

Faalmechanismebeschrijving asfaltdijkbekledingen

product 5.30



Titel
Faalmechanismebeschrijving asfaltdijkbekledingen

Opdrachtgever Rijkswaterstaat WVL	Project 1220086-007	Kenmerk 1220086-007-HYE-0002- jvm	Pagina's 13
---	-------------------------------	--	-----------------------

Trefwoorden
asfaltdijkbekledingen, faalmechanismen, gebeurtenissenschema

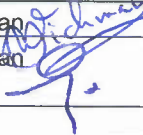



Samenvatting

Deze rapportage betreft de faalmechanismebeschrijvingen voor asfaltdijkbekledingen (product 5.30 uit projectplan 2015 voor cluster 5 uit het WTI-2017) met de nadruk op de mechanismen golfklap (AGK) en wateroverdruk (AWO). Deze fenomenologische faalmechanismebeschrijvingen zijn onderdeel van de verzameling achtergronddocumenten bij het wettelijk vastgestelde VTV.

Aangegeven is welke faalmechanismen getoetst gaan worden in het kader van het WTI-2017. Tevens is aangegeven welke faalmechanismen van belang zijn voor de actieve zorgplicht. Er zijn gebeurtenissenbomen opgenomen, die inzicht geven in het falen van de dijk vanaf het moment waarop inleidende mechanismen optreden, via de als falen gedefinieerde toestand tot en met het moment van het ontstaan van een bres en het verlies van de waterkerende functie.

Summary

This document describes the phenomenology of the failure mechanisms of asphaltic revetments on dikes. It focuses on the processes of repeated wave impact (leading to fatigue of the asphalt) and uplifting of the complete cover due to water overpressure. The context – starting with the introductory and preceding processes and ending with the collapse of the dike – is described and schematically illustrated in two process schedules.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	april 2015	dr. B.G.H.M. Wichman		dr. J.K. van Deen		ir. L. Voogt	
2	sept. 2015	dr. B.G.H.M. Wichman dr. J.K. van Deen		ir. M. Klein Breteler		ir. L. Voogt	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Doel	1
1.2 Leeswijzer	1
2 Procesbeschrijving	3
2.1 Situatie	3
2.2 Veroudering materiaal bekledingslaag	3
2.3 Materiaaltransport van onder de bekleding	4
2.4 Erosie bekledingsoppervlak	5
2.5 Bezwijken ten gevolge van golfklappen (AGK)	5
2.6 Bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken (AWO)	7
2.7 Reststerkte	8
3 Gebeurtenisschema's	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Gebeurtenisschema Golfklap	11
3.3 Gebeurtenisschema Opdrukken door wateroverdruk	12
4 Nadere uitwerking te toetsen faalmechanismen	13
4.1 Bezwijken ten gevolge van golfklappen (AGK)	13
4.1.1 Parameters AGK	13
4.2 Bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken (AWO)	14
4.2.1 Parameters AWO	14

1 Inleiding

1.1 Doel

Deze rapportage betreft de faalmechanismebeschrijvingen voor asfaltdijkbekledingen (product 5.30 uit projectplan 2015 voor cluster 5 uit het WTI-2017). Deze fenomenologische faalmechanismebeschrijvingen zijn onderdeel van de verzameling achtergronddocumenten bij het wettelijk vastgestelde VTV.

De informatie in dit rapport is voor een belangrijk deel ontleend aan de Handreiking Dijkbekledingen, Deel 3 Asfaltbekledingen: hoofdstuk 12 'faalmechanismen asfaltbekledingen'.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de functie van de asfaltbekleding beschreven evenals de processen die tot verlies van deze functie kunnen leiden. Een specifieke omstandigheid bij asfalt is dat het materiaal veroudering ondergaat en de eigenschappen los van de ondergane hydraulische belasting in de tijd veranderen.

Gedefinieerd wordt op welke criteria de bekleding faalt. Ook de gevolgen – wat gebeurt er nadat de bekleding faalt – komen hier kort aan de orde. Niet alle hier beschreven processen worden daadwerkelijk getoetst in WTI. Een deel zijn processen die optreden voorafgaande aan en onafhankelijk van een maatgevende storm, zoals de veroudering van het asfalt en het materiaaltransport (zand) van onder de bekleding. Bewaking van deze processen is onder de zorgplicht gebracht. Een ander deel zijn processen die optreden nadat de bekleding faalt, het aspect van reststerkte. Deze gebeurtenissen spelen voor de gedetailleerde toetsing geen rol omdat ze pas na het moment van falen optreden. De reststerkte van de dijk kan echter wel meegewogen worden in een Toets op maat.

In hoofdstuk 3 zijn twee gebeurtenissenschema's opgenomen die deze context schetsen vanaf het moment waarop inleidende mechanismen optreden, via het bereiken van de toestand van falen tot en met het moment van het ontstaan van een bres en het verlies van de waterkerende functie.

In hoofdstuk 4 wordt in meer detail ingegaan op de twee mechanismen waarop getoetst wordt (AGK en ABO) inclusief de parameters, die daarvoor van belang zijn.

2 Procesbeschrijving

2.1 Situatie

Een asfaltbekleding wordt aangelegd om een dijklichaam te beschermen tegen erosie. Het asfalt is meestal gelegen op een zandlichaam, soms op een onderlaag van klei of keileem. Een asfaltbekleding is altijd aangelegd in combinatie met andere bekledingstypen zoals dikwijls een steenzetting lager op het talud en grasbekleding hoger op het talud. Overgangsconstructies, naar bijvoorbeeld een ondergelegen steenbekleding, vormen een potentieel risico, vooral ten aanzien van het uitspoelen van het onderliggende materiaal als er openingen aanwezig zijn.

Er zijn drie typen veel voorkomende asfaltbekledingen: waterbouwasfaltbeton (WAB, is een dicht mengsel), open steen asfalt (OSA, doorlatend voor grond en water) en vol en zat gepenetreerde breuksteen (V&ZG). Deze onderscheiden zich door een verschil in mengsel-samenstelling en dus in eigenschappen. WAB is het meest toegepast in dijkbekledingen.

Bezwijkmechanismen van asfaltbekledingen waarop getoetst wordt, zijn fysische verschijnselen waarbij de bekleding tijdens een winterstorm onder invloed van een belasting een ontoelaatbare vervorming ondergaat zodat de samenhang van de bekleding verloren gaat. Dit kan ertoe leiden dat de asfaltbekleding geen bescherming meer biedt tegen erosie van het dijklichaam.

Twee typen van belasting tijdens storm zijn het belangrijkste. In de eerste plaats is er de belasting gevormd door de herhaalde golfaanval. Deze herhaalde stootbelasting geeft aanleiding tot herhaalde deformatie, waardoor vermoeiingsverschijnselen optreden en het asfalt uiteindelijk kan bezwijken (mechanisme AGK). De tweede is dat, na een hoge waterstand, bij een dalend buitenwaterpeil de asfaltbekleding (met eventuele onderlaag) kan worden opgedrukt, indien deze ondoorlatend is (mechanisme AWO).

De kwaliteit van de constructie is onderhevig aan veroudering en dit heeft invloed op (de parameters voor) de toetsing. Het gaat daarbij zowel om veranderingen van de materiaaleigenschappen van het asfalt als om uitspoeling van de onderlaag, doordat er door veroudering openingen in de bekleding ontstaan. De navolgende paragrafen beschrijven achtereenvolgens de aan veroudering gerelateerde mechanismen, de mechanismen waarop getoetst wordt en de reststerkte.

2.2 Veroudering materiaal bekledingslaag

WAB en OSA zijn gevoelig voor veroudering. In de loop van de tijd wordt onder invloed van zonlicht en zuurstof het bitumen harder. Daardoor wordt het asfalt brosser en daardoor scheurgevoeliger. Thermische spanningen door temperatuurverschillen kunnen leiden tot scheuren en openstaande naden in de bekleding. Een grotere laagdikte verkleint de kans op doorgaande scheuren.

Soms ontstaan er ook gaten in het asfalt ten gevolge van het uiteenvallen van lokaal slecht asfalt over een groot deel van de dikte. Aantasting kan ook optreden door bepaalde soorten begroeiing (zoals riet of houtvormende gewassen) die sterk kan doorwortelen. Vooral voor WAB is dit ongunstig. Bij OSA is een bepaald type begroeiing dikwijls juist de bedoeling maar

ook daar dient de integriteit van de bekleding wel bewaakt te worden, d.w.z. er moet op gelet worden dat er geen houtvormende gewassen ontstaan.

Verder kunnen WAB en OSA aangetast raken door stripping. Daarbij hecht het bitumen niet meer aan de korrels ten gevolge van het indringen van vocht zodat individuele korrels losraken. Dit reduceert de sterkte van het asfalt, waardoor het oppervlak kan worden aangetast en er scheuren kunnen optreden. Voor de sterkte van WAB is een verouderingsformule ontwikkeld die de sterkteafname –die optreedt ten gevolge van de indringing van water– als functie van de tijd beschrijft met de holle ruimte als parameter (zie par. 4.1). Aantasting van het oppervlak kan uiteindelijk leiden tot het eroderen (dus verdwijnen) van het bovenste deel van de asfaltaag. Het dunnere restant zal minder sterkte hebben. Door de open structuur is OSA relatief meer gevoelig voor erosie (zie par 2.4).

De stijfheid van de asfaltbekleding verandert ook ten gevolge van veroudering. Deze gaat ruimtelijk veel meer spreiding vertonen, met een hoge stijfheid voor goed maar hard geworden asfalt en een lage stijfheid voor aangetast asfalt.

Deze aspecten vallen onder de zorgplicht. Dat wil zeggen dat de beheerder de kwaliteit van de bekleding permanent bewaakt zodat de bekleding altijd (met name: voor het winterstormseizoen) 'op orde' is. Bij de twaalfjaarlijkse toetsing wordt daar vanuit gegaan. Wat 'op orde' inhoudt wordt beschreven in de Handreiking Dijkbekledingen, Deel 3 Asfaltbekledingen [in 2015 te verschijnen].

2.3 Materiaaltransport van onder de bekleding

De asfaltbekleding moet voorkomen dat materiaal uit het dijklichaam kan uitspoelen. Tijdens de gebruiksfase van een asfaltbekleding kunnen door verschillende oorzaken schades optreden die kunnen leiden tot materiaaltransport vanuit de ondergrond. De oorzaak van de schade is dus een andere dan de (maatgevende) hydraulische belasting, al zal over het algemeen wel een (maatgevende) storm uiteindelijk tot het ongewenste materiaaltransport leiden. De oorzaken kunnen zijn:

- Veroudering van het materiaal zoals in par. 2.2 behandeld.
- Bijzondere belastingen die scheuren of gaten in de bekleding veroorzaken, zoals scheepsaanvaringen, kruierend ijs en zwaar onderhoudsmaterieel op de dijk.
- Het open gaan staan van overgangs- of aansluitingsconstructies ten gevolge van constructiefouten, door zetting van het dijklichaam of door grondmechanische instabiliteit.

Voorwaarde voor het optreden van materiaaltransport is dat de schade aan de bekleding (scheuren, gaten) zo groot is dat er ondergrondmateriaal door heen kan worden getransporteerd en dat er een mechanisme aanwezig is dat zorgt voor transport van het materiaal. Dit betekent dat een scheur of een openstaande naad doorgaand moet zijn en enige breedte moet hebben.

Onder dagelijkse omstandigheden kan er soms ook al sprake zijn van enig materiaaltransport. Als er een hoge grondwaterstand in het dijklichaam aanwezig is, kan het uitstromende grondwater het ondergrondmateriaal transporteren. Ook bodembewoners (mieren, muizen en mollen) kunnen voor materiaaltransport onder reguliere omstandigheden zorgen.

De genoemde schades treden op tijdens de gebruiksfase onder reguliere omstandigheden. Dit betekent dat een beheerder doorgaans voldoende tijd heeft om optredende schade te herstellen. De beoordeling en bewaking kan daarom geschieden binnen de actieve zorgplicht.

Daarnaast zijn er twee mechanismen specifiek van toepassing voor een teenbescherming. Dit betreft het opdrukken van de teenbescherming door golfbeweging en ontgroning van de vooroever. Deze twee mechanismen hebben invloed op de stabiliteit van het bovengelegen talud met bekleding en vallen onder de actieve zorgplicht (zie Handreiking Dijkbekledingen, Deel 3 Asfaltbekledingen: hoofdstuk 12 'faalmechanismen asfaltbekledingen').

2.4 Erosie bekledingsoppervlak

Het mechanisme 'erosie bekledingsoppervlak' is vooral van toepassing op open steenasfalt (OSA).

Individuele stenen kunnen uit een bekleding van open steenasfalt raken doordat deze worden belast door bijvoorbeeld drijvend vuil, rollende stenen uit een ondergelegen steenbestorting of doordat achtergebleven water bij opvriezen stenen uit de bekleding drukt. De bekleding faalt als de laagdikte door erosie zodanig is afgenomen, dat de bekleding niet meer in staat is om de maatgevende belastingen te weerstaan.

De sterkte van de asfaltmastiek, die de stenen bij dit asfalttype omhult en aan elkaar hecht, bepaalt de weerstand tegen erosie. Een grotere dikte van de omhulling verhoogt de weerstand tegen erosie. Daarnaast is het van belang dat er een combinatie van steen en bitumen wordt gekozen die een goede affiniteit met elkaar hebben om een goede hechting tussen steen en bitumen te realiseren.

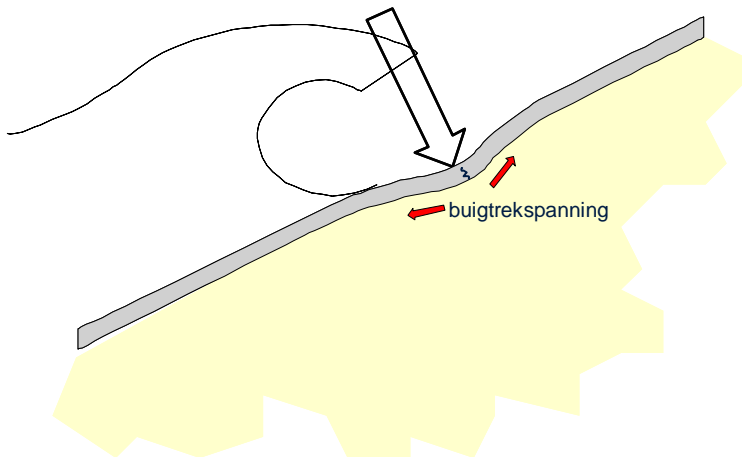
De weerstand van open steenasfalt tegen erosie vermindert door de inwerking van zuurstof en water. Door oxidatie wordt het bitumen brosser. Hierdoor neemt weliswaar de sterkte toe, maar de weerstand tegen vervormen neemt af en bij belasting zullen er eerder individuele stenen uit de bekleding verdwijnen. Water kan op de lange termijn bitumen van de steen verdringen waardoor de sterkte vermindert.

Erosie van open steenasfalt treedt bij bekledingen gelegen in de getijzone op tijdens de gebruiksfase. Dit betekent dat een beheerder in die gevallen doorgaans voldoende tijd heeft om optredende schade te herstellen. De beoordeling kan daarom geschieden binnen de actieve zorgplicht.

2.5 Bezwijken ten gevolge van golfklappen (AGK)

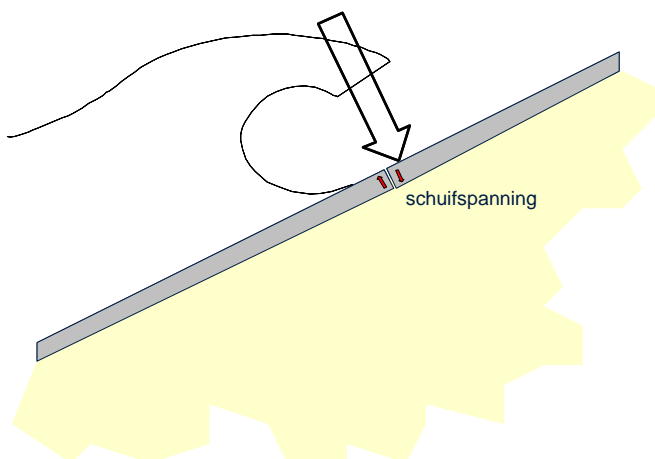
Bij een maatgevende storm wordt het asfalt gedurende enige tijd (uren - dag) belast door herhaalde golfklappen (brekers). Deze geven aanleiding tot herhaalde deformatie (zie figuur 2.1), waardoor vermoeiingsverschijnselen in het asfalt optreden en trekscheuren aan de onderzijde van het asfalt kunnen ontstaan. Het ontstaan van deze trekscheuren is gedefinieerd als falen van de bekleding. Bij doorgaande belasting kan het asfalt zodanig deformeren dat deze scheuren doorgroeien naar de bovenzijde van het asfalt. Hierdoor komt het zandlichaam (of de onderlaag indien aanwezig) gedeeltelijk bloot te liggen. Er treedt dan uitspoeling op, waarbij in het geval van een zandonderlaag het asfalt snel wordt ondermijnd. Hierdoor gaat het asfalt instorten, waardoor er nog grotere gaten gaan ontstaan en het asfalt nauwelijks meer bescherming biedt. Het zandlichaam zal bij een normale (smalle) dijk snel (d.w.z. binnen één winterstorm) eroderen. In het geval van een onderlaag van klei of keileem is er nog sprake van reststerkte en zal zowel de uitspoeling als de erosie trager verlopen en het ontstaan van een bres vertragen. Voor de reststerkte van het zandlichaam is een

rekenmodel beschikbaar waarmee de faalkans van de dijk kan worden berekend. Dit is slechts relevant voor relatief brede dijken. Deze reststerkte kan worden meegewogen in de Toets op maat.



Figuur 2.1 Mechanisme overschrijden van de buigtreksterkte door golfklappen

Er zijn nog andere faalmechanismen denkbaar naast de scheurvorming ten gevolge van vermoeiing. Als een (geconcentreerde) belasting op een asfaltbekleding wordt uitgeoefend zullen direct naast de belasting schuifspanningen in de bekleding ontstaan ten gevolge van de optredende dwarskrachten (zie figuur 2.2). Deze schuifspanningen mogen de schuifsterkte van de bekleding niet overschrijden. Als een asfaltbekleding met een geringe laagdikte wordt aangelegd ($d < 10$ cm), kan dit mechanisme optreden. In de Nederlandse praktijk is dit mechanisme nooit maatgevend vanwege het feit dat een dijkbekleding altijd met een laagdikte van tenminste 15 cm wordt aangelegd. Op dit mechanisme wordt daarom niet getoetst.



Figuur 2.2 Mechanisme overschrijden schuifsterkte bekleding

Een tweede fenomeen waardoor de asfaltbekleding kan bezwijken is ten gevolge van het bezwijken van de ondergrond. Bij zware golfaanval, dat wil zeggen bij significante golfhoogte van ongeveer 3 m of meer, kunnen mechanismen optreden die kunnen leiden tot bezwijken van de ondergrond. Bij grote vervormingen van de ondergrond zal ook de asfaltbekleding bezwijken. Tevens kan een verhoogde grondwaterstand tijdens de stormduur het

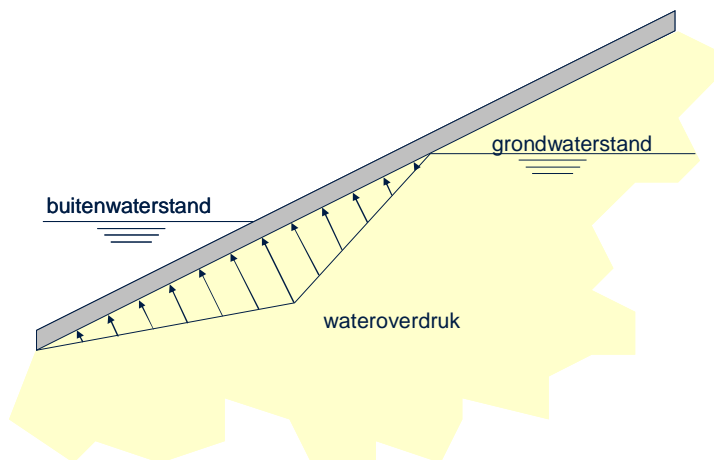
draagvermogen van de ondergrond verminderen. Mechanismen die mogelijk kunnen optreden zijn:

- *Verweking van de ondergrond door golfaanval.* Verweking van de ondergrond ontstaat als een (plotselinge) belastingverhoging op een verzadigde grond leidt tot een situatie waarbij het korrelskelet de optredende spanningen niet meer kan dragen. Daardoor gaat deze vervormen en een dichtere pakking aannemen. Hierdoor wordt de belasting volledig gedragen door het poriënwater en levert de ondergrond geen schuifweerstand meer, zodat grote vervormingen optreden die kunnen leiden tot het bezwijken van de constructie. Voorwaarde voor het ontstaan van verweking is dat de ondergrond met water is verzadigd. Daarnaast neemt de kans op verweking toe naarmate de verdichtingsgraad van het zand lager is en naarmate de golfbelasting hoger is.
- *Afschuiven van de bekleding.* Golfaanval op de bekleding in een combinatie met waterdruk onder de bekleding kan er toe leiden dat de asfaltbekleding onder zijn eigen gewicht wegschuift naar beneden. Als de bekleding (asfalt met hieronder eventueel een steenzetting) ondersteund wordt met een voldoende sterke teenconstructie en de onderliggende steenbekleding niet afschuift of faalt, dan is er geen afschuiven van de asfaltbekleding langs het talud mogelijk. In de toetsing op veiligheid wordt hier vanuit gegaan.
- *Vorming van een S-profiel.* Door langdurige golfaanval in dezelfde zone kan er vervorming van de ondergrond optreden die leidt tot een S-profiel. Doordat de bekleding niet alleen inveert en grotendeels terugveert onder golfaanval, maar ook enigszins opbolt hoger en lager op het talud, kan afstromend grondwater gronddeeltjes onder de bekleding verplaatsen. Als dit proces zich herhaald doorzet, kan een S-profiel ontstaan. Te grote vervorming in de ondergrond leidt tot bezwijken van de bekleding.
- *Bezwijken van de ondergrond.* Als de spanningen die een golfbelasting veroorzaakt te hoog zijn, kan dit leiden tot bezwijken van de ondergrond. Overschrijding van de kritieke schuifspanning leidt dan dus tot plastische (blijvende) deformatie in de ondergrond. Daarnaast kan stuik in de ondergrond (elastische vervorming) optreden onder invloed van herhaalde belastingen. Als de ondergrond vervormt, vervormt uiteraard ook de bekleding die daar bovenop ligt. Tot op zekere hoogte kan een asfaltbekleding dergelijke vervormingen volgen maar dat is een ongecontroleerd proces en moet dus voorkomen worden.

Deze mechanismen zijn uitgesloten in de toepassingsvoorwaarden voor het gebruik van het programma WAVE IMPACT bij de toetsing van WAB op niveau 2a. Met name wanneer significante golfhoogten van meer dan 3 m kunnen optreden, alsmede bij een grondwaterstand achter de asfalt bekleding, moet op maat getoetst worden.

2.6 **Bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken (AWO)**

Bij gesloten dijkbekledingen kunnen wateroverdrukken onder de bekleding ontstaan. Bij het optreden van een hoge buitenwaterstand zal de freatische lijn in het dijklichaam stijgen door het grote stijghoogteverschil tussen de buitenwaterstand en de grondwaterstand in het dijklichaam. Een extreme waterstand kan worden gevolgd door een snelle val van de buitenwaterstand. De grondwaterstand volgt vertraagd, waardoor de bekleding wordt belast door een opwaartse wateroverdruk.



Figuur 2.3 Mechanisme wateroverdruk onder de bekleding

In de beschreven situatie mag de opwaartse druk van het water niet groter zijn dan de component loodrecht op het talud van het eigen gewicht van de bekleding per m^2 . Als de opwaartse druk wel groter wordt, zal de bekleding plaatselijk worden opgelicht. In de ruimte die tussen de bekleding en de ondergrond ontstaat, zal zich vervolgens materiaal ophopen dat wordt verplaatst door het grondwater dat onder de bekleding naar beneden wegstroomt. Hierdoor kan de bekleding niet meer naar zijn oorspronkelijke positie terugkeren.

Evenals bij het vorige mechanisme (AGK) kan bij doorgaande belasting het asfalt zodanig deformeren dat zich scheuren ontwikkelen over de gehele dikte van de asfaltbekleding. Hierdoor komt het zandlichaam (of de onderlaag indien aanwezig) gedeeltelijk bloot te liggen. Indien de waterstand daarna hoog blijft of weer hoger wordt, kan er uitspoeling optreden, waarbij in het geval van een zandonderlaag het asfalt snel wordt ondermijnd. Hierdoor gaat het asfalt instorten, waardoor er nog grotere gaten gaan ontstaan en het asfalt nauwelijks meer bescherming biedt. Het zandlichaam zal bij een normale (smalle) dijk snel (d.w.z. binnen één winterstorm) eroderen. In het geval van een onderlaag van klei of keileem is er nog sprake van reststerkte en zal de erosie trager verlopen en het ontstaan van een bres nog wat vertragen.

Er wordt binnen het WTI getoetst op het begin van oplichten van de bekleding, d.w.z. wanneer de opwaartse druk gelijk wordt aan het gewicht van de bekleding (zie 'faaldefinitie' in het gebeurtenisschema uit paragraaf 3.3).

2.7 Reststerkte

Zoals hierboven opgemerkt is de faaldefinitie (1) het begin van scheurvorming bij het toetsen op herhaalde golfbelasting en (2) het niet meer voldoen aan de evenwichtsvoorwaarde tussen de wateroverdruk onder de bekleding en het eigengewicht van de bekleding bij het toetsen op wateroverdruk. Op dat moment is er nog geen sprake van falen in de zin van functieverlies van de waterkering.

In de eerste plaats zal het enige tijd duren voordat scheurvorming aan de onderzijde van het talud leidt tot een doorgaande scheur waardoor zand kan uittreden. Voor dit proces zijn geen kwantitatieve modellen beschikbaar, zodat veiligheidshalve het begin van scheurvorming als maatgevend is gedefinieerd.

Wanneer eenmaal substantieel zand uittreedt zal de asfaltbekleding de deformatie nog enige tijd kunnen volgen totdat grotere flappen asfalt afbreken die de kern van de dijk onbeschermd laten. In de huidige toetsmethode voor de gedetailleerde toetsing is veiligheidshalve aangenomen dat in dat geval de erosie zeer snel zal voortschrijden zodat dit binnen één winterstorm tot functieverlies van de waterkering leidt. Hieraan is dus geen reststerkte toegekend. In een Toets op maat kan de reststerkte van het dijklichaam wel worden meegewogen, hetgeen zinnig is als de dijk breed is, dat wil zeggen de breedte van de dijk ter hoogte van het toetspeil breder is dan 20 maal de golfhoogte.

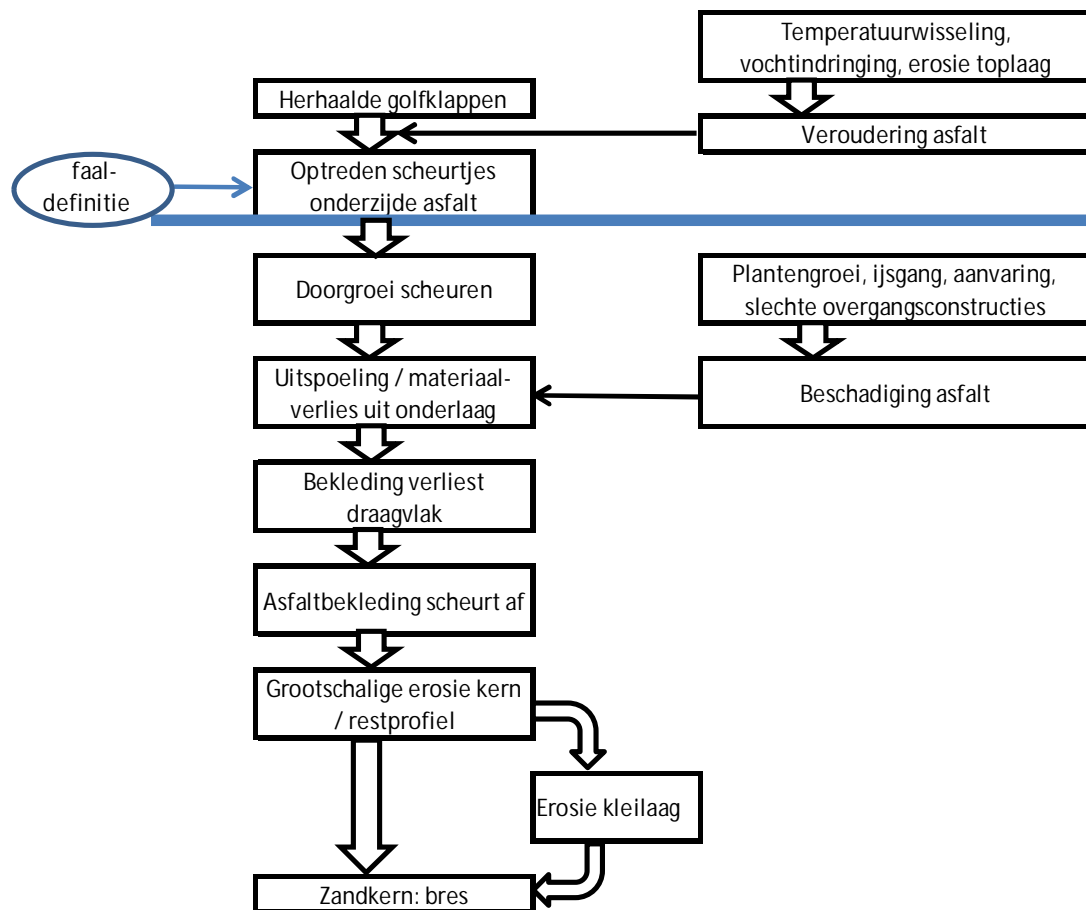
Bij een onderlaag van klei of keileem is de situatie enigszins anders. In een toets op maat kan de tijdsduur tot het begin van scheurgroei in de asfaltbekleding worden opgeteld bij de reststerkte in termen van tijdsduur uit de beoordeling volgens de beschrijving behorende bij ABO (erosie van onderliggende lagen), zoals opgesteld voor steenzettingen. Dit is een stap die volgt op het toetsen en afkeuren van de asfaltlaag en maakt deel uit van een toets op maat.

3 Gebeurtenisschema's

3.1 Inleiding

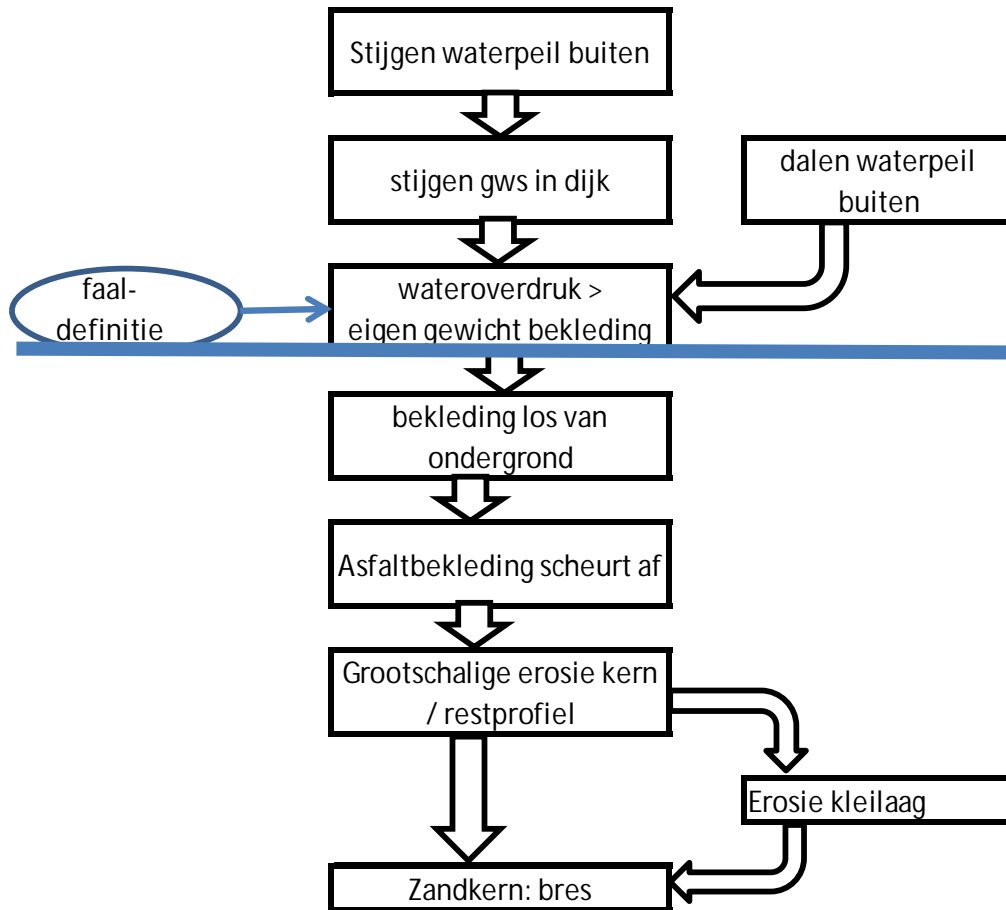
Onderstaande figuren zijn een schematische weergave van de gebeurtenissen zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. Om het schema niet te overladen zijn de faalmechanismen Golfklap en Opdrukken door wateroverdruk gesplitst. Onderin de figuren leiden ze beide tot de ongewenste gebeurtenis "bres in de dijk".

3.2 Gebeurtenisschema Golfklap



Figuur 3.1 Gebeurtenisschema Golfklap op asfaltdijkbekledingen (AGK)

3.3 Gebeurtenissenschema Opdrukken door wateroverdruk



Figuur 3.2 Gebeurtenissenschema Opdrukken asfaltdijkbekledingen (AWO) (gws = grondwaterstand)

4 Nadere uitwerking te toetsen faalmechanismen

In het WTI-2017, toetslagen 1 (eenvoudige toets) en 2a (gedetailleerde toets) wordt getoetst op de mechanismen 'overschrijding van de buigtreksterkte door herhaalde golfklappen'(AGK) en 'opdrukken van de bekleding' (AWO). De andere mechanismen die bij een asfaltbekleding van toepassing zijn, zijn ofwel onder de zorgplicht gebracht, ofwel door het formuleren van toepassingsvoorwaarden uitgesloten voor deze toetslagen. Indien niet aan de toepassingsvoorwaarden wordt voldaan, moeten de betreffende mechanismen in een Toets op maat beoordeeld worden.

4.1 Bezwijken ten gevolge van golfklappen (AGK)

Onder invloed van een golfklap zal een asfaltbekleding doorbuigen. Hierdoor ontstaan buigspanningen in de bekleding; trekspanningen aan de onderzijde en drukspanningen aan de bovenzijde (figuur 2.1). De belasting gevormd door herhaalde golfaanval geeft aanleiding tot herhaalde deformatie, waardoor vermoeiingsscheuren optreden aan de onderzijde van de asfaltbekleding. Het begin van scheurvorming is de faaldefinitie (figuur 3.1).

Bij voortgaande belasting kunnen de scheuren zich voortplanten over de volledige dikte van de bekleding, kunnen de scheuren open gaan staan en kan uitspoelen van de ondergrond optreden. De bekleding raakt ondermijnd en uiteindelijk faalt de bekleding volledig als er een grote plaat van de bekleding afscheurt.

Het (begin van) ontstaan van scheuren wordt beschreven met een cumulatief schadeontwikkelingsmodel waarin de Minersom wordt berekend. Deze Minersom is een maat voor de cumulatieve vermoeiingsschade van het asfalt ten gevolge van de herhaalde golfklappen. Bij een gegeven golfklapgrootte zal het asfalt scheurtjes gaan vertonen na een zeker aantal (P) klappen. Miner stelt dat iedere golfklap dan $1/P$ bijdraagt aan de Minersom. Een grotere klap – waarvan er minder nodig zijn om het asfalt tot bezwijken te laten komen, zeg aantal Q – geeft een grotere bijdrage, $1/Q$. Alle klappen van alle groottes gedurende een storm samengeteld geven de Minersom M . In principe is de toetsregel (deterministisch) dat de asfaltbekleding voldoet als de Minersom $M < 1$ blijft gedurende de maatgevende storm

Aangenomen wordt dat door de plastische eigenschappen van het asfalt er een zeker herstellend vermogen is zodat bij een volgende storm de vermoeiingsschade (maar vóór dat er een begin van scheurvorming is) zich hersteld heeft zodat de telling van de Minersom weer op nul kan beginnen.

Er wordt binnen WTI 2017 getoetst op het begin van scheurvorming. Hierbij moeten de breuksterkte en vermoeiingseigenschappen op de peildatum worden bepaald, aan de hand van metingen. Onder voorwaarden kunnen daarvoor metingen uit het verleden worden gebruikt, en in elk geval zal moeten worden geëxtrapoleerd naar de (in de toekomst gelegen) peildatum. Voor Waterbouwasfaltbeton is voor dat doel een levensduurmodel beschikbaar dat de ontwikkeling van de breuksterkte als functie van de tijd beschrijft met het percentage holle ruimte als bepalende parameter.

4.1.1 Parameters AGK

De belasting op de bekleding bestaat uit de golfhoogte, golfperiode en stormduur. De weerstand tegen golfklappen wordt bepaald door de laagdikte, breuksterkte en

vermoeiingseigenschappen, stijfheid van de bekleding en beddingsconstante van de ondergrond.

De invloeden van de relevante parameters op het bezwijkmechanisme zijn de volgende:

- De *significante golfhoogte* H_s bepaalt de grootte van de drukstoot die op de bekleding wordt uitgeoefend.
- De *gemiddelde golfperiode* T_m en de *stormduur* bepalen het aantal golfklappen.
- De *laagdikte* d bepaalt de buigspanningen in het asfalt; een grotere laagdikte zorgt voor lagere buigspanningen en dus voor een grotere weerstand tegen golfklappen.
- Een hogere *buigtreksterkte* σ betekent dat de maximaal toelaatbare spanningen in het asfalt hoger zijn en leidt dus tot een grotere weerstand tegen golfklappen.
- De *stijfheidsmodulus* E van de bekleding bepaalt de spanningen in het asfalt: een hogere E leidt tot hogere spanningen en dus een kleinere weerstand tegen golfklappen.
- De *beddingsconstante van de ondergrond* c bepaalt de doorbuiging van de asfaltbekleding. Een stijve ondergrond (hogere c) geeft minder doorbuiging en dus lagere spanningen in het asfalt.
- De vermoeiingsparameters v_α en v_β beschrijven het verloop van de vermoeiingscurve (het aantal belastingen tot bezwijken uitgezet tegen de grootte van de belasting, d.w.z. de gegenereerde trekspanning). Het is niet zonder meer aan te geven of een hogere waarde voor v_α en/of v_β leidt tot een hogere of een lagere weerstand tegen golfklappen.

4.2 Bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken (AWO)

Bij gesloten dijkbekledingen kunnen wateroverdrukken onder de bekleding ontstaan. Bij het optreden van een hoge buitenwaterstand zal de freatische lijn in het dijklichaam stijgen doordat water het dijklichaam in stroomt. Een extreme waterstand kan worden gevolgd door een snelle val van de buitenwaterstand. De grondwaterstand zal deze snelle val niet kunnen volgen maar volgt vertraagd, waardoor de bekleding wordt belast door een opwaartse wateroverdruk.

Wanneer de opwaartse druk van het water groter is dan de component loodrecht op het talud van het eigen gewicht van de bekleding per m^2 , zal de bekleding plaatselijk worden opgelicht. In de ruimte die tussen de bekleding en de ondergrond ontstaat, zal zich vervolgens materiaal ophopen dat wordt verplaatst door het grondwater dat onder de bekleding naar beneden wegstroomt. Hierdoor kan de bekleding niet meer naar zijn oorspronkelijke positie terugkeren. Als dit proces zich gedurende een bepaalde periode voortzet, zal de bekleding scheuren en uiteindelijk de ondergrond onvoldoende tegen erosie beschermen.

Er wordt binnen het WTI getoetst op het begin van oplichten van de bekleding, d.w.z. wanneer de opwaartse druk gelijk wordt aan het gewicht van de bekleding (zie 'faaldefinitie in het gebeurtenissenschema uit paragraaf 3.3).

4.2.1 Parameters AWO

De belasting bestaat uit het verschil tussen de grondwaterstand en de buitenwaterstand. Dit verschil wordt beïnvloed door de maximale buitenwaterstand, de snelheid waarmee de buitenwaterstand daalt na optreden van het hoogwater en de doorlatendheid van de ondergrond. Ook de afstrooimogelijkheden naar het achterland, de openheid van de teenconstructie en de ligging van de onderzijde van de gesloten bekleding beïnvloeden de maximaal optredende wateroverdruk onder de bekleding. De weerstand tegen de optredende wateroverdruk wordt geleverd door de laagdikte en de dichtheid van de bekleding.

De invloeden van de relevante parameters op het mechanisme zijn de volgende:

- Een hogere *maximale buitenwaterstand* leidt tot een groter stijghoogteverschil waardoor het grondlichaam zich sneller zal vullen met water.
- Een snelle *val van de buitenwaterstand* zorgt voor een groter verschil tussen de grondwaterstand en de buitenwaterstand en dus voor een hogere wateroverdruk onder de bekleding.
- De *doorlatendheid van de ondergrond* en het *niveau van de onderrand van de gesloten bekleding* (inclusief de aanwezigheid van een teenschot) zijn bepalend voor het hydraulisch contact tussen het buitenwater en het dijklichaam. Bij een kortdurende maatgevende periode zoals een storm op zee leidt een lagere doorlatendheid van de ondergrond tot een geringere wateroverdruk onder de bekleding omdat de freatische lijn in het grondlichaam minder hoog zal komen. Bij een langer durende maatgevende periode zoals een hoogwatergolf in het rivierengebied kan de freatische lijn hoger oplopen en zal een lage doorlatendheid van de ondergrond leiden tot een trage reactie van het grondwater en dus hogere wateroverdrukken.
- Een grotere *laagdikte* van de bekleding (en een eventuele kleilaag daaronder) biedt een grotere weerstand tegen de optredende wateroverdruk.
- Een hogere *dichtheid* van de bekleding (en een eventuele kleilaag daaronder) verhoogt het gewicht van de bekleding en biedt dus een grotere weerstand tegen de optredende wateroverdruk.
- De *taludhelling* beïnvloedt de weerstand tegen de optredende wateroverdruk: hoe steiler de helling, hoe minder weerstand.