

Beoordelingsmethodiek Open Steen Asfalt

Probabilistische methode AGK



Beoordelingsmethodiek Open Steen Asfalt
Probabilistische methode AGK

Auteur(s)

Frans van den Berg

Bernadette Wichman

Beoordelingsmethodiek Open Steen Asfalt

Probabilistische methode AGK





| | |
|-----------------------|---|
| Opdrachtgever | Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving |
| Contactpersoon | Myron van Damme |
| Referenties | Zie literatuur |
| Trefwoorden | Toets op Maat, AGK, Open steen asfalt, WBI, asfaltbekleding, probabilistische analyse |

Documentgegevens

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Versie | 1.1 |
| Datum | 14-12-2021 |
| Projectnummer | 11206793-005 |
| Document ID | 11206793-005-ZWS-0002 |
| Pagina's | 78 |
| Classificatie | |
| Status | definitief |

Auteur(s)

| | | |
|--|--|--|
| | Frans van den Berg Bernadette Wichman | |
| | | |

| Doc. Versie | Auteurs | Controle | Akkoord | Publicatie |
|-------------|--|--|--|------------|
| 0.8 | Frans van den Berg Bernadette Wichman | Robert 't Hart Wim Kanning | Goaitske de Vries | |
| 1.0 | Frans van den Berg Bernadette Wichman | Wim Kanning | Goaitske de Vries | |
| 1.1 | Frans van den Berg  Bernadette Wichman  | Wim Kanning  | Goaitske de Vries  | |

Samenvatting

Het doel van dit project is om voor het faalmechanisme golfklap (AGK) een probabilistische berekening op doorsnedeniveau uit te voeren voor één specifieke case (dijkvak 8-1) met een open steenasfalt bekleding (OSA) op dijken langs de randmeren bij het Waterschap Zuiderzeeland. Deze berekening is een eerste stap in de generieke implementatie van een probabilistische beoordelingsmethodiek van OSA, deze berekening dient dus vooral om te bepalen of het mogelijk is om een probabilistische analyse voor het AGK mechanisme van OSA te maken en wat hier nog even voor nodig is. Dit rapport is een aanvulling op de werkwijzebeschrijving van OSA, zoals opgesteld door KOAC NPC in 2013 [KOAC NPC, 2013b]. Deze werkwijze ging niet uit van een probabilistische beoordeling.

Om dit doel te bereiken is gebruik gemaakt van een door Deltares, in het kader van WBI2017, voor Waterbouwasfaltbeton (WAB) ontwikkeld Matlabscript. In dit script wordt gebruik gemaakt van het rekenhart (kernel) van de beoordelingstool GOLFKLAP 1.3 ter beoordeling van asfaltbekledingen, waarbij de vermoeiing van het asfalt probabilistisch wordt bepaald middels een FORM-analyse. De input van dit script voor de beschouwde case bestaat uit:

- Materiaal- en geometriekenmerken uit het eerder uitgevoerd onderzoek voor deze case door Kiwa KOAC.
- Een eerste benadering van het Hydraulisch belastingmodel.

Voor de randmeren is op dit moment geen gecombineerde statistiek van golfparameters en waterstand voor handen, d.w.z. deze is nog niet uit HydraRing afgeleid. In dit rapport is als eerste benadering gerekend met een conservatieve vaste waterstand en met de voor de beschouwde locaties geldende marginale golfstatistiek. Deze marginale golfstatistiek is verkregen uit Riskeer. De conservatieve vaste waterstand is zo gekozen dat het OSA maximaal door de golven wordt belast. In een mogelijke vervolgstap kan het volledige belastingmodel uit HydraRing worden gebruikt. Dit is iets bewerklijker.

In de beoordeling zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Alleen het faalmechanisme Golfklap (AGK) is beschouwd, de overige faalmechanismen niet.
- Er is analogie gezocht en gevonden met de beoordelingsmethodiek AGK voor WAB.
- De beoordelingsmethodiek betreft alleen de bekleding op het buitentalud.
- De modelonzekerheidsfactor (m_d) is voor OSA nog niet bekend, daarom is deze niet meegenomen in de berekening. Dit moet t.z.t wel gebeuren om tot een volledige beoordeling te komen.
- De reststerkte van eventueel aanwezige onderlagen is in de berekeningen niet meegenomen. Voor case Zuiderzeeland is er geen onderlaag (fundering) aanwezig en ook geen geotextiel tussen het OSA en het onderliggende zand.
- Er is geen levensduurmodel voor het OSA toegepast, omdat de beproevingsdatum van het OSA minder dan 5 jaar voor de peildatum ligt.

Uit de berekeningen volgt een faalkans op doorsnedeniveau bij $\beta = 5,52$ conditioneel aan de meest ongunstige waterstand. De uitgeïntegreerde jaarkans kan niet worden bepaald door het ontbreken van de hoogwaterstatistiek. De uit de trajectnorm afgeleide doorsnede-eis (signaleringswaarde, jaarkans) is $\beta = 5,28$. Deze laatste mag men echter niet direct met de conditionele β van 5,52 vergelijken.

Er kan worden geconcludeerd dat:

- Het mogelijk is om met de genoemde inputgegevens (sterkte en belasting) en het matlabscript dat is ontwikkeld voor WAB ook voor OSA een faalkans te berekenen voor het AGK mechanisme. Verwacht wordt dat ook andere OSA bekledingen zo probabilistisch kunnen worden doorgerekend. Met GOLFKLAP 1.3 is het niet mogelijk om direct probabilistische berekeningen binnen het programma uit te voeren, wel via een probabilistische schil eromheen zoals in dit project.
- De belangrijkste stochasten die een bijdrage leveren aan de faalkans zijn de buigtreksterkte aan de onderkant van het OSA en de marginale golfstatistiek. Als de hoogwaterstatistiek wordt meegenomen zal deze naar verwachting ook een significante bijdrage geven.
- Voor het verder generiek implementeren van probabilistische OSA AGK sommen zijn de volgende kennisleemtes geïdentificeerd, namelijk: de modelonzekerheid is nog onbekend en de gecombineerde hoogwater- en golfstatistiek moet nog worden geïmplementeerd.

Disclaimer

Het resultaat van de berekeningen dient te worden gezien als een verkenning naar de mogelijkheid van een probabilistische beoordeling van OSA voor het faalmechanisme AGK. Gelet moet worden op de in de berekeningen gebruikte uitgangspunten, die niet voor alle OSA bekledingen bruikbaar zijn. Voor onderhavige case is een goede eerste stap gemaakt in de beoordeling op mechanisme AGK.

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| | Samenvatting | 4 |
| 1 | Inleiding | 11 |
| 1.1 | Context | 11 |
| 1.2 | Doel | 11 |
| 1.3 | Aanpak | 11 |
| 1.4 | Afbakening | 12 |
| 1.5 | Software | 13 |
| 1.6 | Opbouw rapport | 13 |
| 2 | Probabilistische analyse OSA | 14 |
| 2.1 | Inleiding | 14 |
| 2.2 | Faalmechanisme AGK | 14 |
| 2.3 | Minersom | 14 |
| 2.4 | Software | 15 |
| 2.5 | Probabilistische methode FORM | 16 |
| 2.6 | Modelonzekerheid | 17 |
| 2.7 | Belastingmodel | 17 |
| 2.8 | Berekening voor mechanisme AGK | 17 |
| 3 | Case Zuiderzeeland | 19 |
| 3.1 | Inleiding | 19 |
| 3.2 | Sterkteparameters | 20 |
| 3.3 | Hydraulische belastingen | 21 |
| 3.4 | Resultaat berekening | 23 |
| 3.4.1 | Vergelijking met de eis | 26 |
| 4 | Conclusie en aanbevelingen | 27 |
| 4.1 | Conclusie | 27 |
| 4.2 | Aanbevelingen en doorkijk naar werkzaamheden 2022 | 27 |
| | Literatuur | 29 |
| | Bijlagen | 31 |
| A | Voorbeeld input_kernel | 32 |
| B | Bepaling faalkans | 33 |

Begrippenlijst

In deze begrippenlijst zijn de voor dit rapport relevante begrippen opgenomen.

| | |
|--|---|
| Belasting | Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid. |
| Betrouwbaarheidseis | Eis die gesteld wordt aan de betrouwbaarheid (faalkans) van een constructie. De wettelijke norm is een voorbeeld van een betrouwbaarheidseis aan de waterkeringen. Zie ook "faalkanseis". |
| Betrouwbaarheidsindex (β) | Waarde die de mate van betrouwbaarheid van een waterkering weergeeft, een andere maat voor de faalkans. Een hoge waarde van de betrouwbaarheidsindex correspondeert met een kleine faalkans |
| Buitenwaterstand (h) | De waterstand aan de waterzijde (buitenzijde) van de kering. |
| Cumulatieve kansverdeling (CDF) | Functie die de kans van overschrijden beschrijft van alle mogelijke realisaties van een stochastische variabele. Engels: cumulative density function (CDF). |
| Deterministisch | Hiermee wordt bedoeld dat een sterkte- of belastingparameter niet als stochastische variabele wordt gemodelleerd. De waarde van deze parameter wordt als bekend verondersteld. |
| Design point | Het design point (of ontwerp punt of illustratiepunt) is die combinatie van waarden van stochasten met de grootste kans van voorkomen waarvoor geldt dat de grenstoestandsfunctie (sterkte minus belasting) gelijk aan nul is. Het design point wordt teruggerekend vanuit de kansen en de invloedscoëfficiënten. |
| Dijktraject | Een deel van een primaire waterkering dat afzonderlijk genormeerd is. |
| Dijkvak | Een deel van een waterkering (binnen een dijktraject) met uniforme eigenschappen en belasting. |
| Faalkans | Kans op overschrijden van de (uiterste) grenstoestand van een waterkering of een onderdeel daarvan. |
| Faalkans per traject | Faalkans voor een dijktraject voor alle relevante faalmechanismen. |
| Faalkans per doorsnede en faalmechanisme | Faalkans voor een vak o.b.v. een representatieve doorsnede voor een faalmechanisme. |
| Faalkanseis per traject | Toelaatbare faalkans voor een dijktraject. Voor primaire keringen is deze faalkanseis vastlegt in een wettelijke norm. |
| Faalkanseis per doorsnede en faalmechanisme | Toelaatbare faalkans voor een dijkvak o.b.v. een representatieve doorsnede voor een faalmechanisme, rekening houdende met norm, faalkansbegroting en lengte-effect. |
| Faalkansbegroting | Verdeling van de maximaal toelaatbare faalkans per traject over de faalmechanismen. Wordt toegepast in de gedetailleerde toets per vak, waarbij een faalkansbegroting wordt voorgeschreven. In de gedetailleerde toets per traject wordt de faalkansbegroting vrijgelaten. |
| Faalkansbudget | Zie faalkansbegroting. |
| Faalmechanisme | De wijze waarop de waterkering zijn kerende functie verliest, bijvoorbeeld door asfalt golfklap |

| | |
|---|---|
| Invloedscoëfficiënt (α) | Indicator voor het relatieve belang van een stochastische variabele in de faalkansberekening, d.w.z. in vergelijking met de andere stochastische variabelen. |
| Kansdichtheidfunctie (PDF) | Functie waarmee de kansverdeling van een continue stochastische variabele beschreven kan worden (PDF, probability density function). |
| Kansverdelingsfunctie | Zie cumulatieve kansverdeling (CDF). |
| Karakteristieke waarde | Waarde van een stochastisch variabele met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens. |
| Lengte-effect | Invloed van variaties van dijk- en ondergrondeigenschappen binnen een dijktraject op de faalkans dat dijktraject. |
| Modelfactor (γ_m) | Partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes zijn verdisconteerd. Rekenwaarde van de modelonzekerheidsfactor. |
| Modelonzekerheidsfactor (m_d) | Stochast die de modelonzekerheid beschrijft. |
| Norm | Toelaatbare overstromingskans van een dijktraject. |
| Overstromingskans | Kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject leidend tot een overstroming. |
| Semi-probabilistische analyse | Analyse of een constructie of faalmechanisme voldoet aan een gestelde betrouwbaarheidseis op basis van rekenwaarden. |
| Stochastische variabele (soms afgekort als 'stochast') | Een onzekere grootheid die wordt gekarakteriseerd door een kansverdelingsfunctie. |

Symbolenlijst

Symbolen Romeins (variabelen):

| | |
|---------------------------------|--|
| c | Veerconstante ondergrond OSA bekleding (beddingsconstante) |
| d | Aanwezige laagdikte asfalt |
| E | Stijfheid OSA bekleding (elasticiteitsmodulus) |
| F | Faalgebeurtenis |
| h_s | Significante golfhoogte |
| h | Buitenwaterstand |
| m_d | Modelonzekerheidsfactor |
| M | Minersom |
| $N_{f,i}$ | Het aantal lastherhalingen (trekspanningen) van de belasting i waarbij bezwijken van de bekleding optreedt |
| P | Overschrijdingskans |
| P_f | Faalkans |
| $P_{eis,dsn}$ | Toelaatbare faalkans voor een doorsnede |
| P_{eis} | Toelaatbare faalkans voor een dijktraject |
| S_{op} | Golfsteilheid |
| Z | Grenstoestandsfunctie (Engels: limit state function) |

Symbolen Grieks:

| | |
|-------------------|--|
| α | Invloedscoëfficiënt FORM |
| α^2 | Gekwadrateerd FORM invloedscoëfficiënt ($\sum \alpha^2 = 1$) |
| β_{dsn} | Betrouwbaarheidsindex op doorsnedeniveau |
| $\beta_{eis,dsn}$ | Betrouwbaarheidsindex eis op doorsnedeniveau |
| η_i | Het aantal lastherhalingen (trekspanningen) van de belasting i |
| μ | Gemiddelde waarde |
| ν_α | Vermoeiingsparameter 1 asfalt bij gekromde vermoeiingslijn |
| ν_β | Vermoeiingsparameter 2 asfalt bij gekromde vermoeiingslijn |
| σ | Standaardafwijking |
| $\sigma_{b,gem}$ | Buigtreksterkte aan de onderkant van de OSA bekleding |

Afkortingen:

| | |
|-------------|--|
| AGK | Golfklap op Asfaltbekleding (faalmechanisme) |
| AWO | Water Opdrukken Asfaltbekleding (faalmechanisme) |
| FORM | First-Order Reliability Method |
| KPP | Kennis voor de Primaire Processen |
| NAP | Normaal Amsterdams Peil |
| OSA | Open Steen Asfalt (bekleding) |
| TOM | Toets op Maat |
| WAB | Water Asfalt Beton (bekleding) |

1 Inleiding

1.1 Context

In het kader van het KPP thema Versterking Onderzoek Waterveiligheid (onderzoek dat Deltares in opdracht en in samenspraak met Rijkswaterstaat uitvoert rond om het thema Waterveiligheid) worden diverse onderwerpen op de kaart gezet die allen van belang zijn of kunnen gaan worden in de toekomst rond de waterveiligheid van keringen.

Ten minste iedere twaalf jaar dienen de beheerders van de primaire waterkeringen een beoordeling uit te voeren van de waterstaatkundige toestand van hun keringen en hier verslag van uit te brengen. Deze beoordeling gaat uit van de overstromingskansbenadering en wordt met behulp van het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium uitgevoerd.

Een van de onderwerpen in het WBI is de beoordeling van (asfalt)bekledingen van waterkeringen. Voor de asfaltbekleding opgebouwd uit waterbouwasfaltbeton (WAB) is een beoordelingsmethodiek [Min I&M, 2017] voorhanden. Voor de toepassing van Open Steen Asfalt (OSA) bestaat deze nog niet. In het huidige WBI is geen eenvoudige en ook geen gedetailleerde beoordelingsmethode voor OSA opgenomen en dient een beoordeling middels een toets op maat te worden uitgevoerd.

Voor het Waterschap Zuiderzeeland is dit jaar een dijktraject (dijktraject 8-1) met OSA beoordeeld voor meerdere faalmechanismen.

1.2 Doel

Het doel van dit rapport is om voor het faalmechanisme golfklap (AGK) een probabilistische berekening uit te voeren voor één specifieke case (dijktraject 8-1) bij het Waterschap Zuiderzeeland met een open steenasfaltbekleding op doorsnedeniveau. Deze berekening is een eerste stap in de generieke implementatie van een probabilistische beoordelingsmethodiek van OSA waarbij het doel is om te beschouwen of het mogelijk is om een probabilistische analyse te maken voor OSA voor het faalmechanisme AGK en te identificeren welke kennisleemtes er nog zijn.

1.3 Aanpak

Bij het Waterschap Zuiderzeeland is de veiligheidsbeoordeling van OSA uitgevoerd met het programma GOLFKLAP 1.3 [Kiwa-KOAC, 2021c]. Dit is semi-probabilistisch gedaan, op basis van rekenwaarden. In dit project wordt de invoerdata van het Kiwa-KOAC onderzoek gebruikt voor een probabilistische analyse.

In het Kiwa-Koac onderzoek zijn voor de beoordeling van het OSA van dijktraject 8-1 veldmetingen en laboratoriumonderzoek uitgevoerd om de verschillende parameters van het OSA en de ondergrond vast te stellen [Kiwa-KOAC, 2021a]. Samen met de hydraulische belastingen en geometriekenmerken vormt dit de input voor een probabilistische berekening met behulp van een door Deltares ontwikkeld Matlabscript waarin een probabilistische analyse middels FORM wordt uitgevoerd op basis van het GOLFKLAP model (zie paragraaf 1.5). In het programma GOLFKLAP zelf worden er geen probabilistische analyses middels FORM uitgevoerd. Deze berekening, van vermoeiing van de asfaltbekleding door golfklap, is uitgevoerd voor verschillende waterstanden. Het resultaat van deze probabilistische berekeningen is een relatie tussen faalkans en waterstand voor een doorsnede met OSA voor het faalmechanisme AGK. Aan de hand van deze berekende kans wordt een eerste inschatting gegeven in hoeverre aan de veiligheidseis voldaan wordt voor het

faalmechanisme AGK. Het betreft een Toets op Maat. Net zoals in het Kiwa-KOAC onderzoek zijn er geen aanwijzingen gevonden waarom GOLFKLAP (naast WAB) niet voor OSA toegepast zou kunnen worden. Het grootste verschil zit in de parameterbepaling, niet in een wezenlijk ander faalmechanisme. GOLFKLAP wordt derhalve gebruikt voor de analyses.

1.4 Afbakening

Faalmechanisme

OSA moet beoordeeld worden op de volgende faalmechanismen:

1. Slijtage onder golfwerking en veroudering leidend tot doorbraak van de OSA laag
2. Migratie van het onderliggende zand door de OSA-toplaag, gevolgd door ondermijning, het scheuren en doorbraak van de OSA laag.
3. Verweking onder golfwerking van de (zandige) ondergrond, leidend tot migratie van gronddeeltjes (het zand) direct onder het OSA, waarbij een S-profiel ontstaat, gevolgd door het scheuren en doorbraak van het OSA.
4. Scheurvorming onderin het OSA door buiging onder golfklapbelasting, waarbij vermoeiing optreedt door de wisselende trekspanning in het OSA. Het OSA wordt hierbij steeds ondersteund door een verende ondergrond. Dit is mechanisme AGK.

Dit rapport behandelt alleen de probabilistische beoordelingsmethode voor het faalmechanisme AGK. Het faalmechanisme wateroverdruk (AWO) is voor OSA niet relevant, omdat zich over het doorlatende OSA vrijwel geen drukverschillen opbouwen. De eenvoudige beoordeling voor OSA is identiek aan die voor Waterbouwasfaltbeton.

Waterasfaltbeton (WAB)

De probabilistische beoordelingsmethode AGK voor OSA wordt identiek aan de probabilistische beoordelingsmethodiek voor een bekleding met waterbouwasfaltbeton (WAB), aangezien voor AGK het mechanisme hetzelfde verondersteld wordt te werken en slechts de invoerparameters anders zijn. Daarom is analogie gezocht met de aanpak voor WAB.

Buitentalud

De beoordelingsmethodiek betreft alleen de bekleding op het buitentalud. Er is geen toetsmethode beschikbaar voor asfaltbekledingen die in de oploophoek, op de kruin of op het binnentalud liggen.

Modelonzekerheidsfactor

De modelonzekerheidsfactor (m_d) is voor deze case nog niet afgeleid en is daarom ook niet meegenomen in de beoordeling. Derhalve wordt aangenomen: $m_d = 1$. Deze aanname is niet zonder meer conservatief. Voor WAB is er een kansdichtheidsfunctie afgeleid voor de modelonzekerheidsfactor. Dit moet voor OSA nog gedaan worden, om te komen tot een complete probabilistische berekening.

Reststerkte

Na het begin van scheuren van de asfaltbekleding, moet het scheurpatroon zich nog verder ontwikkelen wil de bekleding haar functie, namelijk het beschermen tegen erosie van het onderliggende materiaal, niet meer kunnen vervullen. In dit geval kunnen onderlagen eventueel nog extra veiligheid bieden. Deze, zogenoemde reststerkte, wordt in de berekeningen niet meegenomen, d.w.z. het faal criterium richt zich op het begin van de schade in de OSA-bekleding zonder rekening te houden met de sterkte van de onderlagen.

Belastingmodel

Een volledig belastingmodel met verdelingen van maximale waterstand in een storm en bijbehorende verdeling van golven is niet voor handen voor de case, derhalve zal gebruik gemaakt worden van de marginale golfstatistiek.

Levensduur

De sterkte van het OSA neemt in de tijd af, en daarom moet deze geprognoseerd worden tot de peildatum. Voor dit specifieke geval is de tijd tot aan de peildatum kort (enkele jaren) en heeft het geen meerwaarde te prognosticeren, gezien de onnauwkeurigheid van het levensduurmodel. Een eerste aanzet van een levensduurmodel voor OSA is gegeven in [KOAC-NPC, 2013a]. De huidige aanpak kan dus alleen gebruikt worden voor een peildatum die niet te ver in de tijd ligt, om voorspelling voor verder in de toekomst te doen is een goed levensduurmodel nodig. Om te komen tot een prognose van de sterkte van het OSA over een langere periode, kan de onderliggende database bij het in 2013 gevonden levensduurmodel worden aangevuld met de recent beschikbaar gekomen gegevens. Vervolgens moet worden bepaald of de gevonden regressie nog steeds geldig is, dus of deze ook geldt voor de nieuwe data. Zo kan worden nagegaan of het in 2013 gevonden levensduurmodel aanpassing behoeft. Tevens kan bepaald worden hoe nauwkeurig dit levensduurmodel is. Deze update van het levensduurmodel kan dan gebruikt worden om (in combinatie met meetwaarden voor een specifiek dijkvak) over een langere periode een verdeling in buigtreksterkte af te leiden.

Disclaimer

Doordat er verschillende aannamen zijn gedaan bij de beoordelingsmethode in dit rapport kunnen de resultaten van deze beoordeling niet gebruikt worden voor de veiligheidsbeoordeling van dijktraject 8-1. Het resultaat van de berekeningen dient te worden gezien als een verkenning naar de mogelijkheid van een probabilistische beoordeling van OSA voor het faalmechanisme AGK.

1.5 Software

De probabilistische berekeningen zijn uitgevoerd met een door Deltares ontwikkeld Matlabscript, waarmee vermoeiingsberekeningen van de asfaltbekleding wordt uitgevoerd. Het rekenhart wat in dit Matlabscript wordt aangeropen is het WaveImpact-Asphaltmodel, wat ook de basis is van GOLFKLAP 1.3 waarop de semi-probabilistische analyses van KOAC NPC [KOAC NPC, 2013b] zijn gebaseerd.

1.6 Opbouw rapport

In hoofdstuk 2 is de probabilistische aanpak beschreven. De uitwerking van de case bij het Waterschap Zuiderzeeland is beschreven in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zijn ten slotte de conclusies en aanbevelingen gedaan.

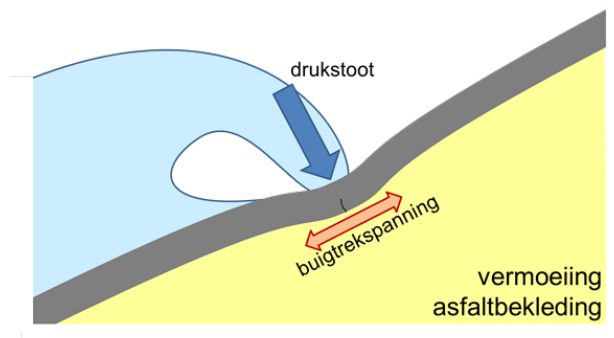
2 Probabilistische analyse OSA

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staat de gevolgde aanpak beschreven om tot een probabilistische beoordeling voor het faalmechanisme AGK van een dijkbekleding bestaande uit OSA te komen. In Hoofdstuk 1 is aangegeven wat de relatie is met de recent uitgevoerde semi-probabilistische veiligheidsbeoordeling door Kiwa KOAC [Kiwa-KOAC, 2021c], waarbij de invoer van het Kiwa-KOAC onderzoek wordt gebruikt voor de probabilistische analyses in dit project.

2.2 Faalmechanisme AGK

Het toetsspoor voor het faalmechanisme Golfklap op Asfaltbekleding (AGK) heeft als doel de vermoeiing van het asfalt tijdens een storm te toetsen aan de norm. De belasting wordt gevormd door de wisselingen in trekspanning in de bekleding ten gevolge van de gedurende een storm optredende golfklappen. Deze golfklappen hebben het karakter van een drukstootbelasting van korte duur (orde 0,1 seconde) en zijn steeds anders van grootte en vorm. Voor een schematische weergave van het proces bij drukstootbelasting, zie Figuur 1.



Figuur 1 Grafische weergave van de situatie bij Golfklap-belasting.

2.3 Minersom

$$\sum(n_i/N_{f,i}) = M$$

Hierin is:

M = Minersom.

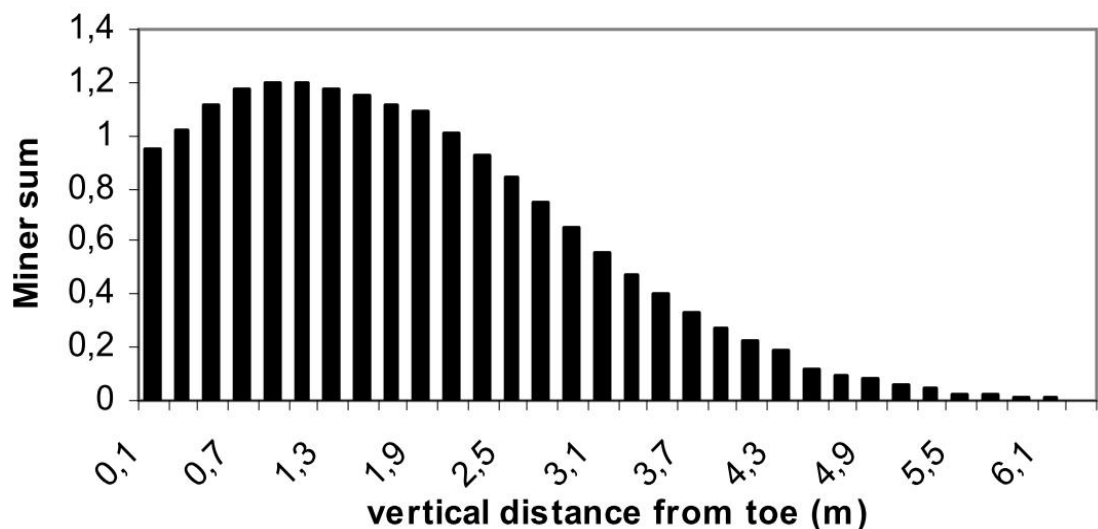
n_i = Het aantal lastherhalingen (trekspanningen) van de belasting i.

$N_{f,i}$ = Het aantal lastherhalingen (trekspanningen) van de belasting i waarbij bezwijken van de bekleding optreedt.

In paragraaf 6.5.3, van [Deltares, 2015a] staat een beschrijving van de Minersom. Voor meer achtergrondinformatie over het gebruik van de Miner-regel zie [KOAC NPC, 2009].

Als de Minersom gelijk is aan 1, ontstaat er onderin het asfalt een scheur of er ontstaat een scheurenpatroon. Dit is het begin van schade, dit is in de berekeningen gehanteerd als faalcriterium. Het asfalt scheurt **niet** als $M < 1$.

Een voorbeeld van de Minersom uit het WavelImpact-Asphaltmodel is in Figuur 2 weergegeven. De impact van de drukstoot van de golven is verschillend afhankelijk van de positie op het talud en daardoor verschilt de Minersom. Falen wordt verondersteld als ergens in de doorsnede de Minersom groter is dan 1.



Figuur 2 Output van het Wave asphaltmodel; de beoordeling is gebaseerd op het maximum van de Minersom (in dit geval $M_{max} = 1,2$ op een afstand van 1,3 m) [Wichmann, 2015]

2.4 Software

Het bepalen van de Minersom in de probabilistische berekeningen is uitgevoerd met een door Deltares ontwikkeld Matlabscript, waarmee vermoeiingsberekeningen van de asfaltbekleding wordt uitgevoerd.

In het kader van het WBI2017 onderzoek is rond het Golfklap-rekenhart een Matlab-interface gemaakt ten behoeve van zowel probabilistische als semi-probabilistische berekeningen. Hierbij is de OpenEarth-bibliotheek gebruikt, die (voornamelijk) is ontwikkeld door Deltares. Deze Matlab implementatie is uitgebreid getest voor diverse Benchmarks en geeft dezelfde resultaten (Minersom en intermediaire output, zoals de optredende trekspanningen) als de stand-alone versie.

Het rekenhart van dit Matlabscript is het WavelImpact-Asphaltmodel. Dit WavelImpact-Asphaltmodel vormt tevens het rekenhart van de Basis Module Golfklap. In [Kanning & Den Hengst, 2013] is het model beschreven waarmee de Minersom voor asfaltbekledingen kan worden berekend. Dit stand-alone model is publiekelijk beschikbaar via Helpdesk Water en vormt de basis van het WavelImpact-Asphaltmodel.

Meer details over de implementatie en werking van het Golfklap-model in de Matlab-omgeving is te vinden in bijlage B van [Klerk & Kanning 2014].

2.5 Probabilistische methode FORM

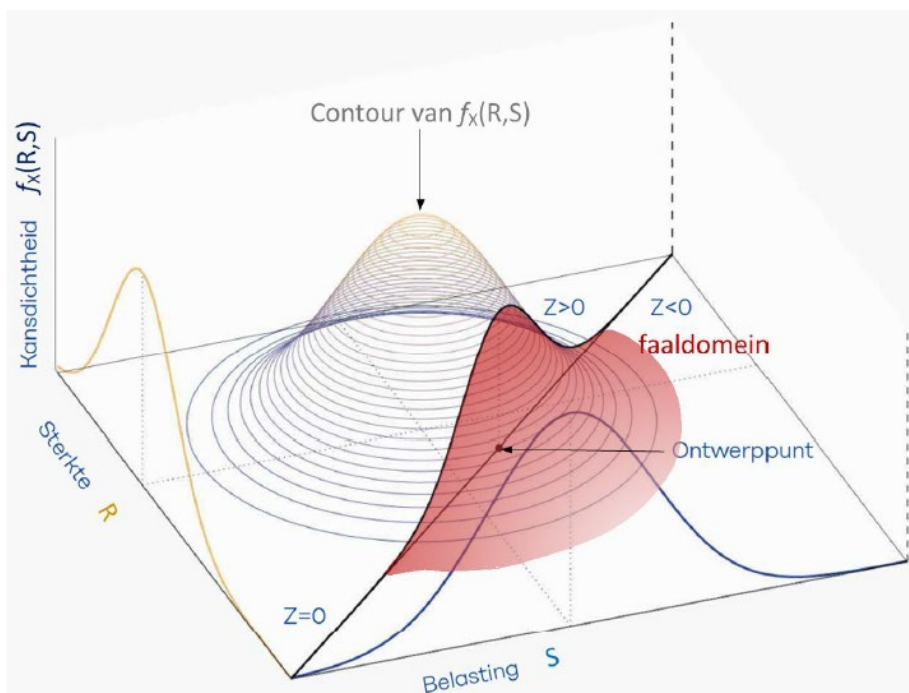
In de berekeningen met het Matlabscript wordt de First Order Reliability Method (FORM) gebruikt. Deze methode is specifiek gericht op het bepalen van de kans op 'falen', ofwel op de overschrijdingskans van een specifieke gebeurtenis. In de berekeningen voor AGK wordt deze overschrijdingskans van een specifieke gebeurtenis, het faalcriterium, gedefinieerd als: Minersom $M \geq 1$.

Zie het kader hieronder voor een nadere toelichting van FORM.

Toelichting FORM [Schweckendieck et al, 2017]

FORM bepaalt iteratief de ligging van het zogenaamde design point (ontwerppunt of illustratiepunt). Dit design point is, vrij gezegd, de meest waarschijnlijke parameter combinatie (c.q. hoogste kansdichtheid) welke tot falen zou leiden (c.q. $Z=0$). FORM is exact voor grenstoestandsfuncties (Z) met lineaire combinaties van normaal verdeelde variabelen. Voor de meeste faalmechanismen zijn de grenstoestanden echter niet lineair en bevatten ze deels niet-normale verdelingen. Desalniettemin is de FORM-benadering doorgaans voldoende accuraat voor faalmechanismen als macrostabiliteit of piping, maar ook voor het onderhavige faalmechanisme. Een voordeel van FORM ten opzichte van een exacte methode is dat FORM doorgaans veel minder berekeningen vergt en het benodigde aantal berekeningen in principe niet sterk afhangt van het aantal stochastische variabelen.

In onderstaande illustratie is de gezamenlijke kansdichtheid van twee variabelen en het faaldomein weergegeven. De faalkans is bepaald door de kansdichtheid van alle stochastische variabelen in het faaldomein ($Z(X)<0$), of anders gezegd door de kans op alle parametercombinaties die tot falen leiden.



Figuur 3 Illustratie van gezamenlijke kansdichtheid twee variabelen en faaldomein [ENW, 2017].

De faaldefinitie voor AGK betreft het onderin het asfalt ontstaan van een scheur of scheurenpatroon. Dit is het begin van schade en in de berekeningen gehanteerde faal criterium. De Minersom is in dat geval gelijk aan 1 ($M=1$).

De grenstoestandsfunctie Z voor asfaltbekleding door vermoeiing is

$$Z = M \cdot m_d - 1,$$

rekening houdend met alle onzekerheden in het model (m_d) en andere parameters die de vermoeiing (M) beïnvloeden.

De stochasten en de bijbehorende kansverdeling voor de berekening van de case zijn:

- Stijfheid asfalt (lognormale verdeling).
- Laagdikte asfalt (normale verdeling).
- Buigtreksterkte onderkant OSA (lognormale verdeling).
- Veerconstante ondergrond (lognormale verdeling).
- Marginale golfstatistiek (empirische verdeling).

Bij een modelonzekerheid m_d van 1, zie de volgende paragraaf, en een Minersom groter of gelijk aan 1. Zal er falen optreden, dus als Z kleiner of gelijk aan 0.

2.6 Modelonzekerheid

Een model is een schematisering van de werkelijkheid, hierdoor kan er sprake zijn van een modelfout of een modelonzekerheid. Dit wordt afgedekt door gebruik te maken van een kansdichtheidsfunctie voor de modelonzekerheidsfactor (m_d). De modelonzekerheidsfactor (m_d) voor OSA is niet gelijk aan de m_d voor WAB. Een kansdichtheidsfunctie voor m_d zal apart afgeleid dienen te worden op soortgelijke manier als voor WAB. De kansdichtheidsfunctie voor m_d is voor deze case nog niet afgeleid en daarom is deze niet meegenomen in de probabilistische berekeningen. Er is aangenomen: $m_d = 1$. Dit is niet zonder meer een conservatieve aanname. In de beoordeling door Kiwa KOAC is Golfklap 1.3 alleen gebruikt om de Minersom te berekenen, dus zonder veiligheidsfactor en modelonzekerheidsfactor.

2.7 Belastingmodel

Voor de Randmeren is op dit moment geen gecombineerde statistiek van golfparameters en waterstand voor handen. Daarom wordt in deze fase gerekend met verschillende vaste waterstanden (testlevel genoemd in de berekening), en de voor de beschouwde locaties geldende marginale golfstatistiek zoals afgeleid met Riskeer, in combinatie met de waterstandsverlopen zoals beschreven in paragraaf 4.1 van de schematiseringshandleiding asfaltbekleding [RWS, 2019].

In een mogelijke vervolgstap volgend jaar kan deze gecombineerde statistiek worden afgeleid met behulp van HydraRing. Dit is iets bewerklijker, en daarom ligt voor de hand om bij een probabilistische beoordelingsaanpak ook deze aanpak te hanteren: eerst een berekening met enkel de marginale golfstatistiek en de meest ongunstige waterstand zodat dit conservatief is, daarna indien nodig een berekening met de complete randvoorwaardenstatistiek.

2.8 Berekening voor mechanisme AGK

Het Golfklap-model verdeelt de asfaltbekleding langs het talud in discrete elementen. Vervolgens worden deze discrete elementen belast met een maximaal niveau tijdens de storm, dat vervolgens op het hele stormverloop van waterstand en golven op basis van dit

maximum wordt bepaald. Voor elke tijdstap worden de optredende trekspanningen en de vermoeiingsweerstand bepaald. Ten slotte worden deze gecombineerd tot een Miner-som voor elk afzonderlijk asfalelement voor. De stappen die in het Golfklap-model voor deze case worden genomen, worden hieronder kort samengevat:

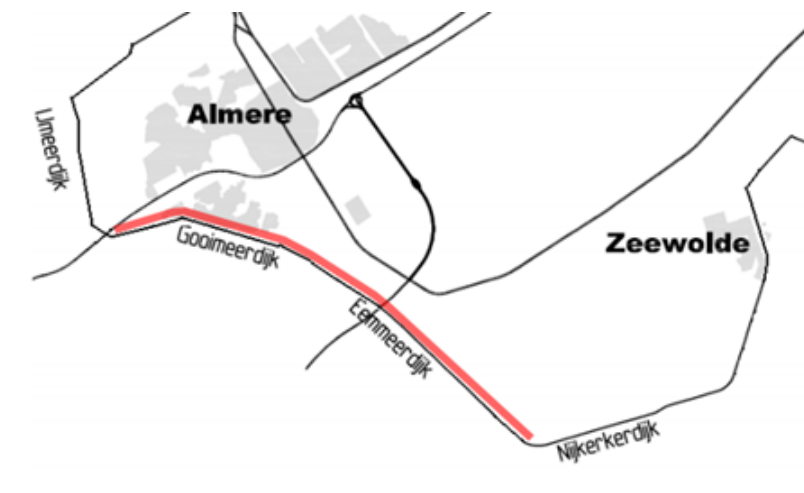
- Invoeren van de geometrie en laagdikte asfalt.
- Invoeren van de sterkteparameters.
- Invoeren marginale golfstatistiek.
- Berekening van optredende trekspanningen in de asfalt-laag.
- Berekening van de weerstand tegen vermoeidheidsspanningen per asfalelement. Per waterstand is een faalkans berekend. Om dit resultaat te verkrijgen worden hierbij iteraties uitgevoerd naar een Minersom van 1 en een $Z=0$.

De faalkans per doorsnede is de output van de berekening.

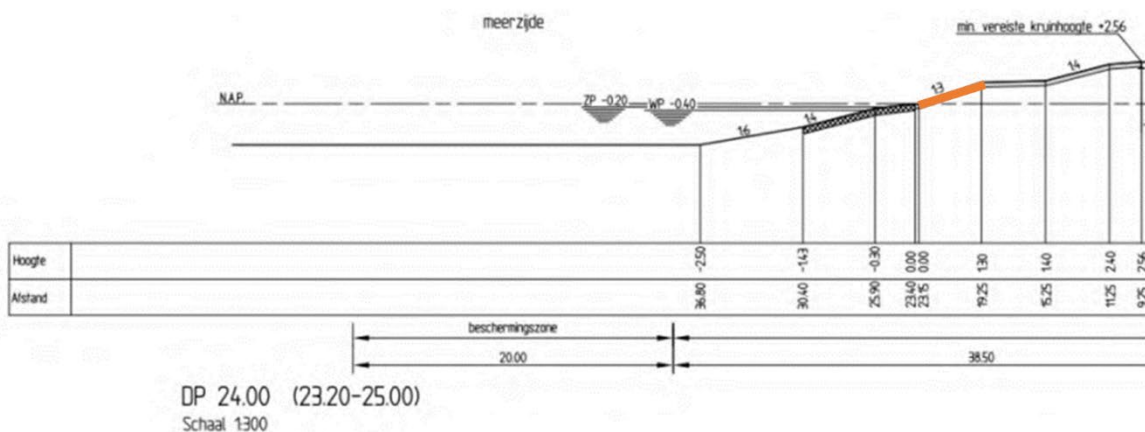
3 Case Zuiderzeeland

3.1 Inleiding

Tussen km 24,6 en 25,35 van dijktraject 8-1 is op het ondertalud van de dijk open steenasfalt (OSA) aanwezig. Het OSA is in 2008 aangelegd en sluit aan de bovenzijde aan op het op de buitenberm gelegen fietspad. Door Kiwa-KOAC is onderzoek uitgevoerd [Kiwa-KOAC, 2021a,b,c] voor een aantal vakken uit dijktraject 8-1 Gooimeerdijk en Eemmeerdijk ten behoeve van een eerste deterministische Toets op Maat beoordeling op vermoeiing van OSA onder golfklapbelasting. Het onderzoeksgebied is in Figuur 4 hieronder in rood aangegeven. In Figuur 5 is het maatgevende dwarsprofiel aangegeven en het gedeelte van OSA in oranje. De leeftijd van het open steen asfalt ten tijde van de beproeving was 13 jaar. Het Kiwa-KOAC onderzoek kent nog geen probabilistische aanpak, maar is eerder een verkenning van mogelijke waarden die de Minersom zou kunnen aannemen. Er is geen sprake van een semi-probabilistische beoordeling, omdat er geen partiele factoren beschikbaar zijn (bijv. op basis van een kalibratie).



Locatie OSA dijktraject 8-1 [Kiwa-KOAC, 2020]



Figuur 5 Maatgevend dwarsprofiel met locatie OSA (in oranje) dijktraject 8-1 [Kiwa-KOAC, 2021a]

Dit jaar, 2021, is de eerste deterministische Toets op Maat beoordeling van OSA uitgevoerd, te weten de beoordeling van de Gooimeerdijk en de Eemmeerdijk [Kiwa-KOAC, 2020] en [Kiwa-KOAC, 2021a]. Voor de probabilistische toets op maat (dit rapport) wordt van de gegevens uit deze beoordeling gebruikt gemaakt. Op basis van deze gegevens zijn in onderhavig onderzoek probabilistische berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het eerder beschreven Matlabscript.

Zoals eerder vermeld zijn voor de probabilistische beoordeling verschillende inputparameters benodigd, onderverdeeld in sterkte- en belastingsparameters en geometrieparameters. Deze input wordt in het eerder vermelde Matlabscript ingelezen door middel van een spreadsheet (input_kernel.xls) waarin alle benodigde parameters zijn opgenomen. Een ingevuld voorbeeld is als bijlage A weergegeven. In de navolgende paragrafen is de benodigde invoer voor de case OSA Zuiderzeeland beschreven en uiteindelijk samengevat in een tabel, die de invoer is van het genoemde spreadsheet. Met deze input wordt de berekening uitgevoerd. Het resultaat van deze berekening staat in de laatste paragraaf.

3.2 Sterkteparameters

De benodigde sterkteparameters voor de berekening van onderhavige case zijn overgenomen uit [Kiwa-KOAC,2021c] en deze parameters zijn bepaald conform [Kiwa-KOAC, 2021a]. In "Werkwijzebeschrijving toetsen op golfklappen OSA" [KOAC-NPC, 2013b] is het protocol beschreven om deze parameters te bepalen. Dit betreft een momentopname in de tijd, namelijk het tijdstip van de metingen. Deze werkwijzebeschrijving is als bijlage toegevoegd. Een update van dit rapport is in ontwikkeling bij Kiwa-KOAC.

In de werkwijzebeschrijving wordt geen aandacht geschonken aan het prognosticeren van de sterkte in de toekomst tot, bijvoorbeeld, de peildatum. Hiervoor is een levensduurmodel nodig, zie paragraaf 1.4.

Hieronder is een overzicht van de benodigde inputparameters inclusief de gehanteerde kansverdeling. De vermoeiingsparameters (tabel 2) worden net zoals bij WAB deterministisch verondersteld.

In Figuur 5 is het gedeelte van het buitentalud wat OSA bevat aangegeven in oranje. Het talud is 1:3 en is aanwezig over een hoogte van 0,0 [m +NAP] tot en met 1,3 [m +NAP].

Tabel 1 Inputparameters km 24,6 -25,4

| Parameter | Beschrijving | μ | σ | Verdeling |
|-------------------|---|-------|----------|------------|
| E [MPa] | Stijfheid OSA bekleding (elasticiteitsmodulus) | 4.651 | 1.849 | Lognormaal |
| C_{gem} [MPa/m] | Veerconstante ondergrond OSA bekleding (beddingconstante) | 151 | 24 | Lognormaal |
| σ_b [MPa] | Buigtreksterkte aan de onderkant van de OSA bekleding | 1,69 | 0,46 | Lognormaal |
| d [mm] | Aanwezige laagdikte van het OSA | 291 | 43 | Normaal |

Tabel 2 Vermoeiingsparameters asfalt bij gekromde vermoeiingslijn km 24,6 -25,4

| Parameter | ν_{α} [-] | ν_{β} [-] |
|---|--------------------|-------------------|
| Vermoeiingsparameters asfalt bij gekromde vermoeiingslijn | 0,39 | 5,85 |

3.3 Hydraulische belastingen

Door Kiwa-KOAC zijn de volgende hydraulische belastingen gehanteerd voor de beoordeling voor de case [Kiwa-KOAC, 2021c], deze zijn aangeleverd door Waterschap Zuiderzeeland en gaan uit van de WBI aanpak op basis van een waterstand bij norm:

Tabel 3 Hydraulische belasting

| Hydraulische belastingen Eemmeerdiijk Nijkerkerdijk km 24.6 -25.4 | |
|---|------------------|
| Voorland [m] | -10 ¹ |
| Waterstand bij de norm [m +NAP] | 2,31 |
| Gemiddelde buitenwaterstand [m+ NAP] | -0,2 |
| Aangehouden waterstand voor de berekening, Testlevel (bovenkant OSA) [m +NAP] | 1,3 |

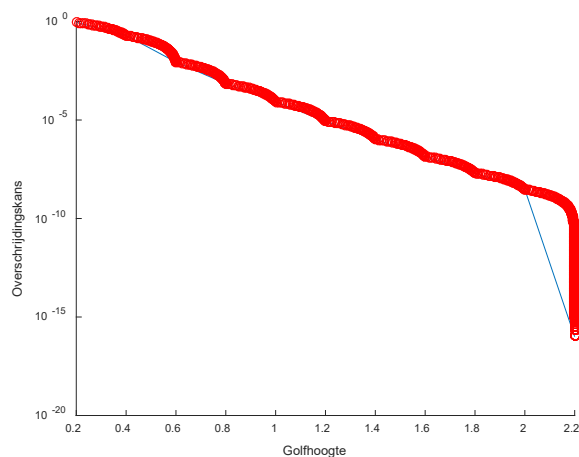
¹ Dit is een fictieve waarde, zodanig dat de (on)diepte van het voorland geen rol speelt in de berekening van de case.

De gemiddelde getijamplitude is gelijkgesteld aan 0, aangezien getijden niet optreden in het Eemmeer.

Door Deltares is de marginale golfstatistiek (de cumulatieve kansverdeling van de golfhoogte, onafhankelijk van de optredende waterstand) bepaald op basis van Riskeer. De marginale golfstatistiek geeft de functie weer van de overschrijdingskans per jaar en de golfhoogte en heeft een empirische verdeling. Hiermee wordt het voorkomen van een bepaalde golfhoogte uitgedrukt in een overschrijdingskans/ jaar. De gehanteerde marginale golfstatistiek is in Tabel 4 weergegeven en op grafische wijze in Figuur 6.

Tabel 4 Marginale golfstatistiek locatie doorsnede MM_2_8-1_dk_00483

| H Golfhoogte [m] | P Overschrijdingskans/jaar [-] |
|---------------------|-----------------------------------|
| 0,2 | 0,91149 |
| 0,4 | 0,19623 |
| 0,6 | 0,87514E-02 |
| 0,8 | 0,69779E-03 |
| 1,0 | 0,84733E-04 |
| 1,2 | 0,87711E-05 |
| 1,4 | 0,10558E-05 |
| 1,6 | 0,13880E-06 |
| 1,8 | 0,20062E-07 |
| 2,0 | 0,29817E-08 |



Figuur 6 Empirische verdeling van de marginale golfstatistiek conform Tabel 4

Hierna in Tabel 5 en Tabel 6 is een overzicht gegeven van de benodigde parameters voor de golfklapberekening. De opbouw van de beide tabellen zijn dezelfde als de inputfile voor de Matlabberekening. De nummering in de eerste kolom is overgenomen van het spreadsheet, zoals benodigd voor de input van het script. In deze tabellen zijn alleen de waarden gegeven die benodigd zijn voor deze berekening. De overige rijen zijn weggelaten, maar deze zijn wel weergegeven in het ingevulde voorbeeld zoals weergegeven in bijlage A.

Tabel 5 Algemene inputparameters berekening ten behoeve van het rekenscript

| Input nr. Conform spreadsheet | Deterministische invoerparameters | Invoer-parameter script | Waarde | Opmerking |
|-------------------------------|---|-------------------------|--------|--|
| 1 | Getijoptie | TideOption | 6 | 1 = Overig; 2 = Oosterschelde, 3 and SurchargeType 2 = Waddenzee, 3 and SurchargeType 1 = Kust, 4 = Meren; 5 = Overig, 6=Randmeren |
| 31 | Density of the water [kg/m ³] | WaterDensity | 1000 | Zoetwater is 1000 [kg/m ³] Zoutwater is 1025 [kg/m ³] |
| 34 | BeschouwdNiveauMin [m +NAP] | MinLevelAsphalt | 0 | Onderste deel OSA op talud |
| 35 | BeschouwdNiveauMax [m +NAP] | MaxLevelAsfalt | 1,3 | Bovenste deel OSA op talud |

Tabel 6 specifieke inputparameters berekening ten behoeve van het rekenscript

| Input nr. Conform spreadsheet | Parameter | Invoer-parameter Script | Verdeling ¹⁾ | Waarde | Standaard deviatie | Opmerking |
|-------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|--------|--------------------|---|
| 1 | Maximale waterstand tijdens storm [m +NAP] | TestLevel | D | 1,3 | - | Determinist |
| 3 | Beddings constante ondergrond [MPa/m] | c | L | 151 | 24 | Lognormaal verdeeld |
| 5 | Dikte asfalt [m] | d1 | N | 0,291 | 0,043 | Normaal verdeeld |
| 7 | Stijfheid asfalt [MPa] | E1 | L | 4651 | 1849 | Lognormaal verdeeld |
| 10 | Gekromde vermoeidheids-parameter [-] | alfa | D | 0,39 | - | Determinist |
| 11 | Gekromde vermoeidheids-parameter [-] | beta | D | 5,85 | - | Determinist |
| 12 | Buigtreksterkte aan de onderkant van de OSA bekleding [MPa] | sigmaB | L | 1,69 | 0,46 | Lognormaal verdeeld |
| 13 | Model factor Golfklap [-] | m | D | 1 | - | Default-waarde |
| 15 | Marginale golfstatistiek | WaveStatistics | Table | - | - | Golfhoogte vs, overschrijdings-kans/ jaar [zie Tabel 4] |
| 16 | Golfsteilheid [%] | Sop | D | 0,05 | - | |

¹⁾ D = Deterministisch, L = lognormaal, N = normaal

3.4 Resultaat berekening

De faalkans is middels de First Order Reliability Method (FORM) bepaald, onder de voorwaarde dat falen optreedt bij M (Minersom) is groter dan of gelijk aan 1. De grenstoestandsfunctie Z voor asfaltbekleding door vermoeiing is $Z = M \cdot m_d - 1$,

Het resultaat van de berekening is de faalkans (P_f) bij:

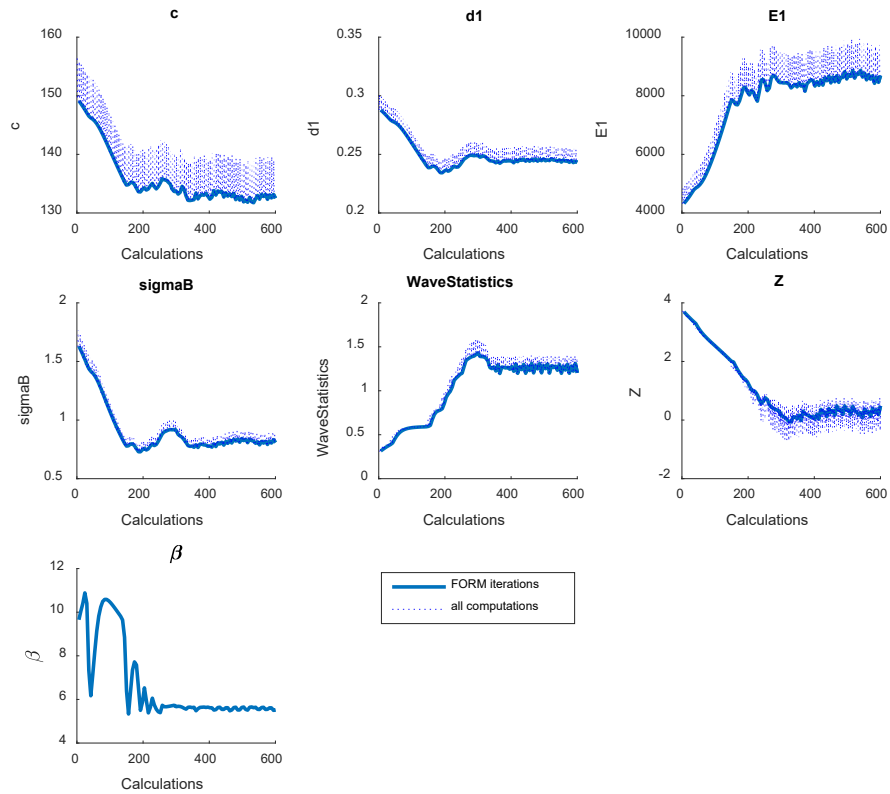
- verschillende waterstanden per berekening, 0,1; 0,5; 0,75; 1,0 en 1,3 [m +NAP] ;
- de voor de beschouwde locatie geldende marginale golfstatistiek;
- de gegeven sterkte- en geometrieparameters.

In de bovenstaande berekeningsresultaten is nog geen rekening gehouden met:

- a) kansverdeling voor de waterstand gecombineerd met de golfhoogte;
- b) De modelonzekerheid.

In Figuur 7 en Tabel 7 is als voorbeeld de resultaten van de FORM-berekening weergegeven van de stochasten voor een vaste waterstand van 1,3 [m +NAP]. De stochasten convergeren

naar verwachting, de sterkte stochasten (c, d1, sigmaB) worden steeds lager richting het illustratiepunt en de belasting stochasten steeds hoger.



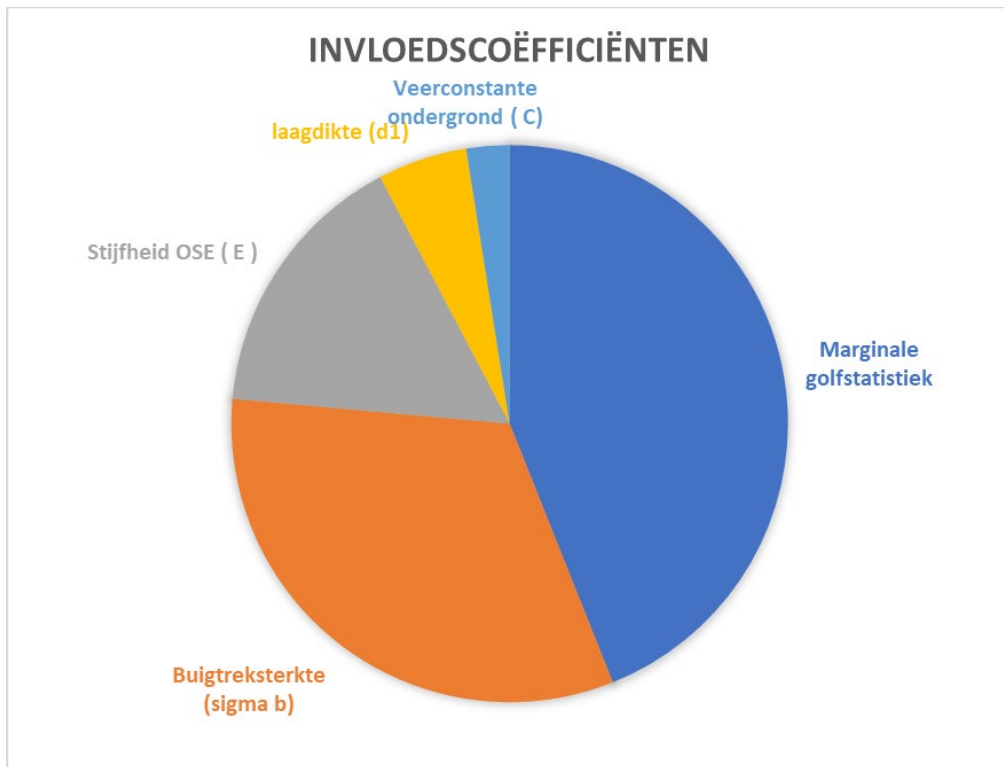
Figuur 7 Resultaat stochasten na FORM iteraties uitgaande van een vaste waterstand van 1,3 [m +NAP]

Tabel 7 Illustratiepunt stochasten na FORM iteraties uitgaande van een vaste waterstand van 1,3 [m +NAP]

| Stochast | Benaming | Illustratiepunt |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------|
| c [MPa/m] | Beddingconstante ondergrond | 132 |
| σ_b [MPa] | Buigtreksterkte onderzijde OSA | 0,84 |
| Wave statistics [m +NAP] | Marginale golfstatistiek | 1,32 |
| d1 [m] | Dikte OSA | 0,24 |
| E1 [MPa] | Stijfheid OSA | 8793 |

In Figuur 8 zijn op basis van het voorgaande resultaat de FORM invloedscoëfficiënten (α^2) weergegeven, deze tonen de relatieve bijdrage van een stochast aan de faalkans. Uit dit figuur volgt dat de grootste bijdrage aan de faalkans de marginale golfstatistiek is, gevolgd door respectievelijk de buigtreksterkte en de stijfheid. Het verkleinen van de onzekerheid van deze

parameters zal leiden tot een nauwkeuriger resultaat en is belangrijk voor een handelingsperspectief als de kering niet voldoet. Let wel, dit zegt niets over de onzekerheid van de genoemde parameters, het zegt alleen iets over de bijdrage aan de faalkans.



Figuur 8 Invloedscoëfficiënten (α^2) bij een waterhoogte van 1,3 [m +NAP]

Voor een aantal buitenwaterstanden (h) zijn berekeningen uitgevoerd om de faalkans ($P_{f,dsn|h}$) en de bijbehoren betrouwbaarheidsindex (andere maat voor faalkans) te bepalen gegeven deze waterstand. In de onderstaande tabel is het resultaat gegeven van deze berekeningen. Aangezien de maximale belasting op het OSA niet perse gelijk is aan die bij een waterstand op het hoogste niveau van het OSA (1,3 [m +NAP]) - immers de golfklappen op het OSA kunnen intenser zijn bij een waterstand hoger dan 1,3 [m +NAP], terwijl doorgaans de golfklappen ruim onder de stilwaterlijn inslaan), is hier ook nog een waterstand beschouwd bij 1,5 [m +NAP].

Tabel 8 Berekeningsresultaat FORM berekening voor verschillende waterstanden

| h [m +NAP] Waterstand | $P_{f,dsn h}$ [-] faalkans | β [-] Betrouwbaarheidsindex |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 0,1 | $2,36 \cdot 10^{-10}$ | 6,23 |
| 0,5 | $4,99 \cdot 10^{-9}$ | 5,73 |
| 0,75 | $4,12 \cdot 10^{-9}$ | 5,76 |
| 1,0 | $8,39 \cdot 10^{-9}$ | 5,64 |
| 1,3 | $1,74 \cdot 10^{-8}$ | 5,52 |
| 1,5 ¹⁾ | $6,71 \cdot 10^{-9}$ | 5,68 |

¹⁾De bovenzijde van het OSA ligt op een hoogte van 1,3 [m +NAP].

De β - h relatie uit Tabel 8 dient gecombineerd te worden met de kansdichtheid van de waterstand om tot de totale faalkans op doorsnedeniveau te komen. Het betreft een soort

gewogen gemiddelde aangezien de lagere waterstanden een hogere waarschijnlijkheid hebben dan de hogere waterstanden. Aangezien de waterstandsstatistiek nog ontbreekt (zie paragraaf 2.7) voor deze case, wordt de β (in het ontwerp punt) geschat. De β wordt geschat op 5,8, zonder dat dit een verdere basis heeft, maar slechts als eerste indicatie. Als waterstandstatistiek beschikbaar is, in combinatie met golfstatistiek, kan dit wel netjes uitgerekend worden. Dit levert een totale faalkans op doorsnedeniveau op van $P_{f,dsn} = 1,23 \cdot 10^{-9}$. Als meest conservatieve schatting kan de laagste gevonden faalkans per waterstand worden gebruikt, dit is een β van 5,5.

3.4.1 Vergelijking met de eis

De geschatte totale faalkans op doorsnedeniveau ($P_{f,dsn}$) wordt getoetst aan de bepaalde faalkansen op doorsnedeniveau per categorie conform het WBI voor het faalmechanisme AGK voor traject 8-1. Zie Tabel 9. De afleiding voor de faalkansen van de categorieën voor AGK voor traject 8-1 is in bijlage B beschreven. Op basis van de geschatte faalkans (zowel op basis van het gewogen gemiddelde schatting met een β van 5,8 als een minimale β van 5,5) lijkt deze kering in categorie II_v te vallen.

Tabel 9 Uitgewerkte categorie indeling voor traject 8-1

| cat | Aanduiding categorie toetsoordeel per doorsnede per toetsspoor | Begrenzing categorie $P_{f,dsn}$ | Begrenzing categorie β |
|------------------|--|---|------------------------------|
| I _v | Voldoet ruim | $P_{f,dsn} < 2,18 \cdot 10^{-9}$ | $\beta < 5,83$ |
| II _v | Voldoet | $2,18 \cdot 10^{-9} < P_{f,dsn} < 6,54 \cdot 10^{-8}$ | $5,83 < \beta < 5,28$ |
| III _v | Voldoet mogelijk | $6,54 \cdot 10^{-8} < P_{f,dsn} < 1,57 \cdot 10^{-7}$ | $5,28 < \beta < 5,11$ |
| IV _v | Voldoet niet (signaalwaarde) | $1,57 \cdot 10^{-7} < P_{f,dsn} < 1,0 \cdot 10^{-4}$ | $5,11 < \beta < 3,72$ |
| V _v | Voldoet niet (ondergrens) | $1,0 \cdot 10^{-4} < P_{f,dsn} < 3,00 \cdot 10^{-3}$ | $3,72 < \beta < 2,75$ |
| VI _v | Voldoet ruim niet | $P_{f,dsn} > 3,00 \cdot 10^{-3}$ | $\beta > 2,75$ |
| VII _v | Nog geen oordeel | - | - |

4 Conclusie en aanbevelingen

4.1 Conclusie

In dit rapport is een eerste aanzet gegeven voor het uitvoeren van een probabilistische analyse voor het faalmechanisme Golfklap op Asfaltbekleding (AGK) ten behoeve van de beoordeling van Open Steen Asfalt bekleding (OSA) in de golfklapzone. Dit is gedaan voor één specifieke case (dijktraject 8-1) bij het Waterschap Zuiderzeeland met een open steenasfaltbekleding op doorsnedeniveau. Deze berekening is een eerste stap in de generieke implementatie van een probabilistische beoordelingsmethodiek van OSA.

Voor de methode

Het is mogelijk om met de inputgegevens (sterkte en belasting) en het Matlabscript naar analogie van WAB een probabilistische berekening uit te voeren voor het OSA AGK mechanisme. Er zijn geen grote belemmeringen gevonden voor het doen van probabilistische analyses. De grootste kennisleemtes zijn de modelonzekerheid, de waterstands- en golfstatistiek en een levensduurmodel voor voorspelling verder vooruit dan enkele jaren. De modelonzekerheid dient nog afgeleid te worden. Voor de Randmeren is op dit moment geen gecombineerde statistiek van golfparameters en waterstand voor handen. Daarom is in deze fase gerekend met meerdere vaste waterstanden en, de voor de beschouwde locaties geldende, marginale golfstatistiek zoals afgeleid met Riskeer, in combinatie met de waterstandsverlopen zoals beschreven in paragraaf 4.1 van de schematiseringshandleiding asfaltbekleding [RWS, 2019]. In zijn algemeenheid is het nodig om een levensduurmodel specifiek voor OSA te gebruiken bij prognoses over een periode van meer dan 5 jaren. Er is een levensduurmodel voor OSA uit 2013 wat op basis van de nieuwe recentere data verder kan worden ontwikkeld.

Voor de case

Met behulp van het Matlabscript is voor een aantal specifieke buitenwaterstanden de vermoeiing op de onderkant van de OSA-bekleding bepaald, dit levert per buitenwaterstand een faalkans op doorsnedeniveau. Op basis hiervan is een totale faalkans geschat (wegens ontbreken van waterstandsstatistiek is de berekening hiervan niet mogelijk). Deze geschatte faalkans is getoetst (hoewel dit niet een doel is en hier geen rechten aan kunnen worden ontleent, slechts ter indicatie) aan de eisen het faalmechanisme AGK voor traject 8-1 waaruit blijkt dat deze doorsnede lijkt te voldoen. De belangrijkste stochasten die een bijdrage leveren aan de faalkans zijn de buigtreksterkte aan de onderkant van het OSA en de marginale golfstatistiek.

4.2 Aanbevelingen en doorkijk naar werkzaamheden 2022

Op basis van de resultaten van de probabilistische berekeningen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. In een vervolgonderzoek voor OSA, beoordelingsspoor AGK, dient een kansdichtheidsfunctie te worden afgeleid voor de modelonzekerheid, naar analogie met waterbouwasfaltbeton (WAB). Hiermee kan de modelonzekerheid worden meegenomen in de probabilistische berekening. Deze kansdichtheidsfunctie is naar verwachting duidelijk anders dan die gebruikt wordt voor WAB, maar kan wel op een soortgelijke wijze als bij WAB worden bepaald. Tevens wordt aanbevolen om voor de waterstand niet uit te gaan van een gegeven waterstandsniveau, maar middels een kansverdeling, bij voorkeur een gemeenschappelijke verdeling van waterstanden en golven. Aanbevolen wordt om het levensduurmodel voor OSA verder te ontwikkelen op

basis van de nieuw verkregen meetdata. Er kan gewerkt worden aan een protocol voor toepassing van dit levensduurmodel. De validatie van de voorgestelde beoordelingsmethodiek voor OSA heeft aandacht nodig. Voor WAB is er uiteindelijk Deltagootonderzoek gedaan, nadat eerst proeven op kleine schaal zijn gedaan op deelaspecten. Hierbij werd het gedrag van het asfalt gemodelleerd. Voor OSA zou deze onderzoeksopbouw ook een mogelijkheid kunnen zijn, vooral ter validatie van toepasbaarheid van het GOLFKLAP model en voor de bepaling van de modelonzekerheid.

2. Nagaan of het mogelijk is om een voldoende breed toepasbare gedetailleerde en eenvoudige beoordeling voor OSA te ontwikkelen. De eenvoudige beoordeling zou kunnen worden vormgegeven als een grafiek met laagdikte tegen golfhoogte met hierin diverse varianten qua constructie. De beoogde gedetailleerde beoordeling is semi-probabilistisch en werkt met veiligheidsfactoren. Hiervoor moet in een vervolgfase nog worden uitgezocht wat nodig is, en er moet beoordeeld worden of er voldoende bruikbare gegevens voorhanden zijn.

Literatuur

- [Deltares, 2015a]
Handreiking dijkbekledingen deel 3: asfaltbekledingen, Deltares, januari 2015
- [Deltares 2015b]
Dijkbekledingen met secundaire bouwstoffen en niveau freatische lijn, R. 't Hart, Deltares, kenmerk 1209832-007-HYE-0002, mei 2015
- [ENW, 2017].
Grondslagen voor hoogwaterbescherming, <https://www.enwinfo.nl/index.php/publicaties/grondslagen>. Expertise Netwerk Waterveiligheid, 2017
- [Kanning & Den Hengst, 2013]
Probabilistic assessment of asphalt revetments in the WT12017, Kanning, W., & Den Hengst, S. (2013). Deltares project no. 1207805-007-ZWS, 2013
- [Kiwa-KOAC, 2020]
Plan van aanpak beoordeling open steenasfalt Zuiderzeeland, versie 3, Projectnummer: 190348401, Arjan de Looff, KIWA-KOAC, n200023/advv/adl, 22 juli 2020
- [Kiwa-KOAC, 2021a]
Veiligheidsbeoordeling open steenasfalt, Waterschap Zuiderzeeland – Eindrapport. Daalhuizen, Kiwa-KOAC, e200158801-6, 2021
- [Kiwa-KOAC, 2021b]
Analysrapport beoordeling dijkbekleding van open steenasfalt (concept). Kiwa-KOAC, e200158801-5. 5 oktober 2021
- [Kiwa-KOAC, 2021c]
Veiligheidsbeoordeling open steenasfalt, Waterschap Zuiderzeeland – Rapportage Laboratoriumonderzoek. Kiwa KOAC, e200158801-4, 5 oktober 2021
- [Klerk & Kanning, 2014]
Wouter Jan Klerk, Wim Kanning, *Calibration of Safety Factors for wave impact on Hydraulic Asphalt Concrete Revetments*, 1209431-01 0-ZWS-0002, Deltares, December 2014
- [KOAC NPC, 2009]
Golfklap – gebruikershandleiding bij versie 1.3, KOAC NPC, 2009
- [KOAC NPC, 2013a]
Defaultwaardes Golfklap, versie 5, Rien Davids, n130200/ov/rda, KOAC-NPC (interne versie), 6 mei 2013
- [KOAC NPC, 2013b]
Werkwijzebeschrijving toetsen op golfklappen OSA, KOAC- NPC. Projectnummer e13033410, A.K. de Looff, M.P. Davidse, 2013

- [KOAC NPC, 2014]
Plan van aanpak modelfactor toetsspoor Golfklap, Rien Davidse, KOAC-NPC, n140127/ov/rda, 18 maart 2014
- [KOAC NPC, 2015]
Witte vlekken in de toetsmethode open steenasfalt, n140007/ov/rda, Rien Davidse, KOAC-NPC, 9 februari 2015
- [Min I&W, 2017]
Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid, Ministerie Infrastructuur en Milieu, 2017
- [Oumeraci et al., 2010]
Hydraulic Performance, Wave Loading and Response of Elastocoast Revetments and their Foundation - A Large Scale Model Study -. H. Oumeraci, T. Staal, S. Pfoertner, G. Ludwigs, M. Kudella; Leichtweiß-Institut für Wasserbau LWI Report no. 988, Braunschweig, January 2010.
- [RWS, 2019]
Schematiseringshandleiding asfaltbekleding, WBI 2017, 28 november 2019, definitief v 2.1. Rijkswaterstaat
- [Schweckendieck et al, 2017]
Handreiking Faalkansanalyse, Macrostabieliteit, Groene Versie, definitief, Timo Schweckendieck, Mark van der Krogt, Ben Rijnveld, Ana Martins Teixeira, Deltares, okt. 2017
- [Smale & Beckers, 2011]
Aangepaste Q-variant binnen Hydra-K, Verloop golfcondities, belastingfuncties en externe testronde, Alfons Smale, Joost Beckers, Kenmerk 1204143-002-HYE-0029, Deltares, augustus 2011
- [STOWA, 2016]
State of the art rapport open steenasfalt, rapport 2016-02, STOWA.
- [Technische Universität Braunschweig, 2009]
ELASTOCOAST Revetment, Scale Model Study in the Large Wave Flume (GWK), (First Draft of Final Report), LWI Report no. 988, Prof. Dr.-Ing. H. Oumeraci, Dipl.-Ing. T. Staal, Dipl.-Ing. S. Pfoertner, Dipl.-Ing. M. Kudella, Braunschweig, 1st November 2009.
- [Van Deen & Wichman, 2015]
Werkwijzebeschrijving geavanceerde toetsing open steen asfalt, 1209437-021-HYE-0016, Jurjen van Deen, Bernadette Wichman, Deltares, 10 februari 2015
- [Wichman, 2015]
5.15 Definition and quantification of a modelfactor for the WAVE IMPACT model WTI-2017 product 5.15 asphalt on dikes, dr. B.G.H.M. Wichman, 1209437-021-HYE-0006-Jvm, Deltares, July 2015

Bijlagen

| Location | Zuiderzeeland traject 8-1 | | | |
|---|--|------------------------|------------|---|
| Input | Deterministic input parameters | English term | Value | Description |
| 1 | Getijoptie | TideOption | 6 | 1 = Overig; 2 = Oosterschelde, 3 and Surche |
| 2 | SWLaantal | SwlSteps | 40 | |
| 3 | GWS | GWS | 0 | |
| 5 | FaseVerschil | OffsetTide | 0 | |
| 6 | GetijPeriode | DurationTide | 12,4 | laagst op te geven waarde |
| 7 | gga | gga | 0 | |
| 8 | T_vrij | T_free | NaN | Not used in new Kernel |
| 9 | Opzet_vrij | Surcharge_free | NaN | Free_SWInput |
| 10 | StartRwVrij | Start_T_free | NaN | Not used in new Kernel |
| 11 | EindRwVrij | End_T_free | NaN | Not used in new Kernel |
| 12 | StormOpzetType | SurchargeType | 2 | |
| 13 | GolfhoogteVector | WaveHeigthVector | [0 0,91] | (waterstand, golfhoogte) |
| 14 | GolfperiodeVector | WavePeriodVector | [0 5,42] | (waterstand, piekperiode) |
| 15 | NiveauVoorland | LevelForeshore | -10 | |
| 16 | ProfielY | ProfileY | [0,3.25]' | |
| 17 | ProfielZ | ProfileZ | [0,1.30]' | |
| 18 | ProfStart | ProfStart | 1 | Not used in new Kernel |
| 19 | ProfEind | ProfEind | 3 | Not used in new Kernel |
| 20 | LogOutputFilePath | LogOutputFilePath | D:\temp\Te | Not used in new Kernel |
| 21 | LogAppendToFile | LogAppendToFile | 1 | Not used in new Kernel |
| 22 | LogRVW | LogRVW | 0 | Not used in new Kernel |
| 23 | LogTaluddeel | LogTaluddeel | 0 | Not used in new Kernel |
| 24 | LogLaagdikte | LogLaagdikte | 0 | Not used in new Kernel |
| 25 | LogMiner | LogMiner | 0 | Not used in new Kernel |
| 26 | LogInslag | LogInslag | 0 | Not used in new Kernel |
| 27 | LogNMax | LogNMax | 0 | Not used in new Kernel |
| 28 | LogToFile | LogToFile | 0 | Not used in new Kernel |
| 29 | Berekenmodus | Berekenmodus | 0 | Not used in new Kernel |
| 30 | Nieuw | CorrectionImpactFactor | 1 | New in this sheet; to correct for berm. Defau |
| 31 | density of the water [kg/m³] | WaterDensity | 1000 | |
| 32 | gravity acceleration [m/s²] | GravitationConstant | 9,81 | |
| 33 | AantalTaludDelen | NumberSlopeParts | 50 | |
| 34 | BeschouwdNiveauMin | MinLevelAsphalt | 0 | |
| 35 | BeschouwdNiveauMax | MaxLevelAsphalt | 1,3 | |
| 36 | InsIVerdAant | InsIVerdAant | 40 | |
| 37 | ClogN | ClogN | 0 | Not used in new Kernel |
| 38 | ClogS | ClogS | 0 | Not used in new Kernel |
| 39 | VoorOverlaag | TwoLayerSystem | 0 | 0 for 1Layer, 1 for 2Layer system |
| 40 | Vermoeiing | Vermoeiing | 0 | |
| Stochast Stochastically distributed input parameters | | | | |
| 1 | maximal water level in the storm [m+NAP] | TestLevel | D | 1 |
| 2 | Linear fatigue parameter | a | NaN | NaN NaN |
| 3 | Soil modulus | c | L | 151 24 |
| 4 | Linear fatigue parameter | k | NaN | NaN NaN |
| 5 | Thickness asphalt | d1 | L | 0,291 0,043 |
| 6 | Thichkness asphalt layer 2 (if applicable) | d2 | NaN | NaN NaN |
| 7 | Stiffness asphalt | E1 | L | 4651 1849 |
| 8 | Stiffness layer 2 (if applicable) | E2 | NaN | NaN NaN |
| 9 | nu factor | nu | D | 0,35 |
| 10 | Curved fatigue paramter | alfa | D | 0,39 0 |
| 11 | Curved fatigue paramter | beta | D | 5,85 0 |
| 12 | Curved fatigue paramter | sigmaB | L | 1,69 0,46 |
| 13 | model factor Golfklap | m | D | 1 |
| 14 | Sterktefactor Golfklap | gammaS | D | 1 |
| 15 | Marginale golfstatstiek | WaveStatistics | Table | MarginaleGolfstatistiek.csv |
| 16 | Golfsteilheid | sop | D | 0,05 |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |

B Bepaling faalkans

Om de faalkans te berekenen voor het faalmechanisme AGK voor traject 8-1, zijn de volgende stappen doorlopen:

Bepalen norm, lengte dijktraject en faalkansruimte

De vereiste veiligheid van de Nederlandse primaire waterkeringen is vastgelegd in de Waterwet van 2017. In deze wet is voor elk dijktraject de maximaal toelaatbare overstromingskans gegeven. Dit is gelijk aan de kans per jaar dat er een doorbraak optreedt in het dijktraject. De beoordeelde waterkering van de zuidelijke randmeren maakt deel uit van het dijktraject 8-1 en heeft volgens de Waterwet een maximaal toelaatbare doorbraakkans van 1/10.000 jaar (ondergrensnorm). In de onderstaande tabel (Tabel 10) zijn de signaleringsnorm, die dient om tijdig de versterkingsopgave in beeld te brengen en de ondergrensnorm, ofwel maximaal toelaatbare overstromingskans, waar een kering minimaal aan moet voldoen opgenomen. Deze zijn vastgesteld per traject en uit Riskeer overgenomen.

Tabel 10 Bepaling norm van het dijktraject

| Parameter | waarde | Toelichting |
|--|--------------------|--|
| $P_{\text{eis, signaalwaarde}}$ [1/jaar] | 1/30.000 | Eis die dient om tijdig de versterkingsopgave in beeld te brengen, zodat er nog tijdig ruimte is om de waterkering te versterken voordat maximaal toelaatbare doorbraakkans wordt overschreden. Waarde uit Riskeer overgenomen. |
| Factor [-] | 3,00 | Geeft de gehanteerde factor weer om tot de ondergrenswaarde te komen. Waarde overgenomen uit Riskeer. |
| $P_{\text{eis, ondergrens}}$ [-] | 1/10.000 | Maximaal toelaatbare overstromingskans $= P_{\text{eis, signaalwaarde}} * \text{Factor}$ |
| Norm van het dijktraject | Signaleringswaarde | Overgenomen uit Riskeer |

Faalkans op trajectniveau

Met de formules uit de bijlage III van de Ministeriële Regeling [Min I&W, 2017] kan afgeleid worden wat de toelaatbare faalkansbijdrage is van de waterkering, waarbij de faalkansruimte kan worden opgedeeld over de verschillende faalmechanismen, zoals het bezwijken van de bekleding door golfklap (AGK) van een bepaald dijktraject. In Tabel 11 is de faalkansruimte (ω) voor AGK, alsmede de faalkans op trajectniveau voor AGK, opgenomen.

Tabel 11 Bepaling faalkansverdeling op trajectniveau

| Parameter | AGK | Toelichting |
|--|------------------|--|
| ω | 0,05 | Faalkansruimtefactor voor asfaltbekleding Overgenomen uit Riskeer |
| $P_{\text{eis; traject}} = \omega * P_{\text{eis, signaalwaarde}}$ | $1,67 * 10^{-6}$ | Maximale faalkans AGK op trajectniveau |

Faalkans op doorsnedeniveau

De bepaling van de faalkanseis per doorsnede voor AGK, wordt als volgt berekend:

$$P_{eis;dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}}$$

Waarin:

$P_{eis;dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar].

P_{eis} Norm van het dijktraject [1/jaar].

ω Faalkansruimtefactor voor het betreffende toetsspoor [-].

N_{dsn} Lengte-effectfactor voor een doorsnede of kunstwerk [-].

Hierin is N_{dsn} als volgt bepaald:

$$N_{dsn} = \frac{L_{traject}}{\Delta L}$$

$L_{traject}$ Totale lengte van het dijktraject [m].

ΔL Lengte van onafhankelijke dijkstrekkings voor dit toetsspoor (=1000) [m].

Het resultaat van deze berekening is hieronder weergegeven:

Tabel 12 Bepaling faalkansverdeling op doorsnedeniveau

| Parameter | Waarde | Toelichting |
|------------------------------|----------------------|--|
| Trajectlengte [m] | 25.488,96 | De trajectlengte voor traject 8-1 Overgenomen uit Riskeer |
| N_{dsn} [-] | 25,49 | Lengte effect voor een doorsnede, Overgenomen uit Riskeer |
| $P_{eis;sig,dsn}$ [-] | $6,54 \cdot 10^{-8}$ | $=(\omega * P_{eis})/N_{dsn}$ (hierbij wordt uitgegaan van de signaleringswaarde) |
| $\beta_{eis;si,dsn}$ [-] | 5,28 | Betrouwbaarheidsindex |
| $1/30 * P_{eis;sig,dsn}$ [-] | $2,18 \cdot 10^{-9}$ | |

Ter bepaling van de indeling in categorieklasse van $P_{f,dsn}$ voor het faalmechanisme AGK voor traject 8-1 is gebruik gemaakt van onderstaande tabel uit [Min I&M, 2017].

| Cat. | Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor | Begrenzing categorie |
|------------------|--|---|
| | | $P_{f,dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis;sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;sig;dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar] |
| I _v | voldoet ruim | $P_{f,dsn} < \frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn}$ |
| II _v | voldoet | $\frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis;sig;dsn}$ |
| III _v | voldoet mogelijk | $P_{eis;sig;dsn} < P_{f,dsn} < P_{eis;sig}$ |
| IV _v | voldoet niet (signaalwaarde) | $P_{eis;sig} < P_{f,dsn} < P_{eis;ond}$ |
| V _v | voldoet niet (ondergrens) | $P_{eis;ond} < P_{f,dsn} < 30P_{eis;ond}$ |
| VI _v | voldoet ruim niet | $P_{f,dsn} > 30P_{eis;ond}$ |
| VII _v | nog geen oordeel | |

Deze tabel is hieronder uitgewerkt voor het faalmechanisme AGK voor traject 8-1.

Tabel 13 Uitgewerkte categorie indeling voor traject 8-1

| cat | Aanduiding categorie toetsoordeel per doorsnede per toetsspoor | Begrenzing categorie |
|------------------|--|---|
| I _v | Voldoet ruim | $P_{f,dsn} < 2,18 \cdot 10^{-9}$ |
| II _v | Voldoet | $2,18 \cdot 10^{-9} < P_{f,dsn} < 6,54 \cdot 10^{-8}$ |
| III _v | Voldoet mogelijk | $6,54 \cdot 10^{-8} < P_{f,dsn} < 1,57 \cdot 10^{-7}$ |
| IV _v | Voldoet niet (signaalwaarde) | $1,57 \cdot 10^{-7} < P_{f,dsn} < 1,0 \cdot 10^{-4}$ |
| V _v | Voldoet niet (ondergrens) | $1,0 \cdot 10^{-4} < P_{f,dsn} < 3,00 \cdot 10^{-3}$ |
| VI _v | Voldoet ruim niet | $P_{f,dsn} > 3,00 \cdot 10^{-3}$ |
| VII _v | Nog geen oordeel | - |

C Werkwijzebeschrijving toetsen op golfklappen OSA

KOAC-NPC

Esscheweg 105
5262 TV Vught

Tel. 088 562 26 72
Fax 088 562 25 11
info@koac-npc.com
www.koac-npc.com

e130334101

Werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een
geavanceerde toetsing op golfklappen op een
bekleding van open steenasfalt

Projectnummer : e130334101
Offertenummer en datum : o131099/ov/adl/rvd 11-09-2013
Titel rapport : Werkwijzebeschrijving toetsen op golfklappen OSA
Status rapport : Definitief

Naam opdrachtgever : Deltares
Adres : Postbus 177
Plaats : 2600 MH DELFT
Naam contactpersoon : mevrouw dr. B.G.H.M. Wichman
Datum opdracht : 20 september 2013
Kenmerk opdracht : 1207811-015-HYE-0032-gbh

Contactpersoon KOAC·NPC : ir. M.P. Davidse
Auteur(s) rapport : ing. A.K. de Looff
ir. M.P. Davidse

Rapportage

Naam: ir. M.P. Davidse

Functie: Adviseur

Handtekening:



Datum: 9-02-2015

Autorisatie

Naam: ing. A.K. de Looff

Functie: Manager productgroep
advies

Handtekening:



Datum: 9-02-2015

Zonder schriftelijke toestemming van KOAC·NPC mag het rapport niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 5 |
| 1.1 | Probleemstelling en doel | 5 |
| 1.2 | Werkwijze | 5 |
| 1.3 | Onderdelen van de beoordeling | 6 |
| 1.4 | Richtlijnen voor rapportages | 8 |
| 1.5 | Leeswijzer | 8 |
| 2 | Vorbereidingen | 10 |
| 2.1 | Algemeen | 10 |
| 2.2 | Basisinformatie | 10 |
| 2.3 | Selectie onderzoeksstrategie per zone op het talud | 11 |
| 2.4 | Meetplan | 11 |
| 2.5 | Resultaten activiteiten | 13 |
| 3 | Veldwerkzaamheden | 14 |
| 3.1 | Algemeen | 14 |
| 3.2 | Uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen | 14 |
| 3.3 | Boren van kernen uit de bekleding | 15 |
| 3.4 | Resultaten activiteiten | 16 |
| 4 | Analyse data veldmetingen | 17 |
| 4.1 | Algemeen | 17 |
| 4.2 | Bepalen van de rek op basis van het deflectieprofiel | 17 |
| 4.3 | Bepalen van de boorlocaties voor laboratoriumonderzoek | 19 |
| 4.4 | Bepalen van de stijfheid van de bekleding en de ondergrond als VGD-metingen zijn uitgevoerd | 20 |
| 4.5 | Resultaten activiteiten | 22 |
| 5 | Uitvoeren stijfheid-, buigtreksterkte- en vermoeiingsonderzoek | 23 |
| 5.1 | Algemeen | 23 |
| 5.2 | Laagdikte bepaling boorkernen | 23 |
| 5.3 | Verkrijgen van proefstukken | 23 |
| 5.4 | Uitvoeren van stijfheidsproeven | 23 |
| 5.5 | Uitvoeren van buigtreksterkte-onderzoek | 24 |
| 5.6 | Uitvoeren van vermoeiingsonderzoek | 24 |
| 5.7 | Opstellen van vermoeiingslijnen | 25 |
| 5.8 | Resultaten activiteiten | 26 |
| 6 | Toetsing met WAVE IMPACT | 28 |
| 6.1 | Omschrijving van de activiteiten | 28 |
| 6.2 | Resultaten activiteiten | 29 |
| 7 | Vastleggen van de gegevens | 31 |

| | | |
|----------|--------------------------|-----------|
| 8 | Referenties | 32 |
|----------|--------------------------|-----------|

Bijlagen:

Bijlage 1: Gedetailleerd plan werkbeschrijving

Bijlage 2: Handleiding grafiekenmaker

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling en doel

Conform het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [1] moeten asfaltbekledingen getoetst worden voor het spoor golfklappen. Voor een waterbouwasfaltbetonbekleding is in het verleden een werkwijzebeschrijving opgesteld voor het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen (zie [2]). Voor open steen asfalt was zo een werkwijzebeschrijving nog niet voorhanden. In het kader van het WTI-2017 onderzoeksprogramma is gewerkt aan het opstellen van een werkwijze volgens welke ook open steen asfalt op golfklappen kan worden getoetst. Hiervoor is onderzoek gedaan naar de meest geschikte beproevingsmethoden, zie [2] en [3].

Op basis van dit onderzoek zijn door de projectgroep asfaltdijkbekledingen de meest bruikbare laboratoriumproeven geselecteerd, op basis van scoretabellen. Het uitvoeren van deze proeven maakt nu deel uit van onderhavige werkwijzebeschrijving van open steenasfalt.

De beoordeling van open steenasfalt op weerstand tegen golfklappen zal in het WTI-2017 deel gaan uitmaken van een geavanceerde toetsing onder de toets op maat. Dit omdat er niet genoeg gegevens en kennis beschikbaar is om voor open steenasfalt een semi-probabilistische toetsregel (niveau 2a) af te leiden.

Binnen de geavanceerde beoordeling op golfklappen die onder de toets op maat valt moeten metingen worden uitgevoerd op de bekleding en in het laboratorium. Voor de werkwijzebeschrijving voor de toetsing van open steen asfalt op golfklappen is zoveel mogelijk dezelfde opzet aangehouden als de werkwijzebeschrijving voor waterbouwasfaltbeton [4]. In deze werkwijzebeschrijving voor open steenasfalt is zoveel mogelijk gedetailleerd beschreven hoe de metingen kunnen worden uitgevoerd en hoe tot een toetsresultaat gekomen kan worden. Er zijn echter nog witte vlekken, zie [5].

Op dit moment is de methode zodanig uitgekristalliseerd dat deze op hoofdlijnen kan worden geüniformeerd. Wel moet nog onderzoek worden uitgevoerd om de witte vlekken in de methode in te vullen. Dit betekent dat een aantal details binnen de toetsing per locatie zal moeten worden ingevuld (toets op maat). Achtergronden bij het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen op een asfaltbekleding zijn opgenomen in verschillende onderzoeken en rapporten [1], [6] en [7]. In deze werkbeschrijving zijn de verschillende onderdelen van het toetsproces beschreven. Per onderdeel zijn de randvoorwaarden en de resulterende producten en parameters beschreven. Dit heeft als doel om duidelijkheid te verschaffen voor de uitvoerende instantie, de opdrachtgever (de dijkbeheerder) en voor Rijkswaterstaat WVL die verantwoordelijk is voor het beschikbaar stellen van geschikte instrumenten voor het uitvoeren van een veiligheidsbeoordeling.

1.2 Werkwijze

In de volgende paragraaf is een algemene beschrijving gegeven van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen. De beoordeling is verdeeld in een aantal stappen en per stap worden verschillende activiteiten uitgevoerd.

Per onderdeel en activiteit zijn de volgende gegevens in de werkbeschrijving vastgelegd:

- Omschrijving van de benodigde informatie voor de beoordeling.
- Een gedetailleerde beschrijving van de onderdelen van de beoordeling.
- Beschrijving van de wijze waarop de beoordeling in documenten wordt vastgelegd.
- Beschrijving van de wijze waarop de informatie (digitaal) wordt gearhiveerd en opgeleverd.

Van elke activiteit is daarnaast het volgende aangegeven:

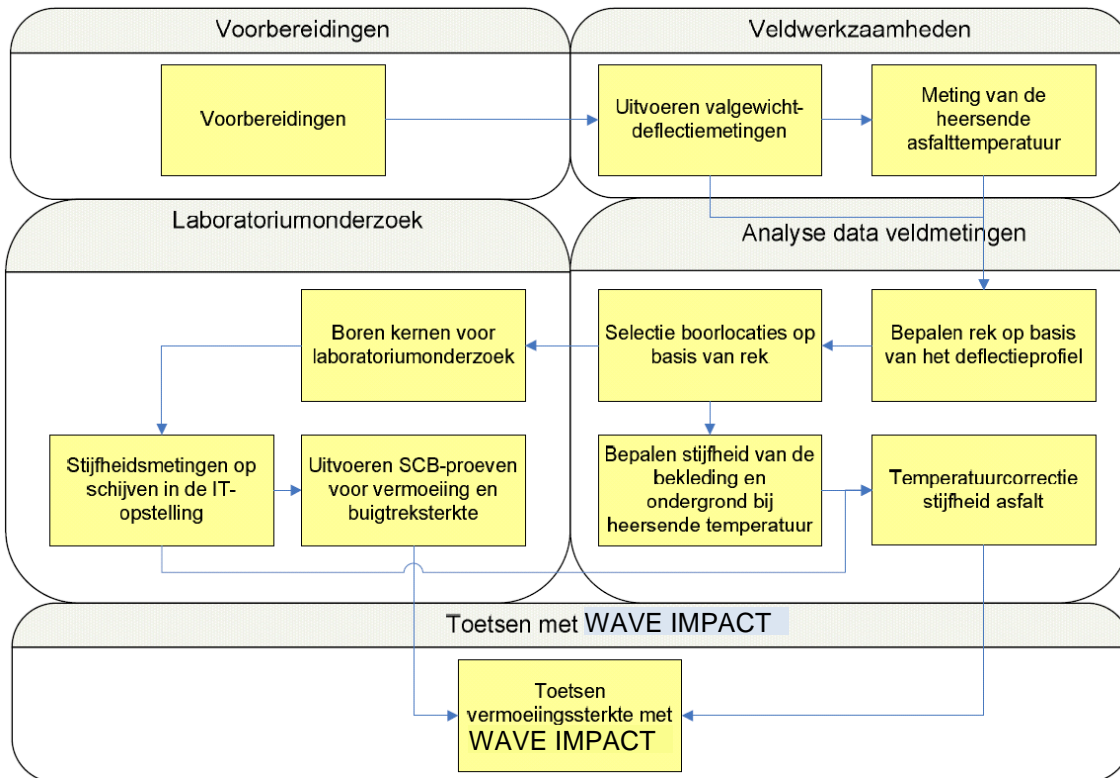
- Is de activiteit noodzakelijk of optioneel? Noodzakelijke activiteiten zijn minimaal benodigd om een veiligheidsbeoordeling uit te voeren. Optionele activiteiten zijn niet noodzakelijk maar wel zinvol en vergroten het inzicht in het gedrag van de bekleding.
- Onder welke condities moet de activiteit worden uitgevoerd?
- In welke parameters die gebruikt worden bij de beoordeling resulteert de activiteit?
- In welk product resulteert de activiteit?

1.3 Onderdelen van de beoordeling

De beoordeling op golfklappen is verdeeld in de volgende onderdelen:

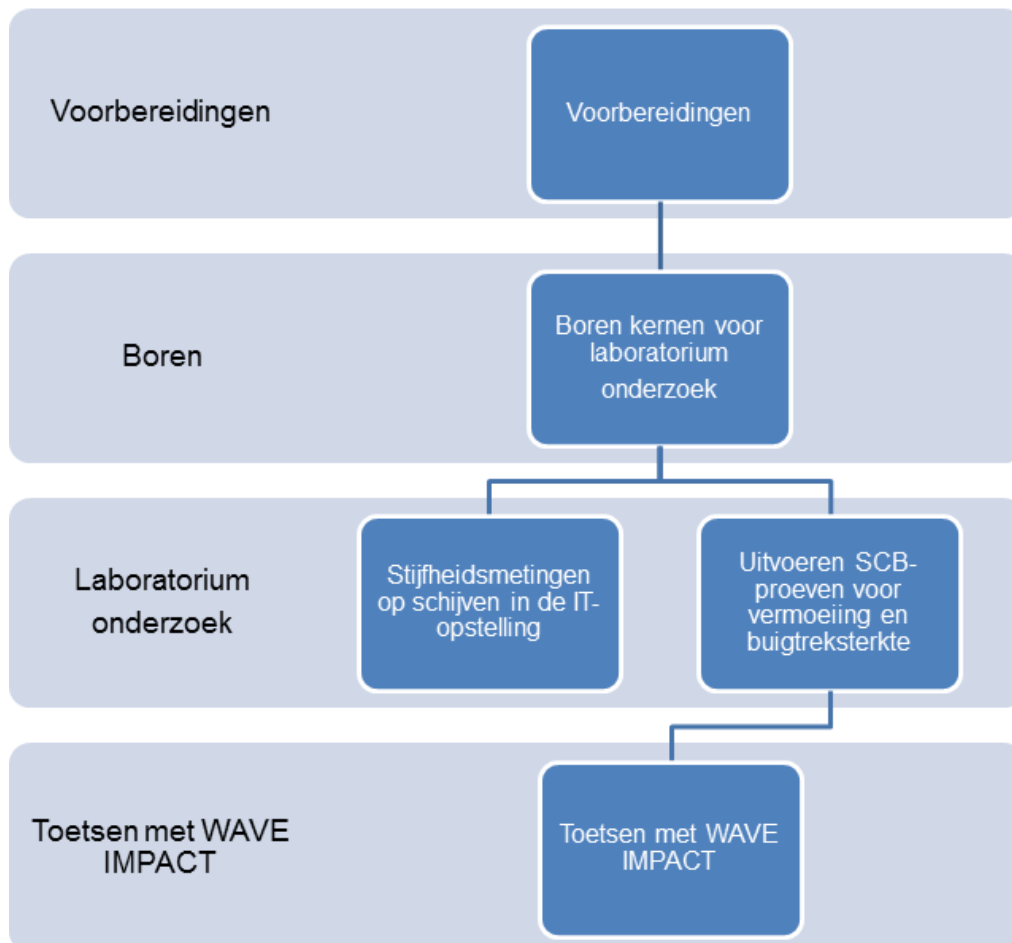
- Voorbereidingen
- Uitvoeren veldwerkzaamheden
- Analyse data veldmetingen
- Uitvoeren laboratoriumonderzoek
- Toetsing van de bekleding met WAVE IMPACT

In Figuur 1-1 is een processchema van de gedetailleerde beoordeling op golfklappen van open steenasfalt boven gemiddeld hoogwater gegeven. Omdat het boren pas uitgevoerd kan worden na de analyse van de VGD veldmetingen is dit qua procesgang benoemd onder de laboratorium werkzaamheden.



Figuur 1-1 Processchema geavanceerde beoordeling OSA op golfklappen boven GHW

Het heeft de voorkeur om voorafgaand aan materiaalonderzoek in het laboratorium een niet-destructief onderzoek met valgewichtdeflectiemetingen uit te voeren. Hiermee wordt veel informatie verzameld over de eigenschappen van de bekleding en de ondergrond. Ook worden op basis van de valgewichtdeflectiemetingen boorlocaties geselecteerd en wordt de beddingsconstante bepaald. Daarnaast kunnen valgewichtdeflectiemetingen periodiek worden gebruikt om de sterkte te monitoren. Deze metingen kunnen echter niet in de tijzone worden uitgevoerd vanwege de gladheid van de bekleding in deze zone. In dat geval wordt het processchema van figuur 1-2 gevolgd. Het verschil tussen beide processchema's is het ontbreken van de valgewichtdeflectiemetingen in de tijzone.



Figuur 1-2 Processchema geavanceerde beoordeling OSA op golfklappen onder GHW

1.4 Richtlijnen voor rapportages

De hier beschreven methode leidt tot een min of meer standaard werkwijze. De rapportages omvatten de volgende onderdelen:

- Een beschrijving van de werkzaamheden, uitgevoerde metingen en proeven etc.;
- De resultaten van uitgevoerde metingen en proeven;
- Interpretatie en analyse van de resultaten;
- Uitgangspunten, beschrijving en resultaten van uitgevoerde berekeningen;
- Conclusies en aanbevelingen.

Bijzonderheden en afwijkingen ten opzichte van de hier beschreven werkwijze moeten in de rapportages worden vermeld.

1.5 Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken is de werkbeschrijving verder uitgewerkt. Per hoofdstuk is een onderdeel van de beoordeling beschreven zoals aangegeven in § 1.3. In hoofdstuk 2 zijn de projectvoorbereidingen beschreven. Hoofdstuk 3 behandelt de uit te voeren veldwerkzaamheden. Dit betreft het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen. In hoofdstuk 4 worden het bepalen van de relevante constructie-eigenschappen op basis van de meetdata en

het selecteren van locaties voor het buigtreksterkte- en vermoeiingsonderzoek beschreven. Hoofdstuk 5 behandelt het bepalen van het buigtreksterkte- en vermoeiingsgedrag van het asfalt met IT- en SCB-proeven. In hoofdstuk 6 is aangegeven hoe de breuk- en vermoeiingssterkte van het asfalt wordt getoetst met het computermodel WAVE IMPACT. In hoofdstuk 7 wordt tot slot ingegaan op het vastleggen van de bij de beoordeling verkregen gegevens. De gebruikte referenties zijn opgesomd in hoofdstuk 8.

2 Voorbereidingen

2.1 Algemeen

Bij het onderdeel voorbereidingen wordt alle voor de beoordeling benodigde informatie verzameld. Wanneer de bekleding zich boven de tijzone bevindt worden daarnaast alle voorbereidende werkzaamheden uitgevoerd voor het uitvoeren van de valgewicht-deflectiemetingen. De volgende werkzaamheden worden uitgevoerd:

- Verzamelen basisinformatie.
- Opstellen meetplan.

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

2.2 Basisinformatie

Om inzicht te krijgen in de voor de beoordeling noodzakelijke gegevens is vaak het uitvoeren van een archiefonderzoek benodigd. De volgende noodzakelijke informatie wordt vastgelegd:

- Locatiegegevens, te weten; dijkkring, naam beheerder, geografische ligging, goede metreering, opbouw van de bekledingsconstructie inclusief type top laag/onderlaag/ondergrond.
- Representatieve dwarsprofielen
- Besteksgegevens: jaar van aanleg, mengselsamenstelling, besteksgrenzen.
- Hydraulische randvoorwaarden: significante golfhoogte (H_s), gemiddelde golfperiode (T_g), Toetspeil, gemiddelde getij amplitude (GGA), gemiddelde waterstand (GWS), type watersysteem, locatie golfklapzone in het profiel.

Vaak is de gemiddelde golfperiode niet bekend. Deze kan dan worden geschat op basis van de piekperiode (T_p) of op basis van een relatie tussen de significante golfhoogte en de gemiddelde golfperiode. Zie hiervoor het technisch rapport asfalt voor waterkeren [7].

Naast de hierboven genoemde voor de beoordeling noodzakelijke informatie is er vaak ook informatie beschikbaar die niet noodzakelijk is maar wel het uitvoeren van een goede beoordeling kan bevorderen. Het betreft de volgende gegevens:

- Resultaten van de visuele inspectie
- Gegevens uit de opleveringscontrole, te weten:
 - Gebruikte bouwstoffen,
 - Mengselsamenstelling
 - Laagdikte (gemiddelde en standaardafwijking)
 - Bitumengehalte (gemiddelde en standaardafwijking)
 - Holle ruimte (gemiddelde en standaardafwijking)
 - Gegevens uit de bedrijfscontrole van de aannemer.
- In het verleden opgestelde adviezen, onderzoeken of gepubliceerde artikelen over de betreffende bekleding.
- Gegeven met betrekking tot reparaties

2.3 Selectie onderzoeksstrategie per zone op het talud

Als open steenasfalt in de tijzone ligt, worden de eigenschappen van de bekleding bepaald op basis van boorkernen in het laboratorium. Het processchema van figuur 1.2 wordt gevolgd. In dit geval wordt de hoeveelheid boorkernen verdubbeld ten opzichte van een onderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van valgewichtdeflectiometingen. Op deze manier wordt informatie verkregen over de laagdikte en stijfheid van de bekleding. Van de beddingconstante van de ondergrond moet in dit geval een veilige inschatting worden gemaakt. Omdat valgewicht deflectiometingen niet uitgevoerd worden, kan hoofdstuk 3 worden overgeslagen en met de werkwijze beschreven in § 4.3 worden vervolgd. Met het uitvoeren van valgewichtdeflectiometingen wordt meer informatie verkregen over de bekleding en ondergrond omdat op meer meetpunten informatie verzameld wordt. Om deze reden worden wanneer het open steenasfalt boven de tijzone ligt, valgewichtdeflectiometingen uitgevoerd voorafgaand aan het laboratoriumonderzoek.

2.4 Meetplan

In het meetplan wordt vastgelegd op welke wijze de valgewicht-deflectiometingen (VGD-metingen) worden uitgevoerd. De volgende gegevens worden opgenomen in het meetplan:

- Bedrijf/bedrijven die de metingen verrichten, contactpersonen
- Apparatuur waarmee de metingen worden uitgevoerd
- Beschrijving van de meetprocedure (valgewicht en temperatuur)
- Dijkvakindeling
- Bijzonderheden in de constructie zoals een in dikte verlopende bekleding, een verzwaring ter plaatse van de teen etc.
- Aantal meetraaien
- Locatie van de meetraaien
- Hart op hart afstand van de meetpunten
- De eis dat de meetlocaties worden vastgelegd met een markering op de bekleding
- De deflecties moeten worden gemeten op de afstanden 0-200-300-450-600-900-1200-1500-1800 mm van het lastcentrum
- Beoogde datum van meting
- Eisen aan de minimale en maximale temperatuur

Op basis van de volgende gegevens wordt een dijkvakindeling gemaakt:

- Besteksgrenzen
- Verschillen in hydraulische randvoorwaarden
- Verschillen in dwarsprofiel
- Verschillen in kwaliteit van asfalt
- Verschillen in mengselsamenstelling
- Verschillen in type ondergrond/ onderlaag/ filter

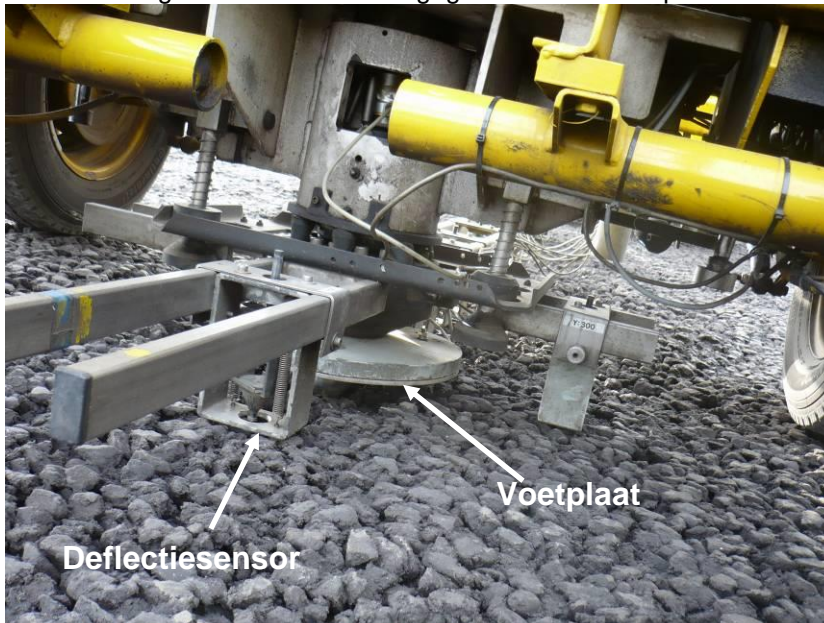
2.4.1 VGD metingen

In de golfklapzone wordt 1 langsraai gemeten met een hart-op-hart afstand van 10 m. De meetraai ligt ten minste 3 m van de overgang op de andere bekleding en eventueel verzwaaard uitgevoerde scheggen vandaan. De meetraai wordt gepositioneerd in de door golven zwaarst belaste zone van de asfaltbekleding. Omdat de meeste golven onder de stilwaterlijn inslaan,

wordt het onderste deel van het talud meestal het zwaarst belast. Daarom wordt de meetraai in de meeste gevallen zo laag mogelijk op het talud geplaatst. Per dijkvak worden minimaal 20 meetpunten onderzocht.

In de tijzone kan niet gemeten worden omdat het talud hier te glad is om te berijden met de VGD-meetapparatuur. Waar mogelijk wordt gemeten boven de tijzone. Als de bekleding alleen in de tijzone ligt kan de procedure verder worden vervolgd vanaf § 4.3.

Per meetpunt worden minimaal 3 metingen uitgevoerd met een kracht van 50 kN. Het deflectieprofiel wordt vastgelegd met minimaal 9 gefoons. Bij een afwijkende constructie kan de standaard gefoonopstelling (0-200-300-450-600-900-1200-1500-1800 mm vanaf het lastcentrum) hierop worden aangepast. De metingen worden uitgevoerd met een voetplaat met een diameter van 300 mm. VGD-metingen worden alleen verricht op een taludhelling van 1:3 of flauwer. In Figuur 2-1 is een beeld gegeven van de voetplaat en een deflectiesensor.



Figuur 2-1 Overzicht voetplaat en deflectiesensor

Omdat open steenasfalt een grof oppervlak heeft en er vooral op een talud gemeten wordt, worden er 3 nokken onder de voetplaat bevestigd. Deze nokken hebben een diameter van 6 cm en zorgen ervoor dat de voetplaat stabiel op het talud staat. De nokken zijn op een afstand van 10 cm vanaf het centrum van de voetplaat gemonteerd. Ook wordt het contactoppervlak van de deflectiesensor vergroot door er een plaatje ($\pm 2,5$ cm diameter) onder te schroeven. Een beeld van de nokken en deflectiesensoren is gegeven in Figuur 2-2.



Figuur 2-2 Detailopname van de aangepaste deflectiesensoren en nokken onder de voetplaat

In het volgende hoofdstuk is uitgebreid ingegaan op het uitvoeren van de valgewicht-deflectiemetingen.

2.5 Resultaten activiteiten

De hier beschreven activiteiten resulteren in de volgende producten:

- Een overzicht met beschikbare gegevens
- Een dijkvakindeling
- Rapportage van de voorstudie
- Een meetplan op basis waarvan de veldmetingen worden verricht.

3 Veldwerkzaamheden

3.1 Algemeen

Onder de veldwerkzaamheden worden valgewicht-deflectiemetingen (VGD-metingen) en boorwerkzaamheden verstaan. De volgende werkzaamheden worden bij dit onderdeel van de beoordeling uitgevoerd:

- Uitvoeren valgewichtdeflectiemetingen
- Meten van de heersende asfalttemperatuur (gelijktijdig met het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen)
- Opstellen van een boorplan
- Boren van kernen uit de bekleding
- Bepalen van de laagdikte van de kernen

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

3.2 Uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen

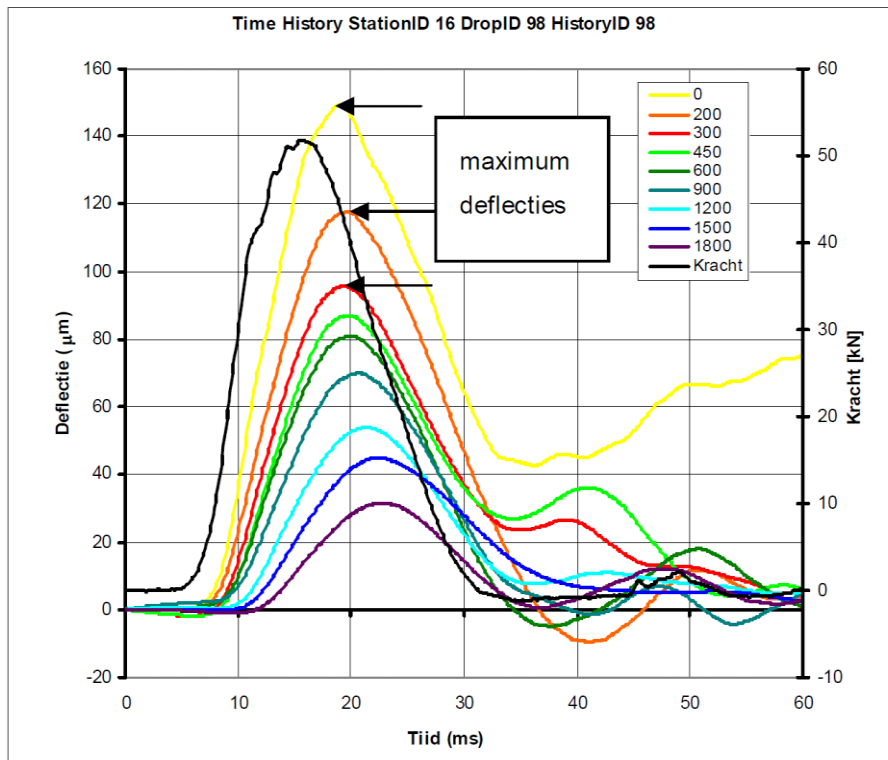
De metingen worden uitgevoerd zoals beschreven in het meetplan. Elke afzonderlijke meetlocatie waar de VGD-meting is uitgevoerd moet op de bekleding worden gemarkeerd zodat de meetpunten teruggevonden kunnen worden voor de boren van kernen. Aanbevolen wordt om de GPS-coördinaten van de meetpunten te registreren.

Bij elke VGD-meting wordt de oppervlaktetemperatuur van het asfalt met infrarood gemeten. Hierbij wordt het tijdstip van meten geregistreerd. Op basis van de oppervlaktetemperatuur, de laagdikte en de gemiddelde temperatuur van het voorgaande etmaal wordt met de BELLS-vergelijking [8] de **gemiddelde** asfalttemperatuur berekend. Doordat de luchttemperatuur relatief snel kan wisselen en ook zonlicht de asfalttemperatuur op het oppervlak snel kan verhogen is deze correctie noodzakelijk. Daarnaast wordt de asfalttemperatuur in het midden van de bekleding in een boorgat gemeten conform de specificaties van het CROW [9]. Het boorgat betreft geen kernboring maar een puntmeting met een simpele steenboor zodat een datalogger in de bekleding geplaatst kan worden. De meting in een boorgat vindt plaats vanaf aanvang van de VGD-metingen. De temperatuur wordt gedurende de VGD-metingen met een data-logger vastgelegd. De met de BELLS-vergelijking bepaalde temperatuur wordt gemiddeld met de temperatuur geregistreerd door de datalogger. Opgemerkt wordt dat deze methode van meten in het boorgat ontwikkeld is voor dichte verhardingen (zoals waterbouwasfaltbeton). Voor een open bekleding als open steenasfalt is deze methode niet gevalideerd. Wanneer de bekleding open is wordt mogelijk geen juiste gemiddelde asfalttemperatuur gemeten. Toch wordt aanbevolen deze meting uit te voeren. Wanneer de methode gevalideerd is kan de temperatuurmeting gebruikt worden.

De valgewicht-deflectiemetingen moeten worden uitgevoerd met een door CROW gecertificeerd valgewicht en de meetopstelling dient gekalibreerd te zijn. De VGD-metingen worden alleen uitgevoerd bij een asfalttemperatuur van minimaal 0 en maximaal 15 °C tenzij er goede redenen zijn om hiervan af te wijken. Daarnaast worden er geen metingen uitgevoerd zolang de vorst nog in de grond zit of wanneer de bekleding in de voorgaande 24 uur is belast door golfoploop

omdat hierdoor de temperatuurgradiënten in het asfalt zodanig worden beïnvloed dat een goede schatting van de gemiddelde asfalttemperatuur niet mogelijk is.

In Figuur 3-1 is een voorbeeld gegeven van de registratie in de tijd van een opgelegde belasting en de deflectie van de bekleding op verschillende afstanden van het centrum van de belasting.



Figuur 3-1 Deflecties op verschillende afstanden (in mm) van het lastcentrum en opgelegde belasting in de tijd

Een meer uitgebreide beschrijving van het principe van de meting is beschreven in een artikel [10].

3.3 Boren van kernen uit de bekleding

Wanneer VGD-metingen zijn uitgevoerd zijn op basis van de rekken in de bekleding de locaties voor het boren van kernen voor het laboratoriumonderzoek vastgelegd (zie § 4.3). De 8 kernen moeten exact op de locaties worden geboord waar ook de VGD-metingen zijn uitgevoerd. Hiervoor zijn de VGD-meetpunten op de bekleding gemarkeerd.

Wanneer de bekleding zich in de tijzone bevindt worden 16 kernen geboord (zie § 4.3.1).

De diameter van de kernen bedraagt 200 mm. Als een kern bij het boren uiteenvalt, dient voor die kern op de reserve-locatie behorende bij het percentiepunt van de uiteengevallen kern, een substituuat te worden geboord. Op deze manier worden ten minste 8 boorkernen verkregen. Het

uit elkaar gevallen materiaal wordt ook in een emmer of plastic zak afgeleverd bij het laboratorium.

Wanneer mogelijk wordt ter plekke in het gat vastgesteld welk materiaal zich onder de bekleding bevindt en wordt dit vastgelegd.

3.4 Resultaten activiteiten

3.4.1 Uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen

Het uitvoeren van VGD-metingen resulteert in de volgende producten:

- Een meetbestand met daarin voor elke meting de volgende gegevens:
 - Maximale deflectie per gefoon.
 - Gefoonafstanden ten opzichte van het lastcentrum.
 - Metreering.
 - Opgelegde belasting.
 - Datum en tijd.
 - Oppervlaktetemperatuur.
 - Eventueel het verloop van de deflecties in de tijd (bijvoorbeeld gedurende 60 ms).
- Asfalttemperatuur gemeten in een boorgat tijdens het uitvoeren van de VGD-metingen.

4 Analyse data veldmetingen

4.1 Algemeen

Op basis van de veldmetingen worden locaties geselecteerd voor het boren van kernen voor buigtreksterkte- en vermoeiingsonderzoek en er worden parameters bepaald die benodigd zijn bij het uitvoeren van toetsingsberekeningen met het programma WAVE IMPACT.

Voor het bepalen van locaties voor buigtreksterkte- en vermoeiingsonderzoek worden de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Bepalen van de rek in de onderzijde van de bekleding op basis van het deflectieprofiel
- Bepalen van de locaties voor het boren van kernen uit de bekleding voor stijfheid-, buigtreksterkte- en vermoeiingsonderzoek

De volgende werkzaamheden worden uitgevoerd voor het bepalen van parameters die benodigd zijn voor het uitvoeren van berekeningen met het programma WAVE IMPACT:

- Bepalen van de stijfheid van de bekleding bij de tijdens de metingen heersende temperatuur
- Bepalen van de representatieve asfalttemperatuur tijdens de metingen
- Normeren van de berekende stijfheden naar 1 temperatuur
- Opstellen rapportage

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

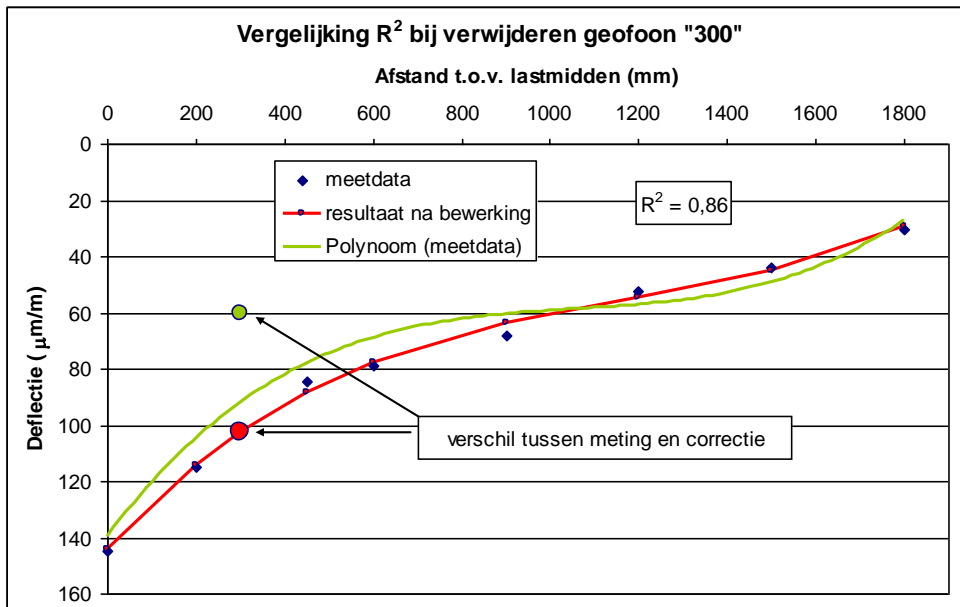
4.2 Bepalen van de rek op basis van het deflectieprofiel

Op basis van het deflectieprofiel (zie bijvoorbeeld Figuur 4-1) zoals gemeten met een valgewicht-deflectiemeter wordt per meetpunt de rek aan de onderzijde van de bekleding ten gevolge van de met het valgewicht opgelegde belasting bepaald. Hiervoor worden eerst de gemeten deflecties genormaliseerd naar een klapgrote van de belasting van 50 kN en een temperatuur van 5 °C. Vervolgens wordt de rek bepaald met een voorspellend model waarbij de gemeten deflecties en daarvan afgeleide waarden de invoerparameters zijn.

Voor het bepalen van de rek wordt in eerste instantie gekeken naar de resultaten van de 3^e klap gekeken. Voordat de rek wordt berekend, wordt van elk meetpunt het deflectieprofiel gecontroleerd. Nagegaan moet worden of de deflectie afneemt bij een toenemende afstand van de geofoon tot de voetplaat en of het deflectieprofiel vloeiend verloopt. Bij afwijkende profielen wordt nagegaan of het deflectieprofiel van de 2^e klap wel bruikbaar is.

Als de 2^e klap ook niet bruikbaar blijkt, kan gekeken worden of het deflectieprofiel toch bruikbaar is door een meetpunt te interpoleren op basis van de omliggende meetpunten. Voor het berekenen van de rek zijn alleen de meetwaarden van de geofoons op afstanden 0, 300, 600 en 900 mm benodigd. Interpolatie van een ontbrekende of erg afwijkende waarde op deze posities kan alleen plaatsvinden als de R-kwadraat van een 3^e graads polynoom door de meetwaarden 0,75 of hoger is [3]. Voor deflectieprofielen met grotere discontinuïteiten moet naar de tijdsopname (zie Figuur 3-1) gekeken worden. Als deze niet beschikbaar is, worden

deze meetpunten niet verwerkt en als onbetrouwbaar gemarkeerd. Een voorbeeld van een correctie is weergegeven in Figuur 4-1.



Figuur 4-1 Voorbeeld correctie meetwaarde

In de figuur is een 3^e graads regressielijn weergegeven met $R^2=0,86$. Er is een duidelijk afwijkende waarde (60 µm) gemeten op een afstand van 300 mm vanaf het centrum. Door deze waarde te verwijderen wordt een nieuwe polynoom verkregen waarna een gecorrigeerde waarde wordt berekend. De methode is gevalideerd en bleek een gemiddelde afwijking (over 16 meetpunten) van 2,7% met de werkelijk gemeten waarde op te leveren [3]. Deze methode kan echter niet worden toegepast wanneer de centrumgeofoon een afwijkende waarde heeft. Extrapolatie op basis van de overige meetwaarden voor de centrumgeofoon levert een te grote afwijking (>10%) op.

Op deze manier zijn meer meetlocaties bruikbaar voor het berekenen van de rek onderin het asfalt.

Temperatuurnormalisatie kan plaatsvinden zoals is beschreven in [11]. Daarbij moeten frequentie sweeps worden uitgevoerd op het te toetsen open steenasfalt om daarmee de relatie tussen de stijfheid en de temperatuur te bepalen. De deflecties worden genormaliseerd naar 5 °C waarna de rek uit de deflecties wordt berekend. De relatie tussen afgeleiden van het deflectieprofiel en de asfaltrek luidt [12]:

$$\begin{aligned} \log(\varepsilon) = & 2,2633 + 2,09803 \cdot \log(d_0) - 1,4151 \cdot \log(d_{300}) - 0,42989 \cdot \log(d_{600}) \\ & + 4,32481 \cdot \log(SCI_{300}) - 7,60848 \cdot \log(SCI_{600}) + 3,56736 \cdot \log(BDI) + \\ & 0,39567 \cdot \log(BCI) \end{aligned} \quad (1)$$

| | | |
|--------------------|---|---|
| waarbij ϵ | = | maximum rek onderin asfalt onder belasting van 50 kN ($\mu\text{m}/\text{m}$) |
| d_i | = | deflectie onder belasting van 50 kN gemeten op afstand i mm vanaf het lastcentrum (μm) |
| SCI_{300} | = | Surface Curvature Index $d_0 - d_{300}$ (μm) |
| SCI_{600} | = | Surface Curvature Index $d_0 - d_{600}$ (μm) |
| BDI | = | Base Damage Index $d_{300} - d_{600}$ (μm) |
| BCI | = | Base Curvature Index $d_{600} - d_{900}$ (μm) |

Bij meetpunten die een berekende rek hebben die erg afwijken van het gemiddelde beeld wordt nogmaals het deflectieprofiel gecontroleerd en eventueel de time-history grafiek van de meting. Alleen als daartoe op grond van deze gegevens aanleiding toe is, wordt de rek van dit meetpunt verwijderd uit het bestand en het meetpunt als onbetrouwbaar gemarkeerd.

4.3 Bepalen van de boorlocaties voor laboratoriumonderzoek

In principe worden stijfheid-, vermoeiing-, en buigtreksterkte-eigenschappen bepaald voor elk dijkgedeelte dat onder één bestek is aangelegd. Er kan worden besloten meerdere van deze dijkgedeelten te groeperen en hiervoor gezamenlijk de vermoeiing-, en sterkte-eigenschappen te bepalen als wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- Het dwarsprofiel en de constructieopbouw van de verschillende dijkgedeelten is gelijk
- De mengselsamenstelling en de steen-mortel verhouding van de verschillende dijkgedeelten is vergelijkbaar
- Er zijn geen grote verschillen in aanlegjaar van de verschillende dijkgedeelten
- Als de resultaten van de VGD-metingen daar aanleiding toe geven

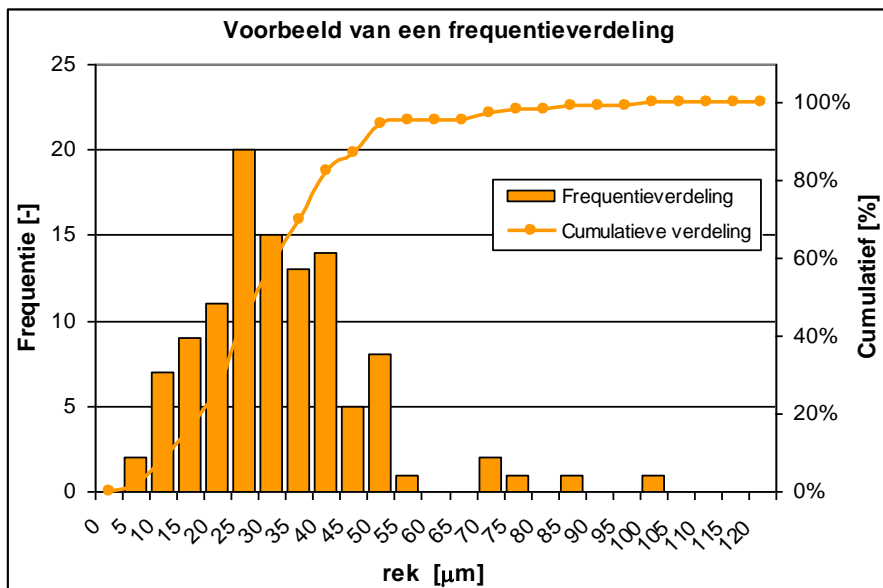
Er wordt onderscheid gemaakt in het bepalen van boorlocaties wanneer valgewichtdeflectiemetingen worden uitgevoerd of het geval waar dit niet mogelijk is.

4.3.1 Selectie boorlocatie in de tijzone, geen VGD-metingen beschikbaar

Voor het deel van de bekleding dat onder één bestek is aangelegd worden 16 boorlocaties geselecteerd. Dit gebeurt door het oppervlak te verdelen in 16 gelijke delen. Vervolgens wordt een willekeurige locatie gekozen door vooraf per deel een x - en y -coördinaat te laten kiezen door een getallen generator. Op deze manier wordt representatief en a-select een locatie gekozen. De locaties worden omschreven in een boorplan. De procedure wordt vervolgd zoals beschreven in hoofdstuk 3.3.

4.3.2 Selectie boorlocatie op basis van valgewichtdeflectiemetingen

Voor elk dijkgedeelte waarvan de vermoeiing- en sterkte-eigenschappen worden bepaald, wordt de cumulatieve frequentieverdeling van de rek bepaald. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 4-2



Figuur 4-2 Voorbeeld van een cumulatieve frequentieverdeling van de rek

Op verschillende percentielpunten van de rek worden als volgt de boorlocaties voor het vermoeiingsonderzoek bepaald:

- 3 stuks waarvan 1 reserve op 5% percentielpunten
- 3 stuks waarvan 1 reserve op 35% percentielpunten
- 3 stuks waarvan 1 reserve 65% percentielpunten
- 3 stuks waarvan 1 reserve op 95% percentielpunten

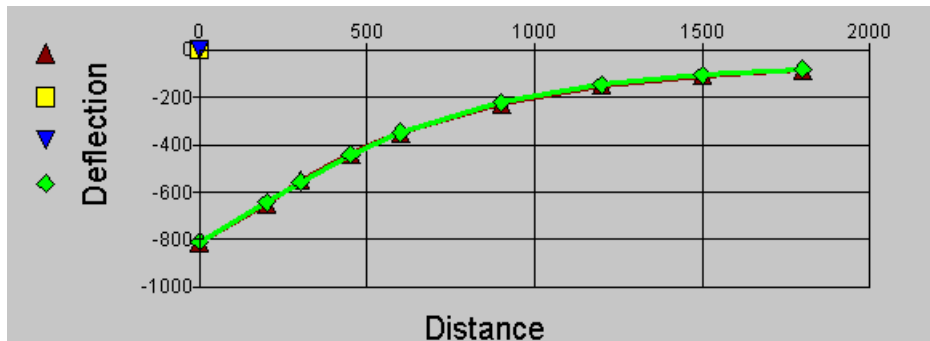
4.4 Bepalen van de stijfheid van de bekleding en de ondergrond als VGD-metingen zijn uitgevoerd

Voor alle meetpunten waar een kern is geboord en dus de bekledingsdikte bekend is, worden de elasticiteitsmoduli van het asfalt en de ondergrond teruggerekend uit de deflectieprofielen gemeten met de VGD-apparatuur. Dit gebeurt met een computermodel gebaseerd op de zogenaamde Odemark-Boussinesq methode voor equivalente laagdikten. Er zijn hier diverse computermodellen voor. Hierbij wordt bij gegeven laagdikten een combinatie van stijfheden van top- en onderlagen gezocht die een berekend deflectieprofiel geeft dat het gemeten profiel het dichtst benadert. Op deze wijze wordt de stijfheid van de toplaag, een eventueel aanwezige onderlaag en de ondergrond bepaald.

Wanneer een onderlaag van zandasfalt aanwezig is moet hiervoor een stijfheidswaarde worden aangenomen. Wanneer zandasfalt als filter onder aan open steenasfaltbekleding is toegepast is weinig bitumen aan het mengsel toegevoegd. Dit zandasfalt heeft dan ook andere eigenschappen dan een zandasfaltbekleding onder waterbouw-asfaltbeton. Voor het zandasfalt onder een open steenasfaltbekleding kan voor de stijfheid een richtwaarde van 300 MPa worden aangehouden.

Voor het terugrekenen van de stijfheden wordt voor elk meetpunt gebruik gemaakt van de registratie van de laatste klap tenzij hier een meetfout is opgetreden en de registratie van de

eerste of tweede klap wel een betrouwbaar deflectieprofiel levert. Een voorbeeld van een gemeten en teruggerekend deflectieprofiel is gegeven in Figuur 4-3.



Figuur 4-3 Gemeten en berekend deflectieprofiel (deflectie in µm en afstand in mm)

Er is hierbij gebruik gemaakt van het gemeten deflectieprofiel zodat hiermee de asfaltstijfheid bij asfalttemperatuur tijdens de meting en de belastingsnelheid van het valgewicht (17 Hz) berekend is.

Vervolgens wordt voor elke teruggerekende elasticiteitsmodulus van de toplaag de bijbehorende representatieve asfalttemperatuur berekend met de BELLS-vergelijkingen [8]. Dit is het gewogen gemiddelde van de temperatuur over de dikte van de bekleding.

Voor de toetsing met WAVE IMPACT worden de asfaltstijfheden die berekend zijn uit de VGD-resultaten, genormaliseerd naar 5 °C en 10 Hz. Dit kan met behulp van een mastercurve die de relatie tussen de stijfheid/ elasticiteitsmodulus en temperatuur beschrijft. Voor open steenasfalt zijn geen mastercurves bepaald zodat gecorrigeerd moet worden op basis van materiaalonderzoek in het laboratorium. Voorafgaand aan de vermoeiingsproeven (zie § 5.3) moet de elasticiteitsmodulus van de proefstukken bij 5 °C en 10 Hz. worden bepaald. Ook moet de elasticiteitsmodulus worden bepaald bij de gemiddelde temperatuur van het asfalt tijdens het uitvoeren van de VGD-metingen en bij 17 Hz. De verhouding tussen deze elasticiteitsmoduli moet worden gebruikt om de VGD-stijfheden te normaliseren naar 5 °C en 10 Hz.

Uit de stijfheid van de onderlaag wordt de beddingsconstante bepaald met de volgende formule (uit [13]):

$$c = \frac{E_2}{2a(1-\nu^2)} \quad (6)$$

Hierin is:

| | | |
|-------|---|---------|
| c | = beddingsconstante | (MPa/m) |
| E_2 | = elasticiteitsmodulus van de ondergrond | (MPa) |
| a | = straal van de belaste plaat | (m) |
| ν | = dwarscontractiecoëfficiënt (0,35 voor zand) | (-) |

Omdat de proeven niet direct op het zand zijn uitgevoerd, kan voor de diameter van de belasting niet worden volstaan met de voetplaat van het valgewicht. Aangenomen dat de belasting onder een hoek van 45° spreidt, wordt de straal (a) van de belaste plaat 0,10 m + de laagdikte. De genoemde plaat is de voetplaat van het valgewicht. De nokken onder deze plaat zijn op 10 cm vanaf het centrum van de voetplaat gemonteerd.

De elasticiteitsmodulus van de ondergrond wordt bepaald tijdens het proces van fitten van het deflectieprofiel (zie Figuur 4-3). Wanneer geen fitprogramma beschikbaar is kan gebruik gemaakt worden van de volgende formule:

$$E_2 = \frac{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_{\text{voetplaat}} \cdot D_{\text{voetplaat}}^2}{1200 \cdot d_{1200} + 1500 \cdot d_{1500} + 1800 \cdot d_{1800}}$$

| | | |
|-----------------------------|---|-------|
| E_2 | = stijfheid van de ondergrond | (MPa) |
| ν | = poissongetal | (MPa) |
| $\sigma_{\text{voetplaat}}$ | = spanning aan de onderzijde van de voetplaat | (MPa) |
| $D_{\text{voetplaat}}$ | = de diameter van de voetplaat | (mm) |
| d_i | = de deflectie op afstand i | (mm) |

4.5 Resultaten activiteiten

4.5.1 Bepalen van rek op basis van het deflectieprofiel

Het bepalen van de rek op basis van het deflectieprofiel resulteert in een naar 5 °C genormaliseerde rek van de asfaltbekleding voor elk VGD-meetpunt. Een frequentieverdeling van de berekende rekken is beschikbaar.

4.5.2 Bepalen van de boorlocaties voor laboratoriumonderzoek

Het bepalen van boorlocaties voor laboratoriumonderzoek resulteert in het volgende:

- In de tijzone
 - Overzicht van 16 gelijke oppervlakken
 - x- en y-coördinaat per gewenste locatie
 - Boorplan
- Boven de tijzone
 - Overzicht van percentiepunten van de rek en boorlocaties per dijkgedeelte
 - Boorplan

4.5.3 Bepalen van de stijfheid van de bekleding en ondergrond

Het bepalen van de stijfheid resulteert in de volgende producten:

- Teruggerekende elasticiteitsmoduli van de toplaag bij de heersende asfalttemperatuur en bij 5 °C.
- Representatieve asfalttemperatuur voor elke teruggerekende elasticiteitsmodulus
- Naar 1 temperatuur genormeerde elasticiteitsmoduli van de toplaag
- Elasticiteitsmodulus en beddingsconstante van de ondergrond

5 Uitvoeren stijfheid-, buigtreksterkte- en vermoeiingsonderzoek

5.1 Algemeen

Het stijfheid-, buigtreksterkte- en vermoeiingsonderzoek wordt uitgevoerd op proefstukken afkomstig van locaties die zijn geselecteerd op basis van de rek in de bekleding of voor de tijzone op willekeurige, representatieve locaties. De volgende werkzaamheden worden bij dit onderdeel van de beoordeling uitgevoerd:

- Meten van de laagdikte aan de kernen
- Opstellen van een onderzoeksplan
- Voorbereiden van de proefstukken
- Bepalen van de elasticiteitsmodulus
- Uitvoeren van de buigtreksterkte- en vermoeiingsproeven
- Uitvoeren van standaardonderzoek op zaagrestanten
- Opstellen van vermoeiingslijnen
- Opstellen rapportage

Voorafgaand aan de laboratoriumwerkzaamheden wordt een onderzoeksplan opgesteld waarin de uit te voeren werkzaamheden zijn beschreven.

In de onderstaande paragrafen zijn de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt. Voor een gedetailleerde beschrijving van de proeven wordt verwezen naar de Europese normen van de stijfheidsproeven en SCB-proeven (respectievelijk [14] en [15]).

5.2 Laagdikte bepaling boorkernen

Van de kernen wordt de laagdikte bepaald waarbij de lengte van de kern 8 maal gemeten wordt door uit te gaan van vier vlakken die onderling hoeken van 45 graden of een veelvoud daarvan met elkaar maken.

5.3 Verkrijgen van proefstukken

Uit de onderzijde van elke kern wordt een schijf met een dikte van minimaal 3 maal de grootste steendiameter gezaagd. De proefstukken worden gedroogd aan de lucht, totdat het massaverlies minder is dan 0,25%. Tussen twee bepalingen van massa moet ten minste gedurende 30 minuten worden gedroogd. Hierna wordt de dichtheid proefstuk bepaald door middel van afmetingen bepalen en wegen.

5.4 Uitvoeren van stijfheidsproeven

De schijf wordt ingebouwd in de machine om eerst het stijfheidsonderzoek uit te voeren. Dit volgens de Europese norm hiervoor [14]. Er is een aantal afwijkingen op de norm:

- de proef moet tenminste uitgevoerd worden bij de volgende combinaties van temperatuur en frequentie:
 - 5 °C en 10 Hz;
 - de gemiddelde temperatuur bij de VGD-metingen en 17 Hz

Daarnaast wordt aanbevolen om een volledige frequentie sweep uit te voeren en dat bij verschillende temperaturen (0, 10, 15 en 20 °C). Met deze gegevens kan een mastercurve opgesteld worden van het open steenasfalt waarmee de stijfheid voor frequentie en temperatuur gecorrigeerd kan worden naar iedere gewenste waarde. Wanneer de volledige mastercurve bekend is kan deze gebruikt worden bij een volgende valgewichtmeting bij een andere asfalttemperatuur.

5.5 Uitvoeren van buigtreksterkte-onderzoek

Het buigtreksterkteonderzoek en vermoeiingsonderzoek wordt uitgevoerd op halve schijven. Hiervoor wordt de schijf die gebruikt is voor het stijfheidsonderzoek doormidden gezaagd. Eén helft van de schijf wordt gebruikt voor buigtreksterke-onderzoek de andere helft wordt gebruikt voor vermoeiingsonderzoek.

De maximale buigtreksterkte wordt bepaald in de Semi Circular Bending opstelling. Hiervoor wordt de schijf het laagst gelegen in de kern doormidden gezaagd. Op deze manier worden 16 halve manen verkregen. De proef wordt uitgevoerd volgens de norm [15] waarbij in afwijking van de norm de volgende proefcondities worden aangehouden:

- de proef wordt uitgevoerd bij 5 °C
- het proefstuk wordt niet gekerfd
- het proefstuk wordt zo belast dat een reksnelheid van 2.625 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{s}$ wordt opgewekt. Bij een oplegglengte van 160 mm resulteert dit in een snelheid van 0,112 mm/s

5.6 Uitvoeren van vermoeiingsonderzoek

Het vermoeiingsonderzoek wordt uitgevoerd op SCB-proefstukken bij 5 °C. De frequentie waarbij de vermoeiingsproef wordt uitgevoerd is 1 Hz. De vermoeiingsproef wordt uitgevoerd in de SCB-opstelling en wordt krachtgestuurd uitgevoerd. Het krachtniveau waarbij de proeven moeten worden uitgevoerd moet zo worden ingeschat dat er voldoende spreiding in levensduur wordt gevonden. Het is daarom aan te raden om eerst de buigtreksterkteproeven uit te voeren zodat inzicht in de sterkte en variabiliteit van het materiaal verkregen is. Op basis van deze proeven kan vervolgens het krachtniveau worden bepaald.

Ter onderbouwing van de resultaten van de sterkte- en vermoeiingsproeven kan op de zaagrestanten van elke kern een standaardonderzoek worden uitgevoerd. Het proeven die worden uitgevoerd voor het standaardonderzoek worden uitgevoerd volgens de standaard RAW bepalingen [16] en Europese normen. De van toepassing zijnde RAW proef of Europese norm is tussen haakjes achter elke eigenschap weergegeven. De volgende eigenschappen worden bepaald:

- Dichtheid proefstuk van de balkjes door middel van meten en wegen (RAW 82)
- Dichtheid mengsel (RAW 83)
- Holle ruimte (RAW 84)
- Korrelverdeling mineraalaggregaat (RAW 11.0)
- Bitumenpercentage (RAW 80.0)

Bitumeneigenschappen, te weten:

- Penetratie (NEN-EN 1426)
- Verwekingspunt (NEN-EN 1427)

- Penetratie-index (NEN-EN 12591, Annex B)

Het bitumen wordt teruggewonnen volgens (RAW 89)

5.7 Opstellen van vermoeiingslijnen

5.7.1 Keuze van de vermoeiingslijn

Voor asfaltdijkbekledingen is er een model ontwikkeld om het vermoeiingsgedrag van waterbouwasfalt te karakteriseren. Dit model wordt ook gebruikt voor open steenasfalt. Het vermoeiingsgedrag wordt beschreven door een gekromde lijn die de buigtreksterkte en het maximaal aantal lastherhalingen bij een spanning beschrijft. In § 5.7.2 is aangegeven hoe de gekromde vermoeiingslijn kan worden bepaald.

5.7.2 Gekromde vermoeiingslijn

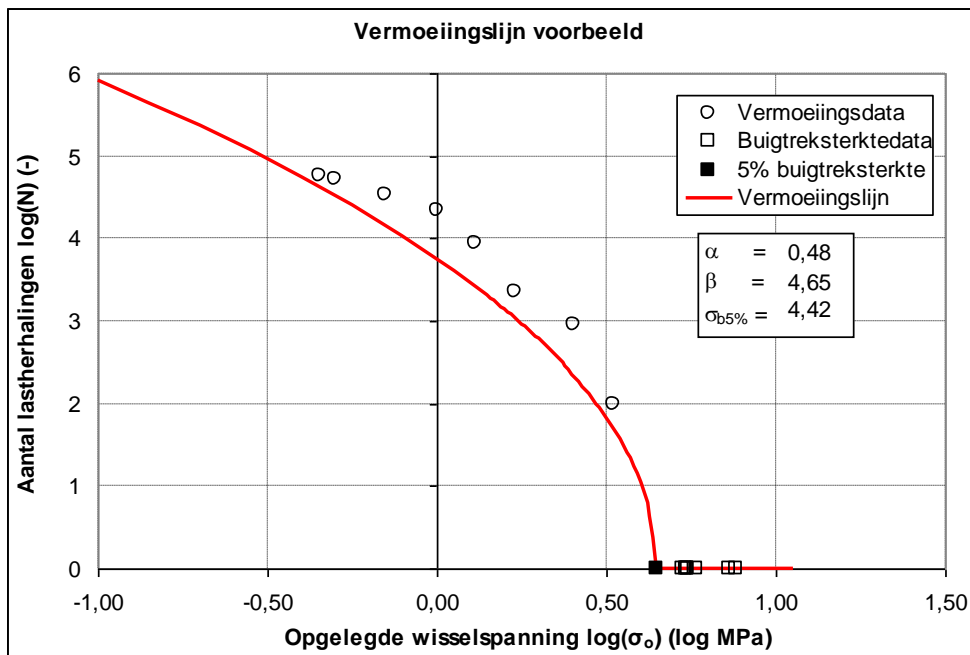
Door het vermoeiingsonderzoek zijn voor elke kern gepaarde waarnemingen beschikbaar gekomen van de buigtreksterkte en een resultaat van een vermoeiingsproef. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij het opstellen van de vermoeiingslijn. De relaties tussen het aantal lastherhalingen bij bezwijken (N) en de buigtreksterkte (σ_b) en opgelegde spanning (σ_o) luidt:

$$\log(N) = \beta(\log(\sigma_b) - \log(\sigma_o))^\alpha \quad (8)$$

Hierin zijn α en β materiaalparameters die gefit worden aan de meetresultaten van de buigtreksterkte en vermoeiingsproeven.

Voor dit fitten van de vermoeiingslijn wordt gebruikt van het MS-Excel-sjabloon: grafiekenmaker karakteristieke vermoeiingslijn. De handleiding hiervan is opgenomen in bijlage 2. Voor de laatste versie hiervan en de bijbehorende handleiding wordt verwezen naar www.helpdeskwater.nl.

Een voorbeeld van een vermoeiingslijn op basis van vermoeiingsproeven is gegeven in Figuur 5-1.



Figuur 5-1 Voorbeeld van een vermoeingslijn

Er wordt gerekend met de gemiddelde waarden van α en β en de karakteristieke waarde van de buigtreksterkte.

De grafiekenmaker bepaalt de buigtreksterkte door middel van de volgende methode:

- bepaal de logaritme van de individuele proefresultaten
- bepaal van de logaritmische waarden het gemiddelde, de standaardafwijking en het aantal
- bepaal $(\log(\sigma_b))_{5\%}$ volgens § 3.5 uit [6]
- bepaal $\sigma_{b,5\%}$

5.8 Resultaten activiteiten

5.8.1 Boren van kernen uit de bekleding

Het boren van kernen uit de bekleding resulteert in het volgende:

- Kernen met een diameter van 200 mm (ten minste 8 per bestek bij uitvoeren VGD-metingen, ten minste 16 in de tijzone).
- Laagdikte per kern.

5.8.2 Uitvoeren van stijfheid-, buigtreksterkte- en vermoeingsproeven

Het uitvoeren van de proeven resulteert in het volgende:

- Dichtheid proefstuk van de halve schijven.
- Elasticiteitsmodulus bij 5 graden en gemiddelde asfalttemperatuur tijdens VGD-metingen en frequentie van 10 Hz en 17 Hz van elk schijf.
- Buigtreksterkte van elke beproefde halve schijf onderworpen aan de SCB-proef.
- De opgelegde spanning en het aantal lastherhalingen bij bezwijken voor elke beproefde halve schijf onderworpen aan een vermoeingsproef.

- Per vermoeiingsproef een grafiek waarbij de permanente rek, de fasehoek en de elasticiteitsmodulus zijn uitgezet tegen het aantal lastherhalingen.
- Per buigtreksterkteproef een grafiek waarbij de verplaatsing is uitgezet tegen de opgelegde spanning.

Resultaten standaardonderzoek:

- Korrelfracties mineraalaggregaat.
- Bitumenpercentage.
- Dichtheid proefstuk en dichtheid mengsel.
- Holle ruimte.
- Bitumeneigenschappen.

5.8.3 *Opstellen van vermoeiingslijnen*

Het opstellen van de vermoeiingslijnen resulteert in het volgende:

- Gemiddelde vermoeiingslijn voor elk dijkgedeelte
- Rapportage van het onderzoek
- karakteristieke waarde van de buigtreksterkte

6 Toetsing met WAVE IMPACT

6.1 Omschrijving van de activiteiten

Met de in de voorgaande fasen verkregen informatie wordt de beoordeling op golfklappen van OSA uitgevoerd. De volgende werkzaamheden worden bij dit onderdeel van de beoordeling uitgevoerd:

- Als nodig, aanpassen van de dijkvakindeling
- Normeren van de stijfheden naar 5 °C en 10 Hz.
- Bepalen van karakteristieke materiaalparameters per dijkvak
- Bepalen hydraulische randvoorwaarden per dijkvak
- Uitvoeren berekeningen met WAVE IMPACT
- Opstellen rapportage

Hieronder zijn de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

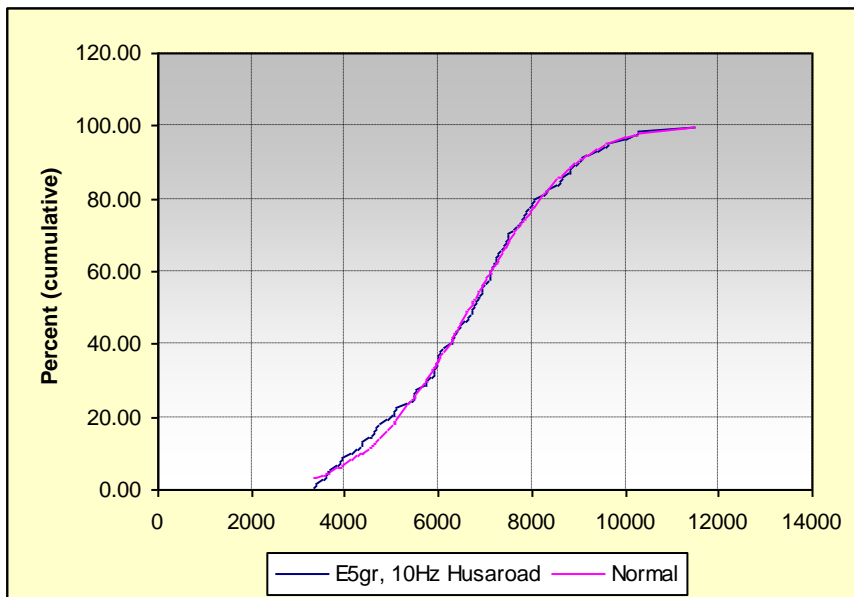
In het meetplan is reeds een dijkvakindeling opgenomen op basis van beschikbare gegevens. Daarnaast worden, als noodzakelijk, extra vakgrenzen toegevoegd bij significante verschillen in materiaalparameters.

De uit de resultaten van de VGD-metingen teruggerekende stijfheden worden genormeerd naar 5 °C en 10 Hz met de gemiddelde factor afgeleid uit laboratoriumonderzoek (zie § 4.4). Per dijkvak wordt met de cumulatieve frequentiemethode een karakteristieke elasticiteitsmodulus ($E_{95\%}$) bepaald.

Wanneer VGD-metingen zijn uitgevoerd wordt de beddingsconstante van de ondergrond bepaald op basis van de teruggerekende stijfheid van de ondergrond en de laagdikte van het asfalt. Per dijkvak wordt met de cumulatieve frequentiemethode een karakteristieke beddingsconstante ($c_{5\%}$) bepaald.

Wanneer de bekleding zich in de tijzone bevindt wordt een veilige waarde aangehouden voor de beddingsconstante. Voor zand is deze 64 MPa/m en voor klei is deze 30 MPa/m. Wanneer een onderlaag van zandasfalt aanwezig is kan een samengestelde beddingsconstante worden berekend. Hierbij kan de bovengenoemde stijfheid voor klei of zand worden gebruikt en een stijfheid van 300 MPa voor de stijfheid van het zandasfalt.

Op basis van de laagdikten bepaald door de kernen op te meten (§ 5.2) wordt met de cumulatieve frequentiemethode een karakteristieke laagdikte ($d_{5\%}$) bepaald. Een voorbeeld van het bepalen van karakteristieke waarden met de cumulatieve frequentiemethode is gegeven in Figuur 6-1.



Figuur 6-1 Weergave van de elasticiteitsmoduli (bij 5 °C en 10 Hz.) van 1 vak in een cumulatief frequentiehistogram. De karakteristieke waarde ($E_{95\%}$) kan in de grafiek worden afgelezen.

Op basis van de buigtreksterkteproeven wordt, uitgaande van een normale verdeling van de logaritme van de buigtreksterkte, de karakteristieke buigtreksterkte ($(\log(\sigma_b))_{5\%}$) bepaald. De vermoeiingsparameters zijn opgesteld zoals aangegeven in hoofdstuk 5. Gerekend wordt met de gemiddelde waarde voor de materiaalparameter α en β . De hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen zijn gegeven in het randvoorwaardenboek dat hoort bij de veiligheidstoets uit het wettelijk toetsinstrumentarium voor het toetsen van waterkeringen. Bovenstaande gegevens worden ingevoerd in WAVE IMPACT [17]. Per dijkvak wordt een minersom bepaald.

6.2 Resultaten activiteiten

De rapportage van de beoordeling met WAVE IMPACT dient het volgende te bevatten:

- Dijkvakindeling
- Karakteristieke materiaalparameters (invoer voor berekeningen met WAVE IMPACT):
 - Laagdikte ($d_{5\%}$)
 - Elasticiteitsmodulus ($E_{95\%}$)
 - Beddingsconstante ($c_{5\%}$)
 - Buigtreksterkte ($\sigma_{b,5\%}$)
 - Vermoeiingsparameters (α en β)
- Set hydraulische randvoorwaarden (invoer voor berekeningen met WAVE IMPACT):
 - Significante golfhoogte (H_s)
 - Gemiddelde golfperiode (T_g)
 - Toetspeil
 - Stormduur en stormopzet (afhankelijk van type watersysteem)
 - Gemiddelde getij amplitude (GGA)
 - Getijperiode

- Minersom voor elk dijkvak (resultaat van berekeningen met WAVE IMPACT)

Aan de hand van de variatie in Minersommen wordt de faalkans ingeschat of met een volledig probabilistische analyse bepaald.

7 Vastleggen van de gegevens

Alle uit het veld verkregen informatie wordt gekoppeld aan een vaste metring, bij voorkeur de bij de beheerder in gebruik zijnde dijkpaalnummering. De volgende projectinformatie wordt digitaal opgeslagen en aan het einde van het project aan de opdrachtgever aangeleverd:

- Het eindrapport bevat de volgende onderdelen:
 - Rapportage voorstudie
 - Meetplan
 - Onderzoeksplan frequency sweeps
 - Analyse data veldmetingen
 - Onderzoeksplan vermoeiingsonderzoek
 - Rapportage laboratoriumonderzoek
 - Beoordeling op golfklappen
- Ruwe data valgewichtdeflectiemetingen in MDB-formaat (MS-Access database bestand) of een vergelijkbaar uniform bestandsformaat.

8 Referenties

- [1] Voorschrift Toetsen op veiligheid primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, september 2007.
- [2] Resultaten stijfheids- en sterkteproeven open steen asfalt (e120309801-3), KOAC-NPC, juli 2013.
- [3] Resultaten valgewichtdeflectiemetingen op de open steenasfaltbekleding van Neeltje Jans in het kader van de ontwikkeling van de toetsmethode open steenasfalt (e120309801), KOAC-NPC, Juli 2013
- [4] Werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen, KOAC-NPC, maart 2011
- [5] Witte vlekken in de toetsmethode open steen asfalt (n140007/ov/rda) KOAC-NPC januari 2014.
- [6] State of the art asfaltdijkbekledingen, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort, December 2010
- [7] Technisch rapport Asfalt voor Waterkeren, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, november 2002.
- [8] Baltzer, S.; Ertman-Larson, H.J.; Lukanen, E.O.; and Stubstad, R.N. "Prediction of AC Material Temperature for Routine Load/Deflection Measurements." Proceedings, Fourth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Volume 1. Minnesota Department of Transportation, pp. 401-412.
- [9] Deflectieprofiel geen valkuil meer, meet- en interpretatiemethodiek valgewichtdeflectiemetingen, publikatie 92, C.R.O.W., Ede, augustus 1995
- [10] Valgewichtdeflectiemetingen op asfaltdijkbekledingen, Davidse M.P. e. a., CROW infradagen 2012, KOAC-NPC, Vught, 2012
- [11] Evaluatie interpretatie naar aanleiding van de nieuwe methode voor de temperatuurcorrecties (e1000057-3), KOAC-NPC, Nieuwegein, mei 2010
- [12] Blanken, A. e.a., Vervolgonderzoek monitoringsprogramma en validatie/verbetering van huidige beoordeling op golfklappen, e0800644-2, KOAC-NPC, Nieuwegein, maart 2009.
- [13] Verruit, A., Grondmechanica, Delftse Uitgevers Maatschappij, Delft, 1983.
- [14] NEN-EN 12697-26 (en) Bitumineuze mengsels - Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 26: Stugheid, Nederlands normalisatie instituut, maart 2012
- [15] NEN-EN 12697-44 (en) Bitumineuze mengsels - Beproevingmethoden voor warm bereid asfalt - Deel 44: Scheurvoortplanting door half-cirkel buigproef, Nederlands normalisatie instituut, oktober 2010
- [16] Standaard RAW bepalingen, CROW, Ede, 2011
- [17] Gebruikershandleiding GOLFKLAP 1.3, Loeff, A.K. de, e.a., projectnummer 0801440, KOAC-NPC/IKM-Engineering, Nieuwegein, maart 2004.

Lijst van gebruikte symbolen en afkortingen

Symbolen

| | | |
|-----------------------------------|--|---------|
| a | Straal van de belaste plaat | (m) |
| a ₁ t/m a ₄ | coëfficiënten voor temperatuurnormalisatie | (-) |
| c | Beddingsconstante | (MPa/m) |
| c _{5%} | Beddingsconstante die door 5% van de waarnemingen wordt onderschreden | (MPa/m) |
| c _i | modelcoëfficiënt | (-) |
| d | Laagdikte | (m) |
| d _{5%} | Laagdikte die door 5% van de waarnemingen wordt onderschreden | (m) |
| d _{ref} | deflectie bij referentietemperatuur | (µm) |
| d _t | deflectie bij meettemperatuur | (µm) |
| d ₅ | deflectie bij 5 °C | (µm) |
| d _i | deflectie onder belasting van 50 kN gemeten op afstand i mm vanaf het lastcentrum | (µm) |
| E | Elasticiteitsmodulus | (MPa) |
| E _{95%} | Elasticiteitsmodulus die door 95% van de waarnemingen wordt onderschreden | (MPa) |
| F | Frequentie | (Hz) |
| h ₁ | dikte van asfaltlaag | (mm) |
| H _s | Significante golfhoogte | (m) |
| T | Temperatuur | (°C) |
| T _a | asfalttemperatuur | (°C) |
| T _g | Gemiddelde golfperiode | (s) |
| T _p | Piekperiode | (s) |
| α,β | parameters van de vermoeiingslijn | (-) |
| ε | maximum rek onderin asfalt onder belasting van 50 kN | (µm/m) |
| σ _b | Buigtreksterkte | (MPa) |
| v | Dwarscontractiecoëfficiënt | (-) |

Afkortingen

| | | |
|--------|---|------|
| BDI | Base Damage Index d ₃₀₀ - d ₆₀₀ | (µm) |
| BCI | Base Curvature Index d ₆₀₀ - d ₉₀₀ | (µm) |
| CROW | Stichting Centrum voor Regelgeving en onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek | |
| GGA | Gemiddelde getij amplitude | (m) |
| GPR | ground penetrating radar | |
| OSA | open steenasfalt | |
| RAW | Rationalisatie en Automatisering Wegenbouw | |
| SCI300 | Surface Curvature Index d ₀ - d ₃₀₀ | (µm) |
| SCI600 | Surface Curvature Index d ₀ - d ₆₀₀ | (µm) |

TNF temperatuurnormalisatiefactor
TNF_t temperatuurnormalisatiefactor van de meettemperatuur
TNF₅ temperatuurnormalisatiefactor bij een temperatuur van 5 °C
VGD valgewicht-deflectiemeting
WAB waterbouwasfaltbeton

Bijlagen:

Bijlage 1: Gedetailleerd plan werkbeschrijving

Bijlage 2: Handleiding grafiekenmaker

Gedetailleerd plan werkbeschrijving

Bijlage 1

Onderdeel 1: Voorbereidingen

| Activiteit | N/O* | Conditie | Resulterende parameters | Product van de activiteit |
|----------------------------|------|----------|-------------------------|---|
| Verzamelen basisinformatie | N | | | Locatiegegevens (dijkring, naam beheerder, geografische ligging, dwarsprofiel, ondergrond) Besteksgegevens (jaar van aanleg, mengselsamenstelling, besteksgrenzen) Hydraulische randvoorwaarden (Toetspeil, H_s , T_g , watersysteem) |
| | O | | | Aanleggegevens (bouwstoffen, dikte, samenstelling, holle ruimte) |
| | O | | | Eerder opgestelde adviezen, gepubliceerde artikelen etc. |
| Opstellen meetplan | N | | | Meetplan (locatie meetraaien, aantal vgd-meetpunten, meetinterval radar) |
| | N | | | Dijkvakindeling |

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Onderdeel 2: Uitvoeren veldwerkzaamheden

| Activiteit | N/O* | Conditie | Resulterende parameters | Product van de activiteit |
|---|-------------|---|--|--|
| Uitvoeren valgewicht-deflectiemetingen en meting oppervlaktetemperatuur | N | asfalttemperatuur ($0 < T < 20$ °C.) Taludhelling (1:3 of flauwer) Krachtgrootte (normaal 50 kN) Droog weer i.v.m. markeringen 2 meetraaien: h.o.h. afstand 50 m, 1 meetraai: h.o.h. afstand 25 m | D1 t/m D9 (μm) Oppervlaktetemperatuur (° C.) | Markeringen van de meetpunten op de bekleding Meetbestand met deflectiekrommen en oppervlaktetemperaturen |
| | O | | Verloop van de deflecties in de tijd | Meetbestand met het verloop van de deflecties in de tijd |
| Meting asfalttemperatuur in boorgat | N | Midden van de bekledingsdikte en max. 12 cm diep | Asfalttemperatuur (°C.) | Registratie van asfalttemperatuur elke 2 uur |
| Opstellen boorplan | N | | | boorplan |

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Onderdeel 3: Analyse data veldmetingen

| Activiteit | N/O* | Conditie | Resulterende parameters | Product van de activiteit |
|---|------|--------------------------------------|--|---|
| Bepalen rek per vgd-meetpunt | N | | ϵ ($\mu\text{m/m}$) | Excel-bestand met rek per vgd-meetpunt |
| Bepalen locatie van 8 meetpunten op basis van rek | N | | | Excel-bestand met cumulatieve frequentieverdelingen en percentiepunten van de rek |
| Opstellen boorplan | N | | | Boorplan met locaties voor vermoeiingsonderzoek |
| Metten van de laagdikte aan de kernen | N | 4x meten per kern | Gemiddelde laagdikte per kern (mm) | Overzicht met laagdikten per kern |
| Bepalen van de stijfheid van de bekleding uit deflectiekromme en laagdikte | N | | $E_{\text{asfalt}}(T,f)$, $E_{\text{ondergrond}}$ (MPa) | Excel-bestand met stijfheid bekleding en onderlaag per meetpunt |
| Bepalen van de asfalttemperatuur tijdens de metingen (BELLS) op basis van oppervlaktetemperatuur, laagdikte en gemiddelde buitentemperatuur vorige etmaal | N | | T_{asfalt} ($^{\circ}\text{C}$.) | Excel-bestand met temperatuur in het midden van de bekleding per meetpunt |
| Normeren van de stijfheden met relatie E-T | N | Gemiddelde meettemperatuur en 17 Hz. | E (MPa) | Excel-bestand met genormeerde stijfheid bekleding en onderlaag per meetpunt |

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Onderdeel 4: Uitvoeren vermoeiingsonderzoek

| Activiteit | N/O* | Conditie | Resulterende parameters | Product van de activiteit |
|---------------------------------------|------|--|--|---|
| Boren kernen uit de bekleding | N | Taludhelling (1:3 of flauwer) | | Kernen met een diameter van 200 mm (min. 8 stuks per dijk) |
| Metten van de laagdikte aan de kernen | N | 8x meten per kern | Gemiddelde laagdikte per kern (mm) | Overzicht met laagdikten per kern |
| Controle laagdikte en stijfheden | N | | | Vergelijkende tabellen. Eventueel de keuze van een nieuwe locatie voor het vermoeiingsonderzoek |
| Zagen proefstukken | N | Toleranties aan afmetingen | | |
| Bepalen dichtheid proefstukken | N | Drogen tot constante massa | Dichtheid proefstuk (kg/m ³) | Excel-bestand dichtheid proefstuk |
| Uitvoeren standaardonderzoek | N | | Samenstelling (%), d _m (kg/m ³), HR (%), Pen, T _{R&K} , PI | Rapportage standaardonderzoek |
| Bepalen elasticiteitsmodulus | N/O | 5 °C, gemiddelde asfalttemperatuur tijdens VGD-metingen. 10 Hz en 17 Hz. | E (MPa), fasehoek (°) | |
| Bepalen breuksterkte | N/O | 5 graden, 0,112 mm/s Minimaal 8 proeven | σ _b (MPa) | |
| Uitvoeren vermoeiingsproeven | N | 5 °C 1 Hz. Minimaal 8 proeven, 4 korte proeven, 4 lange proeven | σ-N _f voor elk proefstuk | |
| Opstellen vermoeiingslijnen | N | | Log(k) en a, α en β | Grafiek vermoeiingslijnen |
| Opstellen rapportage | N | | | Rapportage vermoeiingsonderzoek |

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Onderdeel 5: Toetsen van de bekleding met WAVE IMPACT

| Activiteit | N/O* | Conditie | Resulterende parameters | Product van de activiteit |
|---|------|----------|--|---|
| Maken dijkvakindeling | N | | | Overzicht dijkvakken |
| Normeren stijfheden valgewicht naar 5 gr. C en 10 Hz. | N | | E (MPa) | Excel-bestand met stijfheid bekleding per meetpunt bij 5 gr. C. en 10 Hz. |
| Bepalen karakteristieke materiaalparameters per dijkvak | N | | $D_{5\%}$ (m), $E_{95\%}$ (MPa), $c_{5\%}$ (MPa/m), $\log(k)_{5\%}$ (MPa ⁻¹) | Excel bestanden met cumulatieve frequentieverdelingen |
| Bepalen hydraulische randvoorwaarden per dijkvak | N | | H_s (m), T_g (s), Toetspeil (m t.o.v. NAP), GGA (m) | |
| Uitvoeren berekeningen met WAVE IMPACT | N | | minersom | Uitvoer WAVE IMPACT |
| Opstellen rapportage | N | | | Eindrapportage veiligheidsbeoordeling |

* Aangegeven is of de activiteit noodzakelijk (N) of optioneel (O) is.

Handleiding grafiekenmaker

Bijlage 2

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl