de grafiek vergroot of verkleind, totdat er wel een minimum wordt gevonden. Op de volgende pagina wordt de methode van het bepalen van de dwarstransport-coëfficiënten schematisch weergegeven. De tijdstap (Δt) die in het model wordt gebruikt is 3 dagen, maar voor het onderzoek worden alleen de berekende waarden van L_2-L_1 om de 5 tijdstappen gebruikt, dus om de 15 dagen.

Schema van het model:



BIJLAGE A.5 rest-transporten en meer-lagen-model

Rest-transporten

Als de grenzen van het modelleringsgebied zodanig worden gekozen dat er transport door deze grenzen zal plaatsvinden, zullen deze transporten moeten worden verwerkt in het lagen-model. Het transport door de bovengrens wordt S_0 genoemd en het transport door de ondergrens wordt S_2 genoemd. Vergelijking A.1 (bijlage A.3) kan dan worden geschreven als:

$$S = -d_1 \frac{\Delta L_1}{\Delta t} + S_0 = d_2 \frac{\Delta L_2}{\Delta t} + S_2$$

en vergelijking A.2 (bijlage A.3) blijft:

$$S = q (W - (L_2 - L_1))$$

De richting van de transporten in zeewaartse richting is positief gekozen. Als nu weer beide vergelijkingen worden gecombineerd dan volgt:

$$\frac{\Delta L_1}{\Delta t} = -\frac{q}{d_1}(W - (L_2 - L_1)) + \frac{S_0}{d_1} \text{ en } \frac{\Delta L_2}{\Delta t} = \frac{q}{d_2}(W - (L_2 - L_1)) - \frac{S_2}{d_2}, \text{ waaruit volgt:}$$

$$\frac{\Delta(L_2 - L_1)}{\Delta t} = \frac{q}{d_2}(W - (L_2 - L_1)) - \frac{S_2}{d_2} - \left[-\frac{q}{d_1}(W - (L_2 - L_1)) + \frac{S_0}{d_1} \right]$$

$$= q \frac{(d_1 + d_2)}{d_1 d_2} (W - (L_2 - L_1)) - \frac{S_0}{d_1} - \frac{S_2}{d_2}$$

De term $\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$ in deze vergelijking wordt verder aangeduid met 'D', zodat:

$$\frac{\Delta(L_2 - L_1)}{\Delta t} = q * D(W - (L_2 - L_1)) - D \frac{d_2 S_0 + d_1 S_2}{d_1 + d_2} \text{ en herschrijven:}$$

$$\frac{\Delta(L_2 - L_1)}{\Delta t} = q * D \left(W - \frac{d_2 S_0 + d_1 S_2}{q(d_1 + d_2)} - (L_2 - L_1) \right)$$

Door vergelijking A.3 te integreren ontstaat:

$$W - \frac{d_2 S_0 + d_1 S_2}{q(d_1 + d_2)} - (L_2 - L_1) = \left(W - \frac{d_2 S_0 + d_1 S_2}{q(d_1 + d_2)} - (L_2^0 - L_1^0) \right) * \exp(-q * D * t)$$

meer-lagen-model

Voor een n-lagen-model zijn 'n-1' vergelijkingen nodig om het transport door de 'n-1' grenzen te bepalen. Het transport tussen de 1^e (bovenste) en de 2^e laag wordt S_1 genoemd; het transport tussen de 2^e en 3^e laag wordt S_2 genoemd; het transport tussen laag 'i' en laag i+1 wordt S_i genoemd, enzovoorts. De vergelijkingen A.1 en A.2 kunnen dan worden geschreven als:

$$S_i = -d_i \frac{\Delta L_i}{\Delta t} + S_{i-1} = d_{i+1} \frac{\Delta L_{i+1}}{\Delta t} + S_{i+1} \text{ en ook}$$

$$S_i = q_i * (W_i - (L_{i+1} - L_i))$$

vgl. A.5

Deze twee vergelijkingen zijn vergelijkbaar met de vergelijkingen uit de berekening van de rest-transporten, maar nu wordt voor elke grens (i) een ander evenwicht (W_i)

en een andere coëfficiënt (q_i) gebruikt. De afleiding is verder hetzelfde, zodat de uiteindelijke vergelijking wordt:

$$(L_{i+1} - L_i) = W_i - \frac{d_{i+1}S_{i-1} + d_i S_{i+1}}{q_i(d_i + d_{i+1})} \left(W_i - \frac{d_{i+1}S_{i-1} + d_i S_{i-1}}{q_i(d_i + d_{i+1})} - (L_{i+1}^0 - L_i^0) \right) * \exp(-q_i * D_i * t) \quad \text{vgl. A.6}$$

Als er 'n' lagen (n-1 grenzen) worden gebruikt en het gebied is gesloten, dan zijn S_0 en S_n gelijk aan $0 \text{ m}^3/\text{m}/\text{dag}$. Als in het begin van de modellering, de lengte van alle lagen bekend is, dan zijn ook alle transporten (S_i) aan het begin te schatten met de (basis) vergelijking A.2. Vervolgens kan voor de eerst volgende tijdstap de ontwikkeling van elke laag worden bepaald, met vergelijking A.6, waaruit vervolgens weer met vergelijking A.5 de transporten kunnen worden berekend. Voor alle volgende tijdstappen kunnen dan met vergelijkingen A.6 en A.5 de verlopen van $L_{i+1}-L_i$ en de transporten worden berekend, voor elke grens (of laag).

De ontwikkeling van de verschillende lagen in het model is direct of indirect gekoppeld, zodat een verandering van één coëfficiënt (q_i) invloed heeft op alle andere coëfficiënten. Door deze koppeling is het lastig om de optimale (combinatie van) coëfficiënten te vinden, zoals voor het 2-lagen-model is gedaan.

BIJLAGE B. PROFIEL-ONTWIKKELINGEN

INHOUD

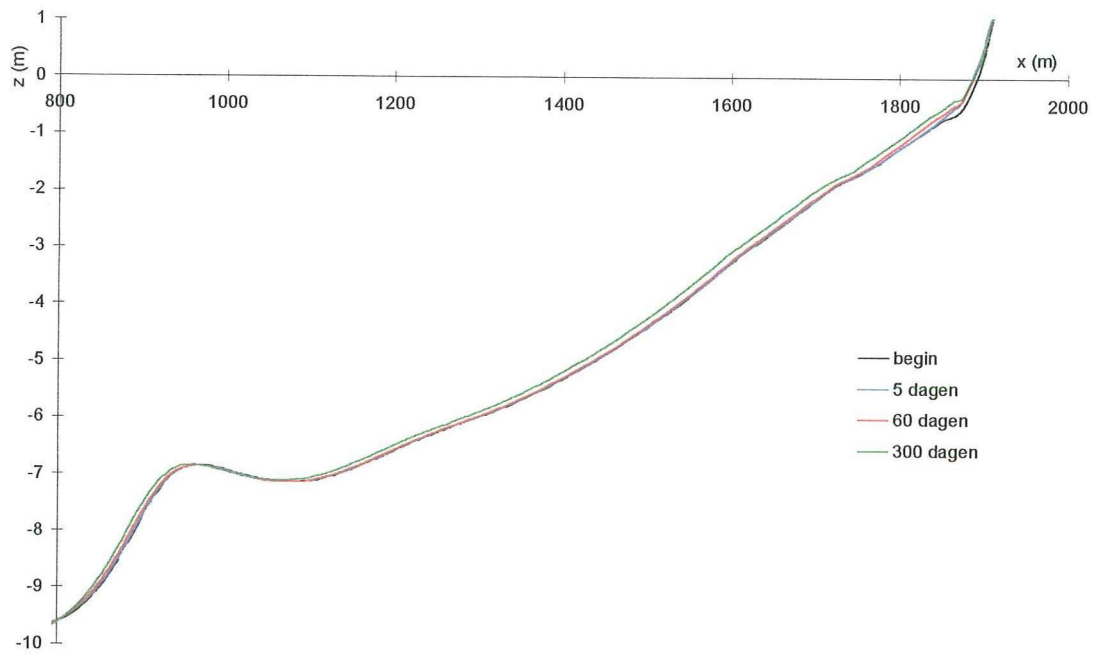
B.1 ontwikkeling evenwichtsprofiel	B.2
B.2a ontwikkeling sb50	B.3
B.2b ontwikkeling sb100	
B.3a ontwikkeling ob50	B.4
B.3b ontwikkeling ob100	
B.4a ontwikkeling so50	B.5
B.4b ontwikkeling so100	
B.5a ontwikkeling oo50	B.6
B.5b ontwikkeling oo100	
B.6a ontwikkeling stl09	B.7
B.6b ontwikkeling stl75	
B.7a ontwikkeling flw11	B.8
B.7b ontwikkeling flw125	

Alleen het gedeelte van het profiel dat valt in het gebied: $x = 800$ tot 2000 m en $z = -10$ tot 1 m
is afgebeeld, omdat in het overige gedeelte van het profiel nauwelijks iets verandert ten gevolge van de aangebrachte verstoringen.

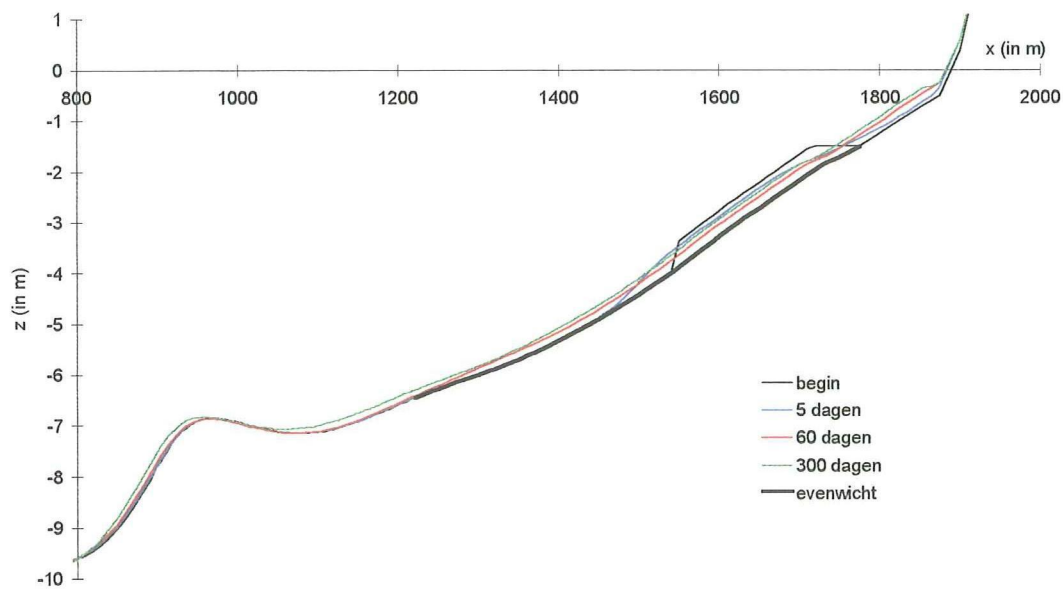
Bij de verstoringen in bijlagen B1, 2 en 3 betekenen de waarden achter de 'type-aanduiding' de dikte van de verstoring in centimeters, dus 50 of 100 cm.

Bij de verstoringen in bijlage B.4 en 5 staan de getallen voor de roosterafstanden tussen $z = -7$ m en $z = -0,5$ m, waarbij de getallen in stl09, stl75, flw11 en flw125, respectievelijk voorstellen: 9 m, 7,5 m, 11 m en 12,5 m in plaats van 10 m, zoals bij het evenwichtsprofiel het geval is.

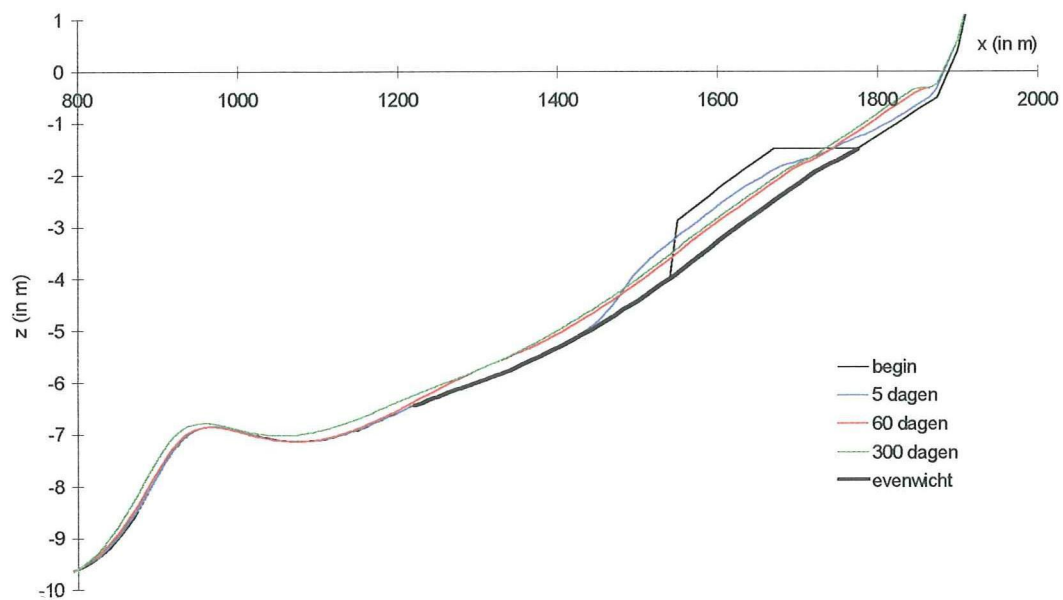
BIJLAGE B.1 ontwikkeling evenwichtsprofiel



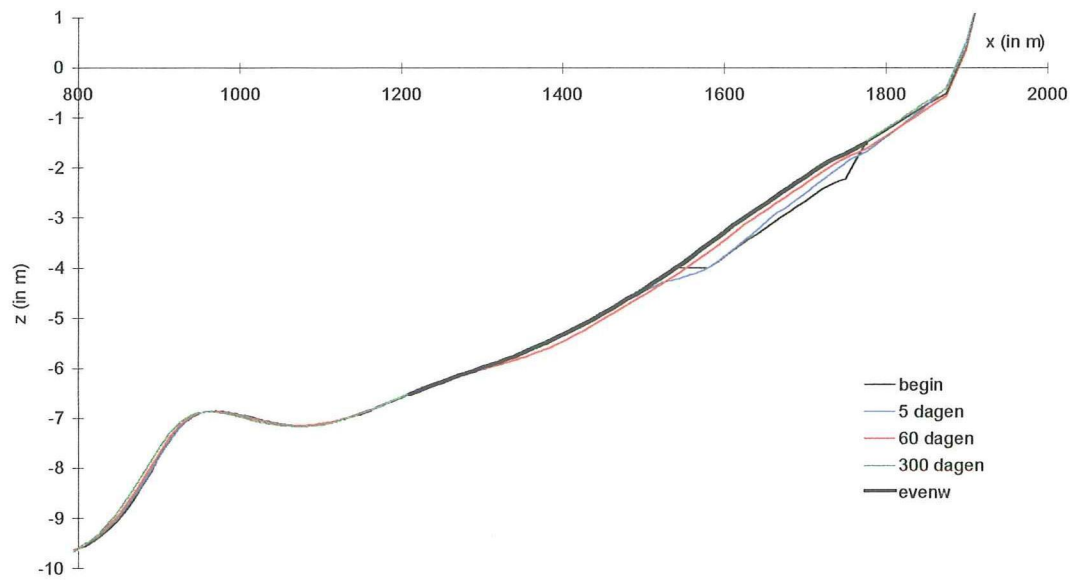
BIJLAGE B.2a ontwikkeling sb50



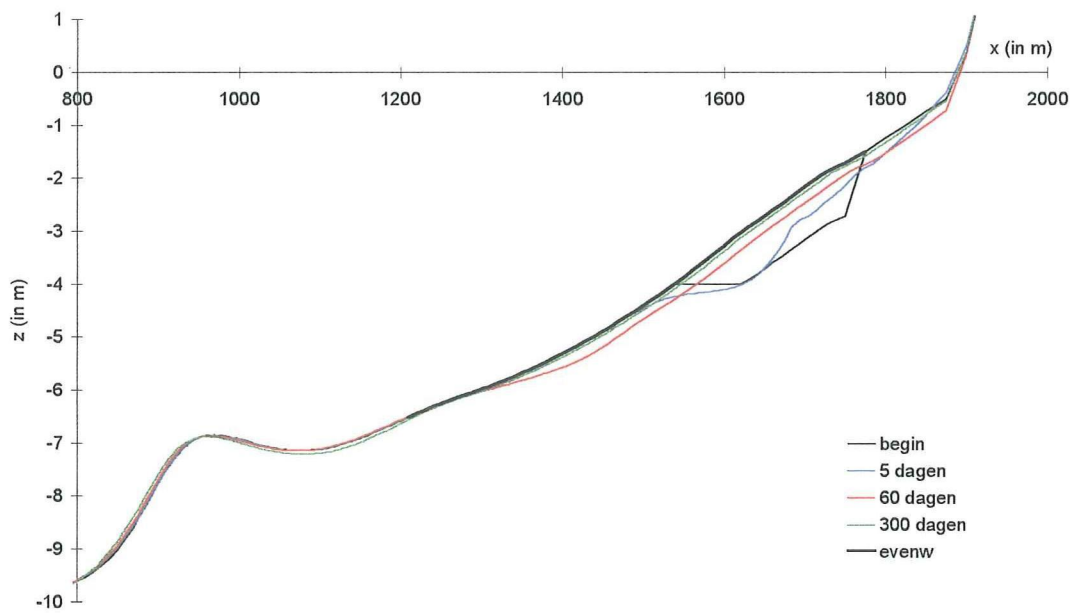
BIJLAGE B.2b ontwikkeling sb100



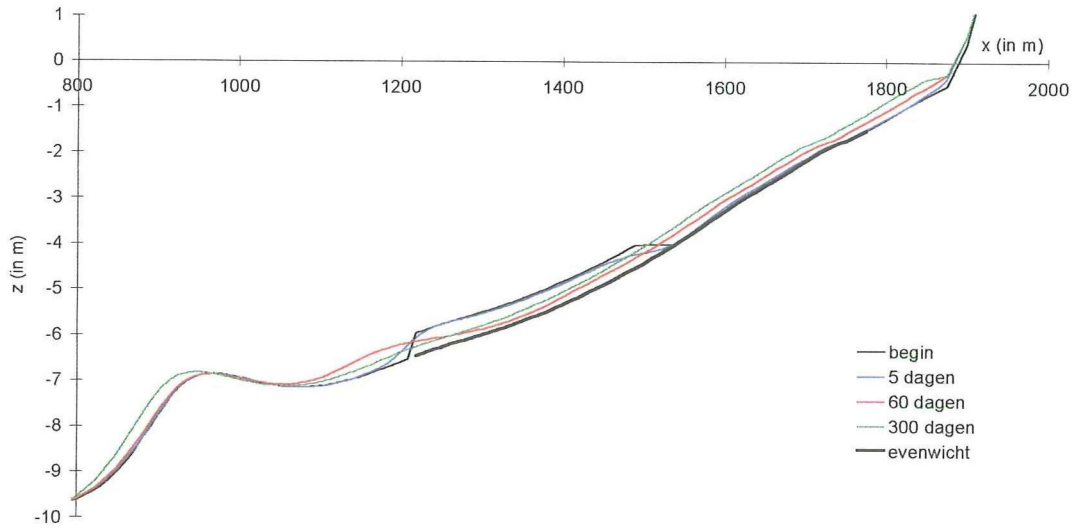
BIJLAGE B.3a ontwikkeling ob50



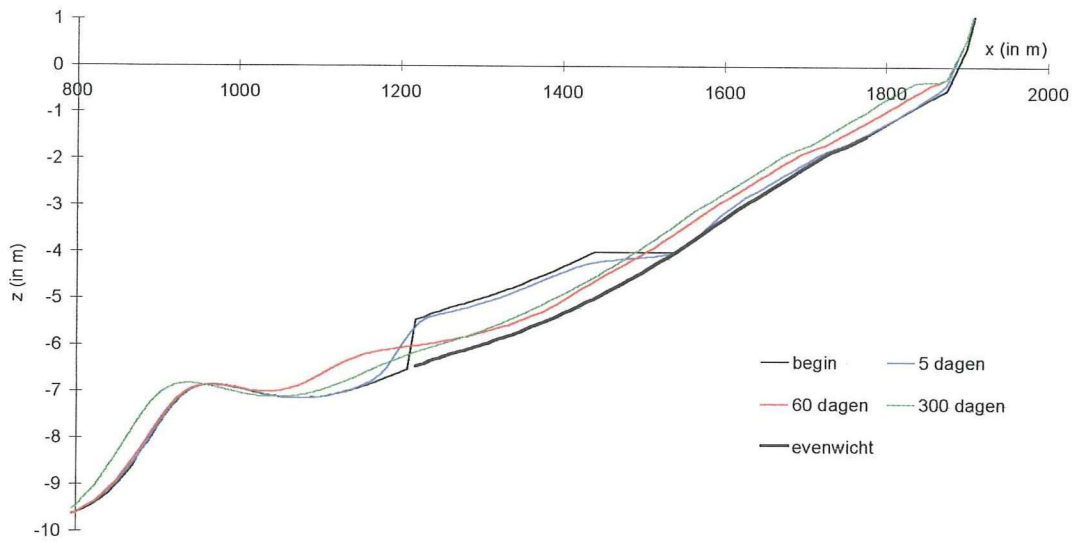
BIJLAGE B.3b ontwikkeling ob100



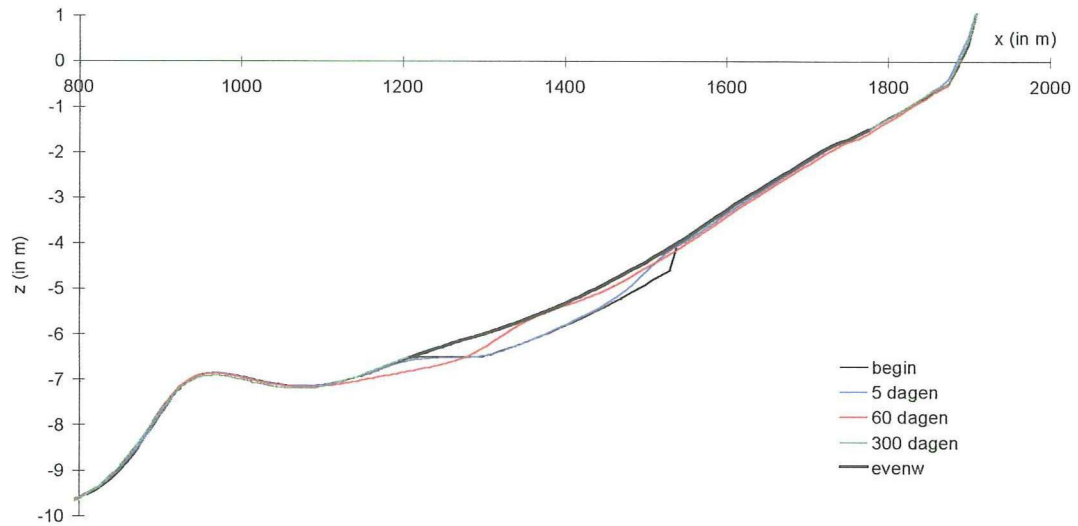
BIJLAGE B.4a ontwikkeling so50



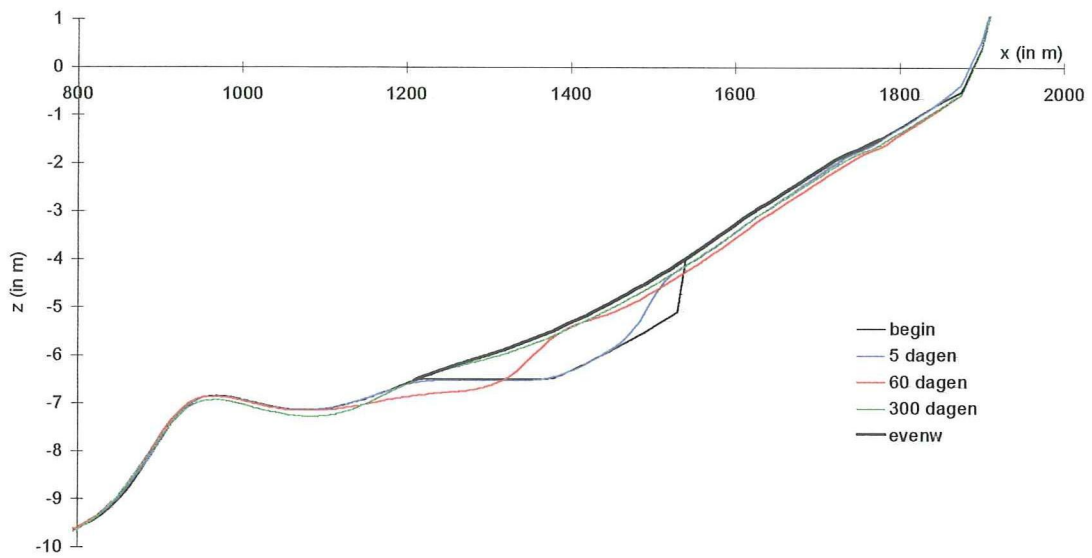
BIJLAGE B.4b ontwikkeling so100



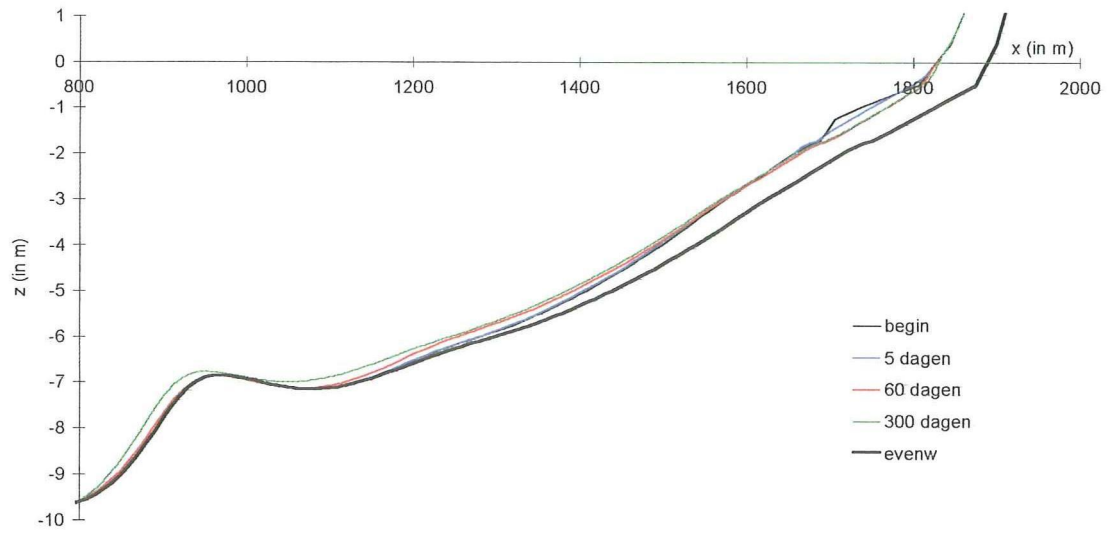
BIJLAGE B.5a ontwikkeling oo50



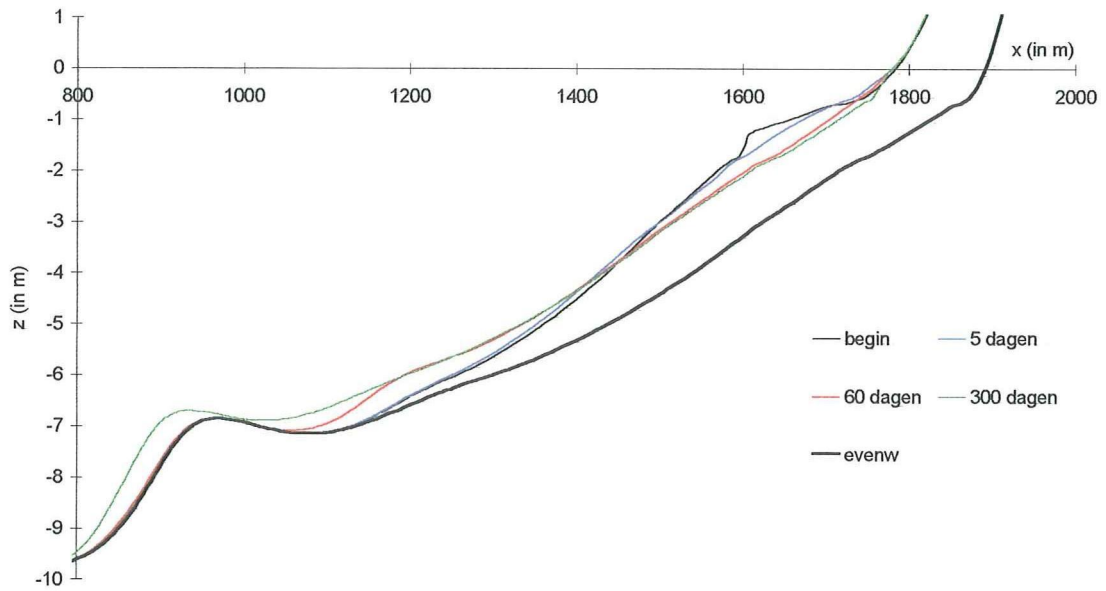
BIJLAGE B.5b ontwikkeling oo100



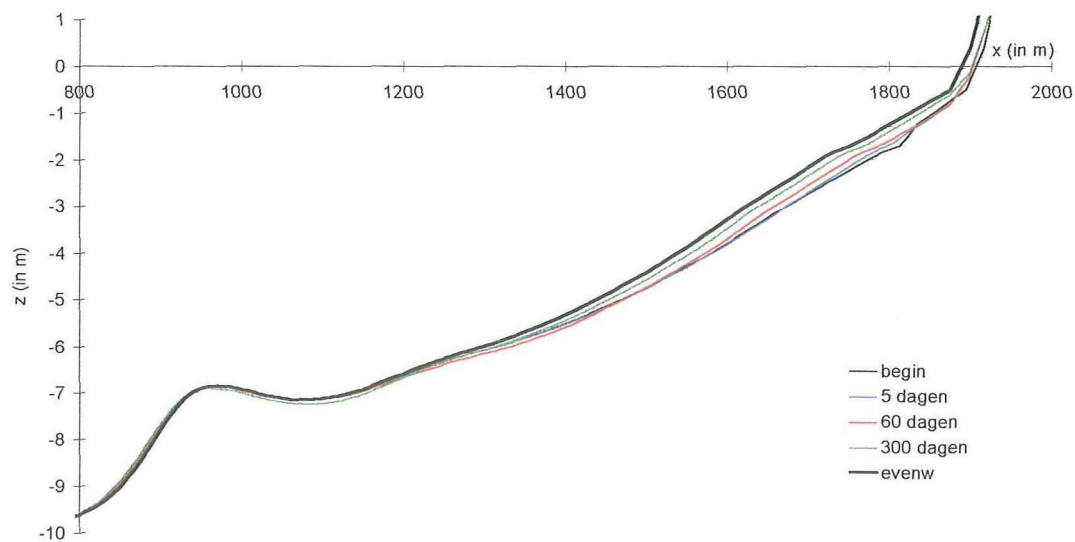
BIJLAGE B.6a ontwikkeling stl09



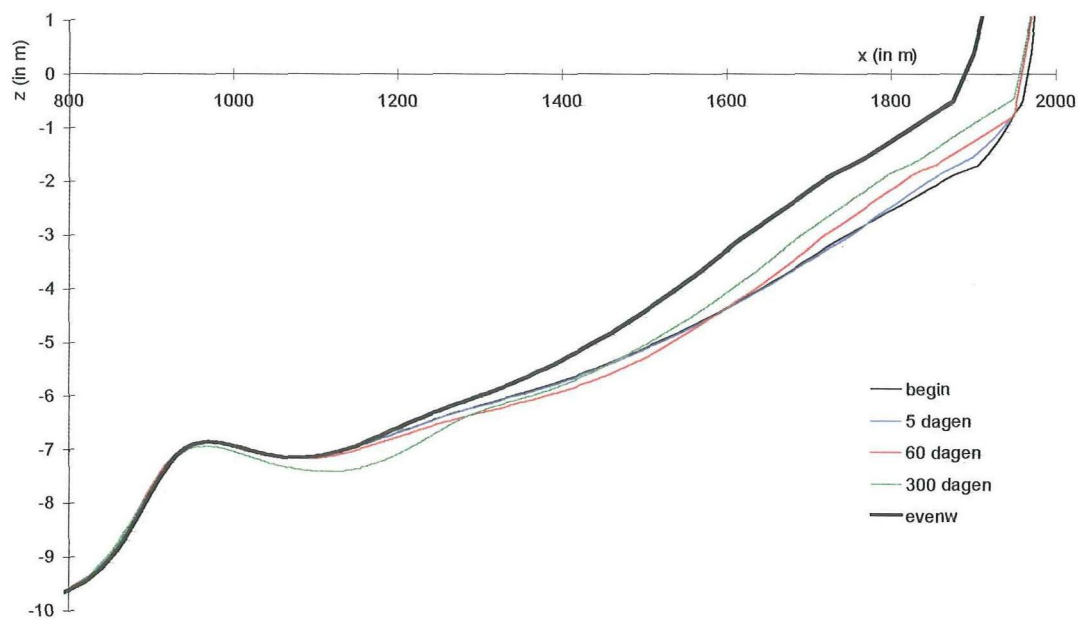
BIJLAGE B.6b ontwikkeling stl75



BIJLAGE B.7a ontwikkeling flw11



BIJLAGE B.7b ontwikkeling flw125



BIJLAGE C. VERLOOP VAN L₂-L₁

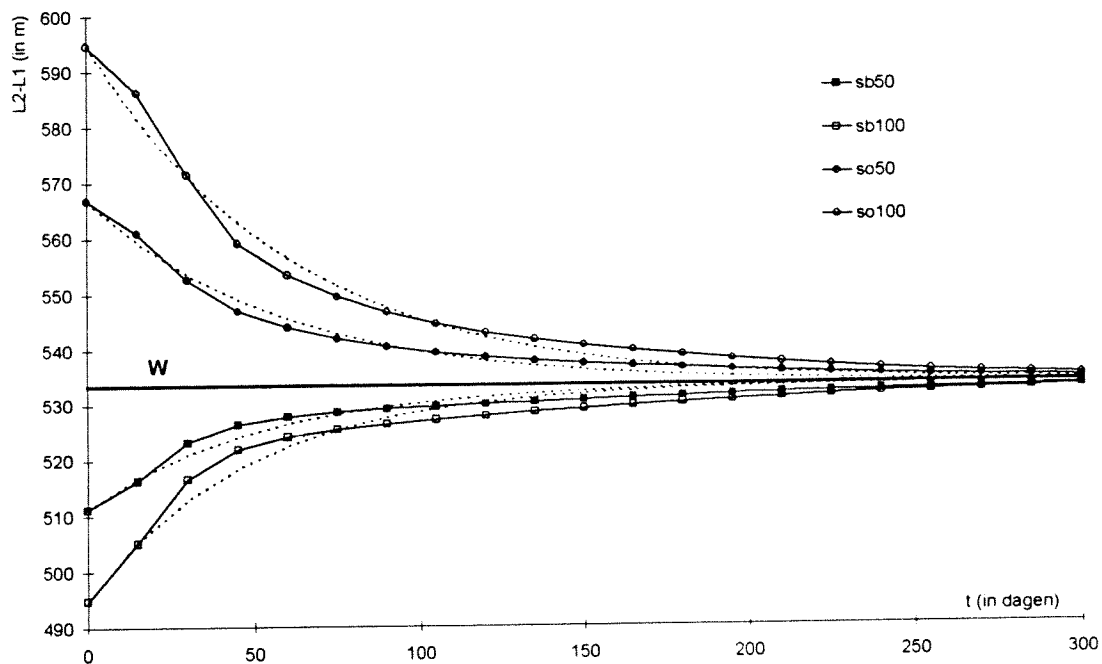
INHOUD

C.1a	suppleties met $z_g = -4$ m	C.2
C.1b	ontgravingen met $z_g = -4$ m	
C.1c	versteilingen en verflauwingen met $z_g = -4$ m	
C.2a	suppleties met $z_g = -5$ m	C.4
	suppleties met $z_g = -3$ m	
C.2b	ontgravingen met $z_g = -5$ m	
	ontgravingen met $z_g = -3$ m	
C.2c	versteilingen en verflauwingen met $z_g = -5$ m	
	versteilingen en verflauwingen met $z_g = -3$ m	
C.3a	suppleties met $z_g = -6,5$ m	C.7
	suppleties met $z_g = -1,5$ m	
C.3b	ontgravingen met $z_g = -6,5$ m	
	ontgravingen met $z_g = -1,5$ m	
C.3c	versteilingen en verflauwingen met $z_g = -6,5$ m	
	versteilingen en verflauwingen met $z_g = -1,5$ m	

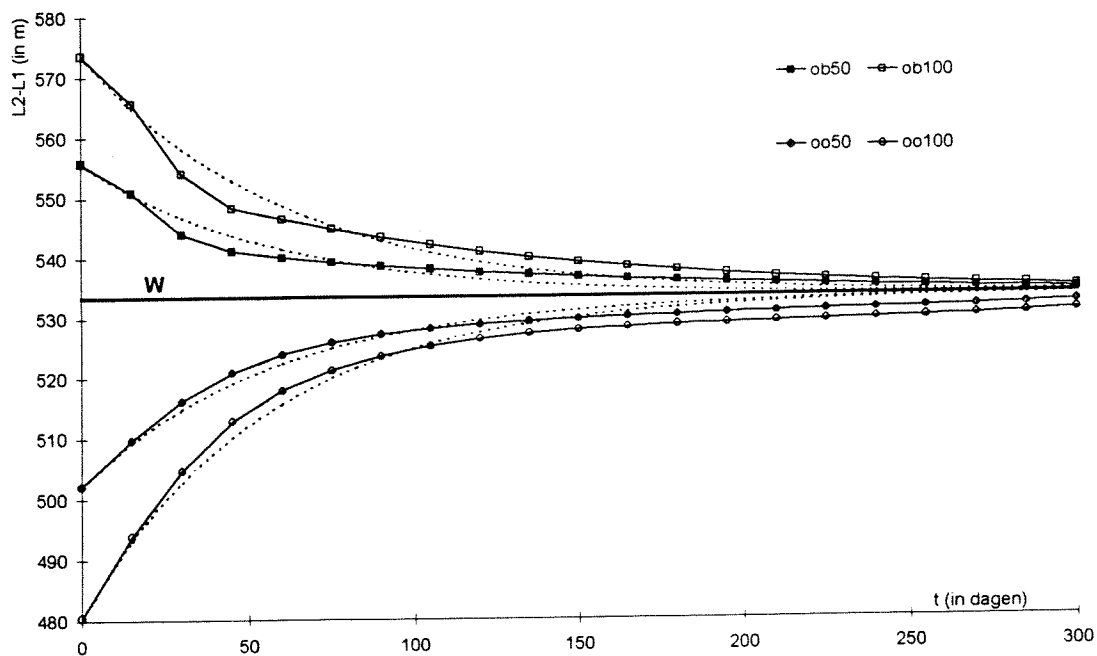
In de grafieken is het verloop volgens UNIBEST afgebeeld met een getrokken lijn, terwijl het verloop volgens het model dat er het beste bij aansluit is afgebeeld als een stippellijn. Bij C.2a, 4a en 4b zijn 2 verschillende stippellijnen gebruikt, waarbij:

- : verloop zonder vertraging (dus vanaf $t = 0$ dagen) en
- - - - : verloop met vertraging, zodanig dat verloop volgens model samenvalt met het laatste deel van het verloop volgens UNIBEST.

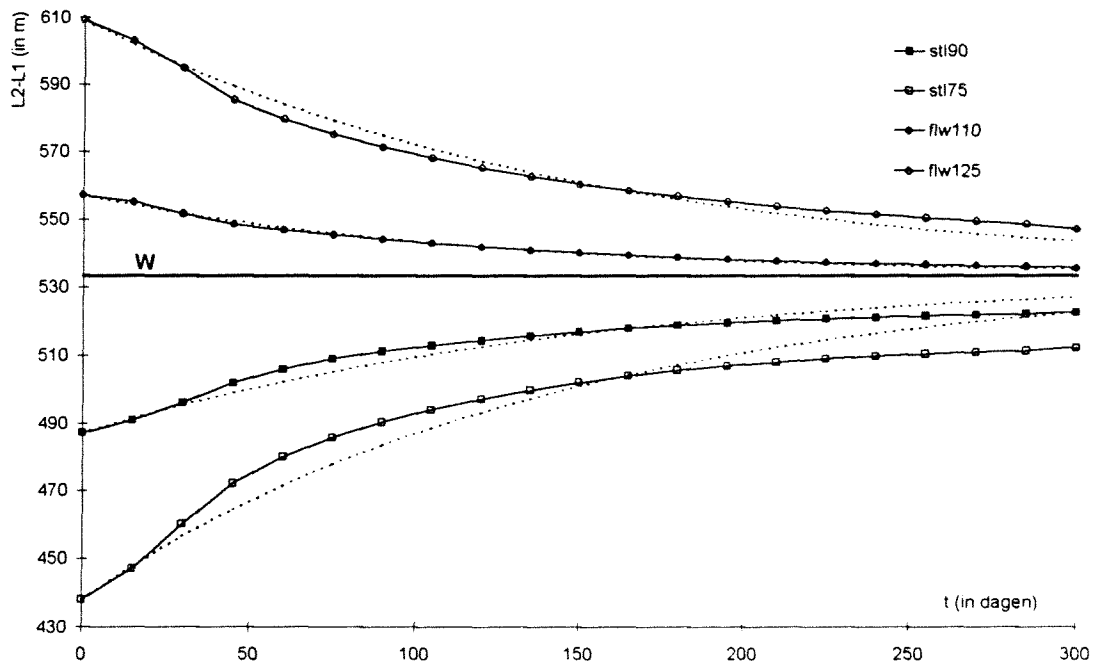
BIJLAGE C.1a suppleties met $z_g = -4$ m



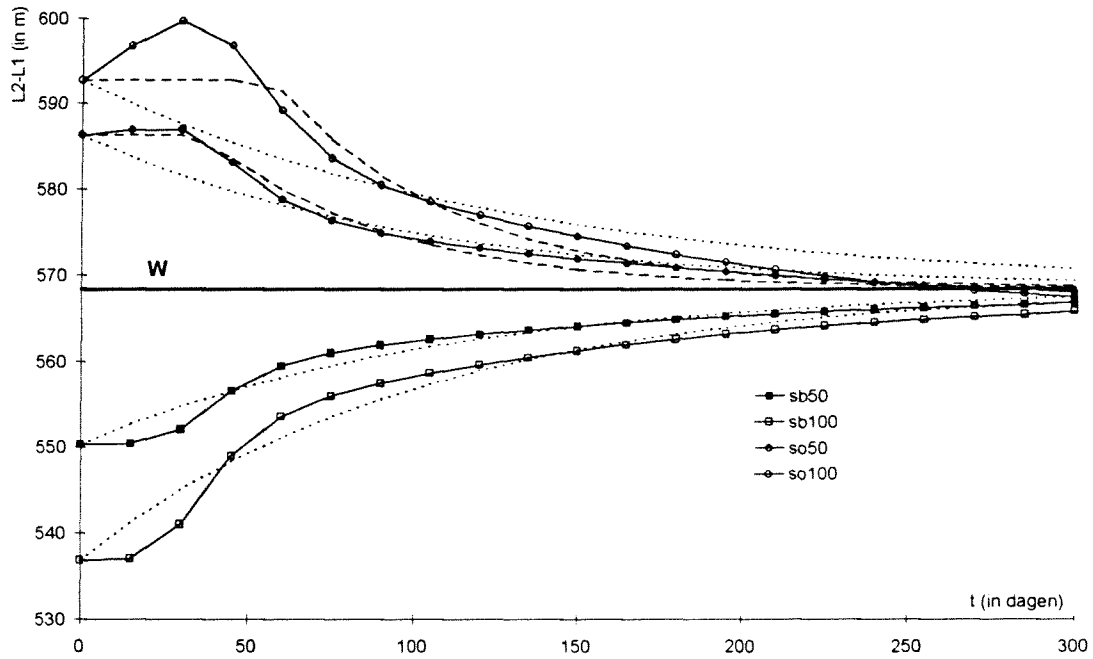
BIJLAGE C.1b ontgravingen met $z_g = -4$ m



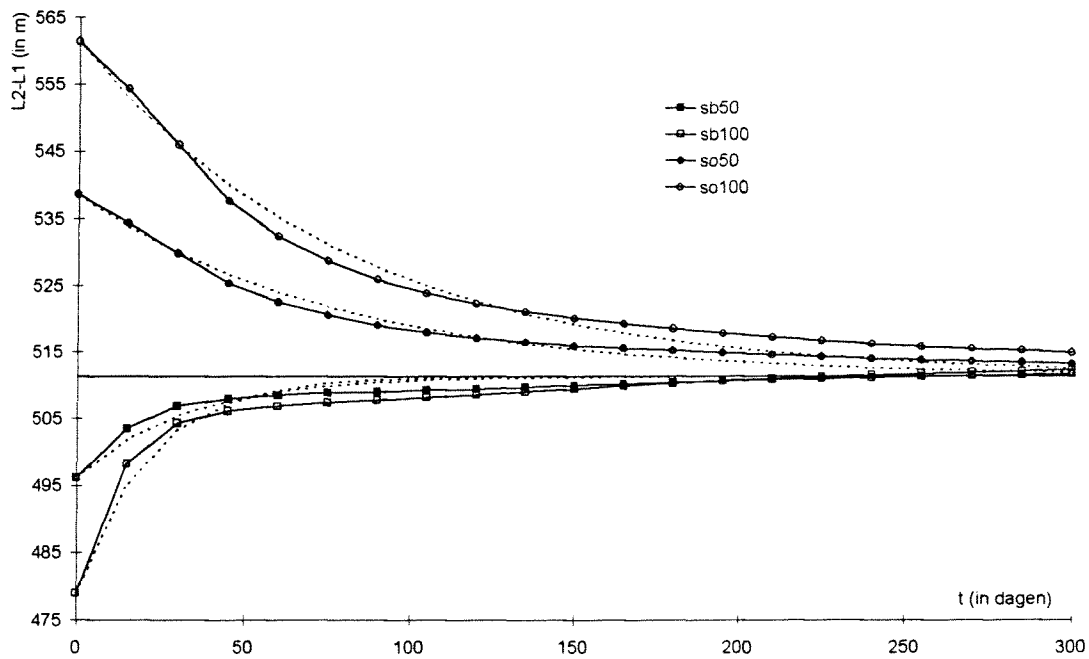
BIJLAGE C.1c versteilingen en verflauwingen met z_g = -4 m



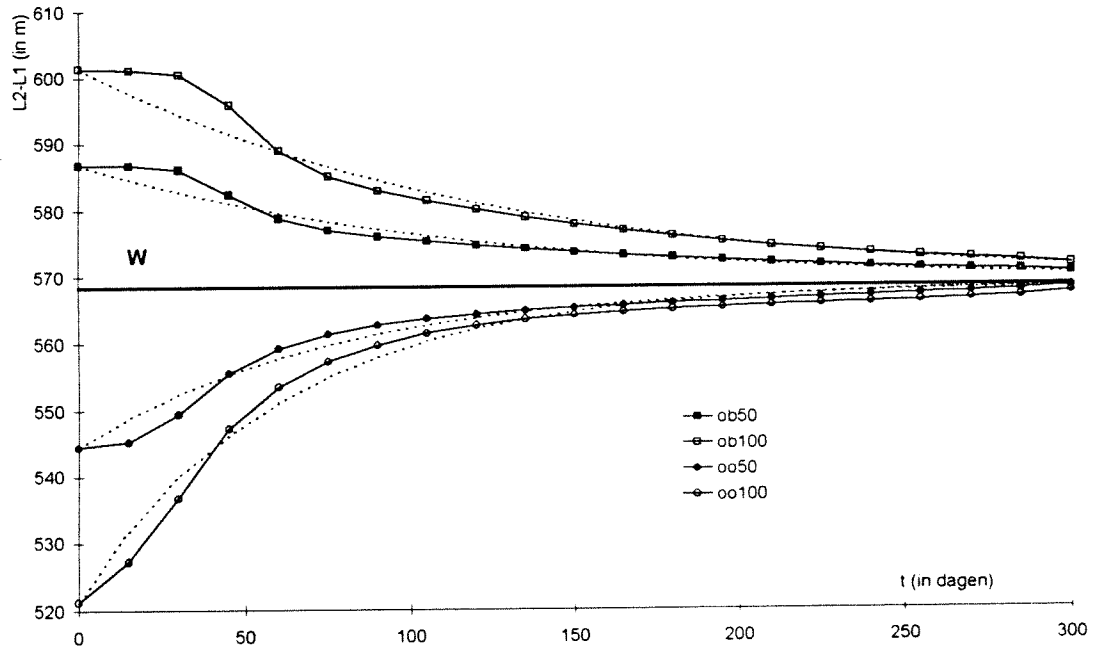
BIJLAGE C.2a suppleties met $z_g = -5$ m



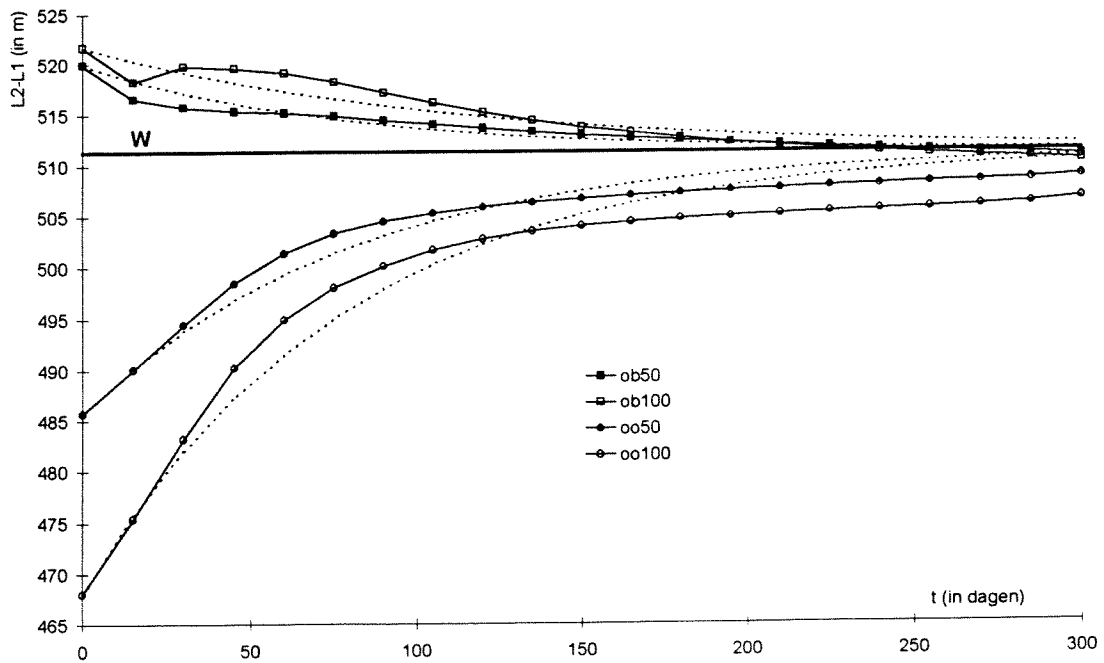
suppleties met $z_g = -3$ m



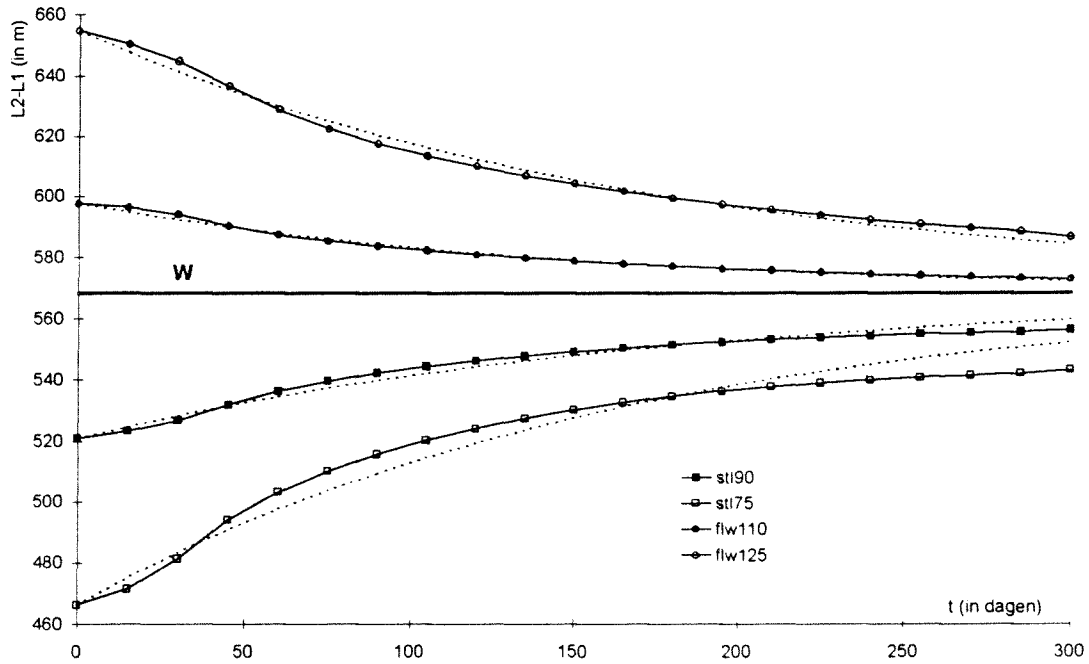
BIJLAGE C.2b ontgravingen met $z_g = -5$ m



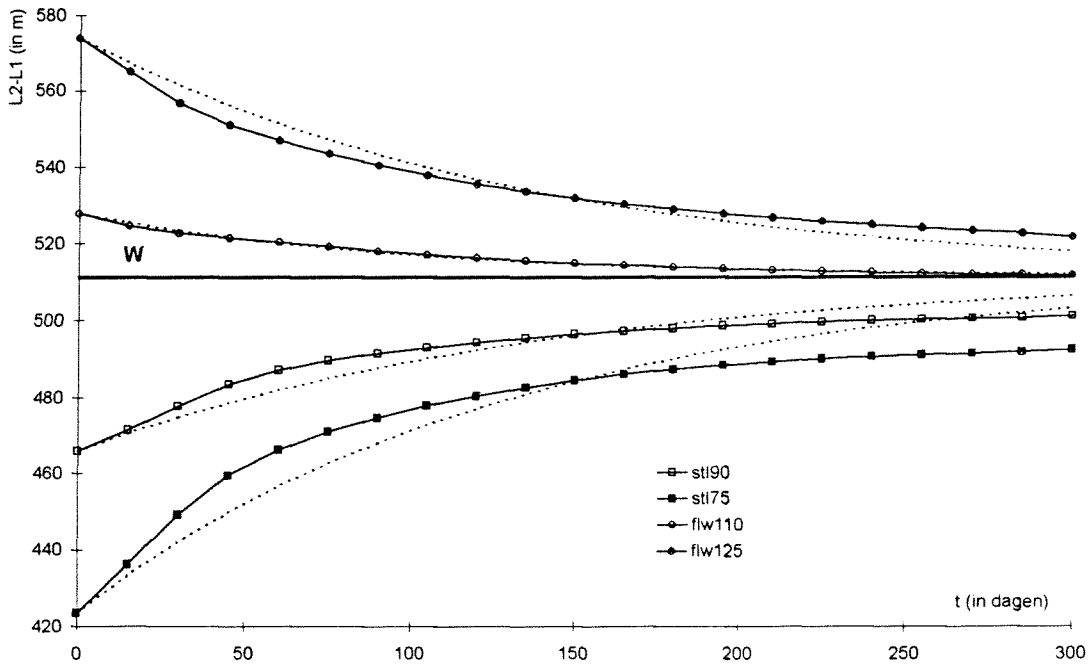
ontgravingen met $z_g = -3$ m



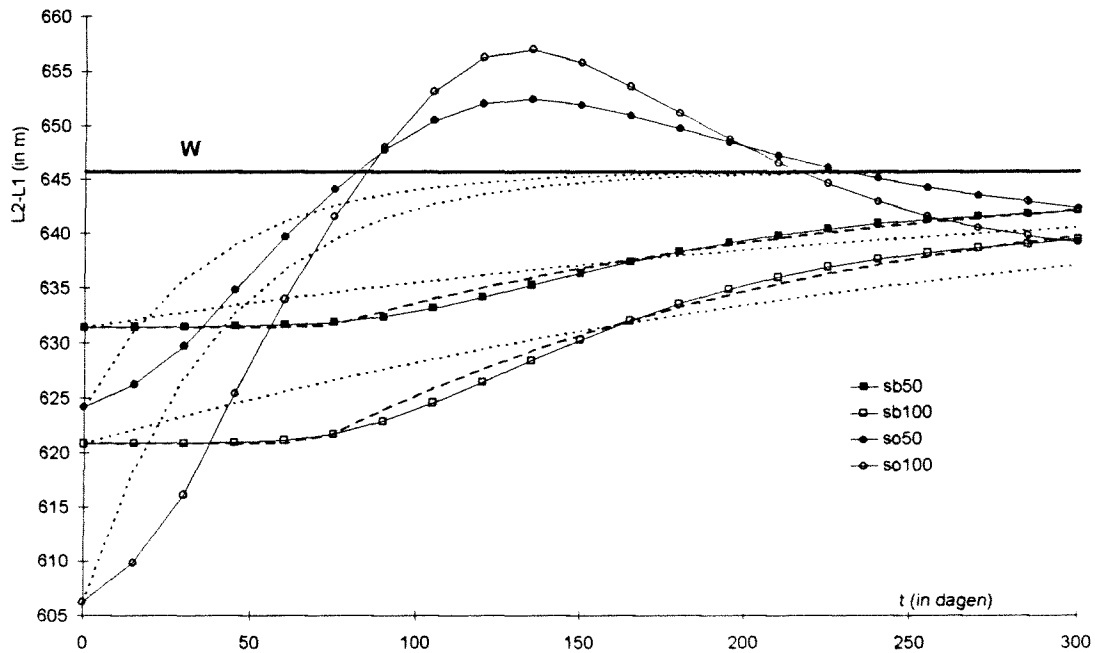
BIJLAGE C.2c versteilingen en verflauwingen met $z_g = -5$ m



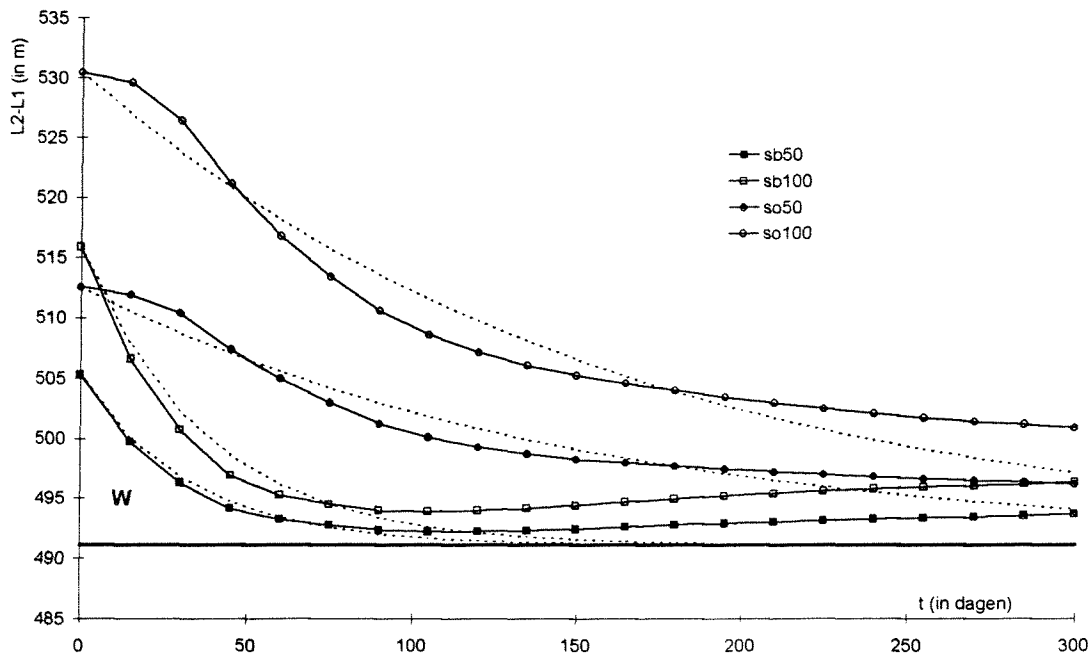
versteilingen en verflauwingen met $z_g = -3$ m



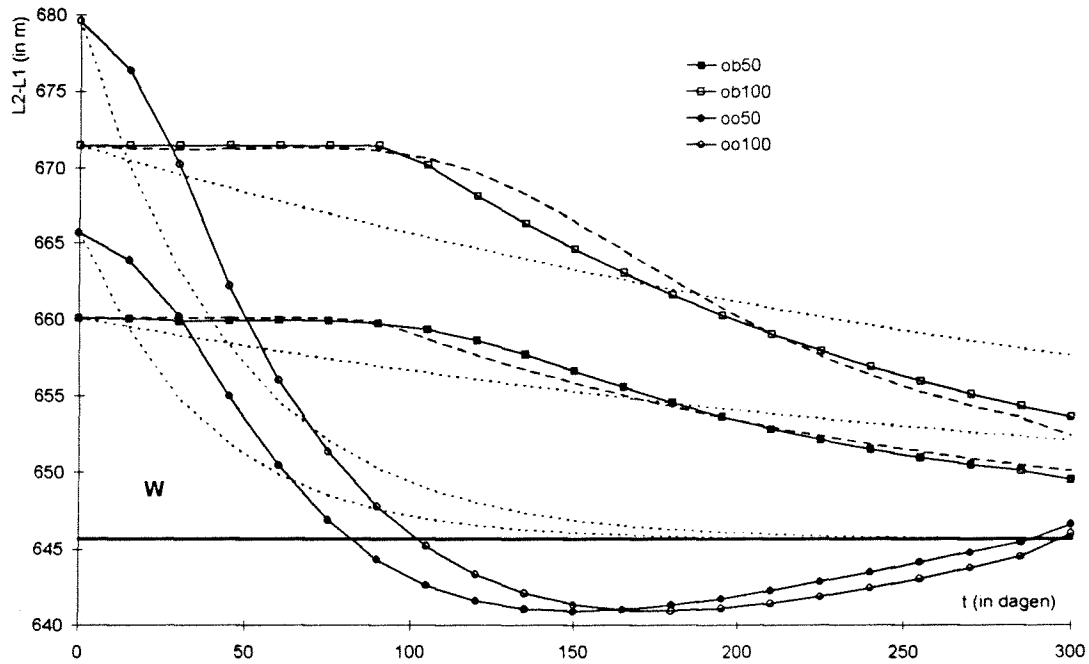
BIJLAGE C.3a suppleties met z_g = -6,5 m



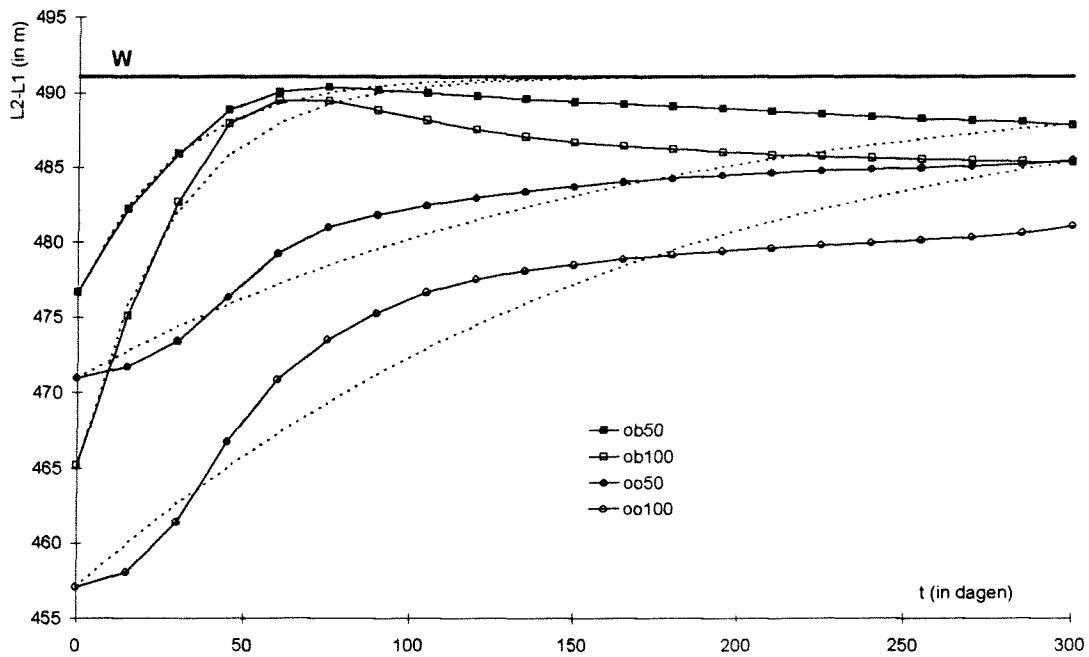
suppleties met z_g = -1,5 m



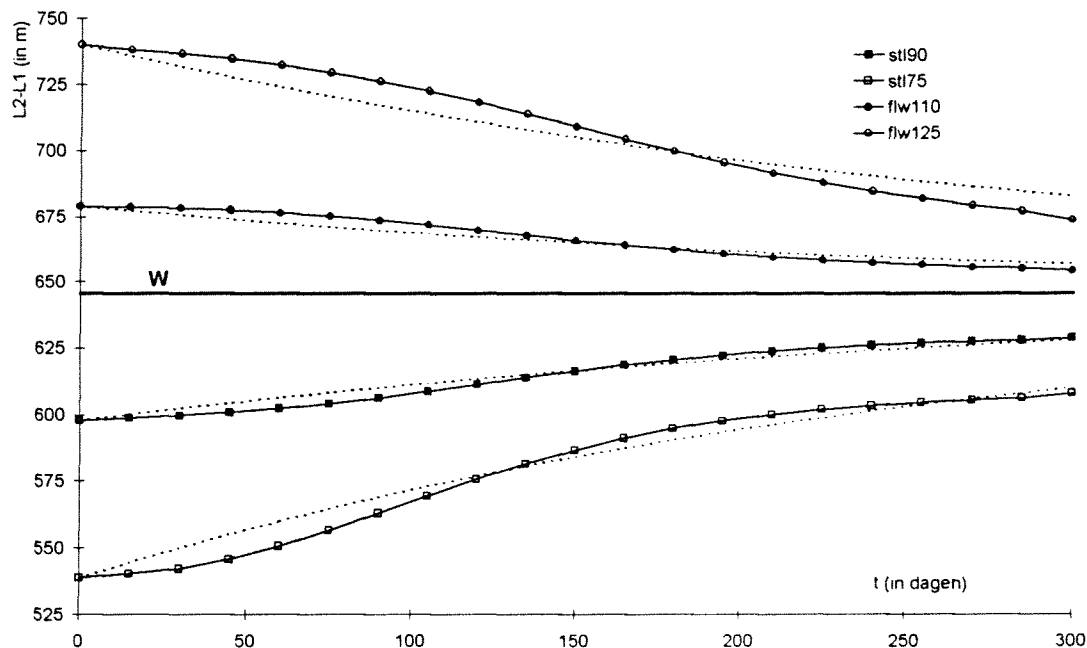
BIJLAGE C.3b ontgravingen met $z_g = -6,5$ m



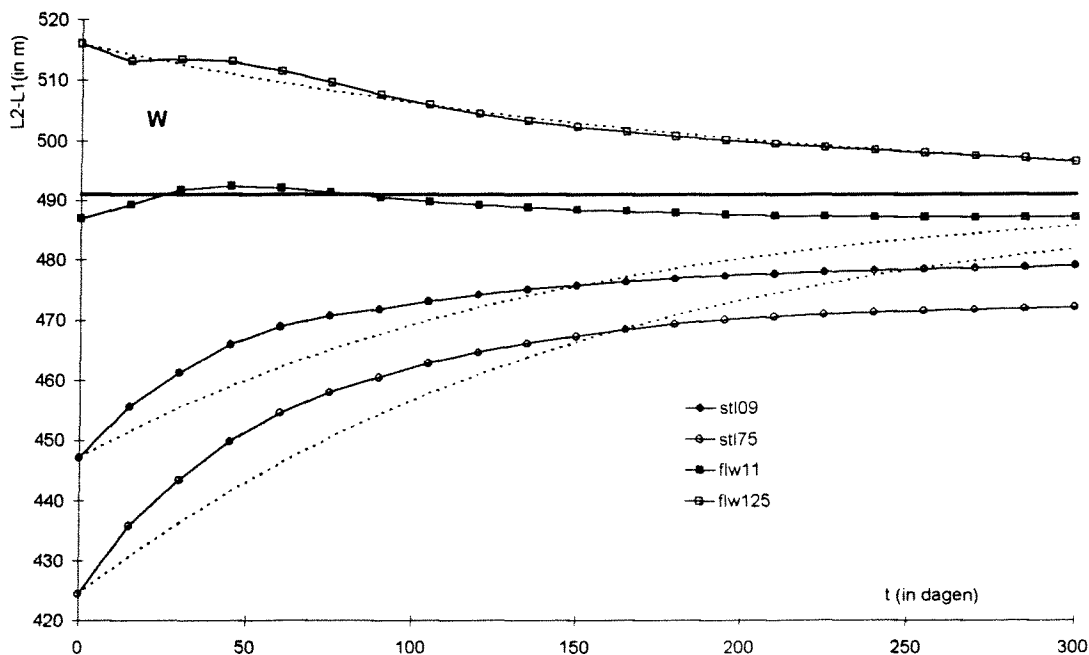
ontgravingen met $z_g = -1,5$ m



BIJLAGE C.3c verstelingen en verflauwingen met $z_g = -6,5$ m



verstelingen en verflauwingen met $z_g = -1,5$ m



BIJLAGE D. EINDRESULTATEN

INHOUD

D.1a tabel met waarden van 'q' en 'fout' bij $z_g = -4$ m	D.2
D.1b grafiek van 'q' tegen $W-(L_2-L_1)$ bij $z_g = -4$ m	
D.2a tabel bij $z_g = -5$ m	D.3
D.2b grafiek bij $z_g = -5$ m	
D.3a tabel bij $z_g = -3$ m	D.4
D.3b grafiek bij $z_g = -3$ m	
D.4a tabel bij $z_g = -6,5$ m	D.5
D.4b grafiek bij $z_g = -6,5$ m	
D.5a tabel bij $z_g = -1,5$ m	D.6
D.5b grafiek bij $z_g = -1,5$ m	
D.6a karakteristieke tijdschalen bij de verschillende lagenindelingen	D.7
D.6b gemiddelde karakteristieke tijdschalen	

In de tabellen van D.1 t/m 5 betekenen '↓' en '↑' respectievelijk zeewaarts en landwaarts gericht transport.

In de laatste kolom (fout) zijn een aantal waarden afwijkend afgedrukt, waarbij:

cursief: de fout bedraagt 10 tot 15% van de waarde van $W-(L_2-L_1)$

cursief: de fout bedraagt 15 tot 20% van de waarde van $W-(L_2-L_1)$

cursief: de fout bedraagt > 20% van de waarde van $W-(L_2-L_1)$

Voor bijlage D.6a zijn de karakteristieke tijdschaal bepaald met:

$$T_k = \frac{d_1 * d_2}{d_1 + d_2} * \frac{1}{q} \text{ (in dagen)}$$

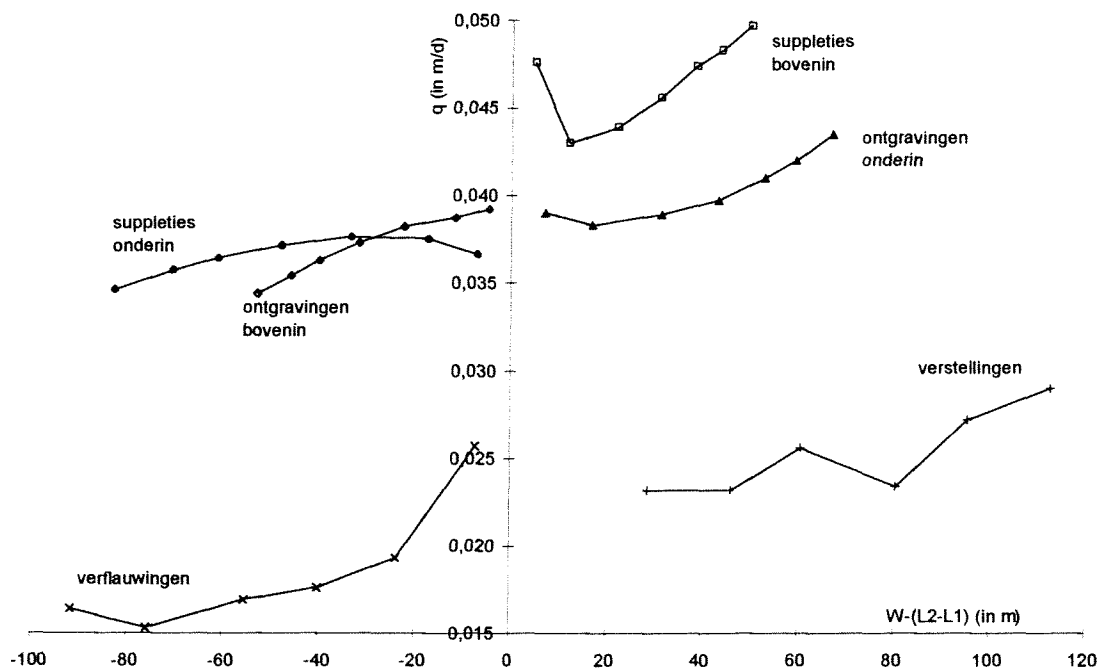
Voor de tabel in D.6b zijn de gemiddelde waarden genomen over de 5 verschillende lagenindelingen.

BIJLAGE D.1a tabel bij $z_g = -4$ m

sb↓	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	528,5	4,9 m	0,0476	0,4
25	521,4	12,0 m	0,0430	0,8
50	511,2	22,2 m	0,0439	1,2
75	502,3	31,1 m	0,0456	1,7
100	494,7	38,7 m	0,0474	2,0
120	489,6	43,8 m	0,0483	2,3
150	483,4	50,0 m	0,0497	2,6
so↑				
10	540,5	-7,1 m	0,0366	0,2
25	550,7	-17,3 m	0,0375	0,5
50	566,8	-33,4 m	0,0376	1,1
75	581,4	-48,0 m	0,0371	1,6
100	594,6	-61,2 m	0,0364	2,0
120	604,0	-70,6 m	0,0357	2,3
150	616,1	-82,7 m	0,0346	2,6
stl↓				
70	420,6	112,8 m	0,0290	1,4
75	438,0	95,4 m	0,0272	1,3
80	452,9	80,5 m	0,0234	1,7
85	472,8	60,6 m	0,0256	0,9
90	487,3	46,1 m	0,0232	0,8
95	504,6	28,8 m	0,0232	0,6

ob↑	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	538,2	-4,8 m	0,0392	0,3
25	545,1	-11,7 m	0,0387	0,7
50	555,8	-22,4 m	0,0382	1,4
75	565,2	-31,8 m	0,0373	1,8
100	573,5	-40,1 m	0,0363	2,0
120	579,3	-45,9 m	0,0354	2,1
150	586,4	-53,0 m	0,0344	2,2
oo↓				
10	526,4	7,0 m	0,0390	0,3
25	516,5	16,9 m	0,0383	0,8
50	502,1	31,3 m	0,0389	1,2
75	490,2	43,2 m	0,0397	1,9
100	480,5	52,9 m	0,0410	2,3
120	474,0	59,4 m	0,0420	2,6
150	466,4	67,0 m	0,0435	2,9
flw↑				
105	540,6	-7,2 m	0,0257	0,4
110	557,2	-23,8 m	0,0193	0,4
115	573,6	-40,2 m	0,0176	1,1
120	588,8	-55,4 m	0,0169	2,2
125	609,2	-75,8 m	0,0153	2,6
130	625,0	-91,6 m	0,0164	2,8

BIJLAGE D.1b 'q' uitgezet tegen W-(L2-L1) bij $z_g = -4$ m

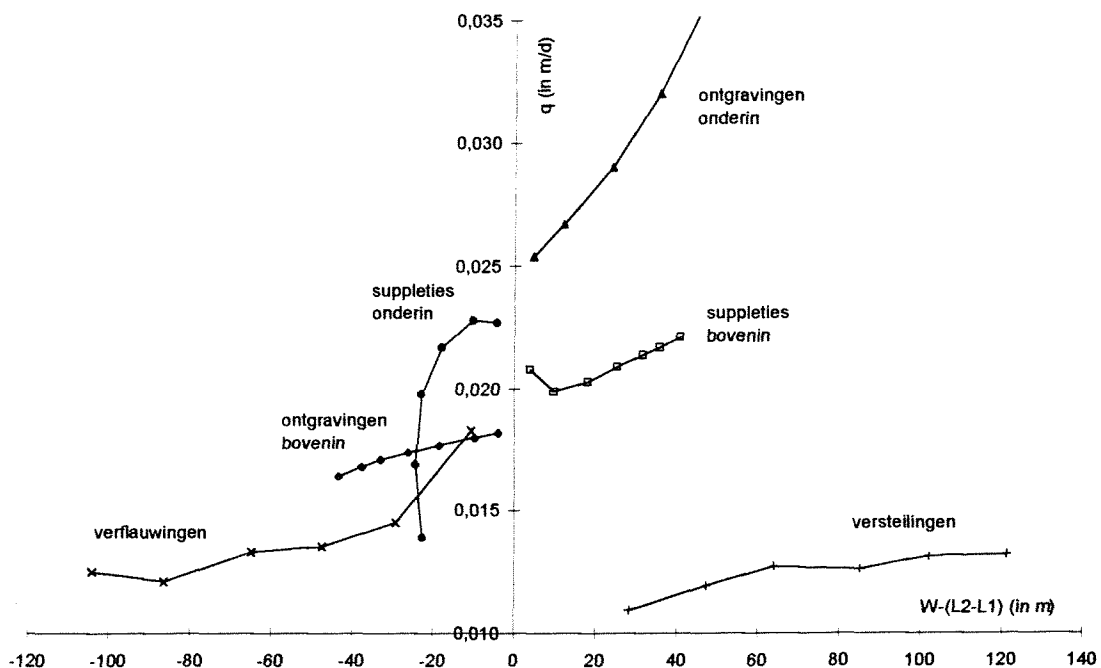


BIJLAGE D.2a tabel bij $z_g = -5$ m

sb↓	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	564,5	3,9 m	0,0208	0,3
25	558,6	9,8 m	0,0199	0,6
50	550,3	18,1 m	0,0203	1,0
75	543,1	25,3 m	0,0209	1,4
100	536,8	31,6 m	0,0214	1,7
120	532,6	35,8 m	0,0217	1,9
150	527,6	40,8 m	0,0221	2,2
so↑				
10	572,8	-4,4 m	0,0227	0,3
25	578,6	-10,2 m	0,0228	0,8
50	586,3	-17,9 m	0,0217	1,7
75	591,2	-22,8 m	0,0198	2,8
100	592,7	-24,3 m	0,0169	4,5
120	591,1	-22,7 m	0,0139	6,4
150	584,3	-15,9 m	XXXXXX	XXX
stl↓				
70	447,1	121,3 m	0,0132	5,9
75	466,1	102,3 m	0,0131	4,6
80	483,2	85,2 m	0,0126	3,5
85	504,3	64,1 m	0,0127	2,5
90	521	47,4 m	0,0119	1,6
95	540	28,4 m	0,0109	1,1

ob↑	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	572,4	-4,0 m	0,0182	0,2
25	578,1	-9,7 m	0,0180	0,5
50	586,8	-18,4 m	0,0177	1,0
75	594,5	-26,1 m	0,0174	1,5
100	601,3	-32,9 m	0,0171	1,9
120	606	-37,6 m	0,0168	2,2
150	611,8	-43,4 m	0,0164	2,7
oo↓				
10	563,7	4,7 m	0,0254	0,3
25	556,4	12,0 m	0,0267	0,7
50	544,4	24,0 m	0,0290	1,2
75	532,7	35,7 m	0,0320	1,6
100	521,3	47,1 m	0,0358	1,8
120	513,3	55,1 m	0,0384	1,9
150	503,8	64,6 m	0,0415	1,9
flw↑				
105	579	-10,6 m	0,0183	0,5
110	597,6	-29,2 m	0,0145	0,6
115	615,9	-47,5 m	0,0135	1,1
120	633,2	-64,8 m	0,0133	1,7
125	654,8	-86,4 m	0,0121	2,0
130	672,5	-104,1 m	0,0125	2,1

BIJLAGE D.2b grafiek bij $z_g = -5$ m

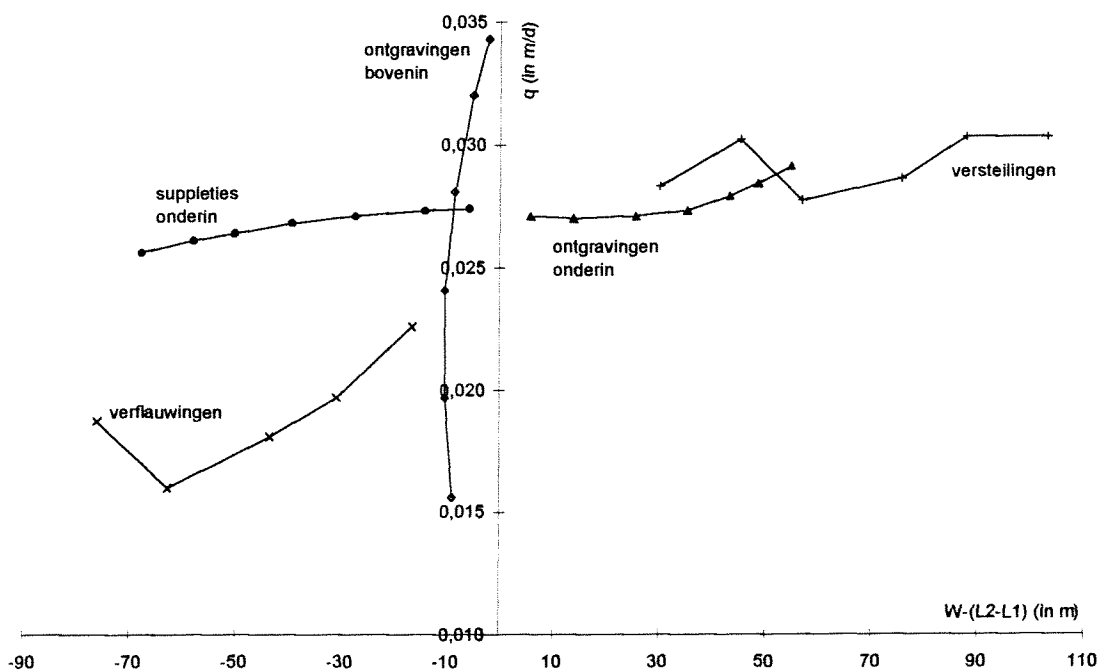


BIJLAGE D.3a tabel bij $z_g = -3$ m

sb↓	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	508,5	2,8 m	0,0690	0,4
25	503,8	7,5 m	0,0585	0,6
50	496,2	15,1 m	0,0674	1,0
75	487,9	23,4 m	0,0813	1,4
100	479,0	32,3 m	0,0987	1,7
120	472,7	38,6 m	0,1074	2,0
150	465,1	46,2 m	0,1174	2,2
so↑				
10	517,1	-5,8 m	0,0274	0,1
25	525,5	-14,2 m	0,0273	0,5
50	538,6	-27,3 m	0,0271	1,0
75	550,6	-39,3 m	0,0268	1,5
100	561,4	-50,1 m	0,0264	1,8
120	569,1	-57,8 m	0,0261	2,0
150	579,0	-67,7 m	0,0256	2,1
stl↓				
70	408,2	103,1 m	0,0303	1,7
75	423,5	87,8 m	0,0303	1,2
80	435,7	75,6 m	0,0286	1,2
85	454,4	56,9 m	0,0277	1,2
90	466,0	45,3 m	0,0302	0,5
95	481,2	30,1 m	0,0283	0,8

ob↑	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	513,6	-2,3 m	0,0343	0,3
25	516,5	-5,2 m	0,0320	0,4
50	519,9	-8,6 m	0,0281	0,6
75	521,7	-10,4 m	0,0241	0,7
100	521,7	-10,4 m	0,0197	1,1
120	520,4	-9,1 m	0,0156	1,8
150	516,4	-5,1 m	XXXXX	XXX
oo↓				
10	505,6	5,7 m	0,0271	0,3
25	497,5	13,8 m	0,0270	0,8
50	485,7	25,6 m	0,0271	1,5
75	476,0	35,3 m	0,0273	2,1
100	468,0	43,3 m	0,0279	2,6
120	462,7	48,6 m	0,0284	3,1
150	456,5	54,8 m	0,0291	3,6
flw↑				
105	513,2	-1,9 m	XXXXX	XXX
110	527,9	-16,6 m	0,0226	0,3
115	542,1	-30,8 m	0,0197	0,8
120	554,7	-43,4 m	0,0181	2,2
125	574,0	-62,7 m	0,0160	2,9
130	587,3	-76,0 m	0,0187	3,2

BIJLAGE D.3b grafiek bij $z_g = -3$ m

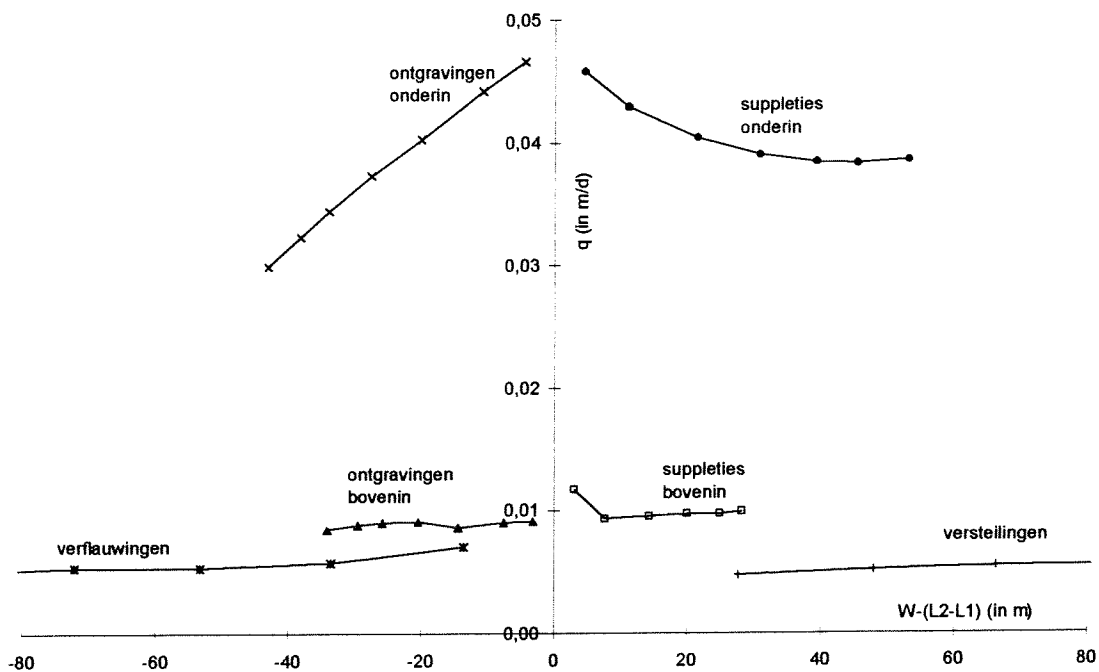


BIJLAGE D.4a tabel bij $z_g = -6,5$ m

sb↓	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	642,6	3,1 m	0,0117	0,3
25	638,0	7,7 m	0,0093	0,8
50	631,4	14,3 m	0,0095	1,6
75	625,7	20,0 m	0,0097	2,2
100	620,8	24,9 m	0,0097	2,7
120	617,5	28,2 m	0,0099	3,1
150	613,6	32,1 m	0,0093	3,4
so↓				
10	641,1	4,6 m	0,0458	<u>1,0</u>
25	634,5	11,2 m	0,0429	<u>2,3</u>
50	624,2	21,5 m	0,0404	<u>4,2</u>
75	614,8	30,9 m	0,0390	<u>5,8</u>
100	606,3	39,4 m	0,0384	<u>7,1</u>
120	600,2	45,5 m	0,0383	<u>8,0</u>
150	592,5	53,2 m	0,0386	<u>9,1</u>
stl↓				
70	518,5	127,2 m	0,0058	5,3
75	538,8	106,9 m	0,0057	4,7
80	557,4	88,3 m	0,0055	4,0
85	579,4	66,3 m	0,0054	3,2
90	597,8	47,9 m	0,0051	2,3
95	618,0	27,7 m	0,0047	1,2

ob↑	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	648,8	-3,1 m	0,0091	0,1
25	653,2	-7,5 m	0,0090	0,2
50	660,1	-14,4 m	0,0086	0,4
75	666,1	-20,4 m	0,0091	0,5
100	671,5	-25,8 m	0,0090	0,8
120	675,2	-29,5 m	0,0088	1,0
150	679,8	-34,1 m	0,0084	1,2
oo↑				
10	650,1	-4,4 m	0,0466	<u>0,9</u>
25	656,4	-10,7 m	0,0442	<u>2,1</u>
50	665,7	-20,0 m	0,0403	<u>3,5</u>
75	673,3	-27,6 m	0,0373	4,1
100	679,6	-33,9 m	0,0344	4,1
120	683,8	-38,1 m	0,0323	4,0
150	688,7	-43,0 m	0,0299	3,8
flw↑				
105	659,2	-13,5 m	0,0070	0,9
110	679,2	-33,5 m	0,0057	2,4
115	698,9	-53,2 m	0,0053	3,6
120	717,8	-72,1 m	0,0053	4,4
125	740,0	-94,3 m	0,0048	5,8
130	759,3	-113,6 m	0,0047	7,0

BIJLAGE D.4b grafiek bij $z_g = -6,5$ m

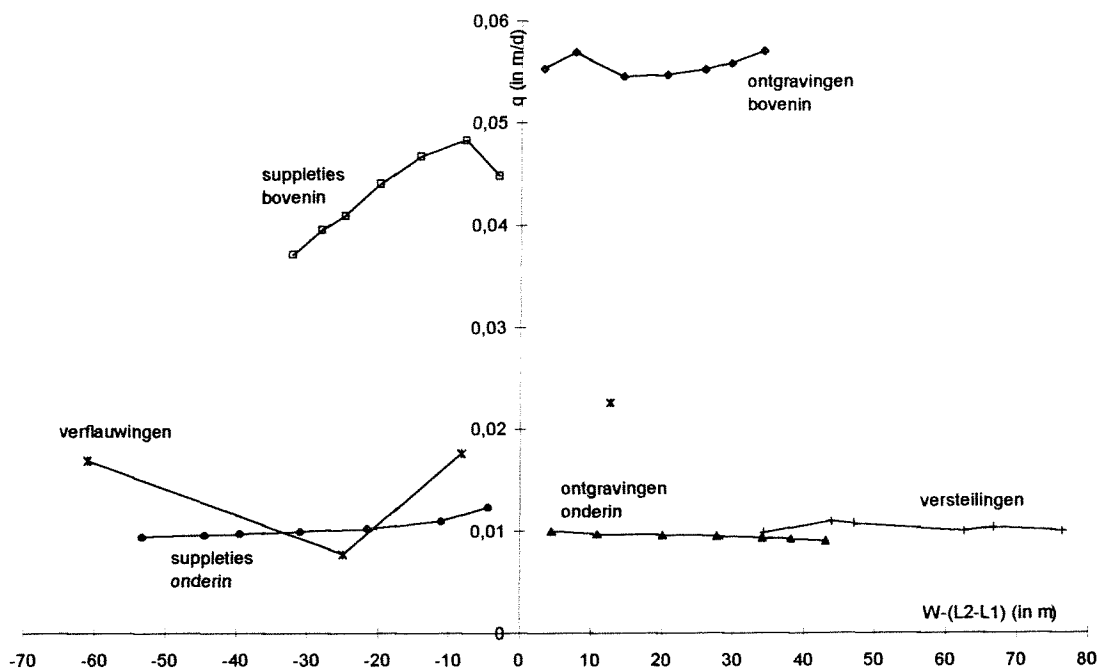


BIJLAGE D.5a tabel bij $z_g = -1,5$ m

sb↑	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	494,2	-3,1 m	0,0448	0,3
25	498,8	-7,7 m	0,0483	0,4
50	505,3	-14,2 m	0,0467	1,4
75	511,0	-19,9 m	0,0440	2,3
100	515,9	-24,8 m	0,0409	3,1
120	519,2	-28,1 m	0,0395	3,6
150	523,2	-32,1 m	0,0371	4,2
so↑				
10	495,6	-4,5 m	0,0123	0,3
25	502,2	-11,1 m	0,0109	0,6
50	512,5	-21,4 m	0,0102	1,2
75	522,0	-30,9 m	0,0099	1,7
100	530,5	-39,4 m	0,0097	2,1
120	535,5	-44,4 m	0,0096	2,3
150	544,3	-53,2 m	0,0094	2,5
stl↓				
70	414,7	76,4 m	0,0099	6,4
75	424,4	66,7 m	0,0103	5,5
80	428,5	62,6 m	0,0099	5,2
85	444,0	47,1 m	0,0107	4,3
90	447,2	43,9 m	0,0109	4,1
95	456,7	34,4 m	0,0098	4,2

ob↓	L2-L1 (in m)	W-(L2-L1)	q (in m/d)	fout (in m)
10	487,9	3,2 m	0,0553	0,4
25	483,5	7,6 m	0,0569	1,0
50	476,7	14,4 m	0,0545	1,7
75	470,6	20,5 m	0,0547	2,7
100	465,2	25,9 m	0,0552	3,8
120	461,5	29,6 m	0,0558	4,6
150	457,0	34,1 m	0,0570	5,6
oo↓				
10	486,6	4,5 m	0,0100	0,4
25	480,2	10,9 m	0,0097	0,9
50	471,0	20,1 m	0,0096	1,5
75	463,3	27,8 m	0,0095	2,0
100	457,0	34,1 m	0,0093	2,7
120	452,9	38,2 m	0,0092	3,2
150	448,0	43,1 m	0,0090	3,7
flw↑				
105	478,4	12,7 m	0,0226	0,9
110	486,9	4,2 m	XXXXX	XXX
115	494,5	-3,4 m	XXXXX	XXX
120	499,3	-8,2 m	0,0176	0,5
125	516,0	-24,9 m	0,0077	0,9
130	552,1	-61,0 m	0,0169	0,9

BIJLAGE D.5b grafiek bij $z_g = -1,5$ m



BIJLAGE D.6a karakteristieke tijdschalen bij de verschillende lagenindelingen

sb	-6,5	-5,0	-4,0	-3,0	-1,5
10	133,0 d	102,8 d	47,3 d	31,0 d	34,7 d
25	167,3 d	107,5 d	52,3 d	36,6 d	32,2 d
50	163,7 d	105,3 d	51,3 d	31,7 d	33,3 d
75	160,4 d	102,3 d	49,5 d	26,3 d	35,4 d
100	160,4 d	99,9 d	47,5 d	21,7 d	38,0 d
120	157,1 d	98,6 d	46,6 d	19,9 d	39,4 d
150	167,3 d	96,8 d	45,3 d	18,2 d	41,9 d
so					
10	34,0 d	94,2 d	57,7 d	78,0 d	126,5 d
25	36,3 d	93,8 d	58,7 d	78,3 d	142,7 d
50	38,5 d	98,6 d	57,8 d	78,9 d	152,5 d
75	39,9 d	57,5 d	56,7 d	79,8 d	157,1 d
100	40,5 d	60,6 d	54,9 d	81,0 d	160,4 d
120	40,6 d	69,0 d	53,6 d	81,9 d	162,0 d
150	40,3 d	67,5 d	51,7 d	83,6 d	165,5 d
stl					
70	268,2 d	162,0 d	77,6 d	70,6 d	157,1 d
75	272,9 d	163,3 d	82,7 d	70,6 d	151,0 d
80	282,8 d	169,8 d	96,2 d	74,8 d	157,1 d
85	288,1 d	168,4 d	87,9 d	77,2 d	145,4 d
90	305,0 d	179,7 d	97,0 d	70,8 d	142,7 d
95	331,0 d	196,2	97,0 d	75,6 d	158,7 d

ob	-6,5	-5,0	-4,0	-3,0	-1,5
10	170,9 d	117,5 d	61,5 d	62,4 d	28,1 d
25	172,8 d	118,8 d	60,0 d	66,8 d	27,3 d
50	180,9 d	120,8 d	59,8 d	76,1 d	28,5 d
75	170,9 d	122,9 d	60,6 d	88,8 d	28,4 d
100	172,8 d	125,1 d	61,8 d	108,6 d	28,2 d
120	176,8 d	127,3 d	63,0 d	137,1 d	27,9 d
150	185,2 d	130,4 d	65,0 d	XXXXX	27,3 d
oo					
10	33,4 d	84,2 d	57,4 d	78,9 d	155,6 d
25	35,2 d	80,1 d	58,1 d	79,2 d	160,4 d
50	38,6 d	73,8 d	58,9 d	78,9 d	162,0 d
75	41,7 d	66,8 d	60,3 d	78,3 d	163,7 d
100	45,2 d	59,7 d	62,0 d	76,7 d	167,3 d
120	48,2 d	55,7 d	63,6 d	75,3 d	169,1 d
150	52,0 d	51,5 d	65,4 d	73,5 d	172,8 d
flw					
105	222,2 d	116,9 d	87,5 d	XXXXX	68,8 d
110	272,9 d	147,5 d	116,6 d	94,6 d	XXXXX
115	293,5 d	158,4 d	127,8 d	108,6 d	XXXXX
120	293,5 d	160,8 d	133,1 d	118,2 d	88,4 d
125	324,1 d	176,8 d	147,1 d	133,7 d	202,0 d
130	331,0 d	171,1 d	137,2 d	114,4 d	92,0 d

BIJLAGE D.6b gemiddelde karakteristieke tijdschalen

	sb	so	ob	oo	stl	flw
10	69,8 d	78,1 d	88,1 d	81,9 d	147,1 d	123,9 d
25	79,2 d	82,0 d	89,1 d	82,6 d	148,1 d	157,9 d
50	77,1 d	85,3 d	93,2 d	82,4 d	156,1 d	172,1 d
75	74,8 d	78,2 d	94,3 d	82,2 d	153,4 d	158,8 d
100	73,5 d	79,5 d	99,3 d	82,2 d	159,0 d	196,7 d
120	72,3 d	81,4 d	106,4 d	82,4 d	171,7 d	169,1 d
150	73,9 d	81,7 d	102,0 d	83,0 d	-----	-----