

# Vluchthaven Wijdenes

---

## Verzandingsprobleem in de vluchthaven

*In opdracht van Recreatieschap Westfriesland*

Afstudeerrapport



Technische Universiteit Delft  
Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen  
Sectie Waterbouwkunde

E.K.H. Lee  
Mei 2011

Afstudeercommissie:

Prof. dr. ir. M.J.F. Stive  
Dr. ir. G.P. van Vledder  
Dr. ir. B.C van Prooijen



## Voorwoord

Dit rapport is het afsluitende onderdeel van de studie Civiele Techniek bij de sectie Waterbouwkunde aan de Technische Universiteit Delft. Het afstudeeronderzoek “Vluchthaven Wijdenes, verzandingsprobleem in de vluchthaven” is uitgevoerd in opdracht van het Recreatieschap Westfriesland.

Als eerste wil ik mijn afstudeercommissie bedanken voor de begeleiding en ondersteuning tijdens mijn afstudeeronderzoek. Zij hebben telkens met veel geduld mijn ingeleverde werk beoordeeld en voorzien van commentaar. Verder wil ik dhr. N. Albers en alle medewerkers van Recreatieschap Westfriesland bedanken voor de leuke tijden in het kantoor. Als laatste wil ik iedereen die een bijdrage heeft geleverd aan het voltooien van mijn afstudeerwerk hierbij bedanken voor de inzet en de geboden hulp.

Hoofddorp, april 2011

Edmund Lee



## Samenvatting

Na het afsluiten van de Zuiderzee en de komst van de Afsluitdijk in 1932, verdween voor een groot deel de visvangst voor beroepsvissers en verloor de haven van Wijdenes haar bestaansrecht. In 1980 besloot het Recreatieschap Westfriesland, toentertijd nog onderdeel van het Samenwerkingsorgaan West-Friesland, de vluchthaven opnieuw in gebruik te nemen. In de loop der jaren kampte de vluchthaven met verzandingsproblemen en zijn er diverse onderzoeken en aanpassingen uitgevoerd. Sinds de aanpassingen in 2001, werd er in november 2008 weer voor het eerst gebaggerd. Maar in oktober 2009 bleek bij een peiling dat een derde ( $620\text{m}^3$ ) van het gebaggerde hoeveelheid sediment alweer terug was in de haven. Per januari 2008 is ook het Bouwstoffenbesluit vervangen door de nieuwe wet "Besluit bodemkwaliteit". Door de verscherpte wetgeving voor de behandeling van baggerspecie, zijn de kosten voor de behandeling toegenomen. Door de hoge kosten die het baggeren met zich meebrengt is het financieel niet meer rendabel voor de havenbeheerder om de haven op diepte te houden. Naast de havenfunctie biedt het terrein nabij de vluchthaven ook mogelijkheden voor openlucht recreatie. Ook is de haven de uitvalsbasis voor de vrijwillige reddingsbrigade Stichting Reddingsstation Wijdenes. In deze studie wordt onderzocht wat de processen zijn die ten grondslag liggen aan de verzanding, met als doel de verzanding te beperken. Er dienen maatregelen te worden voorgesteld zodat er op lange termijn een kostenbesparing voor het beheer teweeg wordt gebracht.

Bij een bezoek ter plaatse bleek dat de zuidelijke golfbreker verzakt was. De oorzaak voor de verzakking is het berijden van een dragline op de golfbreker ten behoeve van baggerwerkzaamheden in 2008, waar de golfbreker niet voor bedoeld is. De opbouw van de golfbreker bestaat uit een geotube, een kunststoffilter en breukstenen. Door de verzakking van de golfbreker vindt nu golfoverslag met sediment plaats dat zorgt voor verzanding achter de zuidelijke golfbreker. Golfoverslag vindt meestal plaats in de zomer, omdat de waterstand in onze situatie de maatgevende factor is. Door de verzakking is de golfbreker sedimentdoorlatend geworden bij windopzet. Dit gebeurt wanneer het waterniveau de bovenkant van de geotube heeft bereikt. Dit verklaart waarom een derde van het gebaggerde hoeveelheid sediment in een jaar tijd teruggekomen is in de vluchthaven. Door de incidenteel optredende golfoverslag worden breukstenen op de golfbreker verplaatst. Hierdoor liggen rondom de golfbreker enkele losse stenen. Dit heeft invloed op de kruinhoogte van de golfbreker, waardoor er meer golfoverslag plaatsvinden. Ook de vorm van de zuidelijke golfbreker zorgt voor verzandingsproblemen. De zuidelijke golfbreker staat bijna haaks op de kustlijn en zorgt ervoor dat het water achter de golfbreker kalmer wordt. Door het kalmere water kan het sediment bezinken en vervolgens naar de haven worden getransporteerd. Als laatste is de noordelijke golfbreker te kort, hierdoor kan sediment uit het noorden de golfbreker passeren. Omdat de zuidelijke golfbreker langer is dan de noordelijke golfbreker, wordt het sediment opgevangen door de zuidelijke golfbreker en vindt er verzanding plaats in de vluchthaven.

Om verzanding van de vluchthaven te beperken, zijn drie alternatieven uitgewerkt. Alternatief 1 is het herstellen van de verzakte golfbreker; Alternatief 2 is de vorm van de zuidelijke golfbreker aanpassen en Alternatief 3 worden beide golfbrekers aangepast. Een kostenanalyse zou uitgevoerd moeten worden voor de diverse alternatieven, om de financiële haalbaarheid vast te stellen. Met behulp van een Multi-Criteria- Evaluatie ontstaat er een overzicht van de sterke en zwakke punten van elk alternatief. Het vaststellen van de toekomstvisie van de vluchthaven is bepalend voor de keuze van de alternatieven.

# Inhoudsopgave

Voorwoord .....	ii
Samenvatting.....	iv
Inhoudsopgave.....	v
Lijst van symbolen.....	viii
Lijst van figuren .....	x
Lijst van tabellen .....	xii
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Geschiedenis</i> .....	1
1.2 <i>Probleembeschrijving</i> .....	2
1.3 <i>Probleemstelling</i> .....	2
1.4 <i>Doelstelling</i> .....	3
1.5 <i>Leeswijzer</i> .....	3
<b>2 Achtergrond informatie.....</b>	<b>4</b>
2.1 <i>Geschiedenis Markermeer</i> .....	4
2.2 <i>Situatieschets vluchthaven</i> .....	5
2.3 <i>Aanpassingen en onderzoeken</i> .....	7
2.3.1 <i>Oranjewoud BV (1980)</i> .....	7
2.3.2 <i>Waterloopkundig Laboratorium (1991)</i> .....	8
2.3.3 <i>De Vries en Van der Wiel BV (1993)</i> .....	10
2.3.4 <i>De Vries en Van der Wiel BV (2001)</i> .....	10
2.3.5 <i>Baggerwerkzaamheden (2008)</i> .....	11
2.4 <i>Kostenoverzicht</i> .....	11
<b>3 Fysische processen.....</b>	<b>12</b>
3.1 <i>Golven</i> .....	12
3.2 <i>Lokale golfprocessen</i> .....	17
3.3 <i>Sedimenttransport</i> .....	21
3.3.1 <i>Sedimenteigenschappen</i> .....	21
3.3.2 <i>Valsnelheid</i> .....	22
3.3.3 <i>Shields</i> .....	24
3.3.4 <i>Bodemschuifspanning</i> .....	26

3.3.5	Langtransport.....	27
3.3.6	Golfbrekers.....	28
<b>4</b>	<b>Situatie in het Markermeer .....</b>	<b>29</b>
4.1	Waterstanden .....	29
4.2	Waterdiepte .....	30
4.3	Reconstructie golfklimaat .....	31
4.3.1	Winddata .....	33
4.3.2	Golfrichting en strijklengten .....	34
4.3.3	Golfhoogtes .....	35
4.4	Bodemsamenstelling Markermeer.....	36
4.5	Initieel sediment transport .....	37
4.6	Langtransport.....	38
<b>5</b>	<b>Situatie bij de vluchthaven Wijdenes.....</b>	<b>39</b>
5.1	Windopzet.....	39
5.2	Golfhoogte en golfperiode .....	41
5.2.1	Golf model SWAN .....	41
5.2.2	Resultaten .....	41
5.3	Golfoverslag.....	42
5.3.1	Breakwat 3.1.....	42
5.3.2	Resultaten .....	43
5.4	Sedimenttransport naar de havenmond .....	44
<b>6</b>	<b>Discussie maatregelen .....</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>49</b>
7.1	Conclusie .....	49
7.2	Aanbevelingen .....	49
	<b>Literatuurlijst .....</b>	<b>50</b>
	<b>Bijlagen .....</b>	<b>52</b>
	<i>Bijlage A: Schaal van Beaufort.....</i>	53
	<i>Bijlage B: Aanpassingen op vluchthaven Wijdenes .....</i>	54
	<i>B-1: Reconstructie en renoveren van de vluchthaven in 1980.....</i>	54
	<i>B-2: Verlenging van de golfbrekers in 1993.....</i>	55
	<i>B-3: Verlenging van de golfbrekers en aanleg van zandopvang in 2001 .....</i>	55
	<i>Bijlage C: Resultaten uit model Bretschneider .....</i>	56
	<i>C-1: Locatie en diepte contouren.....</i>	56
	<i>C-2: Strijklengte vanuit de locaties .....</i>	57

<i>C-3: Gemiddelde diepte</i> .....	58
<i>Bijlage D: Sedimenttransport door golven</i> .....	59
<i>Bijlage E: Windopzet</i> .....	62
<i>Bijlage F: SWAN 1D instelling</i> .....	66
<i>Bijlage G: Resultaten SWAN1D</i> .....	67
<i>Bijlage H: Resultaten Breakwat 3.1</i> .....	69
<i>G-1: Huidige situatie</i> .....	70
<i>G-2: Oude Situatie</i> .....	73
<i>Bijlage I: Resultaten Konmar &amp; Miller bij havenmond</i> .....	76



## Lijst van symbolen

Symbol	Eenheid	Omschrijving
$\hat{A}_\delta$	[m]	Orbitale bodemamplitude
$\hat{A}_{\delta,cr}$	[m]	Kritische orbitale bodemamplitude
B	[-]	Blijker coëfficiënt (= 5)
Bf	[-]	Getal van Beaufort
b	[m]	Berm breedte
C	[m <sup>0,5</sup> /s]	Chézy coëfficiënt
C <sub>2</sub>	[-]	Wrijvingscoëfficiënt ( $\approx 3,5 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-6}$ )
C <sub>90</sub>	[m <sup>0,5</sup> /s]	Chézy coëfficiënt gebaseerd op D <sub>90</sub>
C <sub>D</sub>	[-]	Weerstandcoëfficiënt
c	[m/s]	Golfsnelheid
cot( $\alpha_{s1}$ )	[-]	Benede talud van de golfbreker
cot( $\alpha_{s2}$ )	[-]	Boven talud van de golfbreker
D	[mm]	Korrel diameter
D <sub>50</sub>	[mm]	Mediane korrel diameter
d	[m]	Waterdiepte
$\tilde{d}$	[-]	Dimensieloze waterdiepte
d <sub>h</sub>	[m]	Diepte berm t.o.v. waterpeil
E <sub>tot</sub>	[J/m <sup>2</sup> ]	Totale oppervlakte variantie dichtheidspectrum
F	[m]	Strijk lengte van wind over het water
$\tilde{F}$	[-]	Dimensieloze strijk lengte
F <sub>G</sub>	[N]	Zwaartekracht
F <sub>D</sub>	[N]	Hydraulische weerstand
f	[Hz]	Frequentie
g	[m/s <sup>2</sup> ]	Zwaartekrachtversnelling ( $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$ )
H	[m]	Golfhoogte
$\tilde{H}$	[-]	Dimensieloze golfhoogte
H <sub>s</sub>	[m]	Significante golfhoogte
H <sub>b</sub>	[m]	Golfhoogte waar de golf breekt
H <sub>cr</sub>	[m]	Kritische golfhoogte
H <sub>m0</sub>	[m]	Significante golfhoogte uit spectrum
H <sub>visueel</sub>	[m]	Visuele golfhoogte
H <sub>1/3</sub>	[m]	Significante golfhoogte uit tijddomein
h	[m]	Waterdiepte waar de golf breekt
k	[m <sup>-1</sup> ]	Hoeksnelheid
L	[m]	Golf lengte

$L_0$	[m]	Golflengte op diep water
$m_0$	[-]	Totale golfvariantie
$N$	[-]	Aantal inkomende golven
$P(H>H)$	[-]	Kans dat de golfhoogte $H$ overschreden wordt
$Re$	[-]	Getal van Reynolds
$R_c$	[m]	Kruinhoogte vanuit waterpeil
$S$	[m <sup>3</sup> /jaar]	Total sedimenttransport
$S_0$	[m <sup>3</sup> /jaar]	Ongecorrigeerd sedimenttransport
$S_b$	[m <sup>3</sup> /s]	Sediment bodemtransport
$S_c$	[m <sup>3</sup> /jaar]	Sedimenttransport na correctie voor constructie
$S_{cs}$	[m <sup>3</sup> /jaar]	Sedimenttransport na correctie voor constructie en schelpen
$s$	[m]	Relatieve dichtheid ( $\rho_s / \rho_w$ )
$T$	[s]	Golfperiode
$\tilde{T}$	[-]	Dimensieloze golfperiode
$T_{m-1,0}$	[s]	Spectrale golfperiode ( $T_p=1,1 T_{m-1,0}$ )
$T_p$	[s]	Piek golfperiode
$T_s$	[s]	Significante golfperiode
$u$	[m/s]	Windsnelheid
$u_{cr}$	[m/s]	Kritische windsnelheid
$u_*$	[m/s]	Schuifsnelheid
$\hat{U}_\delta$	[m/s]	Orbitale bodemsnelheid
$\hat{U}_{\delta,cr}$	[m/s]	Kritische orbitale bodemsnelheid
$W$	[m]	Windopzet
$w$	[m/s]	Valsnelheid van de korrel
$v_*$	[m/s]	Schuifspanning snelheid
$\alpha$	[°]	Steilheid van de kust
$\gamma$	[-]	Brekerindex
$\gamma_f$	[-]	Reductiefactor ruwheid
$\theta$	[-]	Shields parameter
$\mu$	[-]	Ribbels factor
$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	Kinematische viscositeit
$\xi$	[-]	Iribarren parameter
$\pi$	[-]	pi ( $\approx 3,14$ )
$\rho_s$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Sediment dichtheid
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Vloeistof dichtheid
$\sigma$	[N/m <sup>2</sup> ]	Schuifspanning
$\sigma_0$	[N/m <sup>2</sup> ]	Bodemschuifspanning
$\Phi$	[°]	Windrichting
$\varphi$	[°]	Golfrichting
$\omega$	[s <sup>-1</sup> ]	Hoeksnelheid
$\Delta$	[-]	Relatieve dichtheid

## Lijst van figuren

Figuur 1.1: Luchtfoto vluchthaven Wijdenes (Google Earth) .....	1
Figuur 1.2: Markermeer en Wijdenes (www.wikipedia.nl).....	2
Figuur 1.3: Vluchthaven Wijdenes. Het verzandingsprobleem is duidelijk zichtbaar achter de zuidelijke golfbreker bij de havenmond.....	3
Figuur 2.1: Kaart van IJsselmeer Markermeer en Zuiderzeewerken (www.wikipedia.nl).....	4
Figuur 2.2: Situatieschets van de vluchthaven (Google Earth).....	5
Figuur 2.3: Opbouw van de golfbreker.....	6
Figuur 2.4: Aanpassing aan de vluchthaven van de afgelopen jaren.....	7
Figuur 2.5: Hoek van golfval ( $\varphi$ ) naar de vluchthaven toe.....	8
Figuur 3.1: Definitieschets voor een sinusvormige golf (Bezuyen, et al., 2009).....	12
Figuur 3.2: Orbitaalbeweging bij ondiep en diep water (Bezuyen, et al., 2009).....	13
Figuur 3.3: Tijdregistratie van een onregelmatig golfveld met verschillende frequenties (Van de Graaff, 2006) .....	14
Figuur 3.4: Variantie dichtheidsspectrum (Schierreck, 2000) .....	14
Figuur 3.5: Golfhoogteverdeling uitgezet op Rayleigh- papier (Bezuyen, et al, 2009) .....	15
Figuur 3.6: Nomogram voor diep water (Bezuyen, et al, 2009).....	16
Figuur 3.7: Nomogram voor ondiep water (Bezuyen, et al, 2009).....	16
Figuur 3.8: Refractie van een golf richting de kustlijn, wanneer het ook ondieper wordt met op de x-as de afstand tot aan de kustlijn (d'Angremond, 2001) .....	17
Figuur 3.9: Diffractie wanneer een golven een obstakel tegen komen (Van de Graaff, 2006).....	18
Figuur 3.10: Breaktypes bij verschillen Iribarren parameter (d'Angremond, 2001) .....	19
Figuur 3.11: Windopzet door de wind. Hierdoor verandert de waterstand bij de kustlijn .....	20
Figuur 3.12: Golfoploop van een golf. (d'Angremond, 2001).....	20
Figuur 3.13: Krachten op een korrel (Schierreck, 2004).....	21
Figuur 3.14: Krachten op een korrel (Van de Graaff, 2006) .....	22
Figuur 3.15: Weerstand coëfficiënt als functie van Reynolds nummer (Vanoni, 1975).....	24
Figuur 3.16: Bodemtransport en zwevendtransport (Van der Weij, 2005) .....	25
Figuur 3.17: Shields diagram (Shields, 1936).....	25
Figuur 3.18: Langtransport van sediment (Van de Graaff, 2006) .....	27
Figuur 3.19: Algemene effecten van een golfbreker (d'Angremond, 2001).....	28
Figuur 4.1: Gemeten waterhoogte in het Markermeer (Delftcluster, 2008) .....	29
Figuur 4.2: Diepte kaart van het Markermeer t.o.v. NAP (coördinaten systeem RDH).....	30
Figuur 4.3: Diepte kaart in de omgeving van de vluchthaven t.o.v. NAP (coördinaten systeem RDH).....	31
Figuur 4.4: Locatie en diepte contouren kaart bij de vluchthaven (coördinaten systeem RDH).....	32
Figuur 4.5: Kraaienburg en vluchthaven Wijdenes, schaal 1:20.000 (The Top10vector).....	33
Figuur 4.6: Windroos 2003-2009 .....	33
Figuur 4.7: Windfrequentie tabel 2003-2009.....	33
Figuur 4.8: Windrichting en golfrichting ten opzichte van vluchthaven Wijdenes .....	34
Figuur 4.9: Golfroos 2003-2009 .....	35
Figuur 4.10: Golfrequentie tabel 2003-2009 .....	35
Figuur 4.11: Sedimenteigenschappen in het Markermeer (RIZA, 2003-016).....	36
Figuur 4.12: Diepte contouren Markermeer t.o.v. NAP.....	38
Figuur 5.1: Winddata van november 2008 tot november 2009 (www.knmi.nl).....	39
Figuur 5.2: Verzanding achter de golfbreker bij doorlatendheid (Google Earth) .....	40

Figuur 5.3: Doorsnede van een golfbreker met parameters dat wordt gebruikt voor het model (WL Delft Hydraulics, 2005) .....	42
Figuur 5.4: Golfoverslag bij huidige situatie met zomerpeil .....	43
Figuur 5.5: Golfoverslag bij huidige situatie met winterpeil.....	43
Figuur 5.6: Golfoverslag oude situatie bij zomerpeil.....	44
Figuur 5.7: Golfoverslag oude situatie bij winterpeil .....	44
Figuur 5.8: Verzanding bij de vluchthaven (Google Earth).....	44
Figuur 6.1: Sedimenttransport mogelijkheden bij de vluchthaven (Google Earth) .....	46
Figuur 6.2: Alternatief 3 - Situatie vluchthaven Wijdenes .....	47
Figuur 6.3: Alternatief 4 - Situatie vluchthaven Wijdenes .....	48

## Lijst van tabellen

Tabel 2.1: Overzicht berekeningsresultaten langtransport; S0 (ongecorrigeerd), Sc (na correctie voor constructies), Scs (na correctie voor constructies en schelpen).....	9
Tabel 2.2: Overzicht verwacht baggerbezwaar voor verschillende alternatieven. ( Waterloopkundige Laboratorium, 1991).....	10
Tabel 2.3: Kosten overzicht van de afgelopen jaren.....	11
Tabel 3.1: Classificatie van waterdiepte (Bezuyen, et al., 2009).....	13
Tabel 3.2: Sediment dichtheid.....	21
Tabel 3.3: Classificatie korreldiameter.....	22
Tabel 4.1: Zomerpeil en winterpeil.....	29
Tabel 4.2: Overzicht wind- en golfrichtingen met bijbehorende strijklengten en waterdiepte.....	35
Tabel 4.3: Begin van sedimenttransport door wind naar de vluchthaven toe.....	37
Tabel 5.1: Overzicht windopzet waar waterniveau gelijk is aan geotube niveau.....	40
Tabel 5.2: Overzicht van beging van sedimenttransport door wind naar havenmond.....	45

# 1 Inleiding

## 1.1 Geschiedenis

De haven van Wijdenes is ontstaan rond 1300 in de toenmalige Zuiderzee. Het diende als vluchthaven voor beroepsvissers en als thuishaven voor de Wijdenesser vissersscheepjes. De visserij was toen een belangrijke bron van inkomsten voor West- Friesland. Na het afsluiten van de Zuiderzee met de komst van de Afsluitdijk in 1932 verdween de visvangst voor deze vissersschepen en verloor de haven haar bestaansrecht. In 1980 besloot het Recreatieschap Westfriesland, toentertijd nog onderdeel van het Samenwerkingsorgaan West-Friesland, de vluchthaven opnieuw in gebruik te nemen. Naast de havenfunctie biedt het terrein nabij de vluchthaven ook mogelijkheden voor openlucht recreatie. Daarnaast is de haven de uitvalsbasis voor de vrijwillige reddingsbrigade Stichting Reddingsstation Wijdenes.



**Figuur 1.1:** Luchtfoto vluchthaven Wijdenes (Google Earth)

## 1.2 Probleembeschrijving

Voordat de Zuiderzee werd afgesloten, hadden de vissersschepen al last van verzandingsproblemen. Maar dat was minder erg, omdat er toen nog eb en vloed voorkwam. Na de afsluiting van de Zuiderzee was verzanding in de haven merkbaar en moest er om de twee jaar gebaggerd worden en in de havenmond echter elk jaar.

In 1940 is besloten het peil op het IJsselmeer te verlagen, hierdoor moest de haven ook verdiepen om de minimale doorvaartdiepte te hebben. In dat jaar was er besloten om de haven te laten vervallen en werd er niet meer gebaggerd.

De recreatievaart waagt zich meestal niet ver uit de kust en vaart van haven tot haven. Een prettig en veilig vaarpatroon wordt verkregen als er om de 8 à 10 km kustlengte een haven is. De afstand tussen de Hoornse Haven en Broekerhaven is ongeveer 18 km lang.

Vanwege de veiligheid besloot het Recreatieschap Westfriesland in 1980 de vluchthaven opnieuw in gebruik te nemen.

Na enkele jaren kampte de vluchthaven weer met verzandingsproblemen. In de loop der jaren zijn er een aantal onderzoeken en aanpassingen uitgevoerd, maar het probleem is nog steeds niet verholpen.



Figuur 1.2: Markermeer en Wijdenes  
([www.wikipedia.nl](http://www.wikipedia.nl))

## 1.3 Probleemstelling

Het Recreatieschap Westfriesland kampt jarenlang met het verzandingsprobleem in de vluchthaven Wijdenes, waardoor de schepen niet meer in en uit de haven kunnen varen. In november 2008 werd er voor het eerst weer gebaggerd sinds de aanpassingen in 2001, maar na een jaar, in oktober 2009, bleek bij een peiling dat een derde ( $620 \text{ m}^3$ ) van het gebaggerde hoeveelheid sediment terug in de haven was gekomen. Ook is op januari 2008 het Bouwstoffenbesluit vervangen door de nieuwe wet "Besluit bodemkwaliteit". Door de verscherpte wetgeving voor de behandeling van baggerspecie, zijn de kosten voor de behandeling toegenomen. Door de hoge kosten die het baggeren nu met zich meebrengt, is het financieel niet meer rendabel voor de havenbeheerder om de haven op diepte te houden door te baggeren.





**Figuur 1.3:** Vluchthaven Wijdenes. Het verzandingsprobleem is duidelijk zichtbaar achter de zuidelijke golfbreker bij de havenmond.

## 1.4 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de oorzaak van de verzandingsproblemen in de vluchthaven. Vervolgens dienen er maatregelen te worden voorgesteld om de verzandingsproblemen zo effectief mogelijk te bestrijden, zodat er op lange termijn een kostenbesparing voor het beheer teweeg wordt gebracht.

## 1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de achtergrond informatie met betrekking tot het Markermeer en de vluchthaven Wijdenes behandeld.

In hoofdstuk 3 worden de fysische processen uitgelegd, die een rol spelen in het verzanden van de vluchthaven. De processen zoals golven, sedimenteigenschappen en de transportprocessen worden behandeld.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de winddata, golfddata, bodemligging, bodemsamenstelling en morfologie van het Markermeer.

In hoofdstuk 5 worden de sedimenttransport processen rond de haven beschreven.

In hoofdstuk 6 worden de maatregelen behandeld om verzandingsprobleem bij de haven op te lossen.

Tot slot worden in hoofdstuk 7 de conclusies betrokken.



## 2 Achtergrond informatie

Voordat onderzoek wordt gedaan naar de verzandingsproblemen in de vluchthaven, wordt de achtergrondinformatie van de vluchthaven beschreven. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de geschiedenis van het Markermeer en de vluchthaven. Er wordt gebruik gemaakt van bestaande rapportages. Bovendien worden informatie gebruikt verkregen tijdens verschillende veldbezoeken (juli en november 2010).

### 2.1 Geschiedenis Markermeer

De Zuiderzee was een binnensee in Nederland, die verbonden was met de Noordzee. Getijden en golven zorgden voor aanvoer en afzetting van sediment. Ook werd er sediment afgevoerd naar de Noordzee. Uit veiligheid voor overstromingen en om invloed van de zee tegen te gaan, was het wenselijk de Zuiderzee af te sluiten. Hierdoor veranderden ook de morfologische processen in het gebied.



**Figuur 2.1:** Kaart van IJsselmeer Markermeer en Zuiderzeewerken (www.wikipedia.nl)

In de zeventiende eeuw (1667) had Hendric Stevin al een plan opgesteld voor het afsluiten van de Zuiderzee, om de invloed van de zee en verzilting tegen te gaan. De afsluiting van de Zuiderzee met behulp van dammen was technisch toen nog onhaalbaar.

In de 1886 werd de Zuiderzeevereniging opgericht om de haalbaarheid en wenselijkheid van de afsluiting van de Zuiderzee te onderzoeken. Naar aanleiding van een stormvloed in 1916 werd onder invloed van de minister van Waterstaat Cornelis Lely besloten tot afsluiting en gedeeltelijke drooglegging van de Zuiderzee. Een bijkomende reden voor het aannemen van het wetsvoorstel was een grote behoefte aan meer landbouw door een gebrek aan voedsel na de Eerste Wereldoorlog.

In 1930 werd de Wieringermeer drooggelegd en het afsluiten van de Zuiderzee gebeurde door de aanleg van de Afsluitdijk, die voltooid werd in 1932. Zo ontstond het IJsselmeer. Tussen 1936 en 1968 werden toen in het oostelijke en zuidoostelijke deel

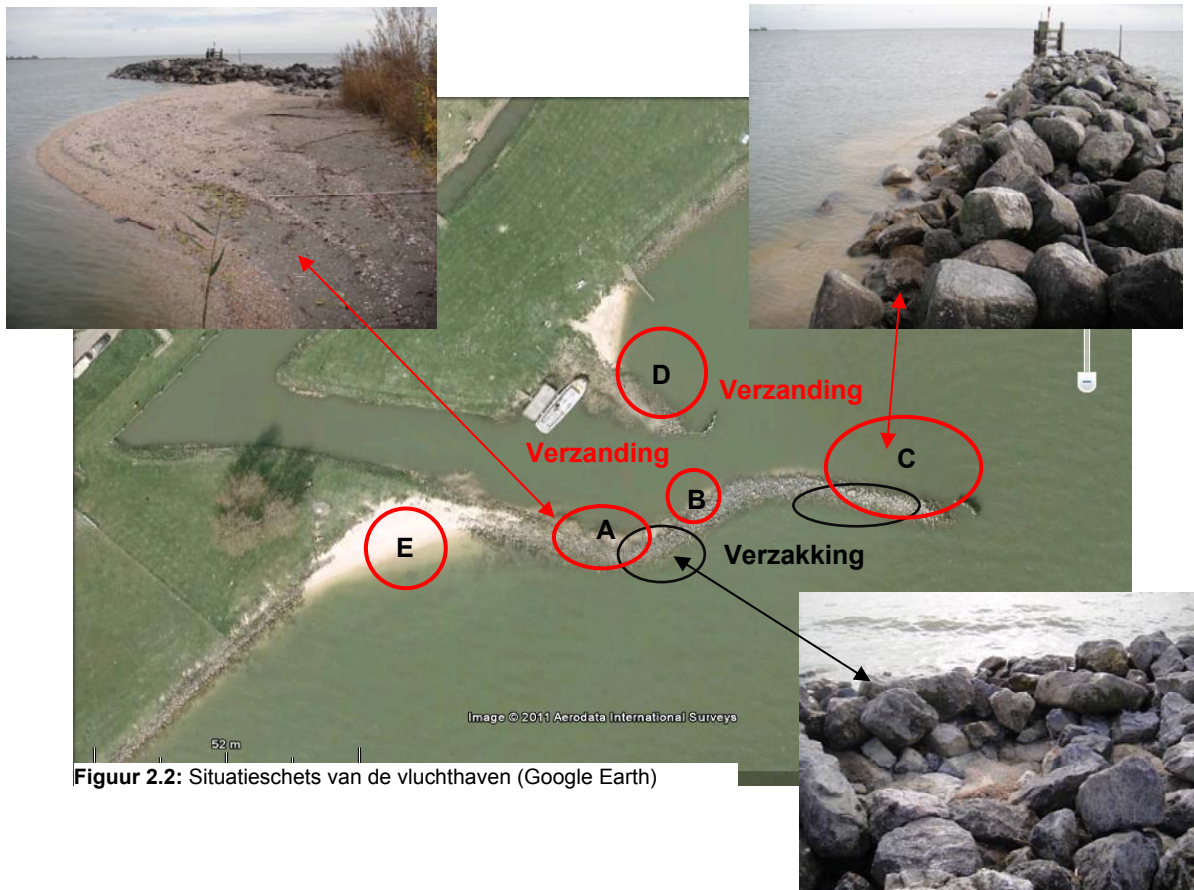
van het IJsselmeer drie polders aangelegd (Noordoostpolder, Oostelijk Flevoland en Zuidelijk Flevoland), die gezamenlijk de huidige provincie Flevoland vormen. In 1976 werd het IJsselmeer in tweeën verdeeld door de aanleg van de Houtribdijk in verband met de geplande inpoldering van de Markerwaard. Deze is er nooit gekomen vanwege financiële redenen en toenemend verzet tegen verdere aantasting van het gebied. Het zuidelijke gedeelte wordt sindsdien Markermeer genoemd.

In de zomer staat het water van het Markermeer 20 centimeter hoger dan in de winter. Het zomerpeil wordt op -0.20m NAP gehouden en het winterpeil op -0.40m NAP. De reden voor deze twee streefpeilen is dat men in de winter het peil zo laag mogelijk wil houden vanwege de veiligheid en in de zomer hebben polders behoefte aan water waardoor een hoger peil gewenst is. Bij overtollig water wordt het water op drie plaatsen afgevoerd: via het IJsselmeer, Flevolandse vaarten en bij hoog water via het Noordzeekanaal. Het Markermeer en het IJsselmeer worden als reservoir gebruikt voor het opslaan van zoet water. In de droge tijden wordt het water gebruikt als drinkwater, voor agrarische doeleinden en de natuur. Een ander belangrijk aspect is de ecologische waarde voor vogels. Het Markermeer heeft een grote natuurwaarde en tevens een economische en recreatieve functie.

## 2.2 Situatieschets vluchthaven

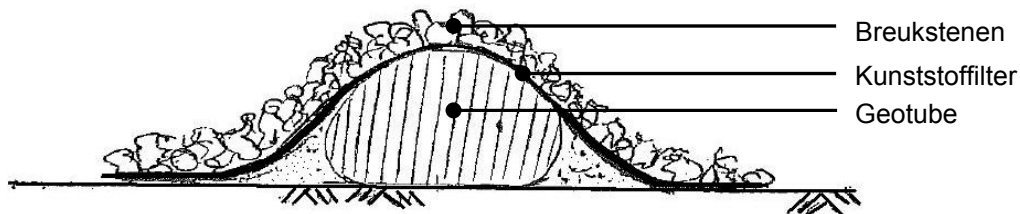
De vluchthaven is gelegen tussen Hoorn en Enkhuizen aan het Markermeer en bevindt zich op de buitendijkse gronden. De oriëntatie van de lokale kustlijn van de vluchthaven is circa  $46^\circ$  ten opzichte van het noorden. In de haven is een vrijwillige reddingsbrigade “Stichting Reddingsstation Wijdenes” met twee reddingsboten gestationeerd. De minimale diepgang voor de vluchthaven is 1,10 m. Naast de havenfunctie biedt het terrein nabij de vluchthaven ook mogelijkheden voor openluchtrecreatie.

In figuur 2.2 is een luchtfoto van de vluchthaven weergegeven. In de figuur is te zien dat er sedimentatie optreedt aan de noordkant van de noordelijke golfbreker (D) en aan de zuidkant van de zuidelijke golfbreker (E). Het meeste sediment komt vanuit het zuiden.



Figuur 2.2: Situatieschets van de vluchthaven (Google Earth)

Op basis van de bezoeken ter plaatse bleek dat de zuidelijke golfbreker te wensen overlaat. Het middengedeelte van de zuidelijke golfbreker is verzakt tot een kruinhoogte van ongeveer NAP +0,10 m. Verzakking van de golfbreker komt door het berijden van een dragline op de zuidelijke golfbreker ten behoeve van baggerwerkzaamheden, dat werd uitgevoerd in eind 2008. Volgens de aanbevelingen uit het rapport van het Waterloopkundige Laboratorium (WL 1991) zou de kruinhoogte van dat gedeelte minimaal NAP +0,50 m moeten zijn, zodat er geen sedimenttransport over de dam kan plaatsvinden. Ook is het uiteinde van de zuidelijke golfbreker verzakt tot een kruinhoogte van ongeveer NAP +0,50 m. Volgens de bouwtekening (zie bijlage B-4) zou de kruinhoogte NAP +1,10 m moeten zijn. De opbouw van de zuidelijke golfbreker bestaat uit een geotube, een kunststoffilter en breukstenen (zie figuur 2.3).



**Figuur 2.3:** Opbouw van de golfbreker

Bij een bezoek tijdens storm (november 2010) bleek dat er water door het middengedeelte van de zuidelijke golfbreker stroomt. Door de verzakking van de golfbreker is de geotube nu te laag om als sedimentondoorlatende laag te functioneren bij storm. Hierdoor kan sediment tijdens de storm door de golfbreker heen stromen en zich achter de golfbreker afzetten.

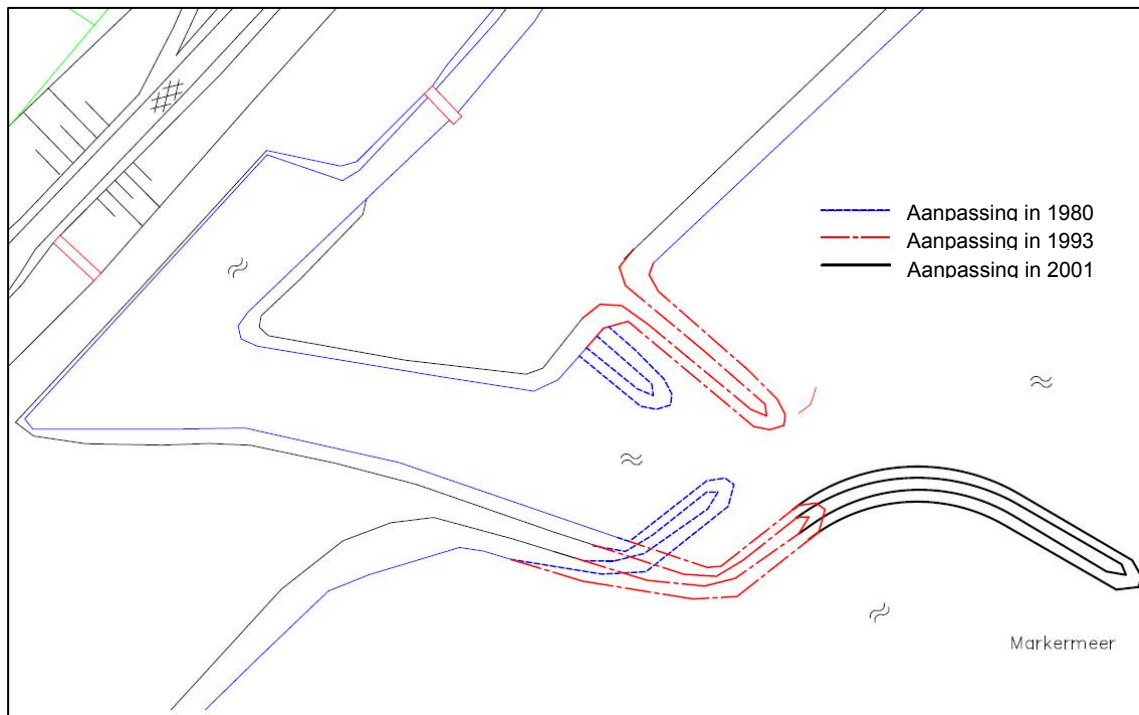
Op een aantal plekken bij de golfbreker zijn de breukstenen weg, waardoor alleen het kunststoffilter zichtbaar is (zie figuur 2.2). De losgekomen breukstenen bevinden zich rondom de golfbreker. Dit is mogelijk te wijten door incidenteel optredende golfoverslag op de golfbreker en/of door vandalisme door recreatiebezoekers.

Ook bevinden zich opvallend veel schelpen op de zuidelijke golfbreker, wat kan duiden op golfoverslag met sedimenttransport. Deze schelpen zijn afkomstig uit de bodem van het Markermeer, die zich vooral in het noorden en westen van het Markermeer bevinden ( zie figuur 4.11).

In figuur 2.2 zijn de locaties (A t/m E) aangegeven waar verzanding plaatsvindt. Vooral verzanding in de haven en bij de havenmond levert de grootste problemen op. Schepen kunnen niet meer in en uit de haven varen, wanneer de waterdiepte kleiner is dan minimale diepgang.

## 2.3 Aanpassingen en onderzoeken

In de loop van de jaren is er een aantal aanpassingen en onderzoeken gedaan aan de vluchthaven, om het verzandingsprobleem op te lossen. In figuur 2.4 zijn de aanpassingen van de afgelopen jaren weergegeven. Hierna volgt een korte samenvatting van de reeks uitgevoerde aanpassingen en baggerwerkzaamheden. In bijlage B worden de tekeningen van de aanpassingen van de vluchthaven weergegeven.



**Figuur 2.4:** Aanpassing aan de vluchthaven van de afgelopen jaren

### 2.3.1 Oranjewoud BV (1980)

In 1979 besloot Samenwerkingsorgaan West-Friesland, de vluchthaven Wijdenes opnieuw in gebruik te nemen. Oranjewoud BV had toen de opdracht gekregen om alleen de vluchthaven te renoveren en weer toegankelijk te maken voor schepen. In de bijlage B1 is de bouwtekening te zien.

Uitgevoerde werkzaamheden:

- Opruimen steenglooiingen;
- Opruimen beschoeiingen en geleidewerken;
- Aanbrengen van azobé- damwanden;
- Leveren en aanbrengen geleidewerken;
- Baggeren van de haven en havenmond;
- Leveren en aanbrengen bestortingen.



### 2.3.2 Waterloopkundig Laboratorium (1991)

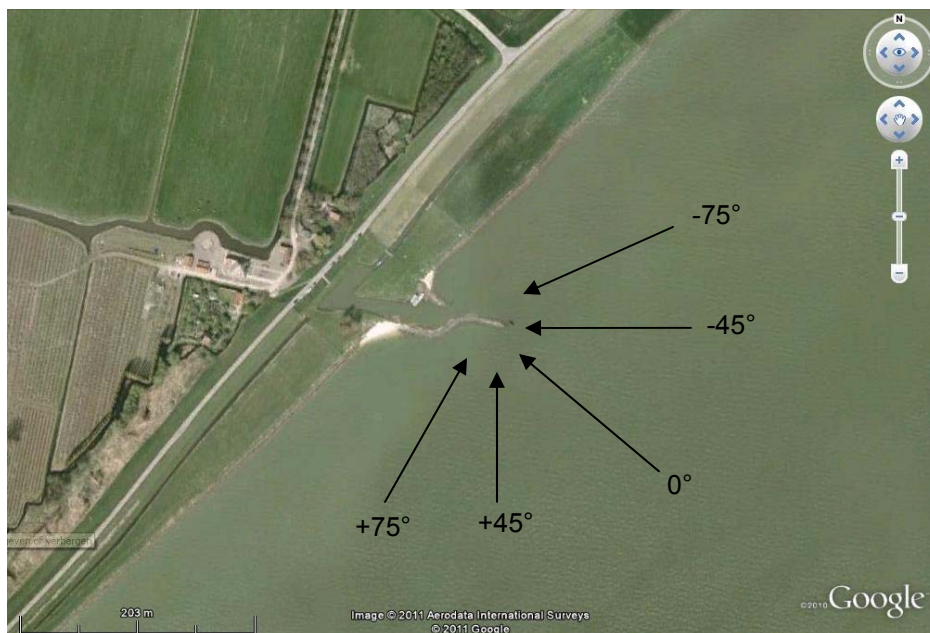
Door het aanhouden van het verzandingsprobleem moest de haven om de twee jaar en de havenmond ieder jaar gebaggerd worden. Op verzoek van het Samenwerkingsorgaan West-Friesland deed het Waterloopkundige laboratorium (WL) in 1991 een onderzoek naar het verzandingsprobleem.

Uit het onderzoeksrapport bleek dat het probleem vooral werd veroorzaakt door de zuidelijke golfbreker die doorlatend en verzakt was. Een oplossing om sedimentatie te verminderen was om de golfbreker te renoveren en te verlengen. Hierdoor kan het sediment niet meer door of over de golfbreker heen gaan. Door de golfbreker te verlengen wordt het lokale sedimenttransport verstoord. Hierdoor wordt een gedeelte van het netto transport geblokkeerd. Hieronder volgt een korte samenvatting van het WL-rapport.

#### Transportberekening

Voor de berekening van het langstransport is gebruik gemaakt van de formulering als gegeven door Bijker (zie paragraaf 3.3.5). De berekening is in het WL-rapport (H1338-I) te vinden.

In tabel 2.1 zijn de resultaten van het sedimenttransport met tijdsperiode per windrichting weergegeven. De rest van het jaar (184 dagen) is er geen aanlandige wind en dus geen golfaanval. De oriëntatie van de lokale kustlijn is  $46^\circ$  ten opzichte van het noorden. De hoek van de golfval ( $\varphi$ ) is ten opzichte van de golfval die loodrecht ( $0^\circ$ ) op de kustlijn invalt. In figuur 2.5 is de hoek van golfval naar de vluchthaven toe weergegeven. Een positieve waarde van het transport duidt hierbij op transport in noordoostelijke richting.



Figuur 2.5: Hoek van golfval ( $\varphi$ ) naar de vluchthaven toe.

Windrichting $\Phi$ (°)	Hoek golfinval $\varphi$ (°)	Duur (dgn/jr)	Transport (m <sup>3</sup> /jaar)			
			S <sub>0</sub>	S <sub>c</sub>	S <sub>cs</sub>	S
60°	-76°	25,8	-60	-45	-20	-1.730
90°	-46°	29,2	-3.260	-2.445	-1.220	
120°	-16°	20,7	-1.310	-980	-490	
150	14°	19,6	+820	+615	+310	+3.130
180	44°	37,8	+4.940	+3.705	+1.850	
210	74°	47,9	+2.590	+1.940	+970	
totalen		181,0	+3.720	+2.790	+1400	+1.400

**Tabel 2.1:** Overzicht berekeningsresultaten langtransport; S<sub>0</sub> (ongecorrigeerd), S<sub>c</sub> (na correctie voor constructies), S<sub>cs</sub> (na correctie voor constructies en schelpen)

De grootte van het ongecorrigeerde netto transport bedraagt ca. 3.700 m<sup>3</sup>/jaar. Gelet op de aanwezigheid van de stortstenen bermconstructie en de stabiliserende effecten van schelpdelen is dit een bovengrens. Op basis van de verdeling van het langtransport over het dwarsprofiel blijkt ( voor windrichting 180°) zich ca. 75% van het langtransport landafwaarts van de veronderstelde bermconstructie te bevinden. Het voor deze constructies gecorrigeerde transport is voor elke windrichtingsector berekend door alle transportbijdragen met een factor 0,75 te vermenigvuldigen. De correctie voor het stabiliserende effect van de schelpen wordt verkregen door een vermenigvuldigingsfactor van 0,5 te gebruiken.

De resulterende transporten in zuidelijke en noordelijke richting bedragen respectievelijk 1.730 en 3.130 m<sup>3</sup>/jaar. Bij afwezigheid van de havenmond is er sprake van een netto transport in noordelijke richting met een orde van grootte van circa 1.500 m<sup>3</sup>/jaar. Het sedimenttransport is geconcentreerd in de eerste 20 m vanuit de kustlijn. Door de uitbouw van de haven verstoort dit het lokale sedimenttransport, waardoor een groot gedeelte van het netto transport wordt geblokkeerd.

### Alternatieven

Het WL stelde drie alternatieven voor met de volgende verwachte baggerwerkzaamheden:

- Variant 0 : Niets doen;  
De huidige situatie met het huidige baggeronderhoud van 500 à 1000 m<sup>3</sup>/jaar behouden. Deze hoeveelheid zal in de toekomst geleidelijk toenemen tot ca. 1500 m<sup>3</sup>/jaar.
- Variant 0+: Renovatie;  
De dammen worden hersteld en verhoogd. Het baggeronderhoud zal enigszins reduceren, maar er moet toch gerekend worden op een geleidelijk toename van circa 750 à 1.250 m<sup>3</sup>/jaar
- Variant Y : Aanpassen en uitbreiding;  
Naast het herstellen en verhogen van de dammen, wordt de dam ook verlengd tot 'Y' aantal meters uit de oorspronkelijke kustlijn en het baggerbezwaar is afhankelijk van de variant.

Hieronder is een overzicht van het verwachte gemiddelde baggerbezwaar voor verschillende alternatieven:

Gemiddeld verwacht baggerbezwaar (m <sup>3</sup> /jaar)		
Variant	Verwachte toenames volume per jaar	Eindsituatie
0	Elk jaar 50 à 150 m <sup>3</sup> extra	1.500
0+	Elk jaar 50 à 150 m <sup>3</sup> extra	750 à 1.250
40	na 3 à 5 jaar steeds 50 à 100 m <sup>3</sup> /jaar.	350 à 650
50	na 4 à 9 jaar steeds 25 à 75 m <sup>3</sup> /jaar.	100 à 300

**Tabel 2.2:** Overzicht verwacht baggerbezwaar voor verschillende alternatieven. ( Waterloopkundige Laboratorium, 1991)

Het WL adviseerde voor een variant te kiezen met een goede verhouding tussen aanlegkosten en baggeronderhoud. Het kiezen van een optie met minimaal baggeronderhoud, heeft bovendien het voordeel dat het effect van in de toekomst waarschijnlijk stijgende baggerkosten geen invloed hebben op de totale kosten.

### 2.3.3 De Vries en Van der Wiel BV (1993)

Het bestuur van het Samenwerkingsorgaan West-Friesland heeft voor Variant 40 gekozen uit het WL-rapport (WL, 1991). Deze variant houdt in dat de lengte van de zuidelijke golfbreker verlengd wordt naar 40 meter uit de kustlijn. Het verwachte baggerbezwaar zou naar verwachting oplopen tot 350 à 650 m<sup>3</sup>/jaar. De Vries en Van der Wiel BV had in 1993 de opdracht gekregen om de vluchthaven aan te passen. Hierbij werden de aanbevelingen van het WL meegenomen. De golfbrekers werden waterdicht aangelegd. De noordelijke golfbreker werd ongeveer 5 meter verplaatst naar het noorden toe en de zuidelijke golfbreker werd verlengd tot ongeveer 40 meter uit de kustlijn. In bijlage B-2 zijn de aanpassingen en de verlenging te zien, die in 1993 zijn gedaan.

### 2.3.4 De Vries en Van der Wiel BV (2001)

Na enkele jaren na de aanpassingen in 1993 moest de haven weer regelmatig uitgebaggerd worden. Dit probleem was te verwachten, aangezien de gekozen variant een baggerbezwaar had die kon oplopen tot 350 à 650 m<sup>3</sup>/jaar. Hierdoor is de kans groot dat er verzandingsproblemen optreden bij de havenmond. Doordat er weer regelmatig gebaggerd werd, leverde dat een flinke kostenpost op. In 2001 heeft De Vries en Van der Wiel BV opnieuw een opdracht gekregen om de vluchthaven aan te passen en de zuidelijke golfbreker te verlengen tot ongeveer 75 meter uit de kustlijn. In bijlage B-3 zijn de verlenging en doorsnede van de zuidelijke golfbreker en zandopvang te zien. De noordelijke golfbreker bleef onveranderd. Hieronder zijn uitgevoerde werkzaamheden weergegeven:

- Aanleg van een zandopvang voor de havenmond met een omvang van circa 750 m<sup>3</sup>;
- Baggeren in de haven tot NAP -2.40m, ca. 1.000 m<sup>3</sup>;
- Baggeren in de havenmond tot NAP -3,00m, ca. 500 m<sup>3</sup>;
- Het verlengen strekdam met ca 50m;
- Geotube met diameter van 3,50m;
- Aanbrengen van kunststoffilter als afdekking op de geotubes en op de bodem van de golfbrekers;
- Breukstenen, 400 ton, 10/60 kg en 800 ton 40/200 kg in de golfbreker op de aangebrachte kunststof breed 20 m;
- Bodemonderzoek: baggerspecie binnen de vluchthaven betreft klasse 2. Buiten de vluchthaven ten hoogte van de zandvang is sprake van klasse 0.

### 2.3.5 Baggerwerkzaamheden (2008)

Sinds de uitgevoerde werkzaamheden in 2001, werd de haven voor het eerst weer in 2008 gebaggerd. Geconcludeerd kan worden dat de zandopvang voor de havenmond haar werk had bewezen. Eind 2008 werd de haven met zandopvang gebaggerd voor de havenmond. Na waarneming van toenemende verzandingsverschijnselen, werd eind 2009 een peilmeting gedaan. Uit de meting van 2008 en 2009 kon geconcludeerd worden, dat er in een jaar tijd ongeveer 1/3 (620 m<sup>3</sup>) van de gebaggerd hoeveelheid sediment terug in de haven was komen

## 2.4 Kostenoverzicht

Bij de aanleg van de vluchthaven in 1980 is gebruik gemaakt van subsidies van de provincie en het Rijk. Volgens de afspraak met de subsidieverstrekkers dient de haven minimaal 20 jaar in stand te worden gehouden. Aan deze verplichting is voldaan.

In tabel 2.3 wordt een overzicht gegeven met de kosten die in de afgelopen jaren gemaakt zijn in verband met de vluchthaven, voor zover ze bekend zijn. De onderhouds- en overige kosten zijn niet meegenomen. Het is mogelijk dat de bedragen wat variëren in verband met de beperkte informatie. In het overzicht is te zien dat de kosten voor de beheerders oplopen. Door de beperkte inkomsten uit de vluchthaven kunnen de baggerkosten niet alleen bekostigd worden uit de inkomsten.

Jaar	Reconstructie kosten	Bodem onderzoek	Hoeveelheid	Baggeren Kosten	Kosten per m <sup>3</sup>	Totale Kosten
1980	€ 67.548	-	inclusief	-	-	€ 67.548
1993	€ 69.814	-	inclusief	-	-	€ 69.814
2001	€ 89.229	€ 5.000	1.500 m <sup>3</sup>	-	-	€ 94.229
2008	-	-	1.500 m <sup>3</sup>	€ 61.250	€ 40,83	€ 61.250
2009	-	-	620 m <sup>3</sup>	€ 28.314	€ 45,67	€ 28.314

Tabel 2.3: Kosten overzicht van de afgelopen jaren

In de tabel is ook te zien dat de baggerkosten elk jaar stijgen. Het grote verschil tussen 2001 en 2008 komt waarschijnlijk door de verscherpte regelgeving voor de behandeling van baggerspecie. Voor het baggerwerk is tegenwoordig een verplichte bemonstering nodig en de specie moet verantwoord worden afgevoerd. In 2009 is een offerte binnengekomen voor het baggeren van 620 m<sup>3</sup> bij de vluchthaven, maar er was nog geen besluit genomen door de beheerder.



### 3 Fysische processen

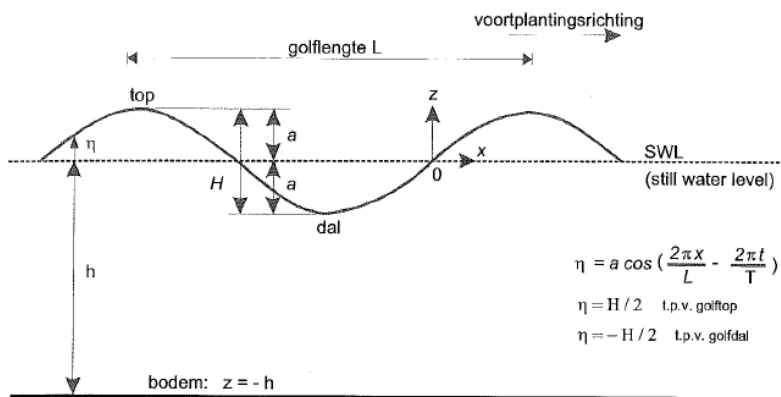
Verzanding levert meestal grote problemen op voor havens. Vooral verzanding bij de havenmond levert de problemen op, want hierdoor kunnen grotere schepen niet meer in of uit de haven varen. Er zijn verschillende processen die een rol kunnen spelen bij verzanding in een haven. Behalve dat golven en sedimenteigenschappen bepalend zijn voor sedimenttransport, speelt de geometrie van de haven een belangrijke rol in verzanding. Om de verzandingsproblemen in de vluchthaven beter te begrijpen, worden de mogelijke processen die verzanding veroorzaken hieronder verder behandeld door middel van een beknopt literatuuronderzoek.

#### 3.1 Golven

Het ontstaan van golven heeft verschillende oorzaken. In het Markermeer is het voornamelijk door lokaal opgewekte windgolven. Golven hebben een onregelmatig patroon en hebben een orbitale waterbeweging. Er zijn verschillende theorieën die de golven beschrijven. De meest toegepaste theorie is de lineaire golftheorie, waarin wordt uitgegaan van een sinusvormige golf (zie figuur 3.1).

Golven worden gekarakteriseerd door:

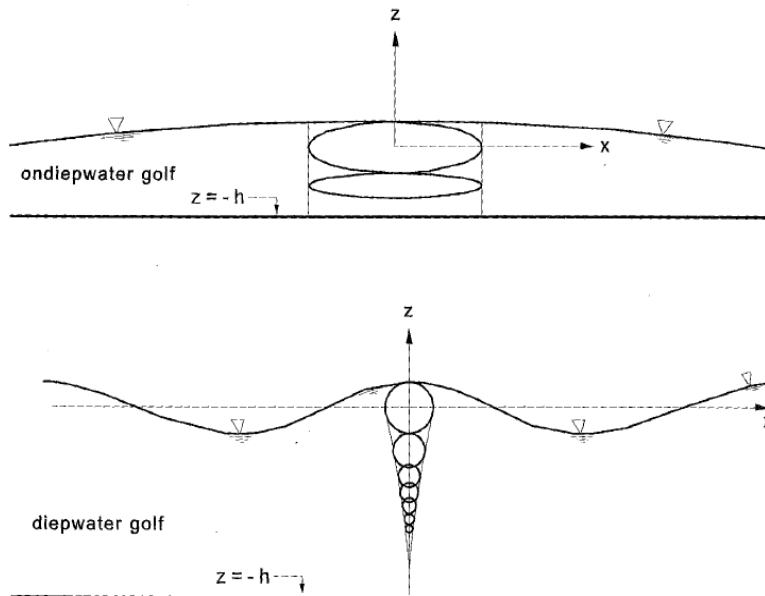
- $H$  = golfhoogte [m]
- $T$  = golfperiode [s]
- $L$  = golflengte [m]
- $c$  = golfsnelheid [m/s]



Figuur 3.1: Definitieschets voor een sinusvormige golf (Bezuyen, et al., 2009)

Bij een sinusvormige golf maken de waterdeeltjes een cirkelvormige beweging, de zogenaamde orbitaalbeweging. De diameter van de orbitaalcirkel neemt af met de diepte. Bij diep water is er voldoende diepte om de cirkelvormige beweging te reduceren tot nul. Water wordt als diep beschouwd als de waterdiepte groter is dan de helft van de golflengte. Bij ondiep water verandert de vorm van de orbitaalbeweging van een cirkel naar een ellips. Water wordt als ondiep water beschouwd wanneer de waterdiepte kleiner is dan  $1/20^{\text{ste}}$  van de golflengte. De ellipsvormige beweging reduceert niet tot nul door

geringe waterdiepte. Er ontwikkelen zich dan horizontale snelheden langs de bodemoppervlakte en die veroorzaken schuifspanningen op de bodem. Deze horizontale snelheden wisselen voortdurend van grootte en richting. Bij een golftop is de richting van de snelheden gelijk aan de richting van de golfvoortplanting. Bij een golfdal is de richting van de snelheden tegengesteld. De orbitaalbeweging kan bij ondiep water opwoeling van sediment teweeg brengen en kan door stroming sedimenttransport veroorzaken (zie figuur 3.2).



**Figuur 3.2:** Orbitaalbeweging bij ondiep en diep water (Bezuyen, et al., 2009)

De golfeigenschappen zijn afhankelijk van de waterdiepte. In tabel 3.1 is de classificatie van de waterdiepte weergegeven met de bijbehorende eigenschappen.

Classificatie	d/L	Golflengte (m)	Voortplantingssnelheid (m/s)
Diep water	$\geq 1/2$	$L = \frac{gT^2}{2\pi}$	$c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$
Overgang	$1/20 - 1/2$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$c = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)}$
Ondiep water	$\leq 1/20$	$L = T\sqrt{gd}$	$c = \sqrt{gd}$

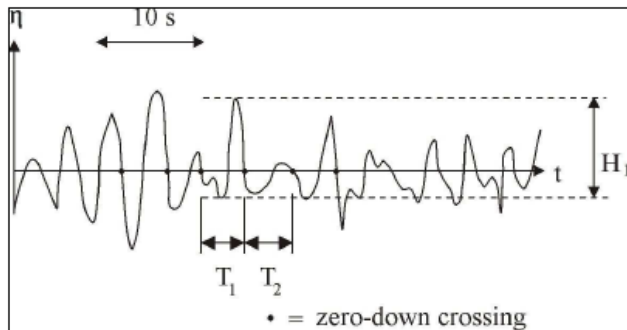
**Tabel 3.1:** Classificatie van waterdiepte (Bezuyen, et al., 2009)

Waarin:

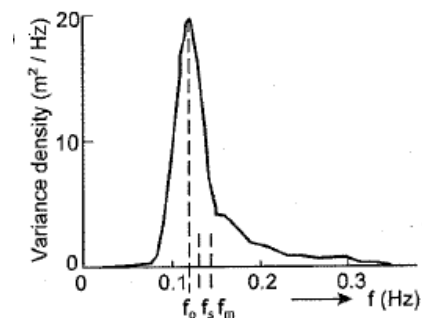
- H = golfhoogte [m]
- T = golfperiode [s]
- L = golflengte [m]
- d = waterdiepte [m]
- g = zwaartekrachtversnelling [ $m/s^2$ ]

### Natuurlijk golfveld

Golven die door de wind worden opgewekt zijn onregelmatig zoals weergegeven is in figuur 3.3. Zij kunnen beschouwd worden als de som van oneindig veel sinusvormige golven met verschillende frequenties, amplitudes, richtingen en fasen. Uit een tijdregistratie kan een individuele golf worden gedefinieerd als de waterbeweging tussen twee opeenvolgende opwaartse of neerwaartse doorsnijdingen van de gemiddelde waterstand. Het verschil tussen de top en het dal is de golfhoogte en het tijdsinterval tussen deze doorsnijdingen is de golfperiode. Zo heeft elke individuele golf een andere hoogte en andere periode.



**Figuur 3.3:** Tijdregistratie van een onregelmatig golfveld met verschillende frequenties (Van de Graaff, 2006)



**Figuur 3.4:** Variantie dichtheidsspectrum (Schierreck, 2000)

Om voor een natuurlijk golfveld de relaties tussen de daarin voorkomende frequenties en bijbehorende golfhoogtes te beschrijven, wordt gebruik gemaakt van het zogeheten variantie dichtheidsspectrum (figuur 3.4). In het energiedichtheidsspectrum wordt de verdeling van de totale energie van een golfveld over de verschillende frequenties weergegeven. De oppervlakte van het variantie dichtheidsspectrum is gelijk aan de totale golfvariantie:

$$m_0 = E_{tot} = \int_0^{\infty} E(f) df \quad (3.1)$$

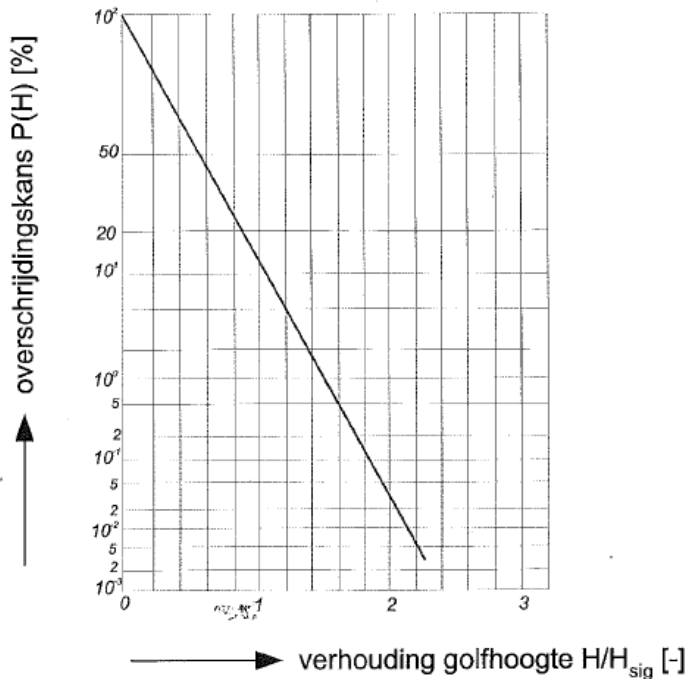
Het onregelmatige golfbeeld kan ook worden geanalyseerd door het bepalen van de overschrijdingskans voor verschillende golfhoogtes. De kansverdeling hier voldoet aan de zogenaamde Rayleigh- verdeling:

$$P(\underline{H} > H) = e^{-2\left(\frac{H}{H_s}\right)^2} \quad (3.2)$$

Waarin:

$P(\underline{H} > H)$  = kans dat de golfhoogte  $H$  overschreden wordt [-]

$H_s$  = significante golfhoogte



Figuur 3.5: Golfhoogteverdeling uitgezet op Rayleigh- papier (Bezuyen, et al, 2009)

De significante golfhoogte is gelijk aan het rekenkundige gemiddelde van het hoogste derde deel van de golven. Dit is ook ongeveer de golfhoogte die visueel geschat wordt. De visuele golfhoogte wordt bepaald door getrainde mensen op schepen die elke dag verslag uitbrengen van de geobserveerde significante golfhoogte. De significante golfhoogte kan ook worden berekend uit het totale oppervlak van het variantie spectrum:  $H_{mo} = 4\sqrt{m_0}$ .

De significante golfhoogte is dan:  $H_s \approx H_{visueel} \approx H_{1/3} \approx H_{mo}$

De gemiddelde golfperiode in een onregelmatig golfveld kan worden gedefinieerd als het gemiddelde van alle periodes ( $T$ ). Er is bijna geen relatie tussen de individuele golfhoogte en golfperiode. Voor het definiëren van een karakteristieke golfperiode is er een aantal mogelijkheden. Eén daarvan is het gebruik van piekperiode ( $T_p$ ) waar de variantie dichtheid maximaal is. De gemiddelde periode van hoogste derde deel van de golven ( $T_{1/3}$ ) ook wel de significante golfperiode ( $T_s$ ) wordt vaak gebruikt, omdat de periode vaak overeenkomt met de visueel geschatte karakteristieke golfperiode van het golfveld.

### Golfgroei

Wanneer het wateroppervlak wordt blootgesteld aan de wind, ontstaan er windgolven. De golfopbouw wordt ook door twee omgevingsparameters beïnvloedt. Ten eerste de strijklengte van de wind over het water; hoe langer de strijklengte des te meer windenergie er wordt omgezet in golfenergie. Ten tweede de waterdiepte; hoe dieper het water des te groter de golven kunnen worden. Wanneer de golven ondiep water bereiken, gaat er golfenergie verloren door de bodemwrijving en brekende golven. Bij afwezigheid van de golfmetingen kan met behulp van verschillende methoden de winddata kan omgerekend worden naar golfdata. Een eenvoudige en tevens de meest gebruikte formule is die van Sverdrup-Munk en Bretschneider (SMB) uit 1984 [Vrijling 2008]. De SMB- formule wordt hieronder weergegeven. Zowel de windsnelheid en waterdiepte, als de strijklengte komen in de formule van SMB voor. Hierbij zijn  $\tilde{H}$ ,  $\tilde{T}$ ,  $\tilde{F}$  en  $\tilde{d}$  dimensieloze grootheden

$$\tilde{H} = 0.283 \tanh(0.53\tilde{d}^{0.75}) \tanh\left(\frac{0.0125\tilde{F}^{0.42}}{\tanh(0.53\tilde{d}^{0.75})}\right) \quad (3.3)$$

$$\tilde{T} = 7.54 \tanh(0.833\tilde{d}^{0.375}) \tanh\left(\frac{0.077\tilde{F}^{0.25}}{\tanh(0.833\tilde{d}^{0.375})}\right) \quad (3.4)$$

Waarin:

$$\tilde{H} = \frac{gH_s}{u^2} [-]$$

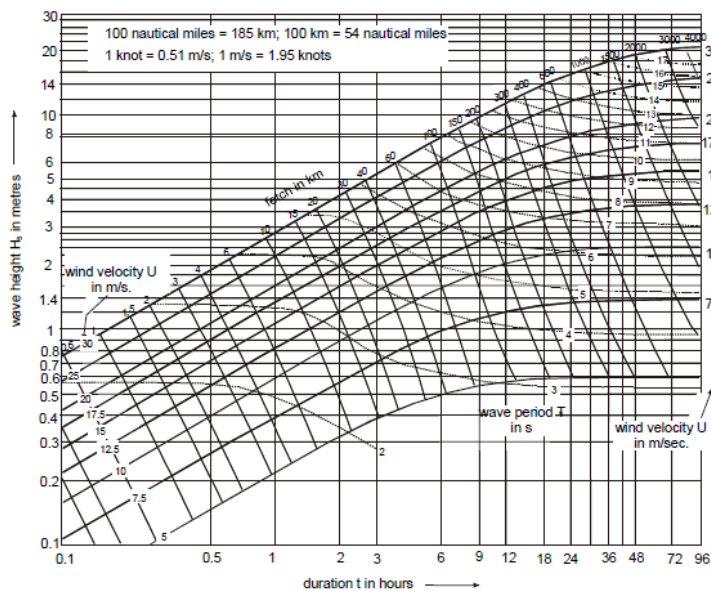
$$\tilde{T} = \frac{gT_p}{u} [-]$$

$$\tilde{F} = \frac{gF}{u^2} [-]$$

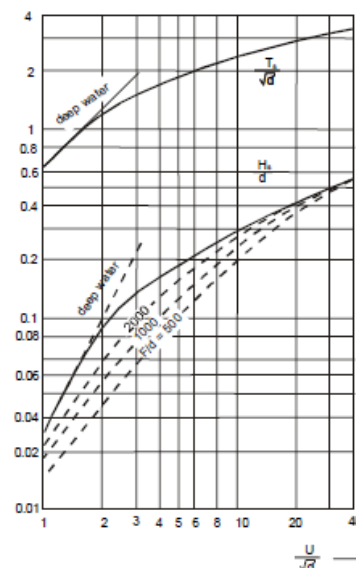
$$\tilde{d} = \frac{gd}{u^2} [-]$$

- $H_s$  = significante golfhoogte [m]
- $T_p$  = piek golfperiode [s]
- $u$  = windsnelheid [m/s]
- $d$  = waterdiepte [m]
- $F$  = strijklengte [m]

Wanneer de parameters windsnelheid, waterdiepte en de strijklengte bekend zijn, kunnen op verschillende locaties de lokale significante golfhoogte en golfperiode berekend worden. Naast de SMB-formule, worden de Groen en Dorrestein nomogrammen [Groen, 1976] gebruikt (zie figuur 3.6 en figuur 3.7) om snel een inschatting te krijgen van de golfhoogtes.



Figuur 3.6: Nomogram voor diep water (Bezuyen, et al, 2009)



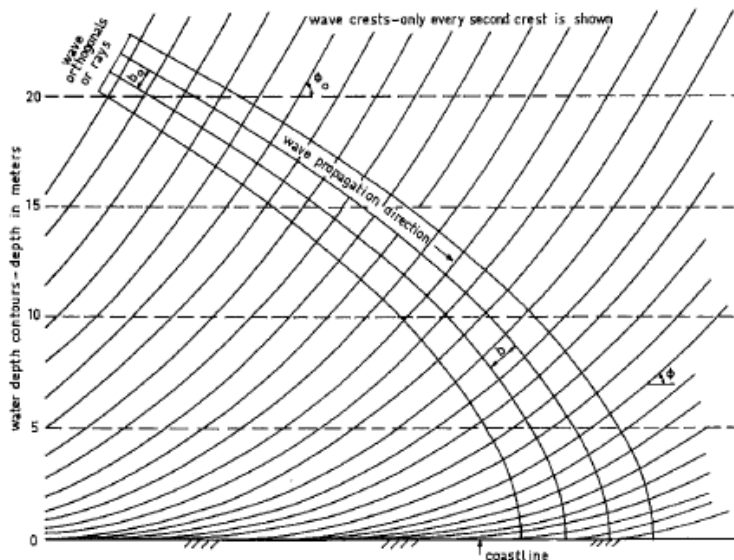
Figuur 3.7: Nomogram voor ondiep water (Bezuyen, et al, 2009)

## 3.2 Lokale golfprocessen

Wanneer een golf de kust nadert, zullen er een aantal processen optreden als gevolg van waterdiepteverandering. Door het ondiepe water neemt de voortplantingssnelheid af. Dit verschil in voortplantingssnelheid langs een golfkam leidt tot refractie. Wanneer de voortplantingssnelheid en de golflengte afnemen, zal de golfhoogte toenemen (shoaling). Op een bepaald punt wordt de golf zo steil dat deze gaat breken.

### Refractie

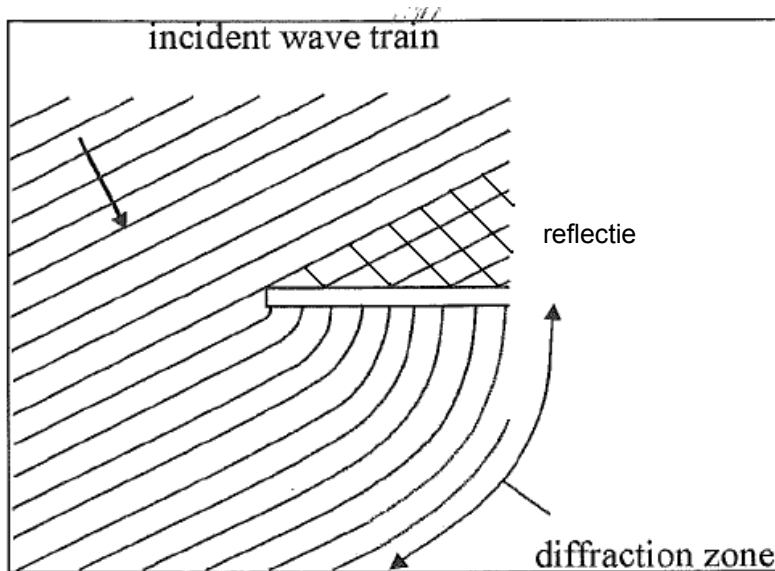
Refractie is het bijdraaien van de golven (zie figuur 3.9). Wanneer de golven onder een hoek op de kust afkomen, zullen de golven gaan draaien richting de kust. Het gedeelte van de golf dat nog in ondiep water bevindt, heeft minder snelheid dan het gedeelte dat zich nog in diep water bevindt. Dit verschil in voortplantingssnelheid leidt tot refractie. Hoe dichter de golf bij de kust is en wanneer het ook ondieper wordt, hoe groter dit effect, waardoor de golfstralen verder uit elkaar komen te liggen. Doordat de energie tussen twee golfstralen constant is, leidt dit tot een verandering van de golfhoogte.



**Figuur 3.8:** Refractie van een golf richting de kustlijn, wanneer het ook ondieper wordt met op de x-as de afstand tot aan de kustlijn (d'Angremond, 2001)

### DiffRACTIE

Als een golf een obstakel nadert, zal een gedeelte van de golf worden gereflecteerd. Het overige gedeelte van de golf zal dan afbuigen achter het obstakel. Dit proces noemen we diffractie (zie figuur 3.10). De golfhoogten achter het obstakel nemen dan af, maar door interferentie met andere golven kunnen er lokaal iets grotere golfhoogten ontstaan. Overigens treedt diffractie niet alleen op rond objecten die boven water uitsteken. Ook obstakels die zich onder water bevinden (zandbanken) kunnen diffractie veroorzaken.



**Figuur 3.9:** Diffractie wanneer een golven een obstakel tegen komen  
(Van de Graaff, 2006)

### Shoaling

Shoaling is het toenemen van de golfhoogte van de golf als gevolg van het binnentreden in ondieper water. Als een golf ondiep water binnentreedt, nemen de voortplantingssnelheid en de golflengte af. Omdat de flux van golfenergie constant is, zal de golfhoogte hierdoor toenemen.

### Brandingzone

Shoaling is het proces waar de golfhoogte toeneemt en de voortplantingssnelheid en golflengte afnemen. De steilheid van de golf neemt dan toe en gaat uiteindelijk breken, waarbij de golfenergie grotendeels verdwijnt. De plaats waar de golven beginnen te breken, wordt de brandingzone genoemd en ligt meestal dicht voor de kust. Om de brandingzone te bepalen, wordt gebruikt gemaakt van de brekerindex ( $\gamma$ ). De brekerindex is de ratio van waar de golfhoogte van de golf breekt en de waterdiepte. Met behulp van de formules hieronder (3.8 en 3.9) is de brekerindex te berekenen. In de formule wordt de bodem beschouwd als horizontaal.

$$\gamma = \frac{H_b}{h} \quad (3.5)$$

Bij een individuele golf is  $\gamma = 0,78$  en geeft dus:

$$\frac{H_b}{h} = 0,78 \quad (3.6)$$

Waarin:

- $H_b$  = golfhoogte waar de golf breekt [m]
- $h$  = waterdiepte waar de golf breekt [m]
- $\gamma$  = brekerindex [-]

Wanneer de significante golfhoogte ( $H_s$ ) gebruikt wordt in plaats van  $H_b$ , dan is de ratio  $\gamma=0.5-0.6$ . In de werkelijkheid is de bodem van de kust niet horizontaal, maar zit onder een helling. Voor golven die breken onder een helling van de kust wordt de dimensieloze Iribarren parameter  $\xi$  (d'Angremond, 2001) toegepast. De parameter is de ratio van de kuststeilheid en de golfsteilheid

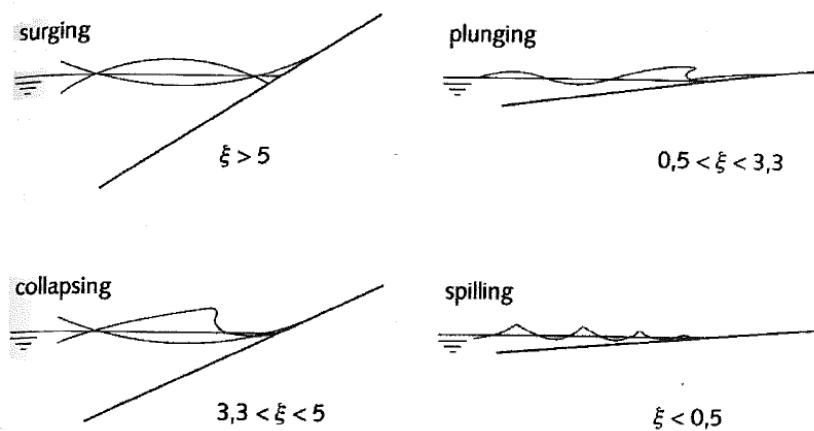
$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad (3.7)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3.8)$$

Waarin:

- $\alpha$  = steilheid van de kust [°]
- $H$  = golfhoogte [m]
- $L_0$  = golflengte in diep water [m]
- $T$  = golfperiode [s]

Op welke manier de golven breken, hangt af van de steilheid van de kust. In figuur 3.11 zijn de verschillende breaktypes weergegeven bij verschillende situaties, afhankelijk is van de Iribarren parameter.

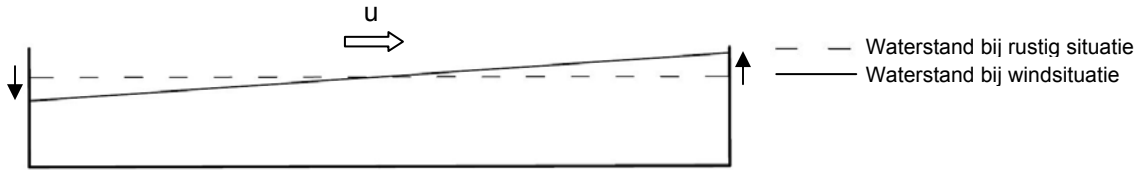


**Figuur 3.10:** Breaktypes bij verschillen Iribarren parameter (d'Angremond, 2001)

### Windopzet

Wanneer de wind over een wateroppervlakte waait, wordt op het wateroppervlakte een schuifspanning uitgeoefend. Hierdoor ontstaan windgedrevenstromingen in de richting van de wind. Wanneer het water de kust bereikt wordt het waterniveau opgezet, doordat de wind het water naar de kust blijft stuwen. Hierdoor is de waterstand vlakbij de kust hoger dan de waterstand zeewaarts. Door dit verschil in waterstand ontstaat een kustafwaartsgerichte verhanggedrevenstroming (zie figuur 3.8). Wanneer de wind lang genoeg aanhoudt, ontstaat er uiteindelijk een stationaire situatie, waarbij de windgedreven stroming en de verhanggedrevenstroming elkaar compenseren.





**Figuur 3.11:** Windopzet door de wind. Hierdoor verandert de waterstand bij de kustlijn

De formule voor de totale windopzet wordt hieronder weergegeven:

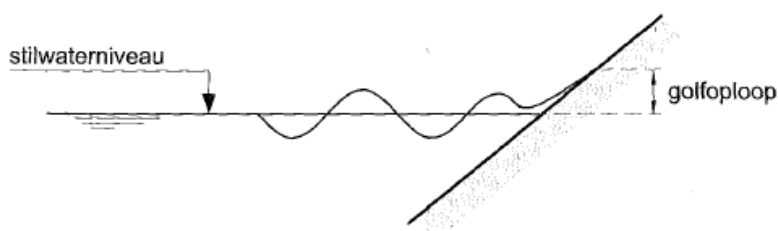
$$W = C_2 \frac{u^2}{gd} F \quad (3.9)$$

Waarin:

W	= windopzet [m]
$C_2$	= wrijvingscoëfficiënt $\approx 3,5 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-6}$ [-]
u	= windsnelheid [m/s]
d	= diepte [m]
F	= strijklengte [m]
g	= zwaartekrachtversnelling [ $m/s^2$ ]

### Golfoploop en golfoverslag

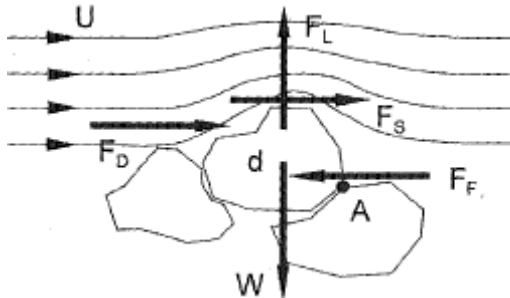
Wanneer een golf tegen een talud aankomt, zal de top van de golf tegen het talud oplopen en een niveau bereiken dat hoger kan zijn dan de golftop. Dit verschijnsel wordt golfoploop genoemd (zie figuur 3.12). In een onregelmatige golfbeweging zal de golfoploop niet constant zijn. De eigenschappen van het talud zoals de ruwheid en de porositeit, kunnen leiden tot reductie van de golfoploop. Wanneer de kruinhoogte van een golfbreker lager is dan het niveau van de golfoploop, zal de golf over de golfbreker kunnen slaan. Dit verschijnsel heet golfoverslag. Bij golfoverslag kan sediment dat in het water zit, achterblijven achter de golfbreker. Golfoverslag zorgt ook voor erosie achter de golfbreker, waardoor er instabiliteit kan optreden.



**Figuur 3.12:** Golfoploop van een golf. (d'Angremond, 2001)

### 3.3 Sedimenttransport

Het sedimenttransport hangt af van verschillende factoren. Het is niet alleen afhankelijk van de golven, maar ook van de eigenschappen van het sediment, die bepalen of het sediment in beweging komt. Sedimenttransport vindt pas plaats als de door de stroming uitgeoefende krachten (lift-, druk- en schuifkrachten) groter zijn dan het eigen gewicht van een korrel onder water (zie figuur 3.13). De verschillende krachten zijn moeilijk afzonderlijk te bepalen en daarom worden de verschillende krachten gekoppeld aan de schuifkracht langs de bodem.



Figuur 3.13: Krachten op een korrel (Schierck, 2004)

#### 3.3.1 Sedimenteigenschappen

Zandkorrels hebben een rondere vorm dan schelpen en onderling zijn er weinig verschillen tussen de vormen. Schelpen zijn meestal plat en hierdoor hebben ze veel weerstand bij de bezinking. Vaak ontstaat er schelpengruis als de schelpen breken. Schelpengruis lijkt qua vorm dan meer op zand. De valsnelheid van schelpen is daardoor afhankelijk van de vorm van de schelpen.

#### Dichtheid

De dichtheid van sediment is afhankelijk van de samenstelling. Bij een mengsel van verschillende sedimentsoorten kan de dichtheid gemiddeld worden door de gewichtspercentages van het sediment.

Soort	Dichtheid ( $\text{kg/m}^3$ )
Schelpen	$D > 2$
Zand	$0,06 < D < 2$

Tabel 3.2: Sediment dichtheid van zand en schelpen

#### Korrel diameter

Er zijn verschillende manieren om de korrel diameter van een sediment vast te stellen. Bij grof materiaal wordt de korrel diameter vaak bepaald door middel van zeven. Bij fijn materiaal wordt de afmeting bepaald door het meten van de valsnelheid. De volgende verdeling is te maken:

Soort	Korrel diameter (mm)
Kiezels	$D < 0.06$
Zand	$0,06 < D < 2$
Klei	$D > 2$

**Tabel 3.3:** Classificatie korrel diameter van kiezels, zand en klei

Vaak worden de diameters gekenmerkt door:

- Mediane korrel diameter  $D_{50}$ : afmeting waarbij 50% van het mengsel fijner is.
- Andere diameters zoals  $D_{35}$ ,  $D_{65}$  of  $D_{90}$  willen zeggen dat 35%, 65% of 90% van het mengsel kleiner is dan de betreffende korrel diameter.

### 3.3.2 Valsnelheid

De valsnelheid van korrels is vooral belangrijk bij zwevend sedimenttransport. Als een korrel bij stilstaand water valt ontstaat er na enige tijd een eenparige beweging, doordat de korrel een hydraulische weerstand ondervindt, welke in evenwicht is met de zwaartekracht onder water. In figuur 3.14 zijn de krachten die op een korrel werkt weergegeven. In formule (3.10) wordt de zwaartekracht en in formule (2.11) de hydraulische weerstand die op een bolvormige korrel werken weergegeven. Door deze twee formules te combineren ontstaat de valsnelheid van de korrel (zie formule 3.12)



**Figuur 3.14:** Krachten op een korrel (Van de Graaff, 2006)

De zwaartekracht  $F_G$ :

$$F_G = (\rho_s - \rho)g \left( \frac{\pi}{6} D^3 \right) \quad (3.10)$$

Waarin:

- $\rho_s$  = sediment dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $\rho$  = vloeistof dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $D$  = korrel diameter [m]

De hydraulische weerstand  $F_D$ :

$$F_D = C_D \left( \frac{1}{2} \rho w^2 \right) \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) \quad (3.11)$$

Waarin:

- $C_D$  = weerstand coëfficiënt [-]
- $w$  = valsnelheid van de korrel [m/s]

De valsnelheid van de korrel  $w$ :

$$w = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho)gD}{3\rho C_D}} \quad (3.12)$$

De valsnelheid van een korrel hangt af van de grootte, dichtheid en de weerstand coëfficiënt  $C_D$ . De weerstand coëfficiënt hangt af van de vorm, ruwheid van de korrel en vooral op het Reynolds nummer ( $Re$ ). Het Reynolds nummer is een dimensieloos getal en wordt gebruikt om te bepalen of een stroming laminair of turbulent is. Bij lage waarden van  $Re$  is een stroming laminair en bij hoge waarden turbulent. In figuur 3.15 is de weerstand coëfficiënt  $C_D$  als functie van Reynolds nummer weergegeven. Bij een laag Reynolds nummer ( $Re < 0,1$  tot  $0.5$ ), wordt de weerstand coëfficiënt:

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (3.13)$$

Of met

$$Re = \frac{wD}{\nu} \quad (3.14)$$

Waarbij:

$$\nu = \text{kinematische viscositeit [m}^2\text{/s]}$$

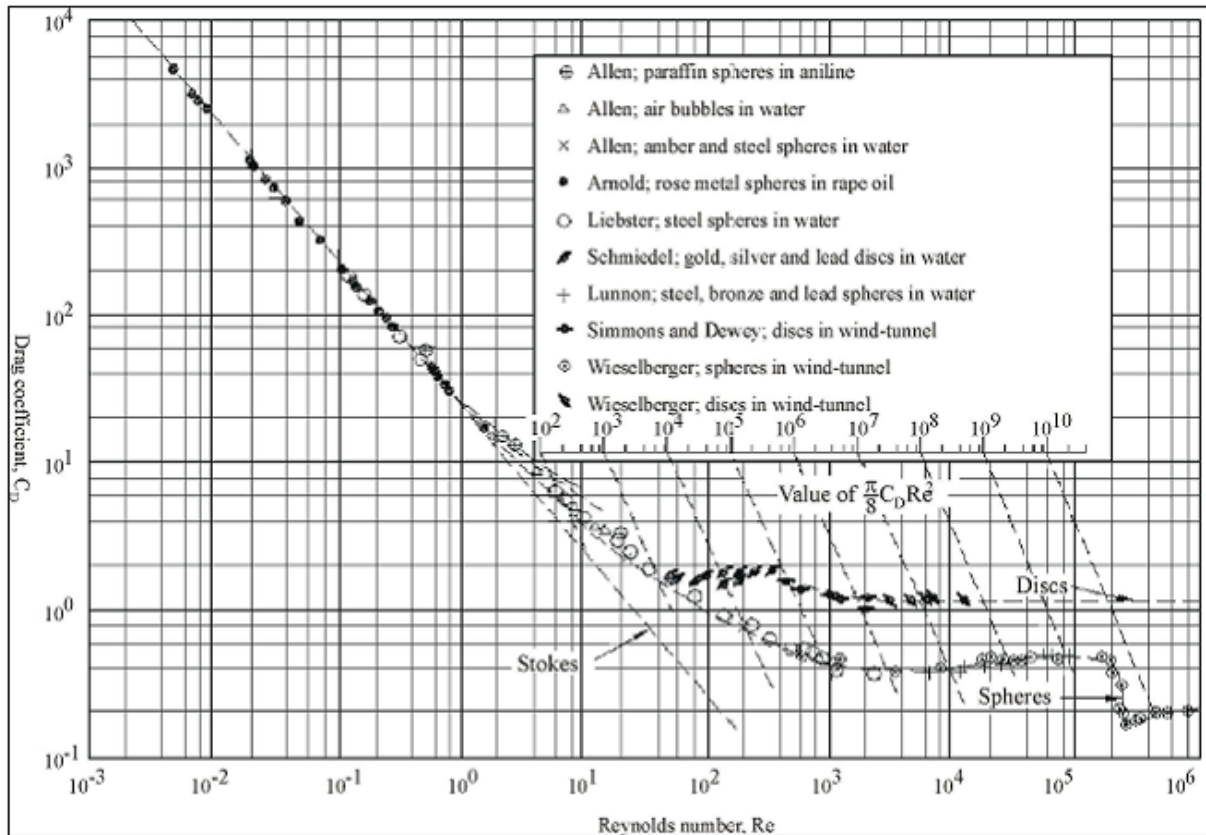
De valsnelheid van een korrel wordt dan

$$w = \frac{(\rho_s - \rho)g}{18\rho\nu} D^2 \quad (3.15)$$

Bij Reynolds nummer ( $400 < Re < 2 \cdot 10^5$ ), wordt de weerstand coëfficiënt constant ( $C_D = 0,5$ ). De valsnelheid van een korrel in zo een situatie wordt dan

$$w = 1,6 \sqrt{gD \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho}} \quad (3.16)$$

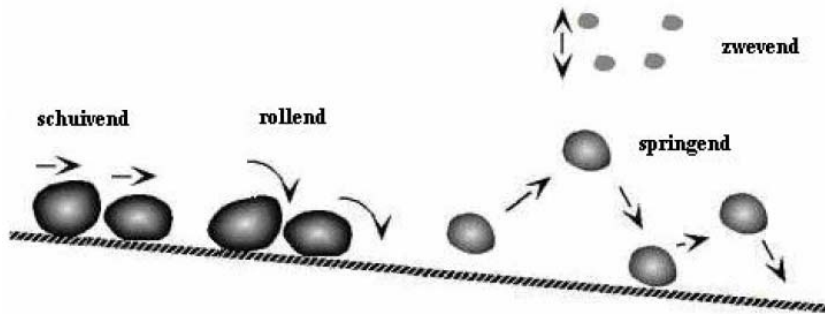
Bij extreem hoge Reynolds nummer ( $Re > 2 \cdot 10^5$ ), wordt de weerstand coëfficiënt constant ( $C_D = 0,2$ ).



Figuur 3.15: Weerstand coëfficiënt als functie van Reynolds nummer (Vanoni, 1975)

### 3.3.3 Shields

Sedimenttransport vindt plaats wanneer de kritische schuifspanning van het sediment wordt overschreden. Wanneer de optredende schuifspanning kleiner is dan de kritische schuifspanning, treedt er geen sedimenttransport op. Bij kleine overschrijding van de kritische schuifspanning zal het sediment zich voornamelijk over de bodem bewegen als bodemtransport. Bodemtransport heeft betrekking op rollende, glijdende en springende korrels. Bij grotere overschrijding zullen de korrels zich los van de bodem gaan bewegen, zodat er zwevend transport ontstaat (zie figuur 3.16). Zwevend transport heeft betrekking op korrels die grote afstanden afleggen in de waterkolom zonder contact te hebben met de bodem.



Figuur 3.16: Bodemtransport en zwevendtransport (Van der Weij, 2005)

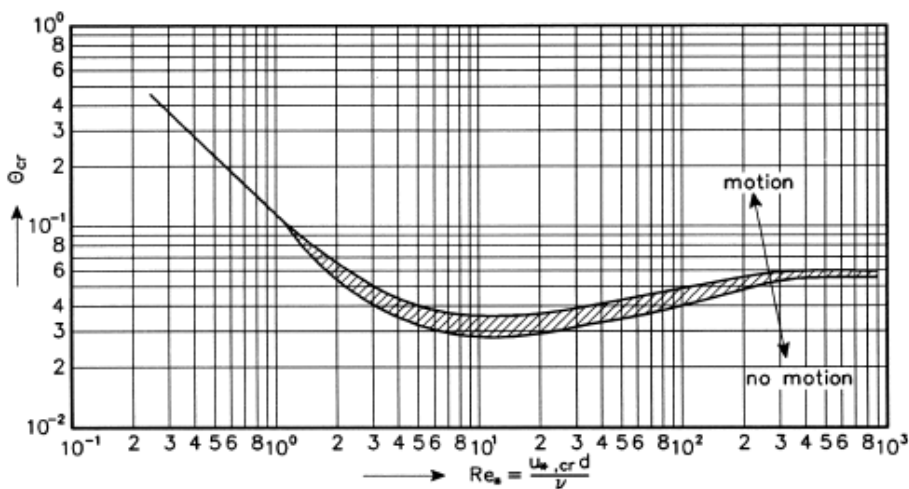
De schuifspanning wordt weergegeven in een Shields parameter ( $\theta$ ) (zie formule 3.17). De Shields parameter is een dimensieloos getal en wordt gebruikt voor het berekenen van “het begin van bewegen van het sediment”.

$$\theta = \frac{\tau_0}{(\rho_s - \rho)gD} = \frac{u_*^2}{(s-1)gD} \quad (3.17)$$

Waarin:

- $\theta$  = Shields parameter [-]
- $\sigma_0$  = bodemschuifspanning [ $\text{N/m}^2$ ]
- $\rho_s$  = sediment dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $\rho$  = vloeistof dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $D$  = korreldiameter [m]
- $u_*$  = schuifsneldheid [m/s]
- $s = \rho_s/\rho =$  relatieve dichtheid [-]

De kritische schuifspanning kan bepaald worden met behulp van het Shields diagram (zie figuur 3.17). Bij het overschrijden van kritische schuifspanning zal er sedimenttransport optreden.



Figuur 3.17: Shields diagram (Shields, 1936)

### 3.3.4 Bodemschuifspanning

Golven hebben een grote invloed op het sedimenttransport bij ondiep water. De orbitaalbeweging van de golven veroorzaken schuifspanning op de bodem (zie figuur 3.2). Bij het toepassen van de lineaire golf theorie zien de orbitale snelheid ( $\hat{U}_\delta$ ) en orbitale amplitude ( $\hat{A}_\delta$ ) van de golven op de bodem er als volgt uit:

$$\hat{U}_\delta = \omega \hat{A}_s = \frac{\pi H}{T \sinh(kd)} \quad (3.18)$$

$$\hat{A}_s = \frac{\pi H}{2 \sinh(kd)} \quad (3.19)$$

Waarin:

$\omega$	= hoeksnelheid ( $2\pi/T$ ) [ $s^{-1}$ ]
$k$	= golfnummer ( $2\pi/L$ ) [ $m^{-1}$ ]
$H$	= golfhoogte [m]
$L$	= golflengte [m]
$T$	= golfperiode [s]
$d$	= waterdiepte [m]

De meest gebruikte formule voor het bepalen van de bodemschuifspanning door golven is die van Komar en Miller (1975) [Van Rijn 1993]. Met de formules (3.20) en (3.21) van Komar en Miller is het mogelijk de kritische orbitale bodemsnelheid waarde van een sediment te bepalen. Wanneer deze kritische waarde wordt overschreden, vindt er sedimenttransport plaats.

$$\frac{(\hat{U}_{\delta,cr})^2}{(s-1)gd_{50}} = 0.21 \left( \frac{2\hat{A}_{\delta,cr}}{D_{50}} \right)^{0.5} \quad \text{voor } D_{50} < 500 \mu m \quad (3.20)$$

$$\frac{(\hat{U}_{\delta,cr})^2}{(s-1)gd_{50}} = 1.45 \left( \frac{2\hat{A}_{\delta,cr}}{D_{50}} \right)^{0.5} \quad \text{voor } D_{50} > 500 \mu m \quad (3.21)$$

Waarin:

$\hat{U}_{\delta,cr}$	= kritische orbitale bodemsnelheid [m/s]
$\hat{A}_{\delta,cr}$	= kritische orbitale bodemamplitude [m]
$D_{50}$	= mediane korrel diameter [m]

Met behulp van formule (3.22) wordt de kritische golfhoogte berekend, waarmee is af te leiden bij welke golfhoogte sedimenttransport plaats vindt. Wanneer een golfhoogte van een golf deze kritische waarde bereikt of overschrijdt, betekent het dan dat de veroorzaakte orbitale bodemsnelheid de kritische schuifspanning van het sediment overschreden is en dus sedimenttransport plaats vindt. De kritische golfhoogte kan afgeleid worden uit de formule (3.18).

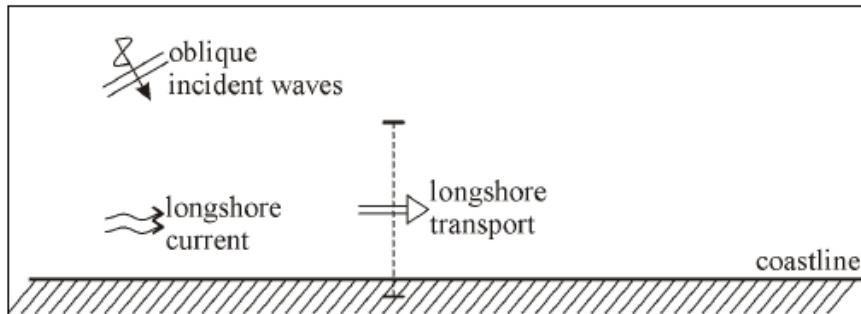
$$H_{cr} = \frac{1}{\pi} \hat{U}_{\delta,cr} T \sinh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (3.22)$$

Waarin:

$H_{cr}$	= kritische golfhoogte [m]
----------	----------------------------

### 3.3.5 Langtransport

Naast het sedimenttransport dat veroorzaakt wordt door de golven, spelen golven rond de brandingzone een belangrijke rol. Golven worden gebroken wanneer ze in de brandingszone aankomen, waardoor het sediment wordt opgewoeld. Wanneer de golven onder een hoek komen, ontstaat er langtransport. Langtransport is het transport van sediment langs de kust, dat door de golven in de brandingszone zijn opgewoeld (zie figuur 3.18).



Figuur 3.18: Langtransport van sediment (Van de Graaff, 2006)

Met behulp van de formules van Bijker (1971) [Van de Graaff, 2006] is het mogelijk het sedimenttransport te berekenen. De formules van Bijker houden rekening met het effect van golven en stromingen. Daarom wordt deze formules vaak toegepast. De bodemtransportformule van Bijker (3.23) is gebaseerd op de Kalinske- Frijlink transportformule [Van de Graaff, 2006].

$$S_b = BD_{50}v_* \exp\left(\frac{-0,27\Delta D_{50}\rho g}{\mu\bar{\sigma}_{cw}}\right) \quad (3.23)$$

Waarin:

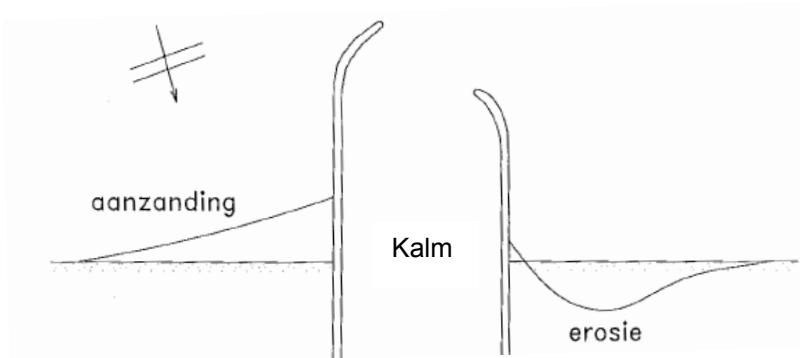
- B = Bijker coëfficiënt (= 5) [-]
- $D_{50}$  = mediane korrel diameter [m]
- $v_*$  = schuifspanning snelheid [m/s]
- $\Delta$  = relatieve dichtheid  $((\rho_s - \rho)/\rho)$  [-]
- $\mu$  = ribbel factor  $((C/C_{90})^{1,5})$  [-]
- C = Chézy coëfficiënt [ $m^{0,5}/s$ ]
- $C_{90}$  = Chézy coëfficiënt gebaseerd op  $D_{90}$  [ $m^{0,5}/s$ ]



### 3.3.6 Golfbrekers

Havens worden meestal langs de kust gebouwd. Om de schepen in de havens te beschermen tegen invloeden van stromingen en golven, worden meestal golfbrekers aangelegd. Een andere functie van een golfbreker is het verhinderen van verzanding bij de toegangsheulen. Om het sedimenttransport effectief te onderbreken zal de golfbreker tot buiten de brandingszone moeten worden aangelegd.

Wanneer er een kunstmatige onderbreking langs de kustlijn wordt aangelegd, verstoort dat het langstransport. Het sedimenttransport in het gebied zal initieel niet meer in balans zijn. Hierdoor zal aan de bovenstroomse zijde van de golfbreker aanzanding optreden. Aan de benedenstroomse zijde zal erosie optreden, omdat de aanvoer van sediment door de golfbreker wordt onderbroken (zie figuur 3.19).



**Figuur 3.19:** Algemene effecten van een golfbreker (d'Angremond, 2001)

## 4 Situatie in het Markermeer

In het Markermeer vindt geen getij meer plaats, omdat het meer niet in open verbinding staat met de zee. Wel vinden er windgedreven stromingen plaats. Deze stromingen kunnen sterke invloed hebben op het sediment. Ook vindt er beperkte waterafvoer plaats naar omringende polders en het IJsselmeer. De stroming door de waterafvoer is zo gering dat dit te verwaarlozen is voor ons probleem. Om de situatie van het Markermeer beter te begrijpen, wordt onder andere ingegaan op het winddata, golfdata, bodemligging, bodemsamenstelling en langstransport.

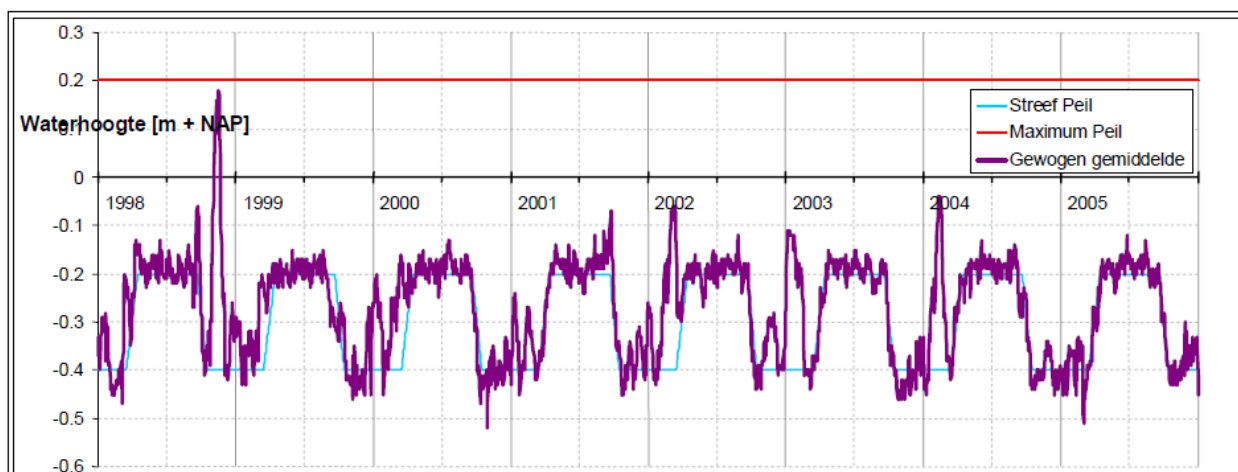
### 4.1 Waterstanden

In het Markermeer worden twee streefpeilen gehandhaafd. Het winterpeil wordt zo laag mogelijk gehouden vanwege de veiligheid en het zomerpeil zo hoog mogelijk gehouden vanwege mogelijk tekort aan water in de polders. Dit zijn echter streefwaarden van waterstanden in het Markermeer. Als gevolg van bijvoorbeeld ongunstige lozingsomstandigheden en/of op- en afwaaiing kan de waterstand nog variëren. De overgang van winterpeil naar zomerpeil vindt plaats tussen midden maart en midden april. De overgang van zomerpeil naar winterpeil vindt plaats tussen midden september en midden oktober.

Benoeming	Periode	Waterstand
Zomerpeil	april – oktober	NAP -0,20 m
Winterpeil	oktober – april	NAP -0,40 m

Tabel 4.1: Zomerpeil en winterpeil in het Markermeer

In figuur 4.1 wordt het daggemiddelde van de gemiddelde waterhoogte geplot tegen het streefpeil gegeven, afkomstig van (Delftcluster, 2008).

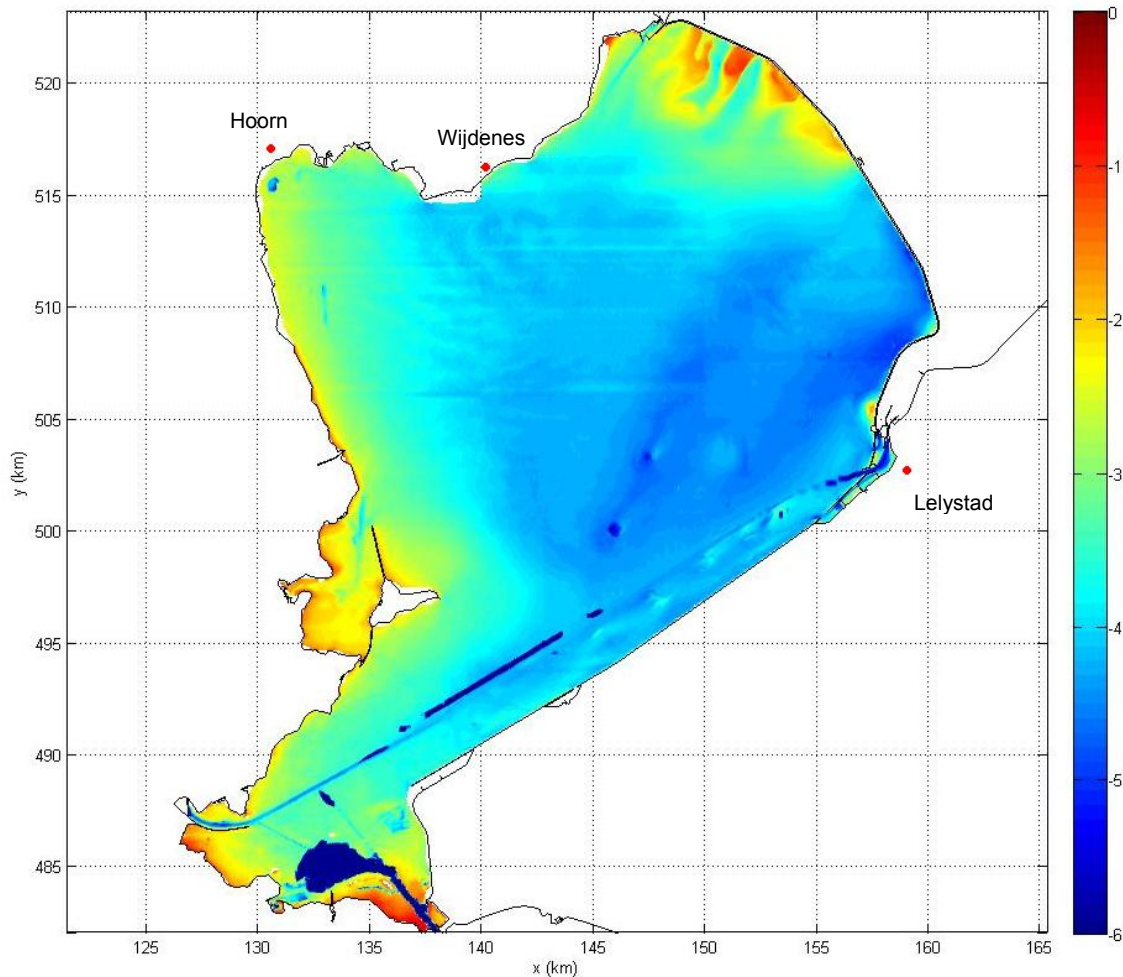


Figuur 4.1: Gemeten waterhoogte in het Markermeer (Delftcluster, 2008)

Het streefpeil wordt in de zomer meestal bereikt, maar in de winter leiden de hoeveelheid neerslag en/of ongunstige lozingsomstandigheden soms tot verhoging van het peil. Vooral eind 1998 was de waterstand zeer hoog. In dat jaar werden extreem hoge waarden bereikt ten gevolge van de grote neerslaghoeveelheden en hoge rivierafvoeren. Tijdens de hoogwaterperiode kon niet of slecht gespuid worden via de Afsluitdijk, waardoor het IJsselmeerpeil opliep. Hierdoor kon het Markermeer het water ook niet lozen naar het IJsselmeer toe, waardoor het peil in het Markermeer ook opliep. In dit onderzoek wordt uitgegaan van een constante streefpeilen.

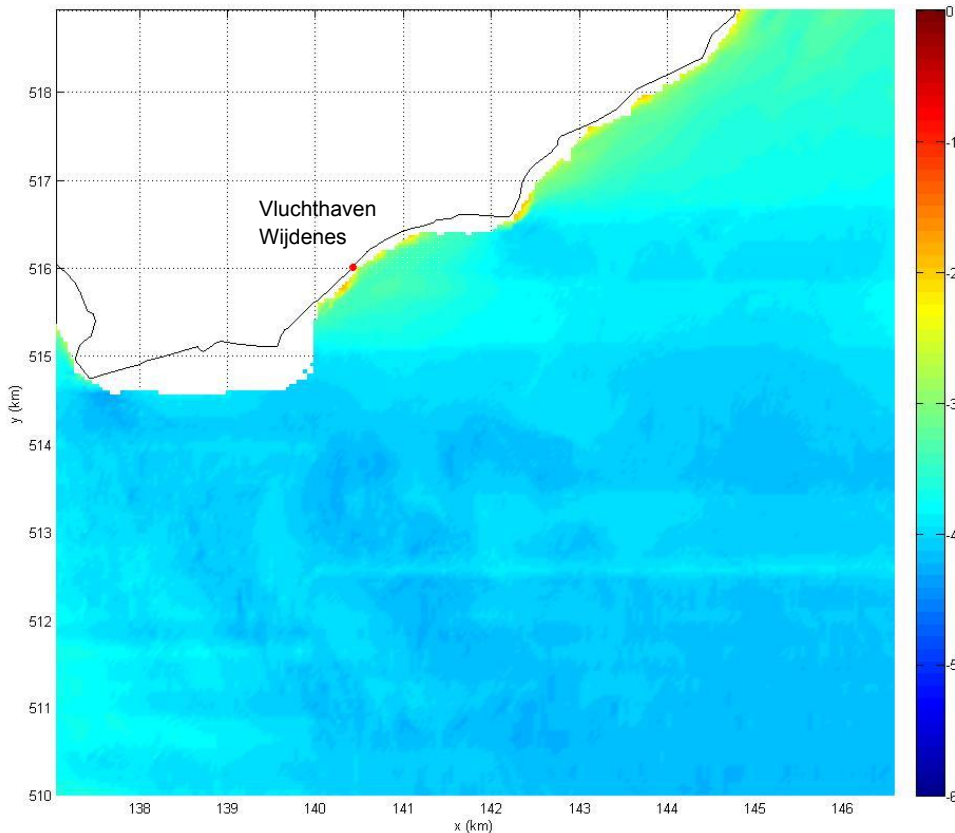
## 4.2 Waterdiepte

De bodemgegevens die gebruikt worden zijn afkomstig van de Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied. De dieptelodingen zijn uitgevoerd in 2005 en geïnterpoleerd naar een raster van 40 x 40 meter. Met behulp van de gegevens is een dieptekaart gegenereerd van het Markermeer (zie figuur 4.2). In de figuur is te zien dat het Markermeer langs de westkust een bodemligging heeft van 1 à 2 meter ten opzichte van het NAP. De waterdiepte neemt naar het oosten toe tot ongeveer 5 m. De diepste delen bevinden zich langs de kust van Flevoland.



**Figuur 4.2:** Diepte kaart van het Markermeer t.o.v. NAP (coördinaten systeem RDH)

In figuur 4.3 zijn de dieptes voor de kust van de vluchthaven te zien. De waterdiepte ter plaatse van vluchthaven Wijdenes bedraagt ongeveer 1,5 à 2 m. Verder uit de kust van de vluchthaven vandaan neemt de waterdiepte toe tot 3,5 à 4 m.



Figuur 4.3: Diepte kaart in de omgeving van de vluchthaven t.o.v. NAP (coördinaten systeem RDH)

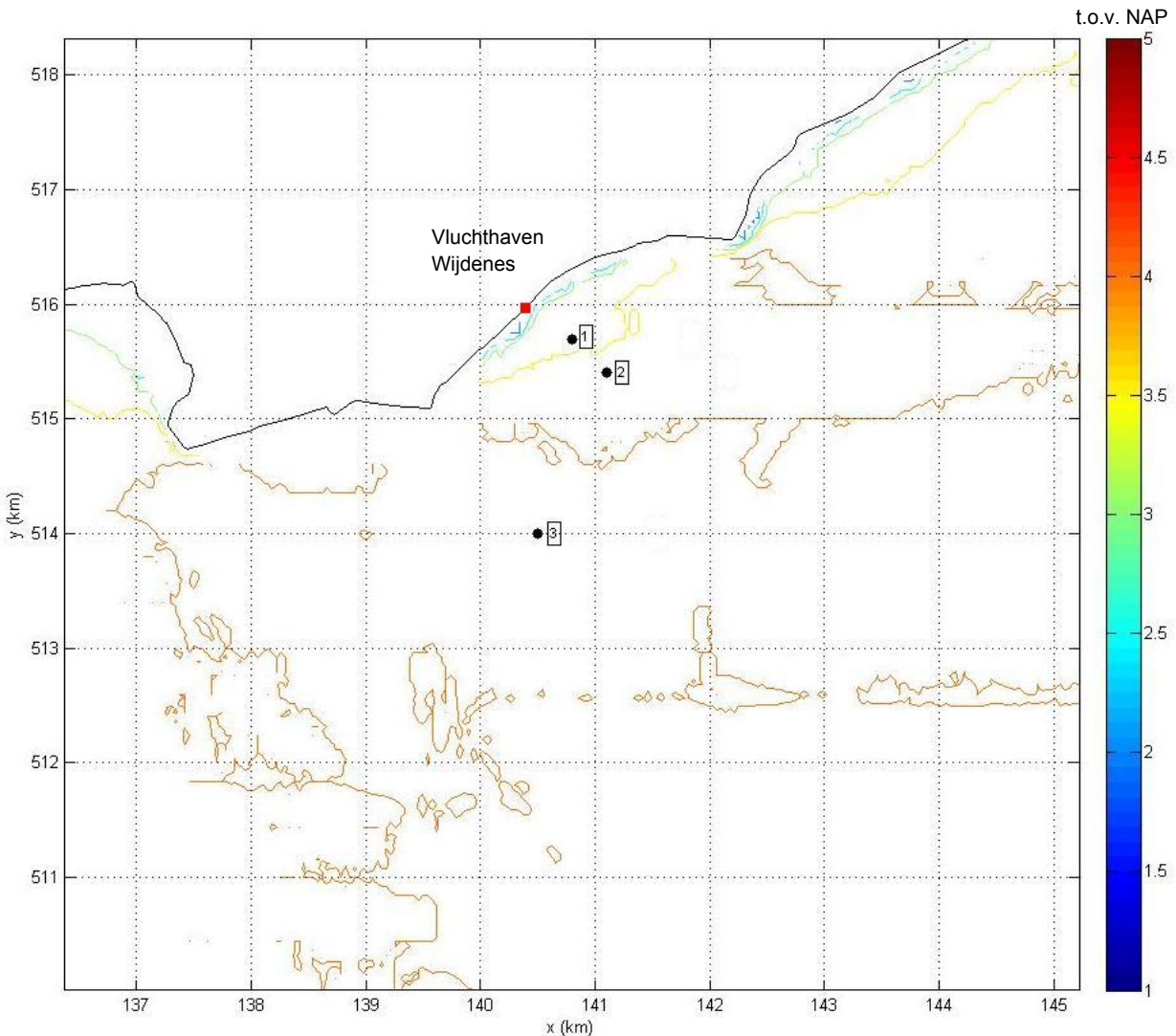
### 4.3 Reconstructie golfklimaat

Van het Markermeer zijn nauwelijks golfdata beschikbaar, omdat zelden metingen worden uitgevoerd. Om toch een beeld te krijgen van het golfveld van het Markermeer, wordt de winddata omgezet naar golfdata met behulp van Bretschneider (zie paragraaf 3.1, golfopbouw).

Voor dit onderzoek wordt het model Bretschneider van Alkyon Hydraulic Consultancy & Research gebruikt. Dit model is gebaseerd op de formules van Bretschneider en de parametrische groeikromme uit de Shore Protection Manual (1984), gecorrigeerd door Hurdle & Stive (1989) voor ondiep water.

Voor het bepalen van de lokale golfdata moeten de bodemgegevens en winddata beschikbaar zijn. Vervolgens moet de locatie worden aangegeven en berekent het model voor de lokale situatie de strijklengte, de gemiddelde bodemligging voor een afstand vanuit de locatie per golfrichting en uiteindelijk de significante golfhoogte ( $H_s$ ) en de piek golfperiode ( $T_p$ ). Het model houdt rekening met het zomerpeil en winterpeil. De gemiddelde bodemligging wordt hier als referentieniveau beschouwd en voor het berekenen van het meerpeil wordt het zomerpeil of het winterpeil van het referentieniveau af getrokken.

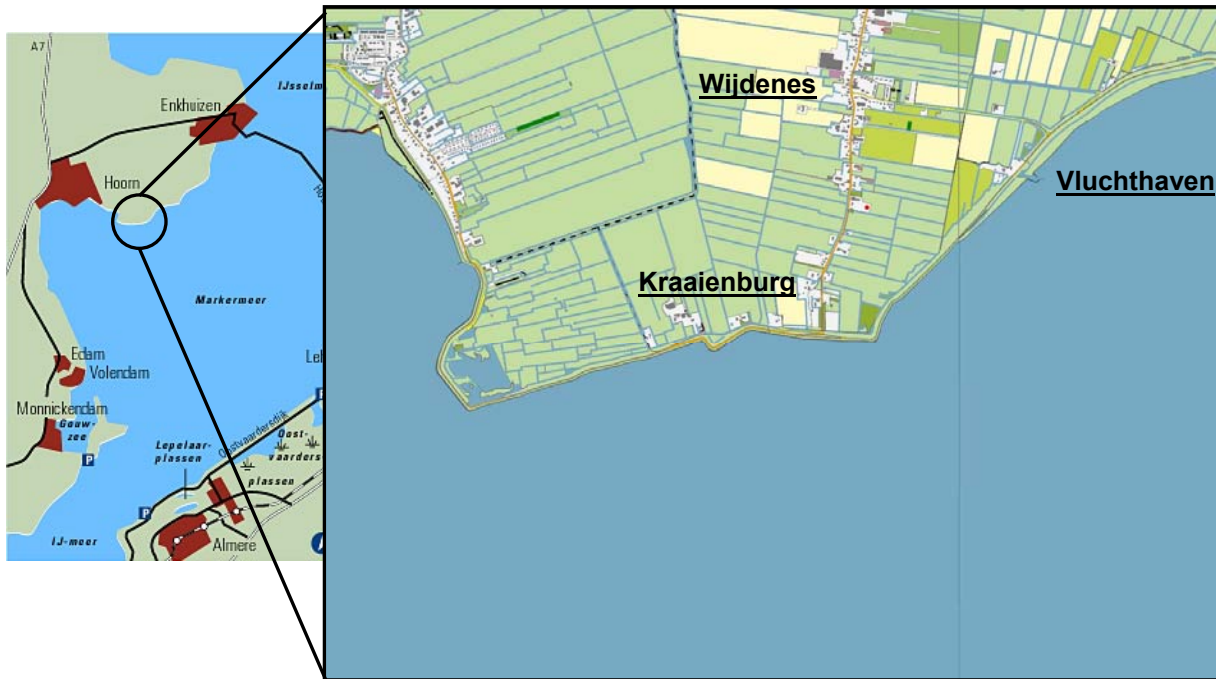
Het Bretschneider model is een globale schatting van de lokale golfhoogtes en golfperiodes en is niet nauwkeurig genoeg, omdat het model gebruikt maakt van een gemiddelde diepte. Om de golfhoogtes en golfperiodes bij de vluchthaven beter te bepalen, worden deze lokale golfhoogtes en golfperiodes naar de haven toe gesimuleerd. Hiervoor wordt het golfmodel SWAN 1D gebruikt. Het golfmodel houdt rekening met onder andere onregelmatige diepte, shoaling en worden de golfhoogtes en golfperiodes nauwkeurige berekend



**Figuur 4.4:** Locatie en diepte contouren kaart bij de vluchthaven (coördinaten systeem RDH)

Voor dit onderzoek zijn drie locaties gekozen (zie figuur 4.4). Locatie 1 is gekozen om golfddata te krijgen vanuit de windrichtingen  $90^\circ$  (oost) en  $240^\circ$ . Op locatie 2 is golfddata verzameld vanuit de windrichtingen  $30^\circ$  tot  $90^\circ$  (oost) en op locatie 3 vanuit de windrichtingen  $240^\circ$  en  $290^\circ$  (west). Omdat de kustlengte tot aan de zuidelijke kust van Kraaienburg ongeveer 1 km is, kunnen golven uit het westen nog invloed hebben op de vluchthaven met betrekking tot het sedimenttransport (zie figuur 4.5). Daarom worden deze waarden nog meegenomen in het sedimenttransport.

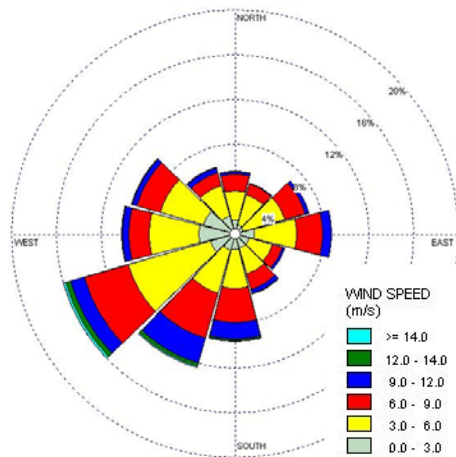




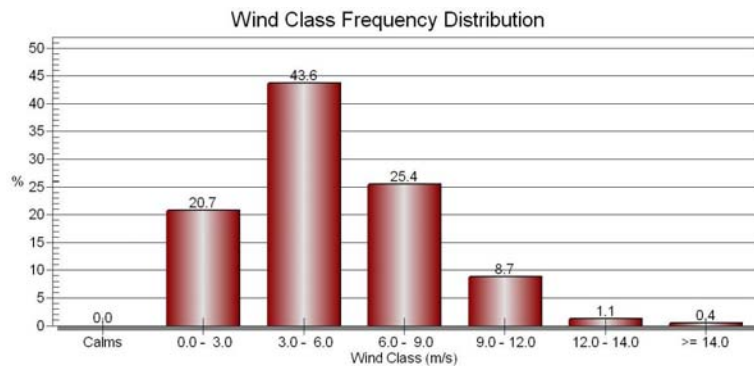
Figuur 4.5: Kraaienburg en vluchthaven Wijdenes, schaal 1:20.000 (The Top10vector)

### 4.3.1 Winddata

Wind speelt een belangrijke rol in de opbouw van golven, die afhankelijk zijn van de windsnelheid en de windrichting. Wanneer er geen golfdata beschikbaar is, is winddata belangrijk voor het reconstrueren van de golfdata. Rond het Markermeer staan een aantal KNMI- meetstations waarin onder andere de windsnelheid op 10 meter hoogte wordt gemeten. Het KNMI- meetstation 248 Wijdenes wordt in dit onderzoek gebruikt, omdat het meetstation het meest in de buurt ligt van de vluchthaven. De gebruikte winddata in dit onderzoek is over de periode 2003- 2009 en wordt in tijdreeksen van uurwaarden weergegeven. Aan de hand van de uurreeksen worden de gegevens omgezet naar frequentietabellen van voorkoming (zie figuur 4.6) en vervolgens omgezet naar windrozen (zie figuur 4.7)



Figuur 4.6: Windroos 2003-2009



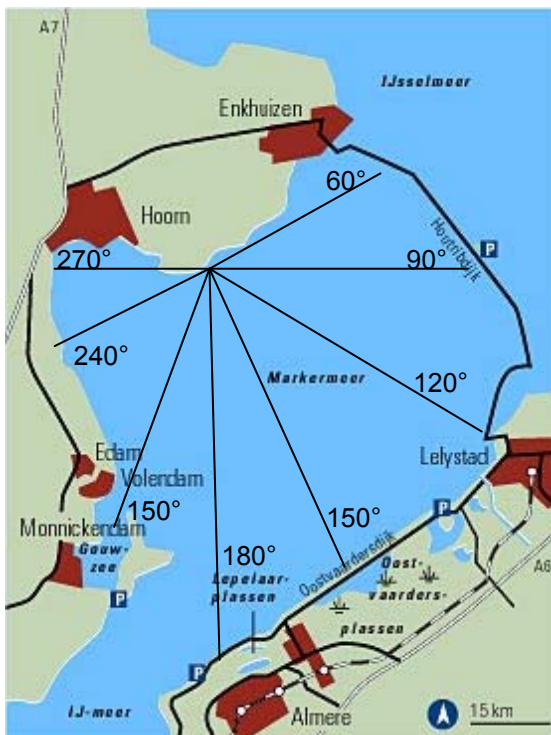
Figuur 4.7: Windfrequentie tabel 2003-2009

In figuur 4.6 wordt het aantal procenten van voorkomen per windrichting met de bijbehorende windsnelheden over de periode 2003- 2009 weergegeven. In de figuur is te zien dat de meest voorkomende windrichting de zuidwestelijke betreft. In figuur 4.7 is een frequentietabel van windsnelheden weergegeven. Uit de tabel is te zien dat 43,6% van alle windsnelheden over de periode 2003- 2009 een snelheid hebben tussen de 3,0- 6,0 m/s.

In bijlage A is de schaal van Beaufort wordt weergegeven ten opzichte van de windsnelheid in m/s (Beaufort, 1806). Met behulp van de tabel wordt een indruk gegeven van de windsnelheden die de wind veroorzaakt.

#### 4.3.2 Golfrichting en strijklengten

In figuur 4.8 wordt de oriëntatie van wind- en golfrichtingen weergegeven ten opzichte van de vluchthaven. De waterdiepte in het Markermeer is variërend, waardoor het niet mogelijk is om het model toe te passen. Om alsnog het model toe te kunnen passen wordt de gemiddelde waterdiepte gebruikt. De waterdiepte rondom de vluchthaven speelt een belangrijke rol bij sedimenttransport. Daarom wordt de gemiddelde waterdiepte over een lengte van 500 m vanuit locatie 2 genomen in plaats van over de hele strijklengte. De gemiddelde waterdiepte neemt toe wanneer er gemiddeld wordt over hele strijklengte. Dit komt omdat de waterdiepte verder uit de kust dieper is dan dicht bij de kust. De gemiddelde waterdiepte is dan groter dan de lokale waterdiepte. Hierdoor worden golfdata berekend voor heel een andere situatie. Met behulp van het model kan de strijklengte en de gemiddelde waterdiepte worden berekend (zie bijlage C-2 en C-3). In tabel 4.2 worden de windrichtingen, golfrichtingen, strijklengten en de gemiddelde dieptes gegeven. De windrichting is hier gelijk aan de golfrichting.



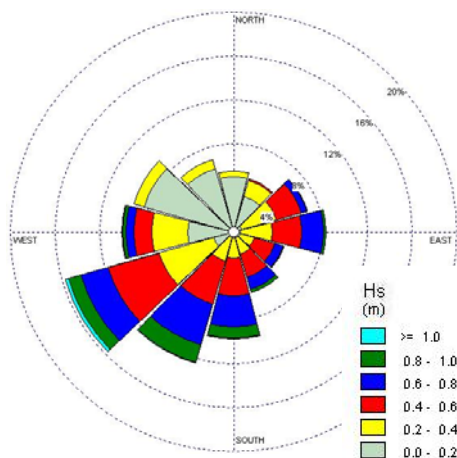
Figuur 4.8: Windrichting en golfrichting ten opzichte van vluchthaven Wijdenes

Windrichting $\Phi$ (°)	Golfrichting $\varphi$ (°)	Strijklengte F (km)	Gemiddelde waterdiepte d (m)
0 (noord)	0 (noord)	1,1	3,33
30	30	4,37	3,36
60	60	10,13	3,38
90 (oost)	90 (oost)	15,74	3,39
120	120	18,73	3,43
150	150	20,40	3,44
180 (zuid)	180 (zuid)	20,22	3,44
210	210	15,53	3,42
240	240	10,44	3,76
270 (west)	270 (west)	7,78	3,75

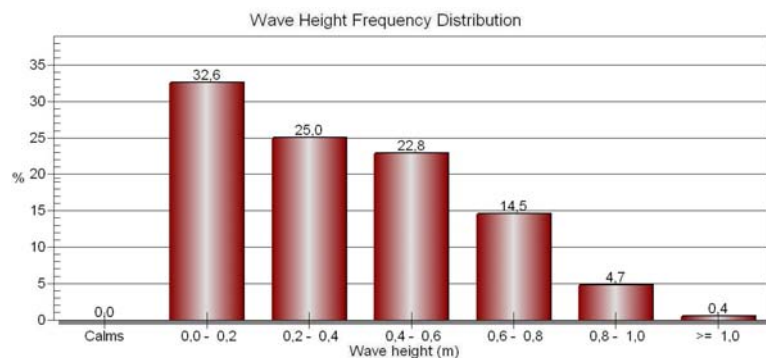
Tabel 4.2: Overzicht wind- en golfrichtingen met bijbehorende strijklengten en waterdiepte

### 4.3.3 Golfhoogtes

De tijdreeks golfhoogtes die berekend zijn met het model worden vervolgens in een golfroos omgezet (zie figuur 4.9). De figuur laat het aantal procent van voorkomen van windrichting met de bijbehorende golfhoogtes zien over de periode 2003- 2009. In de figuur is te zien dat vanuit het oosten golfhoogtes van maximaal 0,8 m voorkomen en vanuit het zuidwesten de grootste golfhoogtes voorkomen. In figuur 4.10 is een frequentietabel van golfhoogtes weergegeven. Hierin is te zien hoe vaak een golfhoogte voorkomt in de afgelopen jaren. Dit zijn normale condities waarden en geen extreme waarden. Normale conditie waarden zijn waarden die vaak voorkomen en extreme waarden komen alleen voor in extreme situaties.



Figuur 4.9: Golfroos 2003-2009



Figuur 4.10: Golfrequentie tabel 2003-2009



#### 4.4 Bodemsamenstelling Markermeer

Door de aanleg van de Houtribdijk heeft het Markermeer geen externe sedimentbronnen meer. In het Markermeer wordt zand, klei, slib en schelpen gevonden.

In het kader van "Monitoring van de Waterstaatkundige Toestand de Lands", wordt eens in de acht jaar onderzoek verricht naar het voorkomen van de Driehoeksmossel in het Markermeer. Hierbij worden monsters van de bodem meegenomen. De resultaten van de inventarisatie van het Markermeer in 2000 zijn te vinden in Brongers (2001). In het (RIZA 2003-016) zijn de bodemeigenschappen van die bemonstering in kaart gebracht door Rijkswaterstaat (zie figuur 4.11). De kaart linksboven in het figuur laat zien dat het meeste zand zich in het noorden van het Markermeer bevindt. De kaart rechtsboven laat zien waar klei zich bevindt. In de kaart rechtsonder is te zien dat het slib zich vooral bevindt in het oosten van het Markermeer en volgens de kaart linksonder bevinden de schelpen zich vooral in het noorden en westen van het Markermeer. De aanwezigheid van schelpen en schelpendelen heeft een stabiliserende werking op de kustlijn, waardoor de kustlijn minder snel erodeert en het sedimenttransport mogelijk voor een deel wordt verhinderd.



**Figuur 4.11:** Sedimenteigenschappen in het Markermeer (RIZA, 2003-016)

Let op bij het interpreteren van figuur 4.11, want er is inconsistentie geconstateerd in de figuur zoals bij het meetpunt nabij de sluis en Houtribdijk.

## 4.5 Initieel sediment transport

Uit bodemonderzoek en baggerwerkzaamheden die in de afgelopen jaren zijn gedaan in de vluchthaven zou het mengsel uit zand, schelpen en veenresten bestaan. Dit komt overeen met figuur 4.11, waarin blijkt dat zand en schelpen vooral aan de Noord- Hollandse kust liggen. Het aanwezige materiaal heeft een korreldiameter van  $D_{50} = 160$  à  $180 \mu\text{m}$ . Uitgaande van korreldiameter  $D_{50} = 170 \mu\text{m}$  als maatgevende waarde, is gekozen voor een karakteristiek valsnelheid van het sediment bij een watertemperatuur van  $10^\circ\text{C}$  van  $w_s = 0,018 \text{ m/s}$ .

Om een indicatie te krijgen van bij welke windsnelheid het begin van sedimenttransport optreedt bij golven, wordt de formule van Komar en Miller (formule 3.20) voor korreldiameter  $d_{50} < 500 \mu\text{m}$  gebruikt. Er wordt een gemiddelde waterdiepte gebruikt over de strijklengte. In bijlage C is de complete berekening te vinden.

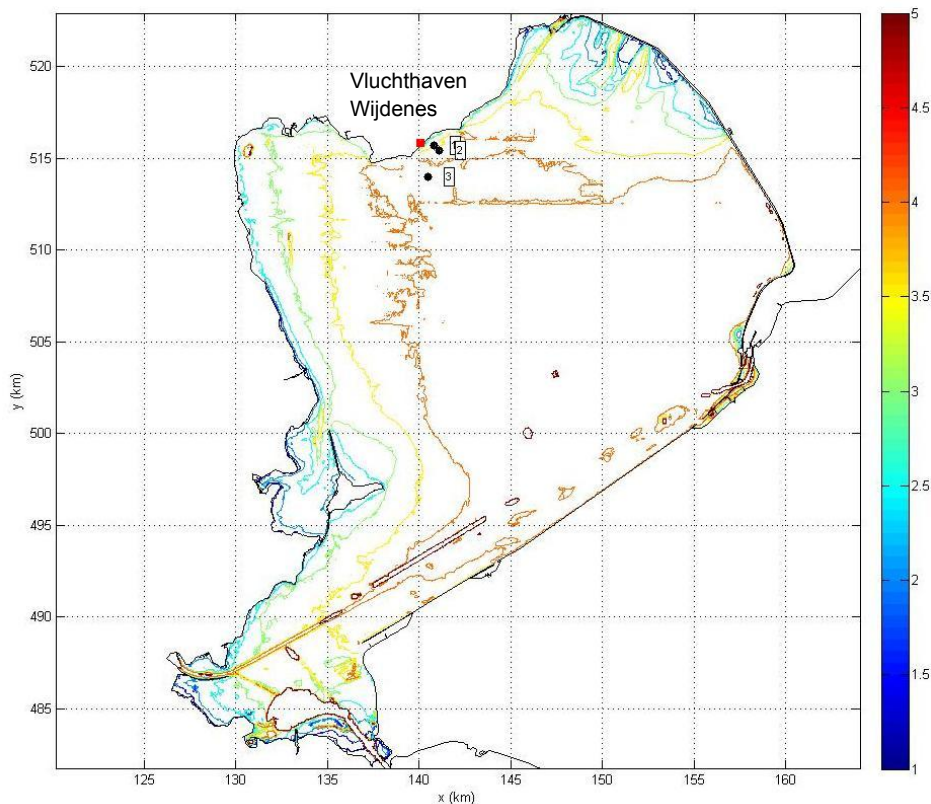
In tabel 4.3 wordt een overzicht getoond van “het begin van sedimenttransport”. Het overzicht laat zien bij welke windsnelheid, het sedimenttransport optreedt bij de gegeven windrichting. In de tabel is te zien dat wind uit het zuiden, een snelheid van  $5,0 \text{ m/s}$  moet hebben om sedimenttransport te veroorzaken Dit is vooral te danken aan de lange strijklengte, die invloed heeft op de opbouw van de golven. Voor de windrichting uit het noorden worden geen windsnelheid, golfhoogte en golfperiode weergegeven, omdat de strijklengte te kort is. De golven die ontstaan zijn door de wind, veroorzaken te weinig schuifspanningen op de bodem, waardoor het sediment blijft liggen op de bodem.

Windrichting $\Phi$ ( $^\circ$ )	Windsnelheid $U_{cr}$ (m/s)	Beaufort Bf	Strijklengte F (km)	Gemiddelde waterdiepte d (m)	Golfhoogte $H_s$ (m)	Golfperiode $T_p$ (s)
0 (noord)	-	-	0,60	3,33	-	-
30	10,0	5	4,37	3,36	0,46	2,43
60	6,6	4	10,13	3,38	0,42	2,69
90 (oost)	5,5	4	15,74	3,39	0,40	2,79
120	5,0	3	18,73	3,43	0,37	2,77
150	5,0	3	20,40	3,44	0,38	2,81
180 (zuid)	5,0	3	20,22	3,44	0,38	2,80
210	5,5	4	15,53	3,42	0,39	2,79
240	6,6	4	10,44	3,76	0,43	2,73
270 (west)	7,7	4	7,78	3,75	0,45	2,65

**Tabel 4.3:** Begin van sedimenttransport door wind naar de vluchthaven toe

Aan de hand van de tabel is vast te stellen wanneer er sedimenttransport plaats vindt. Hierbij kunnen de kritische windsnelheden worden vergeleken met de winddata van het meetstation Wijdenes van het KNMI.

In figuur 4.12 zijn de contourlijnen van verschillende waterdieptes te zien. De diepte in de omgeving van de vluchthaven is klein. Hierdoor is het mogelijk dat sediment hier kan worden opgewoeld en getransporteerd richting de vluchthaven.



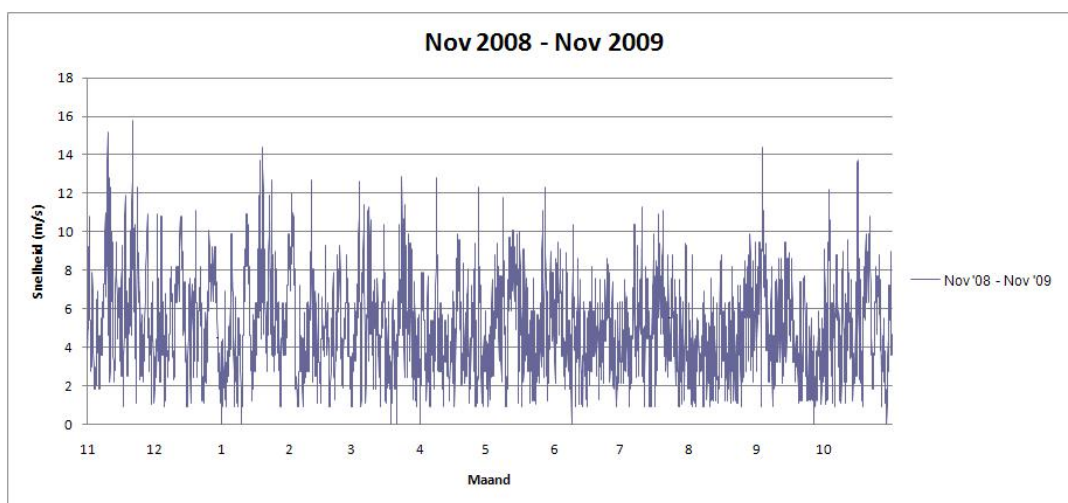
Figuur 4.12: Diepte contouren Markermeer t.o.v. NAP

## 4.6 Langstransport

In (WL, 1991) is een verwacht sedimenttransport berekend. Deze verwachtingen van het WL komen redelijk overeen met de gebaggerde hoeveelheid sediment in de afgelopen jaren. Geconcludeerd kan worden dat het netto sedimenttransport voor de kust van de vluchthaven circa  $1.500 \text{ m}^3/\text{jaar}$  is. Het netto sedimenttransport wordt daarom verder gebruikt in dit onderzoek.

## 5 Situatie bij de vluchthaven Wijdenes

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan bij de lokale situatie bij de vluchthaven. Er wordt onderzocht wat de situatie is wanneer er windopzet optreedt bij de vluchthaven. Met behulp van het golfmodel SWAN worden golfdata berekend bij de vluchthaven en als laatst wordt gebruikt gemaakt van het programma Breakwat 3.1 om golfoverslag te berekenen voor de huidige en de oude staat van de golfbrekers. In figuur 5.1 wordt de winddata van een jaar van november 2008 tot aan november 2009 weergegeven van het KNMI-meetstation Wijdenes. Tussen deze periode is volgens peilingmetingen ongeveer een derde van het gebaggerde sediment teruggekomen in de vluchthaven. Hieronder worden mogelijke oorzaken behandeld met betrekking tot verzandingen in de vluchthaven.



Figuur 5.1: Winddata van november 2008 tot november 2009 ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl))

### 5.1 Windopzet

Bij een bezoek tijdens de storm van november 2010 bleek dat er water door het middengedeelte van de zuidelijke golfbreker stroomt. Door de verzakking van de golfbreker is de geotube nu te laag om als water ondoorlatend te functioneren bij storm. Hierdoor kan sediment tijdens de storm door de golfbreker heen bewegen en zich achter de golfbreker afzetten.

Uit constructietekeningen blijkt dat de zuidelijke golfbreker opgebouwd is uit een geotube met breukstenen (zie bijlage B-3) met een kruinhoogte van +0,50 m. Door de verzakking in het middengedeelte van de zuidelijke golfbreker ligt de kruinhoogte nu op NAP +0,10 m. De gemeten breukstenen ter plaatse zijn ongeveer 0,20 m dik, waardoor het niveau van de geotube op NAP -0,10 m ligt. In de winter is het verschil tussen het waterniveau en de geotube 0,30 m en in de zomer is het verschil slechts 0,10 m. Door windopzet wordt het waterniveau bij de vluchthaven tijdelijk verhoogd, vooral bij wind vanuit het oosten en zuiden. De windopzet is afhankelijk van de duur en windsnelheid.

In tabel 5.1 is een verkort overzicht van windopzet weergegeven. Het overzicht laat zien bij welke windsnelheid en windrichting, het waterniveau gelijk is aan het niveau van de geotube. Bij windsnelheden boven deze waarden is het waterniveau bij de vluchthaven hoger dan de geotube en is de golfbreker

doorlatend. Hierbij zijn golfhoogtes nog niet eens meegenomen. De gemiddelde waterdiepte is over een lengte van 500 m vanuit locatie 2. In bijlage E is de complete berekening van windopzet met bijhorende windrichtingen en windsnelheden te vinden.

Windrichting $\Phi$ (°)	Strijk lengte F (km)	Gemiddelde waterdiepte d (m)	Zomer NAP -0.20 m		Winter NAP -0.40 m	
			Windopzet (m)	Windsnelheid U (m/s)	Windopzet (m)	Windsnelheid U (m/s)
0 (noord)	0.60	3.33	-	-	-	-
30	4.37	3.36	-	-	-	-
60	10.13	3.38	0.10	13.8	-	-
90 (oost)	15.74	3.39	0.10	11	-	-
120	18.73	3.43	0.10	9.9	-	-
150	20.40	3.44	0.10	9.4	0.30	16.5
180 (zuid)	20.22	3.44	0.10	9.6	0.30	16.5
210	15.53	3.42	0.10	11.3	-	-
240	10.44	3.76	-	-	-	-
270 (west)	7.78	3.75	-	-	-	-

**Tabel 5.1:** Overzicht windopzet waar waterniveau gelijk is aan geotube niveau

In de tabel 5.1 is te zien dat de golfbreker sedimentdoorlatend is geworden bij een gemiddelde windsnelheid van 10 m/s bij zomerpeil. Hierdoor is verzanding achter de zuidelijke golfbreker mogelijk (zie figuur 5.2). Bij winterpeil heeft de geotube voldoende hoogte om als sedimentondoorlatende laag te functioneren. Alleen bij een extreme winterstorm bereikt het waterniveau de bovenkant van de geotube.



**Figuur 5.2:** Verzanding achter de golfbreker bij doorlatendheid (Google Earth)

## 5.2 Golfhoogte en golfperiode

De lokale golfhoogtes en golfperiodes die zijn bepaald in paragraaf 4.3.3 is berekend met het model Bretschneider. Het model is een globale schatting en is niet nauwkeurig genoeg, omdat het model gebruikt maakt van een gemiddelde diepte. Om de golfhoogtes en golfperiodes bij de vluchthaven beter te bepalen, worden deze lokale golfhoogtes en golfperiodes naar de haven toe gesimuleerd. Hiervoor wordt het golfmodel SWAN 1D gebruikt. Het golfmodel houdt rekening met onder andere onregelmatige diepte, shoaling en worden de golfhoogtes en golfperiodes nauwkeurige berekend.

### 5.2.1 Golf model SWAN

Met het SWAN (Simulation WAVes Nearshore) golfmodel (Booij, et al. 1999) wordt de ontwikkeling van spectrale energie van golven op een derde generatiewijze bepaald. Het model is ontwikkeld door Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, section of Fluid Mechanics. Het doel is het voorspellen van door de wind opgewekte golven in de kustzone. Het golfmodel berekent de golfspectrum, waaruit golfparameters kunnen worden uitgerekend

De effecten van de volgende verschijnselen kunnen worden gesimuleerd door SWAN:

- Golfgroei door actie van wind,
- Whitecapping (breken op steilheid),
- Refractie over een onregelmatige bodem,
- Shoaling,
- Drie en vier golfinteracties,
- Dissipatie door bodemwrijving,
- Dissipatie door breken in ondiep water,
- Transmissie van golven ter plaatse van obstakels.

#### Input parameters:

- Bodemligging,
- Waterstand,
- Golfparameters:
  - $\Phi$  = windrichting [°]
  - $\varphi$  = golfrichting [°]
  - $H_s$  = significante golfhoogte [m]
  - $T_p$  = piek periode [s]
  - $u$  = windsnelheid [m/s]

#### Invoer:

Voor de invoer van het bodemprofiel is gebruikt gemaakt van de data uit de dieptepeiling van 2009 en is per windrichting verschillend. De significante golfhoogte en de piek periodes zijn afkomstig uit de berekeningen van de Bretschneider. In bijlage F is een voorbeeld van de invoer te zien.

### 5.2.2 Resultaten

In dit onderzoek wordt SWAN1D versie 1.0.2 gebruikt. SWAN 1D voorspelt golf parameter langs een 1D bodemprofiel. Voor de simulatie van de golfhoogtes en golfperiodes bij de vluchthaven, moet het bodemprofiel eerst bij elke windrichting gedefinieerd worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de



peilmeting, die in 2008 is uitgevoerd. In bijlage F is een invoervoorbeeld van SWAN weergegeven. In Bijlage G zijn de resultaten weergegeven van het golfmodel SWAN 1D. Met deze gegevens kan er dan verder gekeken worden of de golfbrekers van de haven aan hun eisen voldoen of niet met behulp van het programma Breakwat 3.1.

### 5.3 Golfoverslag

Met behulp van de golfdata van SWAN uit bijlage G wordt de golfoverslag berekend met het programma Breakwat 3.1. Hierbij wordt vooral gekeken naar het middengedeelte van de zuidelijke golfbreker, omdat dit gedeelte verzakt is. Bij een golfoverslag kan sediment worden meegenomen. Golfoverslag duidt op verzanding achter de zuidelijke golfbreker (zie figuur 5.1).

#### 5.3.1 Breakwat 3.1

Het programma Breakwat 3.1 is een hulpmiddel om ontwerpers te ondersteunen bij de voorbereiding van het conceptuele ontwerp van golfbrekers. Het programma is gebaseerd op fysieke model van geschematiseerde golfbrekers. De golfbrekers kunnen verschillen van de geteste onderdelen. De resultaten kunnen daarom alleen worden gebruikt in conceptuele ontwerpen. Voor technische achtergrond voor de berekening van golfoverslag is te vinden in het Breakwat 3.1 manual [WL Delft Hydraulics, 2005]. Met behulp van Breakwat 3.1 kunnen onder andere de volgende processen worden berekend:

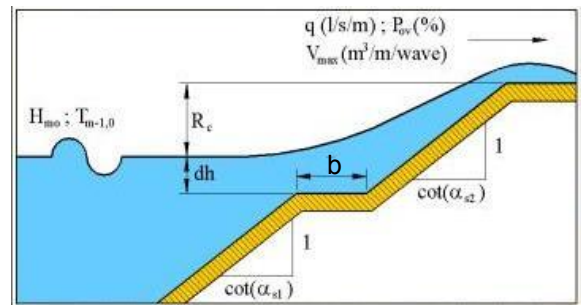
- golfhoogte distributie,
- golfoploop,
- golfoverslag,
- golf transmissie en
- golfreflectie.

#### Input parameters:

- $H_{m0}$  = significante golfhoogte [m]
- $T_{m-1,0}$  = spectrale golfperiode ( $T_p = 1,1 T_{m-1,0}$ ) [s]
- $\cot(\alpha_{s1})$  = benede talud van de golfbreker [-]
- $\cot(\alpha_{s2})$  = boven talud van de golfbreker [-]
- $b$  = berm breedte [m]
- $d_h$  = diepte berm t.o.v. waterpeil [m]
- $N$  = aantal inkomende golven [-]
- $R_c$  = kruinhoogte vanuit waterpeil [m]
- $\gamma_f$  = reductiefactor ruwheid [-]

#### Invoer:

- Talud = 1:3
- Aantal inkomende golven = 1000
- Bermbreedte = 0
- Reductiefactor ruwheid = 0,7 (enkel laag)



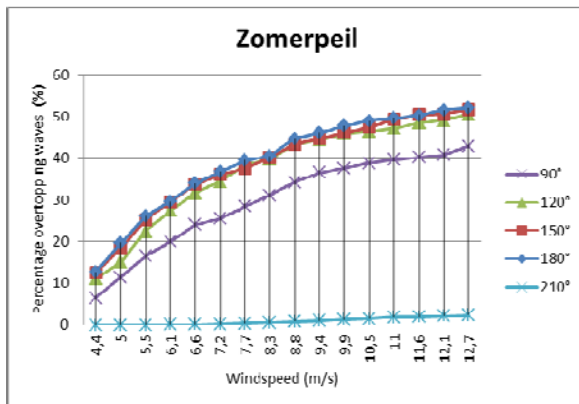
**Figuur 5.3:** Doorsnede van een golfbreker met parameters dat wordt gebruikt voor het model (WL Delft Hydraulics, 2005)

Peiling	zomerpeil	Winterpeil	zomerpeil	Winterpeil
kruinniveau	NAP +0,1	NAP +0,1	NAP +0,5	NAP +0,5
zomerpeil	NAP -0,2	NAP -0,4	NAP -0,2	NAP -0,4
bodemniveau	NAP -0,7	NAP -0,7	NAP -0,7	NAP -0,7

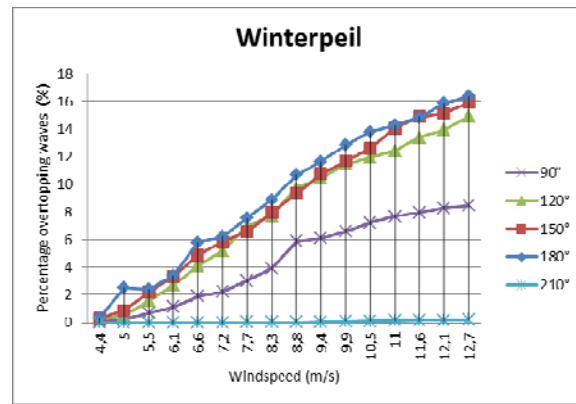
### 5.3.2 Resultaten

Golven die tussen het oosten ( $90^\circ$ ) en het zuidenwesten ( $210^\circ$ ) op de vluchthaven aankomen, kunnen golfoverslag veroorzaken. Daarom wordt de golfdata van deze golven gebruikt in het model Breakwat 3.1. Behalve dat er gekeken wordt naar golfoverslag bij zomerpeil en winterpeil, wordt er ook gekeken naar golfoverslag voor en na verzakking van de golfbreker. Hierdoor is het mogelijk om erachter te komen of de golfbreker aan zijn eisen voldeed voor de verzakking en/of het WL advies correct was.

De figuren hieronder laten het percentage zien van golven dat over de golfbreker heen slaat als functie van de windsnelheid bij de huidige situatie en de situatie voor de verzakking, zowel voor het zomerpeil en het winterpeil. De verschillende lijnen geven de golfrichtingen aan.



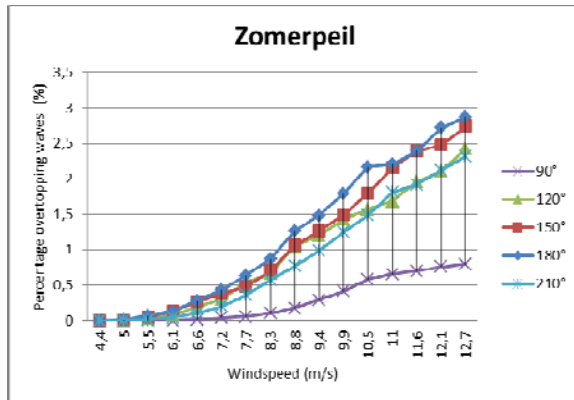
Figuur 5.4: Golfoverslag bij huidige situatie met zomerpeil



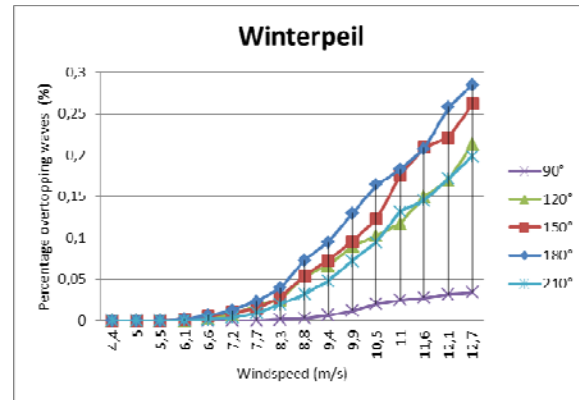
Figuur 5.5: Golfoverslag bij huidige situatie met winterpeil

In figuur 5.4 en figuur 5.5 is te zien dat in de zomer de meeste golfoverslag plaatsvindt en in de winter iets minder. Dit komt doordat het peilniveau in de zomer 0,20 m hoger ligt dan in de winter. Golfrichtingen van  $90^\circ$  tot  $180^\circ$  wordt getoetst op het verzakte gedeelte van de zuidelijke golfbreker en golfrichting  $210^\circ$  wordt getoetst op het onverzakte gedeelte van de zuidelijke golfbreker. Hier blijkt dat er nauwelijks golfoverslag plaatsvindt. Bij toename van de windsnelheid, neemt het percentage van de golven dat over de golfbreker heen slaan ook toe. Wanneer de windsnelheden uit figuur 5.1 wordt vergeleken met figuur 5.4 en figuur 5.5, blijkt dat er inderdaad golfoverslag plaatsvindt bij de vluchthaven. De meeste golfoverslag vindt plaats tijdens zomerpeil. Dit verklaart waarom in een jaar tijd een derde van het gebaggerde hoeveelheid sediment teruggekomen is in de vluchthaven (zie figuur 5.2).





Figuur 5.6: Golfoverslag oude situatie bij zomerpeil



Figuur 5.7: Golfoverslag oude situatie bij winterpeil

In figuur 5.6 is te zien dat er nauwelijks golfoverslag plaatsvindt bij zomerpeil in de situatie voor de verzakking van de golfbreker. De hoogte van de golfbreker is voldoende om de golven tegen te houden, zodat geen golfoverslag plaatsvindt. Let hierbij op dat de schaalverdeling bij golfoverslag anders is bij huidige situatie dan bij golfoverslag bij de oude situatie. In bijlage H is het volledige overzicht van de resultaten weergegeven. Ondanks dat in de winter de golven hoger zijn door de sterke wind, is de waterstand de maatgevende factor voor de golfoverslag.

## 5.4 Sedimenttransport naar de havenmond

Er bevindt zich een hoeveelheid sediment achter de zuidelijke golfbreker (zie figuur 5.8 locatie B). In dat gebied is de diepte ongeveer 0,7 meter t.o.v. het zomerpeil. Het hoeveelheid sediment die daar ligt wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de vorm van de zuidelijke golfbreker. De verlenging van de zuidelijke golfbreker die in 2001 is uitgevoerd staat bijna haaks op de kustlijn, wat zorgt voor diffractie van golven. Hierdoor nemen de golfhoogtes achter de golfbreker af, waarbij het sediment kan bezinken door het kalmere water.



Figuur 5.8: Verzanding bij de vluchthaven (Google Earth)

Een andere verklaring voor verzanding bij de havenmond is dat het sediment dat op locatie B ligt naar de havenmond wordt gespoeld. Om te bevestigen of transport daadwerkelijk plaatsvindt, wordt de formule van Komar en Miller toegepast om een indicatie te krijgen of er sedimenttransport kan plaats vinden. Hierbij wordt er alleen naar de golven vanuit het noorden ( $0^\circ$ ) tot het oosten ( $90^\circ$ ) gekeken. Voor de waterdiepte wordt een gemiddelde waarde van 1 m genomen. In bijlage H is de complete berekening te vinden.

In tabel 5.2 is een verkort overzicht van het begin van sedimenttransport naar de havenmond weergegeven. Het overzicht laat zien bij welke windsnelheid, het sedimenttransport optreedt bij de betreffende windrichting.

Windrichting $\Phi$ ( $^\circ$ )	Golfrichting $\varphi$ ( $^\circ$ )	Windsnelheid U (m/s)	Gemiddelde waterdiepte d (m)	Golfhoogte $H_s$ (m)	Golfperiode $T_p$ (s)
0 (noord)	0 (noord)	-	-	-	-
30	30	8,3	1	0,22	1,32
60	60	4	1	0,22	1,58
90 (oost)	90 (oost)	4	1	0,29	1,52

**Tabel 5.2:** Overzicht van beging van sedimenttransport door wind naar havenmond

In de tabel is te zien dat op locatie B sedimenttransport optreedt. Het sediment wordt opgewoeld en door stroming wordt het sediment in de haven verplaatst.

## 6 Discussie maatregelen

Het sedimenttransport langs de kust zal altijd aanwezig zijn. Sediment zal altijd weer langs de golfbrekers passeren en de haven zal weer gaan verzanden. Door maatregelen te nemen wordt het sedimentatieproces alleen vertraagd en de tijdsduur van de cyclus verlengd. De vluchthaven zal uiteindelijk verzanden en er zal weer gebaggerd moeten worden. In de figuur hieronder is het mogelijke sedimenttransporten weergegeven voor de huidige situatie dat zorgen voor verzandingen bij de vluchthaven. Om verzanding te voorkomen dienen maatregelen te worden genomen. Hieronder is een aantal mogelijke alternatieven uitgewerkt



**Figuur 6.1:** Sedimenttransport mogelijkheden bij de vluchthaven (Google Earth)

### Alternatief 0:

Er worden geen aanpassingen op de vluchthaven uitgevoerd. De vluchthaven wordt alleen gebaggerd wanneer dat nodig is. Met betrekking tot de golfoverslag biedt de huidige kruinhoogte geen bescherming tegen het transport van sediment over de dam. De verwachte hoeveelheid sediment dat over de verzakte golfbreker gaat en afzet in de vluchthaven is dan ongeveer  $620 \text{ m}^3$  per jaar. Er moet dan binnen twee jaar weer gebaggerd worden.

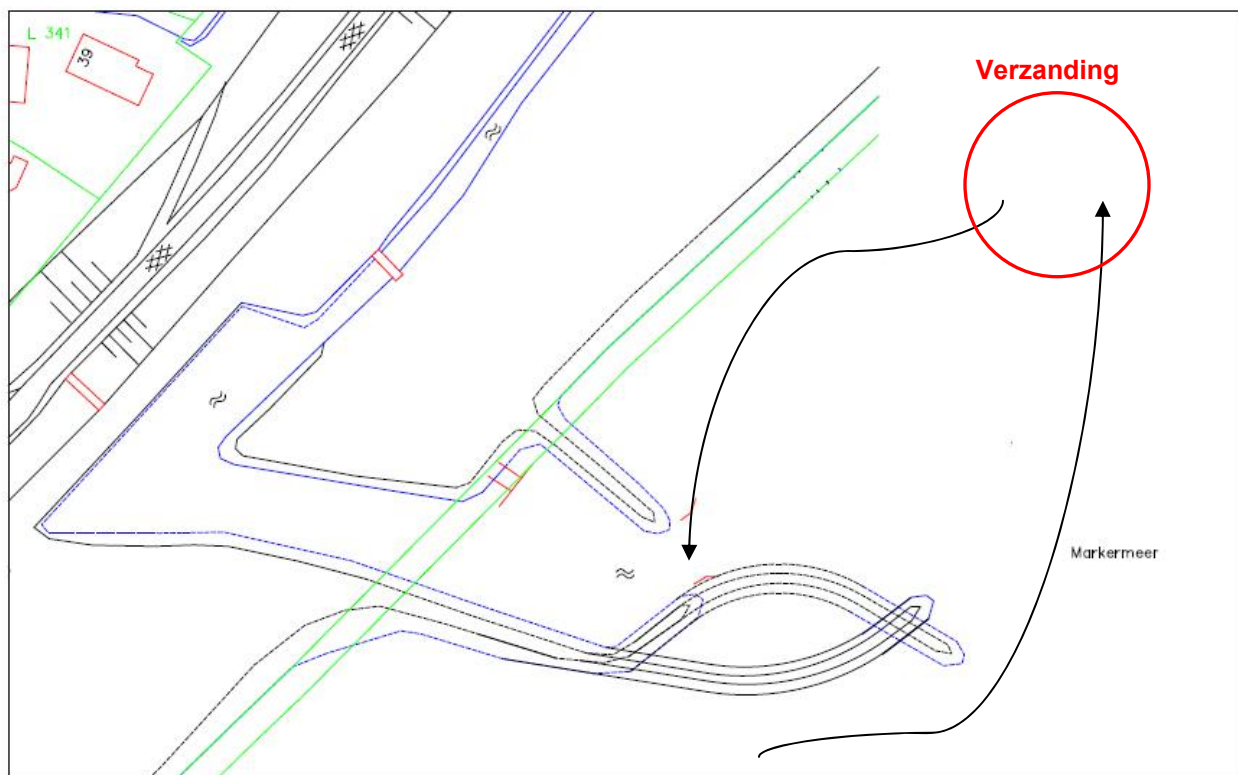
**Alternatief 1:**

De verzakte golfbreker wordt gerenoveerd naar de oude situatie. Door de verhoging van de golfbreker vindt er nauwelijks meer golfoverslag plaats, wat sedimenttransport over de dam onmogelijk maakt. Verzandingsprobleem is dan alleen mogelijk bij sedimenttransport langs de golfbreker.

Sinds de aanpassingen in 2001 heeft het zeven jaar geduurd, voordat er weer gebaggerd werd. Doordat het proces van het verplaatsen van de kustlijn door de aanleg van de nieuwe golfbreker al voltooid is, zal er nu in minder dan zeven jaar gebaggerd moeten worden. Het is dan ook verstanding om weer een opvangput te creëren van circa 500 m<sup>3</sup>. Er moet dan in totaal ongeveer 1500 m<sup>3</sup> worden gebaggerd uit de haven.

**Alternatief 2:**

De huidige vorm van de zuidelijke golfbreker zorgt voor diffractie van golven. Hierdoor nemen de golfhoogtes van achter de golfbreker af, waarbij het sediment kan bezinken door het kalmere water. Het sediment dat hier ligt worden kan door stroming vervolgens in de haven worden verplaatst. Door de vorm van de huidige zuidelijke golfbreker aan te passen naar een boogvormige golfbreker, zullen de golven geleidelijk langs de golfbreker heen gaan (zie figuur 6.2). Hierdoor zet het sediment minder snel af en worden ze verder getransporteerd naar het noordelijke gebied van de vluchthaven. Een probleem hier is dat het sediment dan zich daar op hoopt en sedimentatie aan de noordelijke kant van de vluchthaven bevordert. Wanneer er zuidelijk sedimenttransport plaatsvindt, zal het sediment de golfbreker passeren omdat de noordelijke golfbreker korter is. Er zal dan altijd sediment in de vluchthaven getransporteerd worden, omdat de zuidelijke golfbreker alle sediment opvangt. Er zal dus uiteindelijk weer gebaggerd worden.

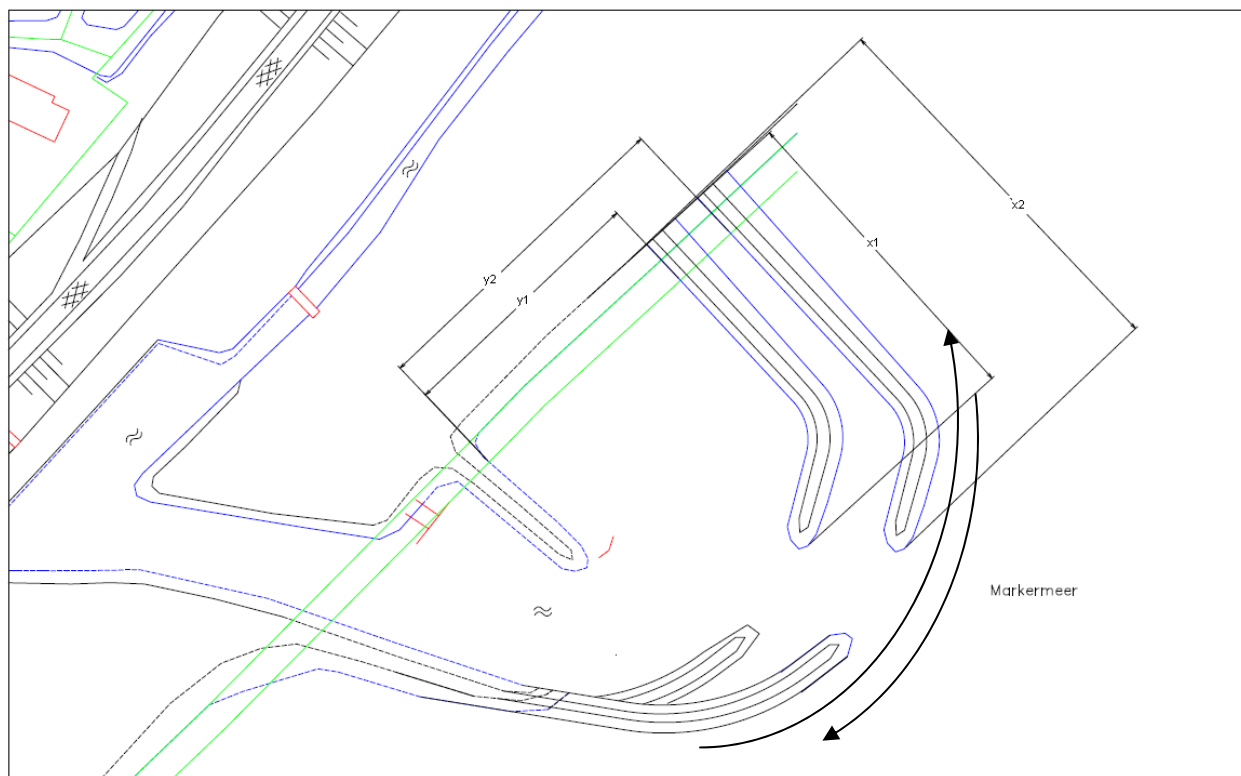


**Figuur 6.2:** Alternatief 3 - Situatie vluchthaven Wijdenes

**Alternatief 3:**

Beide golfbrekers worden aangepast (zie figuur 6.3). De noordelijke golfbreker wordt verplaatst en verlengd tot een gelijke afstand vanuit de kust als die van de zuidelijke golfbreker. Hierdoor wordt het sediment niet meer opgevangen door de zuidelijke golfbreker wanneer ze de noordelijke golfbreker passeren. Door de aanpassingen aan de noordelijke golfbreker zal ook de vluchthaven worden uitgebreid. De grootte van de uitbreiding is afhankelijk van de toekomstige plannen van de havenbeheerder. Wanneer de vluchthaven groter wordt, zal ook de lengte van de golfbrekers langer moeten worden, waardoor ook de kosten gaan stijgen.

Belangrijk is dat de vorm van de zuidelijke golfbreker wordt aangepast, zodat de golven geleidelijk langs de golfbreker heen gaan en zo min mogelijk diffractie veroorzaken. Het meeste sediment zal dan langs de golfbrekers heen stromen, maar er zullen altijd een kleine hoeveelheid sediment in de haven stromen. Hierdoor treden er dan minder snel verzandingen op.



**Figuur 6.3:** Alternatief 4 - Situatie vluchthaven Wijdenes

## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusie

In de afgelopen jaren zijn verschillende aanpassingen bij de vluchthaven uitgevoerd. De keuze die in 1993 is gemaakt was niet voldoende om de baggerkosten beperkt te houden. De aanpassingen die in 2001 zijn uitgevoerd hebben ervoor gezorgd dat verzanding pas na zeven jaar weer optrad. De opbouw en de dimensie van de golfbreker, die in 2001 is uitgevoerd voldoet aan alle technische eisen.

Er zijn verschillende oorzaken voor de huidige verzandingsproblemen in de vluchthaven:

- De belangrijkste oorzaken is dat de zuidelijke golfbreker verzakt is door de dragline. Door de verzakking van de golfbreker treedt er nu golfoverslag met sediment op, met name bij zomerpeil. Deze zorgen voor verzanding achter de zuidelijke golfbreker. Dit verklaart waarom in een jaar tijd een derde van het gebaggerde hoeveelheid sediment terug in de vluchthaven is gekomen.
- Door de verzakking is de zuidelijke golfbreker bij zomerpeil doorlatend geworden bij windopzet vanaf bepaalde windsnelheden. Sediment stroomt dan door de golfbreker heen, waardoor verzanding achter de zuidelijke golfbreker mogelijk is.
- De vorm van de zuidelijke golfbreker zorgt ervoor dat het water achter de golfbreker kalmer wordt. Hierdoor kan het sediment door het kalmere water bezinken. Sediment dat hier ligt kan vervolgens de haven in worden getransporteerd door de golven vanuit het noordoosten.
- De lengte van de noordelijke golfbreker is tekort, hierdoor kan sediment uit het noorden de golfbreker passeren. Omdat de zuidelijke golfbreker langer is dan de noordelijke golfbreker, wordt het sediment opgevangen door de zuidelijke golfbreker en vindt er verzanding plaats in de vluchthaven.

### 7.2 Aanbevelingen

- Een kostenanalyse zou uitgevoerd moeten worden voor de diverse alternatieven, om de financiële haalbaarheid vast te stellen. Hierbij moeten zowel de aanlegkosten als onderhoudskosten in beschouwing worden genomen.
- Multi- Criteria- Analyse (MCA) uitvoeren. Hierbij zou rekening gehouden moeten worden met aspecten als: aanlegkosten, onderhoudskosten, veiligheid en recreatiemogelijkheden. Op deze manier ontstaat er een overzicht van de sterke en zwakke punten van elk alternatief. Een dergelijke analyse kan gebruikt worden bij het maken van een keuze voor een van de alternatieven. Een Multi-criteria analyse zou onderdeel moeten uitmaken van de toekomstvisie op de haven en omliggend gebied.



## Literatuurlijst

- d'Angremond, K., Pluim- Van der Velden, E.T.,J.M. (2001) Introduction to coastal engineering. *Faculty of Civil Engineering and Geosciences TU Delft, VSSD, Delft*
- Bezuyen, K.G., *et al.* (2009) Inleiding waterbouwkunde. *Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschap, TU Delft, VSSD, Delft*
- Booij, N., Ris, C., Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *J. Geophys. Res. C4*, 104, 7649-7666.
- Brongers, I. (2001) Inventarisatie driehoeksmosselen Markermeer 2000. *RDIJ rapport nr: 2001-4*
- Delftcluster (2008) Modelling slibhuishouding Markermeer. *Delftcluster, Delft*
- Groen, P., Dorrestein, R., Zeegolven. *Den Haag, Staatsuitgeverij, 1976, uit Bezuyen et al, 2009*
- Hurdle, D.P. & Stive, R.J.H. (1989) Revision of SPM 1984 wave hindcast model to avoid inconsistencies in engineering applications. *Coastal Engineering, 12 (1989) 339-351. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.*
- Holthuijsen, L.H. (2006) Waves in oceanic and coastal waters. *Cambridge University Press, Cambridge*
- Pompert, H.J. (1999) Hoogwaterperiode IJsselmeergebied oktober/ november 1998. *RDIJ-rapport 99-3*
- Riza (2003) Afname van de driehoeksmossel in het Markermeer. *RIZA rapport 2003-016, auteurs: Noordhuis & Houwing Lelystad*
- Riza (2005) Waterstandsverloop Markermeer, Hydraulische randvoorwaarden t.b.v. grondmechanische toetsing van dijken. *Rapport nr: 419250.007, Lelystad*
- Schiereck, G.J. (2000) Introduction on bed, bank and shore protection. *Faculty of Civil Engineering and Geosciences TU Delft, Delft University Press, Delft*
- Van de Graaff, J. (2006) Coastal morphology & Coastal protection. *Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschap, TU Delft, Delft*
- Van der Weij, R. (2005) De Markermeerstranden onderzocht, kansen voor schelpenstranden. *Universiteit Twente, Twente*
- Van Luijn, F. & Lammens, E. (2006) Slib in het Markermeer. *Witteveen en Bos. Rapport IJG-werkdocument 2006-20*
- Van Rijn, L.C. (1993) Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. *Aqua publications, Amsterdam.*

Verhoeven, K. (2001) Zuidelijke voorhaven Naviduct Enkhuizen, hydraulisch en nautisch onderzoek. *Technische Universiteit Delft, Delft*

Vijverberg, T. (2008) Mud dynamics in the Markermeer. *Technische Universiteit Delft, Delft*

Vrijling, J.K., *et al.* (2008) Manual Hydraulic Structures. *Faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschap, TU Delft, Delft*

Waterloopkundige Laboratorium| WL (1991) Vluchthaven, fase I: haalbaarheidsonderzoek. *Rapport WL: H1338-I, Delft.*

Waterloopkundige Laboratorium| WL, (1991) Vluchthaven, fase II: definitieve ontwerp. *Rapport WL: H1338-II, Delft.*

Witteveen en Bos (2005) Quick scan slibproblematiek Markermeer en Eem- en Gooimeer. *Rapport IJG-werkdocument 2006-15*

WL Delft Hydraulics (2005) Breakwat 3.1, user & technical manual. *WL delft Hydraulics, Delft*

**Internet pagina's**

<http://english.verkeerenwaterstaat.nl/>

<http://nl.wikipedia.org/wiki>

[http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele\\_wind/](http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind/)



## Bijlagen

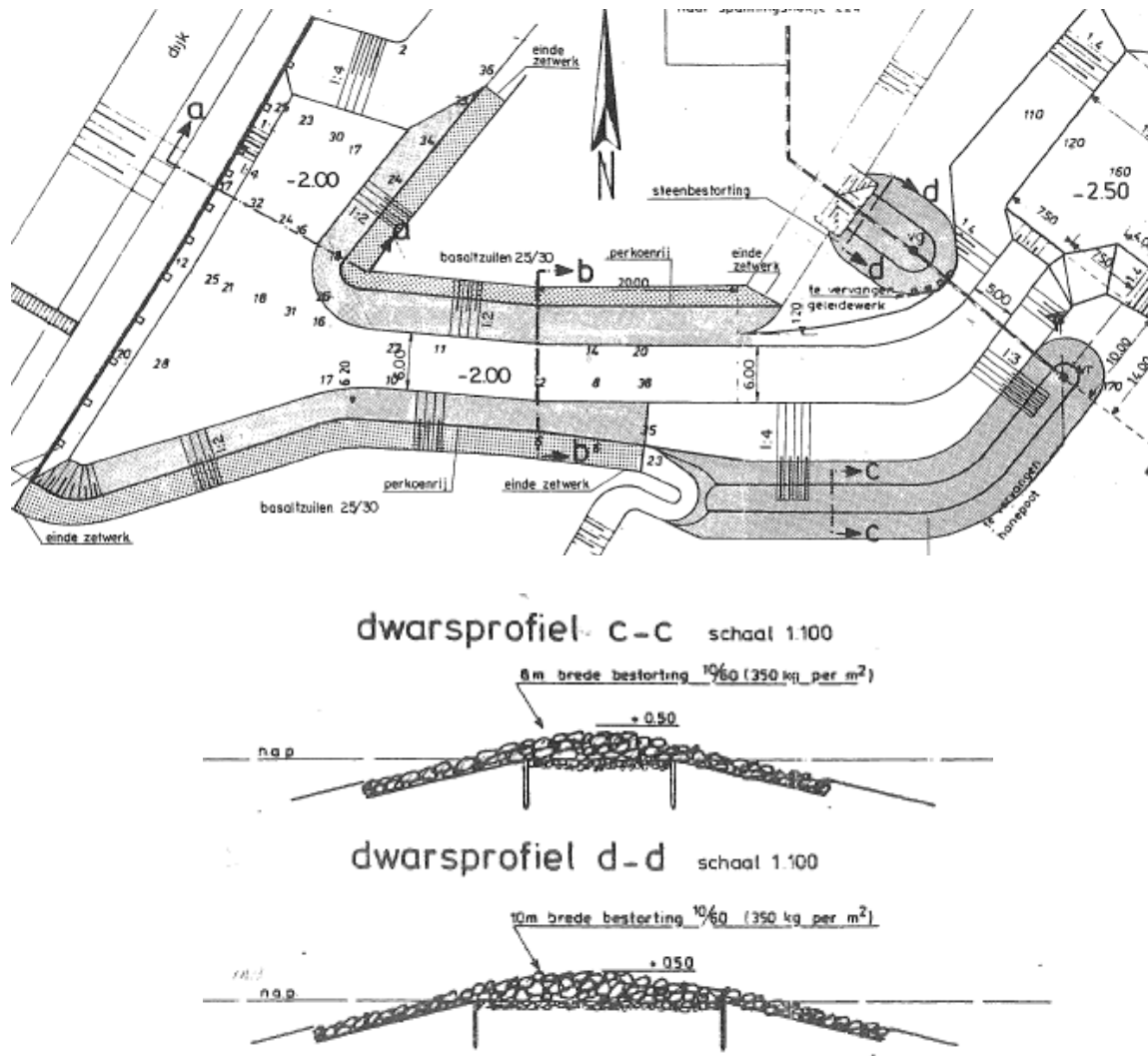
## Bijlage A: Schaal van Beaufort

Kracht	Benaming van KNMI	Benaming in zeevaart	Snelheid (km/h)	Snelheid (m/s)	Snelheid (knopen)	Uitwerking boven land en bij mens	Uitwerking boven zee
0	Stil	Windstil	0-1	0-0.2	0-1	rook stijgt recht of bijna recht omhoog	Spiegelglad
1	Zwak	Flauw en stil	1-5	0.3-1.5	1-3	windrichting goed af te leiden uit rookpluimen	kleine golfjes, geschubd oppervlak
2	Zwak	Flauwe koelte	6-11	1.6-3.3	4-6	wind voelbaar in gezicht, weerhanen tonen nu juiste richting, blad ritselt	kleine, korte golven
3	Matig	Lichte koelte	12-19	3.4-5.4	7-10	opwaaiend stof, vlaggen wapperen, spinnen lopen niet meer	kleine golven, breken, schuimkopjes
4	Matig	Matige koelte	20-28	5.5-7.9	11-15	papier waait op, haar raakt verward, geen last van muggen meer	golven iets langer, veel schuimkoppen
5	Vrij krachtig	Frisse bries	29-38	8.0-10.7	16-21	bladeren van bomen ruisen, gekuifde golven op meren en kanalen, vuilnisbakken waaien om	matige golven, aanschietende zee (overal schuimkoppen, af en toe opwaaiend schuim)
6	Krachtig	Stijve bries	39-49	10.8-13.8	22-27	problemen met paraplu's, hoeden waaien af	grotere golven, schuimplekken, vrij veel opwaaiend schuim
7	Hard	Harde wind	50-61	13.9-17.1	28-33	het is lastig tegen de wind in te lopen of te fietsen	golven worden hoger, beginnende schuimstrepen
8	Stormachtig		62-74	17.2-20.7	34-40	twijgen breken van bomen, voortbewegen zeer moeilijk	matig hoge golven, schuimstrepen
9	Storm		75-88	20.8-24.4	41-47	schoorsteenkapen en dakpannen waaien weg, kinderen waaien om, takken breken af, alleen zwaluwen en eenden vliegen nog	hoge golven, rollers, zicht wordt slechter door schuimvlagen
10	Zware storm		89-102	24.5-28.4	48-55	grote schade aan gebouwen, volwassenen waaien om, bomen raken ontworteld, vogels blijven aan de grond	zeer hoge golven, zee wordt wit van het schuim, overslaande rollers, verminderd zicht
11	Zeer zware storm/ orkaanachtig		103-117	28.5-32.6	56-63	grote schade aan bossen	extreem hoge golven, zee geheel bedekt met schuim, sterk verminderd zicht
12	Orkaan		>117	>32.7	>63	verwoestingen	lucht is vol met verwaaid water en schuim, zee volkomen wit, vrijwel geen zicht meer

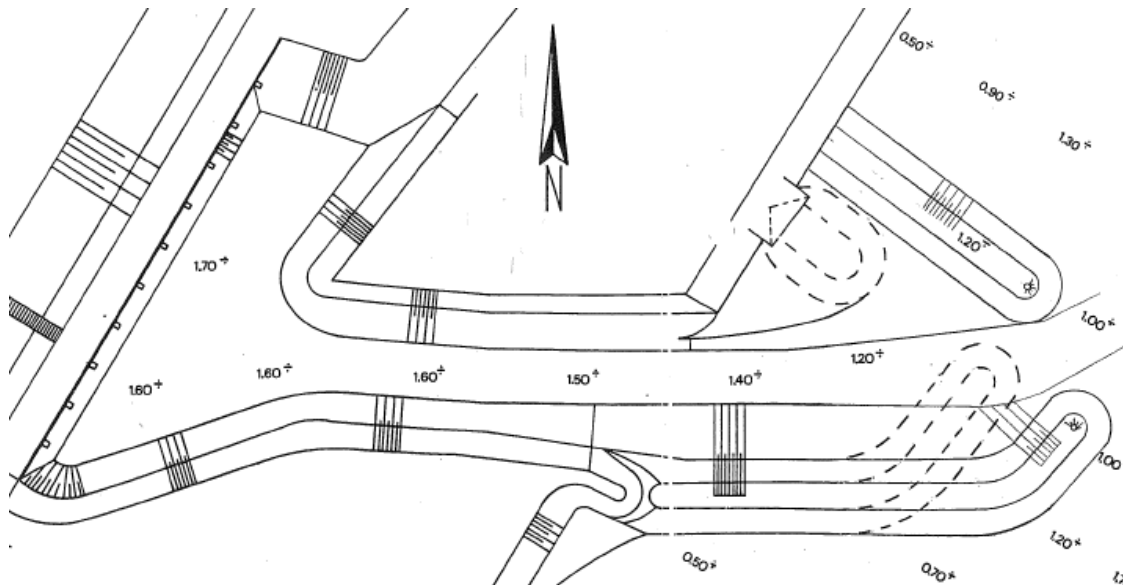
(www.wikipedia.nl)

## Bijlage B: Aanpassingen op vluchthaven Wijdenes

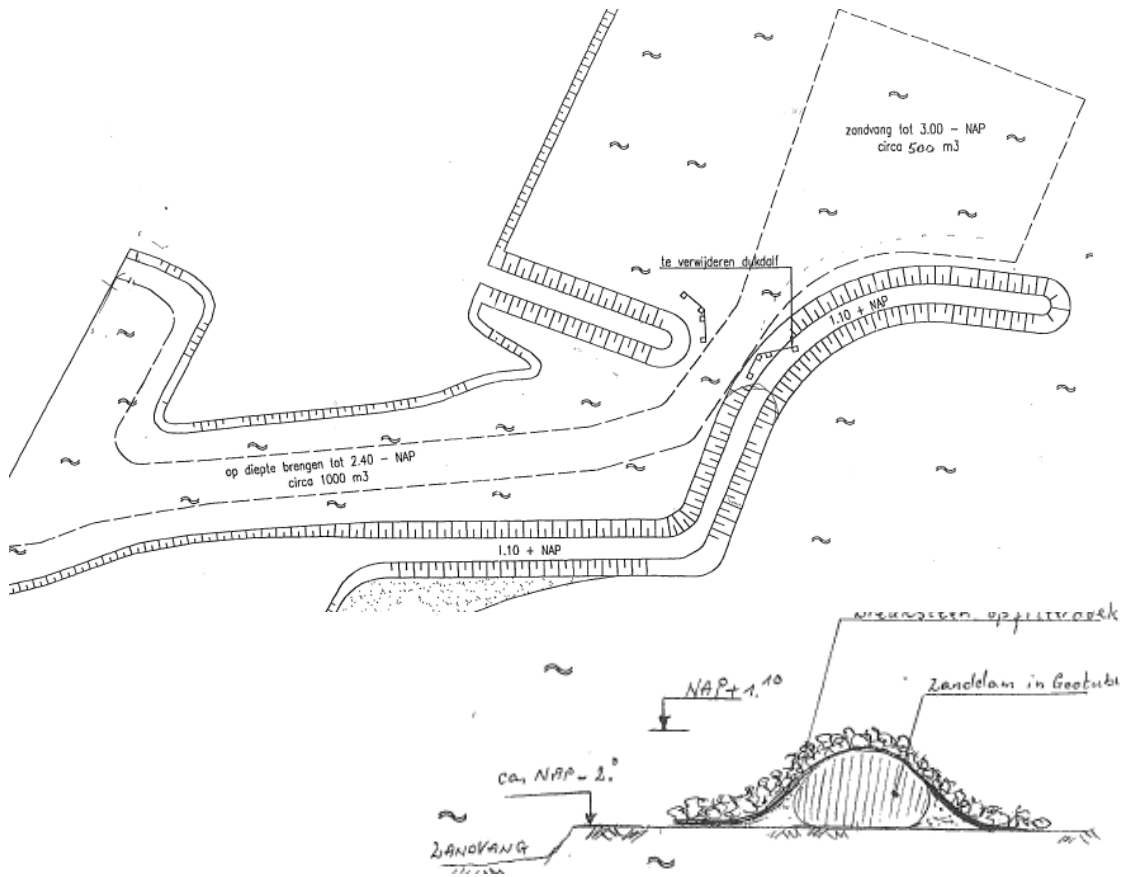
### B-1: Reconstructie en renoveren van de vluchthaven in 1980



**B-2: Verlenging van de golfbrekers in 1993**

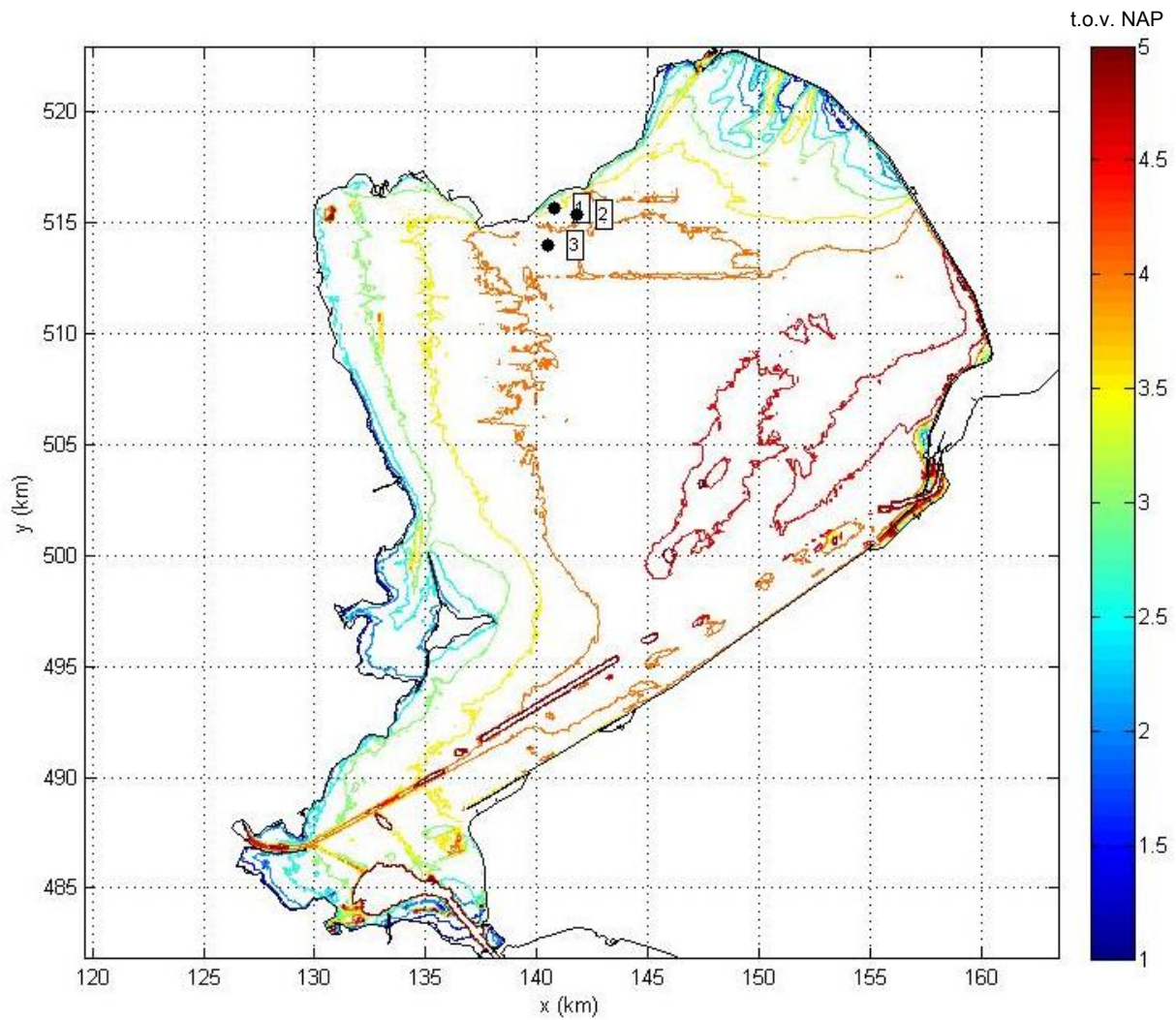


**B-3: Verlenging van de golfbrekers en aanleg van zandopvang in 2001**



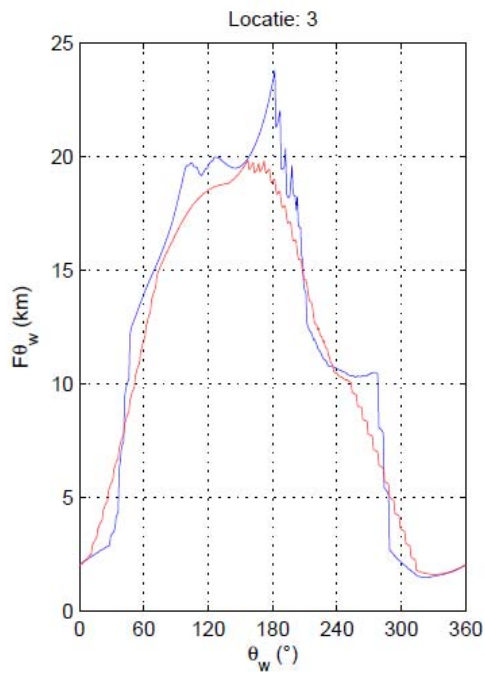
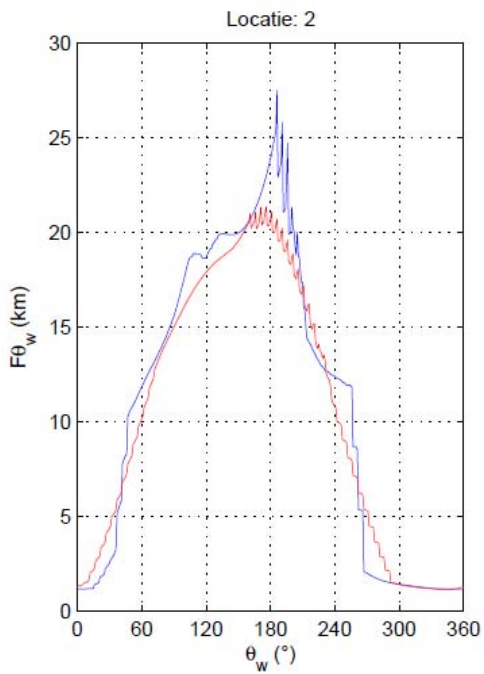
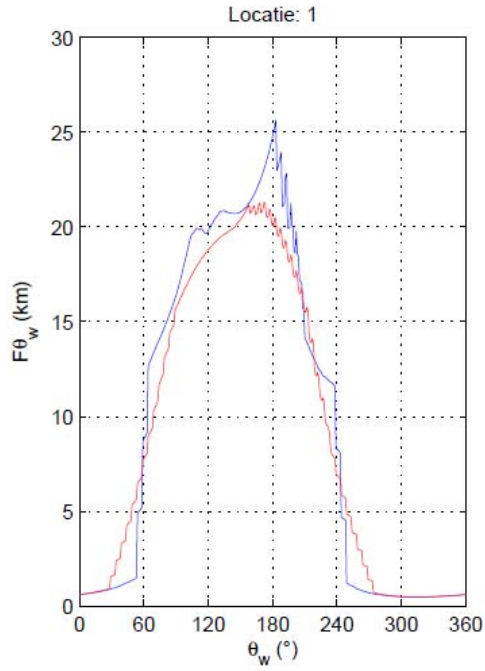
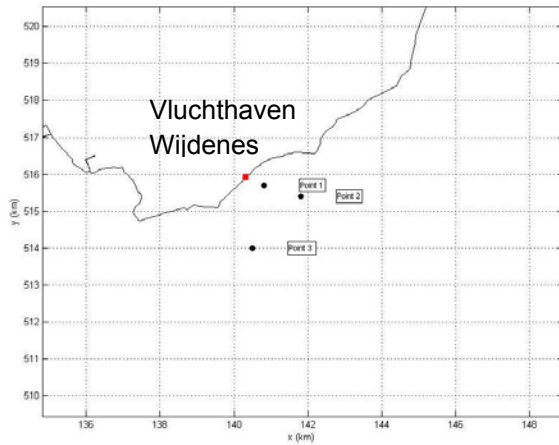
## Bijlage C: Resultaten uit model Bretschneider

### C-1: Locatie en diepte contouren



(coördinaten systeem in RDH)

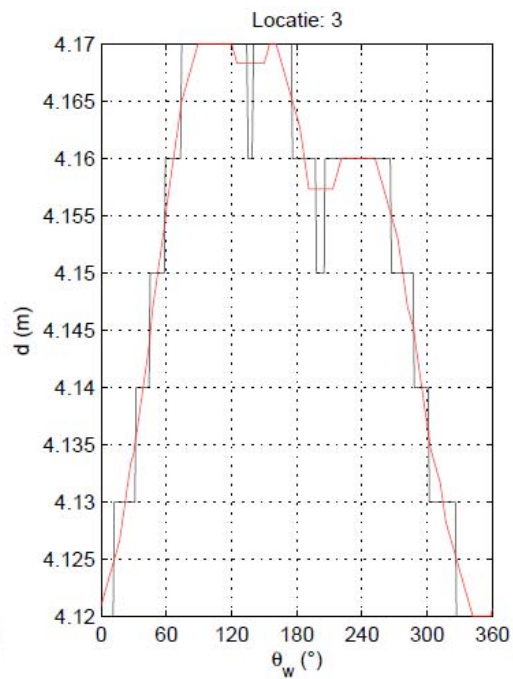
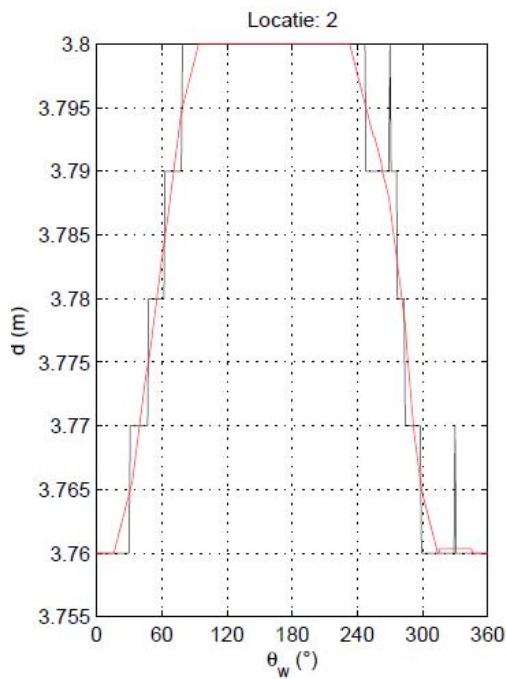
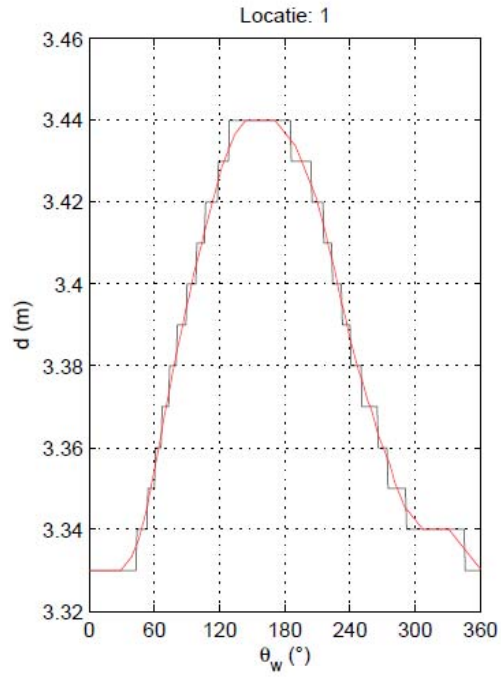
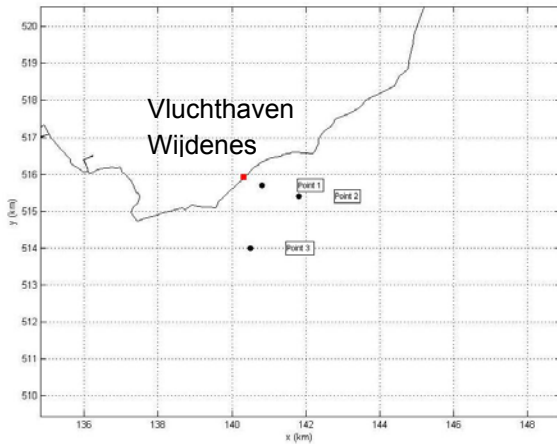
**C-2: Strijklengte vanuit de locaties**



De blauwe lijn is de berekende waarde en de rode lijn is de lopend gemiddelde waarde.



**C-3: Gemiddelde diepte**



De blauwe lijn is de berekende waarde en de rode lijn is de lopend gemiddelde waarde.

## Bijlage D: Sedimenttransport door golven

### Komar en Miller (1975)

- kritische orbitale bodemsnelheid

$$\frac{(\hat{U}_{\delta,cr})^2}{(s-1)gd_{50}} = 0.21 \left( \frac{2\hat{A}_{\delta,cr}}{d_{50}} \right)^{0.5} \quad \text{voor } d_{50} < 500 \mu\text{m} \quad (3.20)$$

$$\text{Met } \hat{A}_{\delta,cr} = \frac{\hat{U}_{\delta,cr}T}{2\pi} \quad (3.18)$$

$$(\hat{U}_{\delta,cr})^2 = 0.21 \left( \frac{2\hat{A}_{\delta,cr}}{d_{50}} \right)^{0.5} * (s-1)gd_{50}$$

$$(\hat{U}_{\delta,cr})^2 = 0.21 \left( \frac{\hat{U}_{\delta,cr}T}{\pi} \right)^{0.5} * (s-1)gd_{50}$$

$$(\hat{U}_{\delta,cr})^3 = 0.014 * T * (s-1)^2 g^2 d_{50}$$

$$(\hat{U}_{\delta,cr}) = \sqrt[3]{0.014 * T * (s-1)^2 g^2 d_{50}}$$

- golflengte

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

- kritische golfhoogte

$$H_{cr} = \frac{1}{\pi} \hat{U}_{\delta,cr} T \sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (3.22)$$



Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

d50= 0,00017      ps= 2650      p= 1000      s=ps/p= 2,65      g= 9,81      v= 1,00E-06

Bretschneider						Komar en Miller					
Wdir	U10 (m/s)	Diepte (m)	Strijklengte (km)	Hs (m)	Tm (s)	L	L	U <sub>cr</sub> <sup>3</sup>	U <sub>cr</sub>	H <sub>cr</sub>	Motion
0	15,4	3,33	0,6	0,3	1,5	3,51	3,51	0,000935	0,098	9,058	
0	16	3,33	0,6	0,31	1,52	3,61	3,61	0,000948	0,098	7,816	
0	16,5	3,33	0,6	0,32	1,54	3,7	3,70	0,00096	0,099	6,908	
30	8,8	3,36	4,37	0,4	2,32	8,3	8,30	0,001447	0,113	0,528	
30	9,4	3,36	4,37	0,43	2,38	8,71	8,71	0,001484	0,114	0,484	
30	9,9	3,36	4,37	0,46	2,43	9,05	9,05	0,001515	0,115	0,454	Motion
30	10,5	3,36	4,37	0,49	2,48	9,39	9,39	0,001546	0,116	0,428	Motion
30	11	3,36	4,37	0,52	2,54	9,81	9,80	0,001584	0,117	0,400	Motion
30	11,6	3,36	4,37	0,55	2,58	10,08	10,08	0,001609	0,117	0,385	Motion
30	12,1	3,36	4,37	0,58	2,63	10,43	10,43	0,00164	0,118	0,367	Motion
30	12,7	3,36	4,37	0,61	2,68	10,78	10,78	0,001671	0,119	0,352	Motion
30	13,2	3,36	4,37	0,64	2,72	11,05	11,06	0,001696	0,119	0,341	Motion
30	13,8	3,36	4,37	0,67	2,77	11,4	11,40	0,001727	0,120	0,329	Motion
60	4,4	3,38	10,13	0,26	2,27	6,76	8,02	0,001415	0,112	0,937	
60	5	3,38	10,13	0,3	2,39	8,78	8,78	0,00149	0,114	0,484	
60	5,5	3,38	10,13	0,34	2,5	9,54	9,53	0,001559	0,116	0,422	
60	6,1	3,38	10,13	0,38	2,6	10,23	10,23	0,001621	0,117	0,381	
60	6,6	3,38	10,13	0,42	2,69	10,86	10,85	0,001677	0,119	0,352	Motion
60	7,2	3,38	10,13	0,46	2,78	11,48	11,48	0,001734	0,120	0,330	Motion
60	7,7	3,38	10,13	0,5	2,87	12,11	12,11	0,00179	0,121	0,311	Motion
60	8,3	3,38	10,13	0,54	2,95	12,67	12,67	0,00184	0,123	0,297	Motion
90	4,4	3,39	15,74	0,31	2,52	9,67	9,68	0,001571	0,116	0,417	
90	5	3,39	15,74	0,35	2,66	10,65	10,65	0,001659	0,118	0,364	
90	5,5	3,39	15,74	0,4	2,79	11,56	11,56	0,00174	0,120	0,329	Motion
90	6,1	3,39	15,74	0,44	2,91	12,4	12,40	0,001815	0,122	0,305	Motion
90	6,6	3,39	15,74	0,48	3,02	13,16	13,16	0,001883	0,123	0,288	Motion

## Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

120	4,4	3,43	18,81	0,33	2,62	10,39	10,38	0,001634	0,118	0,385	
120	5	3,43	18,81	0,37	2,77	11,44	11,44	0,001727	0,120	0,340	<b>Motion</b>
120	5,5	3,43	18,81	0,42	2,91	12,42	12,42	0,001815	0,122	0,310	<b>Motion</b>
120	6,1	3,43	18,81	0,46	3,03	13,26	13,26	0,001889	0,124	0,291	<b>Motion</b>
150	4,4	3,44	20,4	0,34	2,66	10,67	10,67	0,001659	0,118	0,373	
150	5	3,44	20,4	0,38	2,81	11,72	11,73	0,001752	0,121	0,332	<b>Motion</b>
150	5,5	3,44	20,4	0,43	2,95	12,71	12,71	0,00184	0,123	0,305	<b>Motion</b>
150	6,1	3,44	20,4	0,47	3,08	13,63	13,62	0,001921	0,124	0,285	<b>Motion</b>
180	4,4	3,44	20,05	0,33	2,65	10,6	10,60	0,001652	0,118	0,377	
180	5	3,44	20,05	0,38	2,8	11,65	11,66	0,001746	0,120	0,335	<b>Motion</b>
180	5,5	3,44	20,05	0,43	2,94	12,64	12,64	0,001833	0,122	0,306	<b>Motion</b>
180	6,1	3,44	20,05	0,47	3,07	13,55	13,55	0,001914	0,124	0,287	<b>Motion</b>
210	4,4	3,42	15,53	0,31	2,52	9,68	9,68	0,001571	0,116	0,424	
210	5	3,42	15,53	0,35	2,66	10,66	10,66	0,001659	0,118	0,370	
210	5,5	3,42	15,53	0,39	2,78	11,5	11,50	0,001734	0,120	0,336	<b>Motion</b>
210	6,1	3,42	15,53	0,44	2,9	12,35	12,35	0,001808	0,122	0,310	<b>Motion</b>
210	6,6	3,42	15,53	0,48	3,01	13,12	13,12	0,001877	0,123	0,292	<b>Motion</b>
240	5,5	3,76	10,44	0,35	2,53	9,83	9,83	0,001578	0,116	0,514	
240	6,1	3,76	10,44	0,39	2,63	10,56	10,56	0,00164	0,118	0,457	
240	6,6	3,76	10,44	0,43	2,73	11,29	11,29	0,001702	0,119	0,414	<b>Motion</b>
240	7,2	3,76	10,44	0,47	2,82	11,95	11,95	0,001758	0,121	0,384	<b>Motion</b>
240	7,7	3,76	10,44	0,51	2,9	12,54	12,54	0,001808	0,122	0,361	<b>Motion</b>
270	6,6	3,75	7,78	0,38	2,49	9,54	9,54	0,001553	0,116	0,539	
270	7,2	3,75	7,78	0,41	2,57	10,13	10,12	0,001603	0,117	0,485	
270	7,7	3,75	7,78	0,45	2,65	10,7	10,70	0,001652	0,118	0,445	<b>Motion</b>
270	8,3	3,75	7,78	0,49	2,72	11,21	11,21	0,001696	0,119	0,416	<b>Motion</b>
270	8,8	3,75	7,78	0,53	2,8	11,8	11,80	0,001746	0,120	0,388	<b>Motion</b>

**Bijlage E: Windopzet**

- Totale windopzet:

$$W = c \frac{u^2}{gd} F \quad (3.5)$$

- Windopzet aan de zijanten

$$w = \frac{1}{2} W$$

- Windopzet bij de haven

$$w_{haven} = \left( \frac{(W * f)}{F} \right) - w$$

Wdir	u10 (m/s)	Diepte d (m)	Strijklengte f (m)	Totale strijklengte F (m)	Totale windopzet W (m)	windopzet w (m)	Windopzet bij locatie w <sub>haven</sub> (m)
0	4,4	3,33	60	20650	0,05	0,02	-0,02
	5	3,33	60	20650	0,06	0,03	-0,03
	5,5	3,33	60	20650	0,07	0,04	-0,04
	6,1	3,33	60	20650	0,09	0,04	-0,04
	6,6	3,33	60	20650	0,10	0,05	-0,05
	7,2	3,33	60	20650	0,12	0,06	-0,06
	7,7	3,33	60	20650	0,14	0,07	-0,07
	8,3	3,33	60	20650	0,17	0,08	-0,08
	8,8	3,33	60	20650	0,19	0,09	-0,09
	9,4	3,33	60	20650	0,21	0,11	-0,11
	9,9	3,33	60	20650	0,24	0,12	-0,12
	10,5	3,33	60	20650	0,26	0,13	-0,13
	11	3,33	60	20650	0,29	0,15	-0,14
	11,6	3,33	60	20650	0,32	0,16	-0,16

12,1	3,33	60	20650	0,35	0,18	-0,17	
12,7	3,33	60	20650	0,39	0,19	-0,19	
13,2	3,33	60	20650	0,42	0,21	-0,21	
13,8	3,33	60	20650	0,46	0,23	-0,23	
14,3	3,33	60	20650	0,49	0,25	-0,24	
14,9	3,33	60	20650	0,53	0,27	-0,27	
15,4	3,33	60	20650	0,57	0,28	-0,28	
30	4,4	3,36	4370	20840	0,05	0,02	-0,01
	5	3,36	4370	20840	0,06	0,03	-0,02
	5,5	3,36	4370	20840	0,07	0,04	-0,02
	6,1	3,36	4370	20840	0,09	0,04	-0,03
	6,6	3,36	4370	20840	0,10	0,05	-0,03
	7,2	3,36	4370	20840	0,12	0,06	-0,04
	7,7	3,36	4370	20840	0,14	0,07	-0,04
	8,3	3,36	4370	20840	0,17	0,08	-0,05
	8,8	3,36	4370	20840	0,19	0,09	-0,05
	9,4	3,36	4370	20840	0,21	0,11	-0,06
	9,9	3,36	4370	20840	0,24	0,12	-0,07
	10,5	3,36	4370	20840	0,26	0,13	-0,08
	11	3,36	4370	20840	0,29	0,15	-0,08
	11,6	3,36	4370	20840	0,32	0,16	-0,09
	12,1	3,36	4370	20840	0,35	0,18	-0,10
	12,7	3,36	4370	20840	0,39	0,19	-0,11
	13,2	3,36	4370	20840	0,42	0,21	-0,12
	13,8	3,36	4370	20840	0,46	0,23	-0,13
	14,3	3,36	4370	20840	0,49	0,25	-0,14
	14,9	3,36	4370	20840	0,53	0,27	-0,15
	15,4	3,36	4370	20840	0,57	0,28	-0,17
60	4,4	3,38	10130	10670	0,02	0,01	0,01
	5	3,38	10130	10670	0,03	0,02	0,01

Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

	5,5	3,38	10130	10670	0,04	0,02	0,02	10,5	3,39	15740	17110	0,22	0,11	0,09	
	6,1	3,38	10130	10670	0,05	0,02	0,02	11	3,39	15740	17110	0,24	0,12	0,10	
	6,6	3,38	10130	10670	0,05	0,03	0,02	11,6	3,39	15740	17110	0,26	0,13	0,11	
	7,2	3,38	10130	10670	0,06	0,03	0,03	12,1	3,39	15740	17110	0,29	0,14	0,12	
	7,7	3,38	10130	10670	0,07	0,04	0,03	12,7	3,39	15740	17110	0,32	0,16	0,13	
	8,3	3,38	10130	10670	0,08	0,04	0,04	13,2	3,39	15740	17110	0,34	0,17	0,14	
	8,8	3,38	10130	10670	0,09	0,05	0,04	13,8	3,39	15740	17110	0,37	0,19	0,16	
	9,4	3,38	10130	10670	0,11	0,05	0,05	14,3	3,39	15740	17110	0,40	0,20	0,17	
	9,9	3,38	10130	10670	0,12	0,06	0,05	14,9	3,39	15740	17110	0,43	0,22	0,18	
	10,5	3,38	10130	10670	0,13	0,07	0,06	15,4	3,39	15740	17110	0,46	0,23	0,19	
	11	3,38	10130	10670	0,15	0,07	0,07	120	4,4	3,43	18730	19220	0,04	0,02	0,02
	11,6	3,38	10130	10670	0,16	0,08	0,07	5	3,43	18730	19220	0,05	0,03	0,03	
	12,1	3,38	10130	10670	0,18	0,09	0,08	5,5	3,43	18730	19220	0,07	0,03	0,03	
	12,7	3,38	10130	10670	0,20	0,10	0,09	6,1	3,43	18730	19220	0,08	0,04	0,04	
	13,2	3,38	10130	10670	0,21	0,11	0,10	6,6	3,43	18730	19220	0,09	0,05	0,04	
	13,8	3,38	10130	10670	0,23	0,12	0,10	7,2	3,43	18730	19220	0,11	0,06	0,05	
	14,3	3,38	10130	10670	0,25	0,13	0,11	7,7	3,43	18730	19220	0,13	0,06	0,06	
	14,9	3,38	10130	10670	0,27	0,14	0,12	8,3	3,43	18730	19220	0,15	0,07	0,07	
	15,4	3,38	10130	10670	0,29	0,15	0,13	8,8	3,43	18730	19220	0,17	0,08	0,08	
90	4,4	3,39	15740	17110	0,04	0,02	0,02	9,4	3,43	18730	19220	0,19	0,10	0,09	
	5	3,39	15740	17110	0,05	0,02	0,02	9,9	3,43	18730	19220	0,21	0,11	0,10	
	5,5	3,39	15740	17110	0,06	0,03	0,02	10,5	3,43	18730	19220	0,24	0,12	0,11	
	6,1	3,39	15740	17110	0,07	0,04	0,03	11	3,43	18730	19220	0,26	0,13	0,12	
	6,6	3,39	15740	17110	0,09	0,04	0,04	11,6	3,43	18730	19220	0,29	0,15	0,14	
	7,2	3,39	15740	17110	0,10	0,05	0,04	12,1	3,43	18730	19220	0,32	0,16	0,15	
	7,7	3,39	15740	17110	0,12	0,06	0,05	12,7	3,43	18730	19220	0,35	0,18	0,17	
	8,3	3,39	15740	17110	0,13	0,07	0,06	13,2	3,43	18730	19220	0,38	0,19	0,18	
	8,8	3,39	15740	17110	0,15	0,08	0,06	13,8	3,43	18730	19220	0,41	0,21	0,20	
	9,4	3,39	15740	17110	0,17	0,09	0,07	14,3	3,43	18730	19220	0,44	0,22	0,21	
	9,9	3,39	15740	17110	0,19	0,10	0,08	14,9	3,43	18730	19220	0,48	0,24	0,23	

Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

	15,4	3,43	18730	19220	0,51	0,26	0,24		8,8	3,44	20050	20640	0,18	0,09	0,08
150	4,4	3,44	20400	20880	0,05	0,02	0,02		9,4	3,44	20050	20640	0,21	0,10	0,10
	5	3,44	20400	20880	0,06	0,03	0,03		9,9	3,44	20050	20640	0,23	0,11	0,11
	5,5	3,44	20400	20880	0,07	0,04	0,03		10,5	3,44	20050	20640	0,26	0,13	0,12
	6,1	3,44	20400	20880	0,09	0,04	0,04		11	3,44	20050	20640	0,28	0,14	0,13
	6,6	3,44	20400	20880	0,10	0,05	0,05		11,6	3,44	20050	20640	0,31	0,16	0,15
	7,2	3,44	20400	20880	0,12	0,06	0,06		12,1	3,44	20050	20640	0,34	0,17	0,16
	7,7	3,44	20400	20880	0,14	0,07	0,07		12,7	3,44	20050	20640	0,37	0,19	0,18
	8,3	3,44	20400	20880	0,16	0,08	0,08		13,2	3,44	20050	20640	0,40	0,20	0,19
	8,8	3,44	20400	20880	0,18	0,09	0,09		13,8	3,44	20050	20640	0,44	0,22	0,21
	9,4	3,44	20400	20880	0,21	0,10	0,10		14,3	3,44	20050	20640	0,48	0,24	0,22
	9,9	3,44	20400	20880	0,23	0,12	0,11		14,9	3,44	20050	20640	0,52	0,26	0,24
	10,5	3,44	20400	20880	0,26	0,13	0,12		15,4	3,44	20050	20640	0,55	0,28	0,26
	11	3,44	20400	20880	0,28	0,14	0,14	210	4,4	3,42	15530	17110	0,04	0,02	0,02
	11,6	3,44	20400	20880	0,32	0,16	0,15		5	3,42	15530	17110	0,05	0,02	0,02
	12,1	3,44	20400	20880	0,34	0,17	0,16		5,5	3,42	15530	17110	0,06	0,03	0,02
	12,7	3,44	20400	20880	0,38	0,19	0,18		6,1	3,42	15530	17110	0,07	0,04	0,03
	13,2	3,44	20400	20880	0,41	0,20	0,20		6,6	3,42	15530	17110	0,08	0,04	0,03
	13,8	3,44	20400	20880	0,45	0,22	0,21		7,2	3,42	15530	17110	0,10	0,05	0,04
	14,3	3,44	20400	20880	0,48	0,24	0,23		7,7	3,42	15530	17110	0,11	0,06	0,05
	14,9	3,44	20400	20880	0,52	0,26	0,25		8,3	3,42	15530	17110	0,13	0,07	0,05
	15,4	3,44	20400	20880	0,56	0,28	0,27		8,8	3,42	15530	17110	0,15	0,08	0,06
180	4,4	3,44	20050	20640	0,04	0,02	0,02		9,4	3,42	15530	17110	0,17	0,09	0,07
	5	3,44	20050	20640	0,06	0,03	0,03		9,9	3,42	15530	17110	0,19	0,09	0,08
	5,5	3,44	20050	20640	0,07	0,04	0,03		10,5	3,42	15530	17110	0,21	0,11	0,09
	6,1	3,44	20050	20640	0,09	0,04	0,04		11	3,42	15530	17110	0,23	0,12	0,10
	6,6	3,44	20050	20640	0,10	0,05	0,05		11,6	3,42	15530	17110	0,26	0,13	0,11
	7,2	3,44	20050	20640	0,12	0,06	0,06		12,1	3,42	15530	17110	0,28	0,14	0,12
	7,7	3,44	20050	20640	0,14	0,07	0,06		12,7	3,42	15530	17110	0,31	0,16	0,13
	8,3	3,44	20050	20640	0,16	0,08	0,08		13,2	3,42	15530	17110	0,34	0,17	0,14

Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

	13,8	3,42	15530	17110	0,37	0,18	0,15	7,2	3,75	7780	24420	0,13	0,07	-0,02
	14,3	3,42	15530	17110	0,40	0,20	0,16	7,7	3,75	7780	24420	0,15	0,07	-0,03
	14,9	3,42	15530	17110	0,43	0,22	0,18	8,3	3,75	7780	24420	0,17	0,09	-0,03
	15,4	3,42	15530	17110	0,46	0,23	0,19	8,8	3,75	7780	24420	0,20	0,10	-0,04
240	4,4	3,76	10590	22510	0,04	0,02	0,00	9,4	3,75	7780	24420	0,22	0,11	-0,04
	5	3,76	10590	22510	0,06	0,03	0,00	9,9	3,75	7780	24420	0,25	0,12	-0,04
	5,5	3,76	10590	22510	0,07	0,04	0,00	10,5	3,75	7780	24420	0,28	0,14	-0,05
	6,1	3,76	10590	22510	0,09	0,04	0,00	11	3,75	7780	24420	0,31	0,15	-0,06
	6,6	3,76	10590	22510	0,10	0,05	0,00	11,6	3,75	7780	24420	0,34	0,17	-0,06
	7,2	3,76	10590	22510	0,12	0,06	0,00	12,1	3,75	7780	24420	0,37	0,18	-0,07
	7,7	3,76	10590	22510	0,14	0,07	0,00	12,7	3,75	7780	24420	0,41	0,20	-0,07
	8,3	3,76	10590	22510	0,16	0,08	0,00	13,2	3,75	7780	24420	0,44	0,22	-0,08
	8,8	3,76	10590	22510	0,18	0,09	-0,01	13,8	3,75	7780	24420	0,48	0,24	-0,09
	9,4	3,76	10590	22510	0,20	0,10	-0,01	14,3	3,75	7780	24420	0,52	0,26	-0,09
	9,9	3,76	10590	22510	0,23	0,11	-0,01	14,9	3,75	7780	24420	0,56	0,28	-0,10
	10,5	3,76	10590	22510	0,26	0,13	-0,01	15,4	3,75	7780	24420	0,60	0,30	-0,11
	11	3,76	10590	22510	0,28	0,14	-0,01							
	11,6	3,76	10590	22510	0,31	0,16	-0,01							
	12,1	3,76	10590	22510	0,34	0,17	-0,01							
	12,7	3,76	10590	22510	0,37	0,19	-0,01							
	13,2	3,76	10590	22510	0,40	0,20	-0,01							
	13,8	3,76	10590	22510	0,44	0,22	-0,01							
	14,3	3,76	10590	22510	0,47	0,24	-0,01							
	14,9	3,76	10590	22510	0,51	0,26	-0,02							
	15,4	3,76	10590	22510	0,55	0,27	-0,02							
270	4,4	3,75	7780	24420	0,05	0,02	-0,01							
	5	3,75	7780	24420	0,06	0,03	-0,01							
	5,5	3,75	7780	24420	0,08	0,04	-0,01							
	6,1	3,75	7780	24420	0,09	0,05	-0,02							
	6,6	3,75	7780	24420	0,11	0,05	-0,02							

## Bijlage F: SWAN 1D instelling

- Invoer bodemprofiel

**SWAN1D - Bottom profile**

Input medium:

XYZ datafile  
 XZ datafile  
 Manual

Bottom file:

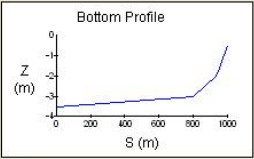
Select File ...  
 swan90\_bot.dat

Direction of ray:

Alpha 90 Coast 90

Nautical Convention

Bottom Profile



Manual

	S (m)	Z (m)
1	0.00	-3.500
2	800.00	-3.00
3	867.00	-2.500
4	933.00	-2.00
5	957.00	-1.6000000
6	1000.00	-5.00

Buttons: Insert Row, Delete Row, Ok, Cancel

- Invoer van randvoorwaarde

**SWAN1D - Boundary conditions**

Wave parameters:

SWAN 2-D spectrum  
 SWAN 1-D spectrum  
 Parameters

Select File ...  
 Spectrum File: swan90\_spc.dat

Parameters:

Hs: 0.83  
 Tp: 3.97

Directional:

Mean wave direction (°N): 90

Waterlevel:

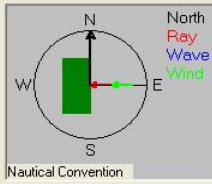
Constant level (m): 0

Wind parameters:

Wind Velocity (m/s): 13.2  
 Wind direction (°N): 90

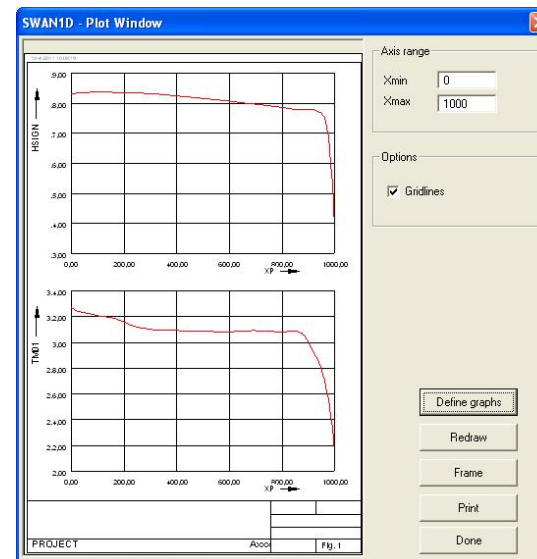
Wave setup:  Yes  No

Nautical Convention



Buttons: Ok, Cancel

- Resultaat





### Bijlage G: Resultaten SWAN1D

Wdir	Bretschneider			SWAN		6,1	0,34	2,39	0,305	1,67	
	u10 (m/s)	Hs (m)	Tm (s)	Hs	T0						
0	9,9	0,17	1,26	0,21	0,955	6,6	0,37	2,48	0,345	1,68	
	10,5	0,19	1,29	0,223	0,971	7,2	0,41	2,56	0,368	1,71	
	11	0,2	1,31	0,23	0,987	7,7	0,44	2,64	0,382	1,75	
	11,6	0,21	1,34	0,234	1,01	8,3	0,47	2,71	0,4	1,82	
	12,1	0,22	1,36	0,237	1,05	8,8	0,51	2,78	0,41	1,85	
	30	4,4	0,11	1,25	0,133	0,947	9,4	0,54	2,85	0,43	1,88
5		0,12	1,31	0,145	0,99	9,9	0,57	2,92	0,45	1,92	
5,5		0,14	1,37	0,157	1,05	10,5	0,6	2,98	0,46	1,93	
6,1		0,16	1,43	0,168	1,12	11	0,63	3,04	0,47	1,94	
6,6		0,17	1,48	0,174	1,17	11,6	0,67	3,1	0,48	1,99	
7,2		0,19	1,52	0,191	1,22	12,1	0,69	3,16	0,48	2,04	
7,7		0,21	1,57	0,203	1,26	90°	4,4	0,31	2,52	0,294	1,52
8,3		0,23	1,61	0,215	1,32		5	0,35	2,66	0,315	1,65
8,8		0,25	1,66	0,22	1,38		5,5	0,4	2,79	0,338	1,75
9,4		0,26	1,7	0,265	1,46		6,1	0,44	2,91	0,357	1,8
9,9		0,28	1,74	0,235	1,5		6,6	0,48	3,02	0,37	1,88
10,5		0,3	1,77	0,247	1,51		7,2	0,51	3,12	0,378	1,9
11		0,32	1,81	0,26	1,51		7,7	0,55	3,21	0,39	1,95
11,6		0,34	1,85	0,273	1,51		8,3	0,58	3,31	0,4	2
12,1		0,36	1,88	0,28	1,51		8,8	0,62	3,39	0,414	2,05
60	3,5	0,15	1,74	0,168	1,32	9,4	0,65	3,48	0,42	2,1	
	4	0,19	1,87	0,19	1,41	9,9	0,68	3,55	0,42	2,13	
	4,4	0,23	2,09	0,22	1,58	10,5	0,71	3,63	0,423	2,16	
	5	0,27	2,2	0,251	1,62	11	0,73	3,7	0,425	2,18	
	5,5	0,3	2,3	0,284	1,64	11,6	0,76	3,78	0,427	2,19	
						12,1	0,79	3,84	0,43	2,2	

Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

	12,7	0,81	3,91	0,43	2,21		11,6	0,78	4,01	0,51	2,31
120°	4,4	0,33	2,62	0,297	1,69		12,1	0,8	4,08	0,51	2,32
	5	0,37	2,77	0,325	1,74		12,7	0,83	4,15	0,52	2,33
	5,5	0,42	2,91	0,365	1,85	180°	4,4	0,33	2,65	0,305	1,72
	6,1	0,46	3,03	0,39	1,92		5	0,38	2,8	0,342	1,83
	6,6	0,5	3,14	0,41	1,99		5,5	0,43	2,94	0,377	1,92
	7,2	0,54	3,25	0,425	2,03		6,1	0,47	3,07	0,392	1,98
	7,7	0,57	3,35	0,445	2,09		6,6	0,51	3,19	0,42	2,03
	8,3	0,61	3,45	0,446	2,13		7,2	0,54	3,3	0,431	2,08
	8,8	0,64	3,54	0,478	2,16		7,7	0,58	3,4	0,447	2,12
	9,4	0,67	3,63	0,483	2,18		8,3	0,61	3,5	0,459	2,16
	9,9	0,7	3,71	0,49	2,21		8,8	0,64	3,59	0,48	2,2
	10,5	0,72	3,79	0,495	2,22		9,4	0,67	3,68	0,485	2,23
	11	0,75	3,86	0,5	2,23		9,9	0,7	3,76	0,49	2,27
	11,6	0,78	3,94	0,51	2,25		10,5	0,73	3,84	0,495	2,3
	12,1	0,8	4,01	0,515	2,26		11	0,75	3,92	0,499	2,31
	12,7	0,82	4,08	0,525	2,28		11,6	0,78	3,99	0,505	2,32
150°	4,4	0,34	2,66	0,31	1,7		12,1	0,8	4,06	0,51	2,35
	5	0,38	2,81	0,342	1,79		12,7	0,83	4,13	0,51	2,37
	5,5	0,43	2,95	0,375	1,9						
	6,1	0,47	3,08	0,398	1,96						
	6,6	0,51	3,2	0,42	2,02						
	7,2	0,55	3,31	0,4305	2,06						
	7,7	0,58	3,41	0,44	2,08						
	8,3	0,61	3,51	0,456	2,12						
	8,8	0,64	3,6	0,47	2,18						
	9,4	0,67	3,69	0,48	2,2						
	9,9	0,7	3,77	0,49	2,22						
	10,5	0,73	3,85	0,49	2,26						
	11	0,76	3,93	0,5	2,3						

## Bijlage H: Resultaten Breakwat 3.1

- Invoer file Breakwat

P 1-Breakwat # 1	
? i I O	
Structure type	1. Rubble mound structure, 1.1 Conventional breakwater
Response factor	<b>1. Hydraulic response, 1.3 Overtopping</b>
Formula	TAW-formula
Output parameter	(q) Mean overtopping rate
INPUT	
(Hm0) Spectral significant wave height	<b>0.4470 (m)</b>
(Tm-10) Spectral period	<b>2.120 (s)</b>
(h) Water depth	(m)
(Rc) Crest freeboard	<b>0.300 (m)</b>
(Ac) Armour crest freeboard of the structure	(m)
(Gc) Crest width of the structure	<b>(m)</b>
(N) Number of incident waves	<b>1000 (-)</b>
(β) Wave angle	<b>45.0 (deg)</b>
(cot(αs1)) Cotangent of lower structure slope angle	3.00 (-)
(cot(αs2)) Cotangent of upper structure slope angle	3.00 (-)
(cot(αd)) Slope of the structure downward of the berm	(m)
(cot(αu)) Slope of the structure upward of the berm	(m)
(B) Berm width	<b>0 (m)</b>
(dh) Distance from SWL to berm	<b>0.500 (m)</b>
(hb) Water depth on the berm	(m)
(tan(αB)) Slope of the berm	(-)
(Bt) Width of the toe of the structure	(m)
(ht) depth of toe below swl	(m)
(γf) Roughness reduction factor (seaward)	<b>0.700 (-)</b>
(γvw) Crown wall reduction factor	1.00 (-)
(P) Exceedance probability	<b>2.00000 (%)</b>
(Conf) Confidence bands	check to use (-)
OUTPUT (-)	
(q) Mean overtopping rate	<b>3.6695 (l/s/m)</b>
Quantiles for mean overtopping rates	(l/m/s)
(Vmax) Max. overtopping volume per wave, per m	<b>0.179 (m<sup>3</sup>/m)</b>
(Pov) Percentage overtopping waves	<b>39.5 (%)</b>
(Vol) Overtopping volume per wave, per m	<b>9.10e-5 (m<sup>3</sup>/m)</b>
(γb) Berm reduction factor	1.00 (-)
(γb*ξ0) Breaker parameter	1.32 (-)
(γβ) Oblique reduction	0.852 (-)
(γTot) Total reduction	0.596 (-)
(cot(αrep)) representative slope	3.00 (-)
(ξ0) Breaker parameter	1.321 (-)
(γf) Calculated Roughness reduction factor (seaward)	0.700 (-)
(Q) Dimensionless overtopping rate	0.0039202 (-)
(Rc/Hm0) Relative freeboard	0.671 (-)
(dh/Hm0) Relative berm depth	1.12 (-)
(Rb) Relative crest freeboard	0.8525 (-)
(Rn) Relative crest freeboard	1.1260 (-)

**G-1: Huidige situatie**

SWAN				Zomerpeil			Winterpeil		
degree	u10 (m/s)	Hs (m)	T0(s)	Debiet per meter q (l/s/m)	Max. volume golfoverslag per meter Vmax (m3/m)	Percentage golfoverslag %	Debiet per meter q (l/s/m)	Max. volume golfoverslag per meter Vmax (m3/m)	Percentage golfoverslag %
90°	4,4	0,294	1,52	0,1236	0,01647	6,418	0,00185	0	0,0487
	5	0,315	1,65	0,2878	0,0279	11,36	0,00631	0,00329	0,2377
	5,5	0,338	1,75	0,542	0,4246	16,5	0,018	0,00931	0,67
	6,1	0,357	1,8	0,7758	0,0543	19,94	0,3097	0,0135	1,134
	6,6	0,37	1,88	1,12	0,0712	24,02	0,05414	0,019	1,902
	7,2	0,378	1,9	1,272	0,0781	25,49	0,06556	0,0212	2,244
	7,7	0,39	1,95	1,615	0,0936	28,43	0,0939	0,026	3,038
	8,3	0,4	2	1,991	0,1104	31,17	0,1288	0,0312	3,923
	8,8	0,414	2,05	2,5	0,1322	34,23	0,1809	0,038	5,89
	9,4	0,42	2,1	2,934	0,1511	36,53	0,2301	0,0438	6,096
	9,9	0,42	2,13	3	0,1605	37,57	0,2553	0,04678	6,593
	10,5	0,423	2,16	3,424	0,1728	38,86	0,2908	0,05068	7,241
	11	0,425	2,18	3,623	0,1815	39,71	0,3166	0,05341	7,689
	11,6	0,427	2,19	4	0,1869	40,22	0,3332	0,05512	7,965
	12,1	0,43	2,2	3,906	0,1933	40,81	0,3539	0,05717	8,294
12,7	0,43	2,21	3,988	0,1933	42,9	0,3653	0,05835	8,482	
120°	4,4	0,297	1,69	0,2695	0,02722	11,09	0,006267	0,002968	0,224
	5	0,325	1,74	0,4545	0,03793	15,02	0,01383	0,007582	0,5165
	5,5	0,365	1,85	0,9784	0,06435	22,47	0,0441	0,01679	1,58
	6,1	0,39	1,92	1,487	0,08752	27,32	0,08273	0,02413	2,721
	6,6	0,41	1,99	2,093	0,1139	31,7	0,138	0,03231	4,112
	7,2	0,425	2,03	2,575	0,134	34,47	0,1879	0,3854	5,19
	7,7	0,445	2,09	3,388	0,1674	38,3	0,2824	0,04895	6,956
	8,3	0,446	2,13	3,727	0,1822	39,78	0,3264	0,05363	7,725
	8,8	0,478	2,16	4,815	0,2235	43,33	0,4736	0,06682	9,794
	9,4	0,483	2,18	5,164	0,2373	44,37	0,5248	0,0713	10,46
	9,9	0,49	2,21	2,701	0,2588	45,87	0,6074	0,0783	11,47
	10,5	0,495	2,22	5,974	0,2692	46,55	0,6502	0,08174	11,96

Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

	11	0,5	2,23	6.255	0,28	47,23	0,6953	0,0853	12,44
	11,6	0,51	2,25	6.846	0,3025	48,56	0,7927	0,0928	13,44
	12,1	0,515	2,26	7.155	0,3143	49,21	0,8453	0,09674	13,95
	12,7	0,525	2,28	7.802	0,3389	50,49	0,9583	0,105	14,95
150°	4,4	0,31	1,7	0,3294	0,03077	12,47	0,008478	0,004598	0,3078
	5	0,342	1,79	0,6474	0,04818	18,23	0,02366	0,01137	0,884
	5,5	0,375	1,9	1,24	0,07675	25,21	0,06314	0,02075	2,176
	6,1	0,398	1,96	1.767	0,1	29,52	0,1073	0,02801	3,375
	6,6	0,42	2,02	2.426	0,1279	33,67	0,1721	0,03665	4,863
	7,2	0,4305	2,06	29	0,1467	36,02	0,2214	0,04248	5,864
	7,7	0,44	2,08	3.206	0,1601	37,54	0,2604	0,04668	6,575
	8,3	0,456	2,12	3.882	0,1872	40,25	0,3453	0,05521	7,98
	8,8	0,47	2,18	4.794	0,2242	43,38	0,4721	0,06705	9,38
	9,4	0,48	2,2	5.287	0,2433	44,8	0,5447	0,07325	10,75
	9,9	0,49	2,22	5.814	0,2636	46,19	0,6257	0,0799	11,7
	10,5	0,49	2,26	6	0,2838	47,46	0,703	0,08656	12,61
	11	0,5	2,3	7.132	0,3179	49,4	0,8476	0,09797	14,1
	11,6	0,51	2,31	7.644	0,3369	50,39	0,9362	0,1044	14,9
	12,1	0,51	2,32	7.782	0,3429	50,69	0,9617	0,1064	15,14
	12,7	0,52	2,33	8.324	0,3629	51,65	1.059	0,1132	15,95
180°	4,4	0,305	1,72	0,3344	0,0313	12,7	0,0087	0,321	0,321
	5	0,342	1,83	0,7378	0,0531	19,6	0,07843	0,0229	2,51
	5,5	0,377	1,92	1.335	0,0813	26,1	0,07069	0,0222	2,4
	6,1	0,392	1,98	17.769	0,101	29,7	0,10867	0,0284	3,43
	6,6	0,42	2,03	2.486	0,131	34	0,2099	0,055	5,79
	7,2	0,431	2,08	3,02	0,153	36,8	0,2389	0,0445	6,21
	7,7	0,447	2,12	3.669	0,179	39,5	0,3187	0,0528	7,58
	8,3	0,459	2,16	3.954	0,19	40,5	0,4039	0,061	8,9
	8,8	0,48	2,2	5.287	0,243	44,8	0,54471	0,0733	10,7
	9,4	0,485	2,23	5.768	0,263	46,14	0,6199	0,07968	11,67
	9,9	0,49	2,27	6.399	0,289	47,77	0,7233	0,8828	12,85
	10,5	0,495	2,3	6.948	0,3114	49,05	0,8169	0,09576	13,82
	11	0,499	2,31	7.225	0,3222	49,63	0,8648	0,09941	14,29
	11,6	0,505	2,32	7.587	0,3361	50,35	0,928	0,1041	14,86
	12,1	0,51	2,35	8.205	0,3612	51,57	1.041	0,1126	15,89

## Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

	12,7	0,51	2,37	8,494	0,3739	52,14	1,097	0,117	16,39
210°	4,4	0,3	1,62	0	0	0	0	0	0
	5	0,32	1,71	0	0	0,001934	0	0	0
	5,5	0,362	1,79	0,001266	0	0,01575	0	0	0
	6,1	0,381	1,86	0,002781	0	0,04507	0	0	0
	6,6	0,402	1,92	0,005523	0	0,1056	0	0	0,001203
	7,2	0,418	1,98	0,009652	0,005001	0,2035	0	0	0,003555
	7,7	0,43	2,05	0,01615	0,01075	0,3625	0,001228	0	0,009233
	8,3	0,45	2,09	0,02499	0,01611	0,5704	0,002112	0	0,01954
	8,8	0,469	2,11	0,03401	0,02025	0,7721	0,003093	0	0,03223
	9,4	0,48	2,14	0,04368	0,02402	0,9853	0,004222	0	0,04822
	9,9	0,488	2,18	0,05615	0,02825	1,254	0,005774	0	0,07182
	10,5	0,494	2,21	0,06734	0,03161	1,486	0,00724	0	0,0951
	11	0,5	2,25	0,08349	0,03599	1,809	0,009463	0,002434	0,1317
	11,6	0,503	2,26	0,08926	0,03742	1,92	0,01028	0,003611	0,1452
	12,1	0,507	2,28	0,09991	0,03998	2,121	0,01183	0,005788	0,1713
	12,7	0,51	2,3	0,1106	0,04243	2,318	0,01342	0,007892	0,1984

## G-2: Oude Situatie

SWAN				Zomerpeil			Winterpeil		
degree	u10 (m/s)	Hs (m)	T0(s)	Debiet per meter q (l/s/m)	Max. volume golfoverslag per meter Vmax (m3/m)	Percentage golfoverslag %	Debiet per meter q (l/s/m)	Max. golfoverslag per meter in volume Vmax (m3/m)	Percentage golfoverslag %
90°	4,4	0,294	1,52	-	-	-	-	0	-
	5	0,315	1,65	-	-	-	-	0	-
	5,5	0,338	1,75	-	-	-	-	0	-
	6,1	0,357	1,8	0,001236	-	0,005484	-	0	-
	6,6	0,37	1,88	0,002618	-	0,01538	-	0	-
	7,2	0,378	1,9	0,003379	-	0,04239	-	0	-
	7,7	0,39	1,95	0,005461	0,02372	0,05859	-	0	-
	8,3	0,4	2	0,008325	0,06447	0,1061	-	0	0,001212
	8,8	0,414	2,05	0,01309	0,01139	0,1751	-	0	0,002774
	9,4	0,42	2,1	0,01805	0,01408	0,2917	-	0	0,006448
	9,9	0,42	2,13	0,02076	0,1591	0,4157	0,001416	0	0,01186
	10,5	0,423	2,16	0,0247	0,01678	0,5823	0,002098	0	0,02022
	11	0,425	2,18	0,02766	0,01713	0,6551	0,002417	0	0,02456
	11,6	0,427	2,19	0,02961	0,01775	0,702	0,002631	0	0,02753
12,1	0,43	2,2	0,032	0,01838	0,7599	0,002905	0	0,03139	
12,7	0,43	2,21	0,0334	0,019	0,7941	0,003065	0	0,03376	
120°	4,4	0,297	1,69	-	0	-	-	0	-
	5	0,325	1,74	-	0	0,003293	-	0	-
	5,5	0,365	1,85	0,001988	0	0,02947	-	0	-
	6,1	0,39	1,92	0,004602	0	0,08555	-	0	-
	6,6	0,41	1,99	0,009107	0,004488	0,1921	-	0	0,003232
	7,2	0,425	2,03	0,1371	0,008856	0,3032	0,001001	0	0,006871
	7,7	0,445	2,09	0,02354	0,01537	0,5382	0,001962	0	0,01775
	8,3	0,446	2,13	0,02858	0,01806	0,6611	0,002503	0	0,02493
	8,8	0,478	2,16	0,04656	0,02513	1,053	0,004577	0	0,0538
	9,4	0,483	2,18	0,05334	0,02741	1,198	0,00542	0	0,06663
	9,9	0,49	2,21	0,06471	0,0309	1,436	0,006894	0	0,08985
10,5	0,495	2,22	0,07076	0,03259	1,566	0,007702	0,00	0,1027	
11	0,5	2,23	0,07728	0,03432	1,683	0,00859	0,001156	0,1169	



Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

	11,6	0,51	2,25	0,0918	0,03791	1,958	0,01063	0,00402	0,15
	12,1	0,515	2,26	0,09986	0,03978	2,105	0,0118	0,005615	0,1691
	12,7	0,525	2,28	0,117	0,04368	2,421	0,01446	0,008958	0,2131
150°	4,4	0,31	1,7	-	0	0,001194	-	0	-
	5	0,342	1,79	-	0	0,009441	-	0	-
	5,5	0,375	1,9	0,003216	0	0,0552	-	0	-
	6,1	0,398	1,96	0,006514	0,001403	0,1304	-	0	0,001704
	6,6	0,42	2,02	0,0122	0,007569	0,2669	-	0	0,005568
	7,2	0,4305	2,06	0,01707	0,01142	0,3852	0,001316	0	0,01021
	7,7	0,44	2,08	0,02114	0,01402	0,482	0,001717	0	0,01479
	8,3	0,456	2,12	0,03071	0,01894	0,7046	0,002731	0	0,0277
	8,8	0,47	2,18	0,0465	0,02525	1,06	0,004579	0	0,05443
	9,4	0,48	2,2	0,05612	0,0284	1,263	0,005782	0	0,07273
	9,9	0,49	2,22	0,06734	0,03169	1,491	0,007247	0	0,09569
	10,5	0,49	2,26	0,0787	0,03492	1,792	0,00881	0,001601	0,1221
	11	0,5	2,3	0,1007	0,04035	2,15	0,01197	0,006103	0,1752
	11,6	0,51	2,31	0,1147	0,04336	2,395	0,01404	0,008693	0,2094
	12,1	0,51	2,32	0,1189	0,04431	2,473	0,01469	0,009501	0,2208
	12,7	0,52	2,33	0,1348	0,0475	2,739	0,01714	0,01217	0,2614
180°	4,4	0,305	1,72	0	0	0,001294	0	0	0
	5	0,342	1,83	0,001139	0	0,0141	0	0	0
	5,5	0,377	1,92	0,003743	0	0,06705	0	0	0
	6,1	0,392	1,98	0,006645	0,001641	0,1349	0	0	0,001802
	6,6	0,42	2,03	0,01284	0,008151	0,2828	0	0	0,00613
	7,2	0,431	2,08	0,01891	0,0127	0,4312	0,001496	0	0,0123
	7,7	0,447	2,12	0,02765	0,01757	0,6377	0,002401	0	0,02349
	8,3	0,459	2,16	0,03786	0,02207	0,8719	0,003549	0	0,03939
	8,8	0,48	2,2	0,05612	0,0284	1,263	0,005782	0	0,07273
	9,4	0,485	2,23	0,6662	0,03158	1,484	0,007159	0	0,09485
	9,9	0,49	2,27	0,08176	0,03575	1,791	0,009242	0,002244	0,1295
	10,5	0,495	2,3	0,09604	0,03932	2,168	0,01129	0,005221	0,1643
	11	0,499	2,31	0,1035	0,04104	2,206	0,01239	0,006699	0,1827
	11,6	0,505	2,32	0,1135	0,04323	2,384	0,01388	0,008581	0,2078
	12,1	0,51	2,35	0,1322	0,04723	2,717	0,01678	0,01195	0,2579
	12,7	0,51	2,37	0,1417	0,04923	2,866	0,0183	0,0136	0,285

Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes

210°	4,4	0,3	1,62	0	0	0	0	0	0
	5	0,32	1,71	0	0	0,001934	0	0	0
	5,5	0,362	1,79	0,001266	0	0,01575	0	0	0
	6,1	0,381	1,86	0,002781	0	0,04507	0	0	0
	6,6	0,402	1,92	0,005523	0	0,1056	0	0	0,001203
	7,2	0,418	1,98	0,009652	0,005001	0,2035	0	0	0,003555
	7,7	0,43	2,05	0,01615	0,01075	0,3625	0,001228	0	0,009233
	8,3	0,45	2,09	0,02499	0,01611	0,5704	0,002112	0	0,01954
	8,8	0,469	2,11	0,03401	0,02025	0,7721	0,003093	0	0,03223
	9,4	0,48	2,14	0,04368	0,02402	0,9853	0,004222	0	0,04822
	9,9	0,488	2,18	0,05615	0,02825	1,254	0,005774	0	0,07182
	10,5	0,494	2,21	0,06734	0,03161	1,486	0,00724	0	0,0951
	11	0,5	2,25	0,08349	0,03599	1,809	0,009463	0,002434	0,1317
	11,6	0,503	2,26	0,08926	0,03742	1,92	0,01028	0,003611	0,1452
	12,1	0,507	2,28	0,09991	0,03998	2,121	0,01183	0,005788	0,1713
	12,7	0,51	2,3	0,1106	0,04243	2,318	0,01342	0,007892	0,1984

## Bijlage I: Resultaten Konmar & Miller bij havenmond

d50= 0,00017		ps= 2650		p= 1000		s=ps/p= 2,65		g= 9,81		v= 1,00E-06		
Swan						Komar en Miller						
Wdir	u10 (m/s)	Hs (m)	Tm (s)	Hs	T0	diepte	L	L	U <sub>cr</sub> <sup>3</sup>	U <sub>cr</sub>	H <sub>cr</sub>	Motion
0	9,9	0,17	1,26	0,21	0,955	1	1,42	1,42	0,000596	0,084	1,068	
	10,5	0,19	1,29	0,223	0,971	1	1,47	1,47	0,000605	0,085	0,939	
	11	0,2	1,31	0,23	0,987	1	1,52	1,52	0,000615	0,085	0,834	
	11,6	0,21	1,34	0,234	1,01	1	1,58	1,59	0,00063	0,086	0,735	
	12,1	0,22	1,36	0,237	1,05	1	1,7	1,72	0,000655	0,087	0,584	
30	4,4	0,11	1,25	0,133	0,947	1	1,39	1,40	0,000591	0,084	1,161	
	5	0,12	1,31	0,145	0,99	1	1,52	1,53	0,000617	0,085	0,837	
	5,5	0,14	1,37	0,157	1,05	1	1,7	1,72	0,000655	0,087	0,584	
	6,1	0,16	1,43	0,168	1,12	1	1,95	1,95	0,000698	0,089	0,396	
	6,6	0,17	1,48	0,174	1,17	1	2,08	2,13	0,00073	0,090	0,343	
	7,2	0,19	1,52	0,191	1,22	1	2,23	2,31	0,000761	0,091	0,296	
	7,7	0,21	1,57	0,203	1,26	1	2,45	2,45	0,000786	0,092	0,239	
	8,3	0,23	1,61	0,215	1,32	1	2,67	2,67	0,000823	0,094	0,205	<b>Motion</b>
	8,8	0,25	1,66	0,22	1,38	1	2,9	2,90	0,000861	0,095	0,180	<b>Motion</b>
	9,4	0,26	1,7	0,265	1,46	1	3,2	3,20	0,00091	0,097	0,157	<b>Motion</b>
9,9	0,28	1,74	0,235	1,5	1	3,12	3,39	0,000935	0,098	0,172	<b>Motion</b>	
60	3,5	0,15	1,74	0,168	1,32	1	2,67	2,67	0,000823	0,094	0,205	
	4	0,19	1,87	0,19	1,41	1	3	3,01	0,000879	0,096	0,172	<b>Motion</b>
	4,4	0,23	2,09	0,22	1,58	1	3,65	3,66	0,00	0,10	0,14	<b>Motion</b>
	5	0,27	2,2	0,251	1,62	1	3,78	3,81	0,00	0,10	0,13	<b>Motion</b>
	5,5	0,3	2,3	0,284	1,64	1	3,88	3,88	0,00	0,10	0,13	<b>Motion</b>
	6,1	0,34	2,39	0,305	1,67	1	3,99	4,00	0,00	0,10	0,12	<b>Motion</b>
	6,6	0,37	2,48	0,345	1,68	1	4,04	4,03	0,00	0,10	0,12	<b>Motion</b>

Verzandingsprobleem in vluchthaven Wijdenes
 

---

	7,2	0,41	2,56	0,368	1,71	1	4,14	4,15	0,00	0,10	0,12	<b>Motion</b>
	7,7	0,44	2,64	0,382	1,75	1	4,3	4,29	0,00	0,10	0,12	<b>Motion</b>
	8,3	0,47	2,71	0,4	1,82	1	4,55	4,56	0,00	0,10	0,11	<b>Motion</b>
90	3,5	0,26	2,23	0,294	1,52	1	2,4	3,57	0,000948	0,098	0,324	
	4	0,28	2,37	0,315	1,65	1	3	4,12	0,001029	0,101	0,212	<b>Motion</b>
	4,4	0,31	2,52	0,338	1,75	1	3,42	4,54	0,001091	0,103	0,175	<b>Motion</b>
	5	0,35	2,66	0,357	1,8	1	3,77	4,71	0,001122	0,104	0,152	<b>Motion</b>
	5,5	0,4	2,79	0,37	1,88	1	4,23	4,98	0,001172	0,105	0,132	<b>Motion</b>
	6,1	0,44	2,91	0,378	1,9	1	4,49	4,99	0,001185	0,106	0,122	<b>Motion</b>