

# rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging  
district kust en zee  
studiedienst hoorn

notitie WWKZ-79.H226

projectoedp

aan: adviserende diensten met betrekking tot kruinhoogte van dijken

van: ir. Broeders

datum: mei 1979

onderwerp: Golfloop bij strijkgolven.

## 1 Inleiding

Bij het dijksontwerp is het vaststellen van de golfploophoogte een van de bepalende factoren voor de kruinhoogte. Indien hierbij sprake is van een dijkvak aan de lijzijde van bijvoorbeeld een eiland dan wordt de golfloop, bij afluende wind, bepaald door golven als gevolg van refractie om het eiland. De hoek tussen de voortplantingsrichting van de golven en de normaal op de dijk is hierbij in het algemeen zo groot ( $> 60^\circ$  à  $70^\circ$ ) dat er sprake is van strijkgolven. Dit zelfde kan echter ook voor een vel op de wind gelegen dijkvak het geval zijn afhankelijk van de oriëntatie van het dijkvak ten opzichte van de voor het ontwerp maatgevend veronderstelde windrichting.

De golfloop van deze strijkgolven kan niet worden berekend met de gangbare formules (bijvoorbeeld Saville en Hunt) aangezien de hoek van golfval buiten het geldigheidsgebied van deze formules valt. Om desondanks een uitspraak te kunnen doen over de oploop van strijkgolven op een dijk, heeft de Studiedienst Hoorn de hoogteligging van vloedmerken vergeleken met de opgetreden golfhoogte. Dit heeft geresulteerd in de zogenaamde "strijkgolfhypothese". Ondanks dat de juistheid van deze hypothese niet met een theoretische benadering kan worden bewezen, wordt er op andere locaties wel gebruik van gemaakt. Teneinde de toepasbaarheid en de beperkingen van deze berekeningsmethode nader aan te geven, zal in deze notitie de wijze waarop de strijkgolfhypothese werd afgeleid worden toegelicht.

## 2 Afleiding van de strijkgolfhypothese

Strijkgolven zijn golven waarvan de golfvoortplantingsrichting een grotere hoek dan ongeveer  $60^\circ$  maakt met de normaal op de dijk. Voor de afleiding

van de hypothese werd gebruik gemaakt van vloedmerkwaarnemingen [1] op de Waddenzeedijk van Texel van 1953 en 1960.

Aangezien van beide stormen de windrichting en -snelheid op diverse tijdstippen bekend was werd in [2] de tijdens die beide stormen maximaal opgetreden  $H_g$ -waarden bepaald aan de hand van de voorgekomen windsnelheden. Voor de genoemde stormen werd voor  $H_g$  een waarde van ongeveer 0,8 à 0,9 m gevonden. Uit vergelijking met de waargenomen vloedmerkwaarnemingen bleek dat de waargenomen vloedmerkhoogten boven de hoogst bereikte waterstand destijds voor het beschouwde dijkvak gemiddeld ongeveer overeen kwamen met de gevonden  $H_g$ -waarde van 0,8 à 0,9 m.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het vloedmerk:

- a. een breedte kan hebben van ca. 1 m, afhankelijk van het materiaal;
- b. in hoogteligging op een dijkvak met een bepaalde strekking nogal varieert.

In [2] wordt verondersteld dat het vloedmerk door de hoogste golven ( $H_{max}$ ) op het dijkstalud is gedeponerd. Dit hoeft niet a priori waar te zijn: de golfoploop van een individuele golf wordt sterk beïnvloed door de "golfoploop" van de voorgaande golf. Verder wordt uitgegaan van een vaak gehanteerde vuistregel dat  $H_{max} \approx 2H_g$ .

De golfhoogte wordt gemeten tussen golftop en golfdal en de hoogte van het vloedmerk wordt gemeten ten opzichte van de gemiddelde waterstand (= getijhoogte); ergo: middenstand tot golftop. De vloedmerkhoogte bedraagt derhalve ongeveer:

$$\frac{1}{2} H_{max} \approx \frac{1}{2} \cdot 2H_g = H_g$$

boven de maximaal bereikte waterstand.

Indien wordt aangenomen, dat de veekrand wordt bepaald door  $H_{max}$ , wordt langs deze weg de hypothese plausibel gemaakt, die inhoudt dat de hoogte van het vloedmerk boven de maximaal bereikte waterstand ongeveer overeenkomt met  $H_g$ , hetgeen in het onderhavige geval tevens door de metingen van de vloedmerkhoogten in 1953 en 1960 in gemiddelde zin wordt bevestigd.

Toen [2] geschreven werd ontbraken echter nog gegevens omtrent de golfrichting bij stormen uit de maatgevende richting (NW).

In [3] wordt een verdere evaluatie van de strijkgolfhypothese gegeven. De resultaten van inmiddels verkregen luchtfoto's tonen aan, dat voor het overgrote deel van de Waddenzeedijk van Texel de golven inderdaad langs de dijk strijken. Inmiddels waren ook in een drietal meetpunten direkt voor de Waddenzeedijken van Texel aanvullende golfmetingen uitgevoerd. Mede op grond hiervan is voor de beide reeds eerder genoemde stormen (1953 en 1960) de tijdens die stormen maximaal opgetreden  $H_s$ -waarden bepaald aan de hand van de voorgekomen windsnelheden. Voor de genoemde stormen werd nu een waarde voor  $H_s$  gevonden van ongeveer 0,9 à 1,0 m. Er is dus nog steeds sprake van een gemiddelde overeenkomst met de waargenomen vloedmerkhoogten boven de destijds hoogst bereikte waterstand voor het beschouwde dijkvak.

Ondanks de aannamen en onzekerheden in het bovenstaande, wordt plausibel gemaakt, dat de hoogte van de veekrand boven de maximaal bereikte waterstand in orde van grootte overeenkomt met  $H_s$ . In gemiddelde zin wordt dit door de veekrandwaarnemingen van de eerdergenoemde stormen in 1953 en 1960 bevestigd.

### 3 De algemene toepasbaarheid van de strijkgolfhypothese

De strijkgolfhypothese is aan de hand van metingen bij de Waddenzeedijken van Texel opgesteld. Bij de toepassing van de strijkgolfhypothese voor andere locaties dient met het navolgende rekening te worden gehouden.

#### Algemeen

De resultaten van het onderzoek zijn gebaseerd op waarnemingen op Texel en onder omstandigheden waarbij waterstand en golfhoogte niet overeenkomen met de omstandigheden tijdens een superstormvloed.

In hoeverre het toelaatbaar is de voor Texel afgeleide strijkgolfhypothese toe te passen voor andere locaties waar strijkgolven optreden is niet aan te geven.

Bij toepassing van de strijkgolfhypothese voor andere dijken, zal dan ook in principe de geldigheid hiervan door middel van metingen moeten worden vastgesteld.

Taludhelling

De taludhelling van de dijkvakken op Texel bedroeg ongeveer 1:4. Aangenomen mag worden dat ook bij golfoploop ten gevolge van strijkgolven de taludhelling een rol speelt. Dit betekent dat de voor Texel afgeleide strijkgolfhypothese niet zonder meer van toepassing is op situaties met een afwijkende taludhelling.

Aangezien gegevens voor het opstellen van een aangepaste strijkgolfhypothese bij andere, bijvoorbeeld relatief flauwe, taluds ontbreken, zal volstaan moeten worden met een algemene beschouwing.

Voor de opzet van deze beschouwing wordt de situatie op Texel nader gezien. Als de taludhelling op 1:4 gesteld wordt betekent dit dat bij loodrechte golfinval de 2% golfoploophoogte (exclusief reductiefactor voor ruwheid), volgens  $z_{2\%} = 8 \cdot H_s \cdot \text{tg} \alpha \cdot \cos \beta$ , gelijk is aan  $2H_s$ .

Uit de strijkgolfhypothese volgt dat de "maximale" golfoploophoogte  $H_s$  bedraagt. Voor onder een hoek invallende golven bedraagt de 2% golfoploophoogte  $2H_s \cdot \cos \beta$  met dien verstande dat voor  $\beta$  een bovengrens van circa  $60^\circ$  à  $70^\circ$  wordt gehanteerd.

Aangezien  $\cos 60^\circ = 0,5$  is de 2% golfoploophoogte bij een invalshoek van  $60^\circ$  dus ook  $H_s$  (en derhalve gelijk aan de oploophoogte bij strijkgolven). In onderstaande figuur is dit nader aangegeven.

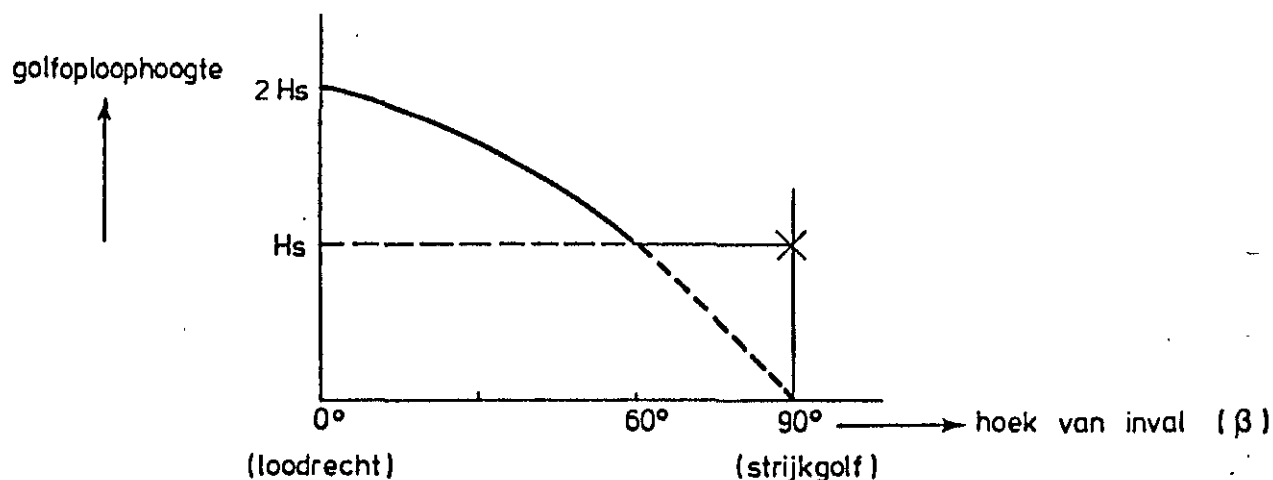


Fig. 1: Golfoploophoogte Texel als functie van de hoek van inval bij taludhelling 1:4

Weliswaar is bij de strijkgolven sprake van een "maximale" golfoploophoogte en voor het overige van een 2% golfoploophoogte maar gezien het karakter van de hypothese ware deze "extra" veiligheid te handhaven.

Als nu de, op de situatie te Texel (taludhelling 1:4) gebaseerde, beschouwing op een andere locatie (taludhelling bijvoorbeeld 1:7) wordt toegepast ontstaat de volgende figuur:

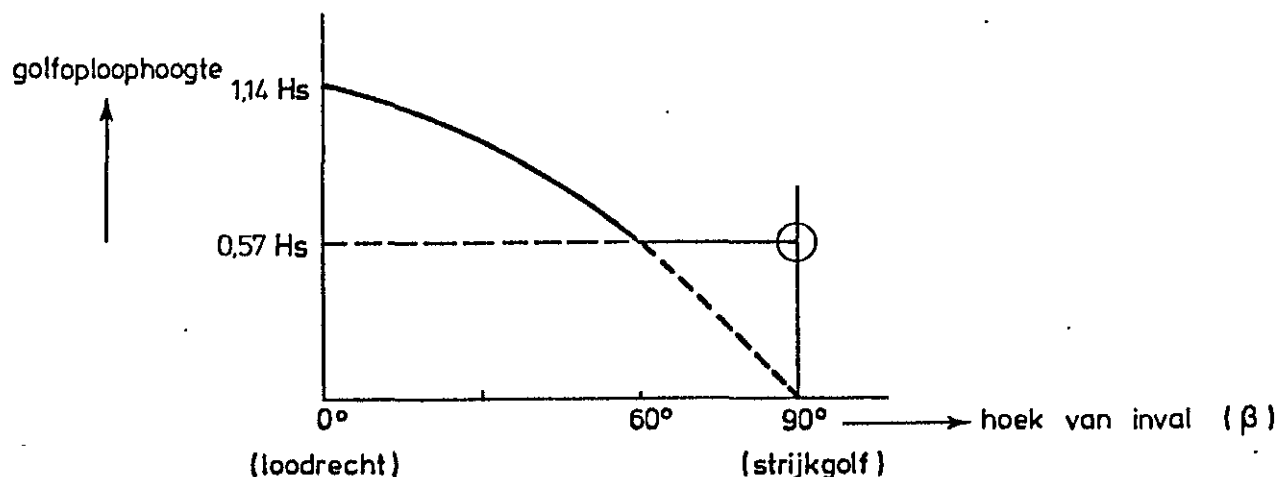


Fig. 2: Golfoploophoogte willekeurige locatie als functie van de hoek van inval bij taludhelling 1:7.

Bij loodrechte golfinval en een taludhelling van 1:7 bedraagt de 2% golfoploophoogte volgens  $z_{2\%} = 8 \cdot H_s \cdot \text{tgx} \cdot \cos \beta$

namelijk  $1,14 H_s$ . Bij een invalshoek van  $60^\circ$  is de 2% golfoploophoogte gelijk aan de helft hiervan te weten  $0,57 H_s$ .

Uit deze beschouwing volgt dan dat voor deze locatie een aangepaste strijkgolfhypothese gehanteerd zou kunnen worden waarbij de golfoploophoogte circa  $0,57 H_s$  bedraagt boven de maximale (ontwerp-)waterstand.

-Bermen-

Bermen

Over de reducerende invloed van een berm op de golfoploophoogte bij strijkgolven zijn geen kwantitatieve gegevens bekend. In algemene zin mag echter verwacht worden dat een berm ook bij strijkgolven de golfoploophoogte reduceert. Een van de mogelijkheden om de berm in rekening te brengen is door deze te verdisconteren in de taludhelling door middel van het vaststellen van de "equivalente" taludhelling van het bij de golfoploop van belang zijnde gedeelte van het dijksprofiel [4] .

4 Conclusies

Als bij het bepalen van de golfoploophoogte voor strijkgolven gebruik gemaakt wordt van een strijkgolfhypothese dienen de omstandigheden ter plaatse (met name de taludhelling) in aanmerking genomen te worden teneinde vast te stellen in welke vorm de hypothese gehanteerd kan worden. De voor Texel afgeleide strijkgolfhypothese is zeker niet universeel toepasbaar.

Zoals uit het voorafgaande blijkt kan de strijkgolfhypothese in algemene zin wellicht gerelateerd worden aan de gangbare golfoploopformules door de reductie die hierin gehanteerd wordt voor de hoek van golfinval voor hoeken groter dan  $60^{\circ}$  niet verder in rekening te brengen maar constant (gelijk aan  $\cos 60^{\circ} = 0,5$ ) te veronderstellen.

Over de invloed van andere factoren op de golfoploop bij strijkgolven zoals de aanwezigheid van een berm en de ruwheid van het talud zijn kwantitatief geen gegevens bekend.

## rijkswaterstaat

---

behoort bij: notitie

WWKZ nr. 79.H226

datum: mei 1979

bladnr: 7

- [1] "Vereiste dijktafelhoogte Zeedijken Texel".  
Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, nota 62.12, 1963.
- [2] "Over de kruinhoogte van de Waddenzeedijk van Texel".  
Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, nota 74.6, juni 1974.
- [3] "Verhoging van de Waddenzeedijk van Texel".  
Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn, nota 75.6, februari 1976.
- [4] "Golfoploop en golfoverslag".  
Technische adviescommissie voor de waterkeringen, Den Haag, 1972.