
Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerproject golfoploop & golfoverslag. Dit rapport is het resultaat van een onderzoek naar golfoploop & golfoverslag bij een regionale dijk.

Ter afsluiting van mijn studie Civiele Techniek; Studierichting Waterbouwmanagement aan de Hogeschool van Amsterdam, heb ik mijn afstudeerproject bij Waternet op de afdeling Geotechniek uitgevoerd. Ik wil iedereen van deze afdeling bedanken voor hun hulp, inzet en tijd.

Ook wil ik mijn beide begeleiders bedanken voor hun hulp, inzet, tijd en wijze lessen.

Amsterdam, mei 2010

Samenvatting

Dit afstudeerrapport is gericht op reductie van golfoploop en golfoverslag bij (regionale) dijken.

Twee zeer belangrijke factoren bij de bepaling van de veiligheid van een dijk zijn de faalmechanismen: golfoploop en golfoverslag. Een dijk dient in staat te zijn om deze twee belastingen te weerstaan. Indien een dijk onvoldoende voorzien is van (veiligheids-)maatregelen tegen deze twee faalmechanismen, dan kan deze onder de maatgevende omstandigheid bezwijken en/of falen in zijn functie, waarna schade en inundatie van het achterliggende gebied volgt.

De dijk Nieuwe Weg is een regionale dijk die gelegen is achter een grote wateroppervlakte genaamd Loosdrechtsche Plassen. Tussen de plas en de dijk liggen een voorland en een sloot. Het voorland is begrensd met de plas en de sloot. De dijk is begrensd met de sloot en de achterliggende polder.

Tijdens de maatgevende (of extreme) weersomstandigheden stijgt de waterstand van de plas en er ontstaan hoge golven op de plas. Deze golven veroorzaken een hoge mate van golfoploop en –overslag bij dijken rondom de plas. Dit kan tot schade aan de dijk en het achterliggende gebied leiden.

De dijk Nieuwe Weg wordt veilig gehouden tegen schades van golfoploop en –overslag door het voorland. Deze reduceert de golven, waardoor de mate van golfoploop en –overslag bij de dijk gereduceerd wordt. De eerste vragen zijn:

1. Hoe hoog zijn de golven bij de teen van het voorland onder de maatgevende omstandigheid?
2. Hoe hoog zijn de golven achter het voorland (en dus bij de teen van de dijk Nieuwe Weg) en kunnen ze doormiddel van golfoploop en –overslag de dijk Nieuwe Weg beschadigen?

Verondersteld wordt dat het voorland op den duur helemaal weg erodeert of dat het buiten beschouwing wordt gelaten. De dijk ligt dan direct aan de grote plas. Het probleem dat ontstaat is:

Er treedt een hoge mate van golfoploop en golfoverslag bij de dijk Nieuwe Weg op die schade aan de dijk en het achterliggende gebied kan veroorzaken.

Deze probleemstelling en de twee vraagstellingen hierboven zijn als volgt aangepakt:

Allereerst is er literatuurstudie gedaan naar relevante theorieën, grafieken en formules met betrekking tot golven op een wateroppervlakte, golfoploop en golfoverslag bij een dijk.

Vervolgens is er een gebiedsanalyse gedaan; daarin zijn o.a. relevante gegevens bepaald die nuttig zijn voor dit onderzoek.

Daarna zijn de probleemstelling en de vraagstellingen onderzocht doormiddel van theorieën, formules, grafieken en gegevens die verkregen zijn uit de literatuurstudie en gebiedsanalyse. De meeste van de gegevens die verkregen zijn uit de gebiedsanalyse zijn als invoerparameters voor de grafieken en formules gebruikt.

Vervolgens is er variantenonderzoek gedaan; Daarin is er gezocht naar maatregelen die golfoploop en golfoverslag bij de dijk Nieuwe Weg reduceren. Dit onderzoek is gedaan op basis van studentervaring en de verkregen informatie uit de literatuurstudie en gebiedsanalyse.

Uiteindelijk is er op basis van een aantal criteria een keuzeoverweging tussen de varianten gemaakt, waarna een variant gekozen is tot definitieve variant. Deze variant dient als oplossing voor de probleemstelling. De definitieve variant is verder uitgewerkt; Het is gedimensioneerd en de totale kosten zijn bepaald.

De resultaten zijn als volgt:

Voor de bepaling van golfhoogte en golfperiode op de Loosdrechtsche Plassen blijken de formules van Brettschneider het meest geschikt.

In de golfploop- en golfoverslagformules van Van der Meer is de invloed van alle dijkonderdelen verwerkt. Daarnaast is ook de invloed van golfhoogte en golfperiode meegenomen. Deze formules zijn ook geschikt voor regionale dijken.

Tijdens de maatgevende weersomstandigheid zijn vier maatgevende windrichtingen op de dijk gericht die over de Loosdrechtsche Plassen gaan. Ze veroorzaken de volgende golfgegevens op de Loosdrechtsche Plassen en bij de dijk Nieuwe Weg

Windrichting		Golfgegevens op de plassen		Golfgegevens bij de dijk	
		Golfhoogte (m)	Golfperiode (s)	Golfploophoogte (m)	Golfoverslagdebiet (l/m/s)
1	W	0,60	2,72	1,63	2,65
2	WNW	0,50	2,43	1,46	1,02
3	NNW	0,54	2,71	1,71	3,54
4	N	0,38	2,18	1,17	0,22

Tabel 1 uitkomsten op golfgegevens voor de vier windrichtingen

Noot: W = westen; N = Noorden

De wind vanuit het westen veroorzaakt de hoogste golfhoogte en golfperiode. De windrichting vanuit Noord-Noord-West (NNW) is meest maatgevend voor dit onderzoek, omdat deze de grootste mate van golfploop en golfoverslag bij de dijk Nieuwe Weg veroorzaakt. Dit komt doordat deze golfrichting het dichtst ligt bij de loodrechte lijn op de dijk. Golven die loodrecht op een dijk invallen veroorzaken een hogere mate van golfploop en golfoverslag dan golven die minder loodrecht invallen.

De Loosdrechtsche Plassen behoren tot ondiepwaterooppervlakte onder zowel normale als maatgevende weersomstandigheden.

Onder de maatgevende weersomstandigheid is de dijk Nieuwe Weg veilig tegen de faalmechanismen golfploop en golfoverslag. Dit komt door het volgende: Het voorland dat zich bevindt vóór de dijk reduceert de hoge golven. De hoogste golf van 0,60m wordt gereduceerd naar 0,15m; Het voorland heeft dus een reducerende werking van 75% op de golven. De gereduceerde golven veroorzaken een lage mate van golfploop en golfoverslag bij de dijk, die geen schade aan de dijk en het achterliggende gebied kunnen toebrengen.

Indien het voorland niet meer bestaat door bijvoorbeeld weg eroderen, dan zullen de hoge golven op de Loosdrechtsche Plassen ongereguleerd bij de dijk aankomen. Onder de maatgevende weersomstandigheid veroorzaken deze dan het volgende bij de dijk Nieuwe Weg:

- Golfploophoogte: 1,71 m t.o.v. maatgevend boezempeil
- Golfoverslagdebiet: 3,54 l/m/s

Hier staat tegenover dat bij de dijk Nieuwe Weg het volgende geldt:

- Kruinhoogte van 1,02 m t.o.v. maatgevend boezempeil
- Maximaal toegestane golfoverslagdebiet van 0,10 l/m/s

De huidige dijk is aan het binnen- en buitentalud en een deel van de kruin bedekt met grasbekleding. Het begroeiingstype van deze grasbekleding kan een maximaal golfoverslagdebiet van 0,10 l/m/s weerstaan. Bij een hoger golfoverslagdebiet ontstaat erosie aan de grasbekleding.

De golfploophoogte is hoger dan de kruinhoogte en het golfoverslagdebiet is veel meer dan het maximaal toegestane golfoverslagdebiet. De consequenties zijn als volgt:

- De dijk Nieuwe Weg faalt op het mechanisme golfploop en voldoet niet meer aan de hoogte eis.
- De dijk Nieuwe Weg faalt ook op het mechanisme golfoverslag en gaat bezwijken. De reden is als volgt: Als gevolg van het hoog golfoverslagdebiet, zal de grasbekleding op het binnentalud van de dijk weg eroderen. Doordat de stormduur hoog is, blijft de erosie doorgaan tot de onderlagen. Het binnentalud van de dijk gaat dan langzaam weg eroderen, waardoor het gaat bezwijken. De kans op afschuiven van het binnentalud wordt dan vergroot.
- De dijk Nieuwe Weg faalt op zijn functie: Beschermen van het achterland tegen wateroverlast. De reden is als volgt: Als gevolg van hoge mate van golfploop en golfoverslag zal gedurende maatgevende weersomstandigheid een groot hoeveelheid water het achterliggende gebied in gaan. Dit kan voor wateroverlast zorgen.

Door deze consequenties komen zowel de dijk als het achterliggende gebied in gevaar.

Geadviseerd wordt om het voorland in een goede staat te houden, zodat deze consequenties voorkomen blijven.

Er is aangenomen dat het voorland niet aanwezig is. Hierdoor zal de dijk Nieuwe Weg te maken krijgen met de hierboven genoemde consequenties. Om deze problemen te voorkomen zijn er 5 varianten ontworpen voor het hoofddoel: reduceren van golfoploop en golfoverslag bij de dijk. Deze varianten zijn toegepast op de huidige dijk. De varianten met hun reducerende resultaten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Variant	Bestaat uit	Reductiepercentage op golfoploop en golfoverslag bij huidige dijk	
		Golfoploophoogte	Golfoverslagdebiet
1	Plaatsen van bermstuk op buitentalud	25%	90%
2	Verruwen van buitentalud	50%	95%
3	Verflauwen van buitentalud	52%	100%
4	Toepassen van varianten 1, 2, 3: bermstuk plaatsen op buitentalud en verflauwen en verruwen van buitentalud	78%	100%
5	Toepassen van golfbreker en rietveld (Natuurvriendelijke oever)	70%	100%

Tabel 2: Varianten met hun reductiepercentage op golfoploop en golfoverslag

Uit de resultaten blijkt dat de varianten een hogere reducerende werking hebben op golfoverslag dan golfoploop.

De golfoverslag bij de varianten 3, 4 en 5 zijn zeer sterk gereduceerd. Voornamelijk bij varianten 4 en 5; daarin is het golfoverslagdebiet verwaarloosbaar klein.

Varianten 4 en 5 zijn bestemd voor dijken die te maken hebben met zware golfaanvallen. Variant 5 heeft een aantal voordelen meer dan de overige varianten. Variant 5 is een natuurvriendelijke oever. Dit is gunstig voor de natuur en ecologie. Daarnaast kan een natuurlijk element een recreatieve functie vervullen. Verder zijn de aanschaf-, aanleg- en onderhoudskosten van variant 5 lager dan die van de overige varianten.

Bij variant 5 is een golfbreker toegepast. Toepassing van een golfbreker vóór een dijk heeft naast golfreducerende werking een ander groot voordeel voor een dijk; namelijk voor de minimale waakhoogte van een dijk. De minimale waakhoogte bij een dijk bestaat uit golfoploophoogte en hoogte voor opwaaiing. Doordat de golfbreker vóór de dijk staat, vindt de opwaaiing niet meer plaats tegen de dijk, maar tegen de golfbreker. Hierdoor wordt de minimale waakhoogte bij de dijk kleiner. Daarnaast wordt door de golfbreker de golfoploophoogte bij de dijk sterk gereduceerd. Hierdoor wordt de minimale waakhoogte bij de dijk nog kleiner. Dit kan een voordeel zijn voor de kruinhoogte van de dijk, want de vrijgekomen ruimte van de minimale waakhoogte kan benut worden voor zetting van de dijk over een aantal jaren. Dat betekent dus dat de geplande ophoging van de dijk uitgesteld kan worden.

Elke variant heeft voor- en nadelen. De voordelen zijn o.a. hoge reductie van golfoploop en golfoverslag. De nadelen zijn o.a. belemmeringen en/of beperkingen van andere aspecten zoals bijvoorbeeld recreatiemogelijkheden langs een dijk.

De keuze van een variant kan het beste gemaakt worden met behulp van een keuzeoverweging in een keuzematrix waarin elke variant beoordeeld wordt op een aantal relevante criteria voor de desbetreffende locatie.

Voor dit onderzoek is zo'n keuzematrix gemaakt. Elke variant is beoordeeld op een criterium.

De criteria zijn gebaseerd op dijkverbeteringplannen en de mogelijkheden in de omgeving van de dijk Nieuwe Weg. Uit de keuzematrix blijkt dat variant 4 de beste is.

Bij het dimensioneren van variant 4 is het bermstuk wat optimaler geworden. Hierdoor is de reductie op golfoploop en golfoverslag nog een stuk verhoogd. Deze zijn als volgt:

Mechanisme	Waarde	Reductiepercentage op golfoploop en golfoverslag bij huidige dijk
Golfoploophoogte	0,34m	80%
Golfoverslagdebiet	$3,01 \cdot 10^{-8}$ l/m/s	100%

Tabel 2b: Uitkomsten op golfoploop en golfoverslag bij definitieve variant

De totale kosten voor ontwerp, aanschaf en aanleg van de definitieve variant op de dijk Nieuwe Weg zijn € 1891,36 per strekkende meter (in de lengterichting van de dijk).

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting	2
Inleiding.....	10
Waternet.....	11
Probleemstelling.....	12
Vraagstelling	12
Doelstelling.....	13
Leeswijzer	14
Hoofdstuk 1 Gebiedsomschrijving	17
1.1 Inleiding	17
1.2 Dijklocatie	17
1.3 Loosdrechtsche Plassen.....	19
1.4 Bethunepolder.....	25
1.5 Voorland	25
Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden	33
2.1 Dijk Nieuwe Weg	33
2.1.1 Inleiding	33
2.1.2 Benaming – omgeving – lengte	33
2.1.3 Normering.....	33
2.1.4 Toetsing	34
2.1.5 Belastingcapaciteit.....	35
2.1.6 Grondopbouw.....	37
2.1.7 Achtergrondzetting.....	37
2.1.8 Dwarsprofieltekeningen	37
2.2 Hydraulische randvoorwaarden	38
2.2.1 Polderpeilen.....	38
2.2.2 Boezempeilen	38
2.2.3 Waterdiepte van Loosdrechtsche Plassen.....	38
2.2.4 Waterstroming	38
2.2.5 Golven.....	39
2.3 Extreme weersomstandigheid.....	39
2.3.1 Windduur	39
2.3.2 Windrichting – windsnelheid	40
Hoofdstuk 3 Programma van eisen.....	42
Hoofdstuk 4 Uitgangspunten	44
Hoofdstuk 5: Probleem onderzoek	45
5.1 Inleiding	45
5.2 Vooronderzoek 1: Bepaling van maatgevend dijkvak	46
5.2.1 Geometrie van maatgevend dijkvak.....	49

5.3 Vooronderzoek 2: Bepaling van golfhoogte en golfperiode.....	51
5.3.1 Inleiding	51
5.3.2 Maatgevende golfsoort	51
5.3.3 Bepalingsmethode van golfhoogte en golfperiode	55
5.4 Vooronderzoek 3: Bepaling van golfhoogte achter het voorland	64
5.4.1 Inleiding	64
5.4.2 Bepaling	64
5.5 Hoofdonderzoek: Probleemstelling.....	74
5.5.1 Inleiding	74
5.5.2 Bepaling	74
5.5.3 Uitkomsten Hoofdonderzoek	87
5.5.4 Consequenties	89
5.6 Uitkomsten van alle onderzoeken	89
Hoofdstuk 6 Varianten.....	92
6.1 Inleiding	92
6.2 variant 1: Toepassen van een bermstuk.....	95
6.2.1 Ontwerp.....	95
6.2.2 Reductie op golfoploop en golfoverslag.....	95
6.2.3 Bepaling van golfoploop en golfoverslag	96
6.2.4 Toetsing van variant 1	97
6.2.5 Conclusie variant 1	99
6.3 variant 2: Verruwen van buitentalud	100
6.3.1 Inleiding	100
6.3.2 Ontwerp.....	102
6.3.3 Reductie op golfoploop en golfoverslag.....	103
6.3.4 Bepaling van golfoploop en golfoverslag	103
6.3.5 Toetsing van variant 2	105
6.3.6 Conclusie variant 2	107
6.4 variant 3: verflauwen van buitentalud	108
6.4.1 Ontwerp.....	108
6.4.2 Reductie op golfoploop en golfoverslag.....	108
6.4.3 Bepaling van golfoploop en golfoverslag	109
6.4.4 Toetsing van variant 3	110
6.4.5 Conclusie variant 3	112
6.5 variant 4: combinatie van berm, ruwe en verflauwd talud	113
6.5.1 Ontwerp.....	113
6.5.2 Reductie op golfoploop en golfoverslag.....	114
6.5.3 Bepaling van golfoploop en golfoverslag	115
6.5.4 Toetsing van variant 4	117
6.5.5 Conclusie variant 4	119
6.6 variant 5: Natuurvriendelijke oever	120
6.6.1 Ontwerp.....	120
6.6.2 Reductie op golfoploop en golfoverslag.....	122
6.6.3 Bepaling van golfoploop en golfoverslag	122
6.6.4 Toetsing van variant 5	125
6.6.5 Conclusie variant 5	126

Hoofdstuk 7 Keuzematrix.....	128
7.1 Criteria	128
7.2 Beoordeling.....	131
7.3 Uitslag	131
Hoofdstuk 8 Definitieve variant	132
8.1 Inleiding	132
8.2 Ontwerp.....	133
8.3 Dimensioneren	134
8.4 Resultaten op golfoploop en golfoverslag.....	156
8.5 Toetsing van definitieve variant	158
8.6 Kostenraming.....	160
Hoofdstuk 9 Conclusie	166
Hoofdstuk 10 Aanbevelingen.....	168
Bronnenboek	169
Bijlage 1 Bepaling van achtergrondzetting	171
Bijlage 1.2 Toetsing en resultaten van dijk Nieuwe Weg.....	174
Bijlage 2 Bestaande dwarsprofieltekeningen	180
Bijlage 3 Bepaling van opwaaiinghoogte	181
Bijlage 4: Uitleg van criteriumbeoordelingen uit Keuzematrix.....	183
Bijlage 5: Tekeningen van definitieve variant	194
Bijlage 6: Kostenraming	195
Bijlage 7 Golftheorie	196
Bijlage 8 Bepalingsmethoden van golfhoogte en golfperiode	218
Bijlage 9 Golfoplooptheorie	232
Bijlage 10: Golfoverslagtheorie.....	251

Inleiding

In het kader van de opleiding Civiele Techniek; studierichting waterbouwmanagement aan de Hogeschool van Amsterdam zal ik mijn studie afsluiten met een afstudeeronderzoek.

Binnen de opleiding civiele techniek ging mijn interesse uit naar de studierichting waterbouwmanagement. Dit interesse werd nog groter toen ik op stage ging. Tijdens mijn stage was ik voornamelijk met waterbouwkundige aspecten zoals dijken en golven bezig geweest. Aansluitend op mijn interesse voor de waterbouwkundige aspecten: dijken en golven, kon ik bij het bedrijf Waternet een onderzoek doen naar golfoploop en golfoverslag bij regionale dijken. Dit heb ik gedaan; De inhoud van deze map is het resultaat.

Hierna worden de volgende onderdelen behandeld:

- Korte toelichting over het bedrijf Waternet
- Probleemstelling
- Vraagstellingen
- Doelstellingen
- Leeswijzer

Waternet

Waternet is de uitvoerende dienst van het Hoogheemraadschap Amstel Gooi en Vecht (AGV). Het gebied van het hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV) bestrijkt een oppervlakte van 700 km², verspreid over 3 provincies. Dit gebied is in figuur 1 gemarkeerd op de topografische kaart. De noordgrens loopt ongeveer gelijk met dijk langs het IJmeer en het Gooimeer. Het oosten van het gebied wordt gevormd door de Loosdrechtse Plassen, het Naardermeer en de Vechtstreek. De grens ligt in het oosten bij de Utrechtse Heuvelrug en in de westelijke richting tot in Amsterdam. In zuidelijke richting loopt het gebied door tot de stad Utrecht. Niet alle gemeenten of wateren vallen (volledig) onder AGV, zo vallen het IJ en het Amsterdam-Rijnkanaal onder het Rijk.

Waternet beschikt over verschillende afdelingen waar verschillende soorten werkzaamheden uitgevoerd worden. Een van hen is:

Het onderhouden en beheren van waterkeringen binnen het beheergebied van AGV namens Hoogheemraadschap Amstel Gooi en Vecht (AGV). Een belangrijk deel hiervan bestaat uit (tussen)boezemwaterkeringen die de lager gelegen poldergebieden beschermen tegen het water uit de boezem.

Figuur 1 beheergebied van Hoogheemraadschap Amstel Gooi en Vecht (AGV) [bron 1.1]

Probleemstelling

Dit afstudeerproject wordt verricht bij een bestaande dijk genaamd Nieuwe Weg. De dijk bevindt zich achter een grote wateroppervlakte genaamd Loosdrechtsche Plassen. Tussen de dijk en de plas ligt een breed stuk voorland.

Onder de extreme omstandigheden neemt de waterstand in de plas toe en er ontstaan hoge golven op de Loosdrechtsche Plassen. Hierdoor kan er een hoge mate van golfoploop en golfoverslag bij de dijk ontstaan die schade aan de dijk en het achterliggende gebied kan toebrengen. De probleemstelling is dan ook:

1. Er vindt golfoploop en golfoverslag bij de dijk Nieuwe Weg plaats die schade aan de dijk en het achterliggende gebied kan veroorzaken.

Daarnaast zijn er nog meer problemen binnen dit afstudeerproject die geplaatst kunnen worden onder dit kopje. De volgende benodigde gegevens zijn namelijk onbekend en worden daarom gekenmerkt als probleemstellingen:

1. De maatgevende golfhoogte en golfperiode op de Loosdrechtsche Plassen die ontstaan tijdens de maatgevende omstandigheid.
2. De golfhoogte achter het voorland die ontstaat tijdens de maatgevende omstandigheid.

Vraagstelling

De vraagstellingen die aansluiten op de drie probleemstellingen zijn als volgt:

1. Hoe groot is de golfoploop en golfoverslag bij de dijk onder de extreme omstandigheid en wat zijn de consequenties voor de dijk en het achterliggende gebied.
2. Hoe groot zijn de golfhoogte en golfperiode op de Loosdrechtsche Plassen onder de maatgevende omstandigheid ?
3. Hoe groot is de golfhoogte achter het voorland?

Daarnaast is er de volgende vraagstelling die gerelateerd is aan vraagstelling 1:

4. Hoe kan men golfoploop en golfoverslag bij een dijk reduceren ?

Doelstelling

De doelstelling van dit afstudeerproject bestaat uit antwoord geven op alle vier vragen onder Vraagstelling en nog een aantal andere doelstellingen. Deze zijn als volgt:

1. Bepalen van golfoploop en golfoverslag bij de dijk Nieuwe Weg.
 - 1.1 Bepalen van de consequenties voor de dijk en het achterliggende gebied als gevolg van golfoploop en golfoverslag die tijdens de maatgevende omstandigheid ontstaat op de dijk.
2. Bepalen van de golfhoogte en golfperiode op de Loosdrechtsche Plassen.
3. Bepalen van golfhoogte achter het voorland.
4. Een aantal maatregelen vinden die golfoploop en golfoverslag bij een dijk reduceren, zonder de dijk kruin op te hogen.

Daarnaast zijn er de volgende doelstellingen binnen dit afstudeerproject:

5. Dimensioneren van een variant
6. Totale kosten bepalen van een variant

Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd.

In hoofdstuk 1 Gebiedsomschrijving worden de locatie van de dijk Nieuwe Weg en de inrichting eromheen beschreven. Daarin komen de volgende onderdelen aan de orde:

- Dijk Nieuwe Weg
- Loosdrechtsche Plassen
- Bethune Polder
- Voorland

Daarna volgen de randvoorwaarden, het eisenpakket en de uitgangspunten voor dit afstudeerproject.

In hoofdstuk 2 Randvoorwaarden zijn de randvoorwaarden onderverdeeld in de volgende drie categorieën:

1. Dijk Nieuwe Weg
2. Hydraulische Randvoorwaarden
3. Extreme weersomstandigheid

In hoofdstuk 3 Programma van Eisen, bevinden zich alle eisen die gesteld worden aan de voorvarianten en de definitieve variant.

In hoofdstuk 4 Uitgangspunten bevinden zich alle uitgangspunten.

In Hoofdstuk 5 wordt de probleemstelling onderzocht. Deze probleemstelling is benoemd als Hoofdonderzoek. Om dit hoofdonderzoek te verrichten zijn er vooraf binnen Hoofdstuk 5 drie vooronderzoeken gedaan. Daarin worden respectievelijk de volgende gegevens bepaald:

Vooronderzoek 1: maatgevend dijkstuk

Vooronderzoek 2: maatgevende golfhoogte en golfperiode op de Loosdrechtsche Plassen

Vooronderzoek 3: golfhoogte achter het voorland en dus bij de teen van de dijk

Binnen deze vooronderzoeken en het hoofdonderzoek zijn, naast de desbetreffende onderzoeken, een aantal aspecten van de dijk en de omgeving onderzocht (ten behoeve van het desbetreffende onderzoek). De uitkomsten zijn in de desbetreffende paragrafen weergegeven. Als laatste wordt binnen hoofdstuk 5 een paragraaf gewijd aan de consequenties van deze probleemstelling (paragraaf 5.5.4 Consequenties). Om het overzichtelijk te maken, zijn alle uitkomsten (uit hoofdstuk 5) verzameld en vermeld in paragraaf 5.6 Uitkomsten alle onderzoeken.

Om de probleemstelling op te lossen, worden in Hoofdstuk 6 vijf varianten ontworpen en uitgewerkt. Daarin wordt bij elke variant de volgende onderdelen uitgewerkt:

- Beschrijving van het ontwerp
- Beschrijving van de reducerende werking op golfploop en golfoverslag
- Bepaling van de mate van golfploop en golfoverslag
- Toetsen van de variant aan de hand van het Programma van Eisen
- Conclusie op de reducerende werking van de variant op golfploop en golfoverslag



In Hoofdstuk 7 Keuzematrix wordt één van de varianten gekozen tot definitieve variant. De keuze wordt gemaakt doormiddel van een keuzematrix waarin een aantal criteria verwerkt zijn. Elke variant wordt aan de hand van de criteria beoordeeld.

In dit hoofdstuk wordt elk criterium toegelicht. Verder worden de keuzematrix en het resultaat uit de keuzematrix getoond. De uitleg van de criteriumbeoordelingen die een onderbouwing van de keuzematrix vormen is beschreven in bijlage 4.

In Hoofdstuk 8 Definitieve variant, wordt de gekozen variant verder uitgewerkt. Daarin worden de volgende onderdelen uitgewerkt:

- Beschrijving van het ontwerp
- Dimensioneren van de volgende onderdelen van de variant:
 - Helling van het buitentalud
 - geometrie van het bermstuk
 - Steengrootte van het bekledingsmateriaal
 - Teenconstructie
- Bepaling van golfoploop en golfoverslag
- Resultaten op golfoploop en golfoverslag
- Toetsing aan het Programma van Eisen
- Kostenraming

In Hoofdstuk 9 wordt de conclusie van dit afstudeerproject gegeven.

In Hoofdstuk 10 zijn een aantal aanbevelingen gegeven.

Het verslag wordt afgesloten met een bronnenboek.

Bijlagen

Achterin het verslag volgen alle bijlagen.

Voor dit afstudeerproject zijn een aantal benodigde gegevens uitgewerkt. De uitkomsten zijn meegenomen en/of gebruikt bij een aantal onderdelen van dit verslag. De uitwerking vormt de achtergrondinformatie. Vanwege het overzichtelijk houden van dit verslag, zijn deze uitwerkingen in de bijlage geplaatst. Hieronder vallen o.a. de bepaling van de opwaaiinghoogte (bijlage 3) en de achtergrondzetting van de dijk (bijlage 1). Daarnaast is er literatuurstudie gedaan voor dit afstudeerproject. Deze is verwerkt tot een aantal documenten die zich bevinden in de bijlage. Hieronder valt o.a. de golfoplooptheorie (bijlage 9).

De bijlagen zijn in volgorde als volgt:

Bijlage 1 Bepaling van achtergrondzetting

Bijlage 1.2 Toetsing en resultaten van dijk Nieuwe Weg

Bijlage 2 Bestaande dwarsprofieltekeningen

Bijlage 3 Bepaling van opwaaiing hoogte

Bijlage 4: Uitleg van criteriumbeoordelingen uit Keuzematrix

Bijlage 5: Tekening van definitieve variant

Bijlage 6: Kostenraming

Bijlage 7: Golftheorie

Bijlage 8: Bepalingsmethoden van golfhoogte en golfperiode

Bijlage 9: Golfplooptheorie

Bijlage 10: Golfoverslagtheorie

Hoofdstuk 1 Gebiedsomschrijving

1.1 Inleiding

Deze afstudeeropdracht vindt plaats bij een dijk. In dit hoofdstuk worden de locatie van de dijk en de inrichtingen eromheen toegelicht.

1.2 Dijklocatie

De Nieuw Weg is de autoweg die over de dijk loopt, de dijk is dan ook vernoemd naar de weg. Het is een traject van 3399 meter lang. Het dijktraject is gelegen in de provincie Utrecht, ten noorden van de stad Utrecht. In figuren 2 is de locatie van het dijktraject met rood aangegeven.



Figuur 2 ligging van dijk Nieuwe weg [bron 2.2]

De dijk is gelegen aan de zuidkant van een brede plas, genaamd Loosdrechtsche Plassen (zie figuren 2 en 3). De Loosdrechtsche Plassen worden gebruikt voor berging van water die afkomstig is van neerslag en lozing uit het gebied eromheen. Daarnaast heeft het ook een recreatieve functie.

Tussen de Loosdrechtsche Plassen en de dijk ligt een stuk voorland (zie figuur 3). Dit voorland wordt onder normale omstandigheden voor recreatie gebruikt. Onder extreme omstandigheden functioneert dit voorland als een golfbreker. Hierdoor zullen de hoge golven die optreden in deze extreme omstandigheid afnemen in energie en hoogte, waardoor er een minder grote golfbelasting op de dijk Nieuwe Weg komt. Hierdoor zal mogelijke schade aan de dijk of eventueel het achterland beperkt blijven.



Figuur 3 schematische weergave van dijk Nieuwe Weg en inrichting eromheen [bron 2.2]

Aan de achterzijde van de dijk bevindt de Bethunepolder. In deze polder bevindt zich een bos, een aantal boerderijen en graslanden.

In figuur 3 zijn de dijk, het voorland, de Loosdrechtsche Plassen en de Bethune polder schematisch op een topografische kaart weergegeven. Het dijktraject is met rood aangegeven.

In de volgende paragrafen wordt een uitgebreidere toelichting gegeven op de inrichtingen rondom de dijk. Het gaat om de volgende:

- Loosdrechtsche Plassen
- Voorland
- Bethunepolder

1.3 Loosdrechtsche Plassen

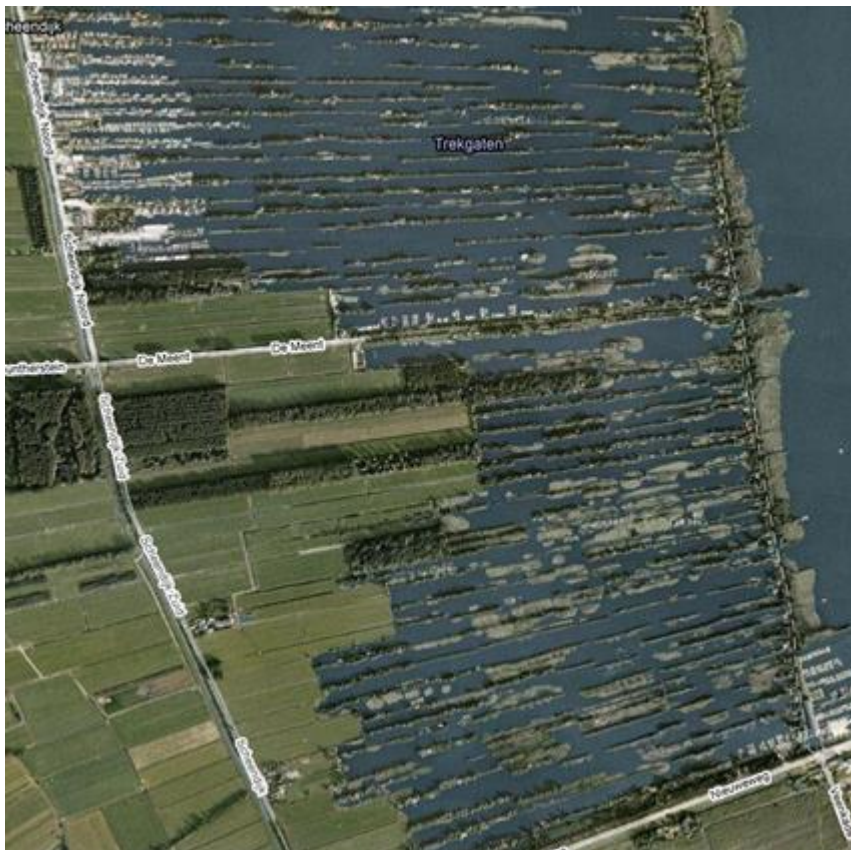
In de Loosdrechtsche Plassen liggen een aantal eilanden, dijken trekgaten en legakkers. Ook het gebied Breukeleveen ligt voor een groot deel in de Loosdrechtsche Plassen (zie figuur 4). Al deze objecten functioneren als obstakels voor de golven. De golven zullen tegen deze obstakels komen, waardoor ze reduceren in hun energie en hoogte. Bij de dijk komen gereduceerde golven aan, die een kleinere mate van golfoploop en –overslag bij de dijk veroorzaken dan wanneer er geen obstakels aanwezig zouden zijn in de plas. De aanwezige obstakels hebben dus invloed op de golfoploop en -overslag bij de dijk Nieuwe Weg.

Figuur 4 ligging van dijk Nieuwe weg [bron 2.2]

Ontstaan van Loosdrechtsche Plassen

De Loosdrechtsche Plassen waren oorspronkelijk een moerasgebied. In het verleden is het drooggelegd ten behoeve van de turfwinning op de bodem. Daardoor kon men gemakkelijk de turf uitgraven. Later toen machines ontwikkeld werden, kon men de turf machinaal uitgraven. Daarmee konden er dieptes tot 4 meter bereikt worden. Verlaging van het waterpeil was niet meer nodig. Machinaal werd de turf uitgegraven en op de legakkers gelegd om het te laten drogen. Op deze wijze zijn er trekaten en legakkers ontstaan. Met de tijd zijn er legakkers door wind en golfslagen verdwenen; daardoor is er geleidelijk een plassengebied ontstaan.

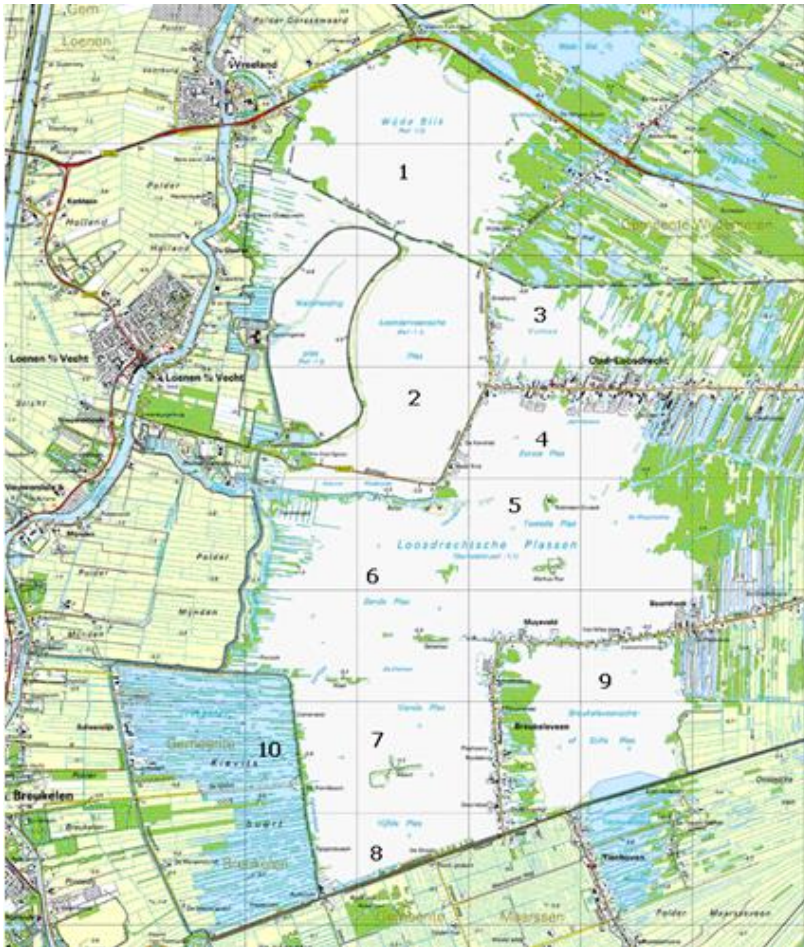
In het zuidwestelijke gedeelte van de Loosdrechtsche Plassen zijn er nog trekaten en legakkers te vinden; Deze zijn in figuur 5 weergegeven.



Figuur 5 trekaten en legakkers in het zuidwestelijk gedeelte van de Loosdrechtsche Plassen [bron 2.1]

Verschillende plassen

De Loosdrechtsche Plassen bestaan uit 10 verschillende plassen die door dijken en eilanden van elkaar gescheiden zijn. In figuur 6 is een plattegrond van de Loosdrechtsche Plassen weergegeven. Op de plattegrond zijn de 10 verschillende Plassen met nummers aangegeven.



Figuur 6 Plattegrond van de Loosdrechtsche Plassen [bron 1.2]

De namen van de 10 plassen zijn als volgt:

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Het Wijde Blik | 6. De derde plas |
| 2. De Loenderveense Plas | 7. De vierde plas |
| 3. De Vuntus | 8. De vijfde plas |
| 4. De Eerste plas | 9. De Breukeleveense Plas of Stille Plas |
| 5. De tweede plas | 10. De Kievitsbuurten |

De dijk Nieuwe weg ligt langs de volgende plassen: Kievitsbuurten (10), Vijfde plas (8), en voor een klein gedeelte langs de Breukeleveense plas (9).

Voorzieningen op en langs Loosdrechtsche Plassen

In en langs de Loosdrechtsche Plassen zijn er tal van voorzieningen aanwezig. Er zijn watersportmogelijkheden, verschillende vormen van recreatie en verschillende soorten bedrijven te vinden.

De voorzieningen in het gebied zullen onderverdeeld worden in de volgende twee categorieën:

- Voorzieningen in Loosdrechtsche Plassen
- Voorzieningen langs Loosdrechtsche Plassen

Voorzieningen in Loosdrechtsche plassen

Watersporten en vaartuigen

De Loosdrechtsche Plassen zijn een goede locatie voor recreatie, vaarmogelijkheden en watersporten. Er zijn een aantal watersportbedrijven, -scholen en -verenigingen die verschillende activiteiten op de Loosdrechtsche Plassen uitvoeren.

Zo worden er de volgende activiteiten uitgevoerd: zeilen, surfen, roeien, kanoën, waterskiën, zwemmen en snelle motorbootvaart.

Daarnaast zijn er rondvaartboten en privé vaarmogelijkheden zoals o.a. zeil- en jachtboten.

De snelle motorvaart is niet in alle plassen mogelijk, omdat er in sommige plassen andere activiteiten plaatsvinden waardoor snelle motorvoertuigen hinder kunnen veroorzaken. De Vijfde Plas (die gelegen is langs de dijk Nieuwe weg) is het domein van zwemmers en surfers. Doordat veel mensen gebruik maken van deze plas is motorbootvaart in de Vijfde Plas verboden.

Verder zijn het zuidelijk deel van de Kievitsbuurten en delen van de Vuntus verboden voor motorvaart in verband met de natuur in het gebied.

Eilanden

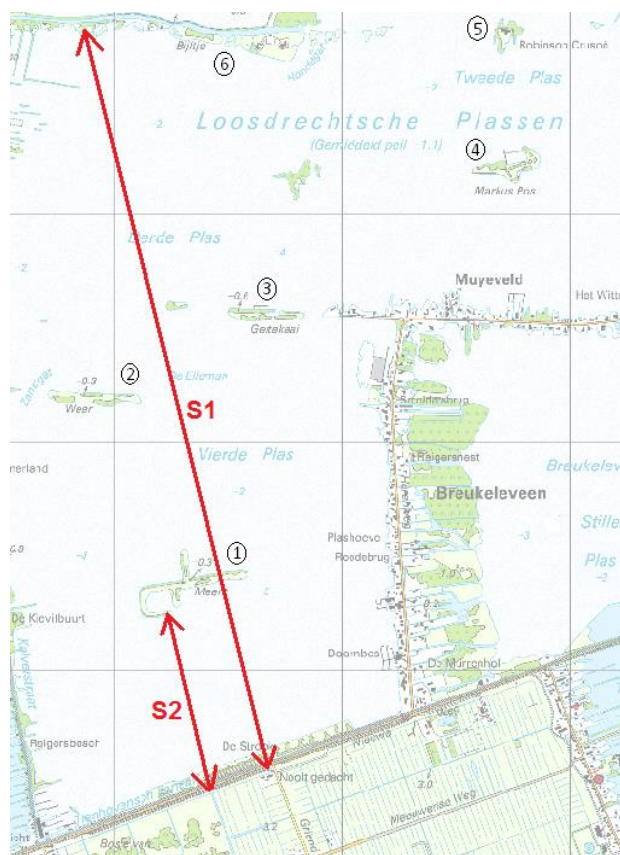
Naast de watersporten en vaarrecreatie liggen er een aantal eilanden in de Loosdrechtsche Plassen. De grootste zes eilanden zijn openbaar toegankelijk. In figuur 7 is de locatie van deze zes eilanden op een topografische kaart weergegeven. De namen van de eilanden zijn in tabel 3 beschreven.

De eilanden zijn kunstmatig aangelegd ten behoeve van het vergroten van de recreatiemogelijkheden in de Loosdrechtsche Plassen en voor het dempen van golfslag ten behoeve van de dijk- en oeverbescherming. De hoogte van golven is afhankelijk van o.a. de strijklengte. Grote strijklengten veroorzaken hogere golven dan kleine strijklengten.

Door de aanwezigheid van de eilanden worden grote strijklengten (naar de dijken en oevers) onderbroken waardoor ontwikkelde hoge golven gereduceerd worden.

Indien er geen eilanden aanwezig waren, dan zouden de strijklengten naar de dijken en oevers groot zijn. Daardoor zouden er hoge golven ontwikkeld worden bij de teen van de dijken en de oevers. Hoge golven veroorzaken grotere schade dan kleinere golven.

In figuur 7 zijn twee strijklengten S1 en S2 weergegeven. Indien eiland nummer 1 niet aanwezig was, dan zou de strijklengte naar het voorland (de Strook) vóór de dijk Nieuwe Weg net zo groot als S1 worden. Daardoor zouden de golven ook veel groter worden. Eiland nummer 1 brengt strijklengte S1 terug tot S2. Zoals in de figuur te zien is, is S2 veel kleiner dan S1. De golven die ontwikkeld worden door strijklengte S2 zijn veel kleiner dan de golven die ontwikkeld worden door strijklengte S1.



Figuur 7 locatie van de 6 eilanden [bron 1.2]

Eiland naam	Locatie
1.Meent	tussen Vierde en Vijfde Plas
2.Weer	tussen Derde en Vierde Plas
3.Geitekaai	tussen Derde en Vierde Plas
4.Marcus Pos	tussen Tweede en Derde Plas
5.Robinson Crusoë	tussen Eerste en Tweede Plas
6. Bijltje	aan westzijde van Dracht

Tabel 3 Namen van eilanden

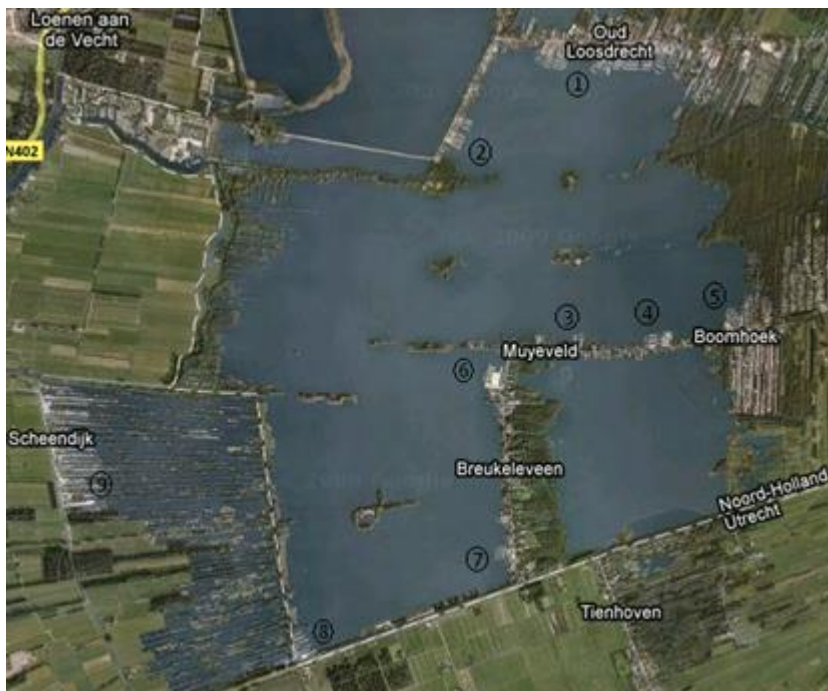
Voorzieningen langs Loosdrechtsche plassen

Langs de plassen zijn er jachthavens, winkels en recreatieterreinen aanwezig. Daarnaast liggen er rondom de plassen watersportbedrijven en -scholen, botenbouwers, -reparateurs, en -verhuurders, scheeps- en zeilmakerijen en rondvaarbedrijven. één van de belangrijkste recreatieterreinen langs de Loosdrechtsche Plassen is het dagrecreatieterrein de Strook. Dit trekt jaarlijks veel mensen aan. Dit recreatieterrein bevindt zich op het voorland vóór de dijk Nieuwe weg. Verderop in dit verslag wordt hierop (paragraaf 1.5 Voorland) ingegaan.

Jachthavens

Langs de Loosdrechtsche Plassen bevinden zich een aantal grote jachthavens. In figuur 8 zijn de locaties van alle jachthavens met nummers 1 tot en met 9 aangegeven die overeenkomen met de volgende beschrijving.

1. Langs de Eerste Plas in Oud Loosdrecht bevindt zich de aller grootste concentratie jachthavens. Het zijn een aantal jachthavens naast elkaar.
2. Langs de westzijde van de Eerste Plas. De haven is gelegen langs de autoweg Veendijk.
3. Langs de zuidzijde van de Tweede Plas bevinden zich drie havens.
4. Dit is de tweede haven langs de zuidzijde van de Tweede Plas
5. Dit is de derde haven langs de zuidzijde van de Tweede Plas.
6. Deze haven is gelegen langs de oostzijde van de Vierde Plas bij Breukeleveen.
7. Dit is de tweede haven die langs de oostzijde van de Vierde Plas ligt; bij Breukeleveen.
8. Jachthaven Ruimzicht; Deze is gelegen langs de zuidwest zijde van de Vijfde Plas, ter hoogte van de Kievitsbuurten en de dijk Nieuwe Weg.
9. Aan het uiteinde van de trekgraten in de Kievitsbuurten langs de Scheendijk.



Figuur 8 Alle jachthavens langs Loosdrechtsche Plassen [bron 2.2]

1.4 Bethunepolder

Aan de andere zijde van de dijk Nieuwe weg ligt de Bethunepolder. De Bethunepolder wordt ook wel kwelpolder genoemd vanwege de grote hoeveelheid water dat daar opwelt. Vroeger was het een meer. In het verleden zijn er een aantal pogingen uitgevoerd om de polder volledig droog te leggen, maar dat is helaas niet gelukt tot aan 1930. Pas toen in 1930 het gemeentelijk waterbedrijf Amsterdam begon met oppompen van water, daalde het waterpeil zover dat veeteelt mogelijk werd in het grootste deel van de polder. Het noordwestelijke deel bleef echter te nat en bestaat nog steeds uit elzenbroek bos en uitgestrekte rietlanden. Op de andere delen van Bethunepolder zijn boerderijen en grasland met vee aanwezig. De dijk Nieuwe weg is begrensd met de graslanden. In figuur 9 is een afbeelding weergegeven van de Bethunepolder. Deze afbeelding is een foto genomen op de dijk Nieuwe weg.

Figuur 9 Bethunepolder [bron 3.1]

Waterwinning gebied

De polder is het meest unieke drinkwaterwingebied ter wereld. Er welt namelijk 34 miljoen kubieke meter water per jaar op, dat is ruwweg 1000 liter per seconde. Hiervan wordt door Waternet 25 miljoen kubieke meter gebruikt voor de productie van het drinkwater voor de stad Amsterdam. Dat is ongeveer 1/3 van de totale behoefte van de hoofdstad. De polder ligt 2,75 meter beneden het peil van de omringende polders en de aangrenzende Maarsseveense- en Loosdrechtsche Plassen. Zonder bemaling zou het waterpeil iedere dag met zo'n anderhalve centimeter stijgen.

Het kwelwater wordt ondergronds aangevoerd. Het zuurstofarme water is gemiddeld 50 jaar oud en van uitstekend kwaliteit; hoewel het aan de oppervlakte bruin is (vanwege ijzer) en er een olielaagje op drijft. Deze bestanddelen worden uitgefilterd. Het water wordt ook door frisdrankfabrikanten verkocht.

Vanwege waterwinning gelden er strenge regels voor bemesting in het gebied.

1.5 Voorland

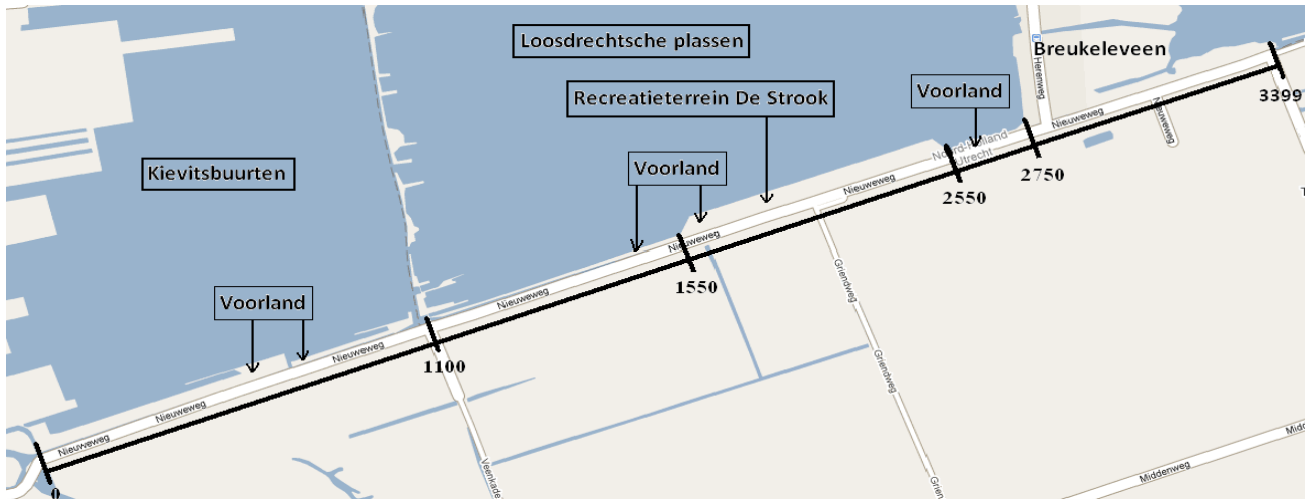
Tussen de Loosdrechtsche Plassen en de dijk Nieuwe weg ligt een stuk voorland. Dit voorland is bekend vanwege recreatiegebied De Strook, waar jaarlijks veel bezoekers op afkomen.

Naast een recreatieve functie, dient het voorland als een golfbreker.

De vorm van dit voorland is niet over het gehele traject gelijk; het verschilt in breedte en hoogte.

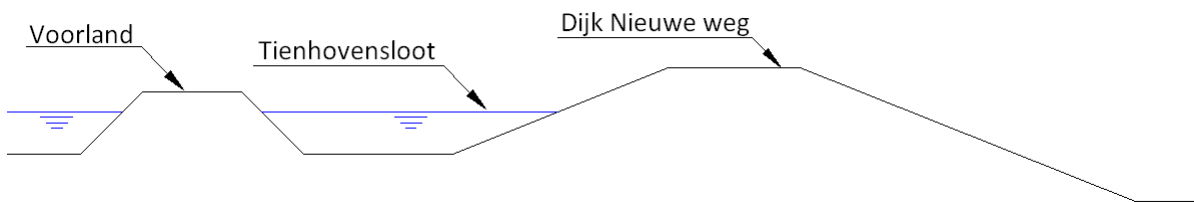
Locatie

Het voorland bevindt zich vóór de dijk Nieuwe weg en ten zuiden van de Loosdrechtsche Plassen. Het begint bij het begin van het dijktraject en gaat over tot het gebied Breukeleveen. Het ligt vrijwel vóór de dijkmetrering 0 tot en met 2750. De resterende dijkmetrering 2750 tot en met 3399 ligt achter het gebied Breukeleveen (zie figuur 10).



Figuur 10 voorlandmetrering [bron 2.2]

Het voorland is van de dijk Nieuwe Weg gescheiden door de Tienhovensloot. In figuur 11 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 11 schematisch profiel van dijk met voorland [bron 4.2]

Vorm

De breedte en hoogte van het voorland is niet over het gehele traject gelijk.

Het recreatieterrein De Strook is het breedste stuk van het gehele voorlandtraject. De breedte is 55 meter. De Strook bevindt zich bij metrerings 1550 tot en met 2550 (zie figuur 10).

Aan de rechterzijde van het recreatieterrein gaat het voorland verder met een breedte van 10 meter. Dit stuk bevindt zich tussen metrerings 2550 en 2750; Het eindigt bij het gebied Breukeleveen.

Het voorland dat zich aan de linkerzijde van De Strook bevindt heeft een breedte van 10 meter.

Dit stuk ligt tussen metrerings 1100 en 1550. Het eindigt bij de plas Kievitsbuurten. In deze plas bevinden zich trekgraten en legakkers. Het voorlandstuk dat zich achter de plas Kievitsbuurten bevindt heeft een variabele breedte tussen 10 en 55 meter. In figuur 10 is te zien waar de genoemde metrerings zich bevinden.

De hoogte van het recreatieterrein De Strook is -0,50 meter ten opzichte van N.A.P. De hoogte van de overige voorlandstukken is gelijk aan N.A.P. -0,80 meter. In tabel 4 is de breedte en hoogte van het gehele voorlandtraject weergegeven.

Metrering		Breedte [m]	Hoogte [m]
van [m]	tot [m]		
0	1100	10 – 55	NAP -0,80
1100	1550	10	NAP -0,80
1550	2550	55	NAP -0,50
2550	2750	10	NAP -0,80

Tabel 4 Breedte en hoogte van het voorlandtraject

Het buiten- en binnentalud van het gehele voorlandtraject is zeer stijl. Dit varieert tussen een talud van 2:1 en 1:1.

Functies

Het voorland vervult twee functies, namelijk: recreatie en reduceren van golven.

Recreatieve functie

Onder de normale omstandigheden wordt het voorland gebruikt voor recreatie doeleinden. Het wordt gevormd door het dagrecreatieterrein De Strook. Dit is één van de grootste recreatieterreinen langs de Loosdrechtsche Plassen. Het is bereikbaar via de Nieuwe Weg en de Loosdrechtsche Plassen.

Op De Strook zijn verschillende vormen van recreatie mogelijk. Daarnaast biedt De Strook verschillende voorzieningen. Niet alle voorzieningen en recreatie soorten op en langs De Strook zullen genoemd worden; dit wordt beperkt tot hetgeen dat raakvlakken heeft met het vak waterbouw. Deze zijn als volgt:

- Strand (zie figuren 12 en 13)
- Zwemmen; Er zijn een aantal trappen aangelegd voor de zwemmers (zie figuur 14).
- Steiger met aanlegplaatsen (zie figuur 15)



Figuur 12 Strand met golfbreker ervoor [bron 3.1]



Figuur 13 Strand met golfbreker ervoor [bron 3.1]



Figuur 14 Trapvoorziening voor zwemmers [bron 3.1]



Figuur 15 Steigers met aanlegplaatsen [bron 3.1]

De Strook trekt jaarlijks veel bezoekers. Veel van deze bezoekers komen met de auto. De huidige parkeerplaats biedt geen voldoende plaats voor alle bezoekers. Om dit probleem op te lossen is er gepland om meer parkeerplaats langs De Strook te realiseren. Dit zou op de dijk Nieuwe weg komen ter hoogte van het recreatieterrein De Strook.

Naast De Strook bestaat het voorlandtraject uit stroken voorland die een kleinere breedte hebben dan die van De Strook. Op deze voorlandstukken bevinden zich bomen en grasmat (zie figuur 16). Deze objecten leveren een goede bijdrage aan de recreatieve functie van het voorland. Ze geven een fraai en natuurlijk beeld aan het voorland. Hierdoor trekken deze stukken voorland recreanten (zoals wandelaars) aan.



Figuur 16 Smalle voorlandstuk [bron 3.1]

Golfbreker

Onder extreme omstandigheden functioneert het voorland als een golfbreker. De golven zullen door de geometrie van het voorland en de aanwezige producten op het voorland afgebroken worden, waardoor de golven na het voorland (en dus bij de teen van de dijk) gereduceerd zijn tot een kleinere hoogte dan ervoor. Een kleinere golfhoogte veroorzaakt een kleinere mate van golfploop en –overslag bij de dijk. Hierdoor neemt ook de mate van mogelijke schade als gevolg van golfploop en –overslag af.

De aanwezige obstakels op het voorland zijn o.a. bomen en bekledingsmateriaal. Deze obstakels hebben invloed op de golven, omdat ze door hun geometrie en oppervlak een aangrijpende werking uitoefenen op de golven. Hierdoor worden de golven in hun energie en hoogte gereduceerd.

Het voorland bevindt zich achter een grote wateroppervlakte. Indien dit voorland niet beschermd is, kan het beschadigd raken door golfaanvallen. In de huidige situatie zijn er beschermingsmaatregelen toegepast. Dit zijn o.a. beschoeiingen en hard bekledingsmateriaal. In de volgende paragrafen zal er verder ingegaan worden op de beschermingsmaatregelen die op dit moment toegepast zijn voor het voorland.

De Strook

Vóór recreatieterrein De Strook is een golfbreker aangelegd die bestaat uit houten beschoeiingplanken. Dit is gedaan ten behoeve van de recreanten en bescherming van het voorlandstuk De Strook.

In figuur 17 is een bovenaanzicht van De Strook te zien waarin de beschoeiing doormiddel van pijlen en een witte lijn aangegeven is. In figuren 18 en 19 zijn de beschoeiingplanken zichtbaar.



Figuur 17 Beschoeiing golfbreker voor recreatieterrein De Strook [bron 2.2]



Figuur 18 Beschoeiing golfbreker [bron 3.1]



Figuur 19 Beschoeiing golfbreker [bron 3.1]

Onder normale omstandigheden zijn de golven lager dan de hoogte van de golfbreker ten opzichte van de waterstand, waardoor de golven voor een groot deel gereduceerd worden. Hierdoor ontstaat een rustige waterbeweging met lage golven achter de beschoeiing. De recreanten langs De Strook zullen geen hinder ondervinden van hoge golven en snelle waterstromingen.

De beschoeiing omsluit o.a. het zwimmersdomein en het strand (zie figuren 12, 13, 14).

Tijdens de extreme omstandigheden ontstaan er hoge golven die schade aan De Strook kunnen veroorzaken. Doordat deze golven eerst de beschoeiing passeren, reduceren ze in hoogte. De mate van de mogelijke schade neemt hierdoor af.

Voorlandstroken

De beschoeiing (golfbreker) ligt voornamelijk vóór het recreatieterrein De Strook; het beslaat een klein deel van het voorlandstuk dat zich aan de rechterkant van De Strook bevindt. Vóór de overige stukken voorland is geen golfbreker aanwezig. Deze stukken worden beschermd doormiddel van harde puinbekleding en bomen.

Puinbekleding

Het buitentalud van de overige voorlandstukken is versterkt met harde puinbekleding. Het gaat om de voorlandstukken die onder de volgende metreringen vallen: 1100 – 1550 en 2550 – 2750. In figuur 10 is de locatie van deze metreringen weergegeven. In figuren 20 en 21 is de puinbekleding weergegeven.



Figuur 20 Puinbekleding [bron 3.1]



Figuur 21 Puinbekleding [bron 3.1]

Het toegepaste puin bestaat uit stukken betontegels en bakstenen met cement eraan. Deze puinstukken liggen los op het buitentalud. Er is geen bindmiddel zoals asfalt of beton ingegoten; daardoor vormt deze bekleding een harde open bekleding.

De hardheid van de bekleding beschermt het talud tegen erosie van zware golfaanvallen. De openeigenschap reduceert hoge waterdrukken die in en op het voorland kunnen optreden.

Omdat het buitentalud zeer steil is, worden de puinstukken op hun plek gehouden door stalen gaas. Het gaas is door stalen draad verankerd (zie figuren 20 en 21).

Bomen

De bomen liggen op de uiteinden van de voorlandstroken (zie figuur 16).

De bomen zullen een bijdrage leveren aan de reductie van de golven, want ze vormen een obstakel voor de golven, waardoor de golven voor een deel tegen de boomstam en –takken komen. Hierdoor reduceren de golven.

De hoogte en de begroeiing van de bomen verschilt over het gehele traject.

De hoogste bomen bevinden zich aan de kant van de plas. Over bijna het gehele traject zijn de bomen aan de plaszijde een stuk hoger dan de bomen aan de slootzijde.

Op bepaalde stukken zijn de bomen aan beide uiteinden van het voorland even hoog. Er zijn ook stukken voorland waar zich geen bomen aan de slootzijde bevinden.

Op bepaalde stukken voorland worden de bomen laag gehouden (door regelmatig kappen). Dat is bij o.a. de jachthaven ter hoogte van metrering 1100 en op een aantal stukken voorland achter de plas Kievitsbuurten. Op het recreatieterrein De Strook zijn ook een aantal bomen aanwezig.

Grasbekleding

De kruin en het binnentalud van de voorlandstroken zijn bedekt met grasbekleding (zie figuur 16).

Gras is een zacht en glad materiaal. De invloedsfactor van gras op reductie van golven is 1; wat inhoudt dat gras geen reducerende werking heeft op golven. De golven zullen dan gemakkelijk over de grasbekleding rollen.

Doordat gras een zacht materiaal is zal dit geen golven met hoge energiegehalte kunnen weerstaan. In geval van het voorland als functie van een golfbreker, zal de grasbekleding geen bijdrage leveren aan de reductie van de golven.

Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden

Voor de dijk de Nieuwe Weg en de omliggende omgeving gelden een aantal randvoorwaarden. Ze worden onderverdeeld in de volgende categorieën:

- Dijk Nieuwe Weg
- Hydraulische randvoorwaarden
- Extreme omstandigheid

Hierna worden per categorie de (onderverdeelde) randvoorwaarden toegelicht.

2.1 Dijk Nieuwe Weg

2.1.1 Inleiding

Voor de dijk Nieuwe Weg is er informatie beschikbaar van de volgende randvoorwaarden:

- Benaming
- Omgeving
- Lengte
- Provinciale verordening
- Toetsing
- Belastingcapaciteit
- Grondopbouw
- Achtergrondzetting
- Dwarsprofieltekeningen

2.1.2 Benaming – omgeving – lengte

De Nieuw weg is de autoweg die over de dijk loopt, de dijk is dan ook vernoemd naar de weg. Het dijktraject is gelegen langs de Loosdrechtsche plassen. Het heeft een totale lengte van 3399 meter. Achter de dijk bevindt zich de polder Bethune.

2.1.3 Normering

Provincie Utrecht heeft het dijktraject Nieuwe Weg gecodeerd als VB3-303C en ingedeeld in kadeklasse 3. Bij een kadeklasse van 3 hoort een overschrijdingsfrequentie (of herhalingsstijd) van eens in de 100 jaar. Dat houdt in dat een extreme of maatgevende omstandigheid eens in de 100 jaar voor kan komen.

2.1.4 Toetsing

De dijk Nieuwe Weg wordt om de vijf jaar getoetst conform de “Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen” [bron 14.1]. Deze toetsperiode is door de provincie Utrecht opgelegd.

In 2009 is de dijk voor het laatst getoetst. Toen is een trajectlengte van 1855 meter getoetst. Het gaat om de metrerings 1035 t/m 2890. Daarin is de dijk getoetst op de volgende faalmechanismen met desbetreffende eisen:

Hoogte

De dijk is getoetst op een verwachte hoogte over vijf jaar ten opzichte van de huidige toetsdatum (2009).

Eis: De kruinhoogte van de dijk dient te voldoen aan de minimale afkeurhoogte van N.A.P. -0,30m.

Stabiliteit

De dijk is getoetst op macrostabiliteit binnentalud op zowel afschuiven als opdrijven.

Eis: de macrostabiliteit dient minimaal te voldoen aan een schadefactor (γ_n) van 0,90 (het dient gelijk of hoger dan $\gamma_n = 0,90$ te zijn).

Piping

De dijk is getoetst op de mechanismen: Piping en Hydraulische kortsluiting.

Resultaten toetsing

De resultaten van de toetsing op de verschillende faalmechanismen zijn samengevat in de onderstaande tabel.

dijkvak	metrering		hoogte- toets	toets			
	van	tot		piping	macrostabiliteit		conclusie
					mhw	opdrijven	
1	1035	1280	voldoende	onvoldoende	0.84	0.24	Afgekeurd
2	1280	1500	voldoende	onvoldoende	1.49	0.44	Afgekeurd
3	1500	1630	voldoende	onvoldoende	1.55	0.50	Afgekeurd
4	1630	1720	voldoende	onvoldoende	1.21	0.38	Afgekeurd
5	1720	2340	voldoende	onvoldoende	0.93	0.35	Afgekeurd
6	2340	2380	voldoende	onvoldoende	0.86	0.28	Afgekeurd
7	2380	2500	voldoende	onvoldoende	1.10	0.44	Afgekeurd
8	2500	2890	voldoende	onvoldoende	1.45	0.75	Afgekeurd

Tabel 5 resultaten toetsing; [bron 14.1]

Noot: Groen betekent voldoende en rood betekent onvoldoende

Het gehele kadetraject wordt afgekeurd op de fenomenen piping en opdrijven.

De veiligheid tegen piping is onvoldoende in alle dijkvakken en bij alle kadevakken dient met hydraulische kortsluiting rekening gehouden te worden.

Voor toelichting op toetsingsresultaten van elk faalmechanisme uit tabel 5 wordt verwezen naar bijlage 1.2.

2.1.5 Belastingcapaciteit

De dijk Nieuwe Weg wordt op twee plekken belast; namelijk:

1. Op de kruin door verkeersbelasting
2. Op het buitentalud door vloeistofbelasting

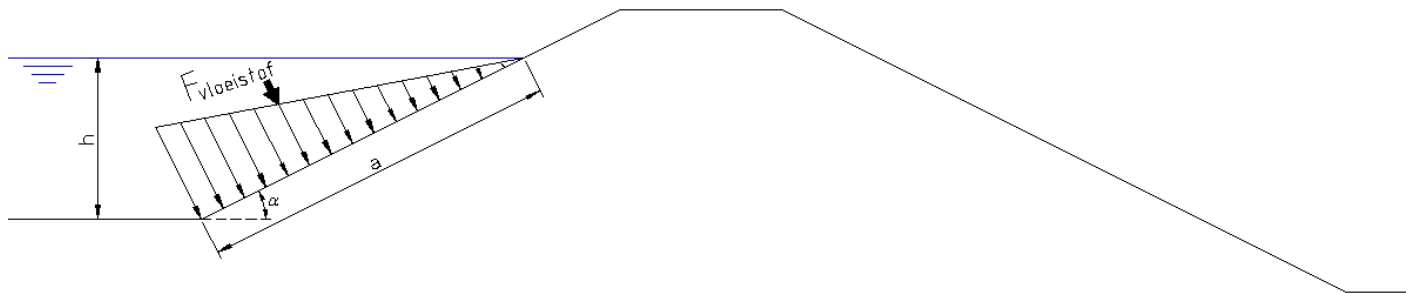
1. Verkeersbelasting

Op de dijk kruin ligt een dubbelbaans autoweg waarop verkeer rijdt. Er rijden o.a. auto's en vrachtwagens over. Dit verkeer oefent verkeersbelasting op de dijk uit. De dijk is hiervoor bestemd, waardoor de dijk in staat is om de verkeersbelasting te dragen.

Onder elke omstandigheid kan de dijk een maximale belastingcapaciteit van 13 kN/m² dragen over de breedte van de kruin. Deze belasting kan vergeleken worden met een rij volgeladen vrachtwagens die geparkeerd op de dijk kruin druk uitoefenen.

2. Vloeistofbelasting

Tegen het buitentalud van de dijk rust het water van de Loosdrechtsche Plassen. Deze oefent dus belasting uit op het buitentalud. In figuur 22 is de vloeistofbelasting tegen een dijk schematisch weergegeven.



Figuur 22 schematische weergave van vloeistofbelasting op het buitentalud van een dijk [bron 4.2]

De vloeistofbelasting tegen een dijk talud kan bepaald worden door de volgende formule:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \sin(\alpha) \cdot l$$

Formule 2.1 [bron 6.3]

Hierin geldt:

F = vloeistofbelasting [kN]
 ρ = dichtheid van water [kg/m³]
 g = gravitatiekracht [m/s²]
 a = afmeting van belaste stuk van buitentalud [m]
 α = hoek van buitentalud [°]
 l = lengte van dijk [m]

In figuur 22 zijn een aantal van deze parameters weergegeven.

Als één of meerdere parameters veranderen, dan zal ook de vloeistofbelasting tegen het buitentalud veranderen.

Bijna alle parameters zijn vast voor de huidige dijk onder elke omstandigheid, behalve de parameter a = afmeting van het belaste stuk van het buitentalud. Deze is afhankelijk van de waterdiepte. Onder de maatgevende omstandigheden stijgt het waterpeil van streefpeil (SP) naar maatgevend boezempeil (MBP); Hierdoor neemt dus de waterdiepte toe.

Hierna worden de genoemde parameters bepaald die gelden zowel onder de normale als de maatgevende omstandigheden.

- De gravitatiekracht (g) is $9,81 \text{ m/s}^2$.
- In de Loosdrechtsche Plassen is zoetwater aanwezig. Zoetwater heeft een dichtheid (ρ) van 1000 kg/m^3 .
- De hoek van het buitentalud (α) van de dijk Nieuwe Weg verschilt over het gehele traject. Over de meeste stukken ligt dit op een hoek van 27° . Voor de bepaling van de vloeistofbelasting wordt van deze hoek uitgegaan.
- De lengte (l) van de dijk Nieuwe Weg is 3399 meter.
- De afmeting van het belaste stuk van het buitentalud (a) is afhankelijk van de waterdiepte. Onder normale omstandigheden is de waterdiepte op de Loosdrechtsche Plassen 2,00 meter en onder de maatgevende omstandigheid 2,25 meter.
In het tekenprogramma Autocad wordt de parameter a nauwkeurig opgemeten bij beide waterdiepten. Deze zijn als volgt:

Onder normale omstandigheden: $a = 4,47 \text{ meter}$

Onder maatgevende omstandigheden: $a = 5,03 \text{ meter}$

Alle parameters voor de formule zijn bekend. De berekening wordt als volgt:

Onder normale omstandigheden:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \sin(\alpha) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,47^2 \cdot \sin(27) \cdot 3399 = 151234,89 \text{ KN over het gehele dijktraject.}$$

Per strekkende vierkante meter is dit: 44,49 KN/m²

Onder maatgevende omstandigheden:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \sin(\alpha) \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 5,03^2 \cdot \sin(27) \cdot 3399 = 191501,82 \text{ KN over het gehele dijktraject.}$$

Per strekkende vierkante meter is dit: 56,34 KN/m²



2.1.6 Grondopbouw

Ten behoeve van de toetsing van de dijk is de grondopbouw van het dijklichaam bepaald. Dit is gedaan door middel van het uitvoeren van grondboringen op verschillende locaties op de dijk. Hierbij zijn er drie soorten grondlagen aangetroffen. De grondlagen zijn in volgorde vanaf de dijkkrui naar beneden toe als volgt:

- puin met zand
- veen
- zand

De dikte van elke laag verschilt per locatie. Verderop in het verslag zal de dikte van elke laag bepaald worden voor het maatgevende dijkstuk.

Uit deze grondopbouw is op te merken dat het dijklichaam voor een deel uit veen bestaat. Veen heeft als eigenschap dat het snel inklinkt als het droog komt te liggen. Om te voorkomen dat het inklinkproces van de dijk versneld wordt, dient het veen nat gehouden te worden bij veranderingen aan de huidige dijk. Dit kan bereikt worden door geen waterdichte materialen op het huidige buitentalud van de dijk toe te passen, zodat water vanuit de Loosdrechtsche Plassen het veen kan bereiken.

2.1.7 Achtergrondzetting

Op basis van beschikbare dwarsprofieltekeningen van de dijk Nieuwe Weg van het jaar 2006 en 2009 is de zetting van de dijk bepaald op 12 mm per jaar.

De bepaling van deze waarde is terug te lezen in bijlage 1 Bepaling van achtergrondzetting.

2.1.8 Dwarsprofieltekeningen

De dijk Nieuwe Weg is recentelijk opgemeten. De metingen zijn verwerkt tot 56 dwarsprofieltekeningen. Elke dwarsprofieltekening is gemeten op een dijkmetrering.

Verderop in dit verslag zal er gezocht worden naar een maatgevend dijkvak, waar dit onderzoek op uitgevoerd wordt. Daarin zullen er een aantal dwarsprofieltekeningen vertoond worden. Ook zal de dwarsprofieltekening van het maatgevende dijkvak aan de orde komen.

In bijlage 2 zijn een aantal dwarsprofieltekeningen te vinden, deze horen bij paragraaf 5.2 Vooronderzoek 1: Bepaling van maatgevend dijkvak.

2.2 Hydraulische randvoorwaarden

Hierna worden de volgende hydraulische randvoorwaarden toegelicht.

- Polderpeilen
- Boezempeilen
- Waterdiepte van Loosdrechtsche Plassen
- Waterstroming
- Golven

2.2.1 Polderpeilen

Langs het kadetraject wordt een fluctuerend polderpeil gehanteerd. Er wordt gestreefd naar een zomerpeil van -3,65 meter t.o.v. N.A.P. en een winterpeil van -4,00 meter t.o.v. N.A.P.

2.2.2 Boezempeilen

Het streefpeil (SP) op de Loosdrechtsche Plassen is -1,15 meter t.o.v. N.A.P. en het maatgevende boezempeil (MBP) -0,90 meter t.o.v. N.A.P. Het maatgevende boezempeil ontstaat o.a. onder de extreme omstandigheid als gevolg van een hoge hoeveelheid neerslagval.

2.2.3 Waterdiepte van Loosdrechtsche Plassen

De waterdiepte is de bodemligging ten opzichte van de waterspiegel. De exacte waterdiepten op de Loosdrechtsche Plassen is niet bekend. Uit topografische kaarten blijkt de waterdiepte van de Loosdrechtsche Plassen per locatie verschillend te zijn, het varieert tussen 2 en 6 meter. Ook zijn er bij het opmeten van de dijkeometrie (ten behoeve van toetsing en dwarsprofieltekeningen) verschillende waterdiepten vóór de dijk gemeten. Ze variëren tussen minder dan 1 meter en 4 meter.

Volgens de baggerplannen zal de waterdiepte van de Loosdrechtsche plassen 2 meter worden. De bodem ligt dan op -3,15 m t.o.v. N.A.P. Aangezien er geen verdere gegevens beschikbaar zijn wordt er een gemiddelde bodemligging van -3,15 m t.o.v. N.A.P. aangehouden.

De waterdiepte is bij streefpeil (-1,15 - -3,15 =) 2 meter en bij de extreme omstandigheid (maatgevende boezempeil) (-0,90 - -3,15 =) 2,25 meter.

2.2.4 Waterstroming

Er zijn geen gegevens bekend over de waterstroming op de Loosdrechtsche Plassen.

Wel is bekend dat water van hoog naar laag stroomt. De Bethune polder achter de Loosdrechtsche Plassen ligt lager dan de Loosdrechtsche Plassen. Zoals bekend bevindt de dijk Nieuwe Weg zich tussen Loosdrechtsche Plassen en de Bethune polder. Dat betekent dat de waterstroming op de plassen vóór de dijk Nieuwe Weg, richting de Bethune polder en dus richting de dijk stroomt.



2.2.5 Golven

Op de Loosdrechtsche Plassen treden de volgende soorten golven op:

- Scheepsgolven
- Translatiegolven
- Windgolven

De meest maatgevende golven zijn de windgolven die optreden onder de extreme omstandigheden. Onder de maatgevende omstandigheden is deze soort golven meest maatgevend, omdat ze het grootst zijn en daardoor de grootste mate van schade kunnen veroorzaken aan o.a. dijken en oevers.

De gegevens van golven die optreden op de Loosdrechtsche Plassen zijn niet bekend. Verderop in dit rapport zal dit bepaald worden. Dit gebeurt in de volgende paragrafen:

- 5.3 Vooronderzoek 2: Bepaling van golfhoogte en golfperiode
- 5.4 Vooronderzoek 3: Bepaling van golfhoogte achter het voorland
- 5.5 Hoofdonderzoek; Onder het onderdeel: Bepaling van golfoploop en golfoverslag

2.3 Extreme weersomstandigheid

Bij het optreden van de extreme weersomstandigheid zal er een harde wind met hoge snelheid en zware neerslagval optreden. Door de harde wind zullen er hoge golven ontstaan op de Loosdrechtsche Plassen. Als gevolg van de hoge golven zal er een hoge mate van golfoploop en -overslag bij de dijk optreden. Daarnaast zal de harde wind het wateroppervlak doen opwaaien waardoor er een verhoogde waterstand bij de dijk optreedt.

Door de enorme hoeveelheid neerslagval zal het waterpeil van Loosdrechtsche Plassen van streefpeil toenemen naar maatgevend boezempeil.

Hierna wordt de volgende gegevens van de extreme weersomstandigheden beschreven:

- Windduur
- Windrichting
- Windsnelheid

2.3.1 Windduur

De windduur van de maatgevende storm die eens in de 100 jaar voor kan komen op de Loosdrechtsche Plassen is door het KNMI bepaald op 6 uur.

2.3.2 Windrichting – windsnelheid

Het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) bepaalt maatgevende windrichtingen en -snelheden die tijdens de extreme situatie optreden voor verschillende overschrijdingsfrequenties.

Dit wordt weergegeven in een windroos en bijbehorende tabellen en/of grafieken.

De maatgevende windrichting en -snelheid wordt locatiespecifiek bepaald. Voor de Loosdrechtsche Plassen is geen windroos bepaald. De dichtstbijzijnde beschikbare windroos is bij Soesterberg. Voor dit project zal daar gebruik van gemaakt worden.

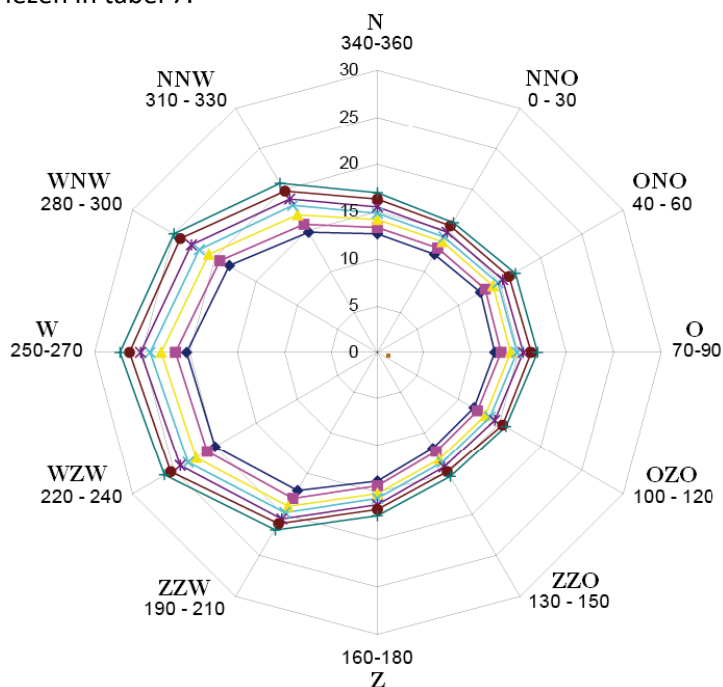
In figuur 23 is de windroos van de locatie Soesterberg weergegeven. De bijbehorende gegevens zijn in tabel 7 weergegeven.

In de windroos zijn de windrichtingen in graden aangegeven ten opzichte van het noorden. Dit is terug te zien in figuur 23 op het uiteinde van de windroos.

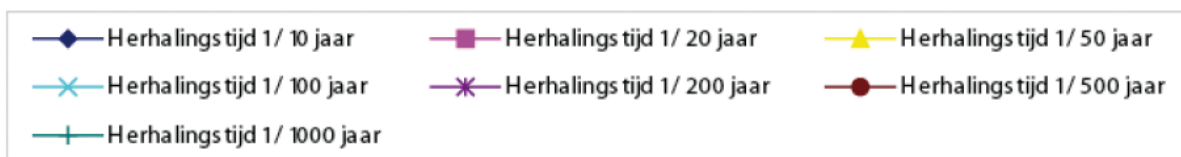
De letters aan de uiteinden van de windroos zijn afkortingen voor de windrichtingen. In tabel 6 zijn de betekenissen van deze afkortingen weergegeven.

De verschillende gekleurde strepen binnen in de windroos zijn de verschillende herhalings tijden, dit is verklaard in de bijbehorende legenda op figuur 24.

De getallen (0 t/m 30) binnen in de windroos geven de verschillende windsnelheden aan. Deze zijn terug te lezen in tabel 7.



Figuur 23 Windroos van Soesterberg [bron 5.2]



Figuur 24 Legenda horend bij de windroos [bron 5.1]

Afkorting	Windrichting
N	Noord
NNO	Noord-Noord-Oost
ONO	Oost-Noord-Oost
O	Oost
OZO	Oost-Zuid-Oost
ZZO	Zuid-Zuid-Oost
Z	Zuid
ZZW	Zuid-Zuid-West
WZW	West-Zuid-West
W	West
WNW	West-Noord-West
NNW	Noord-Noord-West

Tabel 6 Betekenis van de afkortingen in de windroos

Windrichting [in ° tov Noord]	Windsnelheden [in m/s] bij verschillende herhalingsijd [1 / jaar]						
	10	20	50	100	200	500	1000
0 - 30	12,1	12,7	13,5	14,1	14,7	15,4	15,9
40 - 60	12,5	13,2	14,1	14,7	15,3	16,1	16,7
70 - 90	12,4	13,1	14,0	14,7	15,4	16,2	16,9
100 - 120	11,7	12,3	13,2	13,8	14,4	15,2	15,7
130 - 150	11,8	12,3	13,1	13,6	14,1	14,8	15,3
160 - 180	13,7	14,3	15,1	15,6	16,2	16,8	17,4
190 - 210	17,1	17,9	19,0	19,7	20,4	21,2	21,8
220 - 240	20,0	21,0	22,3	23,3	24,2	25,3	26,1
250 - 270	20,3	21,5	23,0	24,1	25,1	26,3	27,3
280 - 300	18,2	19,3	20,8	21,8	22,8	24,1	25,0
310 - 330	14,8	15,8	17,0	17,9	18,7	19,8	20,6
340 - 360	12,5	13,2	14,1	14,8	15,4	16,3	16,9
OMNI	21,1	22,2	23,5	24,5	25,5	26,7	27,5

Tabel 7 Gegevens behorend bij de windroos [bron 5.1]

Hoofdstuk 3 Programma van eisen

In dit programma van eisen zullen de voorwaarden die worden gesteld aan het ontwerp worden vastgelegd. De voorvarianten en de definitieve variant zullen hieraan moeten voldoen. De eisen zijn opgekomen bij het maken van de gebiedsanalyse, de randvoorwaarden en de literatuurstudie. De eisen zijn als volgt:

Veiligheidseisen

1. De nieuwe varianten moeten voldoen aan een veiligheidsnorm van 1:100 jaar. Daarbij dienen de varianten te voldoen aan de hieronder genoemde eisen 2 en 3.
Verder dienen de varianten ontworpen te worden volgens de maatgevende randvoorwaarden die behoren bij de veiligheidsnorm van 1:100 jaar.
2. De nieuwe varianten moeten aan de minimale waakhoogte voldoen. De minimale waakhoogte bestaat uit golfploophoogte + hoogte voor opwaaiing(scheefstand). Deze maken deel uit van de totale dijkhoogte (aanleghoogte van een dijk).
3. Het gemiddelde golfoverslagdebiet mag maximaal 0,1 l/m/s (liter/meter/seconde) zijn.
Dit is omdat het binnentalud en een deel van de dijk kruin bedekt zijn met grasbekleding op een zandige ondergrond. Deze opbouw kan een maximale (gemiddeld) golfoverslagdebiet van 0,1 l/m/s weerstaan. Bij het overschrijden treedt er erosie aan de bekleding op.
4. Het ontwerp van de varianten dient waterdoorlatend te zijn i.v.m. het nat houden van het dijklichaam, want het huidige dijklichaam bestaat voor een groot deel uit veen. Veen dient nat te blijven, om een versneld inklinkingsproces van de dijk te voorkomen.
5. Eisen met betrekking tot faal- en bezwijkmechanisme macrostabiliteit binnen en buitenwaarts; Dit is geen onderdeel van dit afstudeerproject.
6. Eisen met betrekking tot bezwijkmechanisme Piping; Dit is geen onderdeel van dit afstudeerproject.

Golfreductie eis

7. Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dienen de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van het hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4. In formulevorm is dit als volgt:

$$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,4$$

Formule 4.1 [bron 6.5]

Hierin geldt:

γ_b = invloedsfactor voor een bermstuk [-]

γ_β = invloedsfactor voor hoek van golfaanval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid van het materiaal op het buitentalud [-]

Waterbalans eis

8. Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreden van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche Plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor waterberging.

Functionele eisen:

Het dijk wordt gebruikt voor de volgende functies en daarom wordt vereist om deze functies niet belemmeren.

9. Verkeer; Over de dijk Nieuwe Weg is een tweebaans autoweg aanwezig. Tijdens bouw- en of onderhoudswerkzaamheden, dient het verkeer niet geblokkeerd te worden.

Hoofdstuk 4 Uitgangspunten

Naast het eisenpakket wordt het ontwerp van de varianten afgebakend met een aantal uitgangspunten. Deze zijn als volgt:

1. De criteria: golfoploop en golfoverslag zijn de belangrijkste criteria voor dit afstudeerproject. Ze zullen een hogere wegingsfactor krijgen dan de overige criteria.
2. De varianten worden ontworpen voor het doel: reduceren van golfoploop en –overslag bij de dijk Nieuwe Weg. Indien dit conflicteert met andere functies (zoals bijvoorbeeld recreatie) dan zullen de desbetreffende functies beperkt worden of komen te vervallen.
3. Het ontwerp geldt voor een planperiode van 30 jaar.
4. De varianten vinden plaats aan en/of voor het buitentalud.
5. Er wordt geen verandering aangebracht aan de kruinhoogte en het binnentalud van de huidige dijk.
6. De aanwezige objecten op de dijk worden niet verwijderd als gevolg van aanpassingen voor de varianten.
7. De inrichting en objecten rondom de dijk worden niet aangepast.

Hoofdstuk 5: Probleem onderzoek

5.1 Inleiding

De probleemstelling binnen dit afstudeerproject bestaat uit golfoploop en -overslag die optreedt bij de dijk Nieuwe Weg.

In dit hoofdstuk wordt onderzocht wat de mate van golfoploop en –overslag is bij de huidige dijkgeometrie. Daarna wordt er gekeken wat voor consequenties dit heeft voor de dijk. Om dit hoofdonderzoek te kunnen verrichten, dient er vooraf een aantal benodigde aspecten en gegevens bepaald te worden. Dit wordt gedaan binnen een aantal vooronderzoeken. In de volgende paragrafen vinden de desbetreffende onderzoeken plaats:

De vooronderzoeken:

- Vooronderzoek 1: Bepaling van maatgevend dijkvak
- Vooronderzoek 2: Bepaling van golfhoogte en golfperiode
- Vooronderzoek 3: Bepaling van golfhoogte achter het voorland

Het hoofdonderzoek:

- Bepaling van golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie
- Bepaling van de consequenties voor de huidige dijk

In de laatste paragraaf vindt het onderzoek van de probleemstelling plaats. Binnen deze paragraaf worden er van te voren verscheidene benodigde gegevens bepaald. Deze gegevens zijn van o.a. de dijkgeometrie. De gegevens dienen als invoerparameters, ter bepaling van de golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie.

5.2 Vooronderzoek 1: Bepaling van maatgevend dijkvak

In dit vooronderzoek wordt het maatgevende dijkvak bepaald. Aan dit dijkvak zal verder onderzoek plaats vinden binnen dit afstudeerproject.

Zoals beschreven in Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden heeft het dijktraject een lengte van 3399 m. Het is niet van belang om het gehele dijktraject te onderzoeken. Het onderzoek richt zich specifiek op het meest maatgevende dijkvak.

In de volgende hoofdstukken wordt o.a. een oplossing voor het maatgevende dijkvak bepaald. Doordat de oplossing het probleem bij het maatgevende dijkvak wegneemt, kan deze oplossing ook toegepast worden op de overige dijkvakken.

Het meest maatgevende dijkvak is het gedeelte waarop de grootste mate van golfoploop en –overslag plaats vindt. Gezien het feit dat de mate van golfoploop en –overslag bij de huidige dijk niet bekend is, kan men het maatgevende dijkvak niet bepalen op basis van golfoploop en –overslag. Men kan het maatgevende dijkvak wel bepalen op basis van de aspecten waar golfoploop en –overslag van afhankelijk zijn.

Eén van de aspecten is de strijklengte over de plas die zich richting de dijk verplaatst. Hoe groter de (ononderbroken) strijklengte is, hoe hoger de golven worden. Hogere golven leiden tot meer golfoploop en –overslag dan golven met een kleinere hoogte. Gezien strijklengte van invloed is op golven, zal het maatgevende dijkvak bepaald worden op basis van de grootste strijklengte.

In Hoofdstuk 1 Gebiedsomschrijving werd bekend gemaakt dat er zich vóór de dijk Nieuwe Weg een aantal elementen bevinden, namelijk: een aantal eilanden, dijken, legakkers en het gebied Breukeleveen. Deze elementen functioneren als obstakels die grote strijklengten onderbreken. Hierdoor is de ligging van de elementen van invloed op de grootte van de strijklengte.

Op basis van de ligging van de elementen ten opzichte van het dijktraject, wordt het dijktraject in vijf dijkvakken verdeeld. In figuur 25 is deze verdeling weergegeven.



Figuur 25 Vijf dijkvakken [bron 2.2]

Legenda:

DV1 = dijkvak 1

DV3 = dijkvak 3

DV5 = dijkvak 5

S2 = strijklengte 2

DV2 = dijkvak 2

DV4 = dijkvak 4

S1 = strijklengte 1

S3 = strijklengte 3

Voor elk dijkvak is een dwarsprofieltekening weergegeven in figuren 26 tot en met 30. Deze dwarsprofieltekeningen zijn in een verlengde A3 formaat terug te vinden in bijlage 2 Bestaande dwarsprofieltekeningen. In figuur 25 is de locatie van de genomen dwarsprofielen met een rode stip aangegeven.



Figuur 26 Dwarsprofiel bij dijkvak 1, ter plaatse van metrering 581 [bron 4.1]



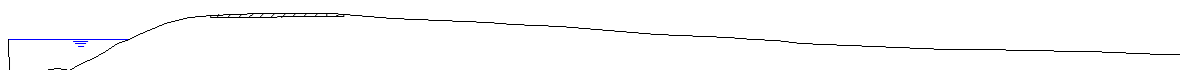
Figuur 27 Dwarsprofiel horend bij dijkvak 2 genomen op metrering 1388 [bron 4.1]



Figuur 28 Dwarsprofiel horend bij dijkvak 3 genomen op metrering 1883 [bron 4.1]



Figuur 29 Dwarsprofiel horend bij dijkvak 4 genomen op metrering 2700 [bron 4.1]



Figuur 30 Dwarsprofiel horend bij dijkvak 5 genomen op metrering 3102 [bron 4.1]

Dijkvak 1 bevindt zich achter de plas Kievitsbuurten. In deze plas bevinden zich een aantal legakkers. De strijklengte naar de dijk toe wordt herhaaldelijk door elke legakker onderbroken. Hierdoor worden dus ook de golven afgebroken. De bruikbare strijklengte is de ononderbroken strijklengte tussen de dijk en de eerste legakker vóór de dijk. Doordat deze strijklengte klein is, ontstaan er kleine golven bij de teen van de dijk.

Dijkvak 5 bevindt zich achter het gebied Breukeleveen. Dit gebied vormt een breed voorland vóór dijkvak 5. De grootste strijklengte over de plas richting dijkvak 5 wordt door Breukeleveen onderbroken. Hierdoor zal er geen strijklengte ontstaan die golven opwekken bij dijkvak 5.

De golven die zich op de Loosdrechtsche Plassen ontwikkelen zullen tegen de randen van Breukeleveen breken. Indien de golven overgaan tot golfoverslag, zal de hoeveelheid golfoverslag dijkvak 5 nooit bereiken doordat Breukeleveen een grote breedte heeft.

Dijkvakken 2, 3 en 4 bevinden zich achter een aantal eilanden. Zoals in figuur 25 te zien is worden de strijklengten over de plas die zich richting de dijk verplaatsen door de eilanden onderbroken.

De strijklengten S1 t/m S3 zijn veel groter dan de strijklengten die op dijkvak 1 aanwezig zijn.

Tussen dijkvak 5 en de Loosdrechtsche Plassen zijn er geen bruikbare strijklengtes aanwezig. Hierdoor zijn dijkvakken 1 en 5 niet relevant om verder te onderzoeken. Van de overgebleven dijkvakken 2, 3 en 4, heeft dijkvak 4 te maken met de grootste strijklengte (S3). Hieruit volgt dus dat dijkvak 4 het maatgevende dijkvak is. De komende onderzoeken en uitwerkingen zullen dus enkel ingaan op dijkvak 4.

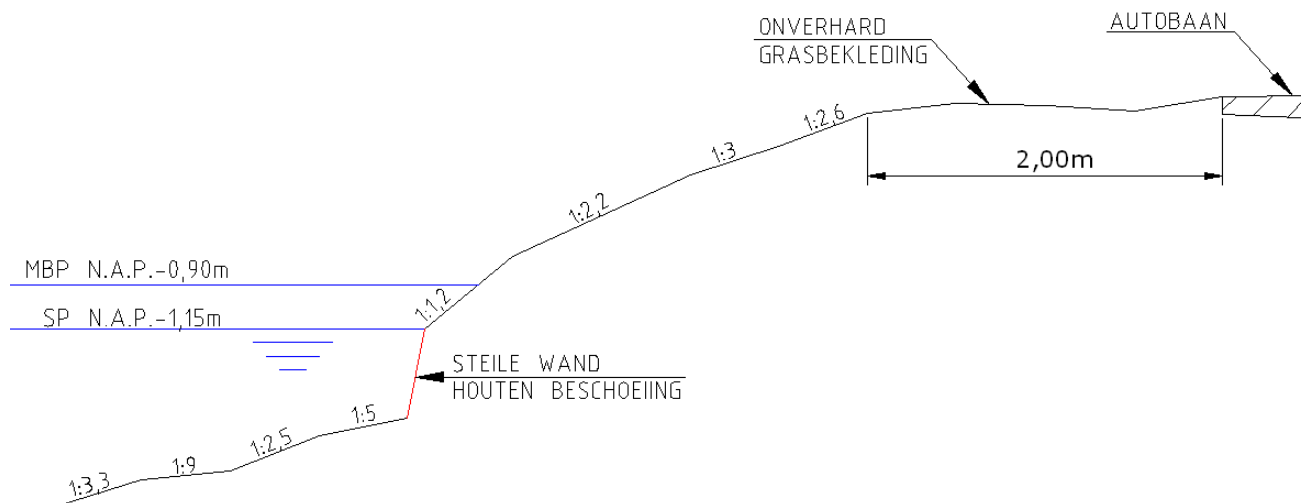
5.2.1 Geometrie van maatgevend dijkvak

Het dwarsprofiel van maatgevende dijkvak 4 is afgebeeld in figuur 31. Het is het dwarsprofiel ter hoogte van metrerig 2700. Op de dijk is een tweebaans autoweg en een fietspad aanwezig. Aan de binnenzijde van de dijk is een teensloot aanwezig (zie figuur 31).



Figuur 31 Dwarsprofiel van dijkvak 4 [bron 4.3]

Op figuur 32 is het buitentalud van het dijkstuk afgebeeld. Het talud bestaat uit verschillende hellingen. Het taluddeel boven het streefpeil (SP) is bedekt met een grasbekleding. Deze grasbekleding gaat door tot aan de verharde autobaan op de dijkkruin; Er is dus een stuk van de dijkkruin onverhard. Het taluddeel dat onder de waterlijn ligt is niet bekleed, het bestaat uit de onderlaag: puin met zand. Doordat er een voorland vóór de dijk ligt worden hoge golven en snelle waterstromingen op de Loosdrechtsche Plassen door dit voorland gereduceerd, waardoor ze geen of zeer beperkte schade aan de bekleding van het buitentalud van de dijk kunnen veroorzaken. Daarom is de dijk met de huidige bekleding veilig tegen golven en waterstromingen. Zoals in figuur 32 te zien is, is er ook een steile wand op het buitentalud aanwezig. Dit is een houtenbeschoeiing die aangelegd is hoogstwaarschijnlijk ten behoeve van versterking van de dijkstabiliteit.



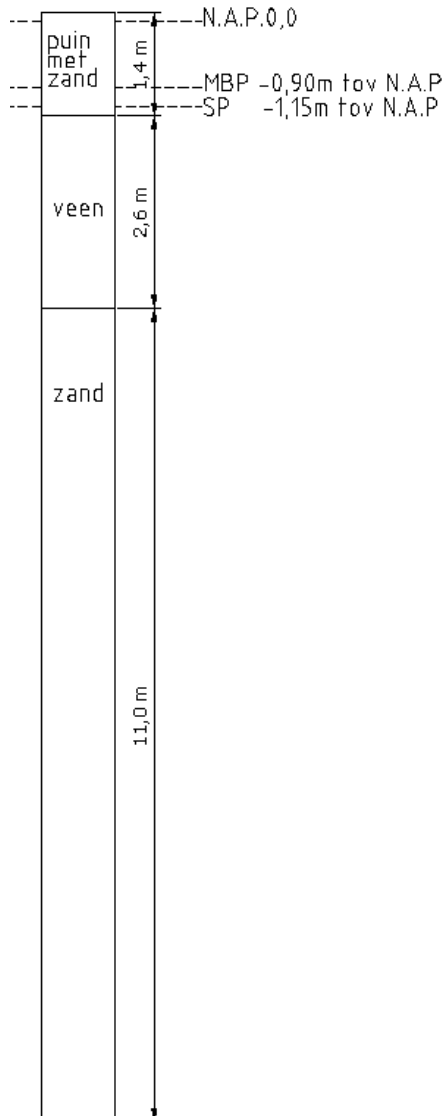
Figuur 32 Dwarsprofieltekening van buitentalud van het dijkstuk [bron 4.3]

Er is een grondboring op dit dijkstuk uitgevoerd. De boring is genomen op de dijkkruin en is tot een diepte van 15 meter ten opzichte van het maaiveld uitgevoerd. Daarbij zijn er drie soorten grondlagen aangetroffen. Deze grondlagen zijn opvolgorde vanaf de dijkkruin naar beneden toe als volgt:

- puin met zand
- veen
- zand

In figuur 33 is deze grondopbouw schematisch weergegeven, daarop zijn ook de afmetingen van de grondlagen aangegeven. In deze figuur zijn de afkortingen als volgt: SP = streefpeil en MBP = maatgevende boezempeil.

Op het diepste punt van de boring is er zand aangetroffen. Omdat de boring tot een diepte van 15 meter (t.o.v. het maaiveld) is uitgevoerd, is het niet bekend tot welke diepte de zandlaag doorloopt. Uit de boring is bekend dat deze zandlaag een dikte van 11 meter heeft.



Figuur 33 Schematische weergave van de grondopbouw van het maatgevende dijkvak genomen op de dijk kruin [bron 4.2]

Uit deze grondopbouw is op te merken dat het dijklichaam voor een groot deel uit veen bestaat. Het is dus een veendijk. Veen heeft als eigenschap dat het snel inklinkt als het droog komt te liggen. Om te voorkomen dat het inklinkproces van de dijk versneld wordt, dient het veen nat gehouden te worden bij veranderingen aan de huidige dijk. Dit kan bereikt worden door geen waterdichte materialen op het huidige buitentalud van de dijk toe te passen, zodat water vanuit de Loosdrechtsche Plassen het veen kan bereiken.



5.3 Vooronderzoek 2: Bepaling van golfhoogte en golfperiode

5.3.1 Inleiding

Voor de bepaling van golfploop en –overslag zijn o.a. golfhoogte en golfperiode benodigd. De maatgevende golfhoogte en –periode op de Loosdrechtsche Plassen zijn niet bekend. In dit vooronderzoek worden de maatgevende golfhoogte en -periode bepaald die onder de extreme omstandigheid op de Loosdrechtsche Plassen kan optreden. Dit wordt gedaan in de volgende stappen:

- Eerst wordt onderzocht welke golfsoort op de Loosdrechtsche Plassen meest maatgevend is voor dit onderzoek.
- Vervolgens worden gegevens bepaald die nodig zijn om golfhoogte en –periode mee te bepalen.
- Daarna wordt de golfhoogte en –periode bepaald met de meest toegepaste methoden: Formules en grafieken. Vervolgens wordt er voor een methode gekozen.

5.3.2 Maatgevende golfsoort

Één van de grootste bedreigingen voor de veiligheid van een dijk en het achterliggende gebied zijn de grootste golfhoogte en golfperiode. Ze veroorzaken de grootste mate van golfploop en –overslag bij een dijk. De dijk kan als gevolg hiervan bezwijken, waarna inundatie van het achterliggende gebied volgt. Om dit te voorkomen, dient de dijk minimaal de grootste golfcondities te kunnen weerstaan. De grootste golfhoogte en -periode zijn dus de meest maatgevende.

Hierna worden de grootste golfhoogte en -periode bepaald die bij de teen van de dijk Nieuwe Weg kunnen optreden.

Op de Loosdrechtsche plassen treden verschillende soorten golven op. De meest voorkomende soorten zijn: scheepsgolven, translatiegolven en windgolven. Eerst volgt een korte theorie over de genoemde golfsoorten. Daarna wordt op basis van deze theorie de maatgevende golfsoort bepaald.

Nadat er scheeps- en translatiegolven zijn ontstaan, gaan de golven op hun eigen energie vooruit bewegen. Naarmate ze meer afstand afleggen, verbruiken ze meer energie. Door de afname van de golfenergie nemen de golven af in grootte. Na een bepaalde afstand afgelegd te hebben, dempen ze volledig uit.

Het groeiproces bij de windgolven is anders dan bij scheeps- en translatiegolven. Windgolven worden ontwikkeld en opgehoogd door wind. Een windveld ontwikkelt golven en laat ze met zich mee slepen in de desbetreffende windrichting. Onder invloed van windsnelheid, windduur, strijklengte en waterdiepte groeien de golven. De windsnelheid drukt en sleept de golven met een bepaalde kracht. Bij dit proces wordt naast voortbeweging van de golven windenergie overgedragen op de golven, waardoor de golven gaan groeien over de strijklengte die ze afleggen.

Naarmate de golven meer afstand afleggen binnen een windveld, blijven de golven groeien.

Hierdoor speelt de strijklengte over de plas richting de dijk een belangrijke rol. Grote strijklengten zullen hogere golven ontwikkelen dan kleinere strijklengten bij dezelfde windduur en -snelheid.

Hogere windsnelheid ontwikkelt eveneens grotere golven binnen een kortere tijd dan een windveld met een lagere snelheid.

Zolang het windveld blijft bestaan, blijft het groeiproces van de golven voortduren. Als de windduur tot zijn eind komt of er treden golven uit het windveld, dan zullen de golven op hun eigen energie vooruit bewegen. Als gevolg van energieverbruik, nemen de golven af in grootte.

De waterdiepte is de verticale afstand tussen de waterspiegel en de bodem van de desbetreffende wateroppervlakte. Als de golven de bodem niet voelen, dan ondervinden ze geen bodemweerstand.



Bij een afnemende waterdiepte zullen de golven op den duur bodemweerstand ondervinden. De onderkant van de golven wrijven dan over de bodem. Als gevolg daarvan verliezen de golven energie aan de bodem. Afname van golfenergie leidt tot afname van golfhoogte.

Voor een uitgebreide toelichting op de genoemde drie soorten golven wordt verwezen naar bijlage 7 Golf theorie.

Op het dijktraject Nieuwe Weg zijn geen sluizen aanwezig. Er bevinden wel een aantal sluizen langs de Loosdrechtsche Plassen. Deze sluizen liggen ver verwijderd van de dijk Nieuwe Weg. De translatiegolven zijn het hoogst direct nadat ze ontwikkeld zijn. Als ze bij de teen van de dijk arriveren hebben ze het grootste deel van hun energie verbruikt, waardoor ze zeer laag zijn of zelfs volledig uitgedempt. Hierdoor zijn de translatiegolven niet relevant voor dit onderzoek.

De scheepsgolven op de Loosdrechtsche Plassen worden veroorzaakt door recreatievaartuigen. Deze golven zijn niet relevant voor dit onderzoek, omdat deze bij de teen van de dijk veel lager zijn dan direct nadat ze ontwikkeld zijn. Dit heeft de volgende reden: Er geldt een vaarverbod over een breed stuk plas vóór de dijk Nieuwe Weg. Deze eis is ingesteld in verband met de veiligheid van de recreanten langs de plas. Buiten het verboden gebied vindt er recreatievaart plaats. De veroorzaakte scheepsgolven zullen het brede stuk plas (vóór de dijk) passeren waardoor ze in grootte afnemen.

In Paragraaf 5.2 Vooronderzoek 1 bleek dat er grote strijklengten aanwezig zijn over de plas richting de dijk. In Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden werd bekend gemaakt dat er onder extreme weersomstandigheden een hoge windsnelheid met een lange duur zal optreden.

Door deze hoge golfaspecten zullen er hoge windgolven bij de teen van de dijk ontstaan. Deze golven zullen veel hoger zijn dan scheeps- en translatiegolven. Voor dit vooronderzoek betekent dit dat windgolven onder de extreme omstandigheid de meest maatgevende zijn.

De golfhoogte en –periode op de Loosdrechtsche Plassen zijn niet bekend. In de volgende paragrafen zal stapsgewijs de maatgevende golfhoogte en –periode bij de teen van het maatgevende dijkstuk bepaald worden.

Golfgegevens

Windgolven worden ontwikkeld door de volgende verschijnselen:

- Gravitatiekracht
- Waterdiepte
- Windsnelheid
- Strijklengte

Hierna worden de gegevens van deze verschijnselen bepaald bij de teen van het maatgevende dijkstuk. Zoals eerder vermeld worden de golfhoogte en –periode voor de extreme omstandigheid bepaald. Dat betekent dat deze golfgegevens dus ook voor de extreme omstandigheid bepaald worden.

Gravitatiekracht

De gravitatiekracht voor Nederland staat vast. Onder alle omstandigheden is dit $9,81 \text{ m/s}^2$.

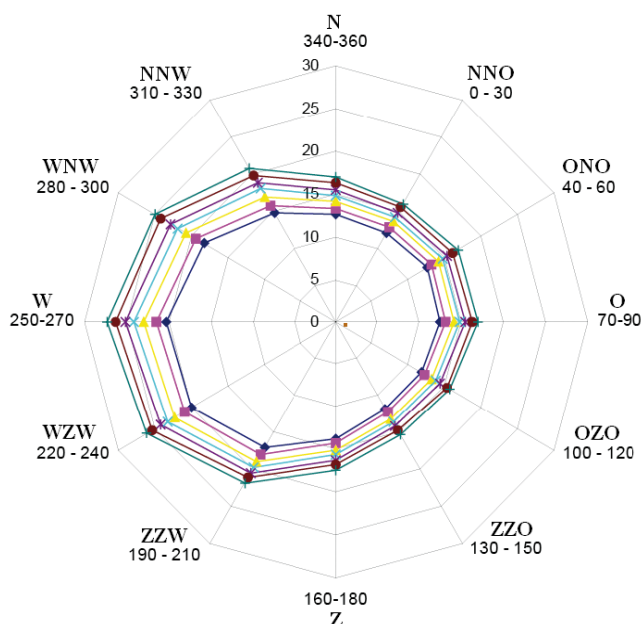
Waterdiepte

De waterdiepte van de Loosdrechtsche Plassen is al toegelicht in Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden onder paragraaf 2.2.3 Waterdiepte van Loosdrechtsche Plassen. Dit is 2,25 meter onder de extreme omstandigheid.

Windsnelheid

De windsnelheden en windrichtingen die optreden onder extreme omstandigheden zijn al toegelicht in Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden onder paragraaf 2.3.1 Windrichting – windsnelheid. Daarin werd toegelicht dat de windroos van de locatie Soesterberg toepasbaar is op de Loosdrechtsche Plassen. In figuur 34 is de windroos weergegeven.

Verdere informatie over deze windroos is terug te lezen in Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden onder paragraaf 2.3.1 Windrichting – windsnelheid. Daarin zijn o.a. de afkortingen van de windrichtingen en windsnelheden toegelicht.



Figuur 34 Windroos van Soesterberg [bron 5.2]

Met deze windroos zullen de windrichtingen en windsnelheden bij het maatgevende dijkstuk bepaald worden. Dit wordt gedaan door deze windroos op het maatgevende dijkstuk te projecteren. In figuur 35 is dit weergegeven.

De windrichtingen die vanaf de plas op de dijk invallen zijn maatgevend, want ze veroorzaken golfoploop en – overslag bij de dijk. De windrichtingen die vanaf het land op de dijk invallen veroorzaken het tegenovergestelde. Hier zal dus golfafloop plaats vinden bij de dijk. Deze windrichtingen zijn dus niet maatgevend voor dit onderzoek.

Uit figuur 35 blijkt dat er vier maatgevende windrichtingen op het maatgevende dijkstuk invallen. Deze windrichtingen zijn: West (W), West-Noord-West (WNW), Noord-Noord-West (NNW), Noord (N). In figuur 36 zijn deze vier windrichtingen op het maatgevende dijkstuk weergegeven.



Figuur 35 Windroos geprojecteerd op maatgevende dijkstuk



Figuur 36 Maatgevende windrichtingen

Zoals vermeld in Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden onder paragraaf 2.1.3 Normering is de dijk Nieuwe Weg door provincie Utrecht ingedeeld onder kadeklasse 3. De herhalingsjijd van deze klasse is 1/100 jaar. Uit tabel 7 onder paragraaf 2.3.1 Windrichting – Windsnelheid worden de windsnelheden van de vier windrichtingen onder de herhalingsjijd van 1/100 jaar afgelezen. Deze zijn verwerkt in tabel 8. De vier windrichtingen zijn gecodeerd als U1, U2, U3 en U4. Deze coderingen zijn in figuur 36 en tabel 8 weergegeven.

Code	Windsnelheid in meter per seconde (m/s)	Windrichting	
		Afkorting	Windrichting ten opzichte van Noorden in graden (°)
U1	24,1	W	270
U2	21,8	WNW	300
U3	17,9	NNW	330
U4	14,8	N	360

Tabel 8 Windsnelheden van de vier windrichtingen

Strijk lengte

De strijklengten worden bepaald door de windrichting en de aanwezige elementen in de Loosdrechtsche Plassen.

De vier windrichtingen hebben elk een strijklengte tussen het maatgevende dijkstuk en een element dat de strijklengte onderbreekt. Deze elementen zijn o.a. de eilanden en legakkers.

In figuur 36 zijn de strijklengten van alle vier windrichtingen met witte lijnen weergegeven. Ze zijn gecodeerd als F1, F2, F3 en F4. Deze vier strijklengten zijn bruikbaar voor de bepaling van de golfgegevens bij het maatgevende dijkstuk.

Met het programma Geoweb dat door Waternet beschikbaar is gesteld voor o.a. het meten van afstanden, worden de vier strijklengten opgemeten. De waarden zijn in tabel 9 verwerkt.

Code	Strijk lengte in meters	Windrichting	
		Afkorting	Windrichting ten opzichte van Noorden in graden (°)
F1	1450	W	270
F2	1000	WNW	300
F3	2960	NNW	330
F4	1400	N	360

Tabel 9 Strijk lengten van de vier windrichtingen

5.3.3 Bepalingsmethode van golfhoogte en golfperiode

In de vorige paragraaf is ontdekt dat er op het maatgevende dijkstuk vier maatgevende windrichtingen mogelijk zijn. Elke windrichting heeft een strijklengte en een snelheid. Voor de dijk betekent dit dat elke windrichting op de dijk invalt met golven van een bepaalde hoogte.

Doordat zowel de windsnelheden als de strijklengten van elkaar verschillen, kan er vooraf niet gezegd worden welke windrichting de hoogste golven ontwikkeld bij de dijk. Dit kan achterhaald worden door voor elke windrichting de golfhoogte en –periode te bepalen. In deze paragraaf wordt dit gedaan door middel van de meest toegepaste methoden; Namelijk:

- Grafieken
- Formules

Daarna wordt onderzocht welke methode het meest geschikt is voor de Loosdrechtsche Plassen.

Er wordt hier geen toelichting gegeven op de twee verschillende bepalingmethoden. Deze toelichting is terug te lezen in bijlage 8 Bepalingmethoden van golfhoogte en golfperiode.

Grafiekmethode

Voor de bepaling van golfhoogte en -periode op de Loosdrechtsche Plassen met de grafiekmethode wordt gebruik gemaakt van twee grafieken en een diagram. Hierna worden deze grafieken en dit diagram getoond. Vervolgens worden de benodigde invoerparameters voor deze grafieken en het diagram bepaald. Deze worden gebruikt in de grafieken en het diagram, waaruit de golfgegevens voor alle vier windrichtingen voortkomen. Deze uitkomsten worden dan getoond.

In deze paragraaf wordt geen toelichting gegeven op de bepalingswijze van golfhoogte en -periode met grafieken en diagram. Hiervoor wordt verwezen naar bijlage 8: paragraaf 8.2.2.1 Gebruikswijze van de grafieken. Daarin zijn alle stappen tot het verkrijgen van de golfhoogte en -periode met de grafiekmethode uitgebreid beschreven.

Grafieken en diagram

De grafieken en het diagram zijn als volgt:

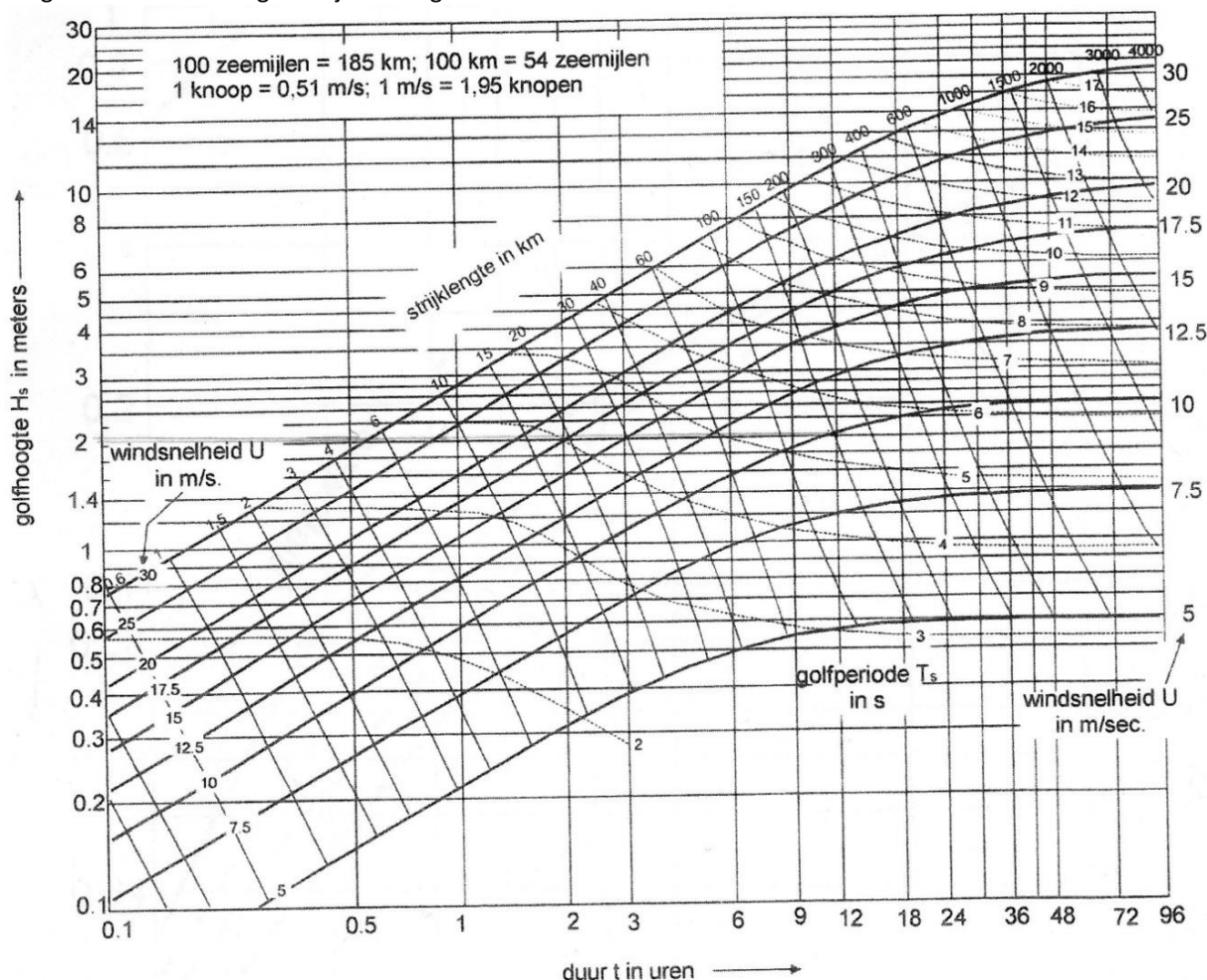
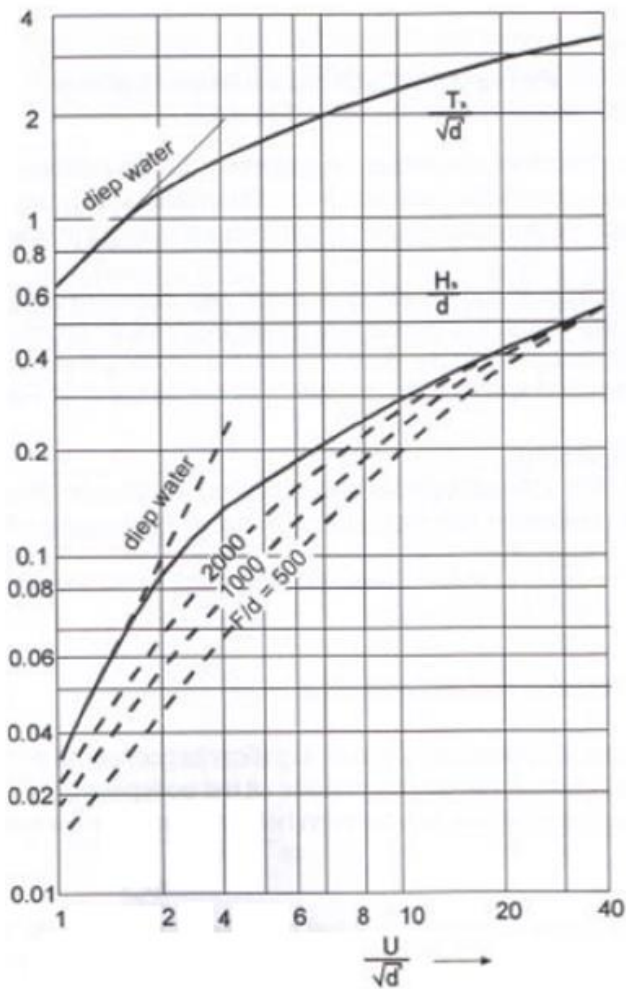
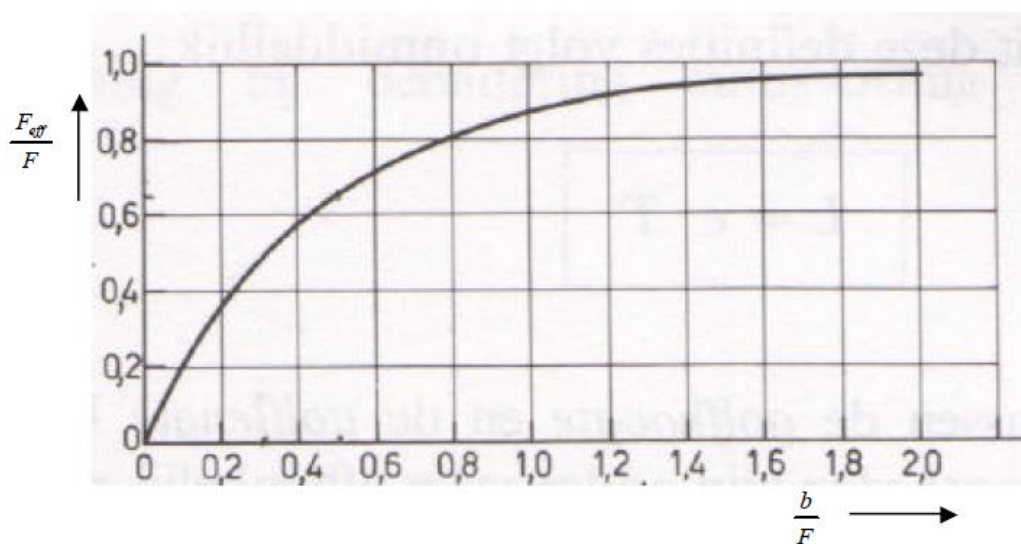


Diagram 1: Ter bepaling van golfhoogte en golfperiode op diepwateroppervlakte [bron 6.3 en 12.1]



Grafiek 1: Ter bepaling van golfhoogte en golfperiode op ondiepwateroppervlakte [bron 12.1]



Grafiek 2: Ter bepaling van effectieve strijklengte [bron 12.1]

Invoerparameters voor grafiekmethode

Om de golfhoogte en –periode op de Loosdrechtsche Plassen met de grafiekmethode te bepalen, zijn een aantal invoerparameters voor de grafieken en voor het diagram vereist. Deze parameters zijn als volgt:

- Windsnelheid (U)
- Strijklengte (F)
- Waterdiepte (d)
- Breedte van waterbekken (b)

De eerste drie parameters zijn al bekend, de breedte van het waterbekken wordt hierna bepaald.

Breedte van waterbekken

Bij genoemde diagram 1 en grafiek 1 wordt onderscheid gemaakt tussen werkelijke en effectieve strijklengte. Voordat een bepaalde strijklengte in het diagram en/of de grafiek wordt ingevoerd, dient de strijklengte eerst gecontroleerd te worden of het voldoet aan de eisen. De controle vindt plaats door middel van de volgende verhoudingformule:

$$b < 2 \cdot F$$

Formule 5.1 [bron 12.1]

Hierin zijn:

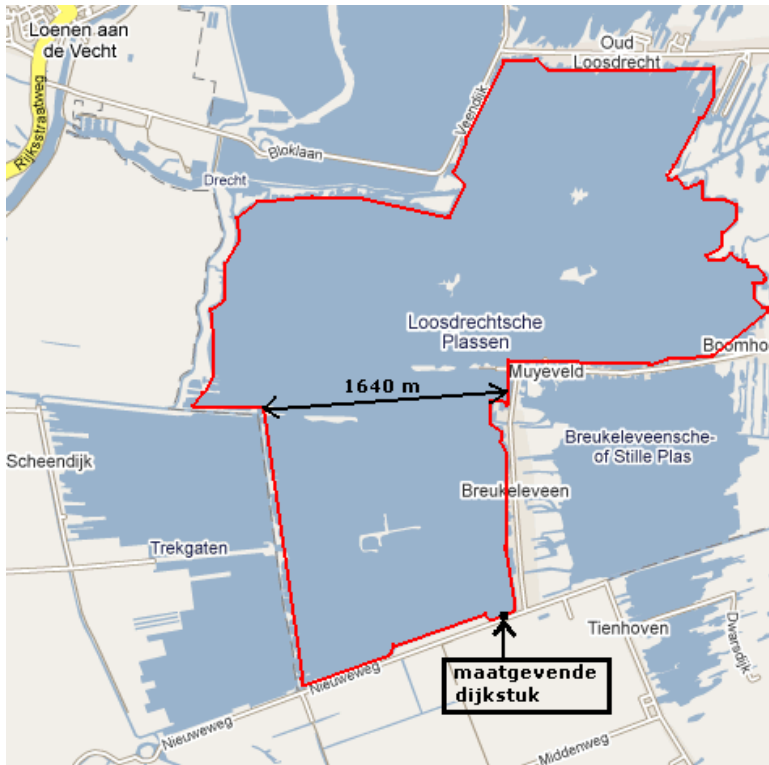
F = werkelijke strijklengte

B = breedte van het gesloten waterbekken

Indien aan de verhouding voldaan wordt, dan mag de werkelijke strijklengte niet gebruikt worden. Deze dient gecorrigeerd te worden naar de effectieve strijklengte. De correctie van werkelijke strijklengte naar effectieve strijklengte gebeurt met de hierboven genoemde grafiek 2 (Ter bepaling van effectieve strijklengte). Voor deze grafiek dient o.a. de breedte van het gesloten waterbekken ingevoerd te worden.

Zoals bekend bevinden een aantal dijken en gebieden zich in en langs de Loosdrechtsche Plassen. Deze elementen verdelen de plas in een aantal gesloten waterbekkens.

Het maatgevende dijkstuk bevindt zich achter een gesloten waterbekken. In figuur 37 is de grens van dit gesloten waterbekken met een rode lijn gearceerd. In dezelfde figuur is de locatie van het maatgevende dijkstuk aangegeven. De benodigde breedte van het gesloten waterbekken, is de breedte van het wateroppervlak waar het maatgevende dijkstuk zich achter bevindt. In figuur 37 is deze breedte weergegeven; het is 1640 meter.



Figuur 37 Breedte van het gesloten waterbekken [bron 2.2]

Alle invoerparameters voor het diagram en de grafieken zijn bekend, deze zijn als volgt:

Windrichting		Windrichting in graden ten opzichte van Noorden	Windsnelheid (U_{10})	Strijklengte (F)
1	W	270°	24,1 m/s	1450 m
2	WNW	300°	21,8 m/s	1000 m
3	NNW	330°	17,9 m/s	2960 m
4	N	360°	14,8 m/s	1400 m
Waterdiepte (d)			2,25 m	
Breedte van waterbekken (b)			1640 m	

Uitkomsten volgens grafiekmethode

De golfhoogte en –periode zijn voor alle vier windrichtingen met de grafiekmethode bepaald. Deze zijn als volgt (tabel 10):

Windrichting		Grafiekmethode	
		Golfhoogte in meter	Golfperiode in seconden
1	W	0,63	3,98
2	WNW	0,52	3,77
3	NNW	0,57	3,61
4	N	0,45	3,57

Tabel 10: Uitkomsten op golfhoogte en –periode volgens grafiek methode

Bij de bepalingsmethode met de grafieken zijn naast de golfhoogte en –periode ook het volgende gevonden:

De Loosdrechtsche Plassen behoort tot ondiepwateroppervlakte onder de extreme omstandigheden.

Ter controle wordt dit bewezen met de volgende verhoudingsformule:

$$d > \frac{1}{2} \cdot L$$

Formule 3.1 [bron 6.3]

Hierin geldt:

d = waterdiepte [m]

$$L = \text{golflengte} = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \text{ [m]}$$

Formule 3.2 [bron 6.3]

T = golfperiode [s]

g = gravitatiekracht [m/s^2]

Indien aan deze verhouding voldaan wordt, wordt de wateroppervlakte gerekend tot diepwateroppervlakte. Indien hier niet aan voldaan wordt is er sprake van een ondiepwateroppervlakte.

Er wordt gekozen voor de meest maatgevende golfperiode; de hoogste van alle vier windrichtingen. Deze wordt veroorzaakt door wind vanuit het westen. De overige benodigde parameters: waterdiepte en gravitatiekracht zijn al bekend. Alle invoerparameters voor formules 3.1 en 3.2 zijn als volgt:

- Golfperiode: 3,98 s
- Gravitatiekracht: $9,81 \text{ m/s}^2$
- Waterdiepte onder extreme omstandigheid: 2,25 m

Na het invullen van de parameters in de formules 3.1 en 3.2, is de uitkomst als volgt:

$$L = 24,73 \text{ meter} \quad d > \frac{1}{2} \cdot L \rightarrow 2,25 > \frac{1}{2} \cdot 24,73 \rightarrow 2,25 > 12,37$$

Er wordt niet voldaan aan de verhouding. Dat betekent dat de Loosdrechtsche Plassen onder de extreme omstandigheden een ondiepwateroppervlakte vormen.

Formulemethode

Er zijn een aantal formules ontwikkeld voor het bepalen van de golfhoogte en –periode.

Elke formule is ontwikkeld voor een bepaalde conditie (van het wateroppervlak). Voor op de Loosdrechtsche plassen zijn de formules van de volgende wetenschappers het meest geschikt:

1. Kahma en Calkoen
2. Brettschneider

1: De formules van Kahma en Calkoen zijn ontwikkeld voor o.a. wateroppervlakten met zoet water. De leidraad Monitoring – golfcondities zoete Rijkswateren adviseert deze formules te gebruiken voor zoete wateroppervlakten.

Aangezien de Loosdrechtsche plassen zoetwater plassen zijn, zijn deze formules een mogelijke optie.

2: De formules van Brettschneider zijn bedoeld voor alle soorten wateroppervlakten. Deze worden gebruikt door o.a. de modelleerprogramma's CRESS en Hydra model. Met deze computerprogramma's kunnen verschillende waterbouwkundige aspecten (waaronder golfhoogte en –periode) bepaald worden.

De formules van Kahma en Calkoen zijn als volgt:

$$H_s = 4\sqrt{5,2 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{U_{10}^2}{g} \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,47}$$

Formule 3.3 [bron 6.1]

$$T_s = \frac{2\pi}{13,7} \cdot \frac{U_{10}}{g} \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,27}$$

Formule 3.4 [bron 6.1]

De formules van Brettschneider zijn als volgt:

$$H_s = \frac{0,283 \cdot U_{10}^2 \cdot \tanh \left(0,530 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_{10}^2} \right)^{0,75} \right) \cdot \tanh \left(\frac{0,0125 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_{10}^2} \right)^{0,42}}{\tanh \left(0,530 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_{10}^2} \right)^{0,75} \right)} \right)}{g}$$

Formule 3.5 [bron 6.2]

$$T_s = \frac{2,4 \cdot \pi \cdot U_{10} \cdot \tanh \left(0,833 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_{10}^2} \right)^{0,375} \right) \cdot \tanh \left(\frac{0,077 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_{10}^2} \right)^{0,25}}{\tanh \left(0,833 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_{10}^2} \right)^{0,375} \right)} \right)}{g}$$

Formule 3.6 [bron 6.2]

Hierin geldt:

H_s = significante golfhoogte [m]

T_s = significante golfperiode [s]

U_{10} = windsnelheid (uurgemiddelde) op 10 meter hoogte t.o.v. maaiveld [m/s]

F = strijklengte [m]

d = waterdiepte [m]

g = gravitatiekracht [m/s^2]

Formule keuze

Bij het vergelijken van de formules van beide wetenschappers met elkaar, valt op dat de parameter waterdiepte verwerkt is in de formules van Brettschneider, terwijl dit niet gebeurt is bij de formules van Kahma & Calkoen.

De waterdiepte heeft pas invloed op de golven, als de golven zich bevinden op een ondiepwateroppervlakte. De golven komen dan in contact met de bodem.

Op diepwateroppervlakte is de waterdiepte zeer groot ten opzichte van de golfhoogte, hierdoor raken de golven niet in contact met de bodem. De waterdiepte heeft dan geen invloed op de golven. Om deze reden wordt de waterdiepte niet verwerkt in formules waarmee golfgegevens op diepwateroppervlakten bepaald worden.

Dat betekent dat de formules van Kahma & Calkoen bedoeld zijn voor bepaling van golfhoogte en –periode op diepwateroppervlakten. Omdat de Loosdrechtsche Plassen een ondiepwateroppervlakte zijn, vallen de formules van Kahma & Calkoen af.

Bij de formules van Brettschneider bestaat de mogelijkheid tot invoer van waterdiepte van het wateroppervlakte. Dat betekent dat de formules van Brettschneider geschikt zijn voor de bepaling van golfgegevens op o.a. ondiepwateroppervlakte. De Loosdrechtsche Plassen zijn ondiepwateroppervlakte, daarom worden de formules van Brettschneider gebruikt.

Invoerparameters voor de formules

De benodigde parameters voor de formules zijn als volgt:

- Windsnelheid (U) - Waterdiepte (d)
- Strijklengte (F) - Gravitatiekracht (g)

Deze parameters zijn hiervoor bepaald, om het overzichtelijk te houden worden ze hierna nogmaals weergegeven.

Benaming	Windsnelheid (U_{10})	Strijklengte (F)	Windrichting	
			Afkorting	Windrichting t.o.v.Noorden
1	24,1 m/s	1450 m	W	270°
2	21,8 m/s	1000 m	WNW	300°
3	17,9 m/s	2960 m	NNW	330°
4	14,8 m/s	1400 m	N	360°

Waterdiepte (d)	2,25 m
Gravitatiekracht (g)	9,81 m/s^2

Uitkomsten volgens de formules

De berekening van de golfhoogte en –periode op de Loosdrechtsche Plassen wordt gemaakt voor alle vier windrichtingen. Na het invullen van de parameters in de formules van Brettschneider (formule 3.5 en 3.6), zijn de uitkomsten als volgt.

Code	Windrichting	Golfhoogte	Golfperiode
1	W	0,60 m	2,72 s
2	WNW	0,50 m	2,43 s
3	NNW	0,54 m	2,71 s
4	N	0,38 m	2,18 s

Tabel 11: Uitkomsten op golfhoogte en –periode volgens formules van Brettschneider

Keuze tussen grafiek- en formulemethode

De uitkomsten op golfhoogten en –perioden die bepaald zijn met de grafiek- en formulemethode zijn in tabel 12 nogmaals weergegeven.

Windrichting		Formulemethode		Grafiekmethode	
		Golfhoogte	Golfperiode	Golfhoogte	Golfperiode
1	W	0,60 m	2,72 s	0,63 m	3,98 s
2	WNW	0,50 m	2,43 s	0,52 m	3,77 s
3	NNW	0,54 m	2,71 s	0,57 m	3,61 s
4	N	0,38 m	2,18 s	0,45 m	3,57 s

Tabel 12 Uitkomsten volgens Brettschneider formules en grafiekmethode

Bij het vergelijken van de uitkomsten, valt op dat de golfhoogten van beide methoden dicht bij elkaar liggen. De golfperioden verschillen wel sterk van elkaar.

Voor dit vooronderzoek wordt gekozen voor de golfhoogten en –perioden die bepaald zijn met de formules van Brettschneider. Deze keuze is gemaakt, omdat de uitkomsten die bepaald zijn met de grafiekmethode minder betrouwbaar zijn dan de uitkomsten die bepaald zijn met de formulemethode. Dit heeft te maken met de volgende feiten:

- De invoer van parameters in de grafieken kunnen meestal niet exact op de grafieken afgetekend worden. Meestal dienen ze geïnterpoleerd te worden (tussen twee waarden). Hierdoor worden de uitkomsten minder betrouwbaar. Ook de uitkomsten dienen meestal geïnterpoleerd te worden. Bij formules bestaat dit probleem niet; de parameterwaarden kunnen exact op een aantal decimalen nauwkeurig ingevoerd worden. Ook de uitkomsten worden op aantal decimalen nauwkeurig bepaald.
- Bij de grafiekmethode kunnen gemakkelijk fouten gemaakt worden in het aftekenen van de invoerlijnen (de lijnen kunnen scheef getekend worden, die met het oog niet opvalt).

Golfhoogte

Er geldt een constante waterdiepte op de Loosdrechtsche plassen. Daardoor zal geen shoaling en refractie –effect aan de golven optreden. De bepaalde golfhoogten blijven dus ongewijzigd.

5.4 Vooronderzoek 3: Bepaling van golfhoogte achter het voorland

5.4.1 Inleiding

De golfhoogte die gebruikt wordt in de bepaling van golfploop en –overslag bij de dijk, is de invallende golfhoogte bij de teen van de dijk. Zoals bekend uit Hoofdstuk 1 Gebiedsomschrijving ligt een breed stuk voorland vóór de dijk. Dit voorland functioneert als een golfbreker. De golven dienen dit voorland te passeren waardoor ze in hoogte reduceren.

In dit vooronderzoek wordt de golfhoogte achter het voorland (en dus bij de teen van de dijk) bepaald. Dit wordt gedaan met een formule. Hierna wordt deze formule geïntroduceerd, daarna worden de invoerparameters voor deze formule bepaald. Voor één van de invoerparameter wordt een waarde aangenomen. De methode van deze aanname wordt uitgebreid beschreven.

Als laatst wordt de golfhoogte achter het voorland berekend en vervolgens conclusie erop gegeven.

5.4.2 Bepaling

De golfhoogte achter het voorland wordt bepaald met een formule. Er zijn een aantal formules opgesteld waarmee de golfhoogte achter een voorland of een ander golfbrekerconstructie bepaald kan worden. Voor dit vooronderzoek wordt gebruik gemaakt van een formule waarin de invloed van alle voorlandaspecten (o.a. het bekledingsmateriaal van het voorland) verwerkt zijn. Deze formule is als volgt:

$$K_t = a - 0,4 \cdot \frac{0,4 \cdot h_d}{H_i} \quad \text{Formule 3.7 [bron 6.4]}$$

Hierin zijn de parameters als volgt:

$$K_t = \text{transmissiecoëfficiënt [-]} = \frac{H_t}{H_i} \quad \text{Formule 3.7a [bron 6.4]}$$

H_t = golfhoogte achter de voorlandconstructie [m]

H_i = maatgevende inkomende golfhoogte bij de teen van de voorlandconstructie [m]

a = een parameter die alle invloeden van het voorland beschrijft

$$a = (B / H_i)^{-0,31} \cdot (1 - e^{-0,5\xi}) \cdot A_{dam} [-] \quad \text{Formule 3.7b [bron 6.4]}$$

B = breedte van de voorlandkruin [m]

$$\xi_0 = \text{golfbrekiingsparameter [-]} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S}} \quad \text{Formule 3.7c [bron 6.4 en 6.5]}$$

$$S_0 = \text{golfsteilheid [-]} = \frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2} \quad \text{Formule 3.7ca [bron 6.4 en 6.5]}$$



g = gravitatiekracht [m/s^2]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

T_{m-0} = spectrale golfperiode [s]

h_d = kruinhoogte van het voorland ten opzichte van maatgevende waterpeil achter voorland [m]

A_{dam} = een invloedsfactor van het type dam of het bekledingsmateriaal. Er zijn een aantal factoren bekend voor een aantal soorten materialen. Deze zijn als volgt:

- Breuksteen en betonnen elementen: $A_{dam} = 0,64$ [-] [bron 6.4]
- Een gladde dichte dam (zoals asfalt): $A_{dam} = 0,80$ [-] [bron 6.4]
- Gezette dichte steen: $A_{dam} = 0,80$ [-] [bron 6.4]
- Blokkenmatten: $A_{dam} = 0,75$ [-] [bron 6.4]
- Schanskorven: $A_{dam} = 0,70$ [-] [bron 6.4]

Invoerparameters

De invoerparameters voor de formule zijn voornamelijk aspecten van het voorland.

In Hoofdstuk 1 Gebiedsomschrijving onder paragraaf 1.5 Voorland is een uitgebreide toelichting gegeven op het voorland. Deze toelichting kan goed benut worden voor dit vooronderzoek (bepaling van de golfhoogte achter het voorland). Daarin zijn o.a. een aantal van de benodigde invoerparameters voor de formule te vinden.

Dit vooronderzoek vindt plaats bij het maatgevende dijkstuk die bepaald is in Paragraaf 5.2 vooronderzoek 1. Voor dit vooronderzoek betekent dit dat er gewerkt wordt met de aspecten (invoerparameters) van het voorlandstuk dat zich bevindt voor het maatgevende dijkstuk. Hierna wordt elke invoerparameter voor de formule bepaald.

Kruinhoogte en -breedte

De kruinhoogte van het voorlandstuk is -0,80 m NAP. Het maatgevende waterpeil (achter het voorland) is -0,90 m NAP. De kruinhoogte van het voorland ten opzichte van het maatgevend waterpeil (h_d) is dus $-0,80 - -0,90 = 0,10$ meter.

De kruinbreedte van het voorlandstuk (B) is 10 meter.

Taludhelling

De taludhelling is nodig ter bepaling van de golfbrekiingsparameter. De golfbrekiingsparameter wordt bepaald aan het buitentalud van het voorland. Dit betekent dat er gerekend wordt met de helling van het buitentalud. Deze is 1:1 ter hoogte van het maatgevende dijkstuk. De hoek α wordt: invert tangens van $1:1 = 45^\circ$. $\tan \alpha = \tan 45^\circ = 1:1 = 1$.

Gravitatiekracht

De gravitatiekracht (g) is $9,81 \text{ m/s}^2$.

Golfgegevens

In het vorige vooronderzoek (2) zijn vier maatgevende windrichtingen bepaald. Elke windrichting behoort tot een golfhoogte en een golfperiode.

Voor ontwerp en toetsing van een golfbreker zijn de grootste golfhoogte maatgevend.

De grootste golfhoogte wordt behaald door de wind vanuit het westen. Deze windrichting behaalt een golfhoogte van 0,60 meter en een golfperiode van 2,72 seconden.

Dit zijn significante golfgegevens. In de formule van golfbrekingsparameter dient de spectrale golfhoogte en – periode ingevoerd te worden. De bepaalde golfgegevens worden omgerekend naar spectrale golfgegevens met de volgende formules:

$$H_{m0} = H_s \quad \text{Formule 3.8 [bron 6.5]}$$

$$T_{m-1,0} = 0,98 \cdot T_s \quad \text{Formule 3.9 [bron 6.5]}$$

Hierin geldt:

H_s = significante golfhoogte [m]

T_s = significante golfperiode [s]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

Na het invullen van de gegevens in de formules; zijn de uitkomsten als volgt:

$$H_{m0} = 0,60 \text{ m}$$

$$T_{m-1,0} = 2,67 \text{ s}$$

Golfbrekinsparameter

De golfbrekinsparameter wordt met de volgende formule bepaald:

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}} \quad [-] \quad \text{Formule 3.7c [bron 6.4 en 6.5]}$$

Hierin geldt:

α = hoek van het buitentalud van het voorland [°]

$$S_0 = \text{golfsteilheid } [-] = \frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2} \quad [-] \quad \text{Formule 3.7ca [bron 6.4 en 6.5]}$$

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

g = gravitatiekracht [m/s²]

Alle invoerparameters zijn al bepaald, deze zijn als volgt:

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,60	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,67	s
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s ²
Hoek van buitentalud van het voorland	α	1:1	-

Na het invullen van deze parameters in de formules: 3.7c en 3.7ca is de uitkomst als volgt:

$$\xi_0 = 4,31$$

Golfbreker invloedsfactor

De parameter A_{dam} is een invloedsfactor van het type dam of golfbreker. Deze factor vertaalt de hoeveelheid reducerende werking van het voorland op de golven in een waarde.

Er zijn een aantal invloedsfactoren bekend, deze zijn als volgt:

1. Breuksteen en betonnen elementen: $A_{dam} = 0,64$ [-]
2. Een gladde dichte dam (zoals asfalt): $A_{dam} = 0,80$ [-]
3. Gezette dichte steen: $A_{dam} = 0,80$ [-]
4. Blokkenmatten: $A_{dam} = 0,75$ [-]
5. Schanskorven: $A_{dam} = 0,70$ [-]

Op het voorland zijn de volgende materialen aanwezig: bomen, gras- en puinbekleding.

Uit de lijst van invloedsfactoren is geen factor (A_{dam}) bekend voor een golfbreker met de volgende materialen: bomen, gras- en puinbekleding. Om de berekening van de golfhoogte achter het voorland te kunnen uitvoeren, wordt er een invloedsfactor (A_{dam}) voor het huidige voorland aangenomen.

Om de aanname zo goed mogelijk te maken, worden de volgende stappen ondernomen:

Eerst worden de bekende invloedsfactoren geanalyseerd. Daarin wordt voornamelijk naar de belangrijkste eigenschappen van elke soort golfbreker (invloedsfactor A_{dam}) gekeken. Vervolgens wordt er naar gelijkenissen gezocht tussen de geanalyseerde eigenschappen van de bekende invloedsfactoren en de eigenschappen van de materialen die zich bevinden op het voorland. Op basis van de gelijkenissen wordt de invloedsfactor voor het voorland bepaald.

Analyse van bekende invloedsfactoren

In deze paragraaf worden de bekende invloedsfactoren geanalyseerd. De bekende invloedsfactoren (A_{dam}) zijn als volgt:

1. Breuksteen en betonnen elementen: $A_{dam} = 0,64$ [-]
2. Een gladde dichte dam zoals asfalt: $A_{dam} = 0,80$ [-]
3. Gezette dichte steen: $A_{dam} = 0,80$ [-]
4. Blokkenmatten: $A_{dam} = 0,75$ [-]
5. Schanskorven: $A_{dam} = 0,70$ [-]

Deze invloedfactoren hebben een reducerende werking op de golven. Des te lager de waarde, des te hoger de reductie op de golven.

Golfbrekers worden gevormd door de volgende drie belangrijke eigenschappen:

- Hardheid
- Ruwheid
- Permeabiliteit



Na het bestuderen van de bekende invloedsfactoren is te concluderen dat elke soort golfbreker (waarvan de invloedsfactor bepaald is) deze drie eigenschappen heeft.

De toegepaste materialen zijn over het algemeen allemaal hard. Ze verschillen echter wel in de eigenschappen ruwheid en permeabiliteit. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de waarde van elke (bekende) invloedsfactor is bepaald op basis van de eigenschappen ruwheid en permeabiliteit van het materiaal waarvan de golfbreker gemaakt is. Dit is terug te zien bij het vergelijken van de 1^e en 2^e invloedsfactor met elkaar. De 1^e invloedsfactor is van breuksteen en betonnen elementen. Deze materialen zijn erg ruw en hebben een openoppervlakte. De 2^e invloedsfactor is van een dicht glad materiaal; de eigenschappen ruwheid en permeabiliteit van dit materiaal zijn zeer laag. Dit verschil (in de eigenschappen ruwheid en permeabiliteit tussen 1^e en 2^e invloedsfactoren) wordt uitgedrukt in de waarde van de factoren.

Na het bestuderen van de eigenschappen ruwheid en permeabiliteit van de golfbrekers waarvan de invloedsfactoren bekend zijn (A_{dam}), zijn de volgende conclusies te trekken:

- Golfbrekers met een glad en/of dicht bekledingsmateriaal hebben een hoge invloedsfactor (A_{dam}). Hoe gladder en/of dichter het bekledingsmateriaal, des te hoger de invloedsfactor (A_{dam}) wordt. Dit is terug te zien bij bijvoorbeeld een golfbreker met een asfaltbekleding, want asfalt is een zeer dicht en glad materiaal.
- Golfbrekers met een ruw en/of open bekledingsmateriaal hebben een lage invloedsfactor (A_{dam}). Hoe ruwer en/of hoger permeabiliteitswaarde van het bekledingsmateriaal, des te lager de invloedsfactor wordt. Dit is terug te zien bij bijvoorbeeld een golfbreker met een bekleding van breuksteen, want breuksteen is een zeer ruw en open materiaal.

Analyse van bestaande materialen op voorland

In Paragraaf 1.5 Voorland onder Hoofdstuk 1 Gebiedsomschrijving is toegelicht dat er een aantal soorten materialen op het voorland aanwezig zijn. Het gaat om o.a. de bekleding van het voorland.

De invloedsfactor A_{dam} wordt bepaald aan de hand van de eigenschappen ruwheid en permeabiliteit van deze materialen.

Hierna wordt er een vergelijking gemaakt tussen de eigenschappen ruwheid en permeabiliteit van de materialen waarvan de invloedsfactor bekend zijn en de materialen die zich bevinden op het voorland.

Vervolgens wordt in de volgende paragraaf de invloedsfactor voor het voorland bepaald op basis van de vergelijking.

Op het voorlandstuk dat zich bevindt vóór het maatgevende dijkstuk zijn de volgende materialen aanwezig:

- Grasbekleding op de kruin
- Puinbekleding op het buitentalud
- Bomen op de kruin aan het uiteinde (plaszijde)

Grasbekleding

Ruwheid van grasbekleding

Gras, asfalt en beton zijn gladde materialen voor golven. Ze oefenen zeer weinig grip op de golven uit, waardoor de reducerende werking op golven als verwaarloosbaar gezien wordt. In de golfplooptheorie wordt de invloedsfactor voor de ruwheid van gras, asfalt en beton op 1 gesteld. Dat houdt in dat deze materialen geen reducerende werking hebben op de golven.

Uit de lijst van materialen waarvan de invloedsfactor (A_{dam}) bekend zijn, kan de ruwheid van de grasbekleding gelijk gesteld worden met een gladde dichte dam zoals asfalt (1)

Permeabiliteit van grasbekleding

Grasbekleding is een dicht begroeid materiaal. Het is niet volledig waterdicht. Doordat de begroeiing heel dicht is zijn de openingen zeer klein.

Als er zich rustig bewegend of stilstaand water op de grasbekleding bevindt, dan zal het water langzaam infiltreren in het grasveld.

Bij golfaanvallen op de grasbekleding gaat er weinig water doorheen, want bij een golfaanval zijn de waterdeeltjes in een snelle beweging als gevolg van de golfenergie. Daardoor gaan de golven over de grasbekleding rollen. Door de hoge snelheid en kleine openingen in de grasbekleding (als gevolg van dicht begroeid gras) gaat er weinig water van de golven in de grasbekleding infiltreren. Het grootste gedeelte van het golfwater zal na een golfklap van de grasbekleding afstromen.

De permeabiliteitswaarde van grasbekleding kan niet precies vergeleken worden met een materiaal waarvan de invloedsfactor bekend is. Het komt wel meest in de buurt van blokkenmatten, want bij blokkenmatten zijn groeven tussen de blokkenelementen aanwezig.

Blokkenmatten bestaan niet uit dichte bekleding, want tussen de blokken zijn openingen waar water doorheen kan stromen. De openingen zijn wel wat groter dan bij grasbekleding. De blokken zijn wel waterdicht.

Net als bij grasbekleding zal bij aanwezigheid van rustig of stilstaand waterbeweging op de blokkenmatten, het water langzaam door deze groeven infiltreren. Eveneens bij golfaanvallen op de blokkenmatten zal zich hetzelfde als bij grasbekleding voordoen; Namelijk het grootste deel van het golfwater zal afstromen en slechts een klein deel zal in de groeven tussen de blokkenmatten infiltreren.

Puinbekleding

Ruwheid van puinbekleding

Het toegepaste puin bestaat uit stukken betontegels en bakstenen met cement (zie figuur 38). De oppervlakte van de tegels en bakstenen is glad. Doordat de tegels en bakstenen gebroken zijn, zijn er ruwe oppervlakten aan het uiteinde van de tegels en bakstenen ontstaan. Verder is de cement aan de bakstenen ruw van oppervlakte.

In deze puinbekleding zitten voornamelijk betontegels met een gladde oppervlakte. Hierdoor kan aangenomen worden dat het grootste deel van deze bekledingoppervlakte uit beton bestaat.

Zoals eerder vermeld is de ruwheidswaarde van beton gelijk aan die van gras en asfalt. De ruwheidswaarde van deze puinbekleding kan niet gelijk gesteld worden aan die van gras of asfalt, omdat de oppervlakte van deze puinbekleding niet volledig glad is zoals dat van asfalt. Er zitten namelijk wat ruwe stukken puin tussen.

Daarnaast is de oppervlakte niet volledig recht; een aantal van de puinstenen steken uit waardoor er een bekleding ontstaat die op een dijkbekleding met kunstmatige ruwheidelementen lijkt. In figuur 39 is een dijkbekleding met kunstmatige ruwheidelementen weergegeven.

De ruwheid van deze puinbekleding kan ook niet volledig gelijk gesteld worden aan die van bekleding met kunstmatige ruwheidelementen, omdat de uitgestoken stenen niet in een regelmatig patroon voorkomen als in figuur 39.

Daardoor kan de ruwheidwaarde van deze puinbekleding het best geïnterpoleerd worden tussen die van beton en kunstmatige ruwheidelementen.



Figuur 38 Puinbekleding op het voorland [bron3.1]



Figuur 39 dijkbekleding met kunstmatige ruwheidelementen [bron 6.6]

Permeabiliteit van puinbekleding

De puinbekleding is een openmateriaal. De puinstukken liggen los op het buitentalud, waardoor water er gemakkelijk doorheen kan gaan. De stenen worden door metalen gaas op hun plek gehouden (zie figuren 20 en 21). De permeabiliteitwaarde van deze puinbekleding kan gelijk gesteld worden aan die van breuksteenbekleding of schanskorven, want deze twee bekledingsmaterialen hebben hetzelfde principe; Namelijk losse stenen waar water gemakkelijk doorheen kan stromen.

Bomen

Ruwheid van bomen

Er is een rij bomen aanwezig op het voorlandstuk dat zich bevindt vóór het maatgevende dijkstuk.

De bomen bevinden zich op het uiteinde van het voorland, aan de plas zijde (zie figuur 40).

Deze bomen leveren een bijdrage aan de reductie van de golven. Dit vindt plaats doordat de bomen gezamenlijk een obstakel vormen voor de golven. De golven zullen tegen de bomen komen, waardoor een deel van de golven door de boomstammen en –takken tegen gehouden wordt. Het resterende deel zal door de openingen tussen de boomstammen en –takken heen gaan.

De golven komen met een hoge energiebezit tegen de bomen aan, de energieklap wordt opgevangen door (de hardheid en dikte van) de boomstammen (en eventueel boomtakken).

De bomen hebben een bepaalde ruwheid. Op het moment dat de golven tegen de bomen komen, vindt er geen golfoploop op de bomen plaats, hierdoor kan de ruwheid van de bomen geen bijdrage leveren aan de reductie van de golven.

In dit geval heeft het geen nut om een vergelijking op te stellen (tussen de ruwheid van de bomen en de ruwheid van de materialen waarvan de invloedsfactoren bekend zijn).



Figuur 40 Bomen op voorland [bron 3.1]

Permeabiliteit van bomen

In deze situatie worden de boomrijen als een soort muur beschouwd waar gaten in zitten. De gaten zijn de openingen tussen de boomstengels en takken. Zoals op figuur 40 te zien is, zijn er veel openingen tussen de boomstammen en –takken. Hierdoor is de permeabiliteitswaarde van de rijbomen hoog.

Deze rijbomen kunnen het beste vergeleken worden met schansenkorven, want schansenkorven kunnen net als de rijbomen functioneren als een obstakel voor de golven. Het verschil zit in o.a. de grootte van de openingen. Bij schansenkorven zijn de openingen tussen de stenen veel kleiner dan de openingen tussen de boomstammen en –takken.

Aanname keuze

Hiervoor zijn er analyses gedaan van de materialen waarvan de invloedsfactor bekend zijn en van de materialen die zich bevinden op het voorland. Daarnaast is een vergelijkingsonderzoek gedaan. Op basis van de verkregen informatie uit deze analyses en vergelijkingen wordt de waarde van de invloedsfactor (A_{dam}) van het voorland bepaald.

Er zal begonnen worden met een aannamewaarde voor het materiaal dat de grootste oppervlakte van het huidige voorland bedekt; de grasbekleding. Deze bedekt de kruin van het voorland. Vervolgens wordt de aangenomen waarde aangepast aan de eigenschappen van de puinbekleding. Als laatste wordt het effect van de bomen meegenomen waardoor de aangenomen waarde nogmaals aangepast wordt.

Aanname

De invloedsfactor voor een golfbreker met alleen een grasbekleding ligt in de buurt van een golfbreker met een asfaltbekleding. Het is niet precies hetzelfde, de belangrijkste verschillen zijn de hardheid en permeabiliteit. Gras is een zacht en waterdoorlatend materiaal, terwijl asfalt een hard en waterdicht materiaal is.

De permeabiliteitwaarde van grasbekleding ligt in de buurt van blokkenmatten, alleen de ruwheidwaarde is niet gelijk.

Als de permeabiliteit- en of de ruwheidwaarde toeneemt, neemt de invloedsfactor voor een golfbreker (A_{dam}) af. De permeabiliteitwaarde van grasbekleding is hoger dan die van asfalt en ongeveer gelijk aan die van blokkenmatten. Daardoor zal de invloedsfactor van een golfbreker met een grasbekleding lager zijn dan die van een golfbreker met asfalt bekleding.

De ruwheidwaarde van grasbekleding is een stuk lager dan die van blokkenmatten en gelijk aan die van asfalt. Op basis van de ruwheid zal de invloedsfactor van een golfbreker met grasbekleding hoger zijn dan van een golfbreker met blokkenmatten.

De invloedsfactor (A_{dam}) van een golfbreker die bekleed is met asfalt bedraagt 0,80 en bij een golfbreker met blokkenmatten 0,75. Op basis van hiervoor genoemde vergelijking wordt een invloedsfactor van 0,76 aangenomen voor een golfbreker met grasbekleding.

In de extreme situatie staat het waterpeil hoger. De puinbekleding op het buitentalud van het voorland komt voor een groot deel onder de waterspiegel te liggen. Slechts 0,10 meter steekt boven de waterspiegel uit. De puinbekleding die onder de waterspiegel ligt zal geen aangrijpende werking op de golven uitoefenen en daardoor geen bijdrage leveren aan de reductie van de golven. Het oppervlakte van de puinbekleding die boven het maatgevende boezempeil uitsteekt is klein in vergelijking met de totale voorlandoppervlakte. Daardoor zal de ruwheid van puinbekleding (op het buitentalud) geen grote invloed hebben op de invloedsfactor (A_{dam}) van het huidige voorland.

In de extreme situatie staat het water hoger, daardoor wordt er meer waterdruk op het buitentalud van het voorland uitgeoefend. Doordat de puinbekleding een hoge permeabiliteitwaarde heeft zal deze hoge waterdruk gereduceerd worden.

De permeabiliteiteigenschap van deze puinbekleding heeft dus een hoge invloed op de invloedsfactor (A_{dam}) van het voorland.

Op basis van deze twee eigenschappen van de puinbekleding wordt de aangenomen invloedsfactor (A_{dam}) verlaagt naar 0,74.

De rijbomen functioneren als een obstakel voor de golven. Er zullen een aantal golven tegen de bomen komen waardoor ze volledig afbreken of reduceren. Hierdoor hebben de bomen invloed op de invloedsfactor van het voorland.

Uit de vergelijkingsanalyse is gebleken dat de rijbomen als functie van een obstakel in de buurt van schansenkorven liggen. Het is niet precies hetzelfde. Er is een groot verschil in de permeabiliteit van beide producten. De bomen liggen ver verwijderd van elkaar, waardoor een aantal golven ongestoord door de openingen tussen de bomen gaan. Bij schansenkorven liggen de stenen tegen elkaar, waardoor de openingen tussen de stenen erg klein is; De golven zullen altijd in contact komen met de stenen. Het verschil tussen schansenkorven en rijbomen als functie van een obstakel is hierdoor erg groot. Daardoor kan de invloedsfactor van schansenkorven niet als indicatie gebruikt worden.

Omdat de bomen toch enige reducerende werking hebben op de golven, wordt de invloed van de bomen verwerkt in de invloedsfactor van het voorland. Daarmee wordt de aangenomen invloedsfactor (A_{dam}) verlaagt naar 0,72.



Berekening van golfhoogte achter het voorland

Alle invoerparameters voor formule 3.7 zijn bekend. Na het invoeren van alle parameters in formule 3.7, zijn de uitkomsten als volgt:

$$K_t = 0,243 \quad K_t = \frac{H_t}{H_i} \quad H_i = 0,60 \text{ meter} \rightarrow 0,243 = \frac{H_t}{0,60} \quad H_t = 0,15 \text{ meter}$$

De golfhoogte achter het voorland (en dus bij de teen van de dijk) is 0,15 meter onder de extreme omstandigheid. Dit is een lage golfhoogte ten opzichte van de golfhoogte voor het voorlandstuk. Om met een meer dan maatgevende situatie te rekenen, wordt het voorland fictief weggelaten. Dat betekent dat de golven bij de teen van het voorland gelden bij de teen van de dijk.

5.5 Hoofdonderzoek: Probleemstelling

5.5.1 Inleiding

In dit hoofdonderzoek worden de meest maatgevende golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie bepaald. Vervolgens wordt er gekeken wat voor consequenties dit heeft voor de dijk.

Hiervoor zijn drie vooronderzoeken gedaan ten behoeve van dit hoofdonderzoek. Uit de vooronderzoeken zijn vier verschillende windrichtingen bij de teen van de dijk bepaald.

Elke windrichting veroorzaakt een mate van golfoploop en –overslag bij de dijk. De windrichting die de grootste mate van golfoploop en –overslag bij de dijk veroorzaakt is meest maatgevend.

Op basis van de windrichting alleen kan niet bepaald worden welke windrichting de grootste mate van golfoploop en –overslag bij de dijk veroorzaakt. Dit omdat golfoploop en –overslag bij een dijk afhankelijk is van meerdere aspecten, waaronder de dijkgeometrie. Om de meest maatgevende windrichting te kunnen bepalen, dient voor elke windrichting de golfoploop en –overslag bij de huidige dijk bepaald te worden.

In de volgende paragrafen worden de volgende onderdelen uitgevoerd:

- Bepaling van de meest maatgevende windrichting
- Bepaling van de consequenties van de meest maatgevende golfoploop en –overslag aan de huidige dijk

5.5.2 Bepaling

In deze paragraaf wordt de golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie bepaald voor alle vier windrichtingen. Ook wordt de meest maatgevende windrichting bepaald. De windrichting die de grootste mate van golfoploop en –overslag bij de dijk veroorzaakt, is de meest maatgevende windrichting. De bijbehorende golfgegevens golfhoogte, –periode, –oploop en –overslag zijn tevens de meest maatgevende randvoorwaarden. De golfoploop en –overslag worden bepaald met formules. Dit wordt uitgevoerd in de volgende drie stappen.

1. Introductie van golfoploop en golfoverslag –formules
2. Bepaling van invoerparameters voor golfoploop en golfoverslag –formules
3. Bepaling van golfoploop en –overslag bij huidige dijkgeometrie voor alle vier windrichtingen

Golfoploop en golfoverslag –formules

Er wordt gebruik gemaakt van de meest recente formules voor de bepaling van golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie. Deze formules zijn als volgt:

Golfoploopformules:

$$Z_{2\%} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0} \quad \text{Formule 3.10 [bron 6.5]}$$

Formule 3.10: geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

$$Z_{2\%} = H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot (4,3 - 1,6 / \sqrt{\xi_0}) \quad \text{Formule 3.11 [bron 6.5]}$$

Formule 3.11: geldig in het gebied $1,8 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 8 \text{ á } 10$

Golfoverslag formules:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \quad \text{Formule 3.12 [bron 6.5]}$$

Formule 3.12: geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0,2 \cdot \exp\left(-2,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \quad \text{Formule 3.13 [bron 6.5]}$$

Formule 3.13: geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 > \approx 2 \text{ á } 2,5$

Hierin zijn de parameters als volgt:

$Z_{2\%}$ = golfoploophoogte boven stilwaterlijn [m]

q = gemiddeld golfoverslagdebiet [m³/m/s]

γ_b = invloedsfactor voor een bermstuk [-]

γ_β = invloedsfactor voor hoek van golfaanval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid van het materiaal op het buitentalud [-]

γ_v = invloedsfactor van een aanwezige verticale of steile wand op talud [-]

h_k = kruinhoogte ten opzichte van stilwaterlijn (ook wel golfoverslaghoogte genoemd)

$$\xi_0 = \text{golfbrekiingsparameter [-]} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}} \quad \text{Formule 3.7c [bron 6.5]}$$

$$S_0 = \text{golfsteilheid [-]} = \frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2} \quad \text{Formule 3.7ca [bron 6.5]}$$

α = hoek van het talud [°]

g = gravitatiekracht [m/s²]

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

Voor een toelichting op deze formules en de bijbehorende invoerparameters wordt verwezen naar bijlage 9 Golfoplooptheorie en 10 Golfoverslagtheorie,

Bepaling van invoerparameters

In deze paragraaf worden de waarden van de invoerparameters bepaald die nodig zijn voor de golfploop en golfoverslag –formules. Deze parameters zijn o.a. onderdelen van de huidige dijkgeometrie. Hierna worden de volgende invoerparameters bepaald:

- Spectrale golfhoogte en –periode
- Kruinhoogte
- Bermfactor
- Ruwheidfactor van materiaal op buitentalud
- Invloedsfactor van wand
- Invloedsfactor voor hoek van golfaanval
- Golfbrekingsparameter

Spectrale golfhoogte en golfperiode

Voor de bepaling van golfploop en –overslag bij een dijk dient gerekend te worden met de spectrale golfhoogte en –periode. In vooronderzoek 2 zijn vier significante golfhoogten en –perioden bepaald. Deze significante golfgegevens dienen omgezet te worden naar spectrale golfgegevens. Dit gebeurt door middel van de volgende formules:

$$H_{m0} = H_s \quad \text{Formule 3.8 [bron 6.3]}$$

$$T_{m-1,0} = 0,98 \cdot T_s \quad \text{Formule 3.9 [bron 6.3]}$$

Hierin zijn:

H_s = significante golfhoogte [m]

T_s = significante golfperiode [s]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

De golfhoogten blijven hetzelfde, de golfperioden wijzigen. Na het invullen van de significante golfperioden in de formule 3.9, komen hier de spectrale golfperioden uit. Deze uitkomsten zijn samen met de golfhoogten in tabel 13 verwerkt.

Windrichting		Spectrale golfhoogte in meters	Spectrale golfperiode in seconden
1	W	0,60	2,67
2	WNW	0,50	2,38
3	NNW	0,54	2,66
4	N	0,38	2,14

Tabel 13 Spectrale golfhoogte en –periode voor alle vier windrichtingen



Kruinhoogte

De kruinhoogte is de verticale afstand tussen de maatgevende waterspiegel en de buitenkruinlijn. De maatgevende waterspiegel van de Loosdrechtsche Plassen is -0,90 m t.o.v. N.A.P. De buitenkruinhoogte van het maatgevende dijkstuk is 0,12 m t.o.v. N.A.P. De kruinhoogte h_k wordt: $0,12 - -0,90 = 1,02$ meter.

Bermfactor

Op de huidige dijk is geen bermstuk aanwezig. Daardoor wordt de invloedsfactor voor een bermstuk 1. Dit omdat een factor van 1 geen invloed heeft op golfoploop en –overslag bij een dijk.

Ruwheidfactor van bekledingsmateriaal

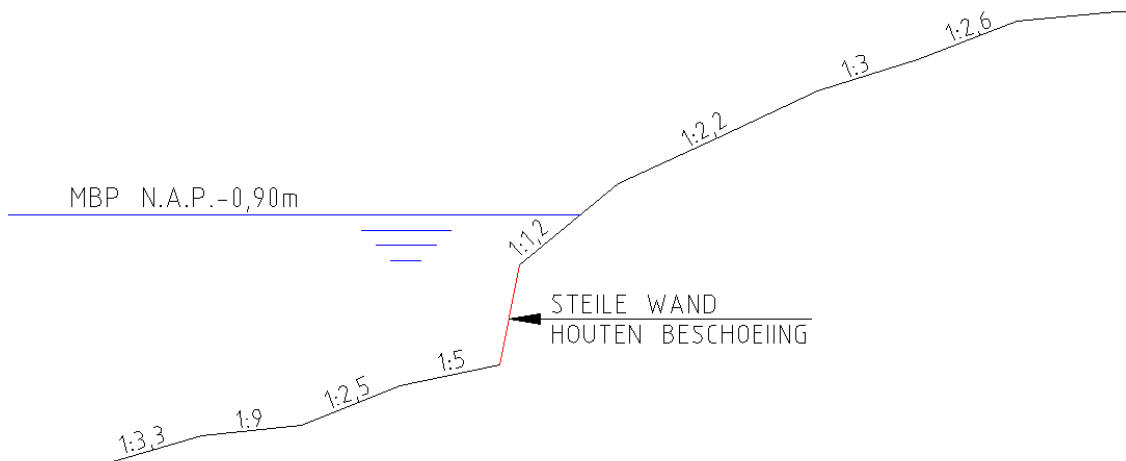
Op het huidige buitentalud ligt grasbekleding. Gras is een glad materiaal, waar golven gemakkelijk overheen glijden. De invloedsfactor van de ruwheid van grasbekleding is 1. Dit is terug te lezen in bijlage 9 onder tabel 9.31 Invloedsfactor van ruwheid van verschillende bekledingmaterialen die zich bevindt onder paragraaf 9.4 Invloedsfactor van ruwheid van bekledingsmateriaal.

Invloedsfactor van wand

Op het maatgevende dijkstuk is een steile wand aanwezig (zie figuur 41). Deze wand is in het verleden aangebracht om de stabiliteit van de dijk te verhogen. De wand staat onder een hoek van 79 graden en is 0,50 meter hoog. Deze wand ligt zowel onder het streefpeil als het maatgevende boezempeil. Een verticale of een steile wand op het buitentalud van een dijk heeft invloed op de golfoverslag als de wand en de geometrie van het buitentalud voldoen aan een aantal eisen. Er wordt dan een invloedsfactor voor de wand bepaald. Deze invloedsfactor wordt meegenomen in de bepaling van het golfoverslagdebiet bij de dijk. De eisen waaraan een steile of verticale wand dient te voldoen zijn als volgt:

1. De taludhelling van $1,5 \cdot H_{mo}$ (spectrale golfhoogte) beneden de waterlijn tot de voet van de wand (exclusief bermen) moet liggen tussen 1:2,5 tot 1:3,5.
2. De breedte van alle bermen tezamen mag niet meer dan $3 \cdot H_{mo}$ zijn.
3. De voet van de wand moet liggen tussen ongeveer $1,2 \cdot H_{mo}$ onder en boven de waterlijn.
4. De minimale hoogte van de wand is ongeveer $0,5 \cdot H_{mo}$. De maximale hoogte is ongeveer $3 \cdot H_{mo}$.

Indien voldaan wordt aan alle eisen, dan mag de invloedsfactor van de wand volledig in rekening worden gebracht in de bepaling van het golfoverslagdebiet bij de dijk.



Figuur 41 Huidige buitentalud met verschillende hellingen en steile wand [bron 4.3]

In de eisen dient gerekend te worden met de spectrale golfhoogte (H_{m0}). Er zijn vier verschillende spectrale golfhoogten bekend. De meest maatgevende spectrale golfhoogte is niet bekend.

Om de berekening te kunnen uitvoeren wordt de meest maatgevende golfhoogte bepaald op basis van de grootste golfenergie. Dit wordt gedaan omdat dijken in staat dienen te zijn om zelfs de grootste golfenergie te kunnen weerstaan, aangezien golfenergie een dijk kan beschadigen. De golven met de grootste hoogte beschikken over de meeste energie. Uit de vier bekende spectrale golfhoogten heeft de windrichting vanuit het westen de grootste golfhoogte. Deze is 0,60 meter.

Met de golfhoogte van 0,60 meter, wordt de steile wand getoetst aan de gestelde eisen. Deze zijn als volgt:

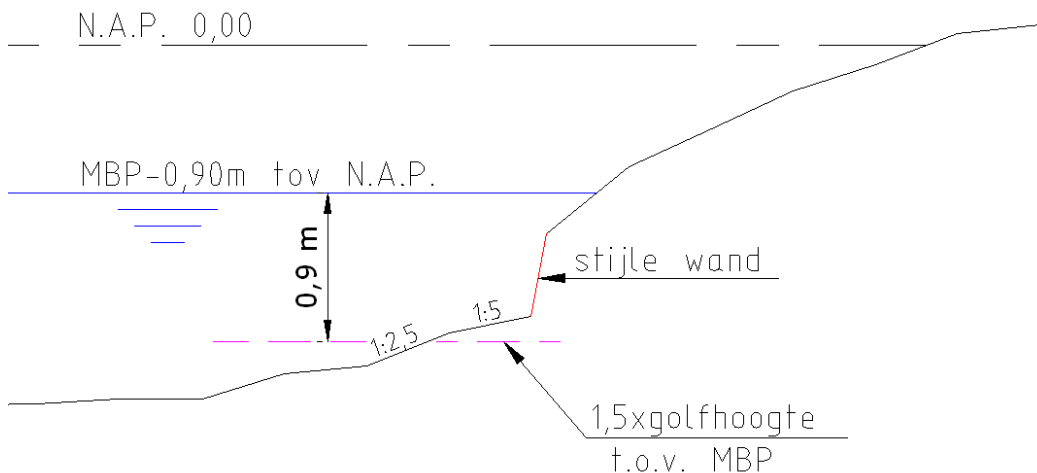
Toetsing van de wand aan eisen

Eis 1:

De eerste eis is als volgt: De taludhelling van $1,5 \cdot H_{m0}$ (spectrale golfhoogte) beneden de waterlijn tot de voet van de wand (exclusief bermen) moet liggen tussen 1:2,5 tot 1:3,5.

$1,5 \cdot H_{m0} = 1,5 \cdot 0,60 = 0,90$ meter. Er wordt een horizontale lijn uitgezet ten opzichte van het maatgevende boezempeil (MBP) met een hoogte van 0,90 meter (zie figuur 42). In figuur 42 is te zien dat de taludhelling binnen de grens van de voet van de wand en $1,5 \cdot H_{m0}$ ten opzichte van MBP uit 1:5 en 1:2,5 bestaat. Het grootste gedeelte bestaat uit een helling van 1:5. Slechts een hoogte van 0,05 meter bestaat uit een helling van 1:2,5. Deze hoogte is zeer klein waardoor deze verwaarloosbaar is. Er wordt dus van het volgende uitgegaan: De taludhelling van $1,5 \cdot H_{m0}$ beneden de waterlijn tot de voet van de wand is 1:5. Indien er gerekend wordt met een gemiddelde taludhelling, dan is deze onder de wand (vanaf de voet van de wand tot aan de teen van de dijk) 1:4.

Zowel de helling van 1:4 als 1:5 ligt buiten de gestelde eis van een helling tussen 1:2,5 en 1:3,5. Dat betekent dat er niet voldaan wordt aan eis 1.



Figuur 42 Uitzetting van een horizontale lijn ten opzichte van het maatgevende boezempeil (MBP) met een hoogte van $1,5 \cdot H_{mo}$ [Bron 4.3]

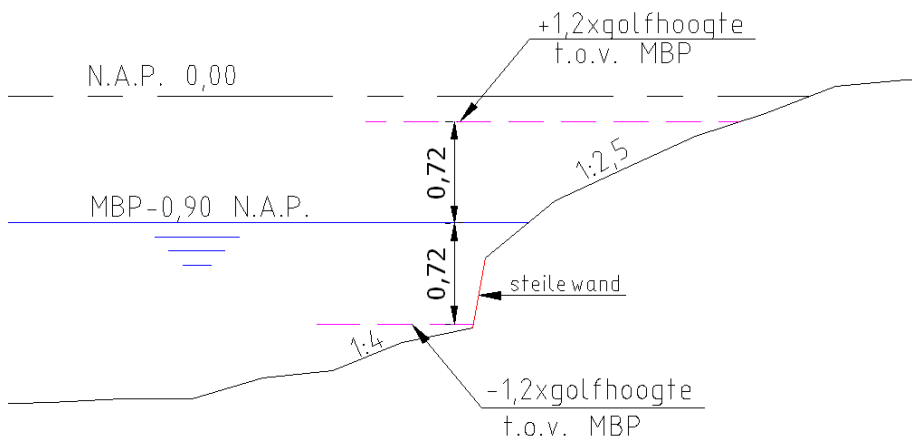
Eis 2:

De tweede eis is als volgt: De breedte van alle bermen tezamen mag niet meer dan $3 \cdot H_{mo}$ zijn. Deze eis is niet van toepassing op het maatgevende dijkstuk, omdat er geen bermstukken aanwezig zijn.

Eis 3:

De derde eis is als volgt: De voet van de wand moet liggen tussen ongeveer $1,2 \cdot H_{mo}$ onder en boven de waterlijn.

$1,2 \cdot H_{mo} = 1,2 \cdot 0,60 = 0,72$ meter. Er wordt een horizontale lijn uitgezet ten opzichte van het maatgevende boezempeil (MBP) met een hoogte van 0,72 meter (zie figuur 43).



Figuur 43 Uitzetting van een horizontale lijn ten opzichte van het maatgevende boezempeil (MBP) met een hoogte van $1,2 \cdot H_{mo}$ [Bron 4.3]

De voet van de wand bevindt zich niet tussen $1,2 \cdot H_{mo}$ onder en boven de waterlijn. De voet van de wand bevindt zich op een waterdiepte van 0,75 meter ten opzichte van (de maatgevende) waterlijn. Dat betekent dat de voet ($0,75 - 0,72 = 0,03$ meter verder ligt dan de maximale grens van $1,2 \cdot H_{mo}$. In principe is dit niet al te groot, daarnaast wordt er geëist dat het ongeveer tussen $1,2 \cdot H_{mo}$ onder en boven de waterlijn moet liggen. Hierdoor wordt er voldaan aan deze eis.

**Eis 4:**

De vierde eis is als volgt: De minimale hoogte van de wand is ongeveer $0,5 \cdot H_{mo}$. De maximale hoogte is ongeveer $3 \cdot H_{mo}$.

Invoeren van de golfhoogte: Minimale hoogte: $0,5 \cdot 0,60 = 0,30$ meter; Maximale hoogte: $3 \cdot 0,60 = 1,80$ meter. De wand heeft een hoogte van 0,50 meter. Deze waarde ligt tussen de minimale en maximale hoogte eis. Dat betekent dat er voldaan wordt aan deze eis.

Conclusie

Uit de toetsing blijken de wand en de geometrie van het buitentalud niet te voldoen aan alle eisen. Hierdoor mag volgens de voorwaarden de invloedsfactor van de wand niet volledig in rekening worden gebracht in de bepaling van golfverslagdebiet bij de dijk. De invloedsfactor van de wand dient gereduceerd te worden. Om deze reducerende waarde te bepalen wordt de invloed van deze wand op de golven onderzocht. Op basis daarvan en het programma van eisen wordt een invloedsfactor voor de wand aangenomen.

Invloed van de wand op golven

De voet van de wand ligt op een diepte van 0,75 meter ten opzichte van de maatgevende waterlijn. De top van de wand ligt op een diepte van 0,25 meter t.o.v. maatgevende waterlijn.

Doordat de waterdiepte boven de wand niet al te groot is, zullen de golven hoogstwaarschijnlijk (aan de onderzijde) in contact komen met de wand, waardoor ze beïnvloed worden. Dit verschijnsel wordt gecontroleerd met de volgende verhoudingsformule.

$$d < \frac{1}{2} \cdot L$$

Formule 3.5 [bron 6.3]

Hierin geldt:

d = waterdiepte [m]

L = golflengte [m]

Indien aan deze verhouding wordt voldaan, ondervinden de golven weerstand van de producten onder de waterspiegel; In dit geval van de wand.

De golflengte wordt met de volgende formule bepaald:

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}$$

Formule 3.6 [bron 6.3]

Hierin geldt:

L = golflengte [m]

g = gravitatiekracht [m/s^2]

T = golfperiode [s]

Hiervoor is de windrichting met de grootste golfhoogte als de meest maatgevende windrichting beschouwd. De bijbehorende golfperiode is 2,67 seconden. De gravitatiekracht is bekend; deze is $9,81 m/s^2$. Na het invullen van de parameters in de golflengteformule, wordt de golflengte 11,13 meter. De maximale waterdiepte waarop de steile wand zich bevindt is bij de voet van de wand; dit is 0,75 meter (t.o.v. maatgevende waterlijn).

Alle invoerparameters voor de verhoudingformule zijn bekend; De verhouding wordt als volgt:
 $d < \frac{1}{2} \cdot L = 0,75 < \frac{1}{2} \cdot 11,13 = 0,75 < 5,57$. De verhouding klopt. Dat betekent dat de golven in contact komen met de volledige wand (van de voet tot aan de top van de wand).

De wand staat onder een steile hoek. Als een golf tegen een verticale of een steile wand komt, wordt deze volledig of voor een deel terug gekaatst. De hoeveelheid teruggekaatste golfenergie is afhankelijk van de steilheid en de ligging van de wand ten opzichte van de waterspiegel. Bij een verticale wand die voor een groot deel boven de waterspiegel ligt, is de terugkaatsing volledig.

De wand op de dijk Nieuwe Weg bevindt zich zowel onder het streefpeil als het maatgevende boezempeil. Het ligt onder een steile hoek. De golven worden dus voor een deel teruggekaatste.

De terugkaatsing is in de richting van de inkomende golven. Hierdoor worden de inkomende golven getroffen door de teruggekaatste golfenergie. De teruggekaatste golfenergie trekt de inkomende golven aan, waardoor ze reduceren. Gevolg daarvan is dat de golfoverslag gereduceerd wordt.

De wand heeft dus weldegelijk invloed op de golfoverslag bij de dijk Nieuwe Weg.

De invloedsfactor voor de steile wand wordt bepaald met de volgende formule:

$$\gamma_v = 1,35 - 0,0078 \cdot \alpha_{wand} \quad \text{Formule 3.14 [bron 6.5]}$$

hierin is:

γ_v = invloedsfactor van een steile of verticale wand [-]

α_{wand} = de hoek van de wand die gemaakt wordt met het talud [°]

De wand staat onder een hoek van 79 graden ten opzichte van het buitentalud. Als deze parameter in de formule wordt ingevuld dan wordt $\gamma_v = 0,73$.

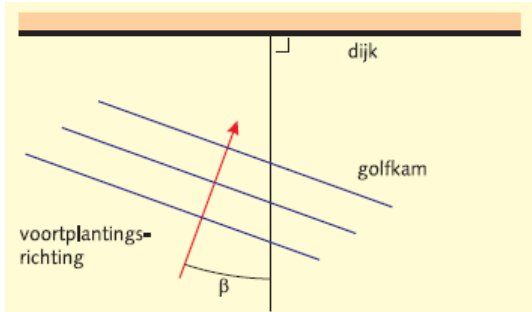
Deze waarde mag niet worden toegepast in de bepaling van de golfoverslag bij de dijk, omdat de wand en de geometrie van het buitentalud niet aan alle (hiervoor genoemde) eisen voldoen.

Uit de voorgaande theorie blijkt dat de wand een reducerende werking op de golfoverslag bij de dijk heeft. Op basis van de theorie van het terugkaatsingseffect van de golven en de eisen waaraan voldaan is, wordt er een andere waarde voor de invloedsfactor aangenomen dan er berekend is.

Er wordt een waarde van $\gamma_v = 0,85$ aangenomen. Deze waarde is groter dan berekend is. Dit is omdat er geldt: hoe groter de invloedsfactor wordt, hoe kleiner de reductie op de golfoverslag wordt.

Invloedsfactor voor hoek van golfaanval

De hoek van golfaanval is de hoek die de golfrichting (of windrichting) maakt met de loodrechte lijn op de dijk. In figuur 44 is dat schematisch weergegeven.



Figuur 44: schematische weergave van hoek van golfaanval [bron 6.5]

Deze hoek heeft invloed op golfoploop en –overslag bij de dijk. Daardoor dient er een invloedsfactor voor bepaald te worden die vervolgens meegenomen wordt in de bepaling van golfoploop en –overslag bij de dijk. De invloedsfactor voor de hoek van golfaanval wordt met de volgende formule bepaald.

$$\gamma_{\beta} = 1 - 0,0022 |\beta|$$

Formule 3.15 [bron 6.5]

Hierin geldt:

γ_{β} = Invloedsfactor voor hoek van golfaanval [-]

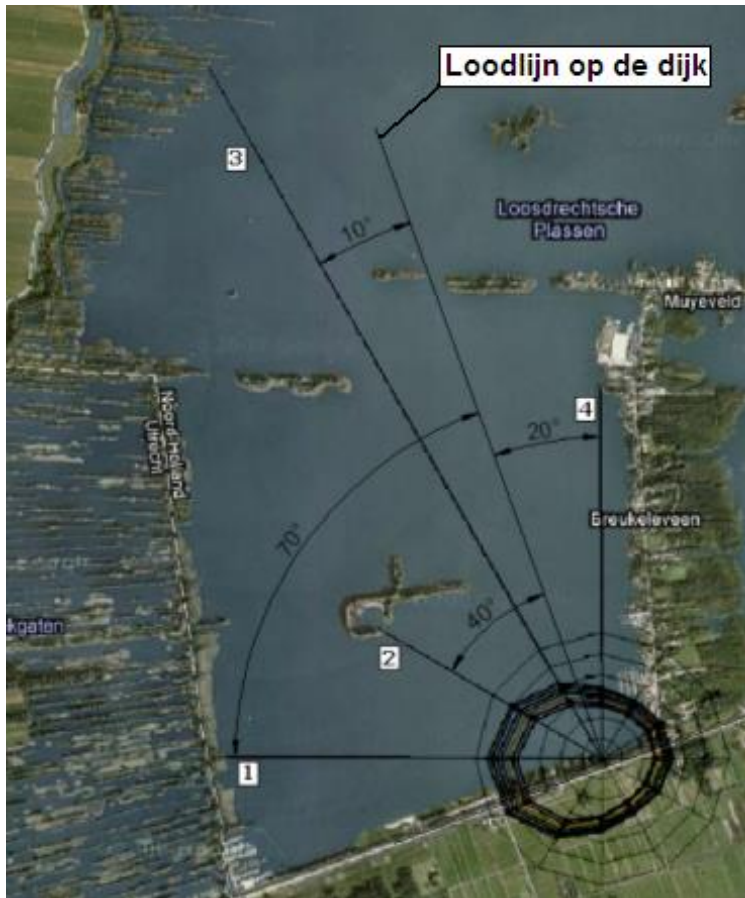
β = Hoek die de golfrichting (of windrichting) maakt met loodrechte lijn op de dijk [°]

Deze formule is geldig in het gebied met een hoek tussen 0 en 80 graden ($0^{\circ} \leq \beta \leq 80^{\circ}$).

In vooronderzoek 2 zijn vier maatgevende windrichtingen op de dijk bepaald. Elke windrichting maakt een hoek met de loodrechte lijn op de dijk. Deze hoeken worden opgemeten en vervolgens ingevoerd in formule 3.15. De uitkomsten zijn samen met de gemeten hoeken in tabel 14 weergegeven. In tabel 14 zijn de vier windrichtingen gecodeerd met de nummers 1 tot en met 4. Deze coderingen zijn in figuur 45 bij de desbetreffende windrichting weergegeven.

Windrichting		Hoek van golfaanval in graden t.o.v. loodrechte lijn op de dijk	Invloedsfactor voor hoek van golfaanval (γ_{β})
1	W	70	0,846
2	WNW	40	0,912
3	NNW	10	0,978
4	N	20	0,956

Tabel 14: hoek van golfaanval (β) en de invloedsfactor voor hoek van golfaanval (γ_{β})



Figuur 45: Hoek van golfaanval van de vier windrichtingen op de dijk [bron 2.2]

Golfbrekiingsparameter

De golfbrekiingsparameter van elke windrichting wordt met de volgende formule bepaald.

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}} \quad \text{Formule 3.7c [bron 6.5]}$$

Hierin zijn de parameters als volgt:

ξ_0 = golfbrekiingsparameter [-]

$$S_0 = \text{golfsteilheid [-]} = \frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2} \quad \text{Formule 3.7ca [bron 6.5]}$$

α = hoek van talud [°]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

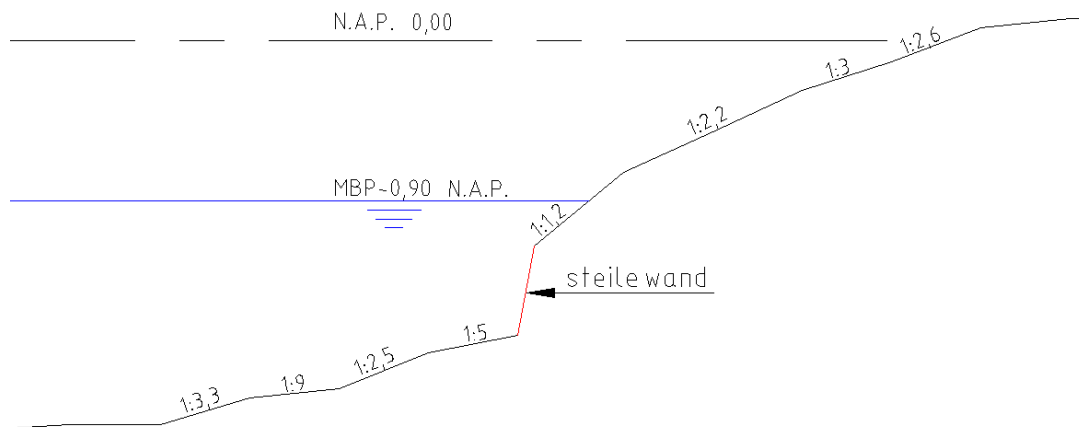
$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

g = gravitatiekracht [m/s^2]

Zoals in de formule af te lezen is, wordt de golfbrekiingsparameter bepaald door de golfsteilheid en de hoek van het buitentalud. Hierna worden deze invoerparameters bepaald.

Hoek van buitentalud

Het buitentalud van het maatgevende dijkstuk bestaat uit taluddelen met verschillende hellingen (zie figuur 46).

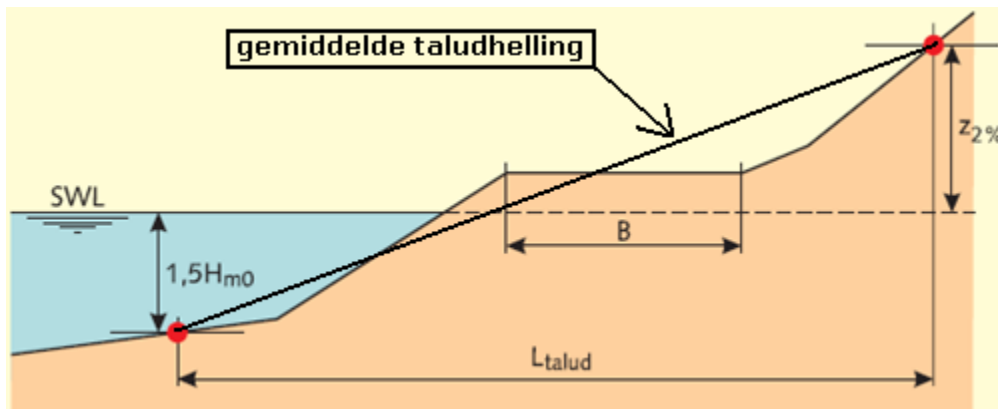


Figuur 46 Huidig buitentalud met verschillende hellingen [bron 4.3]

Voor de bepaling van de golfbrekingsparameter dient gerekend te worden met één taludhelling. Indien een talud uit taluddelen met verschillende hellingen bestaat, dient er een gemiddelde taludhelling bepaald te worden.

De gemiddelde taludhelling is de lijn tussen de volgende twee punten op het talud:

- $1,5 \cdot H_{m0}$ ten opzichte van waterlijn en $+ z_{2\%}$ of $+ 1,5 \cdot H_{m0}$ ten opzichte van de waterlijn. Eventuele aanwezige bermstukken worden buiten beschouwing gelaten. In figuur 47 is dat schematisch weergegeven.



Figuur 47: Schematische weergave van definitie van gemiddelde taludhelling [bron 6.7]

In formule vorm is dit als volgt:

$$\tan \alpha = \frac{1,5H_{m0} + 1,5H_{m0}}{L_{talud} - B}$$

Formule 3.16 [bron 6.5]

$$\tan \alpha = \frac{1,5H_{m0} + z_{2\%}}{L_{talud} - B}$$

Formule 3.17 [bron 6.5]

Hierin geldt:

$\tan \alpha$ = gemiddelde taludhelling [°]

H_{m0} = spectrale golfhoogte bij de teen van de dijk [m]

$z_{2\%}$ = golfploophoogte boven stilwaterlijn (SWL) [m]

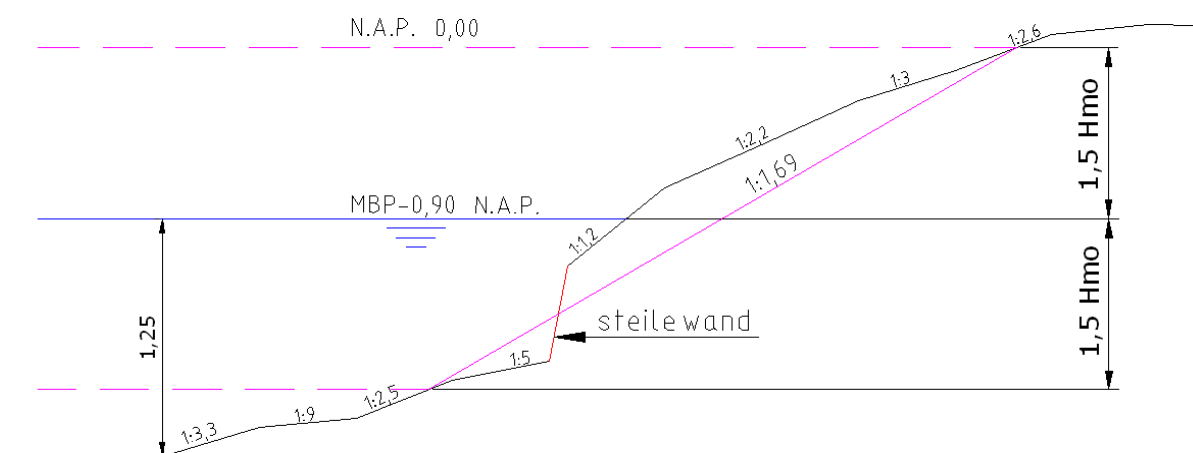
L_{talud} = lengte van talud vanaf SWL - $1,5 \cdot H_{m0}$ tot SWL + $z_{2\%}$ [m] of de
lengte van het talud vanaf SWL - $1,5 \cdot H_{m0}$ tot SWL + $1,5 \cdot H_{m0}$ [m]

B = bermbreedte [m]

Indien $z_{2\%}$ golfploop bekend is, kan dit gebruikt worden. Voorlopig is dit niet bekend. Daarom mag gebruik worden gemaakt van $+1,5 \cdot H_{m0}$; Dat is dus formule 3.16.

Voor de bepaling van de gemiddelde taludhelling is de spectrale golfperiode benodigd. Er zijn vier verschillende spectrale golfhoogten bekend. Er wordt gerekend met de meest maatgevende golfhoogte. Deze is al bepaald in de paragraaf Invloedsfactor van wand. Deze is bepaald op basis van de grootste golfenergie. Dat is de golf met de grootste hoogte. Deze is 0,60 meter.

Omdat de golfhoogte bekend is, wordt $-1,5 \cdot H_{m0}$ en $+1,5 \cdot H_{m0}$ uitgezet ten opzichte van de waterlijn (zie figuur 48). Vervolgens wordt de gemiddelde taludhelling bepaald tussen deze twee punten. Hieruit volgt een gemiddelde taludhelling van 1:1,69. In figuur 48 is dat met een paarse lijn weergegeven.



Figuur 48 Schematisch weergave van gemiddelde taludhelling op buitentalud van huidige dijk [bron 4.3]

Zoals in figuur 48 te zien is, wordt het taluddeel onder SWL $-1,5 \cdot H_{m0}$ (het taluddeel onder de paars gestreept lijn) niet meegerekend met de gemiddelde taludhelling.

Dit deel zal hoogstwaarschijnlijk wel invloed hebben op de golven, want er geldt: als de waterdiepte (d) kleiner is dan een halve golflengte (L) dan zullen de golven weerstand ondervinden van de producten onder de waterlijn.

Hierna wordt dit nagegaan. Eerst wordt de golflengte bepaald. Dit wordt gedaan met de volgende formule:

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \quad \text{Formule 3.6 [bron 6.3]}$$

Hierin is:

L = golflengte [m]

g = gravitatiekracht [m/s²]

T = golfperiode [s]

Er wordt gerekend met de golfperiode die behoort bij de meest maatgevende windrichting; dit is 2,67 seconden. De gravitatiekracht is al bekend; Dit is 9,81 m/s².

Na het invullen van deze parameters in formule 3.6, komt een golflengte van 11,13 meter uit. De teen van de dijk ligt op een diepte van 1,25 meter ten opzichte van de maatgevende waterlijn (zie figuur 48).

De verhouding wordt als volgt: $d < \frac{1}{2} \cdot L = 1,25 < \frac{1}{2} \cdot 11,13 = 1,25 < 5,57$. De verhouding klopt. Dat betekent dat de golven weerstand ondervinden van het taluddeel onder de grenslijn: $SWL -1,5 \cdot H_{m0}$.

Daarom wordt dit taluddeel meegerekend met de gemiddelde taludhelling.

De gemiddelde taludhelling wordt bepaald vanaf de teen van de dijk tot aan $+1,5 \cdot H_{m0}$ ten opzichte van de waterlijn. Hieruit volgt een gemiddelde taludhelling van 1:2.

Golfsteilheid

De golfsteilheid wordt met de volgende formule bepaald:

$$S_0 = \frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2} \quad \text{Formule 3.7ca [bron 6.5]}$$

Hierin zijn de parameters als volgt:

S_0 = golfsteilheid [-]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

g = gravitatiekracht [m/s²]

De spectrale golfhoogte en –periode zijn in de paragraaf Spectrale golfhoogte en golfperiode bepaald voor alle vier windrichtingen. Ze zijn terug te vinden in tabel 13. De gravitatiekracht is bekend; Dit is 9,81 m/s².

Na het invullen van de parameters in formule 3.7ca volgen de uitkomsten. Deze zijn weergegeven in tabel 15.

Windrichting	Golfsteilheid
1 W	0,054
2 WNW	0,057
3 NNW	0,049
4 N	0,053

Tabel 15 Golfsteilheid van alle vier windrichtingen

Uitkomsten op golfbrekingsparameter

Alle invoerparameters voor de golfbrekingsparameter zijn bekend. De golfbrekingsparameter wordt voor alle vier windrichtingen bepaald. De uitkomsten zijn weergegeven in tabel 16.

Windrichting	Golfbrekingsparameter
1 W	2,15
2 WNW	2,10
3 NNW	2,26
4 N	2,17

Tabel 16 Golfbrekingsparameter voor alle vier windrichtingen

5.5.3 Uitkomsten Hoofdonderzoek

Alle invoerparameters voor de formules van golfploop en -overslag zijn bepaald. Alvorens de berekening van golfploop en -overslag gemaakt wordt, dient eerst de juiste formule bepaald te worden. Want zoals bekend gemaakt onder paragraaf Golfploop en golfoverslag –formules, zijn er twee formules ter bepaling van de golfploop en twee formules ter bepaling van golfoverslag. Elke formules geldt voor een bepaalde geldigheidsgebied. Deze geldigheidsgebied wordt bepaald met de golfbrekingsparameter en de invloedsfactor van de bermstuk. Hierna worden deze geldigheidsgebieden weergegeven. De genoemde formules zijn terug te vinden in paragraaf: Golfploop en golfoverslag –formules

Bij golfploopformules zijn de geldigheidsgebieden als volgt:

Formule 3.10: geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

Formule 3.11: geldig in het gebied $1,8 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 8 \text{ á } 10$

Bij golfoverslag formules zijn de geldigheidsgebieden als volgt:

Formule 3.12: geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$

Formule 3.13: geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 > \approx 2 \text{ á } 2,5$

De invloed van het bermstuk is 1. De golfbrekingsparameter van alle vier windrichtingen zijn weergegeven in tabel 16; deze liggen tussen 2 en 2,5. Hieruit volgt dat de volgende formules van toepassing zijn.

Voor de bepaling van golfploophoogte:

$$Z_{2\%} = H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot (4,3 - 1,6 / \sqrt{\xi_0})$$

Formule 3.11 [bron 6.5]

Formule 3.11: geldig in het gebied $1,8 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 8 \text{ á } 10$

Voor de bepaling van (gemiddeld) golfoverslagdebiet:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)$$

Formule 3.12 [bron 6.5]

Formule 3.12: geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$

Met deze twee formules (3.11 en 3.12) worden de golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie bepaald voor alle vier windrichtingen. Om het overzichtelijk te maken, worden alle bepaalde invoerparameters in tabel 17 weergegeven.

Invoerparameter	Symbool	Windrichting 1 W	Windrichting 2 WNW	Windrichting 3 NNW	Windrichting 4 N
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,60	0,50	0,54	0,38
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,67	2,38	2,66	2,14
Kruinhoogte	h_k	1,02	1,02	1,02	1,02
Invloedsfactor voor bermstuk	γ_b	1	1	1	1
Invloedsfactor voor wand	γ_v	0,85	0,85	0,85	0,85
Ruwheidfactor van materiaal op buitentalud	γ_f	1	1	1	1
Gravitatie kracht	g	9,81	9,81	9,81	9,81
Golfbrekiingsparameter	ξ_0	2,15	2,10	2,26	2,17
invloedsfactor voor hoek van golfaanval	γ_β	0,846	0,912	0,978	0,956

Tabel 17: Invoerparameters voor golfoploop en golfoverslag –formules

Na het invullen van alle parameters in de golfoploop en golfoverslag –formules (formule 3.11 en 3.12) volgen uitkomsten voor alle vier windrichtingen. Deze zijn weergegeven in tabel 18.

Windrichting	Golfoploophoogte in meters (m)	Gemiddelde golfoverslagdebiet in liter/meter/seconde (l/m/s)
1 W	1,63	2,65
2 WNW	1,46	1,02
3 NNW	1,71	3,54
4 N	1,17	0,22

Tabel 18: Golfoploop en –overslag bij huidige dijkgeometrie voor alle vier windrichtingen

Conclusie

Uit de resultaten is af te lezen dat de windrichting vanuit noordnoordwest (NNW) de grootste mate van golfoploop en –overslag veroorzaakt bij de huidige dijkgeometrie.

De uitkomst van dit hoofdonderzoek is daarmee bepaald. De windrichting vanuit noordnoordwest (NNW) is de meest maatgevende van alle vier windrichtingen.

Binnen deze opdracht zal in het vervolg gerekend worden met deze windrichting en de bijbehorende gegevens zoals o.a. de golfrandvoorwaarden.

5.5.4 Consequenties

Wind vanuit noordnoordwest (NNW) veroorzaakt onder de extreme omstandigheid de volgende golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie:

Golfoploophoogte: 1,71 m
Golfoverslagdebiet: 3,54 l/m/s

De golfoploophoogte en de kruinhoogte zijn beide ten opzichte van de maatgevende waterstand.

De kruinhoogte is 1,02 meter. De golfoploophoogte is dus veel hoger dan de kruinhoogte. De minimale waakhogte van de dijk wordt dus overschreden.

Als de golfoploophoogte hoger uitkomt dan de kruinhoogte, dan betekent dat de golfoploop de dijk kruin bereikt en vervolgens overgaat tot golfoverloop. Dit gaat door naar het achterliggende gebied.

De dijk Nieuwe Weg zal dan gaan falen op het mechanisme golfoploop.

De huidige dijk is aan het binnen- en buitentalud en een deel van de kruin bedekt met grasbekleding. Het begroeiingstype van deze grasbekleding kan een maximaal golfoverslagdebiet van 0,10 l/m/s weerstaan. Een beperkt golfoverslagdebiet tot maximaal 0,10 l/m/s is toegestaan, bij een hoger golfoverslagdebiet dan 0,10 l/m/s gaat er erosie aan de grasbekleding ontstaan.

Het gemiddelde golfoverslagdebiet dat optreedt onder de extreme omstandigheid is 3,54 l/m/s. Dit is veel meer dan het maximaal toegestane golfoverslagdebiet die de grasbekleding aan kan. Dat betekent dat de grasbekleding op het binnentalud van de dijk gaat eroderen onder de extreme omstandigheid als gevolg van golfoverslagdebiet.

Naast het hoge golfoverslagdebiet is de stormduur op de Loosdrechtsche Plassen vrij hoog; Hierdoor gaat de erosie door tot aan de onderlagen van de grasbekleding. Onder de extreme omstandigheid zal het binnentalud van de dijk langzaam weg eroderen, waardoor het gaat bezwijken. Hierdoor wordt de kans op afschuiven van binnentalud vergroot.

Daarnaast gaat er een groot hoeveelheid water als golfoverslag en golfoverloop het achterliggende gebied in. Dit kan voor wateroverlast zorgen. Dat betekent dat de dijk Nieuwe Weg ook faalt op de functie: beschermen van het achterland tegen wateroverlast.

De dijk Nieuwe Weg zal dus onder de extreme omstandigheid bezwijken, falen op: golfoploop, golfoverslag en het beschermen van het achterliggende gebied tegen wateroverlast. Hierdoor komt zowel de dijk als het achterliggende gebied in gevaar.

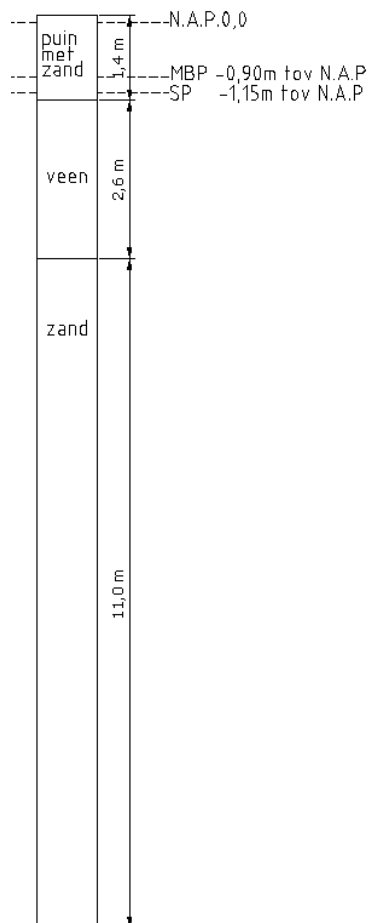
5.6 Uitkomsten van alle onderzoeken

In de drie vooronderzoeken en het hoofdonderzoek zijn een aantal aspecten van de dijk en de maatgevende situatie onderzocht. De uitkomsten zijn in de desbetreffende paragrafen weergegeven.

Deze uitkomsten kunnen benodigd worden voor het ontwerp en uitwerkingen van de varianten en het definitieve variant.

Om het overzichtelijk te maken worden alle uitkomsten verzameld en in deze paragraaf weergegeven. Deze zijn als volgt:

- De windrichting vanuit Noordnoordwest (NNW) is meest maatgevend; Eveneens als de bijbehorende randvoorwaarden. Deze zijn als volgt:
 - Strijk lengte van 2960 meter
 - Windsnelheid van 17,9 m/s
 - Significante golfhoogte van 0,54 meter
 - Spectrale golfhoogte van 0,54 meter
 - Significante golfperiode van 2,71 seconden
 - Spectrale golfperiode van 2,66 seconden
 - De hoek van golfaanval is 10 graden ten opzichte van de loodrechte lijn op de dijk
- Het maatgevende dijkstuk heeft de volgende gegevens:
 - De huidige (gemiddelde) helling van het buitentalud is 1:2.
 - De kruinhoogte is 1,02 meter ten opzichte van de maatgevende waterstand. Dit is gelijk aan 0,12 meter t.o.v. NAP.
 - De steile wand op het buitentalud bevindt zich onder zowel het streefpeil als het maatgevende waterpeil.
 - De grondopbouw van het maatgevende dijkstuk is als volgt:



Figuur 49 Grondopbouw van maatgevende dijkstuk [bron 4.2]

Uit deze grondopbouw is op te merken dat het dijklichaam voor een groot deel uit veen bestaat. Veen heeft als eigenschap dat het snel inklinkt als het droog komt te liggen. Om te voorkomen dat het inklinkproces van de dijk versneld wordt, dient het veen nat gehouden te worden bij veranderingen aan de huidige dijk. Dit kan bereikt worden door geen waterdichte materialen op het huidige buitentalud van de dijk toe te passen, zodat water vanuit Loosdrechtsche Plassen het veen kan bereiken.

- Er gelden de volgende invloedsfactoren voor golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie:
 - Bermfactor van 1
 - Wandfactor van 0,85
 - Materiaalfactor van 1
 - Factor voor hoek van golfaanval is 0,978

- Verder zijn de volgende hydraulische randvoorwaarden naar voren gekomen:
 - De breedte van het waterbekken die geldt voor de dijk Nieuwe Weg is 1640 meter.
 - De hoogte van de opwaaiing bij het meest maatgevende dijkstuk is 0,14 meter. De bepaling van deze opwaaiing is terug te vinden in de bijlage 3 Bepaling van Opwaaiinghoogte.
 - Golfbrekingsparameter van 2,26
 - Onder de extreme omstandigheid is de golfoploophoogte bij de huidige dijkgeometrie 1,71 meter.
 - Onder de extreme omstandigheid is het (gemiddelde) golfoverslagdebiet bij de huidige dijkgeometrie 3,54 l/m/s.

Hoofdstuk 6 Varianten

6.1 Inleiding

In Hoofdstuk 5 Probleem onderzoek onder paragraaf 5.7 Consequenties werd toegelicht dat de huidige dijkgeometrie de golfoploophoogte en de (gemiddelde) golfoverslagdebiet onder de extreme omstandigheid niet kan weerstaan. De dijk zal dan falen en bezwijken.

Om deze bezwijkmechanismen te voorkomen zodat de dijk veilig blijft, dienen er oplossingen gevonden te worden.

In dit hoofdstuk wordt onderzoek gedaan naar varianten die golfoploop en –overslag bij een dijk reduceren. Om een richtlijn te hebben worden de volgende zaken aangehouden:

- De dijk Nieuwe Weg wordt als model gebruikt; De varianten worden onderzocht bij het maatgevende dijkstuk van de dijk Nieuwe Weg. Dit betekent tevens dat de varianten oplossingen zijn voor de problemen die genoemd zijn onder paragraaf 5.7 Consequenties dat zich bevindt in Hoofdstuk 5 Probleem onderzoek.
- De varianten worden ontworpen conform de eisen die genoemd zijn onder Programma van eisen.
- De uitgangspunten die genoemd zijn onder Uitgangspunten zullen in het ontwerp van de varianten gehanteerd worden.
- Er zal gebruik worden gemaakt van een aantal randvoorwaarden die genoemd zijn onder Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden en uitkomsten uit paragraaf 5.6 Uitkomsten probleemonderzoek. In het laatstgenoemde hoofdstuk bevinden zich randvoorwaarden die uit de vooronderzoeken en het hoofdonderzoek zijn voortgekomen.

In dit hoofdstuk komen de volgende hoofdonderdelen aan de orde:

- Aanleiding tot varianten
- De varianten; Bij elke variant worden de volgende onderdelen uitgevoerd:
 - Beschrijving van het ontwerp
 - Beschrijving van de reducerende werking op golfoploop en –overslag.
 - Berekening van golfoploophoogte en het (gemiddelde) golfoverslagdebiet met de meest maatgevende randvoorwaarden die gelden voor een veiligheidsnorm van 1:100 jaar.
 - Toetsing van de variant aan de eisen die opgenomen zijn in Programma van eisen. Na elke toetsing volgt het toetsingsresultaat.
Uit Hoofdstuk 3 Programma van eisen zijn de eisen verdeeld over een aantal categorieën. Een aantal van deze categorieën gelden niet voor deze afstudeeropdracht. Om het overzichtelijk te maken worden de eisen die binnen deze categorieën vallen niet genoemd. De varianten wordt getoetst op alleen de eisen die gelden voor deze afstudeeropdracht.
 - Als laatst wordt een conclusie gegeven op de bepaalde golfoploop en –overslag.

Aanleiding tot varianten

De varianten zullen op basis van de volgende zaken ontworpen worden.

- Ideeën en ervaring van de student
- Literatuurstudie; waaronder golventheorie
- Afhankelijkheidsfactoren van golfoploop en –overslag

De student heeft vanuit zijn opleiding en stagewerkzaamheden verschillende vormen van reductie op golfoploop en –overslag bij een dijk onderzocht. Hij heeft onder andere ervaren hoe het is om veranderingen aan de afhankelijkheidsfactoren van golfoploop en –overslag aan te brengen waardoor de uitkomst verandert. De student zal een aantal varianten ontwerpen volgens zijn ideeën en ervaringen die gerelateerd zijn aan de afhankelijkheidsfactoren van golfoploop en –overslag. Daarbij worden het eisenpakket en de uitgangspunten in acht genomen.

Hierna worden de afhankelijkheidsfactoren van golfoploop en –overslag onderzocht. Daarbij wordt er gezocht naar de afhankelijkheidsfactoren die variabel zijn, zodat de resultaten op golfoploop en –overslag bij de dijk veranderen naar een lagere waarde.

De golfoploop en –overslag bij een dijk zijn afhankelijk van de volgende factoren.

1. Golfhoogte
2. Golfperiode
3. Hoek van golfaanval
4. Gravitatiekracht
5. Hoek van buitentalud
6. Bermstuk op buitentalud
7. Ruwheid van bekledingsmateriaal op buitentalud
8. Kruinhoogte ten opzichte van waterlijn
9. Verticale of steile wand op buitentalud

De golfoploophoogte is afhankelijk van de punten 1 t/m 7 en het gemiddelde golfoverslagdebiet is afhankelijk van alle 9 punten.

De volgende afhankelijkheidsfactoren kunnen of mogen niet aangepast worden. Met deze afhankelijkheidsfactoren worden geen varianten gemaakt.

- Golfperiode
- Gravitatiekracht
- Hoek van golfaanval
- Kruinhoogte ten opzichte van waterlijn

Verder wordt er geen variant gemaakt die gerelateerd is aan de volgende afhankelijkheidsfactor.

- Verticale of steile wand op buitentalud

De redenen zijn als volgt:



Golfperiode

De bepaalde golfperiode waarmee gerekend wordt is een ontwikkelde golfperiode die zich bevindt bij de teen van de dijk. Een ontwikkelde golfperiode verandert alleen als de viscositeit van de vloeistof waarop de golven optreden veranderd wordt. In dit geval gaat het om het water van de Loosdrechtsche plassen. De viscositeit van deze vloeistof zal niet veranderd worden, omdat het volgende uitgangspunt eraan gerelateerd is:

- *De inrichting en producten in de omgeving van de dijk worden niet aangepast.*

Gravitatiekracht

De waarde van de gravitatiekracht is gebiedsafhankelijk. In Nederland geldt een vaste waarde voor de gravitatiekracht.

Hoek van golfaanval

De hoek van golfaanval wordt bepaald door de windrichting. Windrichtingen kunnen niet aangepast worden. Daarnaast is het volgens een opgestelde eis niet toegestaan om een andere windrichting aan te nemen dan de meest maatgevende windrichting.

Kruinhoogte ten opzichte van waterlijn

Deze afhankelijkheidsfactor mag niet aangepast worden. De reden is opgenomen in de uitgangspunten. Daarin worden de volgende gerelateerde uitgangspunten gesteld:

- Er wordt geen verandering aangebracht aan de kruinhoogte en het binnentalud van de huidige dijk.
- De aanwezige objecten op de dijk worden niet verwijderd als gevolg van aanpassingen voor de varianten.
- De inrichting en objecten rondom de dijk worden niet aangepast.

Verticale of steile wand op buitentalud

Op de huidige dijk is al een steile wand op het buitentalud aanwezig. Dat betekent dat er al een variant met een steile wand bestaat. Daarom wordt er geen nieuwe variant met een wand op het buitentalud ontworpen.

De volgende afhankelijkheidsfactoren zijn overgebleven.

- Bermstuk op het buitentalud
- Ruwheid van bekledingsmateriaal op buitentalud
- Hoek van buitentalud
- Golfhoogte

Hierna worden vijf varianten ontworpen die gerelateerd zijn aan deze afhankelijkheidsfactoren.

6.2 variant 1: Toepassen van een bermstuk

6.2.1 Ontwerp

Bij deze variant wordt alleen een bermstuk geplaatst op het buitentalud van de huidige dijkgeometrie. De overige dijkonderdelen blijven ongewijzigd. Dit wordt gedaan om te onderzoeken hoe groot de invloed van een bermstuk op golfoploop en –overslag bij de dijk is.

Een bermstuk kan een invloedsfactor van 0,6 tot en met 1 op golfoploop en –overslag hebben.

Een factor van 1 heeft geen invloed op golfoploop en –overslag. Het meest optimale bermstuk heeft de maximale reducerende werking die een bermstuk kan uitoefenen op golfoploop en –overslag bij een dijk; de invloedsfactor is dan 0,6. Dit optimaal bermstuk heeft een bepaalde bermbreedte en ligt op een bepaalde hoogte ten opzichte van de waterlijn.

Bij deze variant wordt een meest optimale bermstuk geplaatst die de maximale invloedsfactor van 0,6 heeft. In verband met de eis de afname van wateroppervlakte zo beperkt mogelijk te houden bij het ontwerpen van de varianten, wordt het bermstuk net onder het streefpeil aangelegd. Zoals bekend ligt de steile wand onder het streefpeil. Als gevolg van het plaatsen van het bermstuk, komt deze steile wand onder het bermstuk te liggen. De invloed van de steile wand op golfoploop en –overslag gaat dus verloren. De invloedsfactor van deze steile wand wordt dan 1.

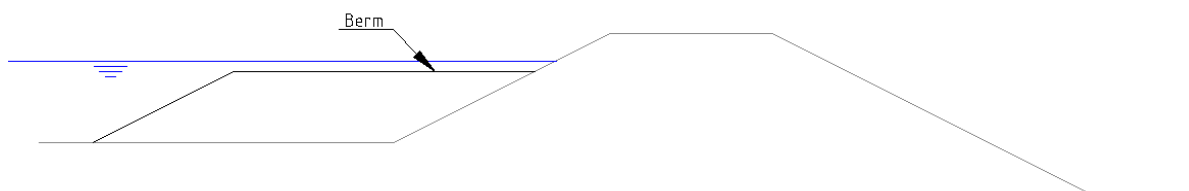
Het lichaam van het bermstuk wordt gemaakt van zand. Om erosie van zand tegen te gaan wordt het afgesloten met een waterdoorlatende geotextiel. Ter bescherming van het geotextiel wordt het bermstuk afgedekt met een waterdoorlatend hard bekledingsmateriaal zoals bijvoorbeeld breuksteen.

6.2.2 Reductie op golfoploop en golfoverslag

Door het plaatsen van een bermstuk op het buitentalud, wordt de waterdiepte voor het buitentalud over de bermbreedte verkleind (zie figuur 50). De inkomende golven zullen weerstand van het bermstuk ondervinden bij het passeren van het bermstuk. Als gevolg van deze weerstand verliezen de golven energie, waardoor ze reduceren in grootte. Als de golven bij het buitentalud aankomen, bevatten ze minder energie voor de oploop. Hierdoor zal de golfoploop veel minder zijn dan ervoor.

Doordat de golven kleiner zijn geworden, neemt de mate van golfoverslag bij de dijk ook af.

In deze variant zijn de volgende twee kenmerken belangrijk: waterdiepte op het bermstuk en de breedte van het bermstuk. Hierna worden deze kenmerken toegelicht.



Figuur 50: Schematische weergave van een bermstuk aan een dijk [bron 4.2]

Waterdiepte

De waterdiepte op het bermstuk speelt een belangrijke rol, want de waterdiepte bepaalt de grootte van de reductie van de golven. Doordat de waterdiepte afneemt door het bermstuk, komen de golven in contact met het bermstuk. Hoe kleiner de waterdiepte is, hoe meer golfdeel aan het bermstuk wrijft. Het bermstuk is het meest effectief als deze op de waterlijn ligt; de waterdiepte op het bermstuk is dan nul. Hierdoor zullen de golven voor een groot deel op het bermstuk reduceren.

De waterdiepte op het bermstuk mag absoluut niet te groot zijn, want bij een grote waterdiepte is de verticale afstand tussen het golfdal en de bodem van het bermstuk groot, waardoor de golven niet in contact komen met het bermstuk. Ze verliezen dus geen energie aan het bermstuk. In dat geval heeft het bermstuk geen invloed op golfoploop en –overslag. Dit is bij een waterdiepte (d) van meer dan twee keer de golfhoogte ($d > 2 \cdot H_{m0}$) of bij een waterdiepte van meer dan een halve golflengte (L) ($d > 1/2 \cdot L$). Bij het ontwerp dient hier rekening mee gehouden te worden.

Bermbreedte

De breedte van het bermstuk speelt een belangrijke rol. Zoals bekend verliezen de golven energie aan het bermstuk als ze hiermee in contact komen. Iedere afstand die de golven afleggen, verliezen ze een deel van hun energie. Hoe breder het bermstuk is, des te meer afstand de golven moeten afleggen; Dus des te meer ze energie verliezen voordat ze bij het buitentalud aankomen. De breedte van het bermstuk is echter beperkt tot een bepaalde grens. Nadat die grens is bereikt, heeft een extra verbreding geen zin meer. De grens ligt bij het bereiken van een invloedsfactor van 0,6 voor het bermstuk op de golfoploop en –overslag bij een dijk.

6.2.3 Bepaling van golfoploop en golfoverslag

Zoals hiervoor toegelicht veranderen bij deze variant alleen de invloedsfactoren voor het bermstuk en de steile wand. De overige parameters die benodigd zijn voor de bepaling van golfoploop en –overslag blijven hetzelfde als bij de huidige situatie. Het betreft hier gegevens van o.a. dijkgeometrie en golven.

Om het overzichtelijk te maken worden alle parameters die benodigd zijn voor de bepaling van golfoploop en –overslag bij deze variant in de volgende tabel weergegeven.

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,54	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,66	s
Kruinhoogte	h_k	1,02	m
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s^2
Invloedsfactor voor bermstuk	γ_b	0,6	-
Invloedsfactor voor wand	γ_v	1	-
Ruwheidfactor voor materiaal op buitentalud	γ_f	1	-
Golfbrekningsparameter	ξ_0	2,26	-
Invloedsfactor voor hoek van golfaanval	γ_β	0,978	-

Tabel 19 Invoerparameters voor bepaling van golfoploop en –overslag bij variant 1

De golfbrekingsparameter en de invloedsfactor van het bermstuk bepalen de keuze van de golfoploop en golfoverslag –formule. $\gamma_b \cdot \xi_0 = 0,6 \cdot 2,26 = 1,36$. Deze uitkomst bevindt zich in het geldigheidsgebied van de volgende formules:

Golfoploopformule:

$$Z_{2\%} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0} \quad \text{Formule 3.10 [bron 6.5]}$$

Formule 3.10: Geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

Golfoverslagformule:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \quad \text{Formule 3.12 [bron 6.5]}$$

Formule 3.12: Geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$

Met deze twee formules (formule 3.10 en 3.12) wordt de golfoploop en –overslag bij variant 1 bepaald. Na het invullen van de parameters uit tabel 19 in de formules, zijn de uitkomsten als volgt:

- Golfoploophoogte: 1,28 meter
- Gemiddelde golfoverslag debiet: 0,35 l/m/s

6.2.4 Toetsing van variant 1

In deze paragraaf worden het ontwerp en de resultaten op golfoploop en –overslag van variant 1 getoetst met de eisen die gesteld zijn aan de varianten. Deze eisen bevinden zich in Programma van eisen.

Eis 1: De nieuwe varianten moeten voldoen aan een veiligheidsnorm van 1:100 jaar. Daarbij dienen de varianten te voldoen aan de hieronder genoemde eisen 2 en 3.

Verder dienen de varianten ontworpen te worden volgens de meest maatgevende randvoorwaarden die behoren bij de veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

Toetsingresultaat van eis 1: Bij deze variant is gerekend met de meest maatgevende randvoorwaarden die gelden voor een veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

Deze variant heeft echter niet voldaan aan de eis, want de golven hebben de minimale waakhogte en het maximaal tegenstaande (gemiddelde) golfoverslagdebiet overschreden. Hierdoor gaat de dijk falen en bezwijken. De dijk en het achterliggende gebied komen in gevaar. Onder toetsingresultaat van eis 2 en 3 wordt hierop verder ingegaan.

Eis 2: De nieuwe varianten moeten aan de minimale waakhogte voldoen. De minimale waakhogte bestaat uit golfoploophogte + opwaaiing(scheefstand); Deze maken deel uit van de totale dijkhoogte (aanleghoogte van een dijk).

Toetsingresultaat van eis 2: Variant 1 heeft niet voldaan aan deze eis. De golfoploophogte van variant 1 komt veel hoger uit dan de kruinhogte. Het is 1,28 meter en de kruinhogte is 1,02 meter; Beide hoogtes zijn ten opzichte van het maatgevende waterpeil. De golfoploophogte komt dus $(1,28 - 1,02 =) 0,26$ meter hoger uit dan de kruinhogte. Dat betekent dat de golfoploop de dijk kruin bereikt en vervolgens overgaat tot golfoverloop. De minimale waakhogte die binnen de kruinhogte gereserveerd is wordt volledig overschreden.

Eis 3: De gemiddelde golfoverslagdebiet mag maximaal 0,1 l/m/s (liter/meter/seconde) zijn.

Toetsingresultaat van eis 3: Variant 1 heeft niet voldaan aan deze eis, want het (gemiddelde) golfoverslagdebiet bij deze variant is 0,35 l/m/s. Dit is veel hoger dan het maximaal toegestane (gemiddelde) golfoverslagdebiet. Bij het overschrijden van de gestelde eis, treedt er erosie aan de grasbekleding op de binnen- en buitentalud en een deel van de kruin op. Bij dit golfoverslagdebiet gaat de erosie door tot aan de onderlagen van de bekleding.

Eis 4: Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dient de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van de hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4. In formulevorm is dit als volgt: $\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,4$ [bron 6.5]

Toetsingresultaat van eis 4: Aan deze eis is voldaan. De combinatie van de drie invloedsfactoren zijn als volgt:
 $\gamma_b = 0,6 \quad \gamma_f = 1 \quad \gamma_\beta = 0,978 \rightarrow \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta = 0,6 \cdot 1 \cdot 0,978 = 0,59 \rightarrow 0,59 > 0,4$
de combinatie voldoet.

Eis 5: Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreden van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de waterbergingsoppervlakte.

Toetsingresultaat van eis 5: Aan deze eis is voldaan, want het aangelegde bermstuk komt onder het streefpeil te liggen. Er wordt dus geen wateroppervlakte door het bermstuk afgenomen.
Voor deze variant worden verder geen aanpassingen aan de dijk gedaan die leiden tot afname van wateroppervlakte.

Eis 6: Het ontwerp van de varianten dient waterdoorlatend te zijn i.v.m. het nat houden van het dijklichaam.

Toetsingresultaat van eis 6: Aan deze eis wordt voldaan. Het bermstuk bestaat uit zandkern, die afgedekt is met waterdoorlatend geotextiel en een open bekledingsmateriaal. Al deze materialen zijn waterdoorlatend. Hierdoor zal het water het bermstuk doordringen tot het dijklichaam. Hierdoor blijft het dijklichaam nat.



6.2.5 Conclusie variant 1

Uit de toetsing blijkt dat de variant niet heeft voldaan aan de gestelde veiligheidsnorm. Het bermstuk heeft echter wel een positieve invloed op reductie van golfoploop en –overslag bij de dijk. Om te zien hoe groot deze reducerende werking is, worden de resultaten van golfoploop en –overslag van deze variant vergeleken met die van de huidige dijkgeometrie.

De golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie zijn als volgt:

- Golfoploophoogte: 1,71 m
- Golfoverslagdebiet: 3,54 l/m/s

Door het plaatsen van alleen een bermstuk zijn deze golfgegevens gereduceerd naar de volgende waarden:

- Golfoploophoogte: 1,28 m
- Golfoverslag debiet: 0,35 l/m/s

In procenten uitgedrukt, heeft het bermstuk (en dus deze variant) de volgende reducerende resultaten op golfoploop en –overslag bij de dijk Nieuwe Weg behaald:

- 25% op golfoploophoogte
- 90% op golfoverslagdebiet

Uit de resultaten blijkt dat een bermstuk een hoge reducerende werking heeft op zowel golfoploop als –overslag. Het rendement is het hoogst bij golfoverslag.

De mate van golfreductie door een bermstuk kan bepaald worden door de breedte en de ligging van het bermstuk ten opzichte van de waterlijn. Deze twee factoren worden binnen golfoploop en –overslag vertaald naar de invloedsfactor van het bermstuk (γ_b). Deze factor kan minimaal 0,6 worden en maximaal 1.

Bij het behalen van een invloedsfactor van 0,60 heeft het bermstuk de maximale reducerende werking op golfoploop en –overslag.

Bij een factor van 1 oefent het bermstuk geen invloed op de golven uit. De bermbreedte is zeer klein en/of het bermstuk ligt erg diep onder de waterlijn. Als een bermstuk niet aanwezig is op een dijk, wordt de invloedsfactor van een bermstuk (γ_b) 1.

6.3 variant 2: Verruwen van buitentalud

6.3.1 Inleiding

Bij deze variant wordt het buitentalud van de dijk verruwd met een ruw bekledingsmateriaal. De overige dijkonderdelen van huidige dijkgeometrie blijven ongewijzigd. Dit wordt gedaan om te onderzoeken hoe groot de reductie op golfploop en –overslag is door het ruw materiaal.

Er zijn verschillende vormen van dijktalud verruwingen mogelijk. De volgende twee alternatieven worden op regionale dijken toegepast.

1. Verruwen met een natuurlijk materiaal als riet
2. Verruwen met een hard bekledingsmateriaal

Verruwen met een natuurlijk materiaal als riet

Bij het eerste alternatief wordt een natuurlijk materiaal op het buitentalud geplant dat werkt als een golfreducerend middel. Één van de meest toegepaste natuurlijke producten is riet. Deze plant wordt in de waterbouw gebruikt voor o.a. reduceren van golven. Daardoor wordt het langs o.a. sloten, plassen, meren en vaarwegen geplant.

De rietstengels worden dicht naast elkaar geplant, waardoor ze uitgroeien tot een dicht begroeid rietblok. Tussen de rietstengels is zeer weinig ruimte, hierdoor wordt er een dichte muur van rietstengels gecreëerd (zie figuur 51).



Figuur 51 Rietveld [bron 7.1]

Als het rietveld aangevallen wordt door golven, dan gaan de golven door het dicht begroeide rietblok heen en worden ze door de rietstengels onttrokken van hun energie, waardoor ze reduceren. Deze reductie wordt ook voor een deel behaald door de ruwe oppervlakte van de rietstengels. Want de ruwe oppervlakte oefent een aangrijpende werking uit op de golven.

Een rietveld heeft echter ook beperkingen. Één van de beperkingen is de golfhoogte. Onder de gemiddelde omstandigheden kan een rietveld een maximale golfhoogte van 0,25 meter dempen. Scheepsgolven in vaarwegen hebben een golfhoogte van minder dan 0,25 meter, daarom wordt een rietveld vaak langs vaarwegen toegepast.



Onder extreme omstandigheden kan een rietveld een maximale golfhoogte van 0,45 meter weerstaan. Hierbij is het rietveld niet in staat om zijn golfreducerende functie volledig vervullen.

Bij golven met een grotere hoogte dan 0,45 meter is een rietveld niet in staat om ze te reduceren. Het rietveld kan dan beschadigd raken.

De golfhoogte waarmee binnen dit project gerekend wordt is 0,54 meter. Een rietveld kan deze golfhoogte niet weerstaan. In combinatie met een golfbreker kan dit wel. Want door een golfbreker worden de golven voor een groot deel gereduceerd waardoor ze achter de golfbreker minder hoog zijn, het rietveld is dan in staat om de hoogte van de gereduceerde golven weerstaan; De golven worden dan (nogmaals) gereduceerd door het rietveld. In deze variant wordt geen golfbreker toegepast en daarom wordt er geen rietveld in deze variant toegepast. In variant 5 wordt een natuurvriendelijke oever gecreëerd met o.a. een golfbreker. Binnen deze variant wordt een rietveld toegepast.

Verruwen met een hard bekledingsmateriaal

Bij dit alternatief wordt het buitentalud bekleed met een hard ruw materiaal. Dit alternatief is toepasbaar voor alle soorten regionale waterkeringen; voor zowel kleine als grote dijken, dijken die onder golfaanvallen staan met kleine tot grote golfhoogtes. Aangezien de dijk Nieuwe Weg te maken heeft met golfaanvallen, kan dit alternatief toegepast worden. Daarom zal variant 2 bestaan uit dit alternatief.

Er zijn een aantal soorten harde bekledingsmaterialen voor een dijktaalud beschikbaar. De meest toegepaste materialen zijn weergegeven in tabel 9.31 die zich bevindt in bijlage 9 onder Paragraaf 9.4 Invloedsfactor van ruwheid van bekledingsmateriaal. In deze tabel is voor elk materiaal de invloedsfactor van ruwheid weergegeven. Deze invloedsfactor brengt de invloed van de ruwheid van het bekledingsmateriaal (op het buitentalud) in de golfoploop en –overslag.

De gegeven waarden voor de invloedsfactor gelden in principe voor golfhoogtes groter dan ongeveer 0,75 meter. Het is mogelijk dat voor kleinere golfhoogtes een naar verhouding grotere hydraulische ruwheid ontstaat en dus een lagere invloedsfactor.

De golfhoogte waarmee binnen deze afstudeeropdracht gerekend wordt is 0,54 meter; Dit is lager dan 0,75 meter. Omdat de golfhoogte laag is wordt niet gekozen voor de standaard reductie methode waarbij de gereduceerde invloedsfactor met een verhouding bepaald wordt (zoals hierboven beschreven). Er wordt binnen dit afstudeerproject gekozen voor een reductie van 10% op de invloedsfactor voor ruwheid van alle harde materialen die toegepast worden op de dijk.

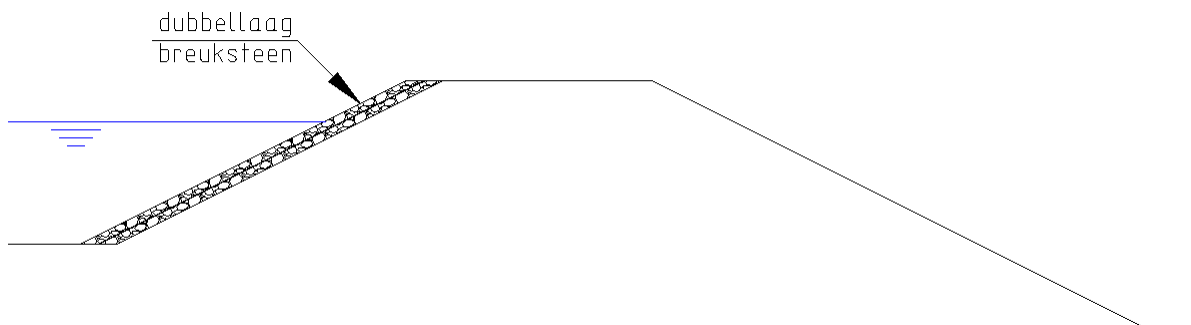
Voor deze variant wordt het ruwste harde materiaal toegepast. Daarnaast dient het materiaal waterdoorlatend te zijn, i.v.m. een gestelde eis aan het bekledingsmateriaal.

Uit tabel 9.31 die zich bevindt in bijlage 9 blijkt dat breuksteen het meest geschikte materiaal is. Dit materiaal heeft de hoogste ruwheidsfactor, het is waterdoorlatend en geschikt voor regionale keringen. Het wordt vooral toegepast in situaties waar de dijk bloot staat aan een grote wateroppervlakte met grote strijklengten, want op zulke wateroppervlakten ontstaan golven met hoge krachten. Breuksteen is door zijn eigenschappen goed in staat om de golfkrachten op te vangen.

Breuksteen wordt op twee manieren toegepast als bekledingsmateriaal op het buitentalud van een dijk. Elke methode heeft een ander ruwheidfactor. Deze zijn als volgt:

1. Enkele laag breuksteen met een ruwheidfactor van $\gamma_f = 0,70$ [bron 6.5]; na reductie van 10% is het $\gamma_f = 0,63$.
2. Twee lagen breuksteen met een ruwheidfactor van $\gamma_f = 0,55$ [bron 6.5]; na reductie van 10% is het $\gamma_f = 0,50$.

Binnen deze variant wordt gestreefd naar de hoogste reductie op golfoploop en –overslag die met verruwing van het buitentalud bereikt kan worden. Omdat een dubbellaag breuksteen de hoogste invloedsfactor heeft op reductie van golfoploop en –overslag, wordt deze methode toegepast voor deze variant. In figuur 52 is een schematisch profiel van een dijk met een dubbellaag breuksteen op het buitentalud weergegeven.



Figuur 52 Dubbele laag breuksteen op buitentalud toegepast [bron 4.2]

6.3.2 Ontwerp

Bij deze variant wordt één onderdeel van de huidige dijkgeometrie aangepast; namelijk het bekledingsmateriaal van buitentalud wordt vervangen door een ruwe harde materiaal. De overige dijkonderdelen blijven ongewijzigd. Dit wordt gedaan om te onderzoeken hoe groot de reductie op golfoploop en –overslag is door het ruw materiaal.

Zoals in Hoofdstuk 5 Probleem onderzoek in de paragraaf 5.5 Hoofdonderzoek bekend gemaakt, bestaat het buitentalud van de huidige dijkgeometrie uit een aantal verschillende hellingen. De gemiddelde helling is 1:2. Voor deze variant worden de verschillende hellingen opgevuld met zand. Vervolgens wordt het geprofileerd naar een helling van 1:2. Het wordt afgedekt met waterdoorlatend geotextiel om wegspoeling van zand tegen te gaan. Daar bovenop wordt de dubbellaag breuksteen geplaatst.



6.3.3 Reductie op golfoploop en golfoverslag

De reductie op golfoploop en –overslag door breuksteen wordt bereikt door de volgende twee eigenschappen van breuksteen:

- Ruwe oppervlakte
- Hoge permeabiliteit

Ruwe oppervlakte

De ruwe eigenschap oefent een aangrijpende werking uit op de golven. Hierdoor verliezen de golven energie en watermassa. Gevolg daarom is de golfoploophoogte en –overslagdebiet bij de dijk reduceren.

Als de golven het buitentalud van een dijk oplopen, dan zal de golfoploop onderweg weerstand ondervinden van deze aangrijpende werking, hierdoor verliest de golfoploop energie en watermassa. Als gevolg van energieverlies neemt de oploophoogte af.

Ook de golfoverslag zal als gevolg van verlies aan energie en watermassa verminderd worden.

Hoge permeabiliteit

De breukstenen liggen los op het buitentalud, tussen de stenen is er open ruimte. Bij golfaanvallen zal een deel van de golven in deze openruimte gaan, hierdoor wordt een deel van de energie en watermassa van de golven tussen de stenen opgenomen. De golven verliezen dus een deel van hun energie en watermassa. Gevolg daarom is dat de golfoploophoogte en –overslagdebiet bij de dijk reduceren.

6.3.4 Bepaling van golfoploop en golfoverslag

In deze variant veranderen drie dijkonderdelen ten opzichte van de huidige dijkgeometrie. Twee van deze onderdelen leveren een verandering op golfoploop en –overslag.

De drie veranderingen zijn als volgt:

1. De grasbekleding wordt vervangen door een dubbellaag breuksteen. Een dubbellaag breuksteen heeft op basis van de geldende golfhoogte op de Loosdrechtsche plassen een invloedsfactor van 0,50 op golfoploop en –overslag.
2. De steile wand komt onder het nieuwe buitentalud te liggen. Hierdoor verdwijnt de invloed van deze wand op golfoploop en –overslag. De invloedsfactor wordt dan 1.
3. De verschillende hellingen op het huidige buitentalud worden aangevuld tot een helling van 1:2. In het hoofdonderzoek uit Hoofdstuk 5 Probleem onderzoek is het huidige buitentalud gerekend tot een (gemiddelde) helling van 1:2. Doordat de taludhelling van dit alternatief ook 1:2 is, wordt dit niet gerekend tot een grote aanpassing die anders is dan bij huidige dijkgeometrie.

Alle benodigde gegevens voor de bepaling van golfoploop en –overslag voor variant 2 zijn bekend, ze worden overzichtelijk weergegeven in tabel 20.

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,54	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,66	s
Kruinhoogte	h_k	1,02	m
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s ²
Invloedsfactor voor Bermstuk	γ_b	1	-
Invloedsfactor voor Wand	γ_v	1	-
Ruwheidfactor van materiaal op buitentalud	γ_f	0,50	-
Golfbrekiingsparameter	ξ_0	2,26	-
Invloedsfactor voor hoek van golfaanval	γ_β	0,978	-

Tabel 20 Benodigde gegevens voor bepaling van golfoploop en –overslag voor variant 2

De golfbrekiingsparameter en de invloedsfactor van het bermstuk bepalen de keuze van de golfoploop en golfoverslag –formule. $\gamma_b \cdot \xi_0 = 1 \cdot 2,26 = 2,26$. Deze uitkomst bevindt zich in het geldigheidsgebied van de volgende formules:

Golfoploopformule:

$$Z_{2\%} = H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot (4,3 - 1,6 / \sqrt{\xi_0})$$

Formule 3.11 [bron 6.5]

Formule 3.11: Geldig in het gebied $1,8 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 8$ á 10

Golfoverslag formule:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)$$

Formule 3.12 [bron 6.5]

Formule 3.12: Geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2$ á $2,5$

Met deze twee formules (formule 3.11 en 3.12) wordt de golfoploop en –overslag voor variant 2 bepaald. Na het invullen van de parameters uit tabel 20 in de formules, zijn de uitkomsten als volgt:

- Golfoploophoogte: 0,85 meter
- Gemiddelde golfoverslag debiet: 0,17 l/m/s

6.3.5 Toetsing van variant 2

In deze paragraaf worden het ontwerp en de resultaten op golfoploop en –overslag van variant 2 getoetst met de eisen uit het Programma van eisen.

Eis 1: De nieuwe varianten moeten voldoen aan een veiligheidsnorm van 1:100 jaar. Daarbij dienen de varianten te voldoen aan de hieronder genoemde eisen 2 en 3.

Verder dienen de varianten ontworpen te worden volgens de meest maatgevende randvoorwaarden die behoren bij de veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

Toetsingresultaat van eis 1: Bij deze variant is gerekend met de meest maatgevende randvoorwaarden die gelden voor een veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

De variant heeft echter niet voldaan aan de eis, want de golven hebben de minimale waakhoogte en het maximaal toegestane (gemiddelde) golfoverslagdebiet overschreden. Hierdoor gaat de dijk falen en bezwijken. De dijk en het achterliggende gebied komen in gevaar. Onder toetsingresultaat van eis 2 en 3 wordt hierop verder ingegaan.

Eis 2: De nieuwe varianten moeten aan de minimale waakhoogte voldoen. De minimale waakhoogte bestaat uit golfoploophoogte + opwaaiing(scheefstand); Deze maken deel uit van de totale dijkhoogte (aanleghoogte van een dijk).

Toetsingresultaat van eis 2: Variant 2 heeft niet voldaan aan deze eis. De reden is als volgt:
De aanleghoogte van een dijk ten opzichte van het maatgevende boezempeil bestaat uit het volgende:

1. Zetting over planperiode
2. Golfoploophoogte
3. Opwaaiing

De minimale waakhoogte bestaat uit de punten 2 en 3. De huidige kruinhoogte ten opzichte van het maatgevende boezempeil is 1,02 meter. De zetting van de dijk Nieuwe Weg is 12 mm per jaar. De planperiode van de varianten is 30 jaar. De zetting over de planperiode wordt: $30 \times 12 \text{ mm} = 0,36 \text{ meter}$. De minimale waakhoogte wordt $1,02 - 0,36 = 0,66 \text{ meter}$. De golfoploophoogte is 0,85 meter bij dit alternatief; Dit is hoger dan 0,66 meter. De minimale waakhoogte wordt dus overschreden.

Eis 3: Het gemiddelde golfoverslagdebiet mag maximaal 0,1 l/m/s (liter/meter/seconde) zijn.

Toetsingresultaat van eis 3: Variant 2 heeft niet voldaan aan deze eis, want het (gemiddelde) golfoverslagdebiet bij deze variant is 0,17 l/m/s. Dit is hoger dan het maximaal toegestaan (gemiddeld) golfoverslagdebiet. Hierdoor gaan de grasbekleding en de onderlagen (die zich bevinden op het binnentalud en een deel op de kruin) eroderen

Eis 4: Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dienen de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4. In formulevorm is dit als volgt: $\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,4$ [bron 6.5]

Toetsingresultaat van eis 4: Variant 2 voldoet aan deze eis. De combinatie van de drie invloedsfactoren is als volgt: $\gamma_b = 1 \quad \gamma_f = 0,5 \quad \gamma_\beta = 0,978 \rightarrow \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,978 = 0,49 \rightarrow 0,49 > 0,4$ de combinatie voldoet.

Eis 5: Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreden van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor de waterberging.

Toetsingresultaat van eis 5: Variant 2 voldoet aan deze eis, want bij deze variant zijn geen veranderingen aangebracht die de wateroppervlakte doen afnemen. De breukstenen zijn wel wat breder dan de grasbekleding; hierdoor zal op het streefpeil als gevolg van de extra breedte van de stenen iets meer wateroppervlakte ingenomen worden. Doordat deze extra breedte zeer klein is, kan dit verwaarloosd worden. Er zijn verder geen andere veranderingen aan de huidige dijk aangebracht die gevolgen kunnen hebben voor de wateroppervlakte.

Eis 6: Het ontwerp van de varianten dient waterdoorlatend te zijn i.v.m. het nat houden van het dijklichaam.

Toetsingresultaat van eis 6: Variant 2 voldoet aan deze eis, want stortstenen zijn waterdoorlatend. Het water kan gemakkelijk tussen de stenen het dijklichaam bereiken.

6.3.6 Conclusie variant 2

Uit de toetsing blijkt dat variant 2 niet heeft voldaan aan de gestelde veiligheidsnorm. Het ligt echter niet aan de toegepaste golfreducerende maatregel, want het ruwe bekledingsmateriaal heeft een positieve invloed gehad op reductie van golfoploop en –overslag bij de dijk. Om te achterhalen hoe groot de reducerende werking is, worden de resultaten van golfoploop en –overslag van deze variant vergeleken met die van de huidige dijkgeometrie.

De golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie zijn als volgt:

- Golfoploophoogte: 1,71 m
- Golfoverslagdebiet: 3,54 l/m/s

Na het verruwen van het buitentalud met een dubbellaag breuksteen, zijn deze golfgegevens gereduceerd naar de volgende waarden:

- Golfoploophoogte: 0,85 m
- Golfoverslagdebiet: 0,17 l/m/s

In procenten uitgedrukt, heeft de dubbellaag breuksteen op het buitentalud de volgende reducerende resultaten op golfoploop en –overslag bij de dijk Nieuwe Weg behaald:

- 50% op golfoploophoogte
- 95% op golfoverslagdebiet

Uit de resultaten blijkt dat een dubbellaag breuksteen op het buitentalud van een dijk een hoge reducerende werking heeft op zowel golfoploop als –overslag. Het rendement is het hoogst bij golfoverslag. Breuksteen heeft naast de gunstige eigenschappen hardheid en hoge permeabiliteitswaarde ook een sterke golfreducerende werking. Dit is bewezen in deze variant.

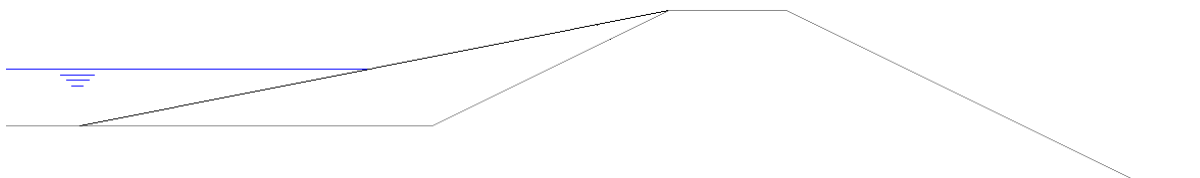
6.4 variant 3: verflauwen van buitentalud

6.4.1 Ontwerp

Bij deze variant wordt het buitentalud van de huidige dijk verflauwd. De helling van het huidige buitentalud is 1:2. De helling van een dijktaud mag maximaal 1:8 zijn. Voor deze variant betekent dit dat de helling tussen 1:2 en 1:8 moet liggen. De keuze voor een taludhelling kan op basis van een iteratief proces afgewogen worden. In dit iteratieve proces worden de taludhellingen uitgezet tegenover golfploophoogte en –overslagdebiet. Binnen deze variant wordt deze afweging niet gemaakt; Er wordt een gemiddelde taludhelling uit de beschikbare hellingen tussen 1:2 en 1:8 aangenomen; Dit is een helling van 1:5. Als gevolg van deze verflauwing komt de steile wand onder het buitentalud te liggen. De opbouw van dit extra taludstuk zal bestaan uit een kern van zand. Dit wordt afgedekt met waterdoorlatende geotextiel om uitspoeling van zand tegen te gaan. Ter bescherming van het geotextiel, wordt het nieuwe talud afgedekt met een hard waterdoorlatend bekledingsmateriaal.

6.4.2 Reductie op golfploop en golfoverslag

De hoek van het buitentalud heeft invloed op de mate van golfploop en –overslag bij een dijk. Bij het verkleinen van de hoek, wordt het buitentalud flauwer, waardoor de afstand vanaf de waterlijn tot aan de dijk kruin groter wordt. In figuur 53 is dit schematisch weergegeven. De reductie op golfploop en –overslag door het verflauwen van het buitentalud berust op energie en watermassa verlies van de golven. Hierna wordt dit toegelicht.



Figuur 53: verflauwen van buitentalud [bron 4.2]

Doordat golven energie bevatten, gaan ze het buitentalud oplopen. De oploop begint vanaf rondom de waterlijn, afhankelijk van de hoeveelheid energie kan dit doorgaan tot aan de dijk kruin en vervolgens overgaan tot golfoverslag.

De golven verbruiken energie om vooruit te komen. Naarmate ze meer afstand afleggen, verliezen ze meer energie. Als gevolg van energie verlies, neemt de grootte van de golven af. Daarnaast verliezen de golven watermassa door het afleggen van de afstand over het talud.

Als het buitentalud verflauwd wordt, neemt de afstand vanaf de waterlijn tot aan de dijk kruin toe; hierdoor moeten de golven meer afstand afleggen dan voorheen om tot aan de dijk kruin te komen.

Als gevolg van deze extra afstand, verliezen de golven extra energie en watermassa.

Na een afstand afgelegd te hebben raakt de golfenergie op waardoor de golven niet verder komen; ze hebben dan een bepaalde oploophoogte bereikt. Deze golfploophoogte is kleiner dan voorheen (bij een steil buitentalud).

Als gevolg van het verlies van energie en watermassa, neemt ook het golfoverslagdebiet bij de dijk af.

6.4.3 Bepaling van golfoploop en golfoverslag

Bij deze variant veranderen de volgende dijkonderdelen ten opzichte van het huidige dijkprofiel:

1. Het buitentalud wordt verflauwd naar 1:5. Voor de berekening van golfoploophoogte en –overslagdebiet betekent dit een verandering van de golfbrekiingsparameter (ξ). Zoals bekend wordt deze parameter berekend met een formule. Binnen deze formule blijven de overige invoerparameters hetzelfde als bij die van de huidige dijkgeometrie; Alleen de taludhelling verandert van 1:2 naar 1:5.
Na het aanpassen van de taludhelling binnen de formule van golfbrekiingsparameter, wordt de golfbrekiingsparameter voor deze variant 0,90.
2. De steile wand verdwijnt; Dit betekent dat de wand geen invloed meer heeft op de golven.
De invloedsfactor voor een wand wordt dan 1. Want een factorwaarde van 1 oefent geen invloed uit op golven.
3. De huidige grasbekleding verdwijnt onder het nieuwe buitentalud. Er komt wel een nieuwe bekledingsmateriaal op het buitentalud van deze variant. Omdat de invloed van het bekledingsmateriaal op het buitentalud in variant 2 is onderzocht, wordt binnen deze variant de invloed van het nieuwe bekledingsmateriaal op het buitentalud niet meegenomen. Voor de berekening van golfoploop en –overslag wordt de invloedsfactor van het nieuwe bekledingsmateriaal op het buitentalud 1.
Dit komt mede doordat binnen deze variant het onderzoek gericht is op de invloed van een verflauwd buitentalud op de mate van golfoploop en –overslag.

De overige gegevens die benodigd zijn voor de bepaling van golfoploop en –overslag blijven hetzelfde als bij de huidige situatie. Dit zijn gegevens van o.a. dijkgeometrie en golven. Om het overzichtelijk te houden worden alle benodigde gegevens voor de bepaling van golfoploop en –overslag voor deze variant in de volgende tabel weergegeven.

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,54	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,66	s
Kruinhoogte	h_k	1,02	m
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s ²
Invloedsfactor voor bermstuk	γ_b	1	-
Invloedsfactor voor wand	γ_v	1	-
Ruwheidfactor van materiaal op buitentalud	γ_f	1	-
Golfbrekiingsparameter	ξ_0	0,90	-
Invloedsfactor voor hoek van golfaanval	γ_β	0,978	-

Tabel 21 Invoerparameters voor bepaling van golfoploop en –overslag bij variant 3

De golfbrekingsparameter en de invloedsfactor van het bermstuk bepalen de keuze van de golfoploop en golfoverslag –formule. $\gamma_b \cdot \xi_0 = 1 \cdot 0,90 = 0,90$. Deze uitkomst bevindt zich in het geldigheidsgebied van de volgende formules:

Golfoploopformule:

$$Z_{2\%} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0} \quad \text{Formule 3.10 [bron 6.5]}$$

Formule 3.10: Geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

Golfoverslag formule:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \quad \text{Formule 3.12 [bron 6.5]}$$

Formule 3.12: Geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$

Met deze twee formules (formule 3.10 en 3.12) wordt de golfoploop en –overslag bij variant 3 bepaald. Na het invullen van de parameters uit tabel 21 in de formules, zijn de uitkomsten als volgt:

- Golfoploophoogte: 0,83 m
- Gemiddelde golfoverslag debiet: 0,017 l/m/s

6.4.4 Toetsing van variant 3

In deze paragraaf wordt het ontwerp en de resultaten op golfoploop en –overslag van variant 3 getoetst met de eisen uit het Programma van eisen.

Eis 1: De nieuwe varianten moeten voldoen aan een veiligheidsnorm van 1:100 jaar. Daarbij dienen de varianten te voldoen aan de hieronder genoemde eisen 2 en 3.

Verder dienen de varianten ontworpen te worden volgens de meest maatgevende randvoorwaarden die behoren bij de veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

Toetsingresultaat van eis 1: Bij deze variant is gerekend met de meest maatgevende randvoorwaarden die gelden voor een veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

De variant heeft echter niet voldaan aan de eis, want de golfoploophoogte heeft de minimale waakhogte overschreden. Hierdoor gaat de dijk falen. Onder toetsingresultaat van eis 2 wordt hierop verder ingegaan.

Eis 2: De nieuwe varianten moeten aan de minimale waakhogte voldoen. De minimale waakhogte bestaat uit golfoploophoogte + opwaaiing(scheefstand); Deze maken deel uit van de totale dijkhoogte (aanleghoogte van een dijk).

Toetsingresultaat van eis 2: Variant 3 heeft niet voldaan aan deze eis. De reden is als volgt:

De aanleghoogte van een dijk ten opzichte van het maatgevend boezempeil bestaat uit minimaal de volgende punten:

1. Zetting van de dijk over planperiode
2. Golfploophoogte
3. Opwaaiing

De minimale waakhogte bestaat uit de punten 2 en 3. De huidige kruinhoogte ten opzichte van het maatgevend boezempeil is 1,02 meter. De zetting van de dijk Nieuwe Weg is 12 mm per jaar. De planperiode van de varianten is 30 jaar. De zetting over de planperiode wordt: $30 \times 12 \text{ mm} = 0,36 \text{ meter}$. De minimale waakhogte wordt $1,02 - 0,36 = 0,66 \text{ meter}$. De golfploophoogte is 0,83 meter bij deze variant. Dit is hoger dan 0,66 meter. De minimale waakhogte wordt dus overschreden.

Eis 3: Het gemiddeld golfoverslagdebiet mag maximaal 0,1 l/m/s (liter/meter/seconde) zijn.

Toetsingresultaat van eis 3: Variant 3 heeft voldaan aan deze eis, want het (gemiddeld) golfoverslagdebiet bij deze variant is 0,017 l/m/s. Dit is veel lager dan het maximaal toegestaan (gemiddeld) golfoverslagdebiet

Eis 4: Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dienen de invloedsfactoren van deze twee dijaspecten in combinatie met de invloedsfactor van de hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4. In formulevorm is dit als volgt: $\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,4$ [bron 6.5]

Toetsingresultaat van eis 4: Aan deze eis is voldaan. De combinatie van de drie invloedsfactoren is bij deze variant als volgt: $\gamma_b = 1 \quad \gamma_f = 1 \quad \gamma_\beta = 0,978 \rightarrow \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta = 1 \cdot 1 \cdot 0,978 = 0,978 \rightarrow 0,978 > 0,4$; de combinatie voldoet.

Eis 5: Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreden van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor waterberging.

Toetsingresultaat van eis 5: Aan deze eis wordt niet voldaan. Door het verflauwen van het buitentalud, neemt de breedte van de dijk toe in de richting van de wateroppervlakte. Hierdoor wordt een stuk van de wateroppervlakte ingenomen. Indien dit leidt tot grote problemen voor o.a. eisen voor waterberging, kan dit opgelost worden door ergens anders (eventueel langs de Loosdrechtsche plassen) een nieuwe wateroppervlakte te creëren ter grootte van de afgenomen wateroppervlakte. Dit kan gedaan worden door een oppervlakte aan drooggrond onder water te laten lopen.

Eis 6: Het ontwerp van de varianten dient waterdoorlatend te zijn i.v.m. het nat houden van het dijklichaam.

Toetsingresultaat van eis 6: Aan deze eis is voldaan. Want de materialen die toegepast zijn voor het nieuwe taludstuk zijn allemaal waterdoorlatend.

6.4.5 Conclusie variant 3

Uit de toetsing blijkt dat deze variant niet heeft voldaan aan de gestelde veiligheidsnorm. Het ligt echter niet aan de toegepaste golfreducerende maatregel, want door het verflauwen van het buitentalud is de golfoploophoogte en het –overslagdebiet aanzienlijk gereduceerd ten opzichte van dezelfde golfgegevens bij de huidige dijkgeometrie.

Om te zien hoe groot de reducerende werking van deze variant op golfoploop en –overslag is, worden de resultaten van golfoploop en –overslag van deze variant vergeleken met die van de huidige dijkgeometrie.

De golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie zijn als volgt:

- Golfoploophoogte: 1,71 m
- Golfoverslagdebiet: 3,54 l/m/s

Na het verflauwen van het buitentalud, zijn dezelfde golfgegevens gereduceerd naar de volgende waarden:

- Golfoploophoogte: 0,83 m
- Golfoverslagdebiet: 0,017 l/m/s

In procenten uitgedrukt, heeft deze variant de volgende reducerende werking op golfoploop en –overslag bij de dijk Nieuwe Weg behaald:

- 52% op golfoploophoogte
- 100% op golfoverslagdebiet

Uit de resultaten blijkt dat een verflauwing van het buitentalud van een dijk een hoge reducerende werking heeft op zowel golfoploop als golfoverslag. Het rendement is het hoogst bij golfoverslag. Daarom is verflauwing van het buitentalud een goede oplossing tegen een hoog golfoverslagdebiet bij een dijk. De mate van golfreductie door de helling van het buitentalud kan verlaagd of verhoogd worden door de helling van het buitentalud aan te passen. Bij deze variant is gerekend met een helling van 1:5. Indien de helling flauwer wordt, wordt de reductie op golfoploop en –overslag bij de dijk hoger en bij een steilere helling neemt de reductie af.

Een flauwe helling van een buitentalud heeft nog een ander nadeel, het neemt oppervlakte aan openwater af. Dit kan slechte gevolgen hebben voor de waterhuishouding, want waterhuishouding is afhankelijk van openwateroppervlakte, verhard- en onverhardoppervlakte.

6.5 variant 4: combinatie van berm, ruwe en verflauwd talud

Golfoploop en –overslag bij een dijk is voor een groot deel afhankelijk van de dijkgeometrie. In de varianten 1, 2 en 3 zijn een aantal onderdelen van de huidige dijkgeometrie aangepast. Uit de resultaten bleek dat de aangepaste dijkonderdelen de golfoploop en –overslag sterk gereduceerd hebben. Deze aanpassingen kunnen voor dit afstudeerproject gerekend worden tot sterke punten. Bij de eerste drie varianten zijn er echter dijkonderdelen die geen of zeer beperkte reductie op golfoploop en –overslag hebben opgeleverd. Deze onderdelen kunnen gerekend worden tot zwakke punten.

Als de eerste drie varianten met elkaar gecombineerd worden tot een nieuwe variant, dan ontstaat een dijkgeometrie die alle zwakke punten van de drie varianten omzet tot sterke punten. Hierdoor zal de reductie op golfoploop en –overslag aanzienlijk verhoogd worden.

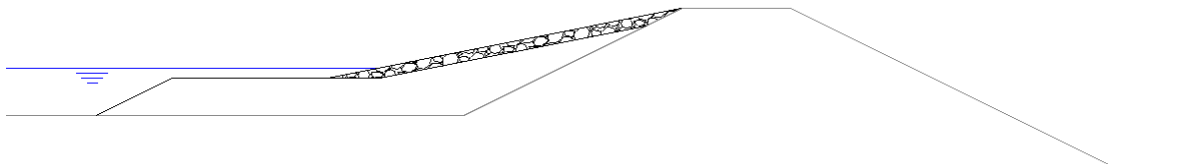
Hierna wordt variant 4 uitgewerkt. Daarin wordt o.a. het ontwerp van deze variant toegelicht. Zoals bekend bestaat deze variant voor een groot deel uit drie verschillende dijkonderdelen die ontleend zijn aan varianten 1, 2 en 3. Deze dijkonderdelen zijn maatregelen tegen golfoploop en -overslag. Binnen deze drie varianten is een uitgebreide toelichting gegeven op de toegepaste maatregelen tegen golfoploop en –overslag. Daarom zal binnen deze variant geen uitgebreide toelichting gegeven worden op de dijkonderdelen die een golfreducerende functie hebben. Hiervoor wordt verwezen naar de toelichtingen binnen de varianten 1, 2 en 3.

6.5.1 Ontwerp

Bij deze variant worden de sterke punten uit varianten 1, 2 en 3 toegepast op de huidige dijkgeometrie. Deze sterke punten zijn als volgt:

- Bermstuk geplaatst tegen buitentalud
- Helling van buitentalud verflauwd
- Ruw bekledingsmateriaal breuksteen op buitentalud plaatsen

Er ontstaat een dijkgeometrie met een flauw buitentalud. Deze is bekleed met een ruw materiaal. Verder ligt er een bermstuk voor het buitentalud. In figuur 54 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 54: schematische weergave van variant 4 [bron 4.2]

Als gevolg van deze aanpassingen verdwijnt de huidige steile wand die zich op het buitentalud bevindt. In verband met de vijfde eis uit het Programma van eisen wordt het bermstuk net onder het streefpeil aangelegd. De vijfde eis is namelijk als volgt:

Bij aanpassingen aan de dijk dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor waterberging. Door het plaatsen van het bermstuk wordt de wateroppervlakte over de breedte van het bermstuk ondieper dan de overige wateroppervlakte.

De kern van het nieuwe buitentalud en het bermstuk bestaat uit zand. Om erosie van zand tegen te gaan wordt het afgesloten met een waterdoorlatend geotextiel. Bovenop het geotextiel wordt breuksteen geplaatst. Dit materiaal beschermt het geotextiel tegen schade en reduceert golfploop en –overslag door de aangrijpende werking van de ruwe oppervlakte. Dit laatste werkt alleen als breuksteen boven de waterlijn ligt. Doordat het bermstuk onder de waterlijn ligt vervalt deze laatstgenoemde eigenschap van breuksteen. Breuksteen biedt wel een goede bescherming tegen schade aan het bermstuk; Daarnaast is het een openmateriaal, waardoor het dijklichaam nat blijft.

De opbouw en geometrie van de toegepaste maatregelen bij deze variant zullen voor het grootste gedeelte hetzelfde zijn als bij de varianten 1, 2 en 3. Er worden kleine verschillen gemaakt i.v.m. de vierde eis uit Programma van eisen; Namelijk:

Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dienen de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4.

Daarnaast zal het misschien onnodig zijn om precies hetzelfde bermstuk als bij variant 1 en hetzelfde bekledingsmateriaal als bij variant 2 toe te passen. Dit omdat de variant best zou kunnen voldoen aan de veiligheidsnorm (die genoemd is onder eis 1 uit het Programma van eisen) bij een kleiner bermstuk dan die uit variant 1 en een bekledingsmateriaal dat minder ruw is dan het bekledingsmateriaal uit variant 2.

Het buitentalud wordt verflauwd naar dezelfde helling als bij variant 3, namelijk 1:5.

Voor het bekledingsmateriaal van het buitentalud wordt ook hetzelfde materiaal toegepast als bij variant 2, namelijk breuksteen. Zoals vermeld onder toelichting van variant 2 wordt breuksteen in enkel- of dubbellaag toegepast als bekledingsmateriaal op een buitentalud van een dijk. De verschillen liggen o.a. in de invloedsfactoren; een dubbellaag breuksteen heeft een lagere invloedsfactor dan een enkellaag breuksteen, waardoor de reductie op golven het hoogst is bij een dubbellaag breuksteen. Voor deze variant wordt een enkellaag breuksteen toegepast om te voorkomen dat de vierde eis overtreden wordt.

Het bermstuk van deze variant zal een andere geometrie hebben dan het bermstuk van variant 1. Het bermstuk van variant 4 heeft een zodanige geometrie dat de invloedsfactor op golfploop en –overslag 0,7 wordt.

6.5.2 Reductie op golfploop en golfverslag

Bij deze variant vindt de reductie van golfploop en –overslag plaats door de drie maatregelen die ontleend zijn uit varianten 1, 2 en 3. Binnen deze drie varianten is de reducerende werking op golfploop en –overslag door de toegepaste maatregel uitgebreid beschreven. Daarom zal in deze paragraaf de reducerende werking op golfploop en –overslag door variant 4 in het kort beschreven worden.

Golfploop en –overslag wordt bij deze variant als volgt gereduceerd:

De invallende golven op de dijk zullen eerst het bermstuk passeren; Daarbij komen ze in contact met het bermstuk als gevolg van de ondiepe wateroppervlakte. Hierdoor ondervinden de golven weerstand van het bermstuk, waardoor ze reduceren in grootte en watermassa. Indien de golven na deze reductie energie over hebben, zullen ze dit gebruiken voor oploop op het buitentalud. Doordat er ruw materiaal op het buitentalud ligt, zullen de golven weerstand ondervinden van de aangrijpende werking van de ruwe eigenschap. Hierdoor reduceren de golven nog meer in grootte en watermassa.

Doordat het buitentalud verflauwd is, is het buitentalud verlengt, waardoor de golven meer afstand af moeten leggen dan voorheen. Als gevolg van de afgelegde afstand, verliezen de golven wederom energie en watermassa. Daarnaast is de golfploophoogte kleiner geworden ten opzichte van het nieuwe buitentalud, want de golfploop is verspreid over het buitentalud; het begint vanaf de waterlijn en kan doorgaan tot aan het uiterste punt: de dijk kruin.

Indien na al deze reducerende werkingen op de golven, de golven de dijk kruin bereiken en vervolgens overgaan tot golfoverslag, dan zal dit niet al te groot zijn, omdat ze een groot deel van hun watermassa en golfenergie verloren hebben.

Doordat iedere keer energie en watermassa aan de golven onttrokken wordt, is uiteindelijk de golfploophoogte en het (gemiddelde) golfoverslagdebiet bij deze variant gereduceerd.

6.5.3 Bepaling van golfploop en golfoverslag

Bij deze variant veranderen de volgende dijkonderdelen ten opzichte van de huidige dijkgeometrie:

1. Het buitentalud wordt verflauwd naar 1:5. Voor de berekening van golfploophoogte en –overslagdebiet betekent dit een verandering van de golfbrekingsparameter (ξ). Zoals bekend wordt deze parameter berekend met een formule. Binnen deze formule blijven de overige invoerparameters hetzelfde als bij die van de huidige dijkgeometrie; Alleen de taludhelling verandert van 1:2 naar 1:5.
Na het aanpassen van de taludhelling binnen de formule voor de golfbrekingsparameter, wordt de golfbrekingsparameter voor deze variant 0,90.
2. Het bekledingsmateriaal van het buitentalud wordt vervangen door een enkellaag breuksteen. Zoals onder variant 2 toegelicht dient de werkelijke invloedsfactor voor ruwheid van breuksteen (γ_f) gereduceerd te worden, i.v.m. de eis omtrent de minimale golfhoogte. De golfhoogte dient minimaal ongeveer 0,75 meter te zijn om de werkelijke invloedsfactor voor ruwheid te gebruiken. Doordat de golfhoogte op de Loosdrechtsche Plassen lager dan 0,75 meter is, wordt de werkelijke invloedsfactor voor ruwheid van een enkellaag breuksteen (van 0,70) gereduceerd naar 0,63.
3. Er wordt een bermstuk op het begin van het buitentalud geplaatst. Dit bermstuk heeft een zodanige geometrie dat de invloedsfactor voor dit bermstuk (γ_b) 0,70 is.
4. De huidige steile wand komt onder het nieuw (verflauwd) buitentalud te liggen. Hierdoor heeft deze wand geen invloed meer op de golven. De invloedsfactor voor de wand wordt dus 1.

De overige benodigde gegevens voor de bepaling van golfploop en –overslag blijven hetzelfde als bij de huidige situatie. Dat zijn o.a. dijkonderdelen en golfgegevens.

Om het overzichtelijk te houden worden alle benodigde gegevens voor de bepaling van golfploop en –overslag bij deze variant in de volgende tabel weergegeven.

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,54	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,66	s
Kruinhoogte	h_k	1,02	m
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s ²
Invloedsfactor voor bermstuk	γ_b	0,70	-
Invloedsfactor voor Wand	γ_v	1	-
Ruwheidfactor van materiaal op buitentalud	γ_f	0,63	-
Golfbrekiingsparameter	ξ_0	0,90	-
Invloedsfactor voor hoek van golfaanval	γ_β	0,978	-

Tabel 22 Invoerparameters voor bepaling van golfoploop en –overslag voor variant 4

De golfbrekiingsparameter en de invloedsfactor van het bermstuk bepalen de keuze van golfoploop en golfoverslag –formule. $\gamma_b \cdot \xi_0 = 0,70 \cdot 0,90 = 0,63$. Deze uitkomst bevindt zich in het geldigheidsgebied van de volgende formules:

Golfoploopformule:

$$Z_{2\%} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0}$$

Formule 3.10 [bron 6.5]

Formule 3.10: Geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

Golfoverslag formule:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp \left(-4,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v} \right)$$

Formule 3.12 [bron 6.5]

Formule 3.12: Geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$

Met deze twee formules (formule 3.10 en 3.12) worden golfoploop en –overslag voor variant 4 bepaald. Na het invullen van de parameters uit tabel 22 in de formules, zijn de uitkomsten als volgt:

- Golfoploophoogte: 0,37 m
- Gemiddeld golfoverslagdebiet: $1,07 \cdot 10^{-7}$ l/m/s

6.5.4 Toetsing van variant 4

In deze paragraaf worden het ontwerp en de resultaten op golfoploop en –overslag van variant 4 getoetst met de opgestelde eisen uit het Programma van eisen.

Eis 1: De nieuwe varianten moeten voldoen aan een veiligheidsnorm van 1:100 jaar. Daarbij dienen de varianten te voldoen aan de hieronder genoemde eisen 2 en 3.

Verder dienen de varianten ontworpen te worden volgens de meest maatgevende randvoorwaarden die behoren bij de veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

Toetsingresultaat van eis 1: Bij deze variant is gerekend met de meest maatgevende randvoorwaarden die gelden voor een veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

De variant heeft voldaan aan deze eis. Dat houdt in dat de variant voldaan heeft aan de eisen 2 en 3. Onder toetsingresultaat van eisen 2 en 3 wordt hierop verder ingegaan.

Eis 2: De nieuwe varianten moeten aan de minimale waakhogte voldoen. De minimale waakhogte bestaat uit golfoploophoogte + opwaaiing(scheefstand); Deze maken deel uit van de totale dijkhoogte (aanleghoogte van een dijk).

Toetsingresultaat van eis 2: Variant 4 voldoet aan deze eis.

De aanleghoogte van een dijk ten opzichte van het maatgevend boezempeil bestaat uit minimaal de volgende punten:

1. Zetting van de dijk over de planperiode
2. Golfoploophoogte
3. Opwaaiing

De huidige kruinhoogte ten opzichte van het maatgevend boezempeil is 1,02 meter. De zetting van de dijk Nieuwe Weg is 12 mm per jaar. De planperiode van de varianten is 30 jaar. De zetting over de planperiode wordt dus: $30 \times 12 \text{ mm} = 0,36 \text{ meter}$. De ruimte voor de minimale waakhogte wordt dus $1,02 - 0,36 = 0,66 \text{ meter}$.

De minimale waakhogte bestaat uit de punten 2 en 3. De hoogte van opwaaiing is bekend; deze is 0,14 meter. De bepaling van deze opwaaiing is terug te lezen in Bijlage 3 Bepaling van opwaaiing hoogte. De golfoploophoogte van deze variant is ook bekend; deze is 0,37 meter. De minimale waakhogte wordt dus: $0,14 + 0,37 = 0,51 \text{ meter}$. Deze hoogte past ruim in de ruimte voor de minimale waakhogte van 0,66 meter. Er blijft zelfs een extra hoogte van $(0,66 - 0,51) = 0,15 \text{ meter}$ over.

De toegepaste maatregelen tegen golfoploop en –overslag bij deze variant hebben hogere resultaten behaald dan nodig was. Deze maatregelen zouden best kleiner gedimensioneerd kunnen worden.



Eis 3: Het gemiddelde golfoverslagdebiet mag maximaal 0,1 l/m/s (liter/meter/seconde) zijn.

Toetsingresultaat van eis 3: Variant 4 voldoet aan deze eis, want het (gemiddeld) golfoverslagdebiet bij deze variant is $1,07 \cdot 10^{-7}$ l/m/s. Dit is veel lager dan het maximaal toegestaan (gemiddeld) golfoverslagdebiet. Het (gemiddeld) golfoverslag debiet is bij deze variant zeer laag, het kan gemakkelijk verwaarloosd worden. Dit golfoverslagdebiet is te vergelijken met een zeer kleine druppel water. Dit zal geen schade aan de dijk en het achterland veroorzaken.

Eis 4: Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dienen de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,40. In formulevorm is dit als volgt: $\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,40$ [bron 6.5]

Toetsingresultaat van eis 4: variant 4 voldoet aan deze eis. De combinatie van de drie invloedsfactoren is bij deze variant als volgt: $\gamma_b = 0,70$ $\gamma_f = 0,63$ $\gamma_\beta = 0,978 \rightarrow$

$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta = 0,70 \cdot 0,63 \cdot 0,978 = 0,43 \rightarrow 0,43 > 0,40$; de combinatie voldoet.

Eis 5: Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreden van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor waterberging.

Toetsingresultaat van eis 5: Aan deze eis wordt niet voldaan. De oorzaak van de afkeuring ligt bij de verflauwing van het buitentalud. Door het verflauwen van het buitentalud, neemt de breedte van de dijk toe in de richting van de wateroppervlakte. Hierdoor wordt een stuk van de wateroppervlakte ingenomen. Indien dit leidt tot grote problemen voor o.a. eisen voor waterberging, kan dit opgelost worden door ergens anders (eventueel langs de Loosdrechtsche plassen) een nieuwe wateroppervlakte te creëren ter grootte van de afgenomen wateroppervlakte.

Dit zou het beste op een locatie kunnen gebeuren waar de wind in de richting van de wateroppervlakte ligt en dus niet in de richting van het land. Hierdoor zal onder de extreme omstandigheden het water niet in de richting van het land geblazen worden, waardoor het land veilig blijft tegen golfaanvallen en wateroverlast. Het bermstuk ligt volledig onder het streefpeil, dit dijkonderdeel veroorzaakt geen problemen voor deze eis.

Eis 6: Het ontwerp van de varianten dient waterdoorlatend te zijn i.v.m. het nat houden van het dijklichaam.

Toetsingresultaat van eis 6: Aan deze eis wordt voldaan, want de materialen die toegepast zijn voor het nieuw taludstuk en het bermstuk zijn allemaal waterdoorlatend.

6.5.5 Conclusie variant 4

De combinatie van de drie golfreducerende maatregelen hebben de golfoploophoogte en het golfoverslagdebiet aanzienlijk gereduceerd. Om te zien hoe groot de reducerende werking van deze variant is, worden de resultaten op golfoploop en –overslag van deze variant vergeleken met die van de huidige dijkgeometrie.

De golfoploop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie zijn als volgt:

- Golfoploophoogte: 1,71 m
- Golfoverslagdebiet: 3,54 l/m/s

De golfoploop en –overslag bij variant 4 zijn als volgt:

- Golfoploophoogte: 0,37 m
- Golfoverslagdebiet: $1,07 \cdot 10^{-7}$ l/m/s

In procenten uitgedrukt, heeft variant 4 de volgende reducerende werking op golfoploop en –overslag bij de dijk Nieuwe Weg behaald:

- 78% op golfoploophoogte
- 100% op golfoverslagdebiet

Uit de resultaten blijkt dat een combinatie van drie golfreducerende maatregelen een zeer hoge reductie op golfoploop en –overslag behaald. Het rendement is het hoogst bij golfoverslag.

De golfreducerende werking van deze variant kan eventueel verlaagd worden door de toegepaste maatregelen kleiner te dimensioneren of door één of meerdere golfreducerende maatregelen te verminderen.

Dit kan van nut zijn als de reductie van golfoploop en –overslag bij een dijk beperkt dient te blijven.

6.6 variant 5: Natuurvriendelijke oever

Bij deze variant wordt een natuurvriendelijke oever gecreëerd.

Het idee van deze variant is ontstaan vanwege de volgende redenen:

- Een natuurvriendelijke oever heeft een relatie met de invoerparameters golfhoogte van golfploop en –overslag.
Bij een natuurvriendelijke oever die achter een brede wateroppervlakte ligt, wordt meestal een golfbreker toegepast. Een golfbreker beïnvloedt de golfhoogte, hierdoor wordt de golfploop en –overslag bij de dijk beïnvloed.
- Doordat er in de omgeving op een aantal locaties natuurgebied aanwezig is, past een natuurvriendelijke oever in de omgeving.

Een natuurvriendelijke oever wordt gecreëerd door hoofdzakelijk rustige tot stilstaande waterstroom met zeer kleine tot geen golven in de oever. Dit omdat rustig stromend water met zeer lage golven bepaalde dieren en planten aantrekt.

Dit rustig stromend water met kleine golven kan bereikt worden door een golfbreker vóór de dijk aan te leggen. De golfbreker zorgt voor de demping van hoge waterstromingen en golven.

Hierdoor wordt dus de golfhoogte gereduceerd. Zoals bekend is golfploop en –overslag afhankelijk van o.a. de golfhoogte. Dat betekent dat de golfbreker (als onderdeel van de natuurvriendelijke oever) de mate van golfploop en –overslag bij de dijk reduceert.

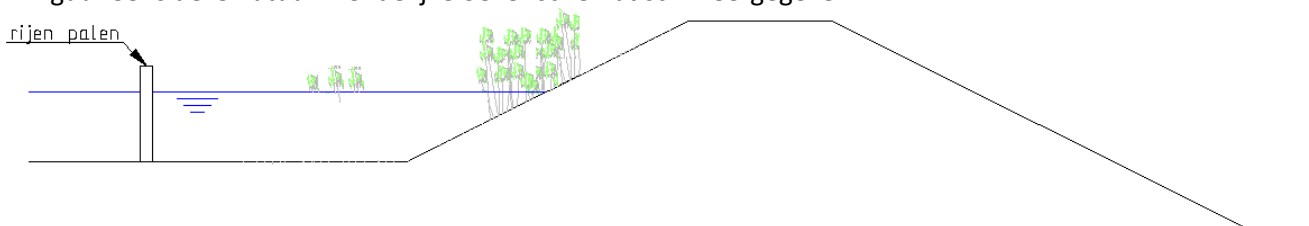
6.6.1 Ontwerp

Op een afstand van 7 meter vóór de buitenteen van de dijk Nieuwe Weg wordt een golfbreker aangelegd. De breedte van de natuurvriendelijke oever wordt dus 7 meter.

De golfbreker dempt hoge waterstroom en golven, waardoor achter de golfbreker rustig tot stilstaand waterstroming ontstaat met zeer kleine tot geen golven. De natuur wordt hierdoor aangetrokken, waarna het zich gaat ontwikkelen, want bepaalde dieren leven in rustig stromend water en ook bepaalde soorten planten gaan groeien in zulk soort wateroppervlakte.

Voor extra stimulering van deze natuurontwikkeling worden een aantal soorten planten waaronder rietveld in de oever en op het buitentalud van de dijk geplant. Deze planten zorgen tevens voor extra reducering van golven en waterstroming binnen de oever. Er worden verder geen aanpassingen verricht aan de (huidige) dijkgeometrie.

In figuur 55 is deze natuurvriendelijke oever schematisch weergegeven.



Figuur 55: Schematische weergave van natuurvriendelijke oever [bron 4.2]

Er zijn verschillende vormen van golfbrekers mogelijk. Voor regionale wateroppervlakten zoals de Loosdrechtsche plassen wordt meestal houten rijpalen beschoeiing gebruikt als golfbreker. Daarom zal deze soort golfbreker ook voor deze variant toegepast worden.

De golfbreker bestaat uit ronde palen die dicht tegen elkaar geplaatst zijn (zie figuur 56). De palen hebben een gangbare diameter van 0,15 meter.

Om het water in de oever laten doorspoelen en de oever bereikbaar te houden voor waterdieren, wordt om de 50 palen een opening gemaakt ter grootte van twee palen (0,30 m). Op deze manier komt zuurstofrijke water de oever binnen en verlaat zuurstofarm water de oever.



Figuur 56 Houten rijpalen beschoeiing [bron 7.2]

Na het aanleggen van de golfbreker, worden er verschillende soorten planten in de oever en het buitentalud geplant. Op het buitentalud ter hoogte van het streefpeil wordt een rietveld geplant.

In de oever worden drijvende planten geplaatst. Deze beplantingen zijn bedoeld voor de stimulering van de natuurontwikkeling en huisvesting van bepaalde dieren.

Het rietveld levert nog een ander belangrijke bijdrage, namelijk reduceren van golven. Deze reducerende werking werkt als volgt:

T.b.v. het doel van golfreductie worden de rietstengels dicht naast elkaar geplant. Deze groeien uit tot een dicht begroeid rietveldblok. In figuren 57, 58 zijn dicht begroeide rietveldblokken weergegeven.



Figuur 57 rietveld [bron 3.1]



Figuur 58 rietveld [bron 7.1]

Als de golven door het rietveld gaan, worden ze van hun energie onttrokken door de rietstengels. Afhankelijk van de grootte van de golven, zijn ze na het passeren van het rietveld gedeeltelijk tot volledig gereduceerd. Doordat de stengels dicht naast elkaar liggen vormt het geheel een stevig blok.

Hierdoor wordt de golfenergie verdeeld over alle rietstengels waardoor ze minder zwaar belast worden en daardoor niet snel stuk kunnen gaan.

Naast onttrekking van de golfenergie, blijft een deel van het golfwater aan de rietstengels hangen.

Hierdoor verliezen de golven dus ook watermassa.

Onder de gemiddelde omstandigheden kan een rietveld een maximale golfhoogte van 0,25 meter dempen; Onder extreme omstandigheden een maximale golfhoogte van 0,45 meter.

Bij de laatstgenoemde golfhoogte kan het rietveld zijn reducerende functie niet volledig vervullen. Indien de golven hoger dan 0,45 meter zijn, vervalt de golfreducerende functie van het rietveld.

De golfhoogte waarmee binnen dit project gerekend wordt is 0,54 meter. Een rietveld kan deze golfhoogte niet weerstaan. In combinatie met een golfbreker kan dit wel. Dit omdat door de golfbreker de golven voor een groot deel gereduceerd worden, waardoor ze achter de golfbreker over een kleinere golfhoogte beschikken die door het rietveld gereduceerd kan worden.

6.6.2 Reductie op golfoploop en golfoverslag

De reductie van golfoploop en –overslag door deze variant werkt als volgt:

De invallende golven dienen de golfbreker te passeren en verliezen hierdoor aan grootte. Vervolgens gaan de gereduceerde golven door de beplanting en het rietveld. Het rietveld onttrekt energie en watermassa aan de golven, waardoor ze nogmaals in grootte reduceren. Uiteindelijk zijn de golven veel kleiner in hoogte dan ervoor. Kleinere golven veroorzaken mindere mate van golfoploop en –overslag bij de dijk.

6.6.3 Bepaling van golfoploop en golfoverslag

Voor de bepaling van golfoploop en –overslag voor deze variant, zijn een aantal gegevens nodig. Deze gegevens zijn o.a. van de dijkgeometrie. Bij deze variant veranderen twee gegevens ten opzichte van de huidige situatie. Het gaat hier om de golfhoogte en de golfbrekingsparameter. De invallende golven passeren de golfbreker en het rietveld, waardoor ze reduceren in hoogte. De golfbrekingsparameter wordt bepaald door o.a. de golfhoogte. Doordat de golfhoogte gereduceerd is, verandert ook de golfbrekingsparameter. De overige gegevens ter bepaling van golfoploop en –overslag blijven hetzelfde als bij de huidige dijkgeometrie.

Hierna wordt de benodigde golfhoogte achter het rietveld bepaald. Daarna wordt de golfbrekingsparameter berekend met de formule voor golfbrekingsparameter. Deze formule is al eerder aan de orde geweest onder paragraaf 5.5 Hoofdonderzoek. Daarin is de golfbrekingsparameter voor de huidige dijk berekend. Omdat de bepalingmethode van golfbrekingsparameter al bekend is, wordt dit in deze variant niet nogmaals toegelicht.

Golfhoogte

De golfbreker van deze variant bestaat uit houten rijpalen. Met formule 7.1 wordt de golfhoogte achter een rijpalen beschoeiing bepaald. Deze formule is bedoeld voor een houten rijpalen beschoeiing waarbij de lengte van de palen een halve golfhoogte boven de waterlijn uitsteekt. De maatgevende inkomende golfhoogte (H_i) is 0,54 meter. De rijpalen steken dus $0,54/2 = 0,27$ meter boven de waterlijn uit. Omdat er gerekend wordt voor de maatgevende omstandigheid, zal deze paallengte van 0,27 meter boven het maatgevend boezempeil uitsteken.

$$H_t = \sqrt{(1 - w^2)} \cdot H_i$$

Formule 7.1 [bron 6.4]

Waarin geldt:

H_t = golfhoogte achter de beschoeiing [m]

H_i = inkomende golfhoogte vóór de beschoeiing [m]

W = een factor die de verhouding tussen de paaldiameter en de afstand tussen de palen aangeeft. $W = D/d$ [-]

Formule 7.1a [bron 6.4]

D = paaldiameter [m]

d = hart op hart afstand tussen de palen [m]

De golfbreker bestaat uit ronde palen die dicht tegen elkaar geplaatst zijn. De palen hebben een gangbare diameter (D) van 0,15 meter.

Doordat de palen rond zijn en van nature krom zijn over de lengteas, kan er nooit een waterdichte beschoeiing ontstaan. Er zal altijd een minimale speling van 1 centimeter (0,01 meter) tussen de palen ontstaan. De hart op hart afstand tussen de palen (d) wordt dus $2 \times (0,15/2) + 0,01 = 0,16$ meter.

Alle invoerparameters voor de formule zijn bekend. Na het invullen van deze parameters in formule 7.1 en 7.1a is de uitkomst een golfhoogte (H_t) van 0,19 meter achter de rijpalen beschoeiing.

Achter de rijpalen gaan de golven verder richting de dijk. Zoals bekend is een rietveld op het buitentalud aanwezig. De golven zullen door het rietveld gaan. Een rietveld is in staat om golven met een hoogte van 0,19 meter te reduceren. Er wordt ervan uitgegaan dat dit rietveld de golven met 20% in hoogte reduceert. De golfhoogte achter het rietveld wordt dus: $0,80 \times 0,19 = 0,15$ meter. Deze is gelijk aan de benodigde spectrale golfhoogte.

Berekening van golfoploop en golfoverslag

Om het overzichtelijk te houden worden alle benodigde gegevens voor de bepaling van golfoploop en –overslag bij deze variant in de volgende tabel weergegeven.

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,15	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,66	s
Kruinhoogte	h_k	1,02	m
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s ²
Invloedsfactor voor bermstuk	γ_b	1	-
Invloedsfactor voor wand	γ_v	0,85	-
Ruwheidfactor van materiaal op buitentalud	γ_f	1	-
Golfbrekiingsparameter	ξ_0	4,29	-
Invloedsfactor voor hoek van golfaanval	γ_β	0,978	-

Tabel 23 invoerparameters voor bepaling van golfoploop en –overslag voor variant 5

De golfbrekiingsparameter en de invloedsfactor van het bermstuk bepalen de keuze van golfoploop en golfoverslag –formule. $\gamma_b \cdot \xi_0 = 1 \cdot 4,29 = 4,29$. Deze uitkomst bevindt zich in het geldigheidsgebied van de volgende formules:

Golfoploopformule:

$$Z_{2\%} = H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot (4,3 - 1,6 / \sqrt{\xi_0}) \quad \text{Formule 3.11 [bron 6.5]}$$

Formule 3.11: geldig in gebied $1,8 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 8 \text{ á } 10$

Golfoverslag formule:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0,2 \cdot \exp\left(-2,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \quad \text{Formule 3.13 [bron 6.5]}$$

Formule 3.13: geldig in gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 > \approx 2 \text{ á } 2,5$

Met deze twee formules wordt golfoploop en –overslag voor variant 5 bepaald.

Na het invullen van de parameters uit tabel 23 in de formules 3.11 en 3.13, zijn de uitkomsten als volgt:

- Golfoploophoogte: 0,52 m
- Gemiddelde golfoverslag debiet: $4,09 \cdot 10^{-6}$ l/m/s

6.6.4 Toetsing van variant 5

In deze paragraaf wordt het ontwerp en de resultaten op golfploop en –overslag van variant 5 getoetst met de opgestelde eisen uit het Programma van eisen.

Eis 1: De nieuwe varianten moeten voldoen aan een veiligheidsnorm van 1:100 jaar. Daarbij dienen de varianten te voldoen aan de hieronder genoemde eisen 2 en 3.

Verder dienen de varianten ontworpen te worden volgens de meest maatgevende randvoorwaarden die behoren bij de veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

Toetsingresultaat van eis 1: Bij deze variant is er gerekend met de meest maatgevende randvoorwaarden die gelden voor een veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

De variant voldoet aan deze eis. Dat betekent dat de variant dus ook aan eisen 2 en 3 voldoet. Onder toetsingresultaat van eisen 2 en 3 wordt hierop verder ingegaan.

Eis 2: De nieuwe varianten moeten aan de minimale waakhogte voldoen. De minimale waakhogte bestaat uit golfploophoogte + opwaaiing(scheefstand); Deze maken deel uit van de totale dijkhoogte (aaneleghoogte van een dijk).

Toetsingresultaat van eis 2: Variant 5 voldoet aan deze eis.

De aaneleghoogte van een dijk ten opzichte van het maatgevend boezempeil bestaat uit minimaal de volgende punten:

1. Zetting van de dijk over planperiode
2. Golfploophoogte
3. Opwaaiing

De huidige kruinhoogte ten opzichte van het maatgevend boezempeil is 1,02 meter. De zetting van de dijk Nieuwe Weg is 12 mm per jaar. De planperiode van de varianten is 30 jaar. De zetting over de planperiode wordt dus: $30 \times 12 \text{ mm} = 0,36 \text{ meter}$. De ruimte voor de minimale waakhogte wordt dus $1,02 - 0,36 = 0,66 \text{ meter}$.

Bij deze variant vindt de opwaaiing van de wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche Plassen) plaats tegen de rijpalen golfbreker. De breedte tussen de dijk en de golfbreker is 7 meter, wat een zeer kleine opwaaiinghoogte bij de dijk oplevert, die als verwaarloosbaar gezien kan worden. Dat betekent dat de opwaaiing voor deze variant niet van toepassing is. De minimale waakhogte van variant 5 bestaat dus uit alleen de golfploophoogte. Deze is al berekend; het is 0,52 meter. Deze hoogte is minder dan de beschikbare ruimte voor minimale waakhogte van 0,66 meter. Er blijft zelfs een extra waakhogte van $(0,66 - 0,52) = 0,14 \text{ meter}$ over. Een extra waakhogte is altijd gunstig. Dit kan benut worden voor onverwachte situaties waarbij de golfploophoogte bij de dijk toeneemt.

Eis 3: Het gemiddeld golfoverslagdebiet mag maximaal 0,1 l/m/s (liter/meter/seconde) zijn.

Toetsingresultaat van eis 3: Variant 5 voldoet aan deze eis, want het (gemiddeld) golfoverslagdebiet bij deze variant is $4,09 \cdot 10^{-6}$ l/m/s. Dit is veel lager dan het maximaal toegestaan (gemiddeld) golfoverslagdebiet. Het (gemiddeld) golfoverslagdebiet is bij deze variant zo laag, dat het gemakkelijk als verwaarloosbaar gezien kan worden. Dit golfoverslagdebiet is te vergelijken met een zeer kleine druppel water. Dit zal geen schade aan de dijk en het achterland veroorzaken.

Eis 4: Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dient de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van de hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,40. In formulevorm is dit als volgt: $\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,40$ [bron 6.5]

Toetsingresultaat van eis 4: variant 5 voldoet aan deze eis. De combinatie van de drie invloedsfactoren is bij deze variant als volgt: $\gamma_b = 1 \quad \gamma_f = 1 \quad \gamma_\beta = 0,978 \rightarrow$

$$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta = 1 \cdot 1 \cdot 0,978 = 0,978 \rightarrow 0,978 > 0,40; \text{ de combinatie voldoet.}$$

Eis 5: Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreden van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor waterberging.

Toetsingresultaat van eis 5: Variant 5 voldoet aan deze eis. Er zijn geen grote ingrepen aan de dijk verricht waarbij grote wateroppervlakten zijn afgenomen. Bij deze variant is er echter wel een bepaalde hoeveelheid wateroppervlakte afgenomen, alleen dit is zeer klein. Het gaat om de rijpalen golfbreker en de beplantingen in de oever en op het buitentalud.

Indien dit leidt tot grote problemen voor o.a. eisen voor waterberging, dan kan dit opgelost worden door ergens anders (eventueel langs de Loosdrechtsche plassen) een nieuwe wateroppervlakte te creëren ter grootte van de afgenomen wateroppervlakte.

Eis 6: Het ontwerp van de varianten dient waterdoorlatend te zijn i.v.m. het nat houden van het dijklichaam.

Toetsingresultaat van eis 6: Aan deze eis wordt voldaan. Water kan gemakkelijk tussen de rietstengels het dijklichaam bereiken. Verder zijn er geen waterdichte materialen bij deze variant toegepast.

6.6.5 Conclusie variant 5

De reductie van golfoploop en –overslag werd bij deze variant behaald door de hoogte van de golven te reduceren. Dit werd voornamelijk gedaan door de golfbreker. Het rietveld had een kleine bijdrage. Om te zien hoe groot de reducerende werking van deze variant is, worden de resultaten op golfoploop en golfoverslag van deze variant vergeleken met die van de huidige dijkgeometrie.

De golfloop en –overslag bij de huidige dijkgeometrie zijn als volgt:

- Golfloophoogte: 1,71 m
- Golfoverslagdebiet: 3,54 l/m/s

Dezelfde golfgegevens zijn bij variant 5 als volgt:

- Golfloophoogte: 0,52 m
- Golfoverslagdebiet: $4,09 \cdot 10^{-6}$ l/m/s

In procenten uitgedrukt, heeft variant 5 de volgende reducerende werking op golfloop en –overslag bij de dijk Nieuwe Weg behaald:

- 70% op golfloophoogte
- 100% op golfoverslag debiet

Bij deze variant is alleen de golfhoogte gereduceerd. Hierdoor zijn golfloop en –overslag bij de dijk sterk gereduceerd. Het rendement is het hoogst bij golfoverslag.

Reductie van golfhoogte kan op verschillende manieren gebeuren. Bij deze variant is dit voor een groot deel behaald door de rijpalen beschoeiing als golfbreker. Bij deze soort golfbreker is de golfhoogte achter de golfbreker afhankelijk van de paaldiameter en de ruimte tussen de palen. De reductie van golfhoogte kan dus verhoogd of verlaagd worden door middel van aanpassingen aan deze twee onderdelen van de golfbreker.

Deze zijn als volgt:

1. Grotere paaldiameter toepassen.
2. De ruimte tussen de palen verkleinen. Bij een zeer kleine tussenruimte is het rendement het hoogst; de golven reduceren vóór de beschoeiing volledig waardoor achter de beschoeiing niks meer van de golven te zien zal zijn. Zoals bekend zijn de houten palen van nature krom waardoor er altijd enige ruimte tussen de palen ontstaat. Deze ruimte kan afgedicht worden door o.a. geotextiel of houten planken tegen de rijpalen te bevestigen.
3. Een combinatie van de hierboven genoemde punten 1 en 2.

Toepassing van een golfbreker vóór een dijk heeft naast golfreducerende werking een ander groot voordeel voor een dijk; namelijk voor de minimale waakhoogte van een dijk. De minimale waakhoogte bij een dijk bestaat uit golfloophoogte en opwaaiinghoogte.

Doordat de golfbreker vóór de dijk staat, vindt de opwaaiing niet meer plaats tegen de dijk, maar tegen de golfbreker. Hierdoor wordt de minimale waakhoogte bij de dijk kleiner. Daarnaast wordt door de golfbreker de golfloophoogte bij de dijk sterk gereduceerd; Hierdoor wordt de minimale waakhoogte bij de dijk nog kleiner. Dit kan voordelig zijn voor de kruinhoogte van de dijk, want de vrijgekomen ruimte van de minimale waakhoogte kan benut worden voor zetting van de dijk gedurende een aantal jaren. Dat betekent dus dat de geplande ophoging van de dijk uitgesteld kan worden.

Hoofdstuk 7 Keuzematrix

In dit hoofdstuk wordt een variant als definitieve variant gekozen om verder uitgewerkt te worden. De keuze zal gebeuren doormiddel van een keuzematrix. Daarin wordt op basis van een aantal criteria de varianten beoordeeld met een waarde. Deze waarde wordt uitgedrukt in punten. De variant die de meeste punten behaalt, zal gekozen worden tot definitieve variant en wordt verder uitgewerkt.

De criteria zijn gebaseerd op dijkverbeteringplannen en de mogelijkheden in de omgeving van de dijk Nieuwe Weg.

7.1 Criteria

De criteria zijn als volgt:

- Invloed op reductie van andere faal- en bezwijkmechanismen
- Invloed op reductie van golfploop
- Invloed op reductie van golfoverslag
- Uitvoerbaarheid
- Recreatie
- Onderhoudsvriendelijkheid
- Ontwerp, aanschaf en aanleg -kosten
- Levensverwachting
- Natuur/ecologie

Invloed op reductie van andere faal- en bezwijkmechanismen

In het kader van veiligheid van dijken, worden dijken ontworpen en getoetst op een aantal faal- en bezwijkmechanismen. Dit zijn o.a. golfploop, golfoverslag, macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts en piping.

De varianten zijn ontworpen op basis van de mechanismen: Golfploop en golfoverslag. Er is echter niet gelet op de overige mechanismen, omdat ze geen onderdeel zijn van dit afstudeerproject.

De ontworpen varianten hebben enige invloed op de overige mechanismen. De varianten zijn ontstaan vanuit de huidige dijkgeometrie; er zijn bepaalde dijkonderdelen toe- en/of aangepast, waardoor een nieuw variant is ontstaan. Deze veranderingen aan de dijk hebben naast een reducerende werking op de mechanismen golfploop en golfoverslag ook een reducerende werking op overige faal- en bezwijkmechanismen waaronder piping en macrostabiliteit buitenwaarts.

Dit omdat piping gereduceerd kan worden door o.a. verbreden van het dijklichaam. De verbreding van het dijklichaam is terug te zien bij o.a. variant 1 waarbij een bermstuk toegepast is.

Macrostabiliteit kan gereduceerd worden door o.a. extra gewicht op het talud aan te brengen en/of een bermstuk tegen het talud te plaatsen. Deze toepassingen zijn o.a. terug te zien bij de varianten 1 en 2. Bij de eerste variant is een bermstuk toegepast en bij de tweede is het buitentalud verzaagd met breuksteen.

Omdat de overige faal- en bezwijkmechanismen deel uit maken van de veiligheid van dijken en omdat de varianten invloed hebben op deze mechanismen, wordt dit criterium meegenomen in de keuzematrix.

Indien een variant een hoge reducerende werking heeft op een aantal faal- en bezwijkmechanismen, dan zal deze variant hoog beoordeeld worden op dit criterium.

Er wordt een hogere wegingsfactor aan dit criterium toegekend dan aan de overige criteria, omdat dit criterium deel uit maakt van de veiligheid van dijken. Aangezien het bij dijken voornamelijk om de veiligheid gaat.

Invloed op reductie van golfoploop en golfoverslag

Dit zijn twee onmisbare criteria in de keuzematrix, want dit afstudeerproject is gericht op reductie van deze mechanismen.

Bij deze twee criteria worden de varianten beoordeeld op hun golfreducerende werking. Het gaat om de reductie van de mate van golfoploop en -overslag. Varianten die een hoge reducerende werking hebben op golfoploop en -overslag, zullen in de keuzematrix beoordeeld worden met een hoge waarde op beide criteria. Doordat deze golfmechanismen een belangrijk onderdeel zijn van dit afstudeerproject wordt er een hogere wegingsfactor aan beide criteria toegekend dan alle overige criteria.

Uitvoerbaarheid

Onder het criterium uitvoerbaarheid wordt verstaan de wijze van uitvoeringswerkzaamheden en de bouwsnelheid. Indien de uitvoering van een variant veel tijd in beslag neemt en ingewikkeld of intensief is, dan zal deze variant slecht beoordeeld worden op dit criterium. Tevens als er ingewikkelde en/of moeilijk verkrijgbaar materieel benodigd is voor de uitvoering, zal de variant slecht beoordeeld worden op dit criterium. Indien een variant gemakkelijk uit te voeren is, dan zal deze hoog beoordeeld worden op dit criterium.

Recreatie

In de omgeving van de dijk vinden verschillende soorten recreatie plaats. Vooral op en langs de Loosdrechtsche Plassen. Hierdoor heeft de dijk invloed op de recreatie mogelijkheden rondom de dijk. Daarom wordt dit criterium meegenomen in de beoordeling van de varianten.

Onderhoudsvriendelijkheid

Onder dit criterium vallen de soort en de methode van onderhoudswerkzaamheden aan de varianten. Daaronder valt o.a. het benodigde materieel, materiaal en de bereikbaarheid voor de onderhoudswerkzaamheden aan een variant. Ook de duur, de periodieke tijd van de onderhoudswerkzaamheden vallen onder dit criterium.

Indien speciale en of moeilijk verkrijgbaar materieel vereist is voor de onderhoudswerkzaamheden van een variant, of de onderhoudslocatie moeilijk bereikbaar is, dan zal de desbetreffende variant slecht beoordeeld worden op dit criterium. Ook als de onderhoudswerkzaamheden veel tijd in beslag nemen en of de tijd tussen de periodieke onderhoud kort is, dan zal dit leiden tot een slechte beoordeling op dit criterium voor de desbetreffende variant.

Een ander aspect dat onder dit criterium valt zijn beheer- en onderhoudskosten.

Deze kosten worden gemaakt als gevolg van beheer- en onderhoudswerkzaamheden en vallen daarom onder dit criterium. Als deze kosten hoog zijn bij een variant, dan zal deze variant slecht beoordeeld worden op dit criterium.

Ontwerp, aanschaf- en aanlegkosten

Dit criterium bevat eenmalige kosten die gemaakt worden voor een variant. Deze kosten worden gemaakt vanaf de ontwerpfase tot en met levering van een variant. Een aantal soorten kosten die onder dit criterium vallen zijn:

- kosten voor engineering
- Geld voor het benodigde materiaal
- Uitvoeringskosten voor de aanleg van een variant (materieelkosten en uurloon voor personeel)

Beheer – en onderhoudskosten vallen echter niet onder dit criterium, omdat dit periodieke kosten zijn. Deze kosten worden gemaakt als gevolg van o.a. onderhoudswerkzaamheden en vallen daarom onder het criterium Onderhoudsvriendelijkheid.

Indien het ontwerp, aanschaf- en aanlegkosten van een variant hoog zijn, dan zal de desbetreffende variant slecht beoordeeld worden op dit criterium.

Levensverwachting

In dit criterium wordt de levensduur van een variant bedoelt. Het is voornamelijk gericht op de materialen die gebruikt worden om de variant mee te bouwen. Indien een variant lang mee gaat, dan zal deze hoog beoordeeld worden op dit criterium.

Natuur/ecologie

Bij dit criterium worden de varianten beoordeeld op natuurvriendelijkheid.

Onder natuurvriendelijkheid worden alle natuurlijke producten verstaan die op een variant aanwezig zijn. Het gaat om de producten die de natuur en of ecologie aantrekken en stimuleren. Varianten die zulke eigenschappen bezitten en dus gunstig zijn voor de natuur en ecologie zullen hoog beoordeeld worden op dit criterium

7.2 Beoordeling

Hierna volgt de beoordeling van elke variant. Deze beoordeling is gemaakt aan de hand van de hiervoor genoemde criteria. De criteria, varianten en de beoordeling zijn verwerkt in de volgende keuzematrix.

Criteria	Varianten					Wegings-factor
	V1	V2	V3	V4	V5	
Invloed op andere mechanismen	4	3	4	5	1	4
Invloed op reductie van golfoploop	3	3	3	5	5	5
Invloed op reductie van golfoverslag	3	3	4	5	5	5
Uitvoerbaarheid	2	4	3	2	4	1
Recreatie	3	2	2	2	4	1
Onderhoudsvriendelijkheid	4	4	4	4	4	1
Ontwerp, aanschaf en aanleg –kosten	3	3	3	1	4	1
Levensverwachting	5	5	5	5	4	1
Natuur/ecologie	3	3	3	3	5	1
Totaal	66	63	72	87	79	

De afkortingen voor de varianten uit de keuzematrix zijn als volgt:

- V1 = variant 1: een bermstuk geplaatst tegen het buitentalud van de dijk
- V2 = variant 2: buitentalud van de dijk bekleed met het ruw materiaal dubbellaag breuksteen
- V3 = variant 3: buitentalud van de dijk verflauwd
- V4 = variant 4: buitentalud van de dijk verflauwd en verruwd en er is een bermstuk tegen het buitentalud geplaatst.
- V5 = variant 5: natuurvriendelijke oever gecreëerd met een golfbreker, planten in de oever en een rietveld op een deel van het buitentalud

De betekenis van de beoordelingcijfers uit de keuzematrix zijn als volgt:

1. Zeer slecht
2. Slecht
3. Matig
4. Goed
5. Zeer goed

7.3 Uitslag

Uit de beoordelingen heeft variant 4 de hoogste waarde behaald. Dat betekent dat variant 4 gekozen is tot definitieve variant. Deze wordt in het volgende hoofdstuk verder uitgewerkt.

Voor een toelichting op de criteriumbeoordelingen uit de keuzematrix wordt verwezen naar bijlage 4; daarin is een uitgebreide toelichting gegeven op elke criteriumbeoordeling van elke variant.

Hoofdstuk 8 Definitieve variant

8.1 Inleiding

Uit de keuzematrix is variant 4 beoordeeld tot de definitieve variant. In dit hoofdstuk wordt variant 4 verder uitgewerkt.

Zoals toegelicht in Hoofdstuk 6 Varianten onder paragraaf 6.5 Variant 4 is deze variant ontstaan door de golfreducerende dijkonderdelen van varianten 1, 2 en 3 op de huidige dijkgeometrie toe te passen. Deze golfreducerende dijkonderdelen werden beschouwd als de sterke punten; Deze zijn als volgt:

1. Bermstuk geplaatst tegen buitentalud
2. Helling van buitentalud verflauwd
3. Bekledingmateriaal van buitentalud vervangen door ruw materiaal breuksteen

De reducerende werking op golfoploop en –overslag door deze drie dijkonderdelen is uitgebreid beschreven onder de varianten 1, 2, 3 en 4 die te vinden zijn in Hoofdstuk 6 Varianten. Er zal daarom in dit hoofdstuk geen toelichting gegeven worden op de golfreducerende werking van de definitieve variant. In Hoofdstuk 6 Varianten onder paragraaf 6.5 Variant 4 werd het ontwerp van variant 4 beschreven. Om een beeld te geven van variant 4, wordt in dit hoofdstuk het ontwerp van variant 4 in het kort herhaald. Daarna worden nog een aantal onderdelen uitwerkt voor de definitieve variant.

Hierna worden de volgende onderdelen uitgewerkt:

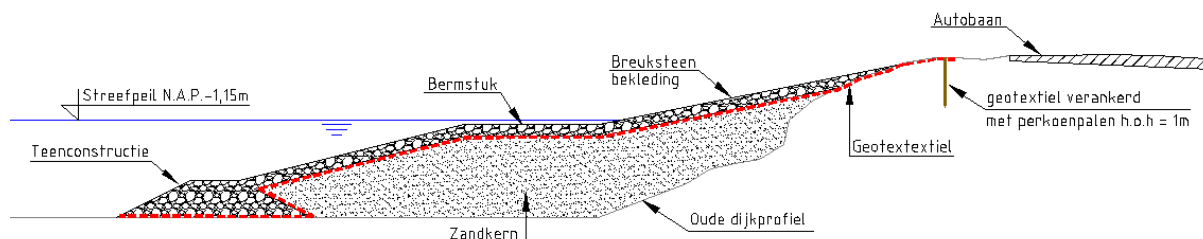
- Beschrijving van het ontwerp
- Dimensioneren van de variant
- Bepaling van golfoploop en golfoverslag
- Toetsing aan het Programma van eisen
- Kostenraming van de variant

8.2 Ontwerp

Bij deze variant zijn een aantal aanpassingen gedaan aan de huidige dijkgeometrie. Er is een bermstuk geplaatst, het buitentalud is verflauwd, en het bermstuk en het buitentalud zijn bekleed met het ruw materiaal breuksteen. Ter voorkoming van afschuiven van de dijk is er een teenconstructie geplaatst.

Als gevolg van deze aanpassingen komen de huidige grasbekleding en de steile wand op het buitentalud onder het nieuwe buitentalud te liggen. Hierdoor hebben ze geen invloed meer op de golven.

Om een beeld te geven van hoe de huidige dijkgeometrie eruit gaat zien nadat de definitieve variant er op toegepast is, is in figuur 59 het dwarsprofiel van definitieve variant weergegeven.



Figuur 59 dwarsprofieltekening van definitieve variant [bron 4.2]

Voorlopig zijn de dimensies van deze variant nog onbekend. In dit hoofdstuk zullen alle benodigde dimensies bepaald worden.

Deze variant bestaat uit zand, geotextiel, perkoenpalen en een enkellaag breuksteen.

Zoals op figuur 59 te zien is bestaat de kern van deze variant uit zand, dat wordt afgedekt met geotextiel. Het geotextiel wordt doorgetrokken tot aan de teenconstructie. Dit geotextiel wordt op de dijkkruin verankerd met perkoenpalen. De perkoenpalen worden om de één meter in de lengterichting van de dijk aangebracht. De toplaag en de teenconstructie van deze variant bestaat uit beuksteen.

Het geotextiel wordt aangebracht om wegspoeling van het zand tegen te gaan. In dit geotextiel zitten zeer kleine openingen waar waterdeeltjes gemakkelijk doorheen kunnen gaan, maar zanddeeltjes niet. Op deze manier blijft de variant waterdoorlatend.

Het geotextiel, breukstenen en de perkoenpalen zorgen er gezamenlijk voor dat het geprofileerde kernlichaam in vorm blijft. Doordat het geotextiel uit één geheel stuk bestaat en de textielvezels aan elkaar gehecht zijn, wordt de kern van de variant in vorm gehouden door het geotextiel.

Door het zware gewicht van de breukstenen wordt het geotextiel op zijn plek gehouden.

De aanleg van de breukstenen gebeurt vanaf de waterkant en wordt voortgezet richting de dijkkruin. Tijdens het aanleggen van de breukstenen wordt het geotextiel vanaf de dijkkruin strak aangetrokken, nadat de breukstenen volledig zijn aangebracht, wordt het geotextiel verankerd met perkoenpalen aan de dijk. Op deze manier wordt de kern van de variant in vorm gehouden.

De breukstenen hebben naast reductie van golfoploop en –overslag een beschermende functie. Ze beschermen het geotextiel en de zandkern tegen alle op wateroppervlakten voorkomende soorten beschadigingen. Een voorbeeld is schade die door zware golfstoten veroorzaakt kan worden.

Het is voor de uitvoering en financieel gezien beter om de teenconstructie, de toplaag van het buitentalud en van het bermstuk van hetzelfde materiaal te maken. Doordat de eigenschappen van breuksteen bruikbaar zijn voor beide onderdelen (teenconstructie en toplaag) van deze variant, wordt breuksteen van één (gewicht- en afmeting)klasse toegepast.

8.3 Dimensioneren

In dit onderdeel worden de dimensies van de toegepaste (golfreducerende) dijkonderdelen van definitieve variant bepaald. Het gaat om de volgende onderdelen:

1. Helling van buitentalud
2. Dimensies van bermstuk
3. Grootte van breukstenen
4. Teenconstructie

In Hoofdstuk 6 Varianten is voor de uitwerking van variant 4 een waarde aangenomen voor de eerste twee onderdelen. In deze paragraaf worden ze daadwerkelijk bepaald.

In hetzelfde hoofdstuk onder paragraaf 6.5 variant 4 zijn de golfgegevens van variant 4 bepaald. Deze zijn als volgt:

- Golfoploophoogte: 0,37 m
- Gemiddeld golfoverslag debiet: $1,07 \cdot 10^{-7}$ l/m/s

Het gemiddeld golfoverslag debiet is zeer klein, het is te vergelijken met een zeer kleine waterdruppel die geen schade zal veroorzaken. Hierdoor wordt dit als verwaarloosbaar beschouwd. Bij het dimensioneren van de dijkonderdelen van variant 4 zullen de bepaalde golfoploop en –overslag gaan veranderen. Indien het golfoverslagdebet toeneemt, dan zal dit hoogstwaarschijnlijk het maximale golfoverslagdebet van 0,1 l/m/s niet halen, omdat het golfoverslagdebet bij deze variant zeer sterk gereduceerd wordt. De kans is groot dat de golfoploophoogte hoger uit gaat komen dan de minimale waakhogte, omdat de bepaalde golfoploophoogte bij variant 4 hoog is in verhouding met de kruinhoogte. Daarom worden de dijkonderdelen van variant 4 gedimensioneerd op basis van de golfoploophoogte. Dit betekent dat de nieuwe dimensies van variant 4 de golfoploophoogte zodanig reduceren dat de minimale waakhogte niet overschreden wordt, aangezien de golfoploophoogte onderdeel is van de minimale waakhogte.

Daarnaast wordt bij het dimensioneren ook rekening gehouden met het eisenpakket en de uitgangspunten. Alle benodigde gegevens worden uit Hoofdstuk 2 Randvoorwaarden en paragraaf 5.6 Uitkomsten probleemonderzoek.

Bepaling van golfploophoogte

De golfploophoogte wordt bepaald met een formule. Er zijn de volgende twee golfploopformules:

$$Z_{2\%} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0} \quad \text{Formule 3.10 [bron 6.5]}$$

Formule 3.10: geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

$$Z_{2\%} = H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot (4,3 - 1,6 / \sqrt{\xi_0}) \quad \text{Formule 3.11 [bron 6.5]}$$

Formule 3.11: geldig in het gebied $1,8 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 8 \text{ á } 10$

Hierin zijn de parameters als volgt:

$Z_{2\%}$ = golfploophoogte boven stilwaterlijn [m]

q = gemiddeld golfverslagdebiet [m³/m/s]

γ_b = invloedsfactor voor een bermstuk [-]

γ_β = invloedsfactor voor hoek van golfaanval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid van het materiaal op het buitentalud [-]

$$\xi_0 = \text{golfbrekinsparameter [-]} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}} \quad \text{Formule 3.7c [bron 6.5]}$$

$$S_0 = \text{golfsteilheid [-]} = \frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2} \quad \text{Formule 3.7ca [bron 6.5]}$$

α = hoek van het talud [°]

g = gravitatiekracht [m/s²]

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

De golfbrekinsparameter en de invloedsfactor van het bermstuk bepalen de keuze van golfploopformule.

Invoerparameters

Eerst wordt de helling van het buitentalud bepaald. Voor een dijktaalud gelden de volgende hellingen: 1:1 tot en met 1:8. De huidige helling van het buitentalud is (gemiddeld) 1:2. Omdat de helling van het buitentalud verflauwd wordt, wordt deze dus groter dan 1:2.

Bij de golfploophoogte heeft de helling van het buitentalud invloed op de golfbrekingsparameter. Deze wordt bepaald door o.a. golfhoogte, golfperiode en taludhelling. Doordat alleen de taludhelling verandert en de overige gegevens niet, zal bij elke taludhelling een andere golfbrekingsparameter horen. Voor elke taludhelling (1:3 t/m 1:8) wordt de golfbrekingsparameter bepaald.

De overige benodigde parameters worden ontleend aan variant 4 die beschreven is in paragraaf 6.5 Variant 4 onder Hoofdstuk 6 Varianten. Dit is omdat variant 4 gekozen is tot de definitieve variant.

Voor een toelichting op deze parameters wordt verwezen naar paragraaf 6.5 Variant 4 die beschreven is in Hoofdstuk 6 Varianten.

Om alle benodigde parameters voor de bepaling van de golfploophoogte overzichtelijk te maken, worden ze weergegeven in tabel 24.

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,54	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,66	s
Bermfactor	γ_b	0,70	-
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s ²
Invloedsfactor van hoek van golfaanval	γ_β	0,978	-
Ruwheidfactor van materiaal op buitentalud	γ_f	0,63	-
Kruinhoogte t.o.v. maatgevende waterstand	h_k	1,02	m
Helling van buitentalud	-	1:3 – 1:8	-
Golfbrekingsparameter behorend bij taludhellingen 1:3 – 1:8	ξ_0	1,51 – 0,57	-

Tabel 24 invoerparameters voor bepaling van golfploophoogte voor definitieve variant

Golfploophoogte

De golfbrekingsparameter en de invloedsfactor van het bermstuk bepalen de keuze van golfploopformule.

$\gamma_b \cdot \xi_0 = 0,70 \cdot 1,51 = 1,06$ en $\gamma_b \cdot \xi_0 = 0,70 \cdot 0,57 = 0,40$. De uitkomsten liggen tussen 0,40 en 1,06.

De meeste uitkomsten bevinden zich in het geldigheidsgebied van de volgende golfploopformule:

$$Z_{2\%} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0} \quad \text{Formule 3.10 [bron 6.5]}$$

Formule 3.10: Geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

Het alternatief met een taludhelling van 1:8 heeft een golfbrekingsparameter van 0,57.

$\gamma_b \cdot \xi_0 = 0,70 \cdot 0,57 = 0,40$; Deze waarde is kleiner dan 0,50. De golfploophoogte mag volgens de regels niet bepaald worden met formule 3.10. Vanwege deze regel, en doordat een helling van 1:8 zeer flauw is en daardoor veel openwateroppervlakte inneemt, wordt niet gewerkt met deze helling.

Nadat de formule en alle benodigde invoerparameters bekend zijn wordt de golfploophoogte bepaald voor de vijf verschillende alternatieven. De alternatieven verschillen van elkaar in de helling van het buitentalud; deze zijn 1:3 tot en met 1:7. De overige dijkonderdelen zijn hetzelfde bij alle vijf alternatieven. Na het invullen van de parameters uit tabel 24 in formule 3.10, zijn de uitkomsten voor golfploophoogte voor de vijf alternatieven als volgt (tabel 25):

Taludhelling [-]	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7
Golfploophoogte [m]	0,61	0,46	0,37	0,31	0,26

Tabel 25 hellingen van het buitentalud van de dijk uitgedrukt tegen golfploop bij dezelfde gegevens (o.a. van dijkgeometrie en golven)

Bepaling van helling van buitentalud

De keuze uit de vijf verschillende taludhellingen (alternatieven) wordt gemaakt op basis van de eisen en uitgangspunten die van toepassing zijn op de helling van buitentalud. Uit het Programma van eisen en Uitgangspunten zijn dit als volgt:

Eisen:

1. De nieuwe varianten moeten aan de minimale waakhoogte voldoen. De minimale waakhoogte bestaat uit golfploophoogte + opwaaiing; Deze maken deel uit van de totale dijkhoogte (aanleghoogte van een dijk).
2. Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreding van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche Plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor waterberging.

Uitgangspunten:

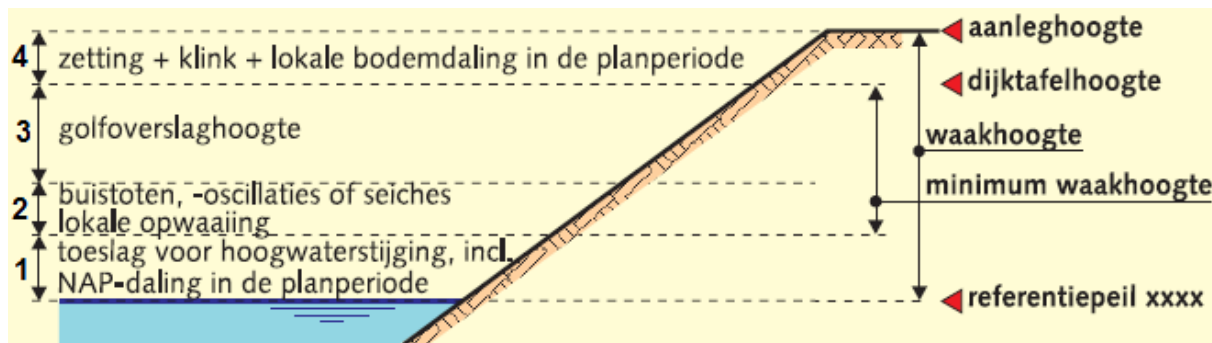
1. Er worden geen veranderingen aangebracht aan de kruinhoogte en het binnentalud van de huidige dijk.
2. Het ontwerp geldt voor een planperiode van 30 jaar.

De helling van het buitentalud wordt op de volgende manier gedimensioneerd:

- Eerst wordt de ruimte voor de golfploophoogte bepaald aan de hand van de aanleghoogte van de dijk. Aangezien de golfploophoogte afhankelijk is van o.a. de helling van het buitentalud, kunnen aan de hand van de beschikbare ruimte voor de golfploophoogte de taludhellingen gevonden worden die een golfploophoogte veroorzaken die binnen de beschikbare ruimte past. Dit is dus een onderdeel van de eerste eis.
- Vervolgens wordt één van de gevonden taludhellingen gekozen op basis van de tweede eis.

Bepaling van de ruimte voor golfploophoogte

De aanleghoogte van een dijk ten opzichte van het streefpeil bestaat uit vier punten. In figuur 60 is de opbouw van de aanleghoogte van een dijk schematisch weergegeven met alle vier punten.



Figuur 60 Opbouw van aanleghoogte van een dijk [bron 6.5]

Om de ruimte voor de golfploophoogte te bepalen dienen de aanleghoogte en de punten 1, 2 en 4 bepaald te worden. Deze zijn als volgt:

Aanleghoogte

De aanleghoogte van de dijk Nieuwe Weg is al bekend, dit is namelijk de kruinhoogte. Volgens het eerste uitgangspunt mag deze niet aangepast worden. De aanleghoogte is +0,12m t.o.v. N.A.P., dit is gelijk aan 1,27m t.o.v. het streefpeil.

Punt 1: toeslag voor hoogwaterstijging

De toeslag voor hoogwaterstijging is op de Loosdrechtsche Plassen 0,25 meter.

Punt 2: opwaaiing hoogte

De hoogte van de opwaaiing is 0,14 meter. De bepaling van deze waarde is terug te lezen in Bijlage 3 Bepaling van opwaaiing hoogte.

Punt 4: inklinking, lokale zetting van de dijk in de planperiode

Inklinking vindt plaats nadat een dijk opgehoogd is. In deze afstudeeropdracht wordt de dijk niet opgehoogd en is dus inklinking niet van toepassing. De lokale zetting in de planperiode is wel van toepassing, want de dijk Nieuwe Weg zakt met 12 mm per jaar. De planperiode van deze variant is 30 jaar. De zetting in de planperiode wordt dus: $30 \times 12 \text{ mm} = 0,36 \text{ meter}$.

Ruimte voor golfploophoogte

De ruimte voor de golfploophoogte kan bepaald worden door de punten 1, 2 en 4 uit figuur 60 van de aanleghoogte af te halen. Al deze benodigde gegevens zijn al bekend. De minimale ruimte voor golfploophoogte wordt als volgt: $1,27 - 0,25 - 0,14 - 0,36 = 0,52 \text{ meter}$.

Voor de definitieve variant wordt een extra veiligheidshoogte van 0,15 meter toegepast. De ruimte voor de golfploophoogte wordt: $0,52 - 0,15 = 0,37 \text{ meter}$.

Nadat de ruimte voor de golfploophoogte bepaald is, wordt een taludhelling gekozen (uit de beschikbare taludhellingen) op basis van de bijbehorende golfploophoogte. De beschikbare taludhellingen zijn vanaf 1:3 t/m 1:7. De bijbehorende golfploophoogte zijn vermeld in tabel 25. Om het overzichtelijk te maken worden ze hierna nogmaals weergegeven

Taludhelling [-]	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7
Golfploophoogte [m]	0,61	0,46	0,37	0,31	0,26

Tabel 25 hellingen van het buitentalud van de dijk uitgedrukt tegen golfloop bij dezelfde gegevens (o.a. van dijkgeometrie en golven)

De beschikbare ruimte voor de golfploophoogte is 0,37 meter. De alternatieven met een taludhelling van 1:3 en 1:4 vallen dus af. In het volgende onderdeel worden de drie overgebleven alternatieven afgewogen op de tweede eis, namelijk: afname van wateroppervlakte zo klein mogelijk laten.

Afname van wateroppervlakte

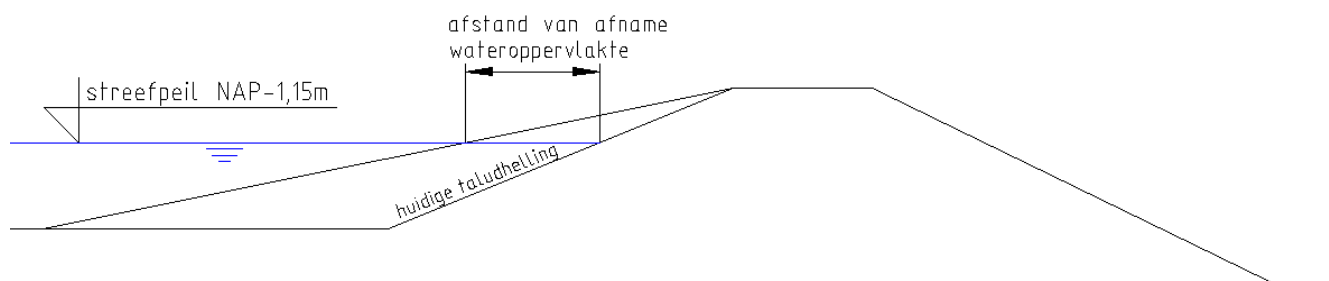
In dit onderdeel wordt één taludhelling gekozen uit de drie overgebleven taludhellingen. De keuze wordt gemaakt op basis van de volgende eis:

Bij aanpassingen aan de dijk dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche Plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor waterberging.

In Nederland is er ruimte gemaakt voor de berging van water. Dit zijn openwateroppervlakten zoals meren, sloten en plassen. Ze worden gebruikt voor o.a. bergen van neerslag. Indien in een gebied een grote oppervlakte aan openwater verminderd wordt (door bijvoorbeeld bebouwing), dan zal de waterhuishouding (waaronder waterstanden) in het desbetreffende gebied verstoord worden als gevolg van verstoring van de balans tussen oppervlakte aan openwater en droogland.

Daarom is het gewenst om de afname van openwateroppervlakte zo min mogelijk te houden. Indien de afname van openwateroppervlakte in een gebied leidt tot grote problemen met de huishouding, dan dient de afgenomen hoeveelheid openwateroppervlakte elders gecreëerd te worden.

De Loosdrechtsche Plassen zijn een belangrijk onderdeel van de waterberging in het gebied waar de dijk Nieuwe Weg ligt. Bij het verflauwen van de helling van het buitentalud van de dijk Nieuwe Weg wordt er een oppervlakte aan openwater van de Loosdrechtsche Plassen afgenomen; In figuur 61 is dit schematisch weergegeven.



Figuur 61 Schematische weergave van afname van openwateroppervlakte door verflauwing van taludhelling [bron 4.2]

Bepaling van maatgevende dijklengthe

Om te weten hoeveel openwateroppervlakte afgenomen wordt als gevolg van verflauwing van de helling van het buitentalud, dienen de lengte en de breedte van de afgenomen openwateroppervlakte bepaald te worden. Het gaat hier om de lengte van de variant die toegepast wordt op de dijk Nieuwe Weg. Deze variant wordt toegepast om de hoge mate van golfoploop en –overslag te reduceren. Een hoge mate van golfoploop en –overslag wordt veroorzaakt door o.a. hoge golven. Uit golventheorie en vooronderzoek 2 blijkt dat hoge golven veroorzaakt worden door o.a. grote strijklengten over de wateroppervlakte. Hoge golven veroorzaken een grote mate van golfoploop en –overslag bij een dijk.

Uit vooronderzoek 3 en uitwerking van variant 5 blijkt dat een golfbreker of een ander obstakel voor de golven, de golfhoogte sterk reduceert. Bij de uitwerking van variant 5 blijkt dat gereduceerde golven een kleine golfoploophoogte en -overslagdebiët hebben bij een dijk.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat deze variant geschikt is voor dijkstukken die zich bevinden achter wateroppervlakte met grote ononderbroken strijklengten. De dijkstukken die zich bevinden achter een golfreducerende constructie zoals legakkers, zullen niet te maken krijgen met een hoge mate van golfoploop en –overslag waardoor deze variant onnodig zal zijn voor deze dijkstukken. In figuur 62 is een plattegrond weergegeven waarop de dijk Nieuwe Weg zichtbaar is. Op deze plattegrond zijn de dijkstukken die in aanmerking komen voor deze variant met rode lijnen aangegeven.

De totale lengte van deze dijkstukken is 1850 meter.

Zoals in figuur 62 te zien is, is het dijkstuk achter de plas Kievitsbuurten niet geselecteerd, omdat deze zich bevindt achter een aantal legakkers die functioneren als golfbrekers.



Figuur 62 Dijkstukken die in aanmerking komen voor definitieve variant [bron 2.2]



De breedte van de afname van wateroppervlakte wordt bepaald door de helling van het buitentalud. In het tekenprogramma Autocad worden de drie overgebleven taludhellingen op het huidige buitentalud toegepast en wordt vervolgens de breedte van afname van wateroppervlakte opgemeten. Deze metingen zijn in tabel 26 bij de desbetreffende taludhelling weergegeven. In dezelfde tabel is bij elke taludhelling de afname van de openwateroppervlakte weergegeven.

Taludhelling	Breedte van afname van openwater in meters	Afname van openwateroppervlakte in m ²
1:5	3,60	6660
1:6	4,82	8917
1:7	6,04	11174

Tabel 26 maten van afname van wateroppervlakte voor verschillende taludhellingen

Uit de drie overgebleven taludhellingen wordt er gekozen voor de taludhelling van 1:5, omdat deze de minste openwateroppervlakte afneemt.

Indien de afgenomen openwateroppervlakte leidt tot grote problemen voor o.a. eisen voor waterberging, dan kan dit opgelost worden door ergens anders een openwateroppervlakte te creëren ter grootte van de afgenomen wateroppervlakte.

Advies is om deze op een locatie te doen waar de wind in de richting van de wateroppervlakte gaat en dus niet in de richting van het land. Hierdoor zal onder de extreme omstandigheden het water niet in de richting van het land geblazen worden, waardoor het land veilig blijft tegen golfaanvallen en wateroverlast.

Bermstuk

Zoals in varianten 1 en 4 in Hoofdstuk 6 Varianten toegelicht, heeft een bermstuk een reducerende werking op golfoploop en –overslag bij een dijk. De grootte van deze reductie wordt bepaald door de geometrie en de ligging van het bermstuk ten opzichte van de waterlijn. Deze twee onderdelen worden vertaald naar de invloedsfactor voor een bermstuk (γ_b). Deze factor is benodigd voor de formules van golfoploop en –overslag. In Hoofdstuk 6 Varianten is bij de bepaling van golfoploop en –overslag bij varianten 1 en 4 een invloedfactor voor een bermstuk (γ_b) aangenomen zonder het bermstuk te dimensioneren.

Aangezien variant 4 gekozen is tot definitieve variant, wordt het bermstuk van deze variant in deze paragraaf gedimensioneerd.

Gelet op het programma van eisen, dient het bermstuk gedimensioneerd te worden op basis van de volgende eisen:

1. Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreden van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche Plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de waterberging oppervlakte.

2. Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk dienen de invloedsfactoren van deze twee dijaspecten in combinatie met de invloedsfactor van de hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4. In formulevorm is dit als volgt:

$$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,4$$

Formule 4.1 [bron 6.5]

Hierin geldt:

γ_b = invloedsfactor voor een bermstuk [-]

γ_β = invloedsfactor voor hoek van golfaanval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid van het materiaal op buitentalud [-]

De eerste eis heeft betrekking op de ligging van het bermstuk ten opzichte van de waterlijn. De tweede eis heeft betrekking op de geometrie en de ligging van het bermstuk t.o.v. de waterlijn.

Hierna wordt eerst de waterdiepte boven het bermstuk en dus de ligging van het bermstuk t.o.v. de waterlijn bepaald, daarna wordt de geometrie van het bermstuk ontworpen volgens de eisen van een bermstuk.

Waterdiepte boven bermstuk

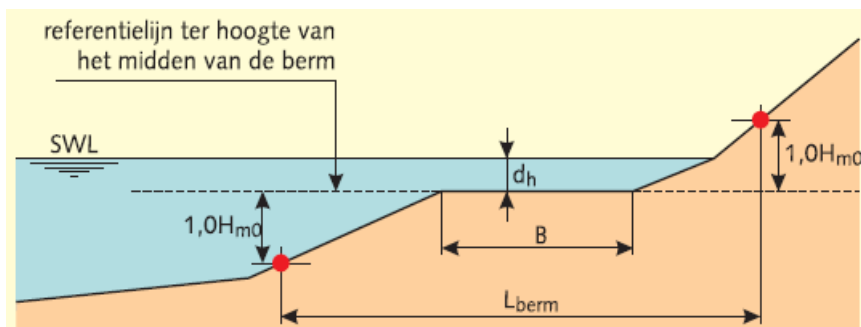
Om te voldoen aan de eerste eis wordt het bermstuk onder de laagst voorkomende waterlijn aangelegd.

Hierdoor wordt er geen openwateroppervlakte afgenomen door de oppervlakte van het bermstuk onder alle voorkomende waterstanden op de Loosdrechtsche Plassen. De laagste waterstand die voorkomt op de Loosdrechtsche Plassen is het streefpeil van N.A.P – 1,15 meter.

Er wordt gekozen voor een waterdiepte van 0,10 meter boven het bermstuk. Dat betekent dat het bermstuk 0,10 meter onder het streefpeil komt te liggen. Dit is gelijk aan N.A.P. -1,25 meter. De keuze is gemaakt op basis van de golfreductie, want de grootte van de golfreductie door het bermstuk wordt bepaald door o.a. de waterdiepte boven het bermstuk. Hoe kleiner deze waterdiepte is, hoe groter de golfreductie door het bermstuk wordt. Een waterdiepte van 0,10 meter is een gangbare diepte. Bij een kleinere waterdiepte dan 0,10 meter zal de grootte van de golfreductie weinig verschillen met die van een waterdiepte van 0,10 meter.

Geometrie van bermstuk

In figuur 63 is een schematisch dwarsprofiel van een bermstuk weergegeven. In dit figuur is te zien dat de geometrie van een bermstuk gevormd wordt door een kruinbreedte (B) en het buitentalud van het bermstuk.



Figuur 63 Schematisch dwarsprofiel van een bermstuk [bron 6.5]

In dit onderdeel worden de kruinbreedte (B) en de totale breedte (L_{berm}) van het bermstuk bepaald. Er wordt gekozen voor een helling van 1:4 voor het buitentalud van het bermstuk. Er wordt geen helling in de bermbreedte toegepast, waardoor deze horizontaal wordt zoals het weergegeven is in figuur 63. Volgens de eisen van een bermstuk mag de kruinbreedte van een bermstuk (B) niet breder zijn dan een kwart van de golflengte. In formule vorm is het als volgt:

$$B < 0,25 \cdot L \quad \text{Formule 9.1 [bron 6.5]}$$

De golflengte wordt bepaald met de volgende formule:

$$L = \frac{g \cdot T_s^2}{2 \cdot \pi} \quad \text{Formule 3.6 [bron 6.3]}$$

Hierin zijn de invoerparameters als volgt:

L = golflengte [m]
Ts = significante golfperiode [s]
g = gravitatiekracht [m/s^2]

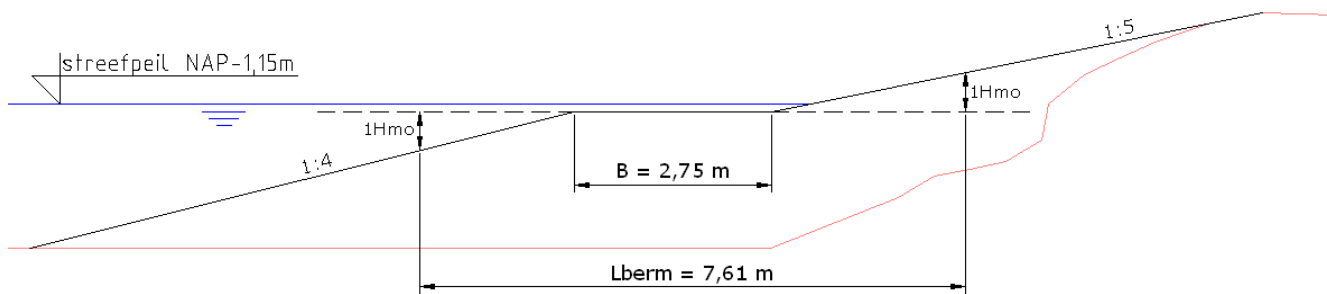
De meest maatgevende significante golfperiode waarmee gerekend wordt is 2,71 seconden. De gravitatiekracht is al bekend; deze is $9,81 \text{ m/s}^2$. Na het invullen van deze parameterwaarden in de golflengteformule, is de uitkomst een golflengte van 11,47 meter.

De berekening van de kruinbreedte van het bermstuk wordt: $B < 0,25 \cdot L \rightarrow B < 0,25 \cdot 11,47 \rightarrow B < 2,87$. Er wordt gekozen voor een kruinbreedte (B) van 2,75 meter.

Vervolgens wordt de totale breedte van het bermstuk (L_{berm}) bepaald. Voor deze berekening zijn de volgende gegevens benodigd: waterdiepte boven het bermstuk (d_h), kruinbreedte van het bermstuk (B), spectrale golfhoogte (H_{m0}), stilwaterlijn (SWL) dat is in dit geval gelijk aan het streefpeil, de helling van het buitentaluds van de dijk en het bermstuk. Al deze gegevens zijn al bekend. Deze zijn als volgt:

- Waterdiepte boven het bermstuk (d_h) is 0,10 meter
- Kruinbreedte van het bermstuk (B) is 2,75 meter
- Spectrale golfhoogte (H_{m0}) is 0,54 meter
- Stilwaterlijn (SWL) is het streefpeil van N.A.P – 1,15 meter.
- Helling van buitentalud van de dijk is 1:5
- Helling van buitentalud van het bermstuk is 1:4

Deze gegevens worden verwerkt tot een dwarsprofieltekening van een bermstuk zoals de dwarsprofieltekening die weergegeven is in figuur 63. Dit ontwerp van het bermstuk wordt met het tekenprogramma Autocad getekend op de huidige dijkgeometrie. In figuur 64 is deze weergegeven. De oranje lijn in figuur 64 is het huidige dijkprofiel. De totale breedte van het bermstuk (L_{berm}) wordt opgemeten. Deze is 7,61 meter.



Figuur 64 Dwarsprofieltekening van definitief bermstuk [bron 4.2]

Invloedsfactor voor bermstuk

Nadat de geometrie en de ligging van het bermstuk bepaald zijn, wordt de invloedsfactor voor het bermstuk (γ_b) berekend met de volgende formule:

$$\gamma_b = 1 - \frac{B}{L_{berm}} \left(0,5 + 0,5 \cdot \cos \left(\pi \frac{d_h}{x} \right) \right) \quad \text{Formule 9.2 [bron 6.5]}$$

De invoerparameters zijn als volgt:

- γ_b = invloedsfactor voor bermstuk [-]
- B = kruinbreedte van bermstuk [m]
- L_{berm} = totale breedte van bermstuk [m]
- d_h = waterdiepte boven bermstuk [m]
- x = een parameter die gerelateerd is aan de ligging van het bermstuk ten opzichte van de waterlijn [m].
Voor de parameter x geldt het volgende:
Als het bermstuk boven de waterlijn (SWL) ligt, dan geldt:
 $x = Z_{2\%}$ als $Z_{2\%} > -d_h > 0$ Formule 9.2a [bron 6.5]
Als het bermstuk beneden de waterlijn (SWL) ligt, dan geldt:
 $x = 2 \cdot H_{m0}$ als $2 \cdot H_{m0} > d_h \geq 0$ Formule 9.2b [bron 6.5]
- $Z_{2\%}$ = golfploophoogte [m]
- H_{m0} = Spectrale golfhoogte bij de teen van de dijk [m]
- SWL = stilwaterlijn [m]

In figuur 63 en 64 zijn een aantal van deze parameters weergegeven waardoor ze verduidelijkt worden. Niet alle benodigde invoerparameters voor de formule 9.2 zijn bekend. Alleen de parameter x is nog niet bepaald. Deze is als volgt:

Het bermstuk ligt onder de waterlijn, dan geldt voor de parameter x: $x = 2 \cdot H_{m0}$ als $2 \cdot H_{m0} > d_h \geq 0 \rightarrow$

$x = 2 \cdot 0,54 = 1,08$; $d_h = 0,10$ meter; De verhouding wordt: $1,08 > 0,10 \geq 0$ de verhouding voldoet, dus factor $x = 1,08$.

Alle invoerparameters voor formule 9.2 zijn bekend, na het invullen van de parameters in de formule 9.2 is de uitkomst als volgt: $\gamma_b = 0,64$. Dit is een vrij hoge invloedsfactor voor een bermstuk, want deze waarde ligt dicht in de buurt van de maximale invloedsfactor voor een bermstuk van 0,60.

Dit bermstuk is zeer optimaal; Daarom worden er geen verdere stappen ondernomen om de invloedsfactor voor het bermstuk nog kleiner te maken.



Er wordt nog gecontroleerd of de bepaalde invloedsfactor voor het bermstuk voldoet aan de tweede eis; Namelijk:

Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dienen de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van de hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4. In formulevorm is dit als volgt:

$$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,4$$

Formule 4.1 [bron 6.5]

Hierin geldt:

γ_b = invloedsfactor voor een bermstuk [-]

γ_β = invloedsfactor voor hoek van golfaanval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid van het materiaal op buitentalud [-]

De controle wordt als volgt:

De invloedsfactor voor hoek van golfaanval is 0,978. Er wordt bij deze variant een enkellaag breuksteen op het buitentalud van de dijk toegepast met een invloedsfactor (γ_f) van 0,63. De verhouding wordt als volgt:

$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta = 0,64 \cdot 0,63 \cdot 0,978 = 0,39$ Dit is lager dan 0,40. Er dient voor de bepaling van golfoploop en – overslag bij deze variant gerekend te worden met een invloedsfactor van 0,40 voor de combinatie van deze drie invloedsfactoren.

Advies over bermstuk

Als laatste wordt er een aantal adviezen gegeven op het vergroten van de golfreductie door een bermstuk. Een bermstuk kan geoptimaliseerd worden op reductie van golfploop en –overslag door de invloedsfactor voor het bermstuk (γ_b) zo laag mogelijk te maken; De uiterste grens is $\gamma_b = 0,60$. Dit kan bereikt worden door één van de volgende vijf opties toe te passen op de dijkgeometrie:

1. De kruinbreedte (B) van het bermstuk te vergroten; dit is echter beperkt tot een maximale grens van $B < 0,25 \cdot \text{golflengte}$ ($B < 0,25 \cdot L$). Dit is een eis voor het ontwerp van een bermstuk.
2. De helling van het buitentalud van de dijk steiler maken.
Een ander voordeel van deze optie is: de afname van wateroppervlakte wordt minder, want steile hellingen van een buitentalud van een dijk nemen minder openwateroppervlakte in beslag dan flauwe taludhellingen; Dit is terug te zien in het vorige onderdeel waarin de helling van het buitentalud van de dijk werd bepaald. In tabel 26 is te zien dat de steile taludhellingen minder wateroppervlakte afnemen dan flauwe taludhellingen.
Er is ook een nadeel aan deze optie; De reductie van golfploop en –overslag door de helling van het buitentalud van een dijk neemt bij een steile helling af. De golfploop en –overslag zijn bij steile taludhellingen hoger dan flauwe taludhellingen; Dit is terug te zien in het vorige onderdeel in tabel 25. Daarin is te zien dat de golfploophoogte bij steile taludhellingen hoger ligt dan flauwe taludhellingen.
3. De helling van het buitentalud van het bermstuk steiler maken.
4. Waterdiepte boven het bermstuk verkleinen, dat betekent de ligging van het bermstuk ten opzichte van de waterlijn verkleinen.
5. Één of meerdere van de bovengenoemde punten (1, 2, 3, 4) met elkaar combineren.

Steen grootte

Inleiding

Zoals bekend wordt het buitentalud van de definitieve variant bekleed met een enkellaag breuksteen. Om de stabiliteit van de breuksteenbekleding te waarborgen, dienen de stenen zwaar genoeg gedimensioneerd te worden zodat ze de belasting en energie van de golven kunnen weerstaan.

De stenen dienen de golven van alle omstandigheden te kunnen weerstaan. De grootste golven treden op bij de extreme omstandigheid die eens in de 100 jaar voor kan komen. Daarom wordt de grootte van de stenen gedimensioneerd op de golfcondities van deze omstandigheid. Dit wordt gedaan met de formule van Van der Meer.

Van der Meer beschrijft de volgende twee formules met hun geldigheidsgebied:

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} = 6,2 \cdot P^{0,18} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\xi_m}} \quad \text{Formule 9.3 [bron 6.8]}$$

Formule 9.3: Geldig bij overstortende golven (plunging waves)

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} = 1,0 \cdot P^{-0,13} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \cdot \sqrt{\cot \alpha} \cdot \xi_m^p \quad \text{Formule 9.4 [bron 6.8]}$$

Formule 9.4: Geldig bij deinende golven (surging waves)

In deze formules zijn de parameters als volgt:

- H_s = significante golfhoogte bij de teen van de dijk [m]
- D_{n50} = gemiddelde steendiameter [m]
- P = doorlatendheidscoëfficiënt van de dijk [-]
- S = schadefactor [-]
- N = aantal golven [-]
- ξ_m = golfbrekingsparameter [-]
- Δ = delta coëfficiënt die relatie tussen soortelijke massa van water en breuksteen beschrijft. [-]

Hierna worden eerst alle benodigde parameters voor de formules van Van der Meer bepaald. Vervolgens wordt uit de twee formules de juiste formule bepaald, als laatste wordt de steengrootte met de gekozen formule berekend.

Invoerparameters

Hierna worden alle benodigde invoerparameters voor de formules van Van der Meer bepaald.

Doorlatendheidscoëfficiënt

Doordat breuksteen waterdoorlatend is wordt deze eigenschap meegenomen in de bepaling van de steengrootte. Deze eigenschap heeft een grote invloed op de golfenergie. Aangezien de grootte van de stenen bepaald wordt op basis van o.a. de golfenergie heeft de doorlatendheidscoëfficiënt van de dijkconstructie dus invloed op de bepaling van de steengrootte.

Bij een dijk met een grote doorlatendheid kan de golfenergie gemakkelijker door de dijk gaan dan bij een dijk met een kleine doorlatendheid. Hierdoor is de belasting op een dijk met kleine doorlatendheidscoëfficiënt groter dan bij een dijk met grote doorlatendheidscoëfficiënt. De golven zullen een deel van hun energie kwijt raken tussen de breukstenen. Om te voorkomen dat hierdoor de stabiliteit van de breuksteenbekleding in gevaar komt, worden de stenen zwaar genoeg gedimensioneerd zodat ze de belastingen en de energie van de golven kunnen weerstaan.

De waarde van doorlatendheidscoëfficiënt P in de formules van Van der Meer kan variëren tussen 0,1 en 0,6 waarbij de waarde toeneemt met de doorlatendheid van de constructie. Deze waarden zijn proefondervindelijk vastgesteld. In figuur 65 zijn een aantal doorlatendheidscoëfficiënten weergegeven bij verschillende constructies.

De opbouw van de definitieve variant bestaat uit een kern van zand, afgedekt met waterdoorlatend geotextiel en daarboven een enkellaag breuksteen. Deze materialen zijn allemaal waterdoorlatend.

Uit figuur 65 is af te lezen dat zo'n constructie overeenkomt met dwarsprofiel C, waarbij de P waarde 0,5 is. De waarde $P = 0,5$ mag gebruikt worden als er voldaan wordt aan de volgende eis:

$$D_{n50A}/D_{n50C} = 3,2 \quad [\text{bron 6.8}]$$

Hierin geldt:

D_{n50A} = gemiddelde steendiameter van de toplaag (breukstenen) [m]

D_{n50C} = gemiddelde steendiameter van het kernmateriaal (zand) [m]

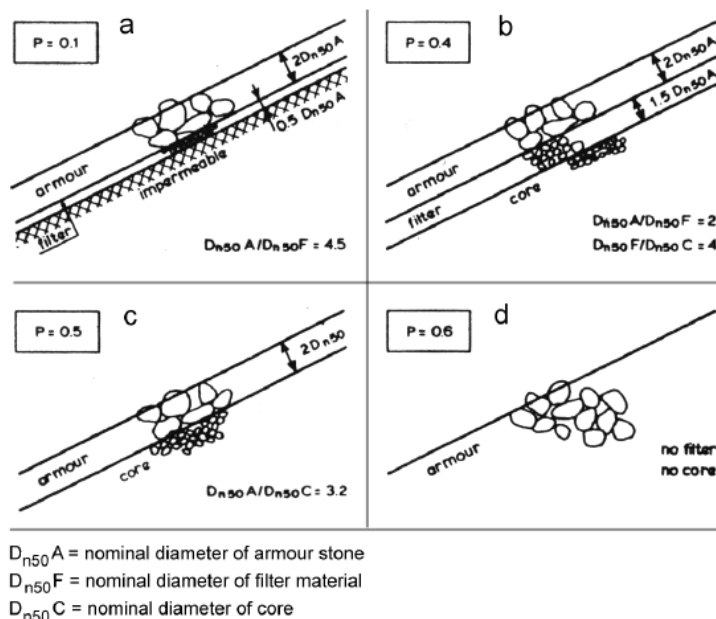
Deze eis wordt gecontroleerd. Er wordt gekozen voor het meest grove zand; deze heeft een grootte van $D_{n50C} = 2 \text{ mm} = 0,002\text{m}$. De grootte van de breukstenen zijn voorlopig niet bekend; daarvoor wordt de volgende grootte aangenomen $D_{n50A} = 0,16\text{m}$.

De verhouding wordt als volgt:

$$D_{n50A}/D_{n50C} = 0,16/0,002 = 80 \rightarrow 80 \neq 3,2 \rightarrow \text{er wordt niet voldaan aan de verhouding. De waarde van } P = 0,5 \text{ mag dus niet gebruikt worden.}$$

Er zijn verder geen andere eisen voorgesteld, daarom wordt er een aanname gedaan voor de P waarde.

De kern van de definitieve variant heeft een grote dikte en is van zand, hierdoor neemt de doorlatendheid van het gehele kernlichaam af. Het is wel het meest grove zand die een hogere doorlatendheid heeft dan andere zandtypes. Op basis van deze eigenschappen wordt een doorlatendheidscoëfficiënt aangenomen van $P = 0,15$.



Figuur 65 Doorlatendheidscoëfficiënten voor verschillende constructies [bron 6.8]

Schadefactor

Tijdens de extreme omstandigheden kan het deel van de dijk dat aan de waterkant ligt beschadigen door golfploop en/of golven die met hoge kracht tegen het buitentalud en het bermstuk slaan.

De elementen (stenen) van het bekledingsmateriaal (breuksteen) kunnen dan weggeslagen worden. Als er veel stenen wegslaan en de onderlaag bloot komt te liggen, kan de schade doorgaan tot de onderlagen, waardoor op den duur de stabiliteit van de dijk in gevaar komt.

Om deze schade te voorkomen dienen de stenen van de bekleding zwaar genoeg gedimensioneerd te worden zodat ze niet wegspoelen. De dijkbekleding kan zodanig gedimensioneerd worden dat er na het optreden van de extreme omstandigheid geen of beperkte schade aan de bekleding optreedt.

Voor een buitentalud van een dijk die moeilijk bereikbaar en te repareren is, en waardoor de reparatiekosten hoog zijn, is het verstandig om de bekleding zodanig te dimensioneren dat na een extreme omstandigheid geen schade aan de bekleding ontstaat.

De formule van Van der Meer houdt rekening met de hoeveelheid schade die aan de dijkbekleding mag optreden. Bij het dimensioneren van de diameter van de breukstenen (steengrootte) kan men een hoeveelheid schade accepteren na het optreden van de extreme omstandigheid. Deze hoeveelheid schade wordt uitgedrukt in schadefactor S . In tabel 27 zijn de schadefactoren weergegeven die gelden bij een bepaald taludhelling.

Taludhelling	Beginnende schade (geen reparatie nodig)	Gevorderde schade (reparatie nodig)	Bezwijken (kern komt bloot te liggen)
1:1,5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17

Tabel 27 Schadefactoren voor verschillende taludhellingen [bron 6.8]

De schadefactor is als volgt gedefinieerd: De totale materie (breukstenen) in vierkante meter (A_e) dat afslaat van de dijk bij de extreme omstandigheid. Dit wordt in verband gebracht met de steendiameter D_{n50} . In formule vorm is dit als volgt:

$$S = \frac{A_e}{D_{n50}^2}$$

Formule 9.5 [bron 6.8]

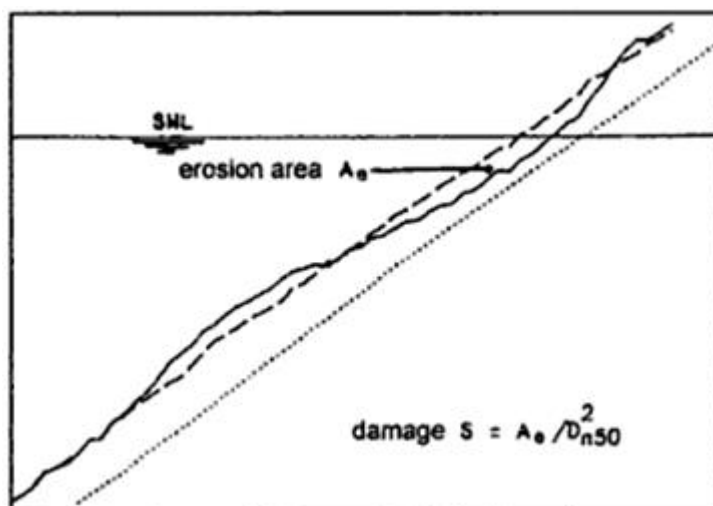
Hierin geldt:

S = schadefactor [-]

A_e = oppervlakte erosiegebied [m^2]

D_{n50} = gemiddelde steendiameter van de toplaag [m]

In figuur 66 is deze definitie verduidelijkt met een afbeelding van een buitentalud waarbij een aantal stenen geërodeerd zijn.



Figuur 66 definitie van schadefactor S [bron 6.8]

De definitieve variant is ontworpen op basis van de extreme omstandigheid die eens in de 100 jaar voor kan komen. Doordat deze omstandigheid weinig voorkomt, mag er eens in de 100 jaar schade aan de bekleding van de dijk optreden. De schade dient beperkt te blijven tot een gevorderde schade waarbij reparatie vereist is na de extreme omstandigheid.

De helling van het buitentalud van de definitieve variant is 1:5. Deze komt niet voor in tabel 27. Taludhellingen 1:4 en 1:6 komen wel voor in de tabel, de bijbehorende schadefactor S van deze twee hellingen ligt tussen 8 en 12 voor gevorderde schade. Voor de taludhelling van 1:5 wordt de schadefactor S geïnterpoleerd tussen die van taludhellingen 1:4 en 1:6 bij een gevorderde schade. Er wordt gekozen voor een minimale schade met een schadefactor van 8. De dijk is dan niet volledig beschadigd en kan zijn functie nog steeds vervullen. Na de extreme omstandigheid dient de schade gerepareerd te worden zodat de dijk voldoende beschermd is tegen de volgende extreme omstandigheid.



Aantal golven

N is het aantal golven die ontstaan gedurende extreme omstandigheid (storm). Dit wordt bepaald door de stormduur (T_{storm}) en de significante golfperiode (T_s). In formulevorm is dit als volgt:

$$N = \frac{T_{storm}}{T_s} \quad \text{Formule 9.6 [bron 6.8]}$$

De (storm)duur van de extreme omstandigheid die eens in de 100 jaar voor kan komen op de Loosdrechtsche Plassen is 6 uur. Gedurende deze stormduur zullen niet alle golven even hoog zijn als de significante golfhoogte (van 0,54m). Er wordt vanuit gegaan dat 2/3 deel van de stormduur bestaat uit golven met een significante hoogte; Dit is gelijk aan 4 uur. Aangezien de variant ontworpen wordt op basis van de significante golfhoogte dient in dit onderdeel ook gerekend te worden met de significante golfhoogte. De significante golfperiode (T_s) is 2,71 seconden. De berekening van het aantal golven wordt als volgt:

$$N = \frac{T_{storm}}{T_s} = \frac{4 \cdot 60 \cdot 60}{2,71} \approx 5314 \text{ golven}$$

Deltacoëfficiënt

De delta coëfficiënt (Δ) beschrijft de relatie tussen soortelijke massa van water en breuksteen. Deze wordt met de volgende formule bepaald:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad \text{Formule 9.7 [bron 6.8]}$$

Hierin geldt:

ρ_w = soortelijke massa van zoetwater = 1000 kg/m³ [bron 8.1]

ρ_s = soortelijke massa van breuksteen = 2650 kg/m³ [bron 8.1]

De delta coëfficiënt wordt:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} = \frac{2650 - 1000}{1000} = 1,65$$

Bepaling van de formule

Zoals in de Inleiding toegelicht zijn er twee verschillende formules waarmee de grootte van de stenen (steendiameter) bepaald wordt.

Het type golven dat tegen de dijk komt bepaalt de formule waarmee gerekend wordt. Het type golf kan bepaald worden met de golfbrekkingsparameter. Er dienen twee soorten golfbrekkingsparameters bepaald te worden met de volgende formules:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S}} \quad \xi_m = \left(6,2 \cdot P^{0,31} \sqrt{\tan \alpha}\right)^{\frac{1}{p+0,5}}$$

Formule 3.7c [bron 6.5 en 6.8]

Formule 9.8 [bron 6.8]

In deze formules zijn de parameters als volgt:

ξ = golfbrekkingsparameter

ξ_m = golfbrekkingsparameter

S = golfsteilheid [-] = $\frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$

Formule 3.7ca [bron 6.5 en 6.8]

α = helling van buitentalud van de dijk [-]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

g = gravitatiekracht [m/s²]

P = doorlatendheidscoëfficiënt van de dijk [-]

Indien geldt $\xi_0 < \xi_m$ dan zijn het overstortende golven (plunging waves)

Indien geldt $\xi_0 > \xi_m$ dan zijn het deinende golven (surging waves)

Alle invoerparameters voor beide formules zijn al bekend. Deze zijn als volgt:

Benaming	Symbol	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,54	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,66	s
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s ²
Doorlatendheidscoëfficiënt	P	0,15	-
helling van buitentalud van de dijk	α	1/5	-

Tabel 28 Invoerparameters ter bepaling van golfbrekkingsparameters

Na het invullen van de parameters uit tabel 28 in de formules 3.7ca, 3.7c en 9.8, zijn de uitkomsten als volgt:

$\xi_0 = 0,90$ $\xi_m = 1,94$ $\rightarrow 0,90 < 1,94 \rightarrow \xi_0 < \xi_m$ dus zijn het overstortende golven (plunging waves).

De formule voor dit type golven is:

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} = 6,2 \cdot P^{0,18} \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\xi_m}}$$

Formule 9.3 [bron 6.8]

Formule 9.3: Geldig bij overstortende golven (plunging waves)

Berekening van steengrootte

Nadat alle parameters bepaald zijn, wordt de gemiddelde steendiameter met formule 9.3 berekend. Ter overzichtelijkheid worden alle invoerparameters voor formule 9.3 in tabel 29 weergegeven.

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Significante golfhoogte	H_s	0,54	m
Deltacoefficiënt	Δ	1,65	-
Doorlatendheidscoëfficiënt	P	0,15	-
Schadefactor	S	8	-
Aantal golven	N	5314	-
Golfbrekningsparameter	ξ_m	1,94	-

Tabel 29 Invoerparameters ter bepaling van gemiddelde steendiameter

Na het invullen van de parameters uit tabel 29 in formule 9.3 volgt een uitkomst van $D_{n50} = 0,161$ meter.

In tabel 30 zijn de gewichtsklassen van breukstenen weergegeven. De bepaalde steen grootte bevindt zich in de steenklasse 0,16 – 30 meter, het daarbij horende gewicht is 10 – 60 kg.

Het buitentalud van definitieve variant wordt dus bekleed met breukstenen met diameters die verschillen tussen 0,16 en 0,30 meter; het gewicht van deze stenen ligt tussen 10 en 60 kg.

Zoals in paragraaf 9.2 Ontwerp toegelicht wordt de teenconstructie en de bekleding van het bermstuk van dezelfde materiaal gemaakt als het bekledingsmateriaal van buitentalud van de dijk en dus breukstenen van gewichtsklasse 10 – 60 kg.

Gewicht (kg)	D_n (m)
10 – 60	0,16 – 0,30
10 – 200	0,16 – 0,43
60 – 300	0,30 – 0,49
300 – 1000	0,49 – 0,72
1000 – 3000	0,72 – 1,04
3000 – 6000	1,04 – 1,31
6000 – 10000	1,31 – 1,55

Tabel 30 Breuksteen klassen [bron 6.8]

Teenconstructie

Er dient een teenconstructie op de variant aanwezig te zijn. De functie van een teenconstructie is het stabiel houden van het dijklichaam.

Bij dijken komt het bezwijkmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts voor. Dit is een verschijnsel waarbij het buitentalud van een dijk of een bermstuk afschuift als gevolg van instabiliteit. Dit bezwijkmechanisme kan voorkomen worden door o.a. een steunconstructie tegen het buitentalud te plaatsen. Deze methode is ook toegepast bij de definitieve variant. Er is namelijk een bermstuk tegen het buitentalud geplaatst. Dit bermstuk dient ook stabiel gehouden te worden met een steunconstructie zoals een teenconstructie. Indien dit niet gebeurt, dan zal het buitentalud van het bermstuk afschuiven; De breukstenen van de toplaag zullen als eerste afschuiven. Doordat stenen verwijderd raken van het bermstuk wordt er steungewicht aan de zandkern van het bermstuk onttrokken, waardoor het bermstuk instabiel wordt. Dit omdat de breukstenen het geotextiel op zijn plek houdt en het geotextiel op haar beurt met behulp van het gewicht van de breukstenen de zandkern van de variant (van het bermstuk en het buitentalud) op zijn plek houdt.

Nadat de breukstenen van het buitentalud van het bermstuk afgeschoven zijn, raakt het zandlichaam van het bermstuk als gevolg van golfstoten en waterdruk uit balans; hierdoor gaat het zand afschuiven. Doordat het geotextiel verankerd is, neemt de trekkracht in het geotextiel toe als gevolg van de druk van het afgeschoven zandlichaam. Het geotextiel zal dan gaan scheuren, waarna zand uit de gescheurde opening wegspoelt. Door de onttrekking van zand uit het bermstuk en het afgeschoven bermstuk, wordt de steun tegen afschuiven van het buitentalud van de dijk langzaam ontnomen. Op den duur is de steun erg klein, waardoor het buitentalud van de dijk gaat afschuiven. Hetzelfde verschijnsel als bij het bermstuk zal dan bij het buitentalud van de dijk optreden. De gehele variant bezwijkt dan.

Om dit te voorkomen dient er een teenconstructie op de definitieve variant toegepast te worden. Deze teenconstructie wordt tegen het bermstuk geplaatst.

Voor de definitieve variant wordt de teenconstructie gemaakt van hetzelfde materiaal als de toplaag. Dit wordt gedaan, omdat dit één van de meest toegepaste teenconstructies is en ten behoeve van de uitvoering. Op deze manier kan hetzelfde materiaal en materieel gebruikt worden voor de aanleg van de toplaag en de teenconstructie van de definitieve variant.

Hierna wordt de teenconstructie gedimensioneerd volgens de eisen.

De eisen voor de minimale afmetingen van een teenconstructie zijn als volgt:

- Hoogte: $2 - 3 \cdot \text{gemiddelde steendiameter } (D_{n50})$ Formule 9.9 [bron 6.8]
- Breedte: $3 - 5 \cdot \text{gemiddelde steendiameter } (D_{n50})$ Formule 9.10 [bron 6.8]

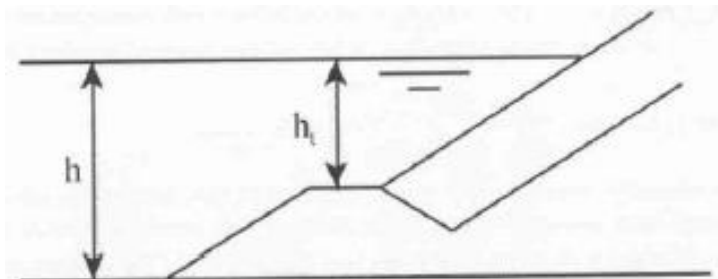
Daarnaast zijn er twee stabiliteitseisen waaraan de teenconstructie moet voldoen. Deze eisen zijn als volgt:

$$0,4 < h_t/h < 0,9 \quad [\text{bron 6.8}] \quad \text{en} \quad 3 < h_t/D_{n50} < 25 \quad [\text{bron 6.8}]$$

Hierin zijn de parameters als volgt:

- D_{n50} = gemiddelde steendiameter
- h = bodemligging ten opzichte van waterspiegel (waterdiepte)
- h_t = hoogte vanaf bovenkant van teenconstructie tot aan waterspiegel ($h_t = h - \text{hoogte teenconstructie}$)

Figuur 67 verduidelijkt een aantal van de parameters van de stabiliteitseisen van de teenconstructie. Daarin is een teenconstructie aan een buitentalud zichtbaar.



Figuur 67 Teenconstructie [bron 6.8]

Voor de dimensionering van de teenconstructie dient er gerekend te worden met de gemiddelde steendiameter (D_{n50}). Aangezien de teenconstructie bestaat uit dezelfde breuksteen klasse als die van de toplaag op het buitentalud van de dijk, dient dus gerekend te worden met de gemiddelde steendiameter van de breukstenen van de toplaag. De toplaag bestaat uit breukstenen met een diameter tussen 0,16 en 0,30 meter. Dit is in de vorige paragraaf bepaald. Er wordt vanuit gegaan dat de gemiddelde stenen een diameter hebben van 0,23 meter.

Voor de hoogte van de teenconstructie wordt $3 \cdot$ gemiddelde steendiameter aangenomen en voor de breedte $4 \cdot$ gemiddelde steendiameter. De berekening wordt als volgt:

Hoogte: $3 \cdot D_{n50} = 3 \cdot 0,23 = 0,69$ meter

Breedte: $4 \cdot D_{n50} = 4 \cdot 0,23 = 0,92$ meter

Wegens praktische redenen waaronder de aanlegwerkzaamheden, is het beter om de teenconstructie te dimensioneren met praktische waarden; daarom worden de berekende hoogte en breedte afgerond naar de volgende waarden:

Hoogte: 0,75 meter

Breedte: 1,00 meter

Vervolgens wordt de teenconstructie getoetst met de twee stabiliteitseisen.

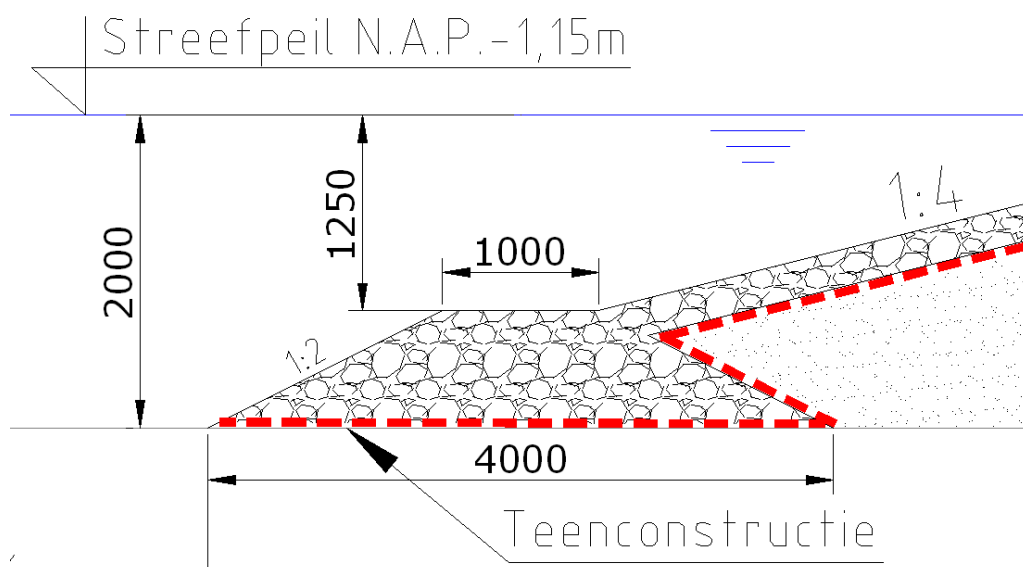
De variant wordt ontworpen op basis van de extreme omstandigheid. Tijdens deze omstandigheid is de waterdiepte op de Loosdrechtsche Plassen 2,25 meter. In de hierboven genoemde eisen is h de bodemligging ten opzichte van de waterspiegel (waterdiepte). In dit geval is het dus 2,25 meter.

$h_t = h -$ hoogte van teenconstructie $= 2,25 - 0,75 = 1,50$ meter. De verhouding wordt als volgt:

Eis 1: $0,4 < h_t/h < 0,9 \rightarrow 0,4 < 1,50/2,25 < 0,9 \rightarrow 0,4 < 0,67 < 0,9 \rightarrow$ voldoet

Eis 2: $3 < h_t/D_{n50} < 25 \rightarrow 3 < 1,50/0,23 < 25 \rightarrow 3 < 6,52 < 25 \rightarrow$ voldoet

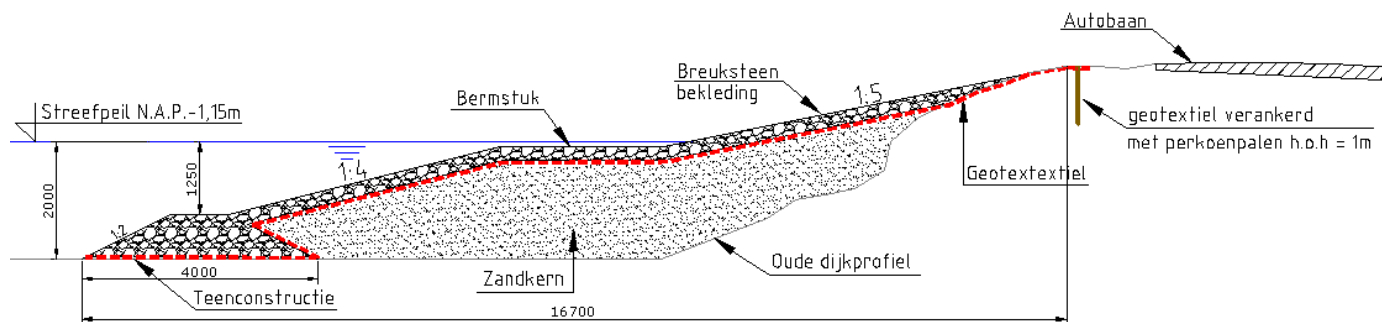
In figuur 68 is de ontworpen teenconstructie van definitieve variant weergegeven.



Figuur 68 teenconstructie van definitieve variant [bron 4.2]

8.4 Resultaten op golfoploop en golfoverslag

Nadat de onderdelen van de definitieve variant gedimensioneerd zijn wordt de dwarsprofieltekening van de definitieve variant gemaakt met de bepaalde dimensies. Dit wordt gedaan met het tekenprogramma Autocad. In figuur 69 is deze dwarsprofieltekening weergegeven. Deze tekening is op A3 formaat in bijlage 5 terug te vinden.



Figuur 69 dwarsprofieltekening van definitieve variant [bron 4.3]

In Hoofdstuk 6 Varianten is onder Paragraaf 6.5 Variant 4 de golfoploop en –overslag bij variant 4 bepaald. Daarin zijn een aantal aannames gedaan waaronder de invloedsfactor voor een bermstuk.

In dit hoofdstuk zijn een aantal dijkonderdelen van variant 4 gedimensioneerd, hieruit is de geometrie van een aantal dijkonderdelen anders geworden dan die van variant 4. De golfoploop en –overslag zullen hierdoor ook veranderen. Daarom worden deze golfgegevens bepaald voor de definitieve variant.

Een aantal van de benodigde gegevens zullen uit dit hoofdstuk gehaald worden, voor de rest zijn het gegevens van de huidige dijkgeometrie die beschreven staan onder paragraaf 5.6 Uitkomsten probleemonderzoek. Om het overzichtelijk te maken worden alle benodigde gegevens voor de bepaling van golfoploop en –overslag voor de definitieve variant in de volgende tabel weergegeven.

Benaming	Symbool	Waarde	Eenheid
Spectrale golfhoogte	H_{m0}	0,54	m
Spectrale golfperiode	$T_{m-1,0}$	2,66	s
Kruinhoogte	h_k	1,02	m
Gravitatiekracht	g	9,81	m/s ²
Invloedsfactor voor bermstuk	γ_b	0,64	-
Invloedsfactor voor wand	γ_v	1	-
Ruwheidfactor van materiaal op buitentalud	γ_f	0,63	-
Invloedsfactor voor hoek van golfaanval	γ_β	0,978	-
Helling van buitentalud	-	1:5	-
Golfbrekiingsparameter	ξ_0	0,90	-

Tabel 31 Invoerparameters voor bepaling van golfoploop en –overslag voor definitieve variant

De golfbrekiingsparameter en de invloedsfactor van het bermstuk bepalen de keuze van golfoploop en golfoverslag –formule. $\gamma_b \cdot \xi_0 = 0,64 \cdot 0,90 = 0,58$. Deze uitkomst bevindt zich in het geldigheidsgebied van de volgende formules:

Golfoploopformule:

$$Z_{2\%} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0}$$

Formule 3.10 [bron 6.5]

Formule 3.10: Geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

Golfoverslag formule:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)$$

Formule 3.12 [bron 6.5]

Formule 3.12: Geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$

Met deze twee formules wordt golfoploop en –overslag voor definitieve variant bepaald. Er dient echter aan de volgende eis voldaan te worden:

Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk dienen de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van de hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4. In formulevorm is dit als volgt:

$$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,4$$

Formule 4.1 [bron 6.5]

Hierin geldt:

γ_b = invloedsfactor voor een bermstuk [-]

γ_β = invloedsfactor voor hoek van golfaanval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid van het materiaal op buitentalud [-]

De verhouding voor de definitieve variant wordt als volgt:

$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta = 0,64 \cdot 0,63 \cdot 0,978 = 0,39$ Dit is lager dan 0,40. Er dient dus gerekend te worden met een invloedsfactor van 0,40 voor de combinatie van de drie invloedsfactoren.

Na het invullen van de parameters uit tabel 31 in de formules 3.10 en 3.12, zijn de uitkomsten als volgt:

- Golfploophoogte: 0,34 m
- Gemiddeld golfoverslag debiet: $3,01 \cdot 10^{-8}$ l/m/s

8.5 Toetsing van definitieve variant

De definitieve variant is gedimensioneerd op basis van de eisen, daarom voldoet deze variant aan alle eisen. Om dit te bevestigen, wordt de definitieve variant hierna getoetst aan de eisen.

Uit Hoofdstuk 3 Programma van eisen zijn de eisen verdeeld over een aantal categorieën. Een aantal van deze categorieën gelden niet voor deze afstudeeropdracht. Om het overzichtelijk te maken worden de eisen die binnen deze categorieën vallen niet genoemd. De definitieve variant wordt hierna getoetst op alleen de eisen die gelden voor deze afstudeeropdracht.

Eis 1: De nieuwe varianten moeten voldoen aan een veiligheidsnorm van 1:100 jaar. Daarbij dienen de varianten te voldoen aan de hieronder genoemde eisen 2 en 3.

Verder dienen de varianten ontworpen te worden volgens de meest maatgevende randvoorwaarden die behoren bij de veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

Toetsingresultaat van eis 1: Bij deze variant is gerekend met de meest maatgevende randvoorwaarden die gelden voor een veiligheidsnorm van 1:100 jaar.

De variant heeft voldaan aan deze eis. Dat houdt in dat de variant voldoet aan de eisen 2 en 3. Onder toetsingresultaat van eisen 2 en 3 wordt hierop verder ingegaan.

Eis 2: De nieuwe varianten moeten aan de minimale waakhoogte voldoen. De minimale waakhoogte bestaat uit golfploophoogte + opwaaiing; Deze maken deel uit van de totale dijkhoogte (aanleghoogte van een dijk).

Toetsingresultaat van eis 2: De variant voldoet aan deze eis.

Onder paragraaf dimensioneren van het buitentalud uit dit hoofdstuk is bij de berekening van de aanleghoogte een ruimte van 0,37 meter berekend voor de golfploophoogte. Binnen deze berekening is al rekening gehouden met alle aspecten van de aanleghoogte. Deze aspecten zijn als volgt:

- Hoogte voor toeslag voor hoogwaterstijging
- Hoogte voor opwaaiing
- Hoogte voor zetting van de dijk over de planperiode.

Daarnaast is er nog een extra veiligheidshoogte van 0,15 meter in de berekening van de kruinhoogte opgenomen.

De golfploophoogte van de definitieve variant komt uit op 0,34 meter. Dat betekent dus dat de minimale waakhoogte niet overschreden wordt en dus is er voldaan aan deze eis.

Eis 3: Het gemiddelde golfoverslagdebiet mag maximaal 0,1 l/m/s (liter/meter/seconde) zijn.

Toetsingresultaat van eis 3: De variant voldoet aan deze eis, want het (gemiddeld) golfoverslagdebiet bij deze variant is $3,01 \cdot 10^{-8}$ l/m/s. Dit is veel lager dan het maximaal toegestaan (gemiddeld) golfoverslagdebiet. Het (gemiddeld) golfoverslagdebiet is bij deze variant zeer laag, het kan verwaarloosbaar beschouwd worden. Dit golfoverslagdebiet is te vergelijken met een zeer kleine druppel water. Dit zal geen schade aan de dijk en het achterland veroorzaken.

Men zou kunnen zeggen dat deze variant overbodig gedimensioneerd is voor het mechanisme golfoverslagdebiet en dat de variant best kleiner gedimensioneerd kan worden waardoor de materiaal- en aanlegkosten lager worden. Dit is geen mogelijkheid, omdat deze variant gedimensioneerd is op basis van de golfploophoogte die deel uitmaakt van de minimale kruinhoogte. Indien deze variant kleiner gedimensioneerd wordt, dan zal de golfploophoogte toenemen en daardoor zal de variant niet meer voldoen aan de minimale waakhogte.

Eis 4: Bij het toepassen van een ruw bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dienen de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,40. In formulevorm is dit als volgt:

$$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,40$$

Formule 4.1 [bron 6.5]

Toetsingresultaat van eis 4: De definitieve variant voldoet aan deze eis, want deze eis is al toegepast bij het berekenen van golfploop en –overslag bij deze variant.

Eis 5: Bij aanpassingen aan de dijk (zoals bijvoorbeeld verbreden van de dijk) dient de afname van wateroppervlakte (van de Loosdrechtsche Plassen) zo klein mogelijk te zijn. Dit in verband met het verkleinen van de oppervlakte voor waterberging.

Toetsingresultaat van eis 5: Deze eis is meegenomen in de dimensionering van de helling van het buitentalud en het bermstuk. Het bermstuk is onder het laagst voorkomende waterpeil gedimensioneerd; dus deze neemt geen openwateroppervlakte in beslag en voldoet dus ruim aan deze eis. Bij de dimensionering van de helling van het buitentalud is er uit de mogelijke taludhellingen gekozen voor de taludhelling die de minste openwateroppervlakte in beslag neemt. Er zou dan geconcludeerd worden dat de openwateroppervlakte zo min mogelijk afgenomen is door deze variant. De variant voldoet dus aan deze eis.

Eis 6: Het ontwerp van de varianten dient waterdoorlatend te zijn i.v.m. het nat houden van het dijklichaam.

Toetsingresultaat van eis 6: Aan deze eis wordt voldaan, want de toegepaste materialen voor deze variant zijn allemaal waterdoorlatend.

8.6 Kostenraming

Inleiding

In deze paragraaf worden de totale kosten bepaald voor de definitieve variant. Dit zal voor een groot deel gebaseerd worden op de hoeveelheid benodigd materiaal waarmee de variant gebouwd wordt (op de huidige dijk).

De dijk is 3399 meter lang. Uit vooronderzoek 1 bleek dat de dijkgeometrie niet over de gehele lengte hetzelfde is. In paragraaf 5.2 Vooronderzoek 1 zijn een aantal dwarsprofieltekeningen van de dijk getoond die genomen waren op verschillende locaties over het dijktraject. Als deze tekeningen met elkaar vergeleken worden, dan is te zien dat ze verschillen in de dijkgeometrie. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de dijkgeometrie niet over de gehele lengte hetzelfde is.

De hoeveelheid benodigd materiaal (voor de bouw van de definitieve variant op de huidige dijk) verschilt dus per dijkstuk, want elk dijkstuk verschilt in geometrie en lengte.

In het voorafgaande zijn alle onderzoeken, ontwerpen en berekeningen uitgevoerd op het meest maatgevende dijkstuk dat zich bevindt op metring 2700 van het dijktraject. Dit zal in dit onderdeel ook gebeuren. Er wordt van uitgegaan dat de dijkgeometrie van het gehele dijktraject gelijk is aan de geometrie van het meest maatgevende dijkstuk. De kostenraming wordt gemaakt voor een dijkstuk met een lengte van 10 meter. Een kostenraming van een project bestaat uit de volgende kosten:

- Directe kosten
- Indirecte kosten
- Overheadkosten
- BTW

Hierna worden deze kosten toegelicht en bepaald voor dit project.

De benodigde prijzen, eenheden en percentages voor deze kosten worden verkregen via de organisatie GWW Bouwkosten. Deze organisatie verstrekt alle benodigde waarden voor de bepaling van een kostenraming van een bouwproject. Deze waarden zijn verstrekt in boeken en op de website www.bouwkostenonline.nl.

Directe kosten

Directe kosten zijn kosten die direct toegewezen worden aan een product of een dienst dat geproduceerd wordt. Voor dit project zijn de directe kosten de kosten van het benodigd materiaal en kosten die gemaakt worden voor de aanlegwerkzaamheden. Deze zijn als volgt:

1. Materiaalkosten (inclusief levering)
2. Arbeidsloon/uurloon van het personeel die het project aanleggen (uitvoeringspersoneel die o.a. materieel bedienen)
3. Kosten voor (eventuele) onderaannemers

Hierna worden de directe kosten bepaald voor de definitieve variant. Dit wordt gedaan door de directe kosten te bepalen voor elk werkzaamheid die deel uitmaakt van de aanlegwerkzaamheden. Deze werkzaamheden zijn als volgt:

- Aanleggen van zandkern
- Aanleggen van geotextiel
- Aanbrengen van perkopenpalen
- Aanleggen van dijkbekleding van breuksteen
- Aanleggen van teenconstructie van breuksteen

Voor elke werkzaamheid wordt een vaste prijs per eenheid gerekend. Deze prijs is opgebouwd uit de directe kosten die hierboven onder punten 1 t/m 4 zijn genoemd.

Vervolgens wordt voor elke werkzaamheid de totale benodigde kwantiteit aan materiaal bepaald, deze wordt vermenigvuldigd met de vaste prijs. Daarna worden alle bepaalde directe kosten voor elke werkzaamheid bij elkaar opgeteld tot de totale directe kosten.

Aanleggen van zandkern

De kern van de definitieve variant wordt gemaakt van zand. Om de hoeveelheid benodigde zand te bepalen, dient de oppervlakte van de zandkern bepaald te worden en deze vervolgens vermenigvuldigd te worden met een dijk lengte van 10 meter. Dit omdat de kostenraming wordt gemaakt voor een dijk lengte van 10 meter. Met een functie in het tekenprogramma Autocad wordt de oppervlakte van de zandkern nauwkeurig bepaald op $14,15 \text{ m}^2$. De benodigde hoeveelheid zand wordt: $14,15 \times 10 = 141,5 \text{ m}^3$. De vaste prijs voor deze werkzaamheid is € 35 per kubieke meter. Binnen deze prijs zijn de kosten voor alle benodigde werkzaamheden inbegrepen; te denken valt aan o.a. aanschaf-, transport- en verwerkingskosten waaronder profileren tot de hellingen en afmetingen van de definitieve variant.

De directe kosten voor deze werkzaamheid worden: $141,5 \times 35 = € 4952,50$

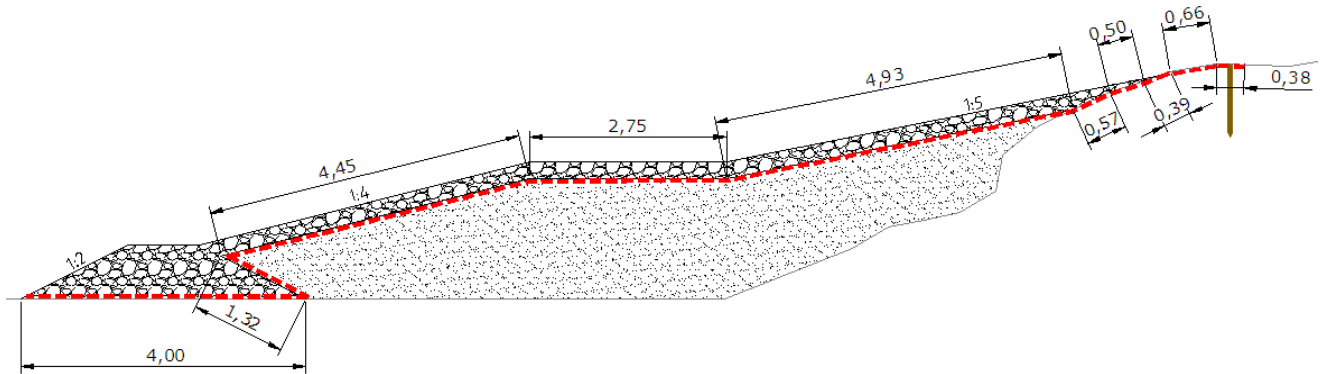
Aanleggen van geotextiel

De directe kosten van geotextiel zijn € 10 per vierkante meter.

In figuur 70 is de dwarsprofieltekening van de definitieve variant weergegeven. In dit figuur is de rode lijn het geotextiel. Met het tekenprogramma Autocad is de breedte van dit geotextiel bepaald per onderdeel van het dijkprofiel; Het is weergegeven in figuur 70.

De totaal benodigde oppervlakte aan geotextiel is: $(4,00 + 1,32 + 4,45 + 2,75 + 4,93 + 0,57 + 0,50 + 0,39 + 0,66 + 0,38) \times 10 = 199,50 \text{ m}^2$.

De directe kosten voor deze werkzaamheid worden: $199,50 \times 10 = € 1995$



Figuur 70 Dwarsprofieltekening van definitieve variant met breedte van benodigd geotextiel [bron 4.3]

Aanbrengen van perkoenpalen

Het geotextiel wordt met houten perkoenpalen verankerd aan de dijk. Er wordt om de 1 meter een perkoenpaal geplaatst. Voor een dijk lengte van 10 meter zijn dus 10 perkoenpalen nodig. De directe kosten voor een perkoenpaal zijn € 5 per stuk. De directe kosten voor deze werkzaamheid worden: $10 \times 5 = € 50$.

Aanleggen van dijkbekleding van breuksteen

De directe kosten voor breuksteen zijn € 25 per ton voor de klasse 10 – 60 kg met een dichtheid van 450 kg/m³.

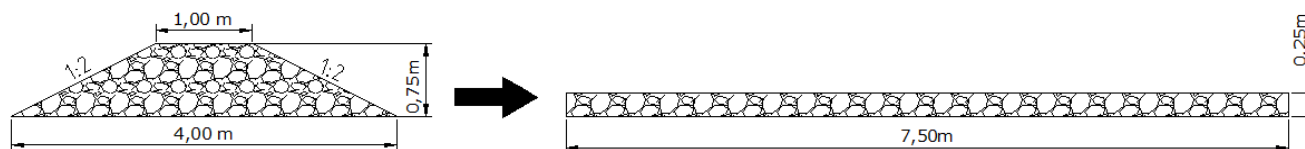
Om het gewicht per oppervlakte van de dijkbekleding te bepalen dienen de lengte en de breedte van deze bekleding bepaald te worden. De lengte is al bekend (10 meter). De breedte van deze dijkbekleding bestaat uit de kruinbreedte van het bermstuk, de afmeting van het buitentalud van het bermstuk en van de dijk. Deze worden uit figuur 70 afgelezen en zijn respectievelijk: $2,75 + 4,45 + 4,93 + 0,57 + 0,50 = 13,20$ meter.

De oppervlakte wordt $13,20 \times 10 = 132 \text{ m}^2$. In tonnen wordt dit: $(132 \times 450) / 1000 = 59,40$ ton.

De directe kosten voor deze werkzaamheid worden: $59,40 \times 25 = € 1485$.

Aanleggen van teenconstructie van breuksteen

De teenconstructie wordt volledig gemaakt van breuksteen van dezelfde klasse breuksteen als gebruikt is voor de dijkbekleding. Uit de vorige werkzaamheid zijn de directe kosten voor breuksteen bepaald. Deze worden uitgedrukt in een gewichtseenheid van tonnen. Om het gewicht per oppervlakte van de teenconstructie te bepalen dienen de lengte en de breedte van de teenconstructie bepaald te worden. De lengte is al bekend (10 meter). De breedte zal op dezelfde manier als bij de dijkbekleding bepaald worden. Alleen de teenconstructie heeft een hoogte van 0,75 meter. Dit is ongeveer 3 keer zo groot als de hoogte van de dijkbekleding (uitgaande van een gemiddelde steendiameter van 0,23 meter). Om de breedte van de teenconstructie te bepalen zal dus de teenconstructie denkbeeldig in drielagen verdeeld worden, en zullen deze lagen achter elkaar geplaatst worden. In figuur 71 is dit weergegeven.



Figuur 71 Teenconstructie [bron 4.2]

De breedte is dus 7,50 meter. De oppervlakte van de teenconstructie wordt: $7,50 \times 10 = 75 \text{ m}^2$.

In tonnen wordt dit $(75 \times 450) / 1000 = 33,75 \text{ ton}$.

De directe kosten voor deze werkzaamheid worden: $33,75 \times 25 = € 843,75$.

Indirecte kosten

Indirecte kosten of ook wel staart kosten genoemd, zijn kosten die niet direct kunnen worden toegerekend aan een product of dienst van een bedrijf op grond van een directe technische of organisatorische verhouding. In de bouw worden de indirecte kosten gerelateerd aan de totale directe kosten. Voor alle indirecte kosten wordt een bepaald percentage van de totale directe kosten gerekend.

De indirecte kosten, met daarbij het percentage dat gerekend wordt over de totale directe kosten zijn als volgt.

- | | |
|-----------------------------------|------------|
| - Eenmalige kosten 1 – 3 % | [bron 9.1] |
| - Uitvoeringskosten 7% | [bron 9.1] |
| - Algemene bedrijfskosten 7 – 9 % | [bron 9.1] |
| - Winst en risico 3 – 4 % | [bron 9.1] |

Het percentage is afhankelijk van o.a. de projectgrootte, de grootte van de aannemer (o.a. aantal personeel, kantoorruimte, enzovoort). In de meeste gevallen wordt voor de bovengenoemde indirecte kosten een totaal percentage van 20 aangehouden.

Eenmalige kosten

Eenmalige kosten zijn kosten die de aannemer maakt op de bouwplaats (in de uitvoering), hiervoor zijn geen posten opgenomen in het bestek. Een aantal voorbeelden van werkzaamheden waarvan de kosten binnen de eenmalige kosten vallen zijn:

- Aan- en afvoer van materieel;
- Kosten voor het plaatsen en aansluiten van bouwketen en wagens;
- Kosten voor gas, water, elektra en telefoon;



- Brandstofvoorzieningen voor het materieel;
- Communicatiemiddelen;
- Veiligheidsvoorzieningen, zoals o.a. veiligheidsschoenen;
- Onderhoudskosten aan het materieel;
- Kantoor behoeften in de kantoorkeet;
- Opleveringskosten;
- Kosten voor het opruimen van de bouwplaats;

Wegens de grootte van dit project wordt er voor de eenmalige kosten 2% van de totale directe kosten gerekend.

Uitvoeringskosten

Uitvoeringskosten zijn kosten voor uitvoerend en administratief personeel in het project. Het gaat om de uitvoerder die de leidinggevende rol heeft in de uitvoering. De uitvoerder voert naast leidinggevende ook administratie werkzaamheden uit.

Voor deze indirecte kosten wordt 7% van de totale directe kosten gerekend.

Algemene bedrijfskosten

Dit zijn de kosten voor werkzaamheden die uitgevoerd worden op het kantoor van de aannemer. Sommige van deze werkzaamheden hebben direct en sommige hebben indirect een relatie met de uit te voeren projecten.

Voorbeelden van de werkzaamheden die binnen de algemene bedrijfskosten vallen zijn:

- Receptie
- Cursussen
- Directie en bedrijfsleiding;
- Marketing, verkoop en inkoop;
- Salaris- en loonadministratie;
- Afschrijving en/of huur van gebouwen en inventaris;
- Accountant, externe boekhouding, juridische en fiscale adviezen;

Voor dit project worden voor de algemene bedrijfskosten 8% van de totale directe kosten gerekend.

Winst en risico

Winst is het bedrag dat overblijft nadat alle kosten en risico's verrekend zijn die met het project samenhangen. Onder risico vallen de volgende zaken:

- alle onvoorziene omstandigheden;
- niet verrekenbare loon- en prijsstijgingen.
- uitvoeringsrisico's
- renteverlies
- het niet kunnen verrichten van werkzaamheden door omstandigheden zoals zeer slecht weer (bijvoorbeeld keiharde regenval waardoor er in de uitvoering niet gewerkt kan worden)
- wachturen door bijvoorbeeld te late levering of reparaties aan materieel

Voor dit project wordt voor deze indirecte kosten 3% van de totale directe kosten gerekend.

Overheadkosten

De directe en indirecte kosten vormen samen de totale aannemingssom. Deze totale kosten gelden voor de aannemer.

De kosten voor de engineering en het ontwerp staan los van de aannemingssom. Deze kosten worden overheadkosten genoemd.

Binnen de overheadkosten vallen alle kosten die direct of indirect te maken hebben met de ontwerpwerkzaamheden. De kosten die direct te maken hebben met de ontwerpwerkzaamheden zijn o.a. het loon van het betrokken personeel zoals de ingenieurs en tekenaars, kosten voor de onderzoekwerkzaamheden, vergunningen en verzekeringen. Indirecte ontwerpkosten zijn o.a. landmeten en grondonderzoek ten behoeve van het ontwerp.

Verder wordt binnen de overheadkosten rekening gehouden met onvoorziene kosten.

Voor de overheadkosten wordt een percentage tussen de 50 en 70 over de totale aannemingssom gerekend.

Als de kosten nog niet te overzien zijn, wordt er meestal met een ruim percentage gerekend; het percentage zal dan rond 70% liggen.

Voor dit project wordt voor de overheadkosten 50% (van de totale aannemingssom) gerekend.

BTW

De BTW is de omzetbelasting van een project en bedraagt 19%. Dit wordt gerekend over de totale aannemingssom en/of de overheadkosten. Dit is afhankelijk van door wie de werkzaamheden uitgevoerd worden. Voor interne werkzaamheden wordt geen BTW in rekening gebracht. Indien een (deel van de) werkzaamheid uitbesteed wordt aan een extern bedrijf, dan zal er in dat geval wel BTW over (dat deel van) die werkzaamheid gerekend worden.

Voor dit project dient de BTW alleen gerekend te worden aan de aannemer, omdat deze externe werkzaamheden uitvoert voor Waternet. Er dient dus 19% over de totale aannemerssom (directe kosten + indirecte kosten) gerekend te worden als BTW.

Voor de overheadkosten wordt geen BTW berekend, omdat de engineering- en ontwerpwerkzaamheden door Waternet uitgevoerd worden.

Totale project kosten

Alle genoemde kosten worden berekend in een Excel sheet. Uit deze berekening volgt:

Een totale project som van € 18913,64 voor een dijk lengte van 10 meter.

Per strekkende meter is dit € 1891,36.

De berekening van deze totale project som is terug te lezen in de totale kostenraming die geplaatst is in bijlage 6.

Hoofdstuk 9 Conclusie

Uit dit onderzoek is het volgende gebleken:

Tijdens de maatgevende weersomstandigheid zijn er vier maatgevende windrichtingen op de dijk Nieuwe Weg. De wind vanuit het westen veroorzaakt de hoogste golfhoogte en golfperiode. De windrichting vanuit Noord-Noord-West (NNW) is meest maatgevend voor dit onderzoek, omdat deze de grootste mate van golfploop en golfoverslag bij de dijk Nieuwe Weg veroorzaakt. Dit komt doordat deze golfrichting het dichtst ligt bij de loodrechte lijn op de dijk. Golven die loodrecht op een dijk invallen veroorzaken een hogere mate van golfploop en golfoverslag dan golven die minder loodrecht invallen.

Onder de maatgevende weersomstandigheid is de dijk Nieuwe Weg veilig tegen de faalmechanismen golfploop en golfoverslag. Dit komt door het volgende: Het voorland dat zich bevindt vóór de dijk reduceert de hoge golven. De hoogste golf van 0,60m wordt gereduceerd naar 0,15m. Het voorland heeft dus een reducerende werking van 75% op de golven. De gereduceerde golven veroorzaken een lage mate van golfploop en golfoverslag bij de dijk, die geen schade aan de dijk en het achterliggende gebied kan toebrengen.

Indien het voorland niet meer bestaat door bijvoorbeeld weg eroderen, dan zullen de hoge golven op de Loosdrechtsche Plassen ongereguleerd bij de dijk aankomen. Onder de maatgevende weersomstandigheid veroorzaken deze dan het volgende bij de dijk Nieuwe Weg:

- Golfploophoogte: 1,71 m t.o.v. maatgevend boezempeil
- Golfoverslagdebiet: 3,54 l/m/s

Hier staat tegenover dat bij de dijk Nieuwe Weg het volgende geldt:

- Kruinhoogte van 1,02 m t.o.v. maatgevend boezempeil
 - Maximaal toegestane golfoverslagdebiet van 0,10 l/m/s
- De huidige dijk is aan het binnen- en buitentalud en een deel van de kruin bedekt met grasbekleding. Het begroeiingstype van deze grasbekleding kan een maximaal golfoverslagdebiet van 0,10 l/m/s weerstaan. Bij een hoger golfoverslagdebiet ontstaat erosie aan de grasbekleding.

De golfploophoogte is hoger dan de kruinhoogte en het golfoverslagdebiet is veel meer dan het maximaal toegestane golfoverslagdebiet. De consequenties zijn als volgt:

- De dijk Nieuwe Weg faalt op het mechanisme golfploop en voldoet niet meer aan de hoogte eis.
- De dijk Nieuwe Weg faalt ook op het mechanisme golfoverslag en gaat bezwijken. De reden is als volgt: Als gevolg van hoog golfoverslagdebiet, zal de grasbekleding op het binnentalud van de dijk weg eroderen. Doordat de stormduur hoog is, blijft de erosie doorgaan tot de onderlagen. Het binnentalud van de dijk gaat dan langzaam weg eroderen, waardoor het gaat bezwijken. De kans op afschuiven van het binnentalud wordt dan vergroot.
- De dijk Nieuwe Weg faalt op zijn functie: Beschermen van het achterland tegen wateroverlast. De reden is als volgt: Als gevolg van hoge mate van golfploop en golfoverslag zal gedurende de maatgevende weersomstandigheid een grote hoeveelheid water het achterliggende gebied in gaan. Dit kan voor wateroverlast zorgen.

Door deze consequenties komen zowel de dijk als het achterliggende gebied in gevaar.

Geadviseerd wordt om het voorland in een goede staat te houden, zodat deze consequenties voorkomen blijven.

Er is aangenomen dat het voorland niet aanwezig is, Er zijn 5 varianten ontworpen voor het doel reduceren van golfoploop en golfoverslag bij de dijk Nieuwe weg. De varianten met hun reducerende resultaten zijn als volgt:

Variant	Bestaat uit	Reductiepercentage t.o.v. golfoploop en golfoverslag bij huidige dijk	
		Golfoploophoogte	Golfoverslagdebiet
1	Plaatsen van bermstuk op buitentalud	25%	90%
2	Verruwen van buitentalud	50%	95%
3	Verflauwen van buitentalud	52%	100%
4	Toepassen van varianten 1, 2, 3: bermstuk plaatsen op buitentalud en verflauwen en verruwen van buitentalud	78%	100%
5	Toepassen van golfbreker en rietveld (Natuurvriendelijke oever)	70%	100%

Tabel 1: Varianten met hun reductiepercentage op golfoploop en golfoverslag

Uit de resultaten blijkt dat de varianten een hogere reducerende werking hebben op golfoverslag dan golfoploop.

De golfoverslag bij de varianten 3, 4 en 5 zijn zeer sterk gereduceerd. Voornamelijk bij varianten 4 en 5; daarin is het golfoverslagdebiet verwaarloosbaar klein.

Varianten 4 en 5 zijn bestemd voor dijken die te maken hebben met zware golfaanvallen. Variant 5 heeft een aantal voordelen meer dan de overige varianten. Variant 5 is een natuurvriendelijke oever. Dit is gunstig voor de natuur en ecologie. Daarnaast kan een natuurlijk element een recreatieve functie vervullen. Verder zijn de aanschaf-, aanleg- en onderhoudskosten van variant 5 lager dan die van de overige varianten.

Bij variant 5 is een golfbreker toegepast. Toepassing van een golfbreker vóór een dijk heeft naast golfreducerende werking een ander groot voordeel voor een dijk; namelijk voor de minimale waakhogte van een dijk. De minimale waakhogte bij een dijk bestaat uit golfoploophoogte en hoogte voor opwaaiing. Doordat de golfbreker vóór de dijk staat, vindt de opwaaiing niet meer plaats tegen de dijk, maar tegen de golfbreker. Hierdoor wordt de minimale waakhogte bij de dijk kleiner. Daarnaast wordt door de golfbreker de golfoploophoogte bij de dijk sterk gereduceerd. Hierdoor wordt de minimale waakhogte bij de dijk nog kleiner. Dit kan een voordeel zijn voor de kruinhoogte van de dijk, want de vrijgekomen ruimte van de minimale waakhogte kan benut worden voor zetting van de dijk over een aantal jaren. Dat betekent dus dat de geplande ophoging van de dijk uitgesteld kan worden.

Variant 4 is uitgekomen als de beste oplossing tegen de faalmechanismen: golfoploop en golfoverslag bij de dijk Nieuwe Weg. Na het dimensioneren zijn de resultaten op golfoploop en golfoverslag als volgt:

Mechanisme	Waarde	Reductiepercentage t.o.v. golfoploop en golfoverslag bij huidige dijk
Golfoploophoogte	0,34m	80%
Golfoverslagdebiet	$3,01 \cdot 10^{-8}$ l/m/s	100%

De totale kosten voor ontwerp, aanschaf en aanleg van de definitieve variant op de dijk Nieuwe Weg zijn € 1891,36 per strekkende meter (in de lengterichting van de dijk).

Hoofdstuk 10 Aanbevelingen

In dit afstudeerproject zijn een aantal verschijnselen ontdekt en vraagtekens ontstaan. Het verdient de aanbeveling om hieraan nader onderzoek te verrichten. De aanbevelingen zijn als volgt:

Aanbeveling 1:

De Loosdrechtsche Plassen zijn ontstaan doordat men turf uit ging graven. Er zijn eerst trekgraten en legakkers ontstaan. De legakkers zijn eilanden geworden. Later zijn de eilanden door golven weg geërodeerd [zie paragraaf 1.3.1].

Tegenwoordig zijn er nog veel eilanden in plassen die goed benut worden voor o.a. wonen, natuur en recreatie. Deze eilanden worden onder de normale omstandigheden door golfaanvallen waaronder golfoploop langzaam weg geërodeerd. Hierdoor gaan veel stukken eiland verloren, terwijl ze een goede functie vervullen. Het wordt daarom aanbevolen om onderzoek te verrichten naar oplossingen die dit probleem kunnen tegenhouden.

Aanbeveling 2:

Bij het bepalen van golfoploop en –overslag bij een dijk, wordt de invloed van de dijkgeometrie of een onderdeel van de dijk vertaald naar een invloedsfactor. Er is als eis gesteld:

Bij het toepassen van een bekledingsmateriaal op het buitentalud in combinatie met een bermstuk, dienen de invloedsfactoren van deze twee dijkaspecten in combinatie met de invloedsfactor van hoek van golfaanval, niet meer te zijn dan 0,4. In formulevorm is dit als volgt:

$$\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \geq 0,40$$

Formule 4.1 [bron 6.5]

Hierin geldt:

γ_b = invloedsfactor voor een bermstuk [-]

γ_β = invloedsfactor voor hoek van golfaanval [-]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid van het materiaal op het buitentalud [-]

Het is mogelijk dat er bij een combinatie van een bepaald ruw materiaal en een breed bermstuk in combinatie met de hoek van golfval een lagere factor dan 0,40 wordt bereikt, wat betekent dat de reductie op golfoploop en –overslag hoger wordt. Dit is echter niet toegestaan want als de waarde lager uitkomt dan 0,40 dan dient deze afgerond te worden naar 0,40.

Het wordt daarom aanbevolen om hier nader onderzoek naar te doen. Daarbij wordt aanbevolen om praktische proeven bij een dijk of in een laboratorium uit te voeren.



Bronnenboek

In dit verslag en in een aantal bijlagen zijn een aantal gegevens gebruikt; dit zijn o.a. figuren en formules. Bij elk gegeven is een verwijzing gemaakt naar de bron met behulp van een code.

In dit onderdeel worden de bronnen genoemd.

Boeken en rapporten

Bij gegevens die ontleend zijn uit boeken en rapporten worden de volgende gegevens achter elkaar gegeven: Achternaam auteur; voorletter auteur; [jaar van uitgave]; Titel boek of rapport; Naam uitgever; Plaats van uitgave.

Internetsites

Bij gegevens die ontleend zijn van een internetsite:

Onderwerp; [jaar gezien]; website

Overige bronnen

Van gegevens die niet ontleend zijn uit de twee bovengenoemde bronnen, worden de volgende gegevens gegeven:

Onderwerp; [jaar van creatie of gezien]; Naam van maker of organisatie, bedrijf; eventuele korte beschrijving

De bronnen van de genoemde codes zijn als volgt:

1.1 Plattegrond; [2009]; Computerprogramma Geoweb bij Waternet

1.2 Plattegrond; [2009]; Waternet & M.Khalifa; Figuur verkregen via computerprogramma Geoweb dat beschikbaar is bij Waternet, vervolgens het figuur bewerkt door M. Khalifa.

2.1 Plattegrond; [2009]; Maps.google.nl

2.2 Plattegrond; [2009]; Maps.google.nl & M. Khalifa; Figuur verkregen via de website, vervolgens bewerkt door M. Khalifa

3.1 Foto; [2009]; M.Khalifa; gefotografeerd door M. Khalifa

4.1 Tekening; [2009]; Waternet

4.2 Tekening; [2010]; M. Khalifa

4.3 Tekening; [2009]; Waternet & M. Khalifa; tekening gekregen van Waternet, vervolgens bewerkt door M. Khalifa

5.1 van Hemert; ir. H.; [2007]; Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen; STOWA; Utrecht

5.2 van Hemert; ir. H.; [2007]; Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen; STOWA; Utrecht; figuur ontleend uit de boek, vervolgens bewerkt door M. Khalifa

6.1 Bottema; M.; [2006]; Leidraad monitoring – golfcondities zoete rijkswateren



6.2 de Groot; ir. H.; [1989]; Leidraad Rivierdijken deel 2; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Waltman; Delft

6.3 Nortier; ir. I.W.; Koning; ir. P.; [1991]; Toegepaste vloeistofmechanica; Noordhoff Uitgevers B.V.; Groningen

6.4 Stuij; Prof.Ir.J.; [199]; CUR-publicatie 201 Natuurvriendelijke oevers: belasting en sterkte, Stichting CUR, Gauda
(CUR = civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving)

6.5 Van der Meer; dr. ir. J.W.; [2002]; Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Delft

6.6 Van der Meer; dr. ir. J.W.;[2002];Invloedsfactoren voor de ruwheid van toplagen bij golfoploop en -overslag, bijlage bij het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij dijken; Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde;Delft

6.7 Van der Meer; dr. ir. J.W.; [2002]; Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken; Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen; Delft
Figuur ontleend van het TAW rapport, vervolgens bewerkt door M. Khalifa

6.8 d'Angremond; K.; van Rode; F.C.; [2004]; Breakwaters and closure dams; Spon Press; Londen

7.1 rietveld; [gezien 2009]; www.google.nl

7.2 palen beschoeiing golfbreker; [gezien 2009]; www.google.nl

7.3 armorflex bekledingsmateriaal[2009];<http://www.koreanmemorial.org/recon/armorflex.jpg>

8.1 Voorberg; L.G.; [2007]; Dictaat waterkeringen; Hogeschool van Amsterdam; Opleiding Civiele Techniek; Amsterdam

9.1 bouwkosten en bouwkostenpercentages; [2010]; www.bouwkosteninline.nl

10.1 Hyperbolische functie; [2009]; http://nl.wikipedia.org/wiki/Hyperbolische_functie

11.1 Agema; J.F. et al [1986]; Waterkeringen; Technische Universiteit Delft; Delft

12.1 de Klerk; Ing. P.J.; [2009] Formule- en grafiekdocument uitgedeeld tijdens college VLM 420

12.2 Sijstermans; dr. ir. P.G.J.; [2009]; College 2 Kustmorfologie en kustverdediging; dr. ir. P.G.J. Sijstermans; Amsterdam

12.3 Klerk de; P.J.; [2009]; Vloeistofmechanica 420, College 4; dhr. P.J. de Klerk; Amsterdam

13.1 Van der Ham; Korevaar; Moens; Stijnman; C.J.; C.G.; W.D.; P.C.; [1998]; Meteorologie Oceanografie, voor de zeevaart; Hollandia B.V.;Haarlem

14.1 Van Putten; ing. R.D.; [2009]; Rapportage Toetsing op veiligheid De Nieuwe Weg VB3-303c;Waternet; Amsterdam

Bijlage 1 Bepaling van achtergrondzetting

In het jaar 2009 is er op de dijk Nieuwe Weg op verschillende locaties grondonderzoek uitgevoerd ten behoeve van toetsing van de dijk. Uit het grondonderzoek is gebleken dat er een samendrukbare laag in de ondergrond van de dijk aanwezig is. Het gaat om een veen laag. Als gevolg van de bovenbelasting (in combinatie met de samendrukbare laag) is de dijk onderhevig aan zetting (natuurlijke zetting of ook wel achtergrond zetting genoemd).

In het jaar 2006 is de kruinligging van de gehele dijk gemeten ten opzichte van N.A.P. In het jaar 2009 is de dijk opnieuw gemeten. De meetgegevens zijn verwerkt tot (dwarsprofiel)tekeningen.

De zetting van de dijk kan bepaald worden door het verschil in kruinligging tussen het jaar 2006 en 2009 te bepalen. In tabel 11.1 is de kruinligging t.o.v. N.A.P. van het jaar 2006 en 2009 verwerkt. Er zijn 33 metreringspunten van de dijk verwerkt. De eerste metreringspunt is 30 (meter t.o.v. van het begin van de dijk lengte).

Metreringspunt	Jaartal: 2006		Jaartal: 2009		
	Datum van meting	Kruinligging t.o.v. N.A.P. in meter	Kruinligging t.o.v. N.A.P. in meter	Datum van meting	Verskil in kruinligging tussen jaren 2006 en 2009 in meter
30	18-10-2006	-0,07	-0,11	27-02-2009	-0,04
110	18-10-2006	-0,24	-0,27	27-02-2009	-0,03
180	18-10-2006	-0,31	-0,31	27-02-2009	0,00
281	18-10-2006	-0,35	-0,35	27-02-2009	0,00
381	18-10-2006	-0,42	-0,42	27-02-2009	0,00
479	18-10-2006	-0,38	-0,42	27-02-2009	-0,04
581	18-10-2006	-0,37	-0,40	27-02-2009	-0,03
683	18-10-2006	-0,35	-0,37	27-02-2009	-0,02
781	18-10-2006	-0,30	-0,30	27-02-2009	0,00
881	18-10-2006	-0,27	-0,22	06-02-2009	+0,05
982	18-10-2006	-0,17	-0,11	06-02-2009	+0,06
1063	18-10-2006	+0,10	+0,18	06-02-2009	+0,08
1182	18-10-2006	+0,04	-0,09	06-02-2009	-0,13
1289	18-10-2006	+0,14	-0,16	06-02-2009	-0,30
1388	18-10-2006	+0,21	-0,16	06-02-2009	-0,37
1494	18-10-2006	+0,22	-0,26	06-02-2009	-0,48
1587	18-10-2006	+0,19	-0,15	06-02-2009	-0,34
1651	18-10-2006	+0,17	-0,13	10-02-2009	-0,30
1706	18-10-2006	+0,07	-0,31	06-02-2009	-0,38
1814	18-10-2006	-0,19	-0,17	06-02-2009	+0,02
1883	18-10-2006	-0,19	-0,14	06-02-2009	+0,05
1984	18-10-2006	-0,20	-0,28	10-02-2009	-0,08
2088	18-10-2006	-0,14	-0,18	10-02-2009	-0,04
2182	18-10-2006	-0,18	-0,27	10-02-2009	-0,09
2284	18-10-2006	-0,19	-0,17	06-02-2009	-0,02
2357	18-10-2006	-0,17	-0,18	06-02-2009	-0,01
2468	18-10-2006	-0,16	-0,16	06-02-2009	0,00

2582	18-10-2006	-0,17	-0,14	06-02-2009	-0,03
2682	18-10-2006	-0,17	-0,11	10-02-2009	+0,06
2766	18-10-2006	-0,06	+0,18	10-02-2009	+0,24
2876	18-10-2006	+0,01	-0,05	10-02-2009	-0,06
2980	18-10-2006	-0,27	-0,29	27-02-2009	- 0,02
3174	18-10-2006	-0,05	-0,08	27-02-2009	- 0,03
3275	18-10-2006	-0,24	-0,15	27-02-2009	+0,09
3357	18-10-2006	-0,10	+0,01	27-02-2009	+0,11
3386	18-10-2006	+0,04	+0,27	27-02-2009	+0,23
3405	18-10-2006	+0,23	+0,35	27-02-2009	+0,12

Tabel 11.1 Kruinligging t.o.v. N.A.P. in jaren 2006 en 2009

Uit de metingen kan men het volgende concluderen:

- In de metingen 180 t/m 381, 781 tot 881 en 2468 tot 2582 is de kruinligging zowel in het jaar 2006 als 2009 gelijk aan elkaar. Men kan hieruit concluderen dat er geen of geringe zetting heeft plaats gevonden. De hoeveelheid zetting kan (in deze metingen) kleiner zijn dan één centimeter; hierdoor kan het zijn dat bij meetuitvoeringen en of verwerken van de meetwaarden de gemeten waarden afgerond zijn naar gehele centimeters.
- In de metingen 881 t/m 1063, 1814 t/m 1883, 2682 t/m 2766 en 3275 t/m 3405 ligt de kruin in het jaar 2009 hoger dan het jaar 2006. Men kan hieruit concluderen dat er na het jaar 2006 dijkophoging heeft plaats gevonden. Uit de historische gegevens blijkt echter, dat er in de periode 2006 t/m 2009 geen dijkophoging heeft plaats gevonden.
Dit kan betekenen dat er fouten zijn gemaakt bij het opmeten en/of verwerken van de meetgegevens tot dwarsprofieltekeningen.
- In de metingen 1182 t/m 1706, 1984 tot 2088, 2182 tot 2284 en 2876 tot 2980 is de hoeveelheid zetting zeer groot ten opzichte van de overige hoeveelheid zetting binnen de dijk. Dit kan betekenen dat er fouten zijn gemaakt bij het opmeten en/of verwerken van de meetgegevens tot dwarsprofieltekeningen.

Uit de metingen valt niet direct een zettingsverloop te bepalen.

Omdat er geen verdere gegevens (over de zetting van de dijk Nieuwe weg) beschikbaar zijn, wordt de zetting van de dijk Nieuwe Weg bepaald op basis van de beschikbare informatie die verwerkt is in tabel 11.1.

Om een zo betrouwbare achtergrondzetting te bepalen worden de dijkstukken die genoemd zijn onder de bovengenoemde conclusies buiten de bepaling gelaten. Dit omdat de informatie hoogstwaarschijnlijk fout is. De achtergrondzetting wordt bepaald door het gemiddelde te nemen van alle overgebleven zettingspunten van de metingen. Deze zijn in tabel 11.2 weergegeven.

Metrering	Jaartal: 2006		Jaartal: 2009		Verschil in kruinligging tussen jaren 2006 en 2009 in meter
	Datum van meting	Kruinligging t.o.v. N.A.P. in meter	Kruinligging t.o.v. N.A.P. in meter	Datum van meting	
30	18-10-2006	-0,07	-0,11	27-02-2009	-0,04
110	18-10-2006	-0,24	-0,27	27-02-2009	-0,03
479	18-10-2006	-0,38	-0,42	27-02-2009	-0,04
581	18-10-2006	-0,37	-0,40	27-02-2009	-0,03
683	18-10-2006	-0,35	-0,37	27-02-2009	-0,02
2088	18-10-2006	-0,14	-0,18	10-02-2009	-0,04
2284	18-10-2006	-0,19	-0,17	06-02-2009	-0,02
2357	18-10-2006	-0,17	-0,18	06-02-2009	-0,01
2582	18-10-2006	-0,17	-0,14	06-02-2009	-0,03
2980	18-10-2006	-0,27	-0,29	27-02-2009	-0,02
3174	18-10-2006	-0,05	-0,08	27-02-2009	-0,03

Tabel 11.2 Meest betrouwbare waarden van kruinligging t.o.v. N.A.P. in jaren 2006 en 2009

De berekening wordt als volgt:

$$-0,04 + -0,03 + -0,04 + -0,03 + -0,02 + -0,04 + -0,02 + -0,01 + -0,03 + -0,02 + -0,03 = -0,31 \rightarrow -0,31 / 11 = -0,0282 \text{ meter}$$

De precieze tijd tussen de meetuitvoeringen die verricht zijn in het jaren 2006 en 2009 is 2,44 jaar. De zetting per jaar wordt: $0,02818 / 2,44 = 0.01155 \text{ meter} \approx 12 \text{ mm}$. Dit is een realistisch waarde, want de zetting van de dijken binnen het AGV beheer gebied ligt tussen 5 en 15 mm per jaar. Bij de meeste dijken is de zetting 10 mm per jaar.

Bijlage 1.2 Toetsing en resultaten van dijk Nieuwe Weg [bron 14.1]

De dijk Nieuwe Weg is getoetst door Waternet. In deze bijlage wordt de toetsing van elk faalmechanisme getoond. De inhoud van bijlage 1.2 is ontleend uit de volgende bron:

14.1 Van Putten; ing. R.D.; [2009]; Rapportage Toetsing op veiligheid De Nieuwe Weg VB3-303c; Waternet; Amsterdam

Toetsing

De resultaten van de toetsing van de dijk Nieuwe Weg op de verschillende faalmechanismen zijn samengevat in tabel 1.2.1.

dijkvak	metrering		hoogte- toets	toets			
	van	tot		piping	macrostabiliteit		conclusie
					mhw	opdrijven	
1	1035	1280	voldoende	onvoldoende	0.84	0.24	Afgekeurd
2	1280	1500	voldoende	onvoldoende	1.49	0.44	Afgekeurd
3	1500	1630	voldoende	onvoldoende	1.55	0.50	Afgekeurd
4	1630	1720	voldoende	onvoldoende	1.21	0.38	Afgekeurd
5	1720	2340	voldoende	onvoldoende	0.93	0.35	Afgekeurd
6	2340	2380	voldoende	onvoldoende	0.86	0.28	Afgekeurd
7	2380	2500	voldoende	onvoldoende	1.10	0.44	Afgekeurd
8	2500	2890	voldoende	onvoldoende	1.45	0.75	Afgekeurd

Tabel 1.2.1: Resultaten toetsing; [bron 14.1]

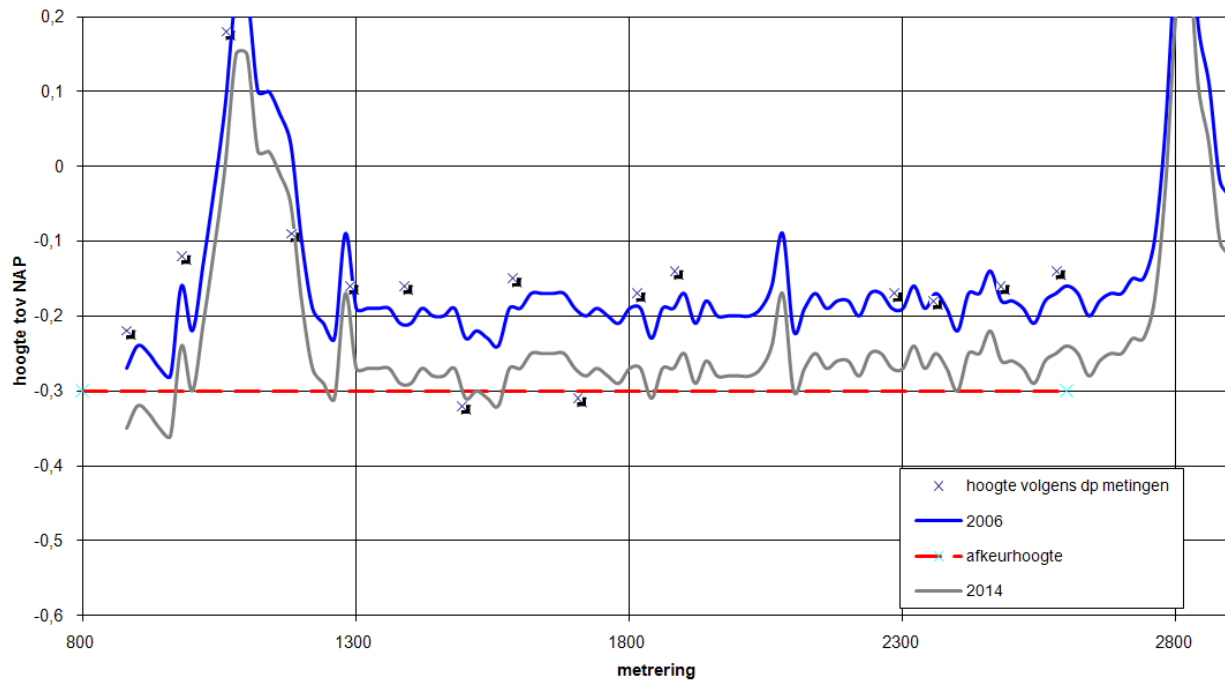
Noot: Groen betekent voldoende en rood betekent onvoldoende

Hierna wordt de toetsing van elk faalmechanisme toegelicht.

1.2.1 Hoogtetoets

De kering is getoetst op een verwachte hoogte over vijf jaar ten opzichte van de huidige toetsdatum (2009). De kruinhoogte van de dijk dient te voldoen aan de minimale afkeurhoogte van N.A.P. -0,30m.

Op basis van de kruinhoogte uit 2006 en de achtergrondzetting is de kruinhoogte in 2014 geprognoseerd. In figuur 1.2.1 zijn de gemeten kruinhoogtes in 2006 en de geëxtrapoleerde kruinhoogte in 2014 te zien. Tevens is de afkeurgrens weergegeven.



Figuur 1.2.1a: De Nieuwe Weg VB3-303C, grafische presentatie hoogtetoets [bron 14.1]

Conclusie hoogtetoets

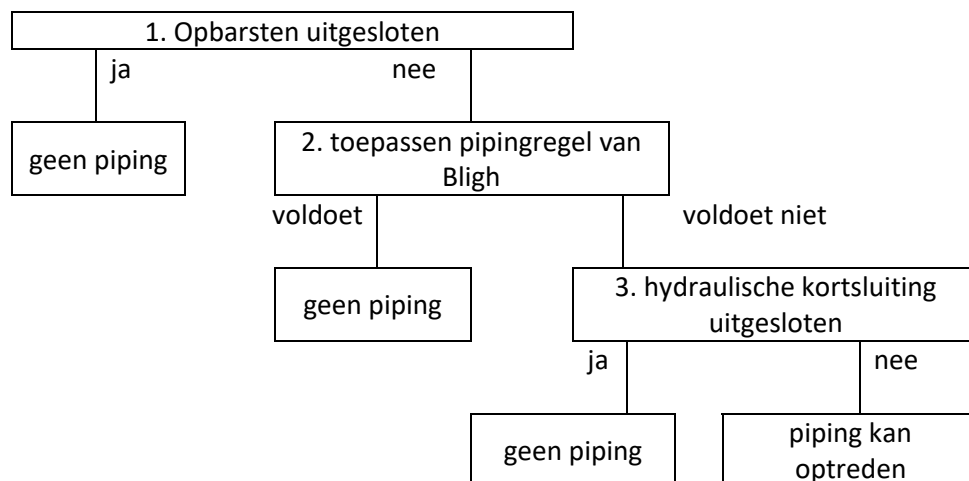
De hoogte van het onderzochte deeltraject voldoet vrijwel over de gehele lengte. Enkel ter plaatse van metreering 1260 en 1560 zijn lokale uitschieters die onder de afkeurhoogte vallen. Tussen metreering 1240 en 2700 ligt het kadetrajct in 2014 rond de afkeurgrens.

1.2.2 Piping en hydraulische kortsluiting

Piping

Het fenomeen piping kan optreden indien er door hydraulische kortsluiting een verbinding ontstaat tussen het boezemwater en het watervoerende pakket. Door het potentiaalverschil tussen de waterstand in de boezem en de bermsloot kan uitspoeling ontstaan bij een zwakke plek naast de kade (meestal nabij de bermsloot). Hierdoor kan het binnentalud onderhevig zijn aan erosie.

Voor de beoordeling van de veiligheid tegen piping zowel bij maatgevende natte omstandigheden als bij extreem droge omstandigheden is de eenvoudige methode toegepast; Deze methode is als volgt:



Bij het kadetraject langs De Nieuwe Weg is het uittreepunt voor het berekenen van de kwelengte gelijk gesteld aan de slootrand. In theorie kan, door het hoge potentiaalverschil en de lage volumieke massa van de grondsoorten naast de dijk, de binnenteen als uittredepunt worden gehanteerd. Het hanteren van de slootrand als uittredepunt is echter ongunstiger en realistischer voor de berekeningen.

De berekening voor de minimale kwelengte is als volgt uitgevoerd;

$$L = C_{creep} \cdot (\sum H - 0.3d)$$

Formule 1.2.2 [bron 14.1]

Waarin geldt:

- L intreepunt buitenteen tot uittreepunt sloot
- C_{creep} materiaalconstante (18 bij zeer fijn zand)
- H verval over waterkering (-0,40 - - 3,65) = 3,25m
- d verticale afstand slootbodem en zandlaag (gemiddeld 0,3m t.p.v. de slootbodem)

Hieruit volgt dat de minimale kwelengte 57 meter bedraagt. De gemiddelde afstand tussen het intredepunt en de sloot bedraagt ongeveer 40 meter hetgeen onvoldoende is. Over het gehele kadetraject moet rekening gehouden worden met piping.

Hydraulische kortsluiting

De controle op hydraulische kortsluiting vindt plaats om het risico op de fenomenen opdrijven en piping bij een groot potentiaalverschil te bepalen. Onder hydraulische kortsluiting wordt verstaan dat er een verbinding ontstaat tussen het boezemwater en de diepgelegen zandlagen waardoor de waterdruk in het pleistocene zand tot aan het boezempeil kan oplopen.

De kans op het optreden van hydraulische kortsluiting kan verwaarloosbaar klein worden verondersteld indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

- hydraulische kortsluiting ten gevolge van baggerwerkzaamheden kan worden uitgesloten;
- hydraulische kortsluiting leidt niet tot toename van de waterspanning in het pleistocene zand.

Concreet vertaalt dit zich in een toets naar een minimale dikte van 2 meter van een cohesieve laag met een volumieke massa van gemiddeld meer dan 12 kN/m^3 op een niveau startend direct onder de maximale baggerdiepte.

Bij het beschouwde kadetraject is dit niet het geval waardoor rekening moet worden gehouden met hydraulische kortsluiting.

Beoordeling droge situatie

Uit de leidraad blijkt dat de droge situatie niet als maatgevend boven de hoogwatersituatie mag worden beschouwd indien wordt voldaan aan volgende criteria:

- hydraulische kortsluiting kan worden uitgesloten;
- de kade is geen veenkade (volgens de omschrijving in de begrippenlijst).

Aan beide criteria wordt niet voldaan. Dit betekent dat de droge situatie maatgevend kan zijn en dat een toetsing uitgevoerd dient te worden.

De bepaling van de schadefactor bij droogte bij het maatgevende profiel is uitgevoerd met het computerprogramma Mstab versie 9.9. De berekeningsresultaten zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

dijkvak	metrering		maatgevend dwarsprofiel	stabiliteitsfactor	
	van [m]	tot [m]		Zone 1	Zone 2
2	1280	1500	VB3-303C-1500	1.15	-
5	1720	2340	VB3-303C-2400	1.25	-

Tabel 1.2.2: Resultaten toetsing macrostabiliteit in droge situatie [bron 14.1]

Conclusies macrostabiliteit bij droogte

De macrostabiliteit dient minimaal te voldoen aan een schadefactor (γ_n) van 0,90 (het dient gelijk of hoger dan $\gamma_n = 0,90$ te zijn).

Bij dijkvak 2 neemt de stabiliteitsfactor ten opzichte van die bij MHW af (zie volgende paragraaf voor de resultaten bij MHW). De afname van het gewicht van de veenlagen heeft duidelijk effect op het tegenwerkend moment van de glijcirkel. Bij dijkvak 5 neemt de stabiliteitsfactor juist toe hetgeen toegeschreven kan worden aan de lagere ligging van de freatische lijn.

Door de dieper gelegen veenlaag is het effect van de gewichtsafname minder groot dan het effect van het verlagen van de freatische lijn. Geconcludeerd kan worden dat dijkvakken waar het veen hoog aan het oppervlak ligt lager zullen scoren dan de resultaten bij MHW.

1.2.3 Macrostabiliteit binnentalud

De macrostabiliteit dient minimaal te voldoen aan een schadefactor (γ_n) van 0,90 (het dient gelijk of hoger dan $\gamma_n = 0,90$ te zijn).

De bepaling van de schadefactor is uitgevoerd met het computerprogramma Mstab versie 9.9. De berekeningsresultaten in de natte situatie zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

dijkvak	metrering		maatgevend dwarsprofiel	stabiliteitsfactor	
	van [m]	tot [m]		Zone 1	Zone 2
1	1035	1280	VB3-303C-1300	0.84	-
2	1280	1500	VB3-303C-1500	1.49	-
3	1500	1630	VB3-303C-1700	1.55	-
4	1630	1720	VB3-303C-2000	1.21	-
5	1720	2340	VB3-303C-2400	0.93	-
6	2340	2380	VB3-303C-2500	0.86	-
7	2380	2500	VB3-303C-2500	1.10	-
8	2500	2890	VB3-303C-2700	1.45	-

Tabel 1.2.3: Resultaten toetsing macrostabiliteit in natte situatie [bron 14.1]

Er zijn geen resultaten voor zone 2 gepresenteerd omdat deze glijcirkels niet relevant zijn ($<0,5$).

Conclusies macrostabiliteit binnentalud

Uit de toetsing van de dijkvakken blijkt dat de macrostabiliteit bij dijkvak 1 en 6 niet voldoet. De oorzaak hiervan ligt voornamelijk in de stijlheid van de taluds ter plekke. De overige vakken scoren voldoende.

1.2.4 Macrostabieliteit binnentalud opdrijven

De macrostabieliteit dient minimaal te voldoen aan een schadefactor (γ_n) van 0,90 (het dient gelijk of hoger dan $\gamma_n = 0,90$ te zijn).

De bepaling van de schadefactor is uitgevoerd met het computerprogramma Mstab versie 9.9. De berekeningsresultaten in de natte situatie zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

dijkvak	metrering		maatgevend dwarsprofiel	stabieliteitsfactor	
	van [m]	tot [m]		Zone 1	Zone 2
1	1035	1280	VB3-303C-1300	0.24	-
2	1280	1500	VB3-303C-1500	0.44	-
3	1500	1630	VB3-303C-1700	0.50	-
4	1630	1720	VB3-303C-2000	0.38	-
5	1720	2340	VB3-303C-2400	0.35	-
6	2340	2380	VB3-303C-2500	0.28	-
7	2380	2500	VB3-303C-2500	0.44	-
8	2500	2890	VB3-303C-2700	0.75	-

Tabel 1.2.4: Resultaten toetsing macrostabieliteit in natte situatie [bron 14.1]

Conclusies macrostabieliteit opdrijven

Uit de toetsing van de dijkvakken indien er opdrijven optreedt, blijkt dat het gehele onderzochte traject niet voldoet. De reden hiervoor is het grote potentiaalverschil dat optreedt indien er kortsluiting tussen de Loosdrechtsche Plassen en de eerste watervoerende laag ontstaat. In dit geval is er een verhang van 2,7 meter aanwezig. De grondlagen op het eerste watervoerende pakket hebben geen hoge volumieke massa waardoor opdrijven zeer snel zal optreden. Dit verklaart de lage score voor de stabieliteitsfactor bij het fenomeen 'opdrijven'.

Onderzoeksvragen die dit oproept

Bij de constatering van de lage stabieliteitsfactoren is nagegaan wat de reden(en) kan / kunnen zijn dat de dijk in de praktijk nog functioneert. De volgende mogelijkheden staan hierbij open;

- Er is (nog) geen kortsluiting met het eerste watervoerende pakket door de sliblaag die op de bodem van de Loosdrechtsche Plassen ligt;
- De grond is zwaarder dan aangenomen is (wordt nagegaan met het laboratoriumonderzoek);
- Het gemaal zorgt voor een continue bemaling van de sloten waardoor er een kunstmatig lagere verhanglijn ontstaat.

Uiteraard spelen ook zaken als de modellering en het gebruikte rekenmodel mee.

Bijlage 2 Bestaande dwarsprofieltekeningen

In deze map bevinden de volgende tekeningen van de huidige dijk:

1. Dwarsprofiel bij dijkvak 1, ter plaatse van metrering 581
2. Dwarsprofiel horend bij dijkvak 2 genomen op metrering 1388
3. Dwarsprofiel horend bij dijkvak 3 genomen op metrering 1883
4. Dwarsprofiel horend bij dijkvak 4 genomen op metrering 2700
5. Dwarsprofiel horend bij dijkvak 5 genomen op metrering 3102

Bijlage 3 Bepaling van opwaaiinghoogte

Bij het optreden van de maatgevende omstandigheid, zal de wateroppervlakte in een gesloten waterbekken gaan kantelen om het zwaartepunt als gevolg van de hoge snelheid en lange duur van de wind. De hoeveelheid wateroppervlakte is aan beide zijden van het zwaartepunt aan elkaar gelijk. Er ontstaat een verhang onder een hoek waarbij de waterstand bij de dijk hoger wordt.

De duur van de maatgevende windsnelheid die kan optreden op de Loosdrechtsche Plassen is voldoende hoog voor het ontstaan van een evenwichtstoestand. Daardoor zal de opwaaiinghoogte bij de dijk voor een lange tijd blijven. Daarom dient deze factor meegenomen te worden in de bepaling van de minimale waakhoogte. De opwaaiinghoogte kan met de volgende formule worden bepaald:

$$S = \frac{C \cdot v^2 \cdot \cos \varphi \cdot F}{h} \quad \text{Formule 13.1 [bron 6.3]}$$

Hierin zijn de parameters als volgt:

- S = opwaaiinghoogte [m]
- F = strijklengte vanaf de dijk tot aan de zwaartelij van het gesloten waterbekken [m]
- v = windsnelheid [m/s]
- h = (gemiddelde) waterdiepte [m]
- φ = hoek van golfinval [°]
- C = empirisch bepaalde factor:
 - voor grote wateroppervlakten geldt: $0,4 \cdot 10^{-6} \text{ [s}^2/\text{m]}$
 - voor kanalen geldt: $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ [s}^2/\text{m]}$

Bepaling van invoerparameters

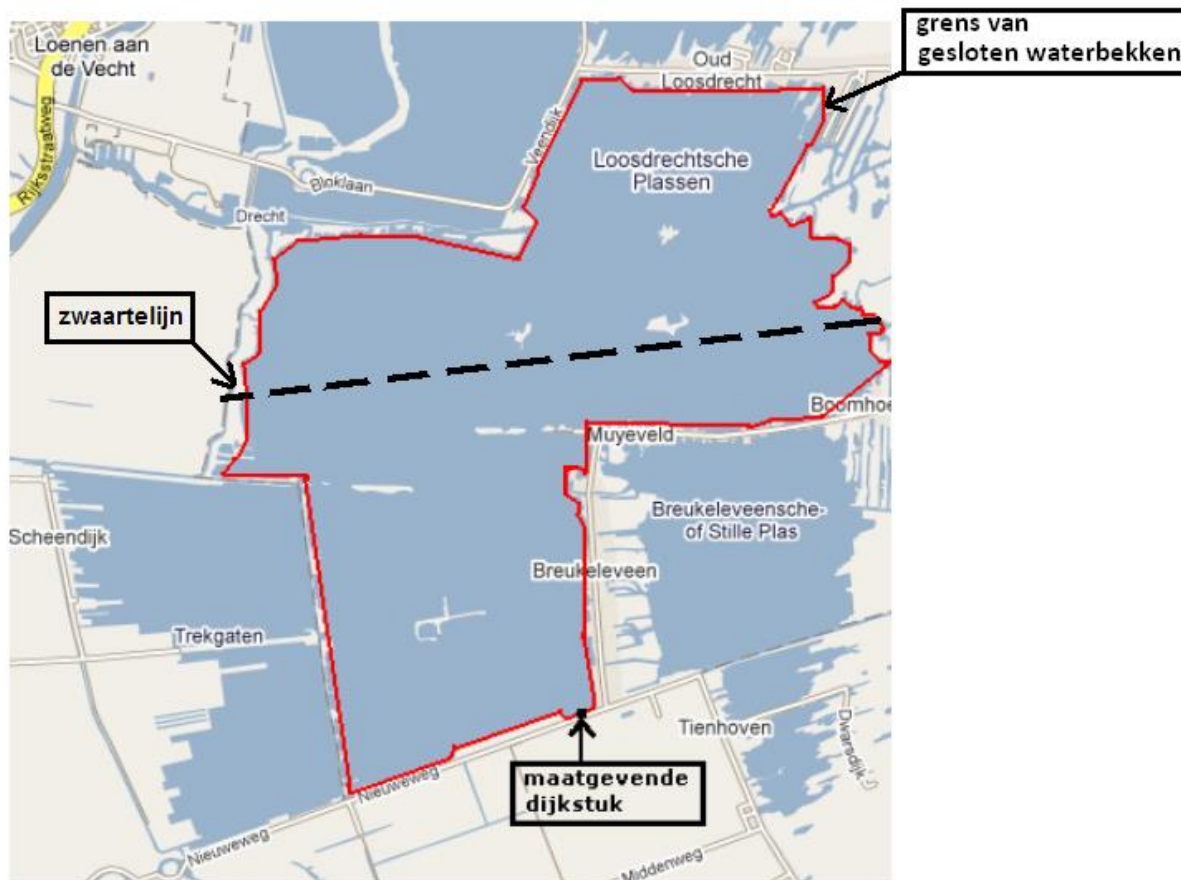
De meeste van de bovengenoemde parameters zijn al bepaald. Deze zijn onder de maatgevende omstandigheid als volgt:

- windsnelheid $v = 17,9 \text{ m/s}$
- waterdiepte $h = 2,25 \text{ meter}$
- hoek van golfinval $\varphi = 10^\circ$

De Loosdrechtsche Plassen behoren tot grote wateroppervlakte; De empirische factor is dus $0,4 \cdot 10^{-6} \text{ s}^2/\text{m}$.

Strijk lengte

De benodigde strijklengte (F) is de afstand tussen de dijk en de zwaartelij van het gesloten waterbekken. Om deze te bepalen dient de ligging van de zwaartelij van het gesloten waterbekken bepaald te worden. Het maatgevende dijkstuk bevindt zich langs een gesloten waterbekken. De grens van dit waterbekken is weergegeven in figuur 13.2. In deze figuur is ook de locatie van het maatgevende dijkstuk weergegeven.



Figuur 13.2 gesloten waterbekken, ligging van de zwaartelij en het maatgevende dijkstuk [bron 2.2]

De zwaartelij van dit gesloten waterbekken bevindt zich op een locatie waarbij aan beide zijden van de zwaartelij de oppervlakte aan openwater evenveel is. Om deze locatie te vinden dient de oppervlakte van openwater in dit gesloten waterbekken bepaald te worden.

Met behulp van Google Earth is de oppervlakte van het gesloten waterbekken nauwkeurig bepaald. Daarbij zijn ook de oppervlakten van de binnen liggende eilanden bepaald. Deze zijn in mindering gebracht bij de bepaalde oppervlakte van het gesloten waterbekken omdat ze geen water zijn.

Vervolgens is er nauwkeurig naar de zwaartelij van het gesloten waterbekken gezocht, door aan beide zijden van de zwaartelij evenveel wateroppervlakte te krijgen.

De zwaartelij van het gesloten waterbekken is gevonden op een afstand van 2510 meter ten opzichte van het maatgevende dijkstuk. De zwaartelij is in figuur 13.2 getekend.

Berekening van opwaaiinghoogte

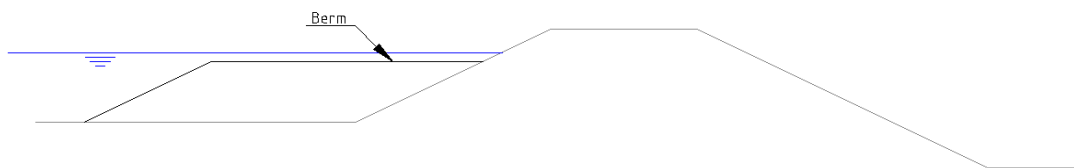
Alle invoerparameters zijn bekend. Na het invullen van de bepaalde parameters in formule 13.1, is de hoogte voor opwaaiing bij de dijk 0,14 meter.

Bijlage 4: Uitleg van criteriumbeoordelingen uit Keuzematrix

Uit de vijf varianten is één variant gekozen tot definitieve variant. De keuze is gemaakt door middel van een keuzematrix. Daarin zijn de varianten beoordeeld op een aantal criteria. Elk criterium is beoordeeld met een waarde. In de keuzematrix zijn deze waarden weergegeven met cijfers 1 tot en met 5. Hierna wordt toelichting gegeven op elke criteriumbeoordeling van alle vijf varianten.

4.1 Variant 1

Bij variant 1 wordt een bermstuk geplaatst op het buitentalud van de huidige dijkgeometrie. In figuur 4.1 is dit schematisch weergegeven. De opbouw van dit bermstuk is als volgt: De kern bestaat uit zand, dat wordt afgedekt met een geotextiel. Dit geotextiel wordt afgedekt met een hard openmateriaal. Er wordt van breuksteen uitgegaan omdat dit het meest geschikt bekledingsmateriaal is.



Figuur 4.1: schematische weergave van een bermstuk aan een dijk [bron 4.2]

Invloed op andere mechanismen

Variant 1 is goed beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Door het aanleggen van een bermstuk wordt de huidige dijkgeometrie verbreedt. Dit is gunstig voor een aantal faal- en bezwijkmechanismen waaronder piping en macrostabiliteit buitenwaarts. Want doordat de dijkgeometrie verbreedt is, is de kwellingte vergroot. Dit reduceert het mechanisme piping bij de dijk. Macrostabiliteit buitenwaarts is een bezwijkmechanisme waarbij het buitentalud van een dijk afschuift. Door het plaatsen van een bermstuk wordt de afschuiving van het buitentalud tegengehouden.

Invloed op reductie van golfoploop en –overslag

- Beoordeling op criterium Invloed op reductie van golfoploop: 3 = matig
- Beoordeling op criterium Invloed op reductie van golfoverslag: 3 = matig

Uit de resultaten van golfoploop en –overslag bij variant 1 bleek dat deze hoger zijn dan de maximaal toegestane golfoploophoogte en –overslagdebiel. De toegepaste golfreducerende maatregel heeft echter de golfoploophoogte met 25% gereduceerd en het golfoverslagdebiel met 90% ten opzichte van dezelfde dijkgeometrie maar zonder de toegepaste maatregel. Door deze positieve en negatieve punten wordt variant 1 op beide criteria (Invloed op reductie van golfoploop en golfoverslag) matig beoordeeld.

Uitvoerbaarheid

Variant 1 is slecht beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Het bermstuk bevindt zich aan de waterkant, het materieel en materiaal zullen de locatie via een ponton moeten bereiken. Dit maakt de uitvoering lastiger dan als het vanuit het land (bijvoorbeeld vanuit de dijkkruin) uitgevoerd wordt. Een ander lastig uitvoerbaar onderdeel van dit bermstuk is de aanleg van het geotextiel. Dit is een intensief, zwaar werk.

Recreatie

Zoals bekend wordt het bermstuk gemaakt van zandkern, afgesloten met (waterdoorlatend) geotextiel om spoeling van de zandkern te voorkomen. Het geotextiel wordt afgesloten met een hard open bekledingsmateriaal om erosie en schade aan het bermstuk te voorkomen. Hoogstwaarschijnlijk wordt de bekleding breuksteen. Een bekleding van breuksteen belemmert echter de recreatie mogelijkheden op het bermstuk. Het wordt lastig voor recreanten om op de breukstenen te recreëren in de vorm van bijvoorbeeld zitten of lopen. Daarnaast belemmert dit bermstuk mogelijke watersporten en vaarrecreatie langs de dijk. Dit leidt tot een slechte beoordeling voor deze variant.

Er is echter wel een positief punt aan deze variant, de grasbekleding op het buitentalud blijft bestaan. Hierop kan gerecreëerd worden in de vorm van bijvoorbeeld zonnebaden. Door de positieve en negatieve punten leidt dit tot een matige beoordeling op dit criterium voor variant 1.

Onderhoudsvriendelijkheid

Variant 1 is goed beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Het bermstuk zal bestaan uit harde materialen die een hoge levensduur hebben. Als het bermstuk goed aangelegd is, zal het niet zo snel beschadigd raken. Hierdoor is regelmatig onderhoud niet vereist. Het bermstuk dient echter wel regelmatig geïnspecteerd te worden. De inspectie zal vanuit de waterkant via een ponton gebeuren. Doordat het bermstuk weinig kans op beschadiging heeft, is de tijdsduur tussen de periodieke inspecties lang. Hierdoor zijn de inspectie kosten laag.

Ontwerp, aanschaf en aanleg -kosten

Variant 1 is matig beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

De opbouw van het bermstuk bestaat uit zandkern, geotextiel en bekleding van breuksteen. De aanschafkosten van zand en geotextiel zijn in verhouding met de aanschafkosten van breuksteen laag; breuksteen is echter wat duurder.

Zoals onder het criterium Uitvoerbaarheid toegelicht is de uitvoering van het bermstuk lastig en intensief werk. Dit leidt tot hoge aanlegkosten.

De kosten voor de engineering (ontwerpkosten) zijn over het algemeen laag.

Levensverwachting

De materialen waarvan het bermstuk is gebouwd zijn bijna allemaal harde stenige materialen. Deze materialen hebben een zeer hoge levensduur. Hierdoor gaat het bermstuk zeer lang mee. Daarom scoort deze variant op dit criterium zeer goed.

Natuur/ecologie

Het bermstuk ligt onder alle omstandigheden onder de waterlijn. De waterdiepte boven het bermstuk is niet groot. Hierdoor zullen er bepaalde waterdieren en overige natuur (bijvoorbeeld planten en algen) die onder water leven zich huisvesten op de breukstenen van het bermstuk. Doordat het bermstuk regelmatig met golfslagen en snelle waterstromingen te maken heeft, zal de levensduur van de gehuisveste waternatuur kort zijn. Dit is een negatief punt voor het criterium Natuur/ecologie.

Op het buitentalud van variant 1 blijft de grasbekleding bestaan, dit is een natuurlijk product die de natuur en ecologie aantrekt en stimuleert.

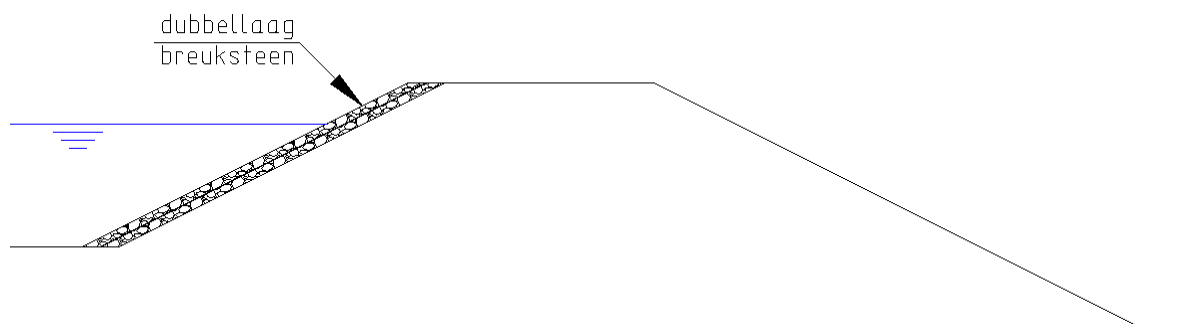
Door deze positieve en negatieve punten wordt variant 1 op het criterium Natuur/ecologie matig beoordeeld.

4.2 Variant 2:

Bij variant 2 wordt het huidige buitentalud bekleed met het ruw materiaal dubbellaag breuksteen.

De onregelmatige helling wordt opgevuld met zand zodat er een rechte helling ontstaat. Vervolgens wordt het afgesloten met een geotextiel, waarna het bedekt wordt met een dubbellaag breuksteen.

In figuur 4.2 is een schematisch profiel van deze variant weergegeven.



Figuur 4.2: schematische weergave van variant 2: dubbele laag breuksteen op buitentalud toegepast [bron 4.2]

Invloed op reductie van andere faal- en bezwijkmechanismen

Variant 2 is matig beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Door het aanleggen van een dubbellaag breuksteen op het buitentalud wordt het buitentalud naast verruwd ook verzwaard. Deze verzwarende heeft gunstige effecten alleen voor het mechanisme macrostabiliteit buitenwaarts, want de breukstenen oefenen een verticale kracht naar beneden uit. De macrostabiliteit buitenwaarts oefent een afschuivende kracht in de vorm van een cirkel uit. Doordat er een verticale kracht op deze geleicirkel uitgeoefend wordt, wordt de afschuivende kracht verticaal naar beneden gedrukt. Deze reducerende werking op de afschuivende kracht op het buitentalud is echter niet heel groot, want doordat de stenen op een schuin talud liggen, oefenen ze naast verticale kracht ook krachten uit in dezelfde richting als het buitentalud. Hierdoor wordt de macrostabiliteit buitenwaarts licht bevorderd.

Verder is de dijkgeometrie van deze variant niet verbreed ten opzichte van de huidige dijkgeometrie, hierdoor levert deze variant geen reducerende werking op het mechanisme piping op.

Invloed op reductie van golfoploop en golfoverslag

Uit de resultaten op golfoploop en –overslag bij variant 2 bleek dat deze hoger zijn dan de maximaal toegestane golfoploophoogte en –overslagdebiet in verband met de veiligheidsnorm. De toegepaste golfreducerende maatregel heeft echter de golfoploophoogte met 50% gereduceerd en het golfoverslagdebiet met 95% ten opzichte van dezelfde dijkgeometrie maar zonder de toegepaste maatregel. Door deze positieve en negatieve punten wordt variant 2 op beide criteria (Invloed op reductie van golfoploop en golfoverslag) matig beoordeeld.

Uitvoerbaarheid

Variant 2 is goed beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

De aanlegwerkzaamheden van de nieuwe bekleding op het buitentalud kunnen voor een groot deel vanuit de dijk kruin uitgevoerd worden. Een klein deel van de werkzaamheden dient vanuit de waterkant te gebeuren, dit is wat lastiger dan vanuit de dijk kruin.

Recreatie

Het buitentalud van variant 2 wordt bekleed met een dubbellaag breuksteen. Dit materiaal belemmert recreatie mogelijkheden; Het is voor recreanten lastig om bijvoorbeeld te gaan liggen op de breukstenen. Hierdoor wordt variant 2 slecht beoordeeld op dit criterium.

Onderhoudsvriendelijkheid

Variant 2 is goed beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Het nieuwe buitentalud bestaat voor een groot deel uit breuksteen. Breuksteen is een hard materiaal met een zeer lange levensduur. Als het nieuwe buitentalud goed aangelegd is, zal deze niet snel beschadigen. Hierdoor is regelmatig onderhoud niet vereist. De dijk dient echter wel regelmatig geïnspecteerd te worden. Doordat de kans op schade aan het nieuwe buitentalud klein is, is de tijdsduur tussen de periodieke inspecties lang. Hierdoor zijn de inspectie kosten laag.

Ontwerp, aanschaf en aanleg -kosten

Variant 2 bestaat voor een groot deel uit breuksteen. Breuksteen is een duur materiaal, hierdoor loopt de aanschafprijs van deze variant op. Bij deze variant is de aanleg van het geotextiel het duurst, want dit is intensief werk. Dit leidt tot hoge aanlegkosten.

De kosten voor engineering en de aanleg van de breukstenen is in vergelijking met de overige kosten goedkoop.

Deze positieve en negatieve punten resulteren in een matige beoordeling op dit criterium.

Levensverwachting

Bij deze variant is voornamelijk zand en breuksteen toegepast. De levensduur van zand en breuksteen is zeer hoog. Hierdoor scoort variant 2 op dit criterium 5 en dus zeer hoog.

Natuur/ecologie

Variante 2 is matig beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Breuksteen trekt bepaalde dieren, insecten en planten aan. Alleen doordat er voor het buitentalud geen maatregelen zijn tegen hoge golven en snel stromende waterbeweging, zal de ontwikkelde natuur op en rondom de breukstenen regelmatig aangevallen worden door golven en overspoeld worden met water. Hierdoor is de levensduur van de ontwikkelde natuur laag.

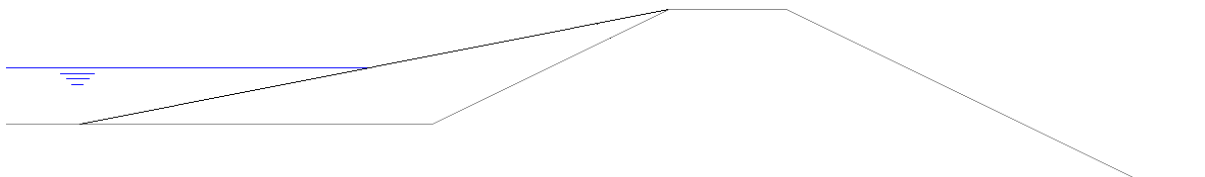
Variante 3 en 4

De varianten 3 en 4 lijken veel op elkaar. Vooral de materialen die toegepast zijn voor de opbouw zijn hetzelfde. Daardoor liggen de beoordelingen op de criteria dicht bij elkaar. Daarom wordt de beoordeling op de criteria van beide varianten samen toegelicht.

4.3 Variante 3

Bij variante 3 wordt alleen de helling van het buitentalud verflauwd. In figuur 4.3 is een schematisch profiel van deze variant weergegeven.

De opbouw bestaat uit zand, afgedekt met geotextiel, bovenop het geotextiel wordt een hard openmateriaal geplaatst. In variante 3 werd de golfreducerende werking van een verflauwde helling van het buitentalud onderzocht. Daarin was het onderzoek alleen gericht op deze verflauwde helling. Het bekledingmateriaal was niet meegenomen. Het buitentalud dient echter wel bekleed te zijn met een hard materiaal, omdat het geregeld te maken heeft met golfaanvallen. Breuksteen is de beste oplossing vanwege de hardheid en de hoge permeabiliteit eigenschappen. Er wordt van uitgegaan dat het buitentalud van deze variant bekleed is met breuksteen.



Figuur 4.3: schematische weergave van variante 3: helling van buitentalud verflauwd [bron 4.2]

4.4 Variant 4

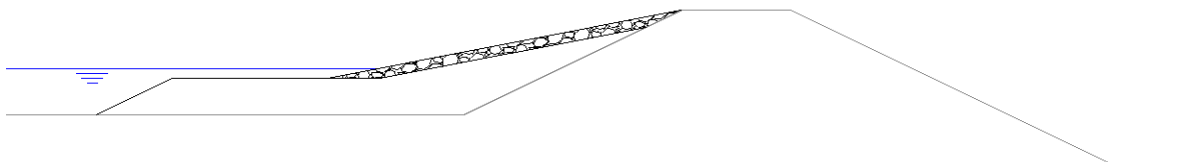
Bij variant 4 worden de volgende toepassingen aan de dijkgeometrie gedaan:

- Een bermstuk tegen het buitentalud plaatsen
- Helling van buitentalud verflauwen
- Buitentalud verruwen met een ruw bekledingmateriaal zoals breuksteen

In figuur 4.4 is een schematisch profiel van deze variant weergegeven.

De opbouw van deze toepassingen bestaat uit het volgende: de kern van het nieuwe buitentalud en het bermstuk is van zand; Afgedekt met geotextiel, boven op het geotextiel is breuksteen geplaatst.

In figuur 4.4 is te zien dat het bermstuk niet bekleed is met een hard materiaal. Deze bekleding is achterwege gelaten, omdat binnen variant 4 het onderzoek gericht was op de golfreducerende werking van de drie hierboven genoemde golfreducerende maatregelen. Het bermstuk wordt echter wel bekleed met een hard openmateriaal. In deze situatie wordt van breuksteen uitgegaan.



Figuur 4.4: schematische weergave van variant 4 [bron 4.2]

Invloed op reductie van andere faal- en bezwijkmechanismen

De beoordelingen op dit criterium bij beide varianten is als volgt:

Variant 3: 4 = goed

Variant 4: 5 = zeer goed

Zoals bij varianten 1 en 2 onder dit criterium toegelicht, heeft een verbreding van de dijkgeometrie en/of verzwaring van het buitentalud een reducerende werking op een aantal faal- en bezwijkmechanismen. Bij varianten 3 en 4 is zowel verbreding van de dijkgeometrie als verzwaring van het buitentalud toegepast. Bij variant 3 is dit gebeurd als gevolg van verflauwing van de helling van het buitentalud; daarbij is het buitentalud breder geworden in vergelijking met het buitentalud ervoor. De extra verbreding levert, als gevolg van de zware materialen waarvan het gemaakt is, extra gewicht aan het buitentalud waardoor het dus verzwaard wordt.

Bij variant 4 zijn dezelfde toepassingen als bij variant 3 aan de dijkgeometrie verricht. Daarnaast is de dijkgeometrie extra verbreed met een bermstuk. Dit bermstuk levert naast verbreding van de dijkgeometrie ook een steunstuk aan het buitentalud. Hierdoor wordt de afschuiving van het buitentalud (macrostabiliteit buitenwaarts) voorkomen.

Voor toelichting op de reducerende werking op faal- en bezwijkmechanismen door verbreding van dijkgeometrie en verzwaring van het buitentalud, wordt verwezen naar de toelichting onder dit criterium van varianten 1 en 2.

De toegepaste verbreding en verzwaring bij variant 3 levert een beoordelingcijfer 4 op dit criterium op, wat betekent Goed. Variant 4 heeft een extra dijkonderdeel (bermstuk) dat een reducerende werking heeft op de faal- en bezwijkmechanismen t.o.v. variant 3. Daarom krijgt variant 4 een hogere beoordeling op dit criterium dan variant 3.



Invloed op reductie van golfoploop

Uit het resultaat voor golfoploop bij variant 3 bleek deze hoger te zijn dan de maximaal toegestane golfoploophoogte van de veiligheidsnorm. De toegepaste golfreducerende maatregel heeft echter de golfoploophoogte met 52% gereduceerd ten opzichte van dezelfde dijkgeometrie, maar zonder de toegepaste golfreducerende maatregel. Door deze positieve en negatieve punten wordt variant 3 op dit criterium met matig beoordeeld.

Bij variant 4 is de golfoploophoogte veel lager dan de maximale grenshoogte. Hierdoor voldoet de variant aan het mechanisme golfoploop dat deel uitmaakt van de veiligheidseis. Daarnaast hebben de toegepaste golfreducerende maatregelen de golfoploophoogte bij deze variant gereduceerd met 78% ten opzichte van dezelfde dijkgeometrie, maar zonder de toegepaste golfreducerende maatregelen. Dit is een hoog reductiepercentage.

Op basis van deze positieve punten wordt variant 4 op dit criterium beoordeeld met zeer goed.

Invloed op reductie van golfoverslag

Variant 3 is met goed beoordeeld op dit criterium, en variant 4 met zeer goed. De reden is als volgt: Beide varianten hebben het golfoverslagdebiet sterk gereduceerd, waardoor beide varianten voldoen aan dit onderdeel van de veiligheidseis. Het verschil in de beoordeling ligt echter op het golfoverslagdebiet dat over de dijk heen gaat onder de extreme omstandigheid. Bij variant 3 is deze $0,017 \text{ l/m/s}$ en bij variant 4 is het $1,07 \cdot 10^{-7} \text{ l/m/s}$. Zoals te lezen is, is de golfoverslag bij variant 4 veel lager dan bij variant 3.

Uitvoerbaarheid

De aanleg van de zandkern en het bekledingmateriaal voor het nieuwe buitentalud van variant 3 kan voor een groot deel vanuit de dijkkruijn uitgevoerd worden. Uitvoer werkzaamheden vanuit de dijkkruijn zijn gemakkelijker dan vanuit de waterkant.

De aanleg van het geotextiel is wat lastiger uitvoerbaar. Dit is een zwaar, intensief werk.

Door deze positieve en negatieve punten is variant 3 met matig beoordeeld op dit criterium.

Bij variant 4 is één dijkonderdeel meer aanwezig dan bij variant 3; het bermstuk. De aanlegwerkzaamheden van dit bermstuk zullen voor een groot deel vanuit de waterkant uitgevoerd worden; Materieel en materiaal zullen de locatie via een ponton bereiken. Dit maakt de uitvoering wat lastiger dan als het vanuit het land gebeurt.

De overige variant onderdelen kunnen op dezelfde methode als bij variant 3 uitgevoerd worden.

Doordat bij variant 4 het bermstuk lastig uitvoerbaar is, levert dit voor dit criterium een extra negatief punt op ten opzichte van hetzelfde criterium bij variant 3. Hierdoor wordt variant 4 op dit criterium met slecht beoordeeld.

Recreatie

Variant 2 en 3 zijn beide met slecht beoordeeld op dit criterium. De reden is als volgt:

Het buitentalud van beide varianten wordt bekleed met het hard materiaal breuksteen. Dit materiaal belemmert recreatie mogelijkheden wegens de harde en scherpe oppervlakte; Het is voor de recreanten lastig om bijvoorbeeld te gaan liggen op de breukstenen.

Onderhoudsvriendelijkheid

Variant 3 en 4 zijn beide met goed beoordeeld op dit criterium net als bij varianten 1 en 2. De reden is als volgt:

De varianten worden gemaakt van harde materialen die een zeer lange levensduur hebben. Als de varianten goed aangelegd worden, dan is de kans op beschadiging zeer klein. Hierdoor is regelmatig onderhoud niet vereist. De varianten dienen wel regelmatig geïnspecteerd te worden.

De tijdsduur tussen de periodieke inspecties zal echter lang zijn, omdat de varianten zeer sterk zijn waardoor kans op beschadiging van de materialen en de dijkgeometrie klein is. Hiermee worden inspectie- en onderhoudskosten van beide varianten laag.

De varianten zijn niet beoordeeld met zeer goed, omdat er bij de varianten in dit criterium één negatief punt zit; Namelijk de bereikbaarheid is lastig. Doordat de toegepaste onderdelen van de varianten (o.a. het bermstuk) aan de waterkant liggen, zullen deze vanuit de waterkant met een ponton bereikt moeten worden voor inspectie- en onderhoudswerkzaamheden. Daarnaast dienen het materieel en materialen via materieel zoals een brug overgeplaatst worden op het ponton.

Ontwerp, aanschaf en aanleg -kosten

Variant 3 is met matig beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

De opbouw van het nieuwe buitentalud bestaat uit zandkern, geotextiel en een bekleding van breuksteen. De aanschafkosten van zand en geotextiel zijn in vergelijking met breuksteen laag; breuksteen is echter wat duurder.

Onder het criterium Uitvoerbaarheid is al toegelicht dat de aanlegwerkzaamheden van variant 3 voor een groot deel gemakkelijk zijn. Er is echter één onderdeel dat wat lastiger uitvoerbaar is. Dat is de aanleg van het geotextiel. Dit vraagt om intensief werk. Hierdoor stijgen de aanlegkosten.

Voor de rest zijn de kosten voor engineering (ontwerpkosten) over het algemeen laag.

Bij variant 4 zijn alle toepassingen op variant 3 aanwezig. Er is daarnaast nog één dijkonderdeel meer, namelijk het bermstuk. De aanleg van het bermstuk dient vanuit de waterkant te gebeuren. Dit maakt de aanlegwerkzaamheden wat lastiger (dan als het vanuit het land gebeurt), waardoor de aanleg kosten hoger worden.

Variant 4 vereist meer materiaal dan variant 3 (wegens het bermstuk), hierdoor zijn de aanschafkosten van variant 4 hoger dan die van variant 3.

Voor de rest zijn de kosten voor engineering (ontwerpkosten) over het algemeen laag.

Doordat variant 4 het meeste materiaal vereist dan de overige 4 varianten en deze variant meer kost dan variant 3, is variant 4 de duurste van alle varianten. Daarom wordt variant 4 als zeer slecht beoordeeld op dit criterium.

Levensverwachting

De varianten 3 en 4 bestaan voor een groot deel uit zand en breuksteen. Dit zijn harde materialen met een zeer lange levensduur. Hierdoor worden beide varianten op dit criterium beoordeeld met zeer goed.

Natuur/ecologie

De varianten 3 en 4 zijn beide matig beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Het buitenste deel van beide varianten is bekleed met breuksteen.

Breuksteen trekt bepaalde dieren, insecten en planten aan, wat positief is voor dit criterium. Alleen doordat er voor de dijk geen maatregelen zijn tegen hoge golven en snel stromende waterbeweging, zullen de ontwikkelde natuur op en rondom de breukstenen regelmatig aangevallen worden door golven en overspoeld worden met water. Hierdoor is de levensduur van de ontwikkelde natuur op de varianten kort.

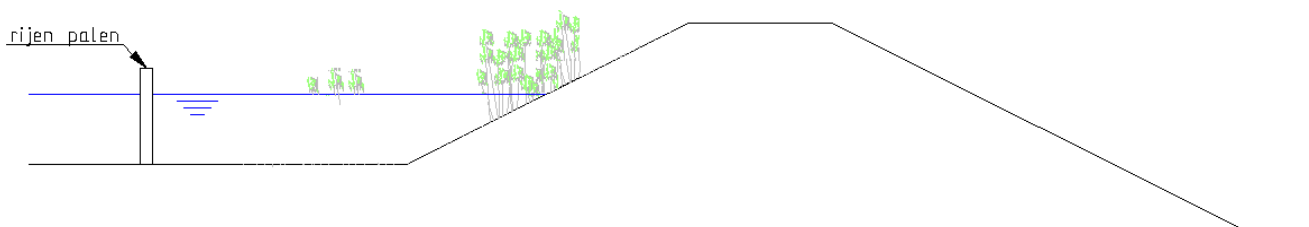
4.5 Variant 5 natuurvriendelijke oever

Variant 5 is een natuurvriendelijke oever. Voor de dijk op een afstand van 7 meter is een golfbreker aangelegd die hoge golven en snel stromende waterbeweging reduceert zodat er rustig tot stilstaande waterbeweging met zeer lage tot geen golven in de oever (tussen de golfbreker en de dijk) ontstaat.

Ter ontwikkeling en bevordering van natuur en ecologie wordt op een deel van het buitentalud (ter hoogte van de waterlijn) riet geplant en in de oever worden drijvende planten geplaatst.

De overige dijkgeometrie wordt niet aangepast, dit blijft hetzelfde als de huidige dijkgeometrie.

In figuur 4.5 is deze variant schematisch weergegeven.



Figuur 4.5: schematische weergave van variant 5 [bron 4.2]

Invloed op reductie van andere faal- en bezwijkmechanismen

Bij deze variant zijn er geen grote aanpassingen aan de dijkgeometrie gedaan die een reducerende werking hebben op de overige faal- en bezwijkmechanismen (die aan een dijk kunnen optreden). De enige aanpassing bij de dijkgeometrie van deze variant is de aanleg van het rietveld op een deel van het buitentalud. Dit rietveld heeft wel een reducerende werking op de golfmechanismen als golfoverslag, maar geen reducerende werking op overige mechanismen zoals macrostabiliteit.

Doordat bij deze variant de toegepaste maatregelen tegen golfoploop en -overslag geen reducerende werking hebben op de overige faal- en bezwijkmechanismen, wordt deze variant op dit criterium beoordeeld met zeer slecht.

Invloed op reductie van golfoploop en golfoverslag

Uit de toetsing van variant 5 met het Programma van eisen, bleek dat golfoploophoogte en golfoverslagdebiet veel lager liggen dan de maximaal toegestane hoeveelheid. Hierdoor voldoet variant 5 aan de veiligheidsnorm. De toegepaste golfreducerende maatregelen bij variant 5 hebben de golfoploophoogte met 70% gereduceerd en het golfoverslagdebiet met 100%.

Op basis van deze hoge reducerende werking wordt variant 5 op beide criteria met zeer goed beoordeeld.



Uitvoerbaarheid

Variant 5 is met goed beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Bij deze variant worden de volgende drie onderdelen aangelegd: rijpalen beschoeiing, rietveld op een deel van het buitentalud, drijvende planten in de oever. Het eerste onderdeel wordt machinaal uitgevoerd, waardoor er geen menselijke arbeid geleverd wordt. Het tweede onderdeel wordt handmatig vanuit zowel het buitentalud als de waterkant uitgevoerd. Dit is geen zware uitvoering. Het derde onderdeel zal vanuit het buitentalud handmatig geplaatst worden. Dit is ook geen zwaar werk.

Recreatie

Deze natuurvriendelijke oever creëert nieuwe recreatiesoorten, maar het beperkt ook een aantal andere recreatiesoorten langs de dijk Nieuwe Weg. De nieuw gecreëerde recreatiesoorten zijn o.a. mooie uitzicht op een natuurlijke omgeving en eenden voeren.

Daarnaast blijft de grasbekleding op het buitentalud liggen die gebruikt kan worden voor recreatiedoeleinden. Wegens de natuurbescherming is het niet langer toegestaan om langs de dijk (in de natuurvriendelijke oever) een aantal bestaande recreatiesoorten (die momenteel wel mogelijk zijn) uit te voeren. Het gaat om o.a. watersporten zoals zwemmen en snelle motorvaartuigen.

Deze zullen verder weg van de natuurvriendelijke oever beoefend worden.

Doordat de huidige recreatiemogelijkheden niet zwaar belemmerd worden door deze variant en daarnaast nieuwe recreatiesoorten zijn ontwikkeld door deze variant, wordt deze variant beoordeeld met goed op dit criterium.

Onderhoudsvriendelijkheid

Variant 5 is met goed beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

De natuurvriendelijke oever wordt voor een groot deel overgedragen aan de natuur. De natuur zorgt voor de ontwikkeling en het leven van de natuurlijke producten, dieren en insecten. Er dient echter wel regelmatig onderhoud en inspectie plaats te vinden. Deze werkzaamheden zijn niet intensief en ingewikkeld. Ze zijn daarnaast redelijk goedkoop. Dit komt mede doordat voor deze werkzaamheden geen speciaal, duur materieel en materiaal vereist zijn.

Het onderhoud zal het meest aan de beplantingen en het rietveld plaats vinden want deze zijn levend en hebben verzorging (in de vorm van onderhoud) nodig. Ze worden o.a. gesnoeid. Voor deze onderhoudswerkzaamheden zijn geen speciaal materieel en materiaal vereist en daardoor zijn het bijbehorende (onderhouds)kosten laag.

De rijpalen beschoeiing heeft andere eigenschappen dan de planten. Ze zijn o.a. harder en steviger en gaan heel lang mee. Daardoor hoeven de rijpalen niet regelmatig onderhouden te worden.

Door de genoemde eigenschappen van de rijpalen, is de tijdsduur tussen de periodieke inspecties lang.

Hierdoor worden kosten voor onderhoud en inspectie aan de rijpalen bespaard.

Er is echter één klein nadeel; Namelijk de bereikbaarheid. Voor inspectie- en werkzaamheden moet er gebruik worden gemaakt van een ponton. Daarnaast dient er materieel zoals een brug gebruikt te worden om het benodigde materieel en materiaal over te plaatsen op het ponton.

Ontwerp, aanschaf en aanleg kosten

Variant 5 is met goed beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

De aanschafkosten voor de benodigde materialen zijn over het algemeen laag. De aanlegkosten voor de rijpalen beschoeiing zijn wat hoger. De rijpalen worden aangelegd met een speciale drukmachine, die de palen één voor één in de grond drukt. Dit kost veel geld. De aanleg van het rietveld en de planten is over het algemeen goedkoop. Ook de ontwerpkosten (engineering) zijn over algemeen laag.

Levensverwachting

Variant 5 is met goed beoordeeld op dit criterium wegens de volgende redenen:

Bij deze variant worden de volgende materialen toegepast: houten rijpalen golfbreker, rietveld en een aantal drijvende planten. De rijpalen gaan over het algemeen heel lang mee.

Het rietveld en de planten kunnen pas lang overleven als ze geregeld onderhouden worden. Deze producten zijn daarnaast in staat om de golfgrootte en de snelheid van de waterstromingen achter de golfbreker te weerstaan. Indien de golfbreker niet aanwezig was, dan zou de levensduur van deze natuurlijke producten lager zijn.

Daarnaast wordt deze variant voor een groot deel overgelaten aan de natuur, die zal de variant in leven houden. Over het algemeen hebben natuurvriendelijke oevers een lange levensduur.

Natuur/ecologie

De hoofdfunctie van deze variant is natuur en ecologie ontwikkelen, stimuleren en laten groeien. Daarom wordt deze variant op dit criterium met zeer goed beoordeeld.

Bijlage 5: Tekeningen van definitieve variant

Tekening 1: Dwarsprofieltekening van definitieve variant

Tekening 2: Detailtekening van de teenconstructie

Bijlage 6: Kostenraming

Directe kosten:

Omschrijving werkzaamheid	eenheid	benodigde hoeveelheid	prijs per eenheid	totaal
Aanleggen van zandkern	m ³	141,50	35	4952,50
Aanleggen van geotextiel	m ²	199,50	10	1995
Aanbrengen van perkoenpalen	stuks	10,00	5	50
Aanleggen van dijkbekleding van breuksteen	ton	59,40	25	1485
Aanleggen van teenconstructie van breuksteen	ton	33,75	25	843,75

Totale directe kosten:	9326,25
-------------------------------	----------------

Indirecte kosten:

Eenmalige kosten; 2% van de totale directe kosten	186,53
Uitvoeringskosten; 7% van de totale directe kosten	652,84
Algemene bedrijfskosten; 8% van de totale directe kosten	746,10
Winst en risico; 3% van de totale directe kosten	279,79

Totale indirecte kosten:	1865,25
---------------------------------	----------------

Totale aannemingssom (directe kosten + indirecte kosten)	11191,50
---	-----------------

Overheadkosten

50% van de totale aannemingssom	5595,75
---------------------------------	---------

Omzetbelasting BTW

BTW van 19% over de aannemingssom	2126,39
-----------------------------------	---------

Totale Project som

Totale project som voor een dijk lengte van 10 meter met een dijk geometrie volgens metrerings 2700	18913,64
Totale project som per strekkende meter	1891,36

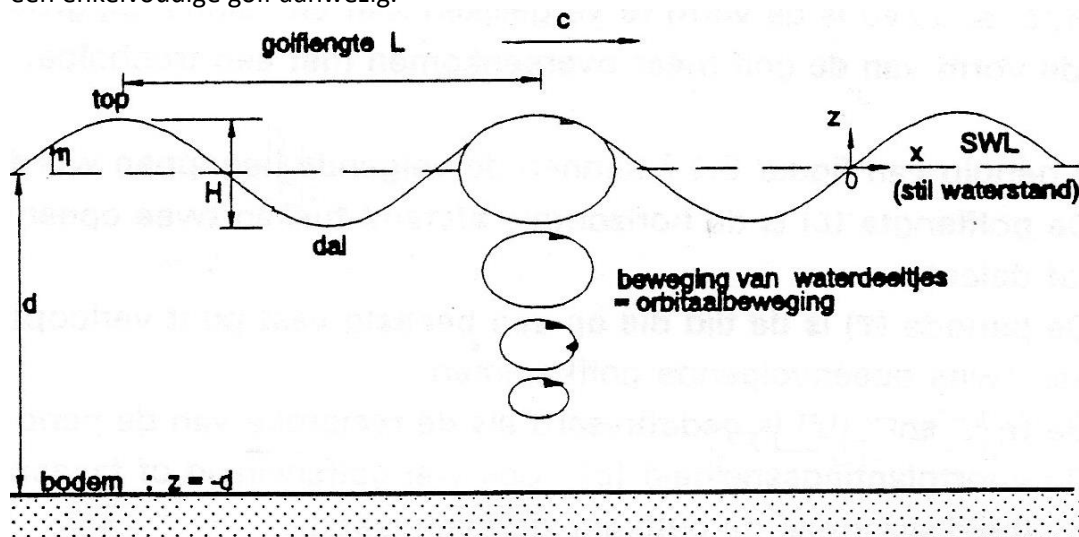
Bijlage 7 Golftheorie

In de vloeistofdynamica treden golven op aan de wateroppervlakte. Het begint bij het ontwikkelen van golfkammen en eindigt in golfploop en of golfoverslag. In dit hoofdstuk wordt er toelichting gegeven op golven. Daarin wordt o.a. de volgende onderdelen toegelicht: ontstaan van golven en een aantal soorten golven

7.1 Grondbegrippen van golven

Als eerst wordt toelichting gegeven op een aantal golfbegrippen, want deze zullen geregeld voorkomen in dit rapport.

De golfbegrippen worden toegelicht aan de hand van een schematische afbeelding van een enkelvoudige golf. In figuur 17.1 is een schematisatie van de verticale doorsnede van het wateroppervlak gegeven die loodrecht staat op de richting van de golfkammen, dus in de voortplantingsrichting van de golven. Aan het oppervlak is een enkelvoudige golf aanwezig.



Figuur 17.1: Schematisch weergave van een enkelvoudige golf met golfbegrippen [bron 11.1]

Uit figuur 17.1 zijn de volgende begrippen af te lezen.

Golfhoogte

Dit is het hoogteverschil tussen golftop en golfdal. Er bestaan diepwatergolven en ondiep watergolven. Bij diepwatergolven is de waterdiepte onder de golven zo groot dat de bodem geen invloed op de golven heeft. Bij ondiep watergolven is de waterdiepte onder de golven klein, waardoor de bodem weerstand op de golven uitoefent.

De grens tussen diepwater- en ondiep watergolven ligt bij een waterdiepte die gerelateerd is aan een halve golflengte. Als de waterdiepte kleiner is dan de halve golflengte (L) ($h < \frac{1}{2} L$) dan wordt de golf gerekend tot ondiep watergolf. Als de waterdiepte groter is dan een halve golflengte ($h > \frac{1}{2} L$) dan spreekt men van een diepwatergolf.

Diepwatersituaties worden aangegeven met een σ . Golfhoogte op diepwater wordt als volgt aangegeven: H_0 . Golfhoogte op ondiepwater wordt aangegeven door alleen een H of H_1 .

Daarnaast zijn er meerdere aanduidingen voor golven, bijvoorbeeld de significante golfhoogte wordt aangegeven als H_s .

Golfperiode

Dit is de tijd in seconden die verloopt tussen het passeren van twee opeenvolgende golftoppen (of golfdalen) langs een bepaalde plaats of product.

Als men veronderstelt dat een product in een wateroppervlakte is geplaatst waar golven passeren; er passeert een golfkam, na 3 seconden passeert de volgende, na 6 seconden passeert er weer één, na 9 seconden weer, enzovoort. De golfperiode is dan 3 seconden.

De golfperiode wordt aangegeven met de letter T. Onder deze letter kan een aanduiding toegevoegde worden, bijvoorbeeld s van significante; De significante golfperiode wordt dus als volgt aangegeven: T_s.

Voortplantingssnelheid

Dit is de golfsnelheid waarmee een golfkam zich verplaatst. Dit wordt ook wel golfsnelheid of fasesnelheid genoemd. De voortplantingssnelheid kan berekend worden met de volgende algemene formule:

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad \text{Formule 17.11 [bron 6.3]}$$

Als de theorie van diep- en ondiepwater ($h < \frac{1}{2} \cdot L$) in formule 17.11 geplaatst wordt ontstaat het volgende:

$$\text{Bij diepwatergolven geldt: } C_0 = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \quad \text{Formule 17.12 [bron 6.3]}$$

$$\text{Bij ondiepwatergolven geldt: } C_1 = \sqrt{g \cdot h} \quad \text{Formule 17.13 [bron 6.3]}$$

Hierin geldt:

- C = voortplantingssnelheid van een golf [s]
- C₀ = voortplantingssnelheid van een diepwatergolf [s]
- C₁ = voortplantingssnelheid van een ondiepwatergolf [s]
- g = gravitatiekracht [m/s²]
- T = golfperiode bij de piek van het energiedichtheidspectrum [s]
- L = golflengte op ondiepwater [m]
- Tanh = hyperbolische tangens [-]

Golflengte

Dit is de horizontale afstand tussen twee opeenvolgende golftoppen (of golfdalen). De golflengte kan met de volgende formule bepaald worden:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Formule 3.6 [bron 3.6]

Hierin geldt:

L_0 = golflengte van de diepwatergolf [m]

g = zwaartekracht [m/s^2]

T = golfperiode [s]

De golflengte op ondiep water kan bepaald worden doormiddel van de onderstaande tabel. Deze tabel kan ook gebruikt worden voor de bepaling van waarden voor andere golfeigenschappen.

h/L_0	h/L	kh	$\tanh kh$	$\sinh kh$	$\cosh kh$	K_s	n
0	0	0	0	0	1	∞	1
.005	.02836	.1782	.1764	.1791	1.0159	1.692	.9896
.010	.04032	.2533	.2480	.2560	1.0322	1.435	.9792
.015	.04964	.3119	.3022	.3170	1.0490	1.307	.9690
.020	.05763	.3621	.3470	.3701	1.0663	1.226	.9588
.025	.06478	.4070	.3860	.4184	1.0840	1.168	.9488
.030	.07135	.4483	.4205	.4634	1.1021	1.125	.9388
.035	.07748	.4868	.4517	.5064	1.1209	1.092	.9289
.040	.08329	.5233	.4802	.5475	1.1401	1.064	.9192
.045	.08883	.5581	.5066	.5876	1.1599	1.042	.9095

Tabel 17.21 ter bepaling van golf gegevens [bron 12.1]

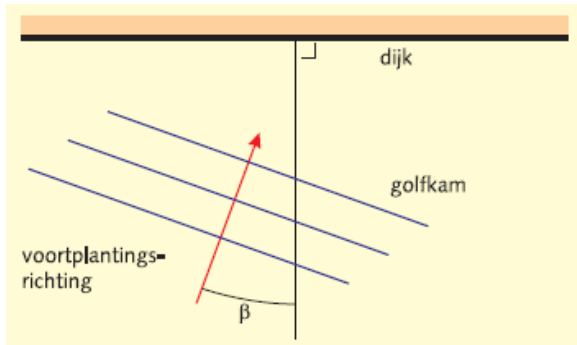
Waterdiepte

De waterdiepte is de verticale afstand tussen de bodem en de waterspiegel.

De waterdiepte wordt met een kleine letter **h** of **d** aangegeven. Deze mag niet verward worden met de hoofdletter H, want H geeft de golfhoogte aan.

Hoek van golfaanval

De hoek van golfinval (φ of β) is de hoek waaronder de golven op een waterkering invallen ten opzichte van de loodlijn op de waterkering. Hoe kleiner de hoek, hoe groter de golfaanvallen op de waterkering worden. De golfaanvallen zijn het grootst als de golven loodrecht op de waterkering afkomen. De hoek van golfinval staat dan onder nul graden.



Figuur 17.2: schematische weergave hoek van golfaanval [bron 6.5]

Indien de hoek van golfinval op diepwater bekend is, kan de hoek van golfinval op ondiep water bepaald worden met de volgende verhouding:

$$\frac{\sin \beta_0}{\sin \beta_1} = \frac{c_0}{c_1} \quad \text{Formule 17.14 [bron 12.1]}$$

Hierin geldt:

- c_0 = voortplantingssnelheid of golfsnelheid op diepwater [m/s]
- c_1 = voortplantingssnelheid of golfsnelheid op ondiepwater [m/s]
- β_0 = hoek van golfinval op diepwater [°]
- β_1 = hoek van golfinval op ondiepwater [°]

7.2 Golfbeweging onder water

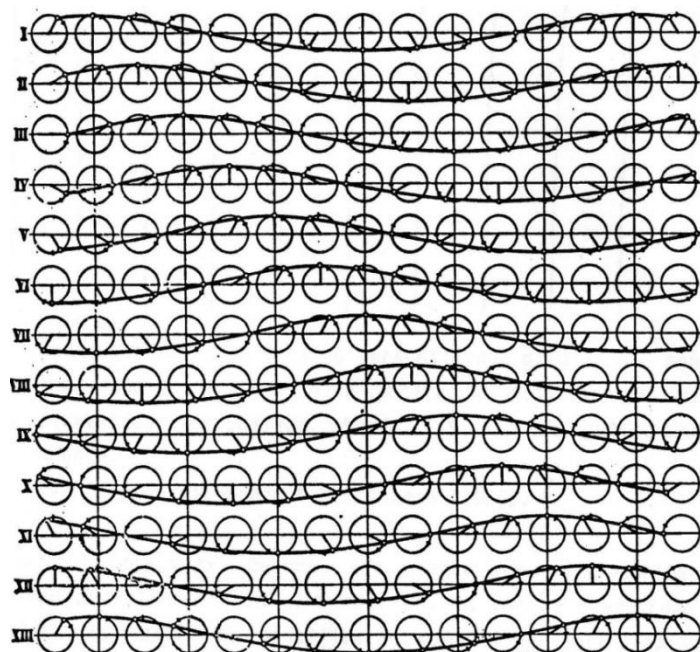
Bij golven wordt geen water getransporteerd in de voortplantingsrichting. Er wordt alleen energie verplaatst. De waterdeeltjes bewegen niet alleen op en neer, maar ook heen en weer. De waterdeeltjes hebben een voorwaartse beweging in de golftop en een achterwaartse beweging in het golfdal. Dit kan bewezen worden door waarneming van het drijven van een stuk hout op een golfveld. Wanneer het stuk hout zich op de golftop bevindt, dan beweegt het zich in de voortplantingsrichting. Wanneer het stuk hout op de golftop komt, dan zal het tegen de voortplantingsrichting in gaan. Het stuk hout zal dan in een beperkt gebied blijven rond dobberen.

Er wordt hierna de beweging van waterdeeltjes van diep- en ondiepwatergolven beschreven.

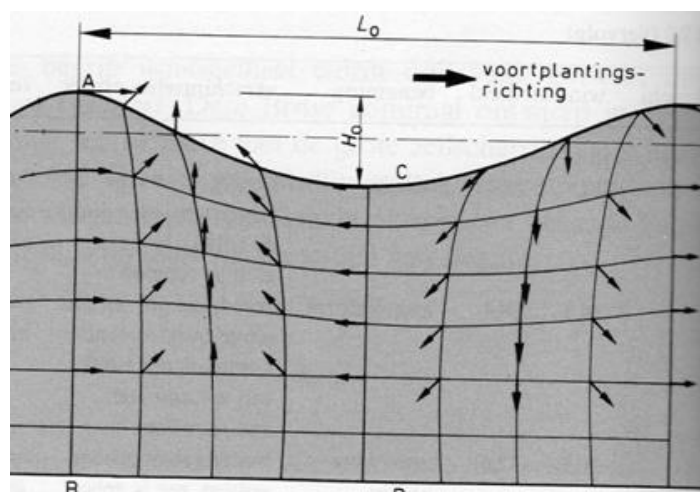
7.2.1 Golfbeweging op diepwater

Bij een diepwatergolf is de waterdiepte zo groot dat er op de bodem geen golfinvloeden meer merkbaar zijn. De waterdeeltjes van diepwatergolven beschrijven elk een cirkelvormige baan; de zogenaamd trochoïde-cirkel. De diameter van zo'n cirkel is gelijk aan de golfhogte. In figuur 17.3 is dat schematisch weergegeven.

In figuur 17.4 is een golf schematisch weergegeven; daarin is de bewegingsrichting van de waterdeeltjes aangegeven. Op lijnstuk AB bewegen alle waterdeeltjes naar rechts, en op lijnstuk CD bewegen alle waterdeeltjes naar links. Een halve golfperiode later zal de situatie precies tegenover gesteld zijn. De beweging van de waterdeeltjes wordt orbitale beweging genoemd (orbit = baan).



Figuur 17.3: enkelvoudige golfbeweging [bron 13.1]

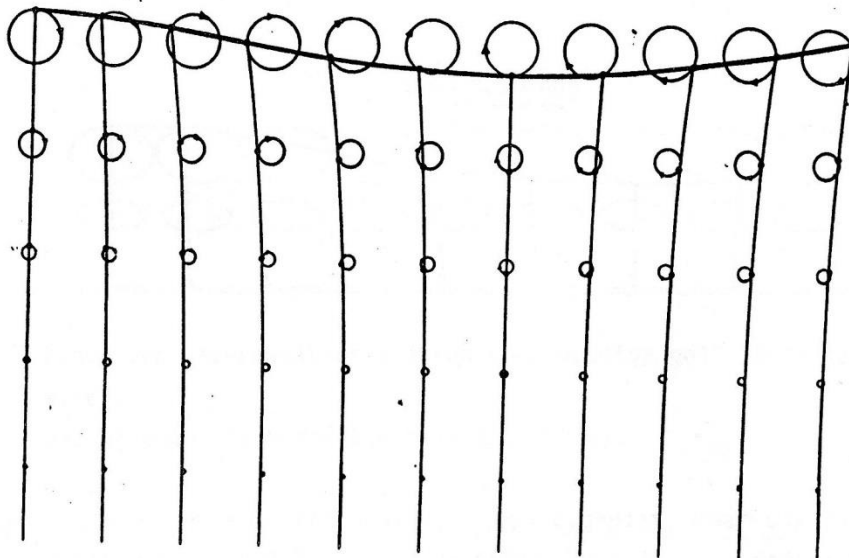


Figuur 17.4: bewegingsrichting van de waterdeeltjes [bron 6.3]

De waterdeeltjes onder de golf beschrijven ook cirkelbeweging. Met toenemende waterdiepte neemt de diameter van de cirkels af. Figuur 17.5 geeft dit schematisch weer.

De straal van de baan van een waterdeeltje is op een diepte van $\frac{1}{9}$ golflengte ($\frac{1}{9} L_0$) nog slechts de helft van de straal van de cirkel aan het oppervlak. Op een diepte van $\frac{1}{2}$ golflengte ($\frac{1}{2} L_0$) is de invloed van de golfbeweging vrijwel niet meer merkbaar; het is nog slechts 4% van dat aan de oppervlakte. Het bodemmateriaal zal bij een diepte van meer dan een halve golflengte geen invloed van de golfbeweging ondervinden. Aangezien er op een diepte van meer dan $\frac{1}{2}$ golflengte ($\frac{1}{2} L_0$) niets meer gemerkt wordt van de golf, wordt er bij een waterdiepte van meer dan $\frac{1}{2}$ golflengte ($h > \frac{1}{2} L_0$) van diepwater gesproken.

De snelheid van de waterdeeltjes neemt ook af met de diepte. Aan het oppervlak is de snelheid het grootst.



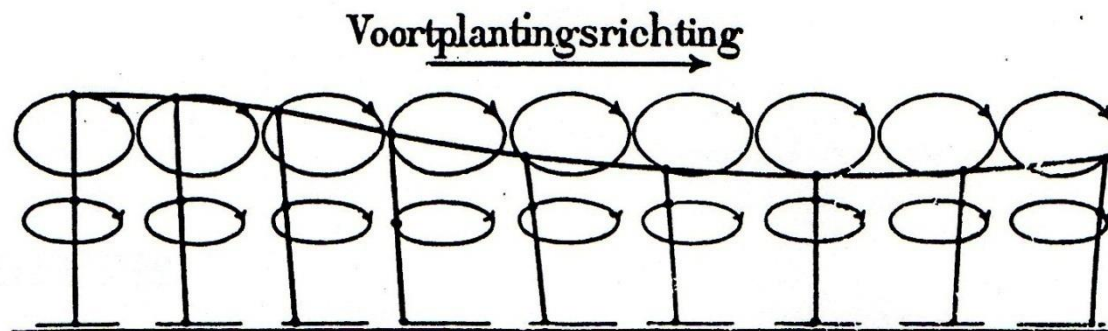
Figuur 17.5: banen van waterdeeltjes van een enkelvoudige golf in diepwater op verschillende diepten. De cirkels worden met de toename van de waterdiepte kleiner [bron 13.1]

7.2.2 Golfbeweging op ondiep water

Als een golf in ondiep water terecht komt, verandert de orbitale beweging van cirkelvorm naar ellipsvorm. De waterdeeltjes blijven op dezelfde wijze bewegen als op diepwater.

In figuur 17.6 is de golfbeweging bij ondiepe watergolven schematisch weergegeven. De ellipsvormen worden steeds platter naarmate ze dichterbij de bodem komen. De waterdeeltjes op de bodem maken een heen en weer gaande beweging. Het bodemmateriaal kan daardoor beïnvloed worden.

Het water kan als ondiep water beschouwd worden, wanneer de waterdiepte kleiner is dan een halve golflengte ($h < 1/2 L_0$). De golf voelt dan de bodem.



Figuur 17.6: Banen van waterdeeltjes bij een enkelvoudige golf in ondiep water. De ellipsvormige waterdeeltjes worden met toename van de waterdiepte platter [bron 13.1].

7.3 Ontstaansoorzaken van golven

Golven kunnen ontstaan door:

- Schepen
- Openingen in sluizen en stuwen (translatiegolven)
- Aardbeving / verschuiving van een aardlaag
- Vallende voorwerpen in het water
- Wind

De dijk "Nieuwe weg" ligt langs de Loosdrechtsche plassen. Deze dijk heeft met name te maken met wind- en scheepsgolven. De windgolven zijn maatgevender. Daarom wordt er in dit verslag op de windgolven ingegaan. Er wordt ingegaan op de eerste stap: ontwikkeling van de windgolven tot aan de laatste stap: golfploop en/of golfoverslag bij de dijk.

De overige genoemde golfveroorzakers zullen in het kort toegelicht worden.

Scheepsgolven en translatiegolven zijn voor Waternet relevant; want er zijn een aantal kilometers dijken binnen het beheergebied van het waterschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV) dat geregeld te maken heeft met scheepsgolven en translatiegolven. Daarom is het wel nuttig dat er onderzoek naar scheeps- en translatiegolven gedaan wordt. Het zal voor Waternet goed zijn als de volgende student(e) zijn/haar afstudeerproject op deze onderwerpen houdt.

7.3.1 Schepen

Scheepsgolven zijn bijna hetzelfde als windgolven. Het verschil is alleen dat scheepsgolven worden opgewekt door schepen en windgolven door de wind. Als een windgolf is opgewekt, dan zal (afhankelijk van windsnelheid, windduur, strijklengte en waterdiepte) de golf kunnen gaan groeien. Als een scheepsgolf in een groot wateroppervlak door een schip is opgewekt, dan zal de golf bij het verlaten van het schip langzaam uitdempen. Als er op het wateroppervlak wind waait, dan zal de (scheeps)golf (afhankelijk van windsnelheid, windduur, strijklengte en waterdiepte) kunnen gaan groeien. De scheepsgolf verandert dan in een windgolf.

Men onderscheidt twee soorten golven bij een varend schip, namelijk:

- Boeggolf
- Hekgolf

Wanneer een schip zich door het water beweegt, wordt het water 'uit de weg' geduwd zodat het schip er doorheen kan. Op het punt waar het water de boot treft, wordt het dus opzij geduwd wat zorgt voor ophoping van watermassa en dus een hogere druk. Daardoor ontstaan er golven bij de boeg; de topgolf, ook wel boegtop genoemd. Bij de schouders, krijgt de watermassa ineens weer meer ruimte en zorgt een onderdruk voor een dalgolf, het schouderdal. Bij het hek, de achterkant van het schip, komen de gesplitste stromen weer samen waardoor de druk oploopt en er een topgolf ontstaat, ook wel achtertop genoemd. In figuren 17.7 en 17.8 zijn afbeeldingen van boeggolf en hekgolf te zien. De achterkant van het schip (het hek) produceert een V-vormige golf.

Figuur 17.7: boeggolf bij een varend schip

Figuur 17.8: hekgolf bij een varend schip

De maximale hoogte van de scheepsgolven is afhankelijk van de vaarsnelheid van het schip en van de ruimte die het schip in het vaarwater heeft.

De voortplantingssnelheid (c) van de scheepsgolven is gelijk aan de vaarsnelheid van het schip.

De hoogte van scheepsgolven kan bepaald worden met de volgende formule en grafiek.

De vaarruimte van het schip kan uitgedrukt worden in de zogenaamde fictieve vaarwaterdiepte. Hiervoor geldt de volgende formule.

$$h_{\text{fictief}} = \frac{A_{\text{kanaal}}}{b}$$

Formule 17.14 [bron 6.3]

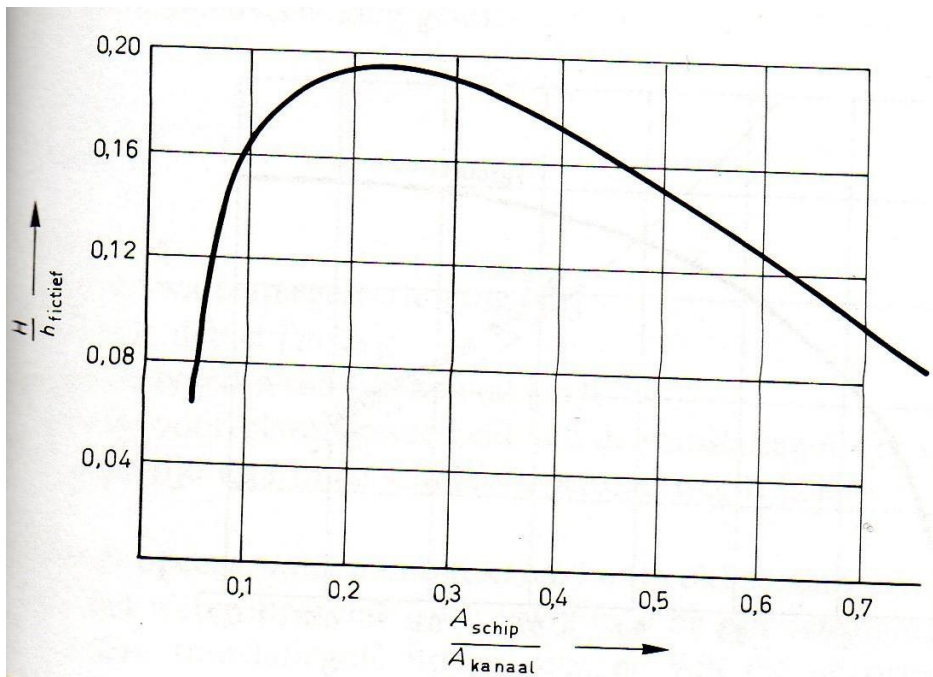
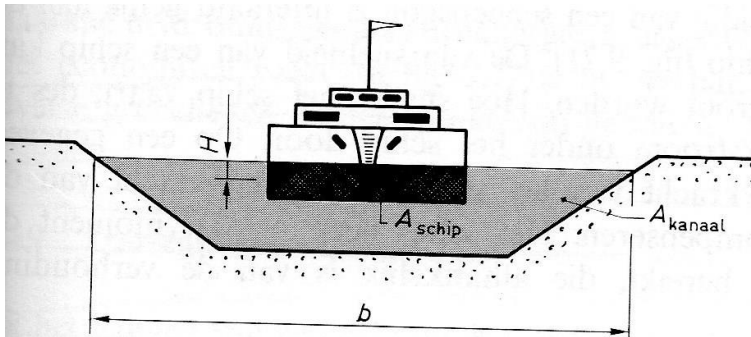
Hierin geldt:

h_{fictief} = fictieve vaarruimte van het schip [-]

A_{kanaal} = oppervlakte van het kanaal [m^2]

A_{schip} = oppervlakte van het schip [m^2]

b = breedte van het kanaal [m]



Figuur 17.9 grafiek ter bepaling van de scheepsgolfhoogte [bron 6.3]

Met behulp van de bovengenoemde formule, grafiek en de formules aangegeven langs de horizontale en verticale as van de grafiek, kan de maximale scheepsgolfhoogte bepaald worden.



7.3.2 Openingen in sluizen en stuwen

Een translatiegolf ontstaat bij het ledigen van een schutkolk of een kanaal. Bij het ledigen van een schutkolk wordt in korte tijd een groot debiet (qv) water in een stilstaand kanaal gebracht. Hierdoor ontstaat er een plotselinge plaatselijke waterpeilverhoging "z" in de buurt van de schutkolk. Dit is de (positieve) translatiegolf. Nadat de schuif is dicht gedraaid, zal de translatiegolf zich met een voortplantingssnelheid c door het kanaal voortplanten. De translatiegolf dempt na het afleggen van een zekere afstand uit.

Ook bij het onttrekken van een hoeveelheid water uit een kanaal of een schutkolk, ontstaat er een translatiegolf. Wordt bij een kanaal de schuif geopend en na een tijd gesloten, dan zal tijdens het spuien een verlaging van de waterspiegel in de buurt van de schuif optreden. Deze waterspiegelverlaging z zal zich voortplanten door het kanaal met een voortplantingssnelheid c . De (negatieve) translatiegolf dempt na het afleggen van een zekere afstand uit. In figuur 17.10 is dat schematisch weergegeven. Bij stijging van de waterspiegel spreekt men van een positieve translatiegolf en bij daling van de waterspiegel spreekt men van een negatieve translatiegolf.

Figuur 17.10: translatiegolf veroorzaakt door openen van een sluisdeur [bron 6.3]

7.3.3 Aardbeving / verschuiving van een aardlaag

Door een aardbeving of door het verschuiven van een grondlaag onder of op de bodem van een wateroppervlak ontstaan er trillingen, die worden overgedragen naar het wateroppervlak. Op het wateroppervlak ontstaan golven.

7.3.4 Vallende voorwerpen in het water

Een product met een grote massa dat in het water terecht komt, zal golven creëren. Zoals bijvoorbeeld een steen die in het water gegooid wordt. De golven hebben pas echt effect als het product erg groot is. Dat is het geval bij in het water vallende ruimte meteorieten.

7.3.5 Wind

Wanneer er wind optreedt op een openwater, dan ontwikkelt de wind windgolven. De windgolven zullen in het begin uit kleine golfjes bestaan. Indien de windsnelheid voldoende is, zullen de kleine golfjes groeien. Naarmate de wind voortduurt blijven de golven groeien. Dit groeiproces wordt zeegang genoemd. Wanneer de golven uit het windveld treden door bijvoorbeeld ophouden van de wind of doordat er sommige golven van richting veranderen en zo uit het windveld treden, stopt de golvengroei. Dit proces wordt deining genoemd. Hierna wordt zeegang en deining toegelicht.

7.3.5.1 Zeegang

Het ontstaan en de ontwikkeling van een kleine golf tot een grote golf wordt zeegang genoemd.

De zeegang is afhankelijk van de volgende factoren:

- Windsnelheid
- Windduur
- Strijklengte
- Waterdiepte

Het begint bij de luchtstroming die over het water strijkt. De lucht (van de wind) is altijd turbulent. De wind brengt de turbulentie over op het water. Het turbulente karakter oefent drukfluctuaties op het water uit.

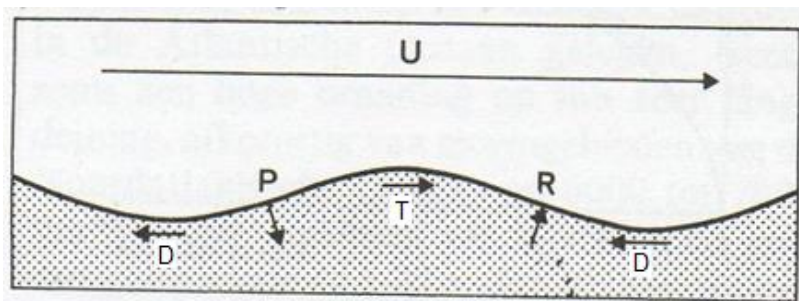
Daardoor ontstaan er kleine golfjes in de vorm van rimpels op het wateroppervlak.

De kleine golfjes bewegen met een bepaalde voortplantingssnelheid c (golfsnelheid). Wanneer de windsnelheid U groter is dan de golfsnelheid C , zullen de golfjes in grootte toenemen onder invloed van de druk- en meesleepeffecten van de wind. Dit groeiproces wordt aan de hand van figuur 26 toegelicht.

In figuur 17.11 zijn de windrichting en de waterrichting met pijltjes aangegeven. De wind komt tegen de loefzijde van de golf aan (punt P), waardoor er daar een overdruk ontstaat. Bij de rug van de golf op punt R ontstaat een onderdruk. De waterbeweging zakt op punt P en komt op punt R omhoog. Door de over- en onderdruk van de wind wordt de baanbeweging van de waterdeeltjes bevordert. De overdruk zal het zakken van de waterdeeltjes bij punt P vergroten. De onderdruk werkt als een zuigkracht en zal de waterdeeltjes bij punt R naar zich toe trekken. Door deze over- en onderdruk wordt de golf gevoed met energie en gaat daardoor groeien.

De wind oefent daarnaast een meeslepende werking op de golven uit. Dit gebeurt ten gevolge van wrijving in het scheidingsvlak tussen water en lucht.

Door dit meesleep effect wordt aan de top van de golf (punt T) de voorwaartse beweging bevordert. In de golfdalen (punt D) lopen de bewegingen tegen de wind in, maar daar wordt de beweging niet bevordert door de wind, want bij de dalen (punt D) is er minder windeffect aanwezig dan bij de toppen.



Figuur 17.11: wind over golven [bron 13.1]

Windsnelheid

De golf groeit pas als de windsnelheid groter is dan de voortplantingssnelheid van de golven, omdat de golven ten gevolge van voortplanting inwendige energie verbruiken. Om te kunnen zorgen dat de golven groeien zal de windenergie het inwendige energieverbruik van de golven moeten overtreffen.

Als de windsnelheid hoog is zullen de golven sneller gaan groeien. Een harde wind ontwikkelt hogere golven dan een wind met een lagere snelheid.

Windduur

De windduur is de duur van de wind of onder de maatgevende omstandigheid de stormduur.

De duur van de wind heeft invloed op de groei van de golven. Hoe langer de windduur, des te langer de golven gevoed worden door de wind en dus blijven toenemen in grootte.

Strijklengte

De strijklengte is de afstand die golven afleggen als gevolg van windduur en windsnelheid. De strijklengte wordt ook wel gekenmerkt als de lengte van een windbaan die over een bepaalde wateroppervlakte waait. De strijklengte begint bij de opwekking van de golven tot aan de obstakel waar de golven tegen aan komen. Het obstakel kan o.a. de kust of een eiland of een andere golfbrekende constructie zijn.

Nadat de golven ontwikkeld zijn, zullen ze door de storm gaan groeien naarmate ze verder komen. Hoe meer afstand de golven afleggen, hoe groter de golven worden.

Waterdiepte

Bij het kleiner worden van de waterdiepte zal de golf op het ondiepwater in contact komen met de bodem.

Door de wrijving met de bodem, verliest de golf energie en wordt daardoor kleiner. De golf zal pas de bodem voelen bij een waterdiepte kleiner dan een halve golflengte ($h < 1/2 L$).

7.3.5.2 Deining

Als de wind is gaan liggen of als golven uit het windveld uittreden, gaat de zeegang over tot deining. De golven worden niet meer gevoed door de wind. Daardoor zullen de golven op hun eigen energie verder bewegen.

De golven ondergaan twee geleidelijke veranderingen naarmate ze verder komen, namelijk hoogteverlies en groter worden van de golflengte. Hoe verder van de oorsprong (waar de deining is ontstaan) des te langer de golflengte en de golfperiode worden en des te rechter en platter de golfkammen worden. Op den duur zal de golf overgaan tot kleine rimpeltjes op het wateroppervlak.

7.3.5.4 Gedrag van de golven nabij een dijk

Als de waterdiepte voldoende is voor diepwatergolven, dan zullen de opgewekte windgolven diepwatergolven worden. Als de golven landinwaarts gaan richting een dijk of een kustgebied, dan treden er veranderingen aan de golven op als gevolg van afname van waterdiepte. Er zullen de volgende twee verschijnselen optreden: shoaling en refractie. Bij shoaling verandert de golf in hoogte. Bij refractie treedt er verschil in voortplantingssnelheid langs de golfkammen op, gevolg daarvan is een buiging van de golfrichting naar de kust toe.

De golven kunnen ook het volgende verschijnsel ondergaan: steiler worden tot een maximale grens, waarna ze over gaan tot breken. Hierna worden deze termen toegelicht.

7.3.5.4.1 Shoaling

Door het ondieper worden van de waterdiepte nemen de voortplantingssnelheid en de golflengte af bij gelijkblijvende golfperiode. De energie tussen twee golfkammen blijft constant. Uit de vergelijking voor de mechanische energie uit de golven blijkt: als de golflengte afneemt, dan neemt de golfhoogte toe. Hierdoor wordt de golf steiler. Dit proces heet shoaling of verondieping.

Bij golven die van diepwater naar ondiepwater naderen, zal de shoaling- verschijnsel aan de golven optreden. Daarom dient deze verschijnsel bepaald te worden en meegenomen worden in de bepaling van de golfhoogte op ondiepwater. Dit wordt gedaan door de shoalingcoëfficiënt met de golfhoogte op diepwater te vermenigvuldigen. De shoalingcoëfficiënt kan met de volgende algemene formule bepaald worden:

Op diepwater:

$$K_{sh0} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot n_1} \cdot \frac{c_o}{c_1}}$$

[bron 12.1]

Op ondiepwater:

$$K_{sh1} = \sqrt{\frac{c_o}{2\sqrt{gh}}}$$

[bron 12.1]

$$n_1 = \frac{1}{2} + \frac{k \cdot h}{\sinh(2 \cdot k \cdot h)}$$

[bron 12.1]

$$\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

[bron 12.1]

$$x = 2 \cdot k \cdot h$$

[bron 12.1]

waarin geldt:

K_{sh0}	= shoalingcoëfficiënt op diepwater [-]	Formule 17.15 [bron 12.1]
K_{sh1}	= shoalingcoëfficiënt op ondiepwater [-]	Formule 17.16 [bron 12.1]
c_o	= voortplantingssnelheid of golfsnelheid op diepwater [m/s]	
c_1	= voortplantingssnelheid of golfsnelheid op ondiepwater [m/s]	
h	= waterdiepte [m]	
g	= gravitatiekracht [m/s ²]	
n_1	= parameterfactor uit de energievermogen [-]	Formule 17.17 [bron 12.1]
k	= golftal = $2\pi/L$ [-]	Formule 17.18 [bron 12.1]
L	= golflengte [m]	
$\sinh$	= sinus hyperbolicus [-]	

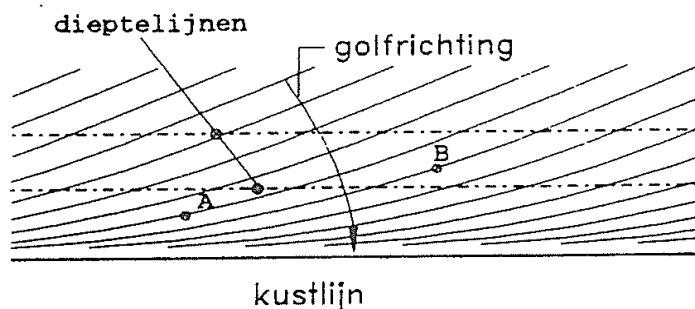
Afhankelijk van de locatie van de golven, wordt de formule voor diep- of ondiepwater gebruikt. Er dient eerst bepaald te worden op wat voor wateroppervlakte de golven zich bevinden. Als de locatie behoort tot diepwater, dan wordt de shoalingformule voor diepwater gebruikt, en bij ondiepwater de formule voor ondiepwater.

Er wordt aangeraden om de shoalingcoëfficiënt met de formule voor op diepwater te bepalen omdat dit het meest nauwkeurige resultaat geeft.

7.3.5.4.2 Refractie

Refractie is het veranderen van de voortplantingsrichting als gevolg van variaties in de voortplantingssnelheden langs golfkammen.

Wanneer golven onder een hoek op de kust invallen, zal een buiging van de golfkam optreden als gevolg van de afname van de waterdiepte.



Figuur 17.12: refractie verschijnsel [bron 8.1]

De buiging wordt veroorzaakt door verschillen in de golfsnelheid. De golfsnelheid (of voortplantingssnelheid) is op ondiep water afhankelijk van o.a. de waterdiepte. Bij een aflopende waterdiepte langs een golfkam zal de golfsnelheid bij grotere waterdiepte groter zijn dan bij kleinere waterdiepte (zie figuur 17.12). Hierin is de waterdiepte vanaf de kust tot aan punt A minder dan verderop bij punt B. Door een kleine waterdiepte vanaf de kust tot aan punt A, zal de golfsnelheid bij punt A kleiner zijn dan bij punt B. Daardoor zal de linkerkant (bij punt A) van de golfkam vertraagd worden. Doordat de waterdiepte bij punt B groter is dan bij punt A, zal de golfsnelheid bij punt B hoger zijn (dan bij punt A). Door dit verschil in snelheid draait de golfkam zich over steeds groter wordende lengte evenwijdig aan de kustlijn. De golfkammen kunnen dan loodrecht op de kust invallen. De loodrecht invallende golven zullen meer kracht uitoefenen dan de schuin invallende golven. De refractiecoëfficiënt kan bepaald worden met de volgende formule:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos(\varphi_0)}{\cos(\varphi_1)}}$$

Formule 17.19 [bron 12.1]

hierin geldt:

K_r = refractiecoëfficiënt [-]

φ_0 = hoek van golfinval op diepwater [°]

φ_1 = hoek van golfinval op ondiepwater [°]

De hoek van golfval op diepwater is gegeven door de Ministerie van Rijkswaterstaat in de hydraulische randvoorwaarden. De hoek van golfval op ondiepwater kan met de volgende verhouding bepaald worden.

$$\frac{\sin \varphi_0}{\sin \varphi_1} = \frac{c_0}{c_1} \quad \text{Formule 17.20 [bron 12.1]}$$

Hierin geldt:

- c_0 = voortplantingssnelheid of golfsnelheid op diepwater [m/s]
- c_1 = voortplantingssnelheid of golfsnelheid op ondiepwater [m/s]
- φ_0 = hoek van golfval op diepwater [°]
- φ_1 = hoek van golfval op ondiepwater [°]

7.3.5.4.3 Breken van golven

Het breken van golven wordt bepaald door de volgende twee factoren:

1. Golfsteilheid
2. Brekerindex

Golfsteilheid

Als een golf de maximale golfsteilheid heeft bereikt, dan zal het overgaan tot breken. De golfsteilheid is de verhouding van golfhoogte en golflengte. Bij een verhouding van $S = 1/7$ is de golfsteilheid maximaal, daarna zal de golf breken. Deze vorm van breken kan zowel op diepwater als op ondiep water voorkomen; het is vooral maatgevend voor golven op diepwater, want bij golven op diepwater is de lengte en hoogte van de golven van belang voor het breken; de waterdiepte is minder van belang, aangezien op diep wateroppervlakte de waterdiepte zo groot is dat golven niet in contact komen met de bodem; Daardoor heeft de bodem geen invloed op het breken van de golven.

Voor golven op ondiep water is de brekerindex methode maatgevend, omdat de waterdiepte speelt een belangrijke factor bij zowel golven op ondiep water als brekerindex. De golfsteilheid is in formule vorm als volgt:

$$S = \frac{H}{L} \quad \text{Formule 17.21 [bron 12.1]}$$

hierin geldt:

- S = golfsteilheid
- H = locale golfhoogte [m]
- L = locale golflengte [m]

Brekerindex

De brekerindex is de verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte. Het noteren van de brekerindex wordt vooral bij ondiep water toegepast, aangezien daar de waterdiepte een belangrijke rol speelt voor het breken van golven.

Het brekmoment van de golven (γ) verschilt per locatie. De brekerindex is in formulevorm als volgt:

$$\gamma = \frac{H}{h} \quad \text{Formule 17.22 [bron 12.1]}$$

Hierin geldt:

γ = brekerindex [-]

H = locale golfhoogte [m]

h = locale waterdiepte [m]

7.3.5.4.3.1 Brekertypen

De golven kunnen op ondiep wateroppervlakte of tegen een talud op verschillende manieren breken. Het type breking is afhankelijk van golfsteilheid en de helling van de constructie of de bodem waarop de golf breekt. Dit wordt uitgedrukt in de golfbrekingsparameter ξ . De formule is als volgt:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S}} \quad \text{Formule 3.7c [bron 6.5]}$$

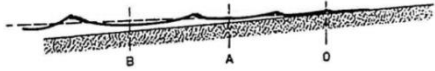
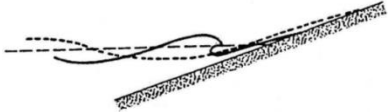
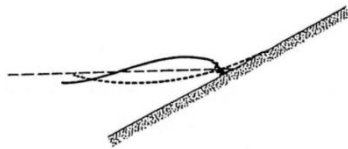
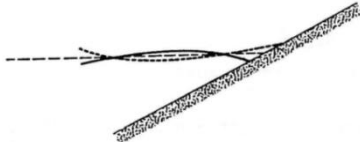
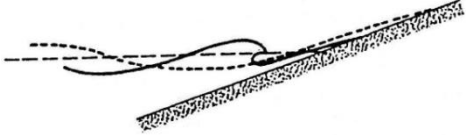
Hierin geldt:

ξ = golfbrekingsparameter [-]

α = hellingshoek [°]

S = golfsteilheid [-]

In tabel 17.22 zijn verschillende brekertypen weergegeven.

Brekingstype	Engelse term	Golfbrekingparameter waarde (ξ)	Schematische weergave
Overschuimende breker	Spilling breaker	Kleiner dan 0,5 ($\xi < 0,5$)	
Overstortende breker	Plunging breaker	Tussen 0,5 en 3,3 ($0,5 < \xi < 3,3$)	
Bijna overstortende breker	Collapsing breaker	Tussen 3,3 en 5 ($3,3 < \xi < 5$)	
Deinende breker	Surging breaker	Groter dan 5 ($\xi > 5$)	
overstortende breker	Plunging breaker	Tussen 1 en 2 ($1 < \xi < 2$)	

Tabel 17.22 Verschillende brekertypen [bron 12.2]

Taludhelling

Het zal vaak voorkomen dat een dijkta-
lud niet uit een volkomen recht talud bestaat, maar uit taluddelen met verschillende hellingen, eventueel met één of meerdere (tussen)bermen.

Voor de bepaling van de brekerparameter moet er gerekend worden met een representatieve hellingshoek. Als het buitentalud van een dijk uit één vaste helling met een vaste hoek bestaat, dan kan de hellingshoek toegepast worden voor de berekeningen. Indien de dijk uit verschillende taluddelen met verschillende hellingen bestaat, moet er een representatieve taludhelling worden gedefinieerd. Dit kan bepaald worden met één van de volgende formules:

Formule 3.17 [bron 6.5]:

Formule 3.16 [bron 6.5]:

$$\tan \alpha = \frac{1,5H_{m0} + z_{2\%}}{L_{talud} - B} \quad \text{of} \quad \tan \alpha = \frac{1,5H_{m0} + 1,5H_{m0}}{L_{talud} - B}$$

Waarin:

$\tan \alpha$ = representatieve taludhelling [°]

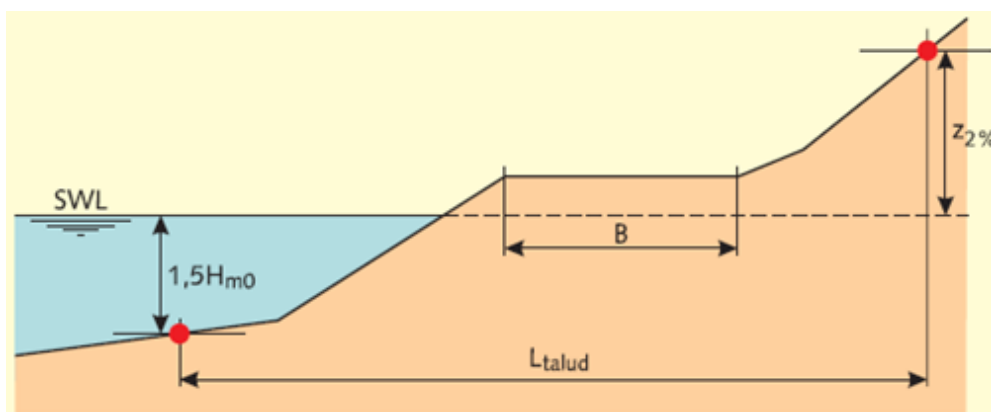
H_{m0} = spectrale golfhoogte bij de teen van de dijk [m]

$z_{2\%}$ = golfploopniveau boven de stilwaterlijn [m]

L_{talud} = lengte van het talud vanaf SWL- $1,5 \cdot H_{m0}$ tot SWL + $z_{2\%}$ [m] of de
lengte van het talud vanaf SWL- $1,5 \cdot H_{m0}$ tot SWL + $1,5 \cdot H_{m0}$ [m]

B = kruinbreedte van het bermstuk [m]

Eerst worden de bermen buiten beschouwing gelaten. Aan de hand van figuur 17.13 wordt de formule toegelicht.



Figuur 17.13: bepaling van de representatieve taludhelling [bron 6.5]

De representatieve taludhelling $\tan \alpha$ is de gemiddelde helling in de zone tussen het niveau SWL - $1,5 \cdot H_{m0}$ en SWL + $z_{2\%}$ (zie figuur 33). Indien de $z_{2\%}$ golfploop bekend is uit praktijkmetingen of doordat dit in het verleden is bepaald, kan de representatieve taludhelling bepaald worden met formule 31. Indien de $z_{2\%}$ niet bekend is, kan dat via de iteratieve methode bepaald worden. Een andere methode is het doen van een schatting, waarbij de eerste schatting op $1,5 \cdot H_{m0}$ gesteld wordt.

Het gemiddelde talud wordt dan berekend tussen de punten $1,5 \cdot H_{m0}$ onder en boven SWL (stilwaterlijn), zonder de berminvloed. Dat betekent dus dat de representatieve helling met de formule 3.16 bepaald wordt. In sommige gevallen kan het voorkomen dat een verticale, of een zeer steile wand boven op een talud is geplaatst om golfoverslag te reduceren. Het gaat hier met name om relatief kleine wanden en niet om grote verticale constructies als caissons en hoge muren op kades. De wanden moeten een wezenlijk onderdeel van het talud vormen. Om een relatie te houden tussen de brekerparameter en het type breking op het talud, moet bij de bepaling van het gemiddelde talud de steile of verticale wand geschematiseerd worden tot een talud van 1:1. Dit talud begint dan bij de voet van de verticale wand.

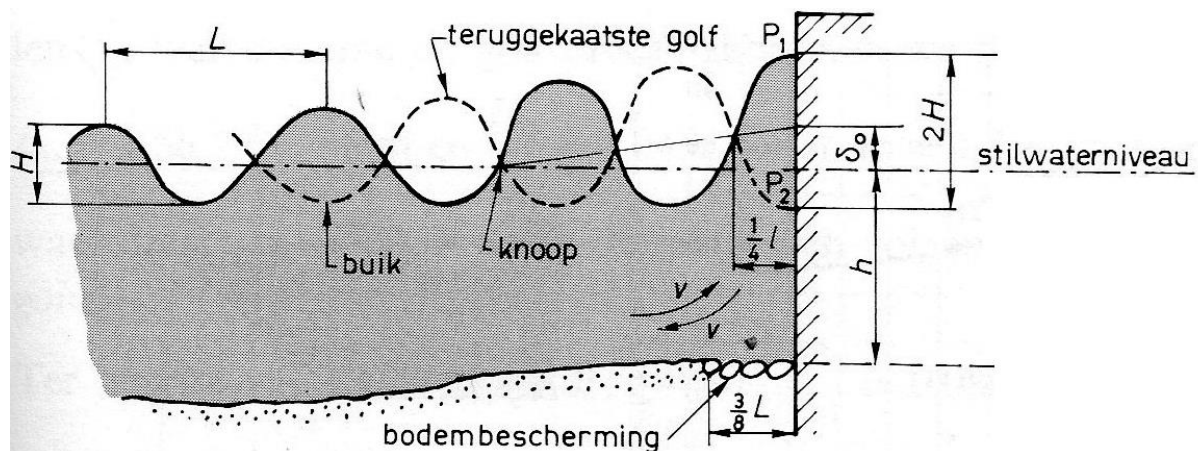
Mocht $1,5 \cdot H_{m0}$ of $z_{2\%}$ (golfploop) boven de kruin uitkomen, dan moet de kruinhoogte als kenmerkend punt worden aangehouden.

Staande golven

Als een golf tegen een verticale wand (bijvoorbeeld een kademuur of een golfbreker) komt dan kaatst de golf terug. De teruggekaatste golf versterkt de volgende golf die achter de eerste golf zat, waardoor de golfhoogte ter plaatse van de verticale wand wordt verdubbeld. Er ontstaat een staande golf.

Bij ongebroken golven is de terugkaatsing maximaal. Dit verschijnsel treedt op als de waterdiepte vóór een verticale wand groter is dan twee maal de golfhoogte ($h > 2H$).

Daarnaast treedt er verhoging van het gemiddelde waterniveau ter plaatse van de verticale wand op; dit wordt aangeduid met het symbool δ_0 . In figuur 17.14 is dat schematisch weergegeven.



Figuur 17.14 Schematische weergave van terugkaatsende golf [bron 6.3]

De verhoging van het waterniveau δ_0 ter plaatse van de wand kan bepaald worden met de volgende formule:

$$\delta_0 = \frac{\pi H^2}{L} \cdot \cot \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad \text{Formule 17.23 [bron 6.3]}$$

Waarin:

δ_0 = verhoging van de waterstand bij de muur [m]

H = golfhoogte ter plaatse van de muur [m]

H = waterdiepte ter plaatse van de muur [m]

L = golflengte ter plaatse van de muur [m]

In de formule komt $\cot \tanh h$ voor. Dit is een hyperbolische functie die kan worden bepaald aan de hand van de volgende formules voor de hyperbolische functies. De x uit de formules is in dit geval $\frac{2\pi h}{L}$ [bron 6.3].

$$\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

Formule 17.24 [bron 10.1]

$$\cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

Formule 17.25 [bron 10.1]

$$\tanh(x) = \frac{\sinh(x)}{\cosh(x)} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

Formule 17.26 [bron 10.1]

$$\coth(x) = \frac{\cosh(x)}{\sinh(x)} = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}}$$

Formule 17.27 [bron 10.1]

Schade als gevolg van staande golven

Door de terugkaatsing van de golven ontstaat er verhoging van de waterstand bij de wand. De verhoging vindt plaats gedurende een tijdsinterval van $\frac{1}{2} T$ (halve golfperiode). In figuur 34 zijn de benamingen "buiken" en "knopen" aan de golven gegeven. De buiken bewegen op en neer, waarbij ze steeds maximaal worden. De knopen maken alleen maar heen en terug bewegingen en geen op en neer bewegingen. Door de op en neer beweging van de golven zal er gedurende een tijdsinterval van $\frac{1}{2} T$ (halve golfperiode) steeds een groot volume water aan- en afgevoerd worden (zie figuur 34 aangegeven met v). Hierdoor kunnen aan de teen van de wand grote stroomsnelheden ontstaan, die tot erosieschade kunnen leiden aan de teenconstructie. Daarom is het verstandig om een bodemverdediging aan te brengen bij de teen van de wand.

Een ander probleem waar men tegen aan loopt bij verticale wanden is het optreden van golfoverslag tijdens een storm. Als er een storm optreedt, dan zullen er staande golven ontstaan bij een verticale wand. Als er een storm met hoge windsnelheid optreedt, dan zal de verdubbelde golf en eventueel de verhoogde waterstand naar het achterland gewaaid worden. Daardoor zullen er gedurende een storm grote volumes water op het achterland of het gebied direct aanliggend aan de verticale wand terecht komen. Door deze golfoverslag kan er schade aan het achterland of de bebouwing aan de achterzijde van de wand ontstaan.

Het is verstandig om maatregelen te treffen. Men zou de schade kunnen beperken door:

- Een horizontale constructieplaat loodrecht op de wand te plaatsen. Daardoor zal de staande golf tijdens het opstijgen tegen de constructie komen en afgebroken worden.
- Indien de gebruiksfunctie het toelaat de verticale wand flauwer maken. Daardoor zal de reflectie van de golf afnemen en dus de staande golf verminderd worden.
- Indien de gebruiksfunctie het toelaat de waterdiepte ter plaatse van de wand of verder van de wand af kleiner maken dan twee keer de golfhoogte ($h < 2H$). Dit kan bereikt worden door een berm aan te leggen of een ondiep voorland.
- Voordat de storm optreedt een tijdelijke golfbreker voor de wand te plaatsen.

Opwaaiing

Bij het optreden van de maatgevende omstandigheid, zal de wateroppervlakte in een gesloten waterbekken gaan kantelen om het zwaartepunt als gevolg van de hoge snelheid en lange duur van de wind. De hoeveelheid wateroppervlakte is aan beide zijden van het zwaartepunt aan elkaar gelijk. Er ontstaat een verhang onder een hoek waarbij de waterstand bij de dijk hoger wordt.

Indien de duur van de wind voldoende is kan er een evenwichtstoestand ontstaan. Daardoor zal de opwaaiinghoogte bij de dijk voor een lange tijd blijven. De opwaaiinghoogte is een belangrijke factor bij het ontwerpen en toetsen van dijken. Daarom dient deze factor meegenomen te worden in de bepaling van de minimale waakhoogte bij de bepaling van de aanleghoogte van een dijk.

De opwaaiinghoogte kan met de volgende formule worden bepaald:

$$S = \frac{C \cdot v^2 \cdot \cos \varphi \cdot F}{h}$$

Formule 13.1 [bron 6.3]

Waarin geldt:

- S = stuwing [m]
- F = strijklengte [m]
- v = windsnelheid [m/s]
- h = (gemiddelde) waterdiepte [m]
- φ = hoek van golfval [graden]
- C = empirisch bepaalde factor:
 - voor grote wateroppervlakten geldt: $0,4 \cdot 10^{-6} \text{ [s}^2/\text{m]}$
 - voor kanalen geldt $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ [s}^2/\text{m]}$

Uit de formule volgt, dat bij wateroppervlakten met een grote waterdiepte, de opstuwing klein zal zijn.

Golfenergie

Een golf bezit kinetische en potentiële energie. De potentiële energie zit in de uitwijking van het wateroppervlak en de kinetische energie in de orbitaalbeweging van de waterdeeltjes. De golfenergie kan met de volgende formule bepaald worden:

$$E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H^2$$

Formule 17.28 [bron 6.3]

Hierin is:

E = Gemiddelde energie van de golfbeweging per eenheid van oppervlakte [Nm/m²]

ρ = Dichtheid van water [kg/m³] zoetwater: 1000 kg/m³
en voor zoutwater is het 1025 kg/m³

g = Gravitatiekracht [m/s²]

H = Golfhoogte [m]

Bijlage 8 Bepalingsmethoden van golfhoogte en golfperiode

8.1 Inleiding

Zoals eerder vermeld wekt wind golven op. Afhankelijk van de windsnelheid, windduur, strijklengte en de waterdiepte zullen de golven groeien tot diepwatergolven. Als de golven landinwaarts gaan, richting een dijk, dan kunnen ze onderweg veranderingen ondergaan als gevolg van veranderingen in waterdiepte en eventueel obstakels in de weg. De golven die uiteindelijk bij de teen van de dijk aankomen zijn meestal anders dan de opgewekte golf.

Voor de bepaling van golfoploop en golfoverslag moet er gerekend worden met de invallende significante golfhoogte en golfperiode bij de teen van de dijk. Daarnaast zijn significante golfhoogte en golfperiode nodig voor het toetsen en ontwerpen van waterkeringen en bekledingen voor een waterkering. In dit hoofdstuk wordt toelichting gegeven op de wijze van bepaling van de significante golfhoogte en golfperiode op zowel diepwater als ondiepwater (en dus ook bij de teen van de dijk).

8.2 Methoden ter bepaling van golfhoogte en golfperiode

In de praktijk bestaat een golfbeeld uit verschillende golven, zoals hoge, lage, korte en lange golven, enzovoort. Daardoor wordt het lastig om de juiste golfhoogte en golfperiode te kiezen om mee te rekenen. Daarom zijn er methoden ontwikkeld waarmee men de maatgevende of significante (dominerende) golfhoogte en golfperiode kan bepalen. De methoden zijn als volgt:

- Metingen
- Grafieken
- Formules

8.2.1 Metingen

Bij grote wateroppervlakten zoals zeeën, meren, plassen, enzovoort, zijn meestal meetstations opgesteld die de optredende golven meten. De locatie van de meetstations is bepalend. Men kan een meetstation bijvoorbeeld op diepwater of op ondiepwater plaatsen. Uit de geregistreerde golfhoogtes wordt de significante golfhoogte bepaald volgens de $H_{1/3}$ methode. Dat is het gemiddelde van het hoogste éénderde deel van de golven. De methode werkt als volgt: Er wordt een meting gedaan gedurende een bepaalde periode. In die periode worden een x aantal golven met verschillende hoogtes geregistreerd. Van deze golven worden vervolgens de 33% geselecteerd die de grootste golfhoogte hebben. Daarna wordt de gemiddelde golfhoogte uit die 33% golfstukken bepaald. Ter verduidelijking wordt er een voorbeeld gegeven.

Voorbeeld: Een meetstation heeft gedurende een periode 12 golven met verschillende golfhoogtes gemeten. Er wordt verondersteld dat de 12 golven achtereenvolgens de volgende golfhoogtes hebben:

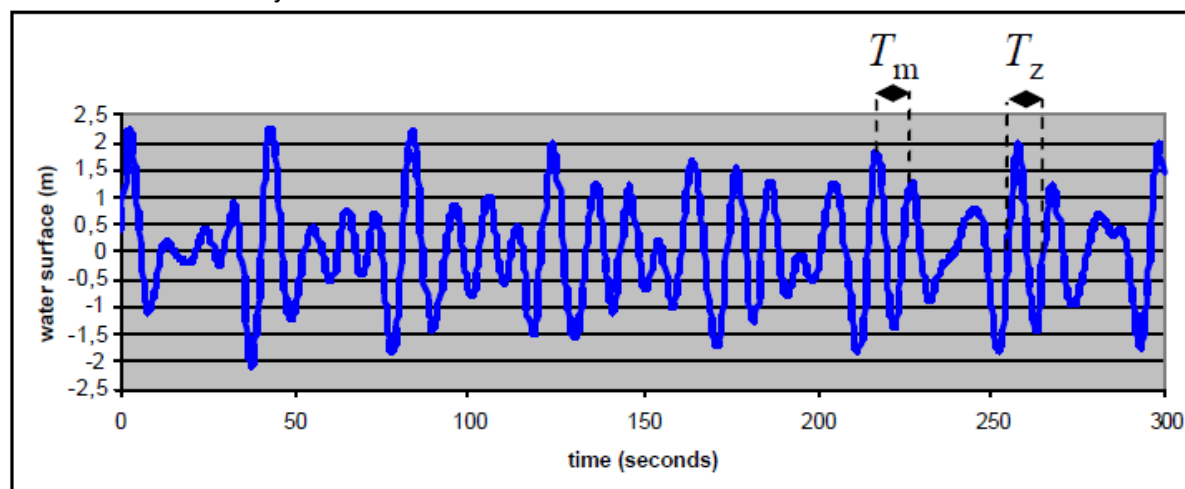
Golfnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Golfhoogte (m)	2,00	2,00	0,70	0,50	0,40	0,50	0,00	2,20	1,60	1,50	0,50	0,80

1/3 van 12 golven is 4 golven. De vier hoogste golven zijn de golven met de volgende golfnummers: 1, 2, 8 en 9.

Het gemiddelde hiervan is:

$$H_{1/3} = \frac{(2,00 + 2,00 + 2,20 + 1,60)}{4} = 1,95 \text{ m}$$

Voor de golfperiode tijd kan men het gemiddelde over de meetperiode nemen van twee opvolgende maxima (H_m) of van twee opvolgende opgaande nuldoorgangen (H_z). In onderstaande figuur 18.1 is dat schematisch verduidelijkt.

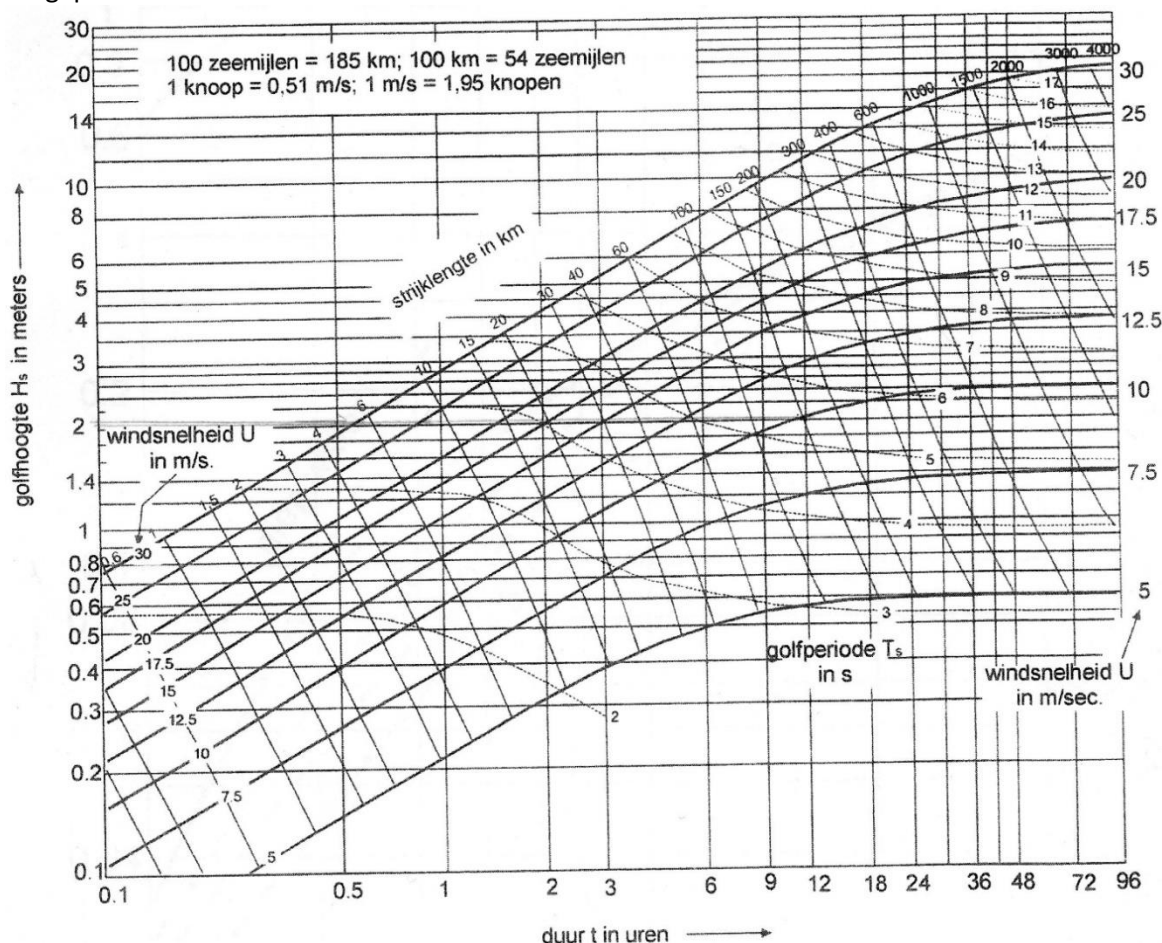


Figuur 18.1 Golfperiode meting [bron 12.3]

8.2.2 Grafiekmethode

Een ander methode om de significante golfhoogte en -periode te bepalen is met behulp van grafieken en tabellen. Grafieken worden gebruikt om op een snelle wijze de benodigde gegevens af te kunnen lezen. Grafieken en tabellen zijn meestal proefondervindelijk verkregen. Er zijn grafieken en tabellen opgesteld voor een bepaald gebied of een bepaald waterkering (zoals een dijk). Daarnaast zijn er grafieken en tabellen vastgelegd voor standaard gevallen zoals bijvoorbeeld een dijk met een taludhelling van 1:3, gladde oppervlaktebeking, enzovoort.

Hierna volgt een toelichting op het gebruik van een aantal grafieken waarmee de significante golfhoogte en -periode bepaald kan worden. Dit zijn standaard grafieken, die voor de meeste soorten wateroppervlakten toegepast kunnen worden.



Figuur 18.2 Diagram van diepwatervolven [bron 6.3 en 12.1]

Figuur 18.2 is een diagram waar verschillende kenmerken van windgolven met elkaar in verband worden gebracht. In dit diagram staan de volgende windgolf kenmerken: strijklengte (F), windsnelheid (u), significante golfhoogte (H_s), golfperiode (T), en windduur (t).

Met dit diagram kunnen de volgende gegevens bepaald worden: de golfhoogte, golfperiode en de benodigde tijdsduur voor het creëren van de golfhoogte. Als deze gegevens bekend zijn, dan kunnen met behulp van formules de overige hydraulische gegevens bepaald worden; zoals o.a. de voortplantingssnelheid. Dit diagram is kenmerkend voor diepwatervolven. Daarmee kan dus de significante golfhoogte, golfperiode en de tijdsduur

op diepwater worden bepaald. Er moet altijd gecontroleerd worden of de gevonden golfhoogte voldoet aan de eis voor diepwatervolven. Dit kan gecontroleerd worden door middel van de volgende formule: $h > \frac{1}{2} \cdot L_0$.

Indien aan deze verhouding voldaan wordt, wordt de golfhoogte gerekend tot diepwatervolven. Indien het niet voldoet dan is het een ondiepwatervolven.

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Formule 3.6 [bron 6.3]

Hierin geldt:

T = golfperiode [s]

g = zwaartekracht [m/s²]

L₀ = golflengte op diepwater [m]

h = (gemiddelde) waterdiepte [m]

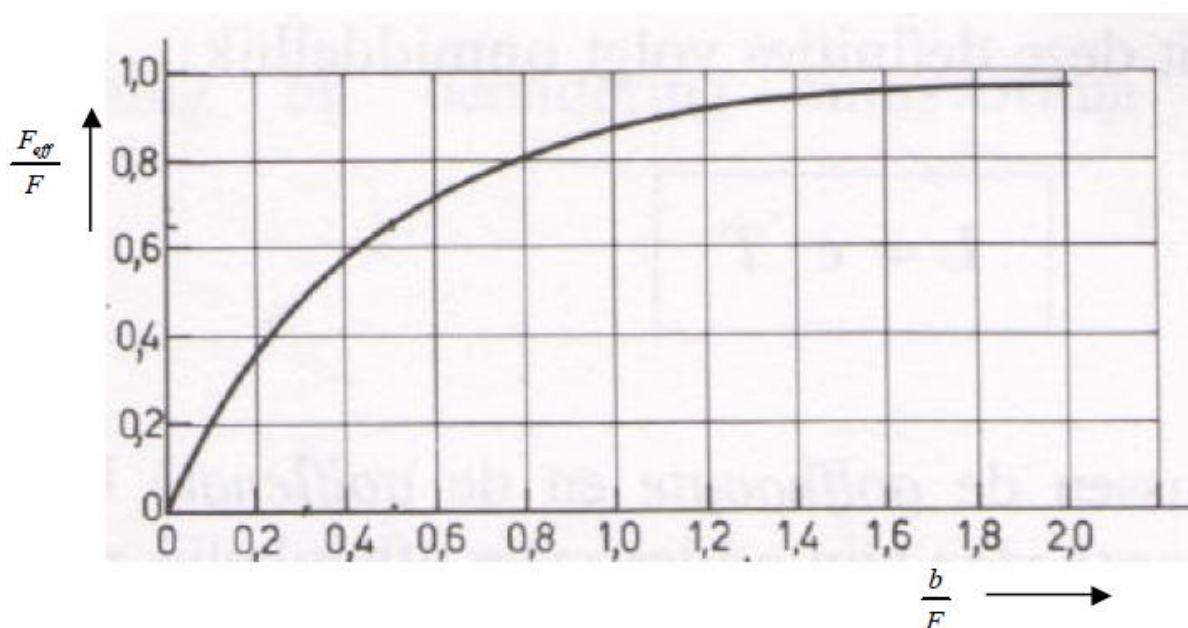
8.2.2.1 Gebruikswijze

Als de golfsituatie vooraf niet bekend is, dus of het nu diepwater- of ondiepwatervolven zijn, dan moet er verondersteld worden dat het diepwatervolven zijn. Voor diepwatervolven wordt er gebruik gemaakt van het diagram in figuur 18.2. Achteraf kan gecontroleerd worden of het daadwerkelijk diepwatervolven zijn. Vooraf moeten de volgende gegevens bekend zijn.

- Windsnelheid (u) [m/s]
- Strijklengte (F) [km] of de stormduur [uren]
- Breedte (b) van het waterbekken of het windveld waarover de strijklengte geldt [km]
- Gemiddelde waterdiepte (h of d) [m]

Is de strijklengte niet bekend, maar de stormduur wel, dan kan de stormduur gebruikt worden in het diagram. Indien zowel de stormduur als de strijklengte bekend zijn, dient met beide gegevens de golfhoogte en golfperiode bepaald te worden. De hoogste waarde is dan de maatgevende.

Indien de strijklengte bekend is, moet er eerst gecontroleerd worden of de breedte van het windveld (of het waterbekken) minder is dan twee maal de strijklengte ($b < 2 \cdot F$). Als dat niet zo is, dus $b > 2 \cdot F$ dan kan in diagram 18.2 de werkelijke strijklengte gebruikt worden. Als de verhouding wel klopt, dus $b < 2 \cdot F$, dan mag de werkelijke strijklengte niet gebruikt worden. De werkelijke strijklengte moet dan gecorrigeerd worden naar effectieve strijklengte. De effectieve strijklengte gebruikt men dan voor diagram 18.2. De effectieve strijklengte wordt met grafiek 18.3 bepaald.



Grafiek 18.3: bepaling effectieve strijklengte [bron 12.1]

Eerste moet de verhouding tussen de breedte van het windveld (of het waterbekken) en de werkelijke strijklengte bepaald worden (b/F). De uitkomst wordt uitgezet op de horizontale as. Vanuit dat punt wordt een verticale lijn naar boven getrokken tot dat het de kromme lijn kruist. Vanaf de kruising wordt er een horizontale lijn naar links getrokken. Op de verticale as wordt de waarde voor F_{eff}/F afgelezen. F_{eff} is de effectieve strijklengte (het Engelse woord voor strijklengte is fetch). De werkelijke strijklengte F en de verhouding F_{eff}/F zijn bekend. Daardoor kan de effectieve strijklengte (F_{eff}) bepaald worden. De effectieve strijklengte wordt vervolgens op diagram 18.2 uitgezet.

De bekende windsnelheid wordt ook in diagram 18.2 uitgezet. Vervolgens worden lijnen getrokken, totdat de lijnen van de strijklengte en de windsnelheid elkaar kruisen. Vanuit de kruising wordt een horizontale lijn naar links getrokken tot aan de verticale as. Op de verticale as wordt de significante golfhoogte (H_s) afgelezen. Vanuit de kruising wordt ook een verticale lijn naar beneden getrokken tot aan de horizontale as. Op de horizontale as wordt de tijdsduur afgelezen voor het verkrijgen van de significante golfhoogte. De golfperiode wordt op het punt van de kruising afgelezen.

Vervolgens wordt de golfengte op diepwater bepaald met de volgende formule.

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Formule 3.6 [bron 6.3]

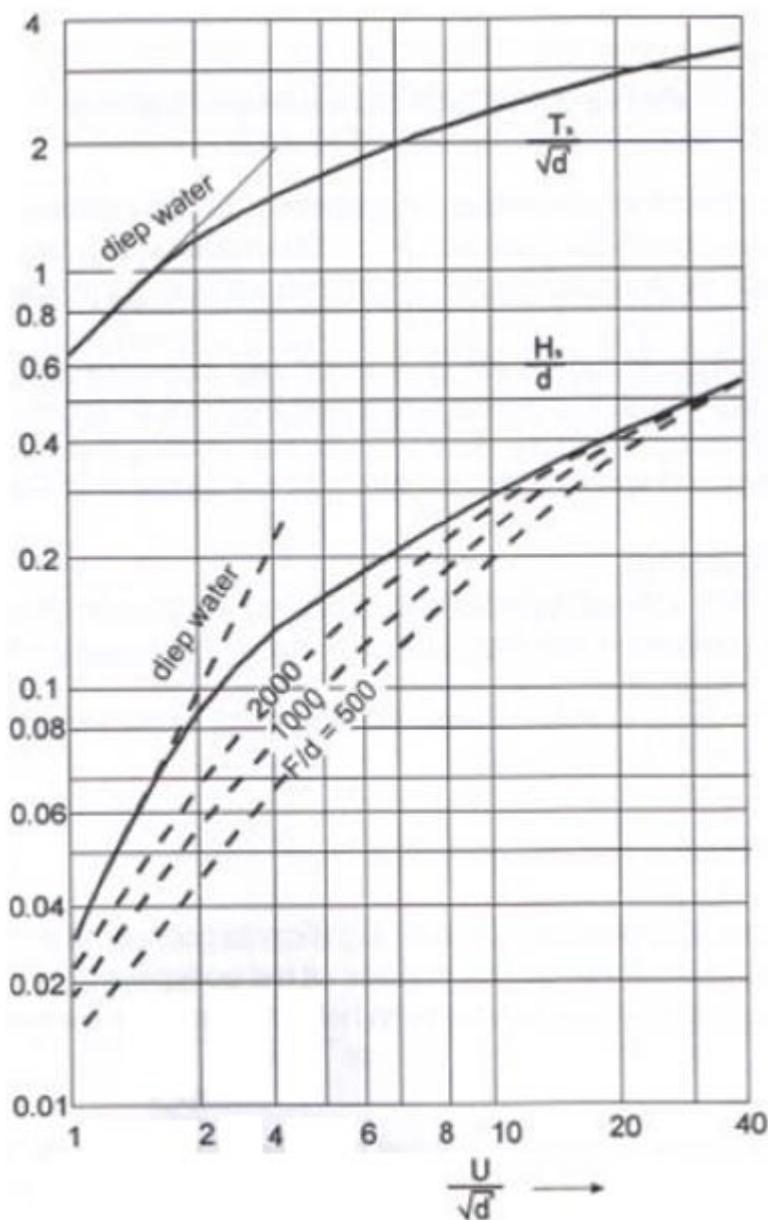
Hierin is:

L_0 = golfengte op diepwater [m]

g = zwaartekracht [m/s^2]

T = golfperiode [s]

Daarna wordt gecontroleerd of de gevonden golfhoogte voor een diepwatergolf geldt. Dit wordt gedaan met de volgende vergelijking: $h > \frac{1}{2} \cdot L_0$ (h is de gemiddelde waterdiepte in meters). Indien de verhouding aan de vergelijking voldoet, gelden de gevonden golfhoogte en golfperiode voor een diepwatergolf. Wordt niet aan de vergelijking voldaan, dan gelden de gevonden waarden voor een ondiepwatergolf. In dat geval moet de significante golfhoogte en golfperiode voor een ondiepwatergolf bepaald worden. Dit kan met grafiek 18.4. Grafiek 38 geldt voor ondiepwatergolven en voor het overgangsgebied (tussen diep- en ondiepwater). Indien een situatie gekenmerkt wordt als ondiepwater (golven), dan kan de significante golfhoogte en -periode op ondiepwater met grafiek 38 bepaald worden.



Grafiek 18.4 ter bepaling van golfhoogte en -periode op ondiepwater [bron 12.1]

Als eerste wordt de verhouding tussen de windsnelheid (u) en de (gemiddelde) waterdiepte (d) bepaald met behulp van de volgende formule: $U / \sqrt{d}$. De waarde wordt op de horizontale as uitgezet. Daarna wordt de verhouding tussen de strijklengte en de waterdiepte bepaald met de formule F/d . In deze formule worden de waarden in meters ingevuld. Is daarvoor de effectieve strijklengte (F_{eff}) gebruikt in diagram 18.2, dan moet hier ook de effectieve strijklengte gebruikt worden (i.p.v. de werkelijke strijklengte). De waarde die uit de formule F/d komt, wordt in grafiek 18.4 op of tussen de kromme lijnen gezocht tussen de waarden 500 en 2000 meter. Indien de uitkomst van F/d groter is dan 2000 meter, moet de getrokken (kromme) lijn gebruikt worden. Vervolgens wordt er een verticale lijn vanuit het uitgezette punt op de horizontale as naar boven getrokken. Op de kruising met de juiste kromme lijn voor de waarde F/d wordt een horizontale lijn naar links getrokken. Op de verticale as wordt dan de waarde voor H_s/d afgelezen. De waterdiepte d is bekend, waardoor de H_s uit de verhouding bepaald kan worden. H_s is de significante golfhoogte die geldt voor een ondiepwatgolf. Op dezelfde wijze wordt ook de significante golfperiode op ondiepwater bepaald. Dit gebeurt door de uitgezette lijn die vanuit de horizontale as bij de waarde van $U / \sqrt{d}$ doorgetrokken was tot aan de kromme (gestippelde) lijnen, verder getrokken wordt naar de kromme lijn die geldt voor $T_s / \sqrt{d}$. Op het kruispunt wordt een horizontale lijn naar de verticale as getrokken. De gevonden waarde geldt voor $T_s / \sqrt{d}$. De (gemiddelde) waterdiepte is bekend, waardoor T_s bepaald kan worden. Dat is dan de significante golfperiode voor ondiepwatgolven. Vervolgens kan de golflengte op ondiepwater bepaald worden. Dit gebeurt aan de hand van een tabel. De tabel is aan het eind van dit bijlage geplaatst. Hieronder wordt een stuk uit deze tabel getoond.

b/L_0	h/L	kh	$\tanh kh$	$\sinh kh$	$\cosh kh$	K_s	n
0	0	0	0	0	1	∞	1
.005	.02836	.1782	.1764	.1791	1.0159	1.692	.9896
.010	.04032	.2533	.2480	.2560	1.0322	1.435	.9792
.015	.04964	.3119	.3022	.3170	1.0490	1.307	.9690
.020	.05763	.3621	.3470	.3701	1.0663	1.226	.9588
.025	.06478	.4070	.3860	.4184	1.0840	1.168	.9488
.030	.07135	.4483	.4205	.4634	1.1021	1.125	.9388
.035	.07748	.4868	.4517	.5064	1.1209	1.092	.9289
.040	.08329	.5233	.4802	.5475	1.1401	1.064	.9192
.045	.08883	.5581	.5066	.5876	1.1599	1.042	.9095

Tabel 39 ter bepaling van hydraulische gegevens [bron 12.1]

Eerst wordt de verhouding tussen de (gemiddelde) waterdiepte en de golflengte op diepwater bepaald met de volgende formule: h/L_0 . De uitkomst wordt in tabel 39 gezocht onder h/L_0 . Naast de kolom voor h/L_0 staat de kolom voor h/L . Als de waarde voor h/L_0 gevonden is in de lijst, dan wordt de bijbehorende h/L waarde gevonden. L is de golflengte op ondiepwater. De (gemiddelde) waterdiepte (h) is bekend, waardoor L uit de verhouding bepaald kan worden.

Het kan voorkomen dat de waarde van h/L_0 niet in de lijst voorkomt, in dat geval moet het geïnterpoleerd worden. De interpolatie methode wordt verderop in dit hoofdstuk toegelicht.



8.2.3 Formules

Een andere methode om de golfhoogte en -periode te bepalen is met behulp van formules. In dit paragraaf wordt stapsgewijs toegelicht hoe de significante golfhoogte aan de teen van de dijk bepaald kan worden met behulp van formules en een tabel. Daarin komen de optredende veranderingen zoals shoaling en refractie aan de orde.

Zoals eerder toegelicht zal een opgewekte windgolf op een wateroppervlak vaak een diepwatergolf worden. De golf zal zich landinwaarts voortbewegen met een bepaalde voortplantingssnelheid. Als de golf het ondiepe wateroppervlak nabij de kust nadert, dan zal de golf veranderingen ondergaan zoals shoaling en refractie. Uiteindelijk komt de golf aan bij de teen van de dijk (of op de kust). De golf zal wel verandert zijn ten opzichte van de opgewekte golf.

De stappen zijn als volgt:

1. Bepaling van de significante golfhoogte en golfperiode op diepwater.
2. Bepaling van de golflengte op diepwater.
3. Bepaling van de golflengte op ondiepwater.
4. Bepaling van de shoalingcoëfficiënt en refractiecoëfficiënt.
5. Bepaling van de significante golfhoogte op ondiepwater.

Stap 1: bepaling van de significante golfhoogte en golfperiode op diepwater.

Vooraf moeten de volgende waarden bekend zijn:

H_0 = significante golfhoogte op diepwater [m]

T_0 = golfperiode op diepwater [s]

φ_0 = hoek van golfinval op diepwater [°]

h_0 = waterdiepte op diepwater

h_1 = waterdiepte op ondiepwater of op een bepaalde diepte bijvoorbeeld aan de teen van de dijk.

Meestal worden deze gegevens gegeven. Indien ze niet bekend zijn, dan kan dit bepaald worden. Indien ze niet bekend zijn, kan dit bepaald worden aan de hand van de volgende methoden.

Hoek van golfinval

De hoek van golfinval (φ_0) is de hoek waaronder de golven op de dijk invallen ten opzichte van de loodlijn op de dijk.

De hoek van golfinval is gelijk aan de windrichting. De maatgevende windrichting en windsnelheid kunnen bepaald worden aan de hand van windrozen en windsnelheidtabellen en grafieken die beschikbaar zijn gesteld door het KNMI.

Waterdiepte

De waterdieptes voor plassen en meren zijn bij de meeste waterschappen, vaarbeheerders en baggeraars bekend. Ze zijn in het verleden bepaald en worden geregeld opnieuw opgemeten.

De waterdiepte voor een bepaald meer of plas kan opgevraagd worden bij het regionale waterschap dat het meer of de plas beheert.

Bepaling van golfhoogte en golfperiode

Er zijn een aantal formules ontwikkeld voor het bepalen van de golfhoogte en –periode.

Elke formule is ontwikkeld voor een bepaalde conditie (van het wateroppervlak). Voor op de Loosdrechtsche plassen zijn de formules van de volgende wetenschappers het meest geschikt:

1. Kahma en Calkoen
2. Brettschneider

1: De formules van Kahma en Calkoen zijn ontwikkeld voor o.a. wateroppervlakten met zoet water. De leidraad Monitoring – golfcondities zoete Rijkswateren adviseert deze formules te gebruiken voor zoete wateroppervlakten.

Aangezien de Loosdrechtsche plassen zoetwater plassen zijn, zijn deze formules een mogelijke optie.

2: De formules van Brettschneider zijn bedoeld voor alle soorten wateroppervlakten. Deze worden gebruikt door o.a. de modelleerprogramma's CRESS en Hydra model. Met deze computerprogramma's kunnen verschillende waterbouwkundige aspecten (waaronder golfhoogte en –periode) bepaald worden.

De formules van Kahma en Calkoen zijn als volgt:

$$H_s = 4\sqrt{5,2 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{U_{10}^2}{g} \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,47} \quad \text{Formule 3.1 [bron 6.1]}$$

$$T_s = \frac{2\pi}{13,7} \cdot \frac{U_{10}}{g} \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,27} \quad \text{Formule 3.2 [bron 6.1]}$$

De formules van Brettschneider zijn als volgt:

$$H_s = \frac{0,283 \cdot U_{10}^2 \cdot \tanh \left(0,530 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_{10}^2} \right)^{0,75} \right) \cdot \tanh \left(\frac{0,0125 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_{10}^2} \right)^{0,42}}{\tanh \left(0,530 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_{10}^2} \right)^{0,75} \right)} \right)}{g} \quad \text{Formule 3.3 [bron 6.2]}$$

$$T_s = \frac{2,4 \cdot \pi \cdot U_{10} \cdot \tanh \left(0,833 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_{10}^2} \right)^{0,375} \right) \cdot \tanh \left(\frac{0,077 \cdot \left(\frac{g \cdot F}{U_{10}^2} \right)^{0,25}}{\tanh \left(0,833 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_{10}^2} \right)^{0,375} \right)} \right)}{g} \quad \text{Formule 3.4 [bron 6.2]}$$

Hierin geldt:

H_s = significante golfhoogte [m]

T_s = significante golfperiode [s]

U_{10} = windsnelheid (uurgemiddelde) op 10 meter hoogte t.o.v. maaiveld [m/s]

F = strijklengte [m]

d = waterdiepte [m]

g = gravitatiekracht [m/s²]

Stap 2: Bepaling van de golflengte op diepwater. Dit wordt gedaan met de volgende formule.

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad \text{Formule 3.6 [bron 6.3]}$$

Hierin is:

L_0 = golflengte op diepwater [m]

g = zwaartekracht [m/s²]

T = golfperiode [s]

Nadat de golflengte op diepwater bekend is, wordt de situatie gecontroleerd met de volgende formules:

Voor diepwater geldt: $h > \frac{1}{2} \cdot L_0$ [bron 6.3]

Indien aan deze verhouding voldaan wordt, wordt de wateroppervlakte gerekend tot diepwateroppervlakte.

Indien hier niet aan voldaan wordt is er sprake van een ondiepwateroppervlakte.

Als blijkt dat het een diepwatergolf is, dan is de volgende stap:

Stap 3: Bepalen van de golflengte op ondiepwater. Dit wordt bepaald aan de hand van een tabel. De tabel is in bijlage terug te vinden. Hieronder is een stuk uit de tabel afgebeeld.

h/L_0	h/L	kh	$\tanh kh$	$\sinh kh$	$\cosh kh$	K_s	n
0	0	0	0	0	1	∞	1
.005	.02836	.1782	.1764	.1791	1.0159	1.692	.9896
.010	.04032	.2533	.2480	.2560	1.0322	1.435	.9792
.015	.04964	.3119	.3022	.3170	1.0490	1.307	.9690
.020	.05763	.3621	.3470	.3701	1.0663	1.226	.9588
.025	.06478	.4070	.3860	.4184	1.0840	1.168	.9488
.030	.07135	.4483	.4205	.4634	1.1021	1.125	.9388
.035	.07748	.4868	.4517	.5064	1.1209	1.092	.9289
.040	.08329	.5233	.4802	.5475	1.1401	1.064	.9192
.045	.08883	.5581	.5066	.5876	1.1599	1.042	.9095

Tabel 39 ter bepaling van hydraulische gegevens [bron 12.1]

Als eerst wordt de verhouding tussen (gemiddelde) waterdiepte op ondiepwater en de golflengte op diepwater bepaald met de volgende verhouding: h/L_0 . De uitkomst wordt in de tabel gezocht tussen de waarden in de kolom h/L_0 . Als de waarde gevonden is, dan wordt de bijbehorende waarde voor h/L in de kolom ernaast genoteerd. L is de golflengte op ondiepwater. De (gemiddelde) waterdiepte (h) is bekend, waardoor de L uit de verhouding bepaald kan worden.

Het kan voorkomen dat de uitkomst van h/L_0 niet voorkomt tussen de waarden in de kolom h/L_0 ; in dat geval moet het geïnterpoleerd worden tussen de twee beschikbare waarden waar de uitkomst tussen ligt. De interpolatie wordt uitgevoerd met een formule. De formule wordt hierna aan de hand van een voorbeeld toegelicht.

Bij $h = 10,62$ m en $L_0 = 319,27$ m geldt: $\frac{h}{L_0} = \frac{10,62}{319,27} = 0,033$

De waarde komt niet voor in de tabel in de kolom h/L_0 . Wel komen de volgende waarden voor waar de uitkomst tussenin ligt.

$$h/L_0 = 0,030 \rightarrow h/L = 0,07135$$

$$h/L_0 = 0,035 \rightarrow h/L = 0,07748$$

met de interpolatie formule wordt de uitkomst van h/L gevonden.

$$h/L = 0,07135 + \frac{(0,033 - 0,030)}{(0,035 - 0,030)} \cdot (0,07748 - 0,07135) = 0,07535$$

Vervolgens kan de golflengte op ondiepwater bepaald worden; als volgt:

$$\frac{h}{L} = 0,07535 \rightarrow L = \frac{10,62}{0,07535} = 140,9m$$

Stap 4: Bepaling van de shoalingcoëfficiënt (K_{sh}) en de refractiecoëfficiënt (K_r).

Om dit te bepalen moet eerst de voortplantingssnelheid op diepwater (C_0) en ter plaatse van de te bepalen locatie (bijvoorbeeld ter plaatse van de teen van de dijk), bepaald worden. De voortplantingssnelheid ter plaatse van de te bepalen locatie is meestal op ondiepwater en wordt aangeduid met C_1 of met C gevold door de diepte ter plaatse van de te bepalen locatie. Dus bijvoorbeeld C_{20} .

De benodigde voortplantingssnelheden worden bepaald met de volgende formules:

$$\text{Algemene formule: } C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad \text{Formule 17.11 [bron 6.3]}$$

$$\text{Voor diepwater: } C_0 = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \quad \text{Formule 17.12 [bron 6.3]}$$

Hierin geldt:

g = gravitatiekracht [m/s^2]
 T = golfperiode [s]
 L = golflengte op ondiepwater
 $\tanh$ = hyperbolische tangens

De $\tanh$ kan ook met de tabel bepaald worden. Daarin wordt er gekeken naar de kolom voor $\tanh \cdot kh$. De kh waarde wordt met de volgende formule bepaald:

$$kh = \frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot h \quad (h \text{ is de bekende waterdiepte}) \quad [12.1]$$

Vervolgens wordt in de tabel in de kolom voor kh naar uitkomst kh gezocht. Daarbij wordt de bijbehorende waarde voor $\tanh \cdot kh$ in de kolom daarnaast gevonden. Indien de berekende kh waarde niet in de tabel voorkomt, moet het geïnterpoleerd worden. De interpolatie gebeurt op dezelfde wijze als hiervoor beschreven in stap 3.

Als de voortplantingssnelheden c_0 en c_1 bekend zijn, wordt er de invalshoek van de golven op ondiepwater bepaald. Dit gebeurt aan de hand van de volgende verhouding:

$$\frac{c_0}{c_1} = \frac{\sin(\varphi_0)}{\sin(\varphi_b)} \quad \text{Formule 17.20 [bron 12.1]}$$

Waarin geldt:

φ_0 = hoek van golfinval op diepwater [°]
 φ_1 = hoek van golfinval op ondiepwater [°]

c_0, c_1 zijn bepaald en φ_0 is bekend; dat is namelijk gelijk aan de windrichting. Door al deze bekende waarden in de formule in te voeren, kan de waarde op de hoek van golfval op ondiepwater bepaald worden. Daarna kan de refractiecoëfficiënt bepaald worden door de volgende formule:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos(\varphi_0)}{\cos(\varphi_b)}} \quad \text{Formule 17.19 [bron 12.1]}$$

Als men wil rekenen met de hoogste krachten van de golven, dan zal men aan moeten nemen dat de golven loodrecht op de dijk komen, want dan zullen de golven maximale kracht leveren, dan wanneer ze schuin invallen. De invalshoek van de golven is in dat geval zowel op diep- als ondiepwater 0 graden.

Daarna wordt de shoalingcoëfficiënt bepaald. Dit kan aan de hand van de tabel, door in de kolom van K_s te zoeken naar een waarde die hoort bij de uitkomst van kh of op $\tanh \cdot kh$ of h/L_0 . Indien de uitkomst niet in de tabel voorkomt, kan er weer door de interpolatie formule de uitkomst bepaald worden. De shoalingcoëfficiënt kan ook met formules bepaald worden. Daarvoor kan gebruik worden gemaakt van één van de volgende formules:

Op diepwater:

op ondiepwater:

$$K_{sh0} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot n_1} \cdot \frac{c_0}{c_1}} \quad K_{sh1} = \sqrt{\frac{c_0}{2 \sqrt{gh}}} \quad n_1 = \frac{1}{2} + \frac{k \cdot h}{\sinh(2 \cdot k \cdot h)}$$

waarin geldt:

K_{sh0}	= shoalingcoëfficiënt op diepwater [-]	Formule 17.15 [bron 12.1]
K_{sh1}	= shoalingcoëfficiënt op ondiepwater [-]	Formule 17.16 [bron 12.1]
c_0	= voortplantingssnelheid of golfsnelheid op diepwater [m/s]	
c_1	= voortplantingssnelheid of golfsnelheid op ondiepwater [m/s]	
h	= waterdiepte [m]	
g	= gravitatiekracht [m/s ²]	
n_1	= parameterfactor uit de energievermogen [-]	Formule 17.17 [bron 12.1]
k	= golftal = $2\pi/L$ [-]	Formule 17.18 [bron 12.1]
L	= golflengte [m]	
$\sinh$	= sinus hyperbolicus [-]	

Afhankelijk van de dieptesituatie wordt één van de formules toegepast.

De n_1 factor kan uit de tabel afgelezen worden of via de interpolatie formule bepaald worden. De n_1 waarde kan ook met behulp van de volgende formule bepaald worden.

$$n_1 = \frac{1}{2} + \frac{k \cdot h}{\sinh(2 \cdot k \cdot h)} \quad \text{Formule 17.17 [bron 12.1]}$$

$\sinh$ kan bepaald worden met de volgende formule: $\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$ Formule 17.24 [bron 10.1]

De x uit de formule is gelijk aan $2 \cdot kh$.



Stap 5: Bepaling van de golfhoogte op ondiepwater of ter plaatse van de te bepalen locatie (bijvoorbeeld bij de teen van de waterkering).

Nadat al deze waarden bekend zijn, kan de golfhoogte H_1 ter plaatse van de te bepalen locatie (bijvoorbeeld aan de teen van de dijk) bepaald worden met de volgende formule:

$$H_1 = H_0 \cdot K_{sh} \cdot K_r \quad \text{Formule 18.1 [bron 10.1]}$$

Waarin geldt:

H_0 = golfhoogte op diepwater [-]

K_{sh} = shoalingcoëfficiënt [-]

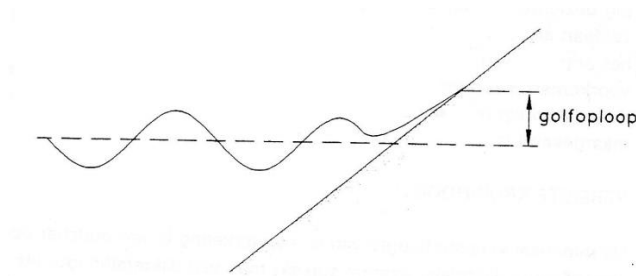
K_r = refractiecoëfficiënt [-]

Bijlage 9 Golfplooptheorie

9.1 Inleiding

Als de golf breekt verliest het veel energie. Voor een belangrijk deel wordt het op de bodem overgedragen. De resterende energie is opgehoopt in de golf die na het breken nog overblijft. Wanneer de resterende golf de teen van een dijk bereikt, zal de golf door de aanwezige (resterende) energie de dijk oplopen.

Onder de golfploop wordt verstaan de verticale afstand tussen de waterstand en de plaats op het talud van de waterkering, die wordt bereikt door de oplopende watertong. In figuur 9.1 is dat schematisch weergegeven.



Figuur 9.1 Schematisch weergave van golfploop [bron 8.1]

Indien de golfploop heel sterk is, kan deze de dijk kruin bereiken, als er op dat moment nog voldoende energie in de golf aanwezig is, dan zal de golfploop over gaan tot golfoverlaat. Dit kan schade opleveren aan de kruin, buiten- en het binnentalud van de dijk. Daarom is het wenselijk dat de golfploop zo gering mogelijk blijft in afweging met andere belangrijke factoren zoals o.a. financiën en omgeving. De golfploop maakt deel uit van de kruinhoogte, want bij het ontwerpen en toetsen van een dijk wordt de kruinhoogte bepaald door o.a. de golfploop. Door de golfploop te reduceren kan de kruinhoogte verlaagd worden. Dit is wel gunstig voor o.a. de uitzicht van de omgeving; want door een lage dijk kruin zal de uitzicht van de omgeving niet belemmerd worden.

De mate van golfploop op een dijk wordt beïnvloed door een aantal factoren. Door deze factoren te beïnvloeden wordt de golfploop, en daardoor ook de kruinhoogte beïnvloed. Het gaat om de volgende factoren:

- Golfhoogte
- Hoek van golfaanval
- Taludhelling van de dijk
- Ruwheid van de dijk bekleding
- Aanwezigheid van een tussenberm

9.2 Golfoploop formules

De golfoploop wordt uitgedrukt in $Z_2\%$. Dat houdt in dat bij het optreden van golfoploop, slechts 2% van de golven over de dijk heen gaan. Dit is statistisch bepaald. Het heeft te maken met het volgende:

In een golfveld komen golven van verschillende karakters voor, zoals korte- en langegolven, enzovoort. Door het onregelmatige, stochastische karakter van de windgolven zal ook de golfoploop een dergelijke karakter hebben. Het is wel belangrijk om te rekenen met een gekarakteriseerde waarde voor de golfoploop. In Nederland wordt als karakteristieke maat voor de golfoploop de waarde aangehouden die wordt overschreden door 2% van de golven. Dat houdt in dat er slechts 2% van de golven over de dijk gaan en dus golfoverslag leveren. Uit onderzoek is gebleken dat dit een verwaarloosbare golfoverslag levert.

Als er golfoploop op een dijk optreedt, dan zal de golf al vanaf het begin (bij de teen van de dijk) te maken krijgen met een aantal factoren. Al deze factoren hebben dan invloed op de golfoploophoogte. In de algemene golfoploopformule worden alle factoren (die invloed hebben op de golfoploop) meegenomen. Daarnaast zijn er nog een aantal andere specifiek gerichte golfoploopformules ontwikkeld; deze formules zijn gebaseerd op een bepaalde specifieke omgeving en/of een dijk.

Hierna zal alleen de algemene golfoploopformule toegelicht worden. Want de algemene formule is toepasbaar voor elke dijk. Voor de overige specifieke golfoploopformules wordt er verwezen naar het Technische rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken en naar de leidraadboeken zoals: Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken en die van meerdijken.

9.2.1 Algemene formule

In de algemene golfoploopformule worden alle factoren die invloed hebben op de golfoploop meegenomen. Daarnaast wordt er nog een veiligheidsmarge binnen de formule gehandhaafd. De formule is gerelateerd aan de brekerparameter met toepassing van eventueel aanwezige berm. De formule is geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 8 \text{ á } 10$.

Als er golfoploop op een dijk optreedt, dan zal in het begin snel gaan; op den duur zullen de golven weinig energie over hebben en daardoor zal de golfoploop langzamer gaan verlopen. De algemene golfoploopformule is als volgt:

$$Z_{2\%} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0} \quad \text{Formule 3.10 [bron 6.5]}$$

Formule 3.10: geldig in het gebied $0,5 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 1,8$

$$Z_{2\%} = H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot (4,3 - 1,6 / \sqrt{\xi_0}) \quad \text{Formule 3.11 [bron 6.5]}$$

Formule 3.11: geldig in het gebied $1,8 < \gamma_b \cdot \xi_0 < 8 \text{ á } 10$

Hierin geldt:

$Z_{2\%}$ = golfoplooppniveau boven de stilwaterlijn [m]

γ_b = invloedsfactor voor een berm [m]

γ_f = invloedsfactor voor ruwheid op het talud [-]

γ_β = invloedsfactor voor hoek van golfaanval in graden [°]

ξ = brekerparameter $= \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}}$ [-] Formule 3.7c [bron 6.5]

S = golfsteilheid $S = \frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$ [-] Formule 3.7ca [bron 6.5]

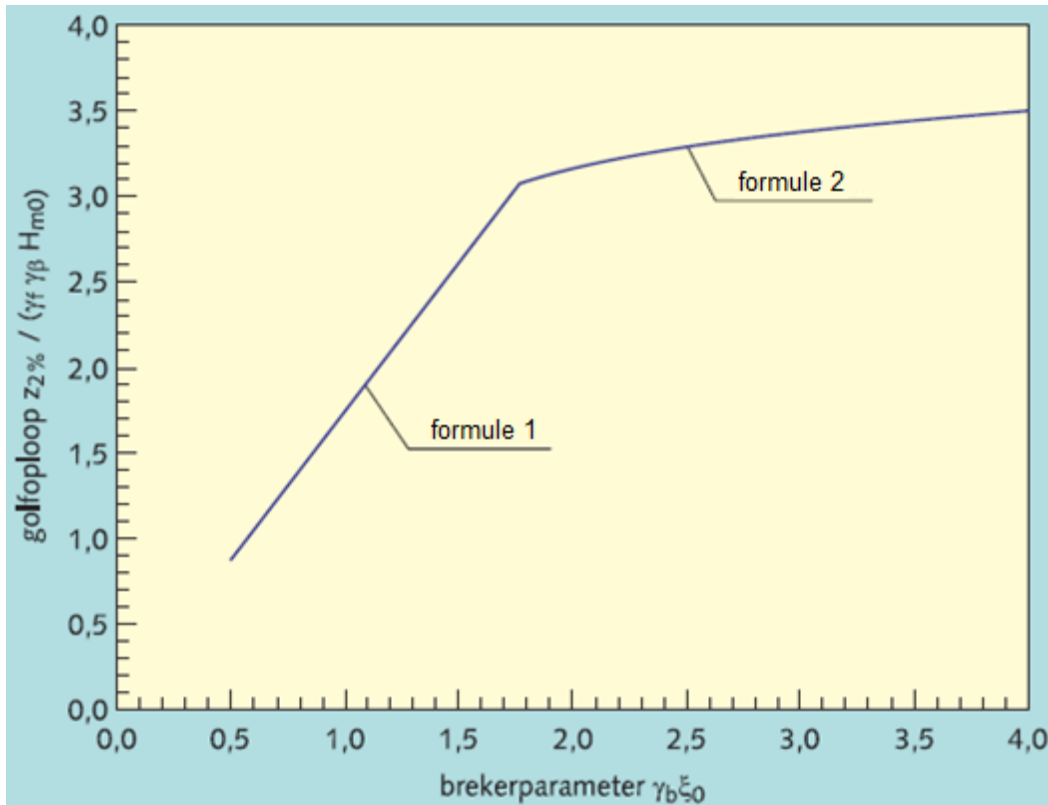
α = hoek van het talud [°]

g = gravitatiekracht [m/s^2]

$T_{m-1,0}$ = golfperiode [s]

H_{m0} = significante golfhoogte [m]

Om een beter inzicht te geven worden beide formules in een grafiek verwerkt. De relatieve golfoploop is uitgezet tegen de brekerparameter (zie grafiek 9.11)

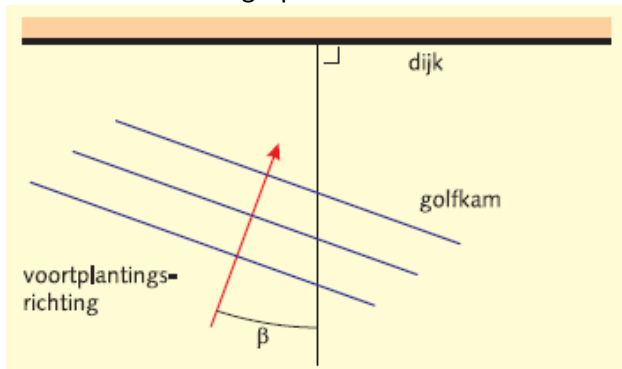


Grafiek 9.11 algemene golfoploopformules uitgezet [bron 6.5]

Uit de grafiek is op te maken dat de relatieve oploop lineair met toenemende $\gamma_b \cdot \xi_0$ stijgt tot $\gamma_b \cdot \xi_0 \approx 1,8$. Daarna neemt de stijging voor grotere waarden af tot uiteindelijk een nog maar flauw stijgende lijn. Het theoretisch maximum in formule 3.11 ligt bij $4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta$. Formule 3.11 is geschikt voor gebieden waar de golven zwaar breken (grote brekerparameters). Dat is bij steile taluds, ondiep voorland en ondiepe berm.

9.3 invloedsfactor van hoek van golfaanval

De hoek van golfaanval is de hoek die de voortplantingsrichting van de golven maakt met de normaal van de lengte-as van de dijk. In figuur 9.2 is dat schematisch weergegeven. De eventuele refractie factor is bij deze invloedsfactor in begrepen.



Figuur 9.2: schematische weergave hoek van golfaanval [bron 6.5]

Bij windgolven wordt de hoek van golfaanval bepaald door de windrichting. De golfaanvallen zijn het grootst als de windrichting loodrecht op de dijk staat. De hoek van golfaanval staat onder 0° graden.

De invloedsfactor van de hoek van golfaanval (γ_β) bij golfoploop en golfoverslag kan berekend worden met de volgende formule:

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0022 |\beta| \quad (0^\circ \leq \beta \leq 80^\circ) \text{ [bron 6.5]}$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0022 \cdot 80^\circ \quad (\beta > 80^\circ) \quad \text{[bron 6.5]}$$

Als de hoek van de golven of de windrichting tussen de 0 en 80 graden ligt dan kan de eerste formule gebruikt worden. Bij hoeken groter dan 80 graden moet de tweede formule gebruikt worden.

In de praktijk kan het voorkomen dat golven onder hoeken groter dan 80 graden inkomen of dat zelfs de golf richting aflagend is, dat wil zeggen onder een hoek tussen de 90 en 270 graden. Indien dit voorkomt, dan betekent dit dat de golven van de dijk af worden geblazen richting het wateroppervlak. Dus dat betekent dat er dan geen golfoploop op de dijk optreedt. In dat geval is er gekozen om golfhoogte en golfperiode aan te passen en niet de invloedsfactor.

Bij een golfaanval onder een hoek tussen de 80° en 110° worden de golfhoogte en golfperiode aangepast met de volgende formules.

Golfhoogte (H) wordt vermenigvuldigd met $\frac{110 - (\beta)}{30}$ [bron 6.5]

Golfperiode (T) wordt vermenigvuldigd met $\sqrt{\frac{110 - (\beta)}{30}}$ [bron 6.5]

Indien de golf richting (of de windrichting) tussen 110 en 180 graden ligt, wordt de golfhoogte nul, daardoor wordt de golfoploop en golfoverslag ook nul. Dat komt doordat de wind landafwaarts waait richting de wateroppervlakte.

9.4 Invloedsfactor van de ruwheid van de bekleding

Door de ruwheid van de bekleding van het buitentalud, zal de golfoploop weerstand ondervinden; daardoor zal de mate van golfoploop gereduceerd worden. De ruwheidfactoren of invloedfactoren van verschillende bekledingsmaterialen is door verschillende onderzoeken bepaald. In tabel 9.31 is een overzicht gegeven van de meest toegepaste bekledingsmaterialen met bijbehorende ruwheidfactoren (γ_f).

Materiaal	Ruwheidfactor (γ_f)
Beton	1,0
Asfalt	1,0
Dichte betonblokken	1,0
Gras	1,0
Vilvoordse steen	0,85
Basalt	0,90
Haringman	0,90
Fixtone, open steenasfalt	0,90
Armorflex	0,90
Kleine blokjes over 1/25 van het oppervlak	0,85
Kleine blokjes over 1/9 van het oppervlak	0,80
1/4 van steenzetting 10 cm omhoog	0,90
Ribbels (optimale afmetingen)	0,75
Breuksteen, twee lagen dik	0,55
Breuksteen, een enkele laag	0,70

Tabel 9.31: ruwheidfactor van verschillende materialen [bron 6.5]

In het technische rapport voor golfoploop en golfoverslag is een uitgebreidere tabel te vinden waarin meerdere materialen in voorkomen.

De gegeven waarden voor de ruwheidfactor gelden voor golfhoogtes groter dan 0,75 m. Voor kleinere golfhoogtes kan er in verhouding met kleinere ruwheidfactor gerekend worden.

De ruwheidfactor is gerelateerd aan de brekerparameter met de bermfactor. De ruwheidfactoren gelden voor:

$\gamma_\beta \cdot \xi_0 < 1,8$. Vanaf $\gamma_\beta \cdot \xi_0 = 1,8$ loopt de ruwheidfactor lineair op tot de waarde 1 die geldt voor

$\gamma_\beta \cdot \xi_0 = 10$. Voor grotere waarden blijft de ruwheidfactor 1.

9.4.1 Bekledingsmaterialen voor dijken

Open zetstenen

De volgende open zetstenen komen voor uit tabel 9.31:

- *Basalt*
- *Haringman*
- *Armorflex*
- *Vilvoordse steen*

Basalt is een vulkanisch stollingsgesteente dat gevormd wordt door de stolling van lava. De stolling van het basalt vindt plaats aan het aardoppervlak en daarom is basalt een uitvloeiinggesteente. In figuur 9.3 zijn gezette basaltblokken weergegeven. Voordelen van basaltstenen:

- Hoge soortelijke massadichtheid (eigen gewicht)
- Slijtvast
- Sterk, stevig

Nadelen van basaltstenen:

- Hoge aanschaf prijs
- Hoge aanlegkosten

Door deze positieve eigenschappen is basalt bekleding zeer goed geschikt voor dijken met zware golfaanvallen. De stenen reduceren de kracht van de golven. Het gaat om zware golven die langs de zee optreden. Dit bekledingsmateriaal is daarom niet geschikt voor regionale waterkeringen. In principe kunnen ze wel toegepast worden, maar dat is niet nodig, omdat er langs regionale dijken geen zware golven als bijv. zeegolven optreden. Er zijn goedkopere oplossingen te vinden voor regionale keringen dan zulk zwaar en duur materiaal.

Armorflex en haringman zijn betonblokken. Ze worden in een fabriek geproduceerd. Ze zijn lichter dan basaltstenen (soortelijke massadichtheid) en de aanschaf prijs is lager. Daarnaast kunnen vorm en gewicht vooraf bepaald worden, waardoor deze bekledingsmaterialen multifunctioneel worden. Voor dijken met zware golfaanvallen kunnen er grote zware blokken geproduceerd worden en voor dijken met lichte golfaanvallen, zoals regionale dijken, kunnen er kleinere, minder zware blokken geproduceerd worden. Nadeel van dit bekledingsmateriaal is dat ze een lage ruwheidweerstand hebben, waardoor de reductie op golfoploop en -overslag klein is.

Bij armorflex zijn de blokken onderling met elkaar verbonden met kabels. Bij zware golfaanvallen kunnen deze bekledingsmaterialen flexwerken, waarbij hoge drukken gereduceerd worden. In figuur 9.4 en 9.5 zijn armorflex- en haringmanbekleding weergegeven.

Vilvoordse steen is een kalksteensoort dat wordt gewonnen in groeven in de omgeving van Vilvoorde in België. In het verleden werden ze als bekleding op zeedijken toegepast. Later werd ontdekt dat ze niet geschikt zijn wegens het lichte eigengewicht en gebrekkige slijtvastheid. Dit is ontdekt na optreden van een aantal stormen. Toen zijn er bij dit bekledingsmateriaal gaten in de glooiing ontstaan. Een ander groot nadeel van

Vilvoordse stenen is dat het plaatsen van de stenen erg arbeidsintensief is, omdat ze erg ongelijk van vorm zijn.

De Vilvoordse stenen zijn wegens lage soortelijke massadichtheid en lage slijtvastheid niet geschikt voor zeedijken. Ze zouden voor regionale dijken gebruikt kunnen worden, alleen wegens de intensieve aanleg zijn de aanleg kosten heel hoog. Er zijn goedkopere bekledingsmaterialen voor regionale keringen toe te passen.



Figuur 9.3 Gezette Basaltblokken [bron 6.6]



Figuur 9.4 Haringman [bron 6.6]



Figuur 9.5 Armorflex [bron 7.3]

Gesloten materialen

De materialen beton en asfalt zijn gesloten bekledingen. De voor- en nadelen van deze materialen zijn als volgt:

Voordelen:

- Sterk, stevig
- Snel en gemakkelijk aan te leggen
- beschadigingen zijn makkelijk te herstellen
- druk- en zuigkrachten van golven worden goed opgevangen
- Biedt een goede waterdichtheid
- Voor een lange periode geen onderhoud vereist

Nadelen:

- Duur in aanschaf
- moet om de 10 a 15 jaar vernieuwd worden
- Wegens het gladde oppervlak bieden beton- en asfaltbekleding zeer weinig reductie op golfoploop en -overslag.

Door de voordelen zijn deze bekledingsmaterialen geschikt voor dijken met zware golf aanvallen. Dit zijn bijvoorbeeld zeedijken.

Golven oefenen bij oploop drukkkrachten op de taludbekleding en de onderlagen uit. Bij terugloop oefenen ze een zuigkracht op de taludbekleding en de onderlagen uit. Bij open bekledingen zullen de onderlagen weerstand van de druk- en zuigkrachten ondervinden. Bij gesloten bekledingen zoals beton, asfalt en klei zullen de onderlagen geen weerstand van de druk- en zuigkrachten van de golven ondervinden.

De materialen beton en asfalt zijn volledig waterdicht. Ze laten helemaal geen water door. Dit is wel handig bij dijken waarbij het wenselijk is de freatische lijn zo laag mogelijk te houden.

Klei is net als beton en asfalt een goed dicht materiaal. Klei is niet 100% waterdicht. Het laat wel water door. Daarom is klei een goed afdichtmateriaal bij dijken waarbij een goede afdichting en tegelijkertijd geringe waterdoorlating vereist wordt.

Grasbekleding

Grasbekleding kan golfaanvallen en hoge stroomsnelheden niet langdurig weerstaan. Indien de golfaanvallen en/of de stroomsnelheden langdurig zijn, treedt er erosie op de grasbekleding op. Grasbekleding wordt bij dijktaaluds toegepast op de plaatsen waar geen golfaanvallen optreden. Dit is bij o.a. binnentaluds en de kruin. Grasbekleding komt ook vaak voor als samengestelde bekleding op buitentaluds. Dat gebeurt bij dijken waar de golven klein zijn. Dat zijn dijken langs o.a. vaarwegen en sloten. De golfaanvallen op de dijk zullen tot een bepaalde hoogte komen. De rest van het dijktaalud zal niet te maken krijgen met golfaanvallen. In zulke gevallen wordt er voor het taludgedeelte dat door golven wordt aangevallen bekleed met een sterk materiaal. De rest van het talud wordt bekleed met een goedkoop materiaal zoals grasbekleding.

Voordelen van grasbekleding:

- Goedkoop in aanschaf, aanleg en onderhoud
- Biedt een goede bescherming tegen uitspoeling van de onderlaag (erosiebestendig).
- Goede esthetische eigenschap; het past goed in een mooie, groene, natuurlijke omgeving.

Nadelen van grasbekleding:

- Leeft alleen boven water, onder water zal gras afsterven.
- Kan zware golven en hoge stroomsnelheden niet langdurig weerstaan.
- Wegens het gladde oppervlak biedt gras geen reductie op golfoploop en golfoverslag.

Grasbekleding is de goedkoopste oplossing. Het wordt vaak toegepast bij kleibekleding. De kleibekleding vormt een deklaag boven op het dijklichaam. De grasbekleding vormt dan een extra bekleding. Het zorgt ervoor dat de kleilaag niet weg erodeert. Het geeft tevens een fraaie uitstraling. Het past goed in een groene natuur omgeving.

Groot nadeel van grasbekleding is dat het glad is waardoor het geen reductie biedt op golfoploop en -overslag.

Breuksteen

Breuksteen wordt gewonnen uit rotsen. Er worden rotsen vernietigd door o.a. opblazen, daarbij komen gebroken stenen van verschillende grootte vrij. Grote stenen kunnen eventueel machinaal verkleind worden.

Voordelen van breuksteen bekleding:

- Sterk, stevig
- Lange levensduur
- Open bekleding waardoor het waterdoorlatend is
- Ruw oppervlak waardoor de reductie op golfoploop en -overslag hoog is.

Nadelen van breuksteen bekleding:

- Duur in aanschaf
- Moet op een goede onderlaag toegepast worden om te voorkomen dat de stenen wegspoelen tijdens golfaanvallen.

Breuksteen wordt zowel voor primaire als regionale keringen toegepast. Breuksteen wordt toegepast wegens de volgende functies:

- Opvang en reductie van golfaanvallen
- Bekledingsfunctie op dijk- of oeverlichaam om te voorkomen dat de onderlagen wegspoelen. Golven oefenen namelijk druk- en zuigkrachten uit. Deze krachten worden door de breukstenen opgevangen.
- Reduceren van de mate van golfoploop en golfoverslag. Breuksteen heeft een ruwe oppervlakte waardoor golven tijdens de oploop weerstand ondervinden.

De stenen worden gedimensioneerd op basis van de golfcondities. De stenen moeten tijdens golfaanvallen de golfkrachten opvangen en ze mogen niet weggespoeld worden.

Bij primaire dijken treden er grotere golven op dan bij regionale dijken, daarom worden er bij primaire dijken grotere stenen toegepast dan bij regionale dijken.

Bij regionale dijken en oevers langs vaarwegen wordt meestal breuksteen in combinatie met riet of een andere ruwe vegetatie toegepast. Riet heeft een erg ruwe eigenschap, waardoor scheepsgolven goed gedempt worden. Breuksteen heeft in deze combinatie (met riet) vier functies; namelijk:

- Bijdrage leveren aan de demping van de golven.
- Stevigheid bieden tegen de oever of het dijklichaam, zodat de onderlagen niet uitspoelen.
- Functie van overname van riet, tijdens de onderhoudsfase van het riet. Riet moet namelijk twee keer per jaar gemaaid worden. Daarna heeft riet tijd nodig om weer te groeien. In deze periode kan het riet zijn functie niet volledig verrichten. De functie wordt dan overgenomen door de breuksteen.
- Reduceren van de mate van golfoploop en golfoverslag.

Het komt ook voor dat breuksteen gegoten wordt met asfalt of beton zodat de stenen goed op hun plek blijven liggen. Daarnaast wordt er met goten een dicht bekledingsmateriaal gecreëerd.

9.4.2 Taluds met samengestelde ruwheden

Het komt vaak voor dat de bekleding van de buitentalud uit verschillende materialen bestaat. Dit komt door o.a. dat er in de praktijk het buitentalud van een dijk niet over het gehele oppervlak onder zware golfaanvallen staat. Onder de gemiddelde omstandigheden zullen de golfaanvallen tot een bepaalde hoogte boven de waterlijn de grootste kracht leveren. Ze zullen de kruin niet bereiken. Het dijktaalud tussen de hoogst bereikte golven en de kruin, staat niet onder de golf aanvallen. Daarom is het beter om samengestelde bekledingen op het dijktaalud toepassen. In dat geval kan er gekozen worden voor een harde bekleding vanaf een afstand onder de waterlijn tot aan de hoogst bereikte hoogte door de golven. Daarna kan er tot aan de kruin een zachte materiaal als gras toegepast worden.

Voor de berekening van de golfoploop en golfoverslag is het niet toegestaan om met één ruwheidfactor van één bekledingmateriaal te rekenen. Er moet gerekend worden met een gewogen gemiddelde ruwheidfactor. De gewogen gemiddelde ruwheidfactor kan berekend worden met de volgende formule:

$$\gamma_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot L1 + \gamma_{f2} \cdot L2 + \gamma_{f3} \cdot L3 + \gamma_{fx} \cdot Lx}{L1 + L2 + L3 + Lx} \quad \text{Formule 9.1 [bron 6.5]}$$

In deze formule geven γ_f 1,2,3 ruwheidfactoren van drie verschillende bekledingmaterialen weer. L1,2,3 geven de lengte van de taluddelen weer die horen bij respectievelijk ruwheidfactoren

γ_f 1,2,3. γ_{fx} en Lx geven aan dat er meerdere ruwheiddelen in de formule ingevoerd kunnen worden.

9.4.3 Kunstmatige ruwheid

Een andere optie is het toepassen van kunstmatige ruwheid op een dijktaalud. Bij een bestaande gladde dijktaalud, kan de bekleding ruw gemaakt worden zonder de bestaande bekleding te verwijderen. Dit kan o.a. door het aanbrengen van ruwheidselementen zoals ribbels of blokken op een dijktaalud. In figuur 9.6 is dat weergegeven.



Figuur 9.6 Kunstmatige ruwheidblokken [bron 6.6]

De ruwheidelementen (blokjes of ribbels) vormen een obstakel voor de golfoploop.

De golfoploop zal over en langs de blokjes of ribbels heen moeten; veel van de golven zullen tegen de blokken komen en daardoor tegen gehouden worden. Daardoor wordt de golfoploop en golfoverslag gereduceerd.

De ruwheidelementen zijn als volgt gedefinieerd:

- Breedte van het ruwheidelement: f_b
- Hoogte van het ruwheidelement: f_h
- Elementafstand (van hart tot hart afstand tussen twee elementen): f_L

De ruwheidelementen kunnen in verschillende maten voor komen. Als het totale oppervlak door blokken of ribbels is bedekt en als de hoogte minimaal aan de volgende verhouding voldoet $f_h/H = 0,15$, dan worden de volgende minimale invloedsfactoren gevonden.

Bij blokken:

- Als de blokken 1/25 van de totale oppervlakte bedekken geldt $\gamma_f = 0,85$ [bron 6.5]
- Als de blokken 1/9 van de totale oppervlakte bedekken geldt $\gamma_f = 0,80$ [bron 6.5]

Bij ribbels:

- Bij een optimale ribbelafstand die gelijk is aan de verhouding: $f_L/f_b = 7$ geldt $\gamma_f = 0,75$ [bron 6.5]

Voor de bovengenoemde ruwheidfactoren geldt de volgende verhouding:

$f_h/f_b = 5 - 8$ (tussen 5 en 8)

$f_h/H = 0,15$ (minimaal)

Een grotere blok- of ribbelhoogte dan $f_h/H = 0,15$ heeft geen verdere reducerende werking.

Als de elementhoogte (f_h) kleiner wordt, dan zal de verhouding f_h/H richting de 0 gaan. De ruwheidfactor zal dan lineair geïnterpoleerd worden naar $\gamma_f = 1$.

De ruwheidfactor (γ_f) voor de ruwheidelementen met kleinere hoogte waarbij geldt $f_h/H < 0,15$ kan berekend worden met de volgende formule:

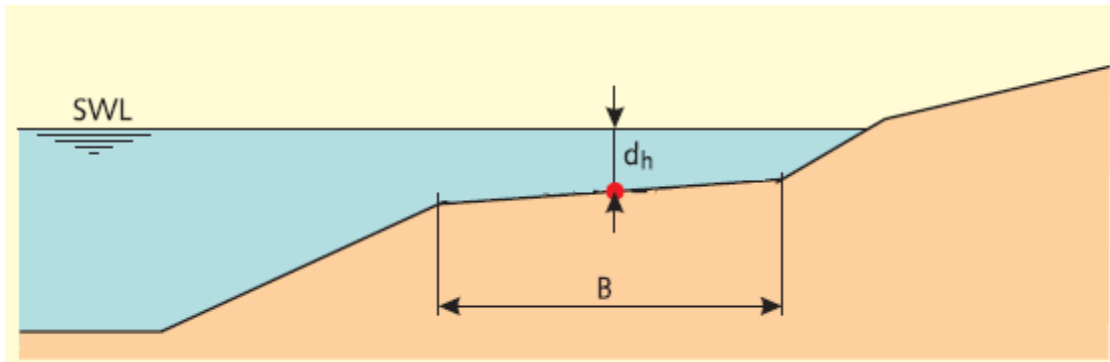
$$\gamma_f = 1 - (1 - \gamma_{f, \min}) \cdot (f_h/H_{m0})/0,15$$

In deze formule is $[\gamma_{f, \min}]$ de invloedsfactoren die gelden bij de hierboven genoemde invloedsfactoren voor de blokken en ribbels.

De ruwheidelementen hebben geen werking als ze onder de stilwaterlijn (SWL) aangebracht worden.

9.5 Invloed van de berm

Een berm is een stuk uit een dijkprofiel waarbij de helling mag variëren tussen horizontaal en 1:15. In figuur 9.7 is een bermprofiel schematisch weergegeven.

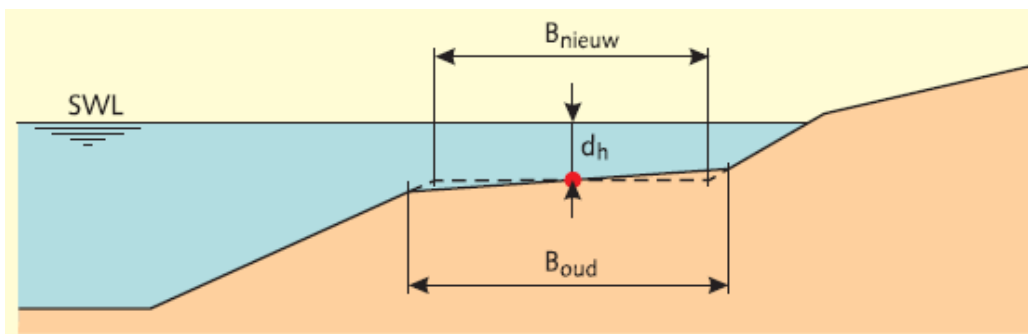


Figuur 9.7: Schematische weergave van een bermstuk [bron 6.5]

De bermligging ten opzichte van de stilwaterlijn (SWL) wordt bepaald door de diepteligging d_h . De breedte van de berm is in figuur 47 met B aangegeven. De definitie voor een berm geldt: de berm mag niet groter zijn dan een kwart van de golflengte ($B < 0,25 L_0$). Als de breedte wel groter is dan zit de constructie tussen een berm en een voorland in, want voor een voorland geldt de definitie: een minimale lengte van één (diepwater)golflengte ($1 \cdot L_0$). Indien de breedte tussen de $0,25 L_0$ en $1 L_0$ ligt, dan kan de golfoploop en golfoverslag door interpolatie bepaald worden. Verderop in dit rapport zal de wijze van interpoleren toegelicht worden.

Voor de berekening van de golfoploop en golfoverslag wordt er gerekend met een rechte berm. Als een schuine berm voor komt, dan dient deze geschematiseerd te worden tot een horizontale berm. In figuur 9.8 is dat aangegeven. In het figuur is de geschematiseerde horizontale berm met stippellijnen aangegeven. Hierbij worden onder- en boventalud doorgetrokken.

De in rekening te brengen bermbreedte B wordt dus kleiner. De bermdiepte (d_h) ten opzichte van SWL blijft gelijk.



Figuur 9.8 Geschematiseerde horizontale talud (B_{nieuw}) [bron 6.5]

De invloed van een eventueel aanwezige berm is afhankelijk van de bermbreedte (r_B) en de waterdiepte op de berm (d_h). De invloedfactor van de berm (γ_b) kan bepaald worden met de volgende formule:

$$\gamma_b = 1 - r_B \cdot (1 - r_{dh}) \quad \text{waarbij geldt: } 0,6 \leq \gamma_b \leq 1,0 \quad \text{Formule 19.2 [bron 6.5]}$$

Waarin geldt:

γ_b = invloed factor van de berm

r_B = breedte van de berm

r_{dh} = de ligging van het midden van de berm ten opzichte van de stilwaterlijn

De invloed factor voor de berm kan minimaal 0,6 worden en maximaal 1,0. Hoe groter de breedte, des te groter de invloed van de berm. De maximale invloed is wel beperkt tot $\gamma_b = 0,6$. Als de maximale waarde is bereikt, dan heeft een extra verbreding geen zin meer.

De berm is het meest effectief als deze op de waterlijn ligt ($r_{dh} = 0$) en de bermbreedte is optimaal als de invloedsfactor de waarde 0,6 bereikt.

De twee genoemde parameters uit de formule kunnen bepaald worden met de volgende twee formules:

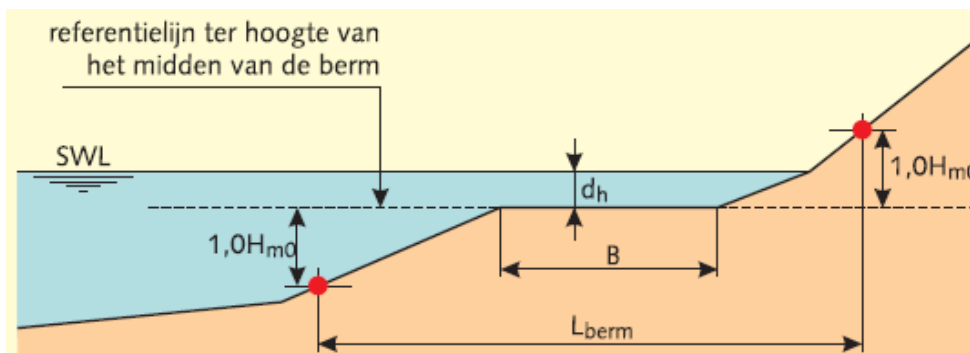
1. Breedte van de berm (r_B):

$$r_B = \frac{B}{L_{berm}} \quad \text{Formule 19.2a [bron 6.5]}$$

2. De ligging van het midden van de berm ten opzichte van de stilwaterlijn (r_{dh}):

$$r_{dh} = 0,5 - 0,5 \cdot \cos\left(\pi \frac{d_h}{x}\right) \quad \text{Formule 19.2b [bron 6.5]}$$

In figuur 9.9 zijn de termen uit de formules terug te vinden.



Figuur 9.9 Bermstuk met termen [bron 6.5]

In de formule voor de ligging van het midden van de berm ten opzichte van de stilwaterlijn (r_{dh}) komt de onbekende factor x voor. Deze factor x is gerelateerd aan de ligging van de berm ten opzichte van de stilwaterlijn (SWL). Voor x geldt het volgende:

Als de berm boven SWL ligt dan geldt: $x = Z_{2\%}$ als $Z_{2\%} > -d_h > 0$ [bron 6.5]

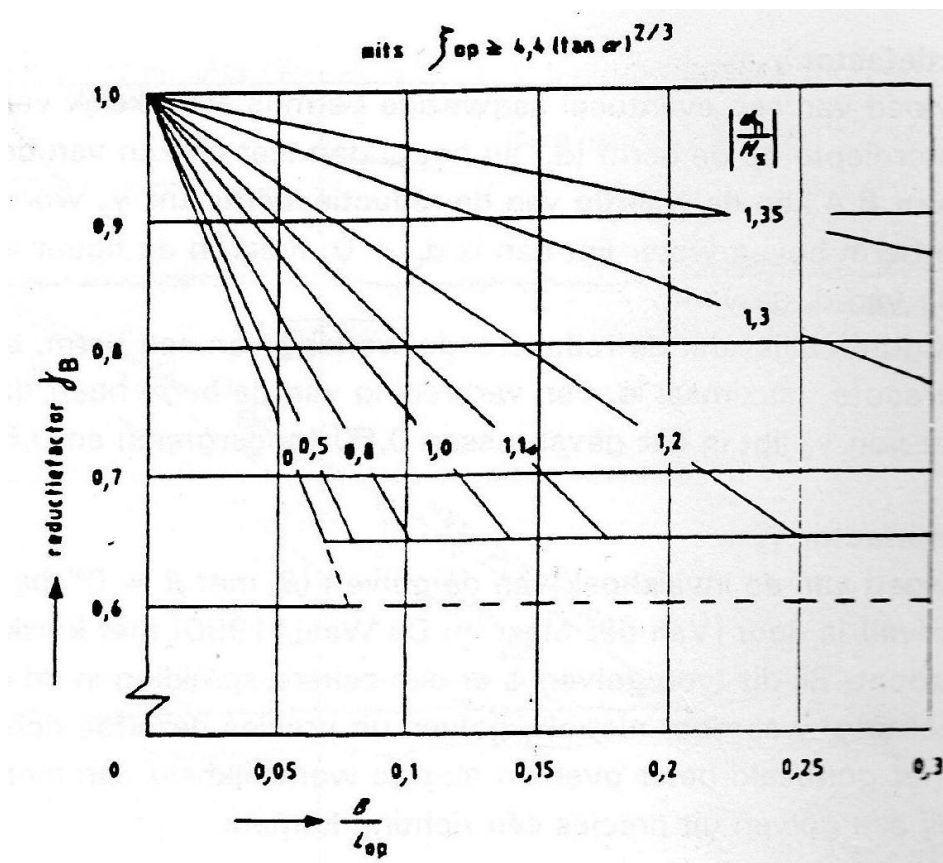
Als de berm beneden SWL ligt dan geldt: $x = 2 \cdot Hm0$ als $2 \cdot Hm0 > d_h \geq 0$ [bron 6.5]

De invloed factor voor de berm (γ_b) kan als volgt volledig beschreven worden:

$$\gamma_b = 1 - \frac{B}{L_{berm}} \left(0,5 + 0,5 \cdot \cos \left(\pi \frac{d_h}{x} \right) \right) \quad \text{Formule 9.2 [bron 6.5]}$$

9.5.1 Bepaling met de grafiek

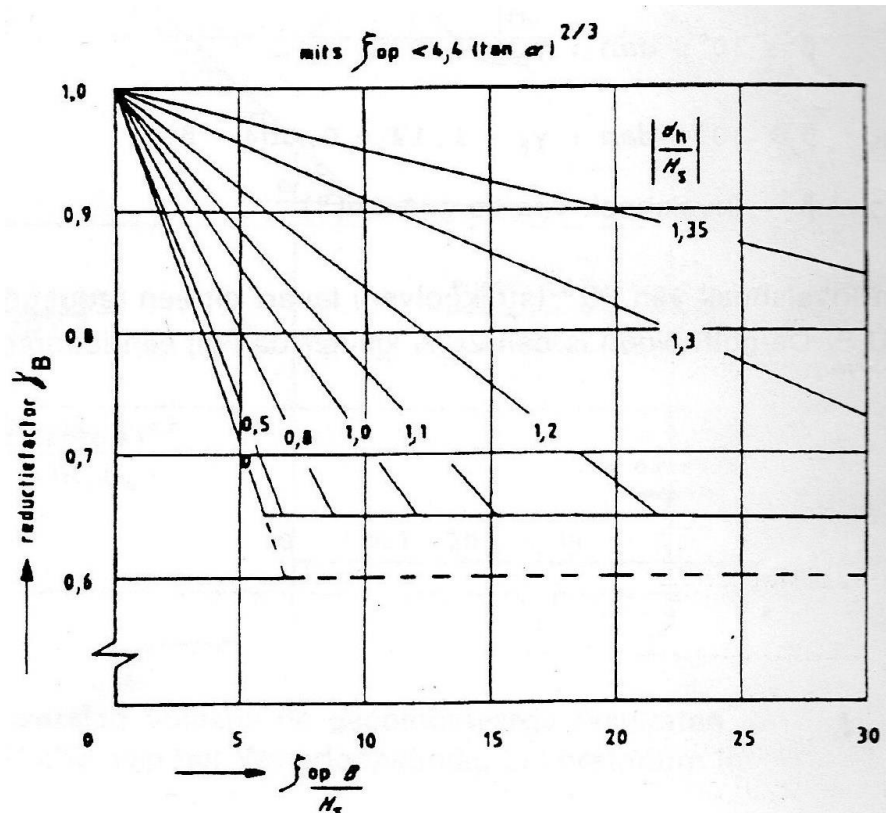
De invloedfactor voor de berm (γ_b) kan ook bepaald worden met een grafiek. Daarbij moeten de golfhoogte, golfperiode en de hellingshoek van de dijktafval bekend zijn. Met behulp van grafieken 9.12 en 9.13 kan dan de invloedfactor voor de bermstuk bepaald worden.



Grafiek 9.12 ter bepaling van de bermfactor γ_b [bron 8.1]

Grafiek 9.12 is geldig voor de verhouding: $\gamma_b < 4,4 \cdot (\tan \alpha)^{2/3}$. De grafiekparameters zijn als volgt:

Op de horizontale as B/L_0 en voor de schuine lijnen: d_h/Hs .



Grafiek 9.13 ter bepaling van de bermfactor γ_b [bron 8.1]

Grafiek 9.13 is geldig voor de verhouding: $\gamma_b > 4,4 \cdot (\tan \alpha)^{2/3}$. De grafiekparameters zijn als volgt:

Op de horizontale as: $\xi_0 \cdot B / H_s$ en voor de schuine lijnen: d_h / H_s

Als eerste wordt de brekerparameter bepaald met de volgende formule

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{(2\pi \cdot H_{mo})}{g \cdot T_{m-1,0}^2}}}$$

Formule 19.3 [bron 6.5]

Waarin geldt:

- ξ_0 = golfbrekingsparameter [-]
- α = hoek van het talud [°]
- g = gravitatiekracht [m/s^2]
- $T_{m-1,0}$ = golfperiode [s]
- H_{mo} = significante golfhoogte [m]

Nadat de brekerparameter bekend is, wordt de volgende formule ingevuld en uitgerekend. $4,4 \cdot (\tan \alpha)^{2/3}$.

Vervolgens wordt de uitkomst gecontroleerd met de volgende verhoudingen.

Verhouding 1: $\xi_0 < 4,4 \cdot (\tan \alpha)^{2/3}$ hoort bij grafiek 9.12

Verhouding 2: $\xi_0 > 4,4 \cdot (\tan \alpha)^{2/3}$ hoort bij grafiek 9.13

Daarmee wordt er bepaald met welke grafiek de berm invloed bepaald moet worden.

Als de grafiek bekend is, worden de grafiekparameters bepaald. Dit zijn de formules langs de horizontale as en langs de schuine lijnen.

Nadat de grafiekparameters zijn bepaald, kunnen er lijnen op de grafiek getrokken worden en zo de waarde voor de invloedsfactor voor de berm aflezen.

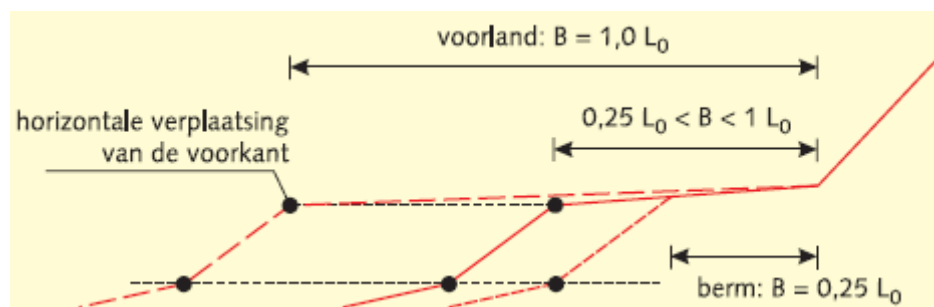
9.5.2 Interpolatie tussen berm en een voorland

Zoals eerder vermeld kan de maximale breedte van een berm kwart golflengte worden ($B < 0,25 L_0$). Daarbij wordt de invloedfactor voor de berm (γ_b) maximaal 0,6. Indien de berm groter is dan $0,25 L_0$ dan zal de maximale invloedfactor niet kleiner worden dan 0,6 en daardoor zal verbreding geen zin hebben voor de berekening. Voor een voorland geldt een breedte van minimaal één golflengte. Indien de breedte tussen de 0,25 en 1 golflengte ligt, dan ligt de constructie tussen een berm en een voorland. Theoretisch zal een berm breedte groter dan $0,25 L_0$ geen extra reducerende werking leveren op de golfoploop en golfoverslag. Praktisch zal een langere berm breedte wel extra reducerende werking moeten leveren. Om dit theoretisch wel mogelijk te maken zal de golfoploop geïnterpoleerd moeten worden tussen een berm en een voorland. Hierna zal er stapsgewijs uitgelegd worden hoe de interpolatiewijze in zijn werk gaat:

1. Bepaal de golfoploop bij een berm met een lengte van $0,25 L_0$
2. Bepaal de golfoploop bij een voorland dat is doorgetrokken volgens figuur 9.10 tot een lengte van $1 L_0$. Dit betekent dat de significante golfhoogte ter plaatse van de nieuwe teen van de constructie moet worden bepaald. In dit geval is de nieuwe teen van de constructie het begin van het talud boven het voorland.
3. Bepaal de significante golfhoogte ter plaatse van de nieuwe teen van de constructie. Als eenvoudige vuistregel kan worden uitgegaan van: $Hm0 \leq 0,5 h$. Als de oorspronkelijke $Hm0$ kleiner is dan de halve waterdiepte, dan blijft $Hm0$ ongewijzigd. In het andere geval wordt $Hm0$ gelijk aan de halve waterdiepte.
4. Interpoleer tussen de twee gevonden golfoploophoogtes met de volgende formule:

$$Z_{2\%} = z_{2\%}^{\text{berm}} - (z_{2\%}^{\text{berm}} - z_{2\%}^{\text{voorland}}) \cdot (B/L_0 - 0,25)/0,75 \quad \text{Formule 19.4 [bron 6.5]}$$

Opmerking: De overige golfoploopparameters zoals de golfperiode, de hoek van golfaanval en de ruwheidfactor blijven ongewijzigd.



Figuur 9.10: schematische weergave van berm en voorland [bron 6.5]

9.5.3 Bermbekleding

Een ander probleem waar bermen tegen aan lopen is de opvang van een massa golfenergie. De golven zullen boven op de berm de berm voelen. Daardoor verliezen de golven energie aan de berm. De berm heeft dus te maken met opvang van golfenergie. Het bermmateriaal kan beschadigd raken. Afhankelijk van de golfcondities kan er licht tot zwaar bekledingsmateriaal toegepast worden. Voor lichte golfcondities kan er bijvoorbeeld asfalt of beton toegepast worden. Voor zwaardere golfcondities kan steenmateriaal toegepast worden. Daarbij kan men denken aan vilvoordse steen of breuksteen.

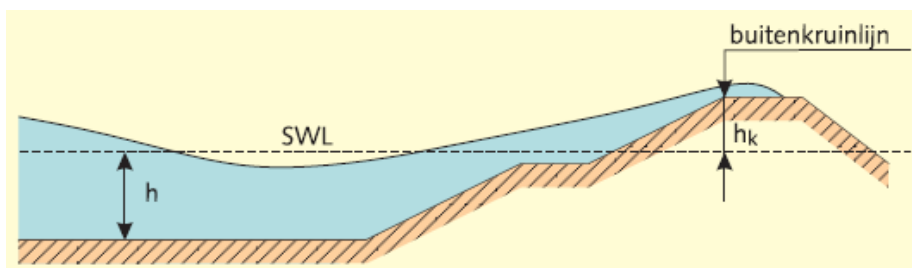
Belangrijk is dat bij de golfaanvallen de bermbekleding op zijn plek blijft. Dit kan bereikt worden door een zwaar materiaal met een hoge dichtheid toe te passen. Een andere optie is losse materialen als puin toepassen met asfalt of beton gegoten. Daardoor worden de losse elementen sterker en gesloten gemaakt. De bekleding is dan steviger, waterdicht, goed bestand tegen erosie en goedkoop in constructie en onderhoud.

Bijlage 10: Golfoverslagtheorie

10.1 Inleiding

Golfoverslag is één van de mechanismen waarop een dijk kan falen. Bij golfoverslag slaan er golven over de dijk heen. Daarbij kan er schade ontstaan aan de dijkkruijn, het binnentalud en de bebouwing achter de dijk. Bij golfoverslag zijn het gemiddelde golfoverslagdebiet (q) en de kruinhoogte (h_k) de twee belangrijkste parameters.

De kruinhoogte (h_k) wordt gedefinieerd als het hoogteverschil tussen de stilwaterlijn (SWL) en de kruinhoogte. De kruinhoogte wordt bepaald ter plaatse van de buitenkruinlijn (en juist niet in het midden van de kruin). Figuur 10.1 geeft dit schematisch weer.



Figuur 10.1 Definitie van buitenkruinhoogte [bron 6.5]

De golfoverslag wordt gekarakteriseerd als een gemiddeld debiet (q) water die door golven per strekkende meter breedte per tijdseenheid (meestal seconde) over de waterkering heen gaan. Bijvoorbeeld in m^3/m per s of l/m per s. In werkelijkheid vindt er geregeld overslag plaats, het debiet van de overslagen verschilt van elkaar. Daarom wordt er gerekend met een gemiddeld debiet.

10.2 Golfoverslag

Golfoverslag kan bij gering debiet geen schade veroorzaken en kan daardoor verwaarloosd worden. Bij grotere golfoverslagdebiet kan er schade optreden. Meestal zal de schade bestaan uit erosie van de kruin en het binnentalud. In extreme gevallen kan de schade oplopen tot dijkdoorbraak en inunderen van het achterland.

Bij waterkeringen zoals bijvoorbeeld een dijk wordt er altijd een mate van golfoverslag toegestaan. Dat is ook wel nodig, want indien bij een waterkering golfoverslag niet toegestaan wordt, dan zal de kruinhoogte en de geometrie van de kering groot moeten worden. Dit zal veel geld kosten. Volledige voorkoming van de golfoverslag zal ook niet nodig zijn, want de invloed van de optredende golfoverslag kan binnen bepaalde grenzen gehouden worden, waarbij ervoor gezorgd wordt dat de schade beperkt of volledig voorkomen wordt.



10.2.1 Beperkte golfoverslag

Als er achter de dijk bebouwing aanwezig is die goed beschermd moet worden omdat deze van hoge waarde is, dan kan er gekozen worden om beperkte golfoverslagdebiet te accepteren. Daarbij is de kruinhoogte groot of zijn er andere voorzieningen op of voor de dijk getroffen die ervoor zorgen dat de golfoverslag beperkt blijft. Als er bijvoorbeeld een woonwijk achter de dijk aanwezig is dan is het wenselijk dat de golfoverslag beperkt blijft en daardoor geen schade levert aan de bebouwing.

Het is tevens afhankelijk van de locatie. Op sommige locaties zal er meerdere malen per jaar storm optreden dan een andere locatie. Daarom zullen de getroffen maatregelen tegen golfoverslag per locatie verschillen.

10.3 Maatgevend debiet

In Nederland zijn afspraken gemaakt over de te handhaven (gemiddelde) debieten voor golfoverslagen. De verschillende debieten zijn vastgelegd aan de hand van de erosieschade die optreedt bij een bepaald debiet. Door de weerstand van optredende erosie en het dijkmateriaal wordt het toelaatbare overslagdebiet bepaald. Aan de hand van praktijkonderzoeken zijn er drie bepaalde overslagdebieten vastgelegd die maatgevend zijn voor de erosie van de kruin en het binnentalud bij bepaalde dijkmaterialen. De maatgevende debieten zijn als volgt:

- 0,1 l/m per s voor zandige grond met een slechte grasmat.
- 1,0 l/m per s voor kleiige grond met een redelijk goede grasmat
- 10 l/m per s bij een kleibekleding en een grasmat volgens de eisen voor het buitentalud of bij een bekledingsconstructie.

10.4 golfoverslag formule

De golfoverslag kan in twee formules worden beschreven die op elkaar aansluiten. Eén voor brekende golven ($\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$) (formule 3), waarbij de golfoverslag toeneemt bij toenemende

brekerparameter ξ_0 , en één voor het maximum dat wordt bereikt bij niet-brekende golven

($\gamma_b \cdot \xi_0 > \approx 2 \text{ á } 2,5$) (formule 4).

De golfoverslag is bij niet-brekende golven niet meer afhankelijk van de brekerparameter. De formule voor brekende golven (formule 3) is geldig totdat dit maximum wordt bereikt. Dit

is in de buurt van $\gamma_b \cdot \xi_0 = 2 \text{ á } 2,5$. Er moet dus steeds worden gecontroleerd of formule 3 het

maximum van formule 4 niet overschrijdt.

De invloedfactoren voor golfoploop gelden ook voor de golfoverslag. Daarom zal in dit hoofdstuk de invloedfactoren niet nogmaals herhaald worden.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \quad \text{Formule 3.12 [bron 6.5]}$$

Formule 3.12: geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 < \approx 2 \text{ á } 2,5$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0,2 \cdot \exp\left(-2,3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \quad \text{Formule 3.13 [bron 6.5]}$$

Formule 3.13: geldig in het gebied: $\gamma_b \cdot \xi_0 > \approx 2 \text{ á } 2,5$

Waarin geldt:

q = gemiddeld golfoverslagdebiet [m³/m per s]

g = gravitatiekracht [m/s²]

h_k = kruinhoogte boven de stilwaterlijn (ook wel golfoverslaghoogte genoemd)

$T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode [s]

H_{m0} = spectrale golfhoogte [m]

ξ = brekerparameter $= \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}}$ [-] Formule 3.7c [bron 6.5]

S = golfsteilheid $S = \frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$ [-] Formule 3.7ca [bron 6.5]

α = hoek van het talud [°]

γ_b = invloedfactor voor een berm [m]

γ_f = invloedfactor voor ruwheid op het talud [-]

γ_β = invloedfactor voor hoek van golfaanval in graden [°]

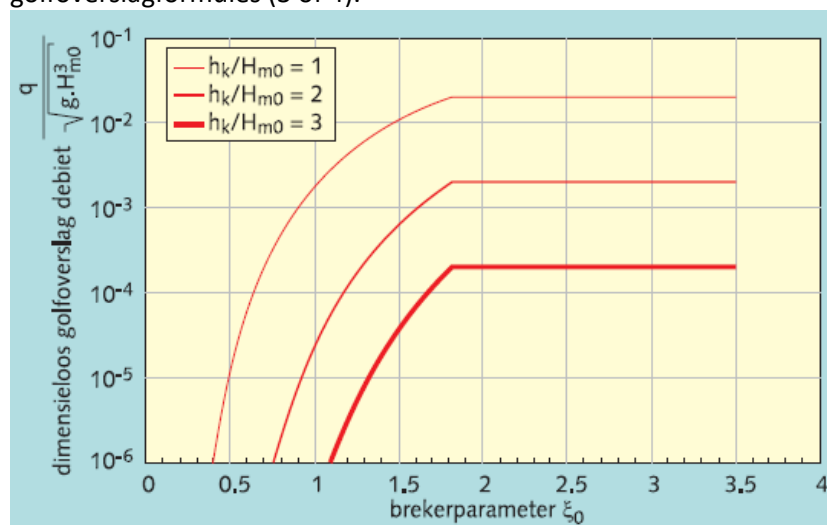
γ_v = invloedfactor van een aanwezige verticale wand op een talud [-]

10.5 Tabellen en grafieken

In de praktijk worden meestal tabellen en grafieken opgesteld, waarmee men het gemiddelde golfoverslagdebiet (q) en de golfoverslaghoogte (kruinhoogte h_k) op een snelle eenvoudige manier kan bepalen. De grafieken en tabellen zijn samengesteld voor een aantal realistische combinaties van de relevante kenmerken zoals o.a. de maatgevende windsnelheid, waterdiepte en de helling van het buitentalud. Hierna zal er toelichting gegeven worden op een grafiek. Voor meer tabellen en grafieken wordt er verwezen naar leidraden. De leidraad toetsen van regionale waterkeringen bevat aantal tabellen en grafieken.

10.5.1 Golfoverslagdebiet grafiek

Hierna wordt er toelichting gegeven op een golfoverslaggrafiek. De grafiek in figuur 10.2 kan worden gebruikt om voor een aantal standaard gevallen snel het gemiddelde golfoverslagdebiet te bepalen. Hiervoor dienen de kruinhoogte (h_k), de significante golfhoogte (H_{m0}) en de brekerparameter (ξ_0) bekend te zijn. In dit voorbeeld is uitgegaan van een dijk met een gladtalud onder een helling van 1:3 en loodrechte golfaanval. Voor afwijkende situaties dient men een ander figuur te gebruiken, of gebruik te maken van de golfoverslagformules (3 of 4).



Figuur 10.2: golfoverslag formules uitgezet in een grafiek [bron 6.5]

Op de horizontale as is de brekerparameter ξ_0 uitgezet en op de logaritmische verticale as het dimensionloze golfoverslagdebiet. In deze grafiek is er gerekend met drie verschillende dimensionloze kruinhoogtes h_k / H_{m0} . De kruinhoogte (h_k) en de significante golfhoogte (H_{m0}) worden gemeten vanaf de stilwaterlijn (SWL). De drie dimensionloze kruinhoogtes zijn weergegeven in de grafiek. De eerste lijn (van boven naar beneden) geldt voor een kruinhoogte h_k gelijk aan de significante golfhoogte H_{m0} ($h_k = H_{m0}$). De tweede lijn geldt voor een kruinhoogte gelijk aan twee keer de significante golfhoogte ($h_k = 2 \cdot H_{m0}$), en de derde lijn geldt voor een kruinhoogte van drie keer de significante golfhoogte ($h_k = 3 \cdot H_{m0}$). Uit de grafiek is o.a. af te lezen dat wanneer de kruinhoogte toeneemt, het golfoverslagdebiet afneemt. Wat verder opvalt, is in deze situatie de brekerparameter (ξ_0). Bij een $\xi_0 > 1,8$ breekt de golf niet meer en zal dus "ongestoord" overlopen.