

## Keywords

Maatgevende hydraulische belastingen GEBU, duiding hydraulische belastingen, gedetailleerde beoordeling per vak Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU).

## Indiener voorbeeld

Waterschap Zuiderzeeland (ZZL) en adviesbureau DIJK53.

## Type voorbeeld

De hydraulische belasting bepaalt, samen met de sterkte, de faalkans van de waterkering. Duiding en een goed begrip van de hydraulische belasting zijn daarbij van wezenlijk belang om onterecht goedkeuren van de bekleding te voorkomen. Dit voorbeeld laat zien hoe met behulp van RisKeer en Hydra-NL de hydraulische belasting voor de gedetailleerde beoordeling per vak van Grasbekleding Erosie Buitentalud (GEBU) bij golfklappen geduid kan worden en op grond daarvan keuzes voor de verschillende mogelijke en maatgevende belastingssituatie kunnen worden gemaakt. Bij het beoordelen van de bekledingen op het buitentalud kunnen vervolgens verschillende belastingcombinaties worden doorgerekend. Dit voorkomt dat er onterecht wordt goedgekeurd

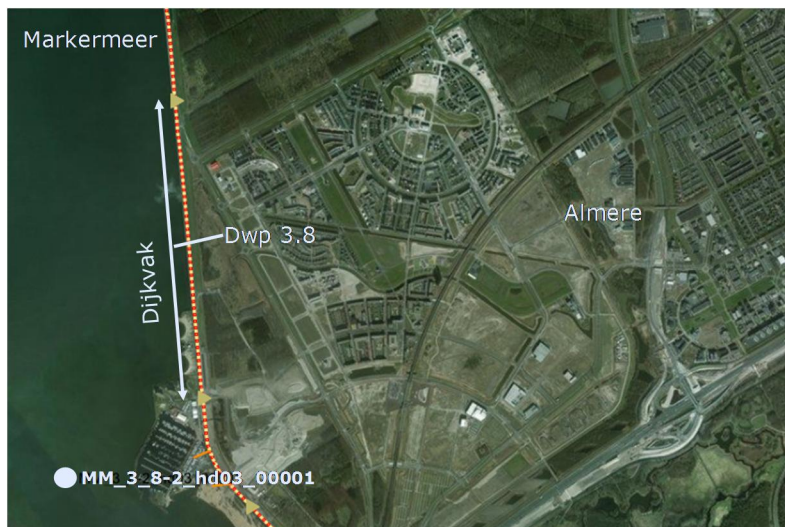
De eenvoudige toets komt niet aan de orde in dit voorbeeld.

## Status voorbeeld

Definitief, 31 mei 2018. Opstellers: Barry Ros en Derk-Jan Sluiter. Review door: Waterschap Zuiderzeeland (Roy Mom) en WVL (Robert Slomp).

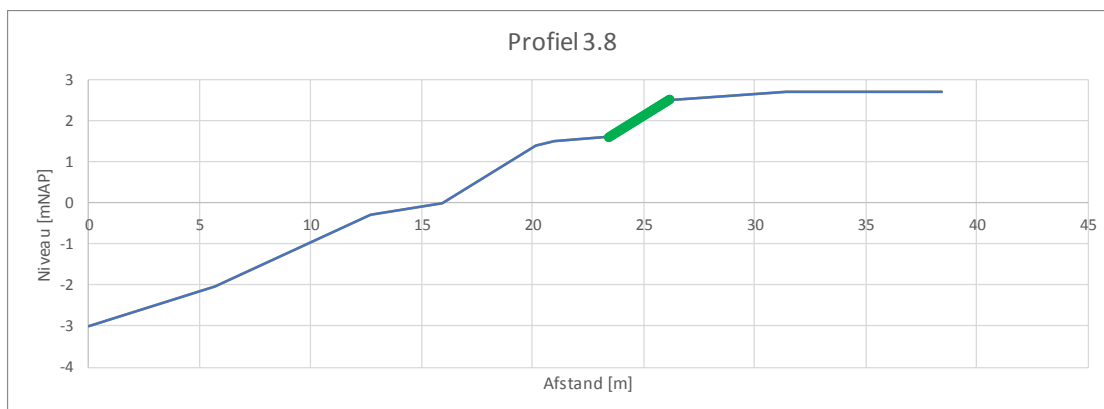
## Casebeschrijving

Deze case omschrijft de duiding van de hydraulische belasting voor GEBU, golfklappen, teneinde tot een keuze te komen voor de maatgevende belastingssituatie. De case is uitgewerkt voor een dijkvak in normtraject 8-2 (signaleringswaarde: 1/30.000; ondergrens 1/10.000) langs het Markermeer. Het betreft een dijk in het beheergebied van waterschap Zuiderzeeland (ZZL) nabij Almere Poort. De ligging van het dijkvak is weergegeven in Figuur 1. Het dichtstbijzijnde uitvoerpunt voor het bepalen van de hydraulische belastingen is MM\_3\_8-2\_hd03\_00001.



Figuur 1. Locatie beoordeeld vak en profiel

De waterkering is opgebouwd uit een zandcunet met daarop de zandkern en is afgedekt met een kleilaag. Op het buitentalud is op het onderbeloop een harde bekleding aangebracht; het bovenste deel van het buitentalud tot aan de kruin (taludhelling is flauwer dan 1:2,5) bestaat uit een niet fragmentarische grasbekleding. Op de berm is een fietspad aanwezig. Profiel 3.8 is representatief voor het dijkvak, zie Figuur 2.



Figuur 2. Profiel 3.8 (groene lijn is grasbekleding)

Dit voorbeeld omschrijft stapsgewijs de gedetailleerde beoordeling per vak voor GEBU. Daarbij wordt eerst stilgestaan bij de bepaling en analyse / duiding van de hydraulische belastingen. Vervolgens wordt gekomen tot de schematisatie van twee belastingcombinaties als invoer voor BM Gras Buitentalud.

### Gedetailleerde toets per vak GEBU

Erosie van de grasbekleding is afhankelijk van de belasting en de sterkte van de grasbekleding en, als de grasbekleding in de golfklapzone ligt, de onderliggende kleilaag. Omwille van de navolgbaarheid wordt de gedetailleerde toets per vak vanaf de eerste stap weergegeven.

Omdat het toetsspoor GEBU in groep 3<sup>1</sup> valt zijn meerdere berekeningen met aangepaste hydraulische belastingen nodig om de afstand tot de norm te bepalen. Voor het toetsspoor GEBU dienen de hydraulische belastingen worden afgeleid van de eis op vakniveau. Dit betekent dat voor het bepalen van de categorie waaraan een vak voldoet, de hydraulische belasting bij de in onderstaande tabel weergegeven eisen moet worden afgeleid.

| Categorie        | Faalkanseis op vakniveau/<br>eis waarbij de hydraulische belasting moeten worden afgeleid | Herhalings tijd<br>[jaar] |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| I <sub>v</sub>   | $30^{-1}P_{eis;sig;dsn}$                                                                  | 54.000.000 <sup>2</sup>   |
| II <sub>v</sub>  | $P_{eis;sig;dsn}$                                                                         | 1.800.000 <sup>2</sup>    |
| III <sub>v</sub> | $P_{eis;ond;dsn}$                                                                         | 600.000 <sup>2</sup>      |
| IV <sub>v</sub>  | $P_{eis;ond}$                                                                             | 10.000                    |
| V <sub>v</sub>   | $30P_{eis;ond}$                                                                           | 333                       |

NB: de faalkanseis per doorsnede  $P_{eis;dsn}$  is afhankelijk van de faalkansruimtefactor  $\omega$  (0,05 voor het toetsspoor GEBU) en lengte-effectfactor  $N_{dsn}$  (3 voor dijktraject 8-2) en wordt als volgt bepaald:  $P_{eis;dsn} = \omega P_{eis;dsn} / N_{dsn}$

Voor deze case wordt de beoordeling gestart met een berekening bij  $P_{eis;ond;dsn}$ . Afhankelijk van het resultaat moeten ook bij kleinere en grote herhalings tijden een analyse van de belasting en sterkte uitgevoerd worden om de afstand tot de norm te bepalen. Deze berekeningen vallen buiten het bestek van dit voorbeeld; zie daarvoor het voorbeeld over Assemblage op de website van de helpdesk water ([https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/132699/voorbeeld\\_assembleren\\_2\\_assembleren\\_van\\_toetsporen\\_uit\\_toetspoorgroep\\_3.pdf](https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/132699/voorbeeld_assembleren_2_assembleren_van_toetsporen_uit_toetspoorgroep_3.pdf)).

De gedetailleerde toets bestaat uit twee stappen. In de eerste stap wordt gecontroleerd of wordt voldaan de aan de toepassingsvoorwaarde voor de rekenregels voor de sterkte. De tweede stap betreft een analyse van de belasting en sterkte.

#### Stap G.1: Voldoet aan de toepassingsvoorwaarde voor de gedetailleerde toets.

De toepassingsvoorwaarden betreffen:

<sup>1</sup> Toetssporen waarbij in de gedetailleerde toets een semi-probabilistische analyse wordt uitgevoerd

<sup>2</sup> Let op: hydraulische belastingen bij dergelijk grote herhalings tijden zijn indicatief

- De graskwaliteit dient een open of gesloten zode te zijn.
- De taludhelling dient 1V:2,5H of flauwer te zijn.

Omdat aan beide toepassingsvoorwaarden wordt voldaan is het rekenmodel toepasbaar

Vervolgens moet worden nagegaan of de grasbekleding zich in de golfklap- of golfoploopzone bevindt. Indien de bekleding ligt onder de waterstand behorend bij de faalkanseis van de doorsnede, ligt deze in de golfklapzone en wordt verder gegaan met Stap G.2b.

RisKeerDe waterstand bij de doorsnede-eis (1/600.000) kan met RisKeer worden bepaald. Voor het uitvoerpunt MM\_3\_8-2\_hd03\_00001 bedraagt deze 2,17 m+NAP. De onderkant van de grasbekleding ligt op 1,60 m+NAP. De grasbekleding ligt in de golfklapzone. De beoordeling wordt daarom voortgezet met Stap G.2b.

#### Stap G.2b: Analyse belasting en sterkte grasbekleding in de golfklapzone.

##### *Hydraulische belasting - werkwijze*

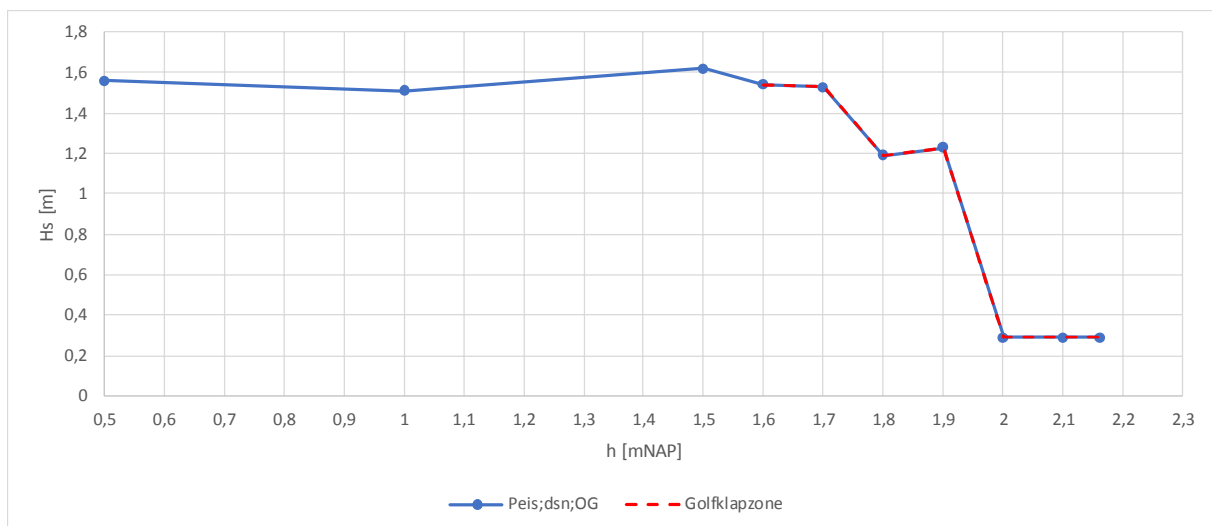
De faalfractione van de bekleding wordt berekend met BM Gras Buitentalud. Belangrijke invoer daarvoor is de hydraulische belasting. Hierbij zijn twee zaken van belang:

1. De golfcondities bij verschillende waterstandniveaus
2. De stormduur als maat voor de belastingduur

Het procedé is dat in BM buitentalud met een 'synthetische storm' de in RisKeer gevonden golfhoogte per waterstandsniveau de grasbekleding belast volgens het waterstandsverloop uit tabel 6.4 en figuur 6.1 uit de Schematiseringshandleiding Grasbekleding (SHG). Voor het Markermeer betreft dit een stormopzetduur van 35 uur.

##### *Bepalen hydraulische belasting en hypothese belastingssituaties*

Met RisKeer worden bij verschillende waterstandniveaus de golfcondities gevonden zoals weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3. Golfhoogtes bij verschillende waterstandniveaus

Het valt op dat de golfhoogte abrupt afneemt bij een waterstanden vanaf 1,7 m+NAP. Dat is tegenintuïtief, omdat de verwachting is dat waterstand en wind aan deze zijde van Markermeer sterk gecorreleerd zijn en dus de golfhoogte zou toenemen met de waterstand. Deze constatering is aanleiding om de gevonden waterstand-golfhoogtecombinaties nader te duiden.

Het verloop in Figuur 3 zou er op kunnen duiden dat de waterstand tot circa 1,7 m+NAP ontstaat door windopzet en dat bij hogere waterstanden het meerpeil (niet windgedomineerd, zie Deltares, 2017, B,

paragraaf 2.4.3) een dominante rol speelt<sup>3</sup>. Als deze hypothese juist blijkt te zijn, is het hierboven en in de Schematiseringshandleiding Grasbekleding (SHG) geschetste procedé mogelijk niet afdoende omdat er mogelijk sprake is van twee belastingsituaties in de golfklapzone:

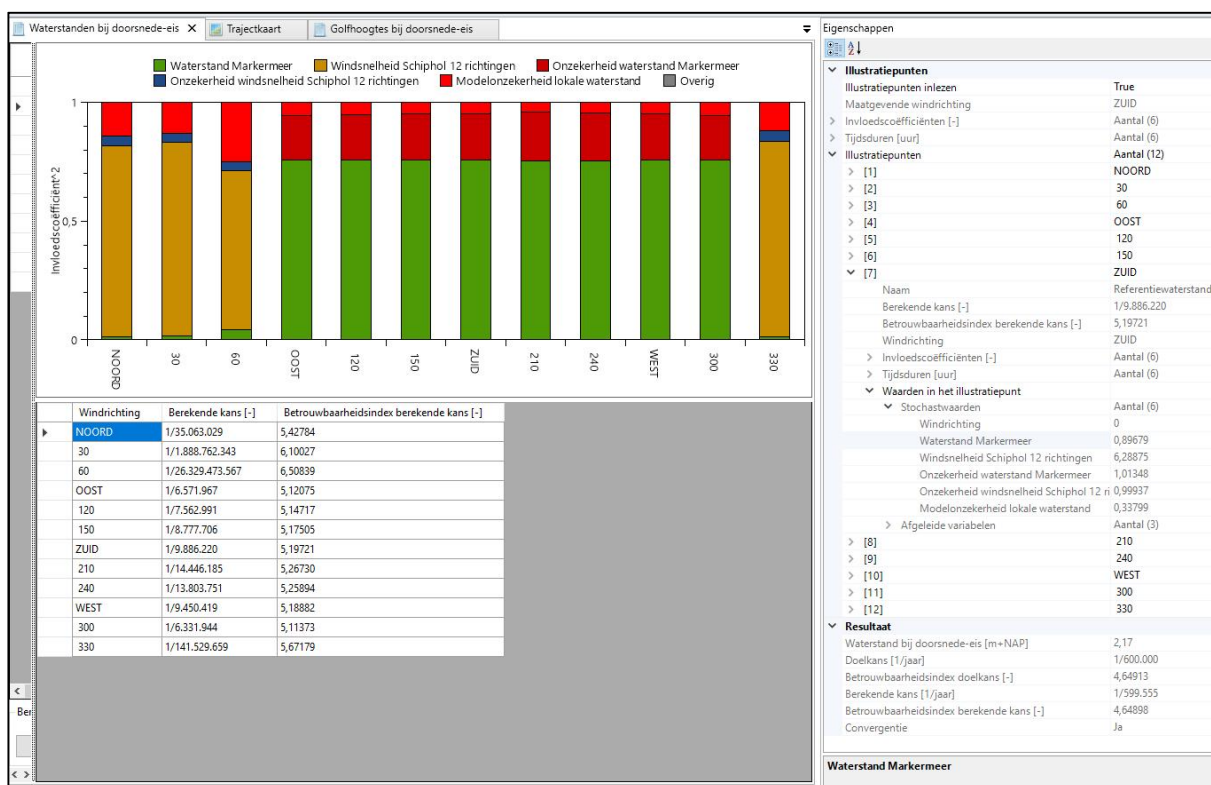
1. Winddominantie (kansruimte gaat grotendeels op aan windsnelheid): combinatie van hoge golven met gedurende een relatief korte belastingtijd (namelijk de stormopzetduur van 35 uur)
2. Meerpeildominantie (kansruimte gaat grotendeels op aan het meerpeil): combinatie van lage golven met een relatief lange belastingtijd (namelijk een basis van 30 dagen met een topduur van 96 uur, zie Deltares, 2017, B, paragraaf 2.7.3)

In dit voorbeeld staat de volgende vraag centraal: met welke (of beide) van bovengenoemde belastingcombinaties moet voor GEBU gerekend worden?

### Duiding hydraulische belasting

De hypothese is getoetst door gebruik te maken van de mogelijkheid om met behulp van RisKeer de hydraulische belasting nader te duiden. Dit kan door in RisKeer de invloedscoëfficiënten te visualiseren. De invloedscoëfficiënten geven het relatieve belang weer van de verschillende stochasten op het rekenresultaat. Helaas is het niet mogelijk de invloedscoëfficiënten weer te geven op het niveau van de golfcondities per waterstand.

Voor de waterstand en golfcondities bij de doorsnede-eis is dat wel mogelijk. De verwachting volgens bovenstaande hypothese is dat de waterstand bij de doorsnede-eis gedomineerd wordt door het (windonafhankelijke) meerpeil. Figuur 4 geeft de invloedscoëfficiënten voor de waterstand bij de doorsnede-eis weer. Te zien is dat de waterstand gedomineerd wordt door het meerpeil voor 8 van de 12 beschouwde windrichtingen (groene balk). Het meerpeil levert de grootste kansbijdrage aan de waterstand bij de doorsnede-eis.



Figuur 4. Invloedscoëfficiënten volgens RisKeer waterstand bij de doorsnede-eis

<sup>3</sup> Met andere woorden: de kansruimte gaat grotendeels op aan het meerpeil. Voor ieder 'rekenpunt' in Figuur 3 in riskeer en Hydra-NL wordt dezelfde overschrijdingsfrequentie aangehouden, in dit geval 1/600.000. Dat betekent dat bij toenemend meerpeil (meer kansruimte), de windsnelheid moet afnemen (minder kansruimte).

Hydra-NL geeft op een iets andere wijze de kansbijdragen weer. Om na te gaan of de conclusie dat de waterstand bij de doorsnede-eis gedomineerd wordt door het meerpeil, is voor dezelfde uitvoerlocatie en herhalingstijd in Hydra-NL een berekening gemaakt. Het resultaat is weergegeven in Figuur 5.

Illustratiepunten bij waterstand 2.03 (m+NAP) en terugkeertijd 6.00E+05 (jaar)

Locatie = MM\_3\_8-2\_hd03\_00001 (137066,483471)  
 Berekeningstype = Waterstand  
 Waterstand = 2.03 (m+NAP)  
 Terugkeertijd = 6.00E+05 (jaar)  
 Overschrijdingsfrequentie = 1.67E-06 (per jaar)

| r     | meerp.<br>m+NAP | -- | -- | windsn.<br>m/s | waterst.<br>m+NAP | ov. freq<br>*0.001/whj | ov. freq<br>% |
|-------|-----------------|----|----|----------------|-------------------|------------------------|---------------|
| 30.0  | 1.41            | -- | -- | 6.9            | 2.03              | 0.000                  | 5.9           |
| 60.0  | 1.43            | -- | -- | 7.5            | 2.03              | 0.000                  | 6.0           |
| 90.0  | 1.49            | -- | -- | 6.0            | 2.03              | 0.000                  | 2.6           |
| 120.0 | 1.52            | -- | -- | 6.0            | 2.03              | 0.000                  | 1.0           |
| 150.0 | 1.52            | -- | -- | 6.0            | 2.03              | 0.000                  | 1.3           |
| 180.0 | 1.52            | -- | -- | 6.0            | 2.03              | 0.000                  | 2.0           |
| 210.0 | 1.52            | -- | -- | 7.5            | 2.03              | 0.000                  | 2.6           |
| 240.0 | 1.52            | -- | -- | 9.0            | 2.03              | 0.000                  | 2.3           |
| 270.0 | 1.52            | -- | -- | 9.0            | 2.03              | 0.000                  | 1.7           |
| 300.0 | 1.48            | -- | -- | 7.5            | 2.03              | 0.000                  | 2.5           |
| 330.0 | 1.39            | -- | -- | 7.7            | 2.03              | 0.000                  | 25.4          |
| 360.0 | -0.28           | -- | -- | 32.7           | 2.03              | 0.001                  | 46.9          |
| som   |                 |    |    |                |                   | 0.002                  | 100.0         |

Figuur 5. Kansbijdragen volgens Hydra-NL waterstand bij de doorsnede-eis

Hydra-NL bevestigt het beeld dat de invloedscoëfficiënten uit RisKeer schetsen: het meerpeil levert ruim 53% van de kansbijdrage aan de waterstand bij de doorsnede-eis.

In Figuur 4 en Figuur 5 is echter ook te zien dat, hoewel niet dominant, wind wel degelijk bijdraagt aan de waterstand bij de doorsnede-eis. Het hoogste stochastwaarde van het meerpeil volgens RisKeer bedraagt ongeveer 0,92 m+NAP (illustratiepunt [8]). Hydra-NL laat een maximaal meerpeil zien van 1,52 m+NAP. In beide gevallen is het meerpeil lager dan de golfklapzone (1,6 m+NAP tot 2,17 m+NAP). De 'kop' op de waterstand bij de doorsnede-eis wordt dus veroorzaakt door wind.

Nogmaals: het is in RisKeer versie 17.3.1 nog niet mogelijk om bij dezelfde herhalingstijd voor verschillende waterstandniveaus (zoals weergegeven in Figuur 3) de kansbijdragen te tonen. Het is dus niet mogelijk om bij de eerste waterstand met een substantieel lagere golfhoogte (tussen 1,9 en 2,0 m+NAP) te controleren of ook daar het meerpeil niet in de golfklapzone reikt. De grafiek in Figuur 3 volgend, is echter de verwachting dat de meerpeildominantie toeneemt met het afnemen van de golfhoogte en dat de bij de waterstand bij de doorsnede-eis gevonden meerpeilen de derhalve de hoogste zijn.

#### Conclusies

Terug naar de vraagstelling: met welke belastingsituaties moet voor GEBU gerekend worden?

De belastingcombinatie 'hoge golven en korte belastingduur': hierbij is het waterstandsverloop in BM Gras Buitentalud geschematiseerd als een 'synthetische storm' volgens het waterstandsverloop in figuur 6.1 van de SHG.

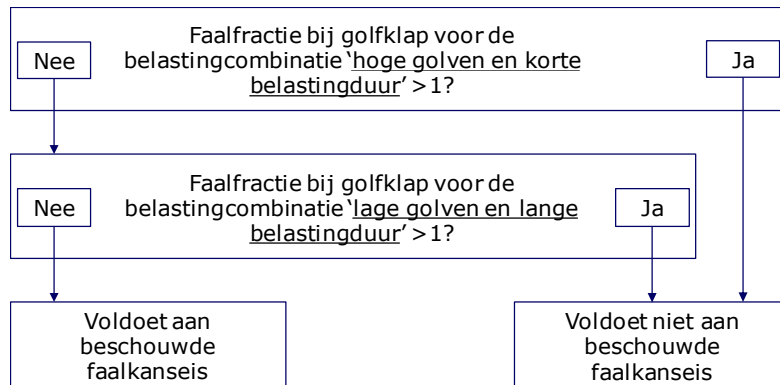
De belastingcombinatie 'kleine golven en lange belastingduur': het waterstandsverloop is in BM Gras Buitentalud geschematiseerd met 'directe invoer'.

Hieronder zijn de belastingsituaties nader uitgewerkt.

Analyse golfklap in BM Gras Buitentalud

*Werkwijze analyse golfklap in BM Gras Buitentalud*

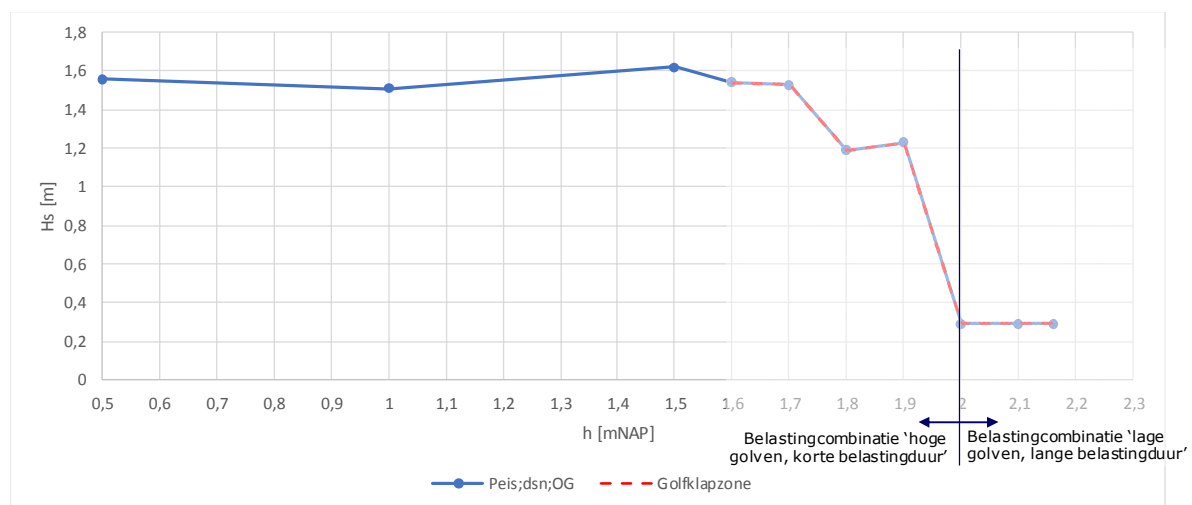
In het geval dat gebleken was dat het meerpeil wèl tot in de golfklapzone had gereikt, hadden in BM Gras Buitentalud mogelijk beide belastingcombinaties bekeken moeten worden volgens het generieke schema in Figuur 6.



*Figuur 6. Belastingsituaties in BM Gras Buitentalud*

*Schematisatie belastingsituaties*

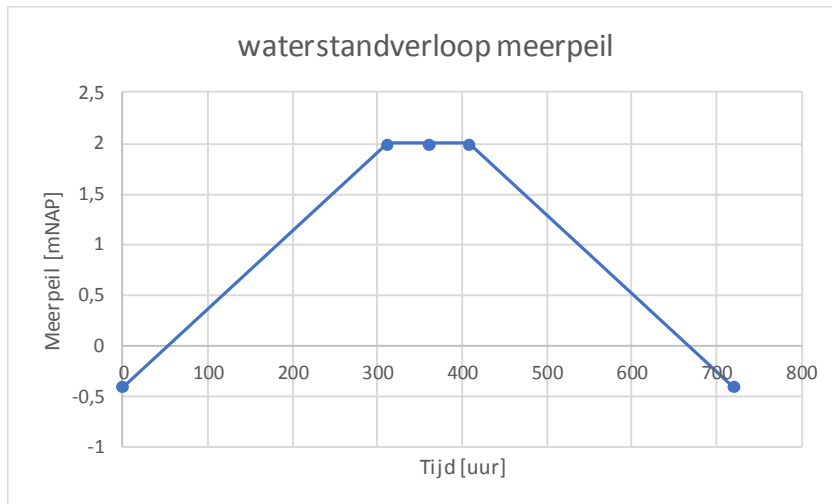
Hoewel niet van toepassing voor deze casus, is omwille van het voorbeeld bekeken tot welke schematisaties van de belastingsituaties zou zijn gekomen indien beide van toepassing waren. Hierbij is ervan uitgegaan dat het meerpeil vanaf 2,0 m+NAP in de golfklapzone zou vallen, zie Figuur 7.



*Figuur 7. Belastingsituaties tot en vanaf 2,0 m+NAP*

De belastingcombinatie ‘hoge golven en korte belastingduur’: hierbij is het waterstandsverloop in BM Gras Buitentalud geschematiseerd als een ‘synthetische storm’ volgens het waterstandsverloop in figuur 6.1 van de SHG. De piek van de storm is hierbij gelegd op de waterstand met de grootste golfhoogte (1,6 m+NAP) + 0,1 m. De gehanteerde golfhoogte tijdens de piek is de grootste golfhoogte in de golfklapzone (1,54 m).

De belastingcombinatie ‘kleine golven en lange belastingduur’: het waterstandsverloop is in BM Gras Buitentalud geschematiseerd met ‘directe invoer’. Hierbij zijn een basis van 30 dagen (720 uur) en een piek van 96 uur gehanteerd. Het waterstandsniveau tijdens start en piek van de meerpeilstijging is aangenomen op resp. winterpeil (0,4 m-NAP) en 2,0 m+NAP. Dat resulteert in het verloop volgens Figuur 8. De gehanteerde golfhoogte tijdens de piek is 0,29 m.



Figuur 8. Waterstandsverloop meerpeil

#### Berekening faalfractie golfklap BM Gras Buitentalud

De belastingcombinatie 'hoge golven en korte belastingduur' leidt tot een faalfractie  $> 1$ .

Volgens het schema in Figuur 6, is het niet nodig de andere situatie te bekijken; de bekleding is immers al gefaald. Omwille van het voorbeeld is dit toch gedaan. Het resultaat van de belastingcombinatie 'kleine golven en korte belastingduur' is een faalfractie  $< 1$  (de toplaag bezwijkt, maar de sublaag van klei niet; gecombineerd is de faalfractie  $< 1$ ). Ook wanneer de piek van het meerpeil op 2,17 m+NAP (waterstand bij de doorsnede-eis) gelegd wordt, is de faalfractie  $< 1$ .

#### Conclusie en aanbevelingen

In het merengebied (maar ook in de benedenloop van rivieren) worden de hydraulische belastingen bepaald door belastingcombinaties waarin wind- en meerpeil (of: afvoer-)dominantie beide aan de orde kunnen zijn. Het is zinvol om in RisKeer (eventueel aangevuld met Hydra-NL) na te gaan in hoeverre verschillende belastingcombinaties zich voordoen. Omdat RisKeer geen volledig inzicht geeft in de kansbijdragen per waterstandsniveau, is het raadplegen van een specialist aanbevolen.

Bij het beoordelen van de bekledingen op het buitentalud kunnen vervolgens verschillende belastingcombinaties worden doorgerekend. Dit voorkomt dat er onterecht wordt goedgekeurd.

#### Bronnen

Ringtoets, versie 17.2.2.13491

BM Gras Buitentalud, versie 17.1.1.4941

Deltares, 2017, B. Hydraulische Belastingen Meren, Wettelijk beoordelingsinstrumentarium 2017

Staatscourant 2016 nr. 65697, 2016. *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Bijlagen II en III.

RWS – WVL, 2018. *Schematiseringshandleiding grasbekleding*, Rijkwaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving - Ministerie van Infrastructuur en Milieu, status: definitief, 17 april 2018

Waterschap Zuiderzeeland, Legger primaire waterkeringen, profiel Dp. 3.80 (3.00-4.71)