



Kiwa KOAC B.V.
Esscheweg 105
5262 TV Vught

T 088 562 26 72
F 088 562 25 11
E info@kiwa-koac.com

www.kiwa-koac.com

e140416901-2

Leidraad voor de specificatie van de levensduur
van dijkbekledingen van waterbouwasfaltbeton

>





Projectnummer : e140416901-2
Offertenummer en datum : o180267/advv/adl/mzo d.d. 21 februari 2018
Titel rapport : Handreiking specificatie levensduur asfalt dijkbekledingen
Status rapport : definitief

Naam opdrachtgever : Projectenorganisatie POV-Wadden. p/a Wetterskip Fryslân
Adres : Fryslânplein 3
Plaats : Leeuwarden
Naam contactpersoon : De heer ir. J. Hateboer
Datum opdracht : 8 maart 2018
Kenmerk opdracht : inkoopordernummer 00112670

Contactpersoon Kiwa KOAC : Ing. A.K. de Looff
Auteur(s) rapport : Ing. A.K. de Looff

Rapportage

Naam: Ing. A.K. de Looff

Functie: Senior adviseur

Handtekening:

Datum: 11 februari 2019

Autorisatie

Naam: Ir. F. Tolman

Functie: Senior adviseur

Handtekening:

Datum: 11 februari 2019

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



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Doel van de leidraad.....	5
1.2	Specificatie van de levensduur op hoofdlijnen	5
1.3	Totstandkoming van deze leidraad	5
1.4	Hoe deze leidraad te gebruiken.....	6
2	Levensduur van asfalt dijkbekledingen	7
2.1	Definitie.....	7
2.2	Processen die de levensduur beïnvloeden	7
2.2.1	Veroudering van het bindmiddel.....	7
2.2.2	Stripping van het mengsel	7
2.2.3	Vorst-dooi	7
2.3	Eisenboom.....	8
3	Prognose van de buigtreksterkte bij de gekozen levensduur	9
3.1	Doel van de testprocedure	9
3.2	Innovaties en het levensduurmodel.....	9
3.3	Beschrijving van de testprocedure	10
3.3.1	Stap 1: de toepassingsvoorwaarden	10
3.3.2	Stap 2: Hydraulische belastingen bepalen	11
3.3.3	Stap 3: Bepalen karakteristieke waarden materiaal- en constructie-eigenschappen .	11
3.3.4	Stap 4: Prognose van stijfheid en sterkte bij einde levensduur.....	12
3.3.5	Stap 5: Bepalen maximaal toelaatbare waarde van de minersom (M_{max})	13
3.3.6	Stap 6: Iteratief bepalen bij welke buigtreksterkte M_{max} wordt bereikt	14
3.3.7	Stap 7: Prognose: restlevensduur bepalen	14
4	Water- en vorstgevoeligheid van het mengsel	16
4.1	Doel van de testprocedure	16
4.2	Beschrijving van de testprocedure	16
4.2.1	Vervaardigen van de proefstukken.....	16
4.2.2	Conditioneren van de proefstukken.....	16
4.2.3	Bepaling van de watergevoelighedsindex	17
5	Watergevoeligheid van de componenten	18
5.1	Doel van de testprocedure	18
5.2	Beschrijving van de testprocedure	18
5.2.1	Reologische eigenschappen mastiek	18
5.2.2	Cohesieve sterkte mastiek	18
5.2.3	Adhesieve sterkte steen-bitumen	19
6	Eisen	20
6.1	Prognose van de buigtreksterkte bij de gekozen levensduur.....	20
6.2	Water- en vorstgevoeligheid van het mengsel	20
6.3	Watergevoeligheid van de componenten	20



7 **Referenties** 21



1 Inleiding

1.1 Doel van de leidraad

Doel van deze leidraad is het geven van de kaders waarbinnen mengsels van waterbouwasfaltbeton kunnen worden ontwikkeld om zo te komen tot asfaltbekledingen met een langere levensduur. In het verleden zijn vooral asfaltbekledingen aangelegd die in het algemeen een acceptabele en soms goede kwaliteit hebben, tegen de laagste prijs. Met de set eisen die in deze leidraad zijn gepresenteerd wordt enerzijds voorkomen dat bekledingen voortijdig moeten worden gereconstrueerd, anderzijds geeft dit de mogelijkheid om extra kwaliteit te bieden.

1.2 Specificatie van de levensduur op hoofdlijnen

Om een lange levensduur te realiseren van een dijkbekleding van waterbouwasfaltbeton, moet het materiaal voldoen aan verschillende eisen. In de eerste plaats moet een mengsel worden gerealiseerd dat voldoende sterkte heeft gedurende de levensduur. Met het levensduurmodel, zie hoofdstuk 3, wordt een prognose van het verloop van de sterkte in de tijd opgesteld. Vooral de holle ruimte beïnvloedt de teruggang van de sterkte in de tijd.

In de tweede plaats moet het mengsel voldoende bestand zijn tegen vochtindringing en tegen belasting door vorst-dooicycli. In hoofdstuk 4 is beschreven op welke wijze proefstukken moeten worden getest op deze belasting.

Tenslotte moeten de verschillende componenten waaruit het mengsel is opgebouwd, zorgvuldig worden geselecteerd en op elkaar worden afgestemd zodat een mengsel ontstaat met een lage vochtgevoeligheid en een hoge weerstand tegen stripping. In hoofdstuk 5 is beschreven welke testmethoden op componentniveau worden uitgevoerd om dit te realiseren.

1.3 Totstandkoming van deze leidraad

Binnen het project POV-Wadden wordt gewerkt aan het verbeteren van de kwaliteit van asfalt dijkbekledingen. Dit wordt gerealiseerd door het beschikbaar stellen van functionele eisen die aannemers de mogelijkheid geven om innovatieve mengsels op de markt te brengen.

In fase B hebben Deltares, Kiwa KOAC en Hydraphalt een studie verricht naar de oorzaken van degeneratie van waterbouwasfaltbeton. Daarnaast is door Kiwa KOAC in samenwerking met Deltares een handreiking opgesteld voor het ontwerpen van asfaltbekledingen op funderingslagen. Door de TU-Delft is een toetsprotocol ontwikkeld om asfaltmengsels op componentniveau te kunnen beoordelen op de weerstand tegen vocht gerelateerde schade. Door Kiwa KOAC tenslotte, is een Leidraad opgesteld voor het specificeren van de levensduur van asfalt dijkbekledingen, dit document.

De werkzaamheden in deze fase zijn uitgevoerd door de volgende personen:

- Ir. R. 't Hart (Deltares)
- Dr. B.G.H.M. Wichman (Deltares)
- Dr. A. Varveri (TU-Delft)



- Ing. N. Leguit (Hydraphalt)
- Ir. F. Tolman (Kiwa KOAC)
- Ing. A.K. de Looff (Kiwa KOAC)

De werkzaamheden zijn begeleid en kritisch gevolgd door een begeleidingscommissie die bestaat uit de volgende personen:

- Ing. M. Schippers (Arcadis), projectleider
- Ir. M.F.C. van de Ven
- Ing. C.C. Montauban
- R. Venema (Esha)
- A. Zijlstra (Wetterskip Fryslân)

1.4 Hoe deze leidraad te gebruiken

In de Handreiking Vraagspecificatie asfalt dijkbekledingen (De Looff, 2017) is beschreven hoe een vraagspecificatie kan worden opgesteld. Hiermee kunnen eisen worden geformuleerd voor aanleg van een asfalt dijkbekleding. Op het moment van opstellen van de handreiking ontbrak informatie om concreet invulling te geven aan het specificeren van de levensduur van asfalt dijkbekledingen. Met deze Leidraad specificatie levensduur van dijkbekledingen van waterbouwasfaltbeton is dit mogelijk geworden.



2 Levensduur van asfalt dijkbekledingen

2.1 Definitie

De levensduur van de bekleding is de periode dat de bekleding in staat is om zijn functie te vervullen. Hier wordt doorgaans vooral de primaire functie beschouwd; het beschermen van het dijklichaam tegen erosie.

2.2 Processen die de levensduur beïnvloeden

Bekledingen van waterbouwasfaltbeton worden boven gemiddeld hoogwater aangelegd. Hierdoor zijn deze in de bijzondere omstandigheid dat ze nagenoeg nooit worden belast door de golfbelastingen waarop ze zijn ontworpen. Schade aan de bekleding en een teruggang van sterkte in de tijd wordt dus veroorzaakt door andere fenomenen. In deze paragraaf is een beknopte beschrijving gegeven van de belangrijkste processen die de levensduur van asfalt dijkbekledingen beïnvloeden.

2.2.1 Veroudering van het bindmiddel

Onder invloed van temperatuur, zuurstof en UV-licht veranderen de eigenschappen van bitumen in de tijd. Hierdoor treedt oxidatie van de koolstof en zwavelmoleculen en polymerisatie in het bitumen op, wat leidt tot verharding van het bindmiddel. Hierdoor veranderen de meetbare eigenschappen; de penetratie neemt af en het verwekingspunt neemt toe. Daarnaast neemt de viscositeit toe en de rek bij breuk af. Deze processen worden veroudering van het bindmiddel genoemd. Voor asfaltmengsels betekent dit dat ze in de loop van de tijd minder goed in staat zijn om vervormingen te volgen en brosser gedrag gaan vertonen. Hierdoor wordt het materiaal gevoeliger voor scheurvorming en kunnen bij oudere bekledingen scheuren ten gevolge van temperatuurswisselingen ontstaan. De processen in een asfaltmengsel kunnen worden vertraagd door de holle ruimte te beperken. Daarnaast zijn polymeer gemodificeerde bitumina beter bestand tegen veroudering dan de conventionele bitumina.

2.2.2 Stripping van het mengsel

Asfalt wordt vaak lange tijd blootgesteld aan vocht. Door de inwerking van water in het asfalt kan het bitumen van het oppervlak van het mineraal aggregaat worden verdrongen. Hierdoor gaat de samenhang verloren. Dit wordt stripping genoemd. Vocht dringt het asfalt binnen via scheurtjes, holle ruimte of door diffusie. Stripping van het asfalt kan onder andere worden tegengegaan door het minimaliseren van de holle ruimte, het toepassen voldoende en het juiste type bitumen en selectie van de goede combinatie van bitumen en mineraal aggregaat.

2.2.3 Vorst-dooi

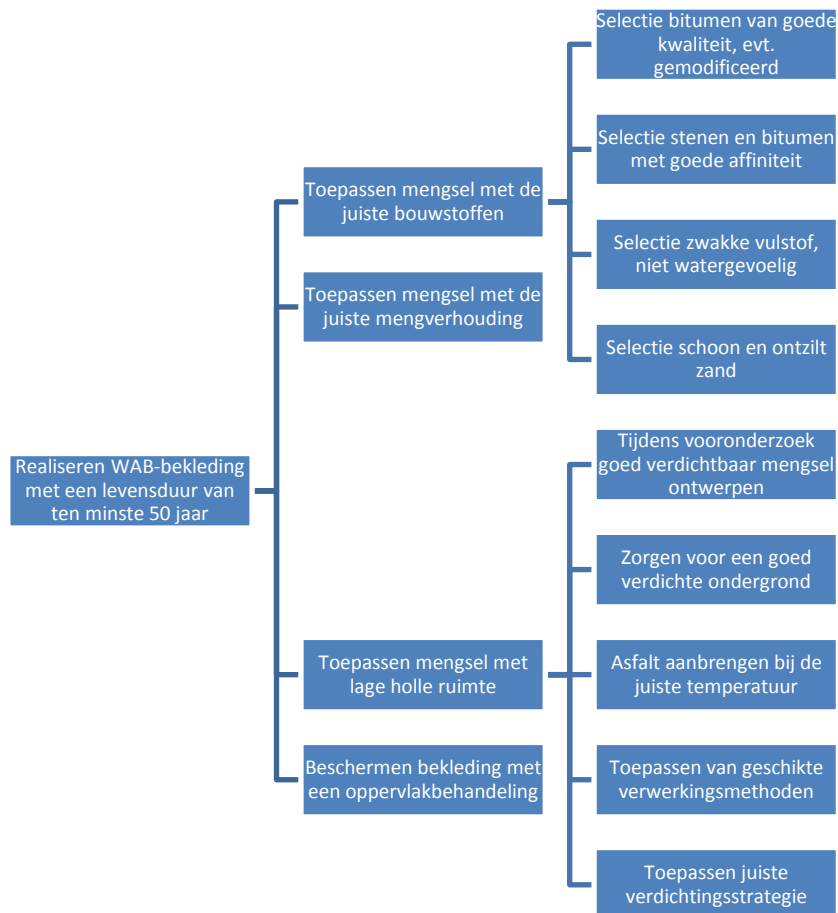
Als vocht zich in het asfalt bevindt, kan dit tijdens een vorstperiode leiden tot het versneld optreden van schade aan het asfalt. Het volume van water neemt toe als het bevroert en in ijs verandert, waardoor het asfalt lokaal kapot gedrukt wordt. Het volume van water is het grootst



rond het vriespunt. Extreem lage temperaturen hoeven dus niet tot extra schade te leiden. Vaak is een periode van afwisselende vorst-dooicycli schadelijker; tijdens vorst vriest het asfalt kapot, tijdens de daaropvolgende dooiperiode dringt het water dieper in het asfalt waarna het proces weer opnieuw kan beginnen. Door de aanwezigheid van zout in het water, kan dit ook gebeuren bij temperaturen onder het vriespunt.

2.3 Eisenboom

In de deze paragraaf is een eisenboom gepresenteerd waarin is aangegeven op welke onderdelen eisen moeten worden gesteld om te komen tot de realisatie van een bekleding met een lange levensduur. Hierin is beknopt weergegeven aan welke onderdelen van het product en proces aandacht moet worden geschonken om een bekleding met een lange levensduur te realiseren.



Figuur 3.1 Eisenboom voor de realisatie van een bekleding van waterbouwasfaltbeton met een levensduur van ten minste 50 jaar



3 Prognose van de buigtreksterkte bij de gekozen levensduur

3.1 Doel van de testprocedure

Doel van de testprocedure is het opstellen van een prognose van de sterkte van de asfaltbekleding aan het einde van de levensduur. De sterkte van de bekleding moet gedurende de levensduur hoog genoeg zijn om de spanningen die optreden door golfbelasting tijdens een maatgevende storm te weerstaan. Ten gevolge van veroudering, stripping en andere vocht gerelateerde mechanismen veranderen de eigenschappen van het asfalt in de tijd. De belangrijkste hiervan is de sterkte; de vermoeiingseigenschappen en de buigtreksterkte, ook wel breuksterkte genoemd. De sterkte neemt af in de tijd. Met behulp van het levensduurmodel (Telman, 2013) voor waterbouwasfaltbeton kan een prognose worden gemaakt van het verloop van de buigtreksterkte in de tijd. Als de informatie van dit levensduurmodel wordt gecombineerd met het golfklapmodel, kan worden nagegaan of de sterkte gedurende de beoogde levensduur voldoende zal zijn om de ontwerpbelastingen te weerstaan. Hiervoor wordt de procedure gevolgd van de gedetailleerde toets op golfklappen zoals beschreven in de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 (Min. I&M, 2017). De praktische uitwerking hiervan is vastgelegd in de Schematiseringshandleiding asfaltbekleding (Min. I&M, 2016). Bij de gedetailleerde toets en dus ook bij de levensduurprognose, wordt gebruik gemaakt van het computermodel BM Asfalt Golfklap (Deltares, 2017).

Met de in dit hoofdstuk beschreven methode kan een geprognoseerde buigtreksterkte bij het einde van de levensduur worden bepaald. Deze moet altijd ruim hoger zijn dan de minimaal benodigde buigtreksterkte, dat wil zeggen: de buigtreksterkte die nodig om de optredende buigtrekspanningen ten gevolge van golfbelasting te weerstaan. De eisen die worden gesteld aan de geprognoseerde buigtreksterkte zijn opgenomen in paragraaf 6.1.

Een levensduurprognose kan voorafgaand aan de uitvoering van een werk worden uitgevoerd op basis van in het laboratorium bepaalde eigenschappen van het asfalt, aangevuld met veilige ontwerpwaarden en na uitvoering van het werk bij de opleveringscontrole. Bij de opleveringscontrole worden op basis van een gedetailleerde toets op golfklappen alle eigenschappen in het veld en in het laboratorium bepaald voor het opstellen van een levensduurprognose zoals beschreven in dit hoofdstuk.

Uitgangspunt bij de in dit hoofdstuk opgenomen procedure is dat de bekleding aan het einde van de levensduur nog moet voldoen.

3.2 Innovaties en het levensduurmodel

Het gebruikte levensduurmodel is ontwikkeld op basis van meetresultaten die afkomstig zijn van het huidige areaal van dijkbekledingen van waterbouwasfaltbeton in Nederland. Dit zijn asfaltmengsels die voldoen aan de eisen zoals geformuleerd in de Standaard RAW-bepalingen 2015 (CROW, 2014). Innovatieve mengsels zullen op onderdelen afwijken van de mengselsamenstelling. Deze afwijkingen kunnen niet met het levensduurmodel worden gekwantificeerd. In deze gevallen moet een levensduurprognose worden opgesteld zoals



beschreven in dit hoofdstuk. Aanvullend moeten de voor- en nadelen van de gekozen oplossing worden beschreven en waar mogelijk gekwantificeerd.

Soms kan het effect toch deels worden gekwantificeerd. Zo kan het asfaltmengsel door aanpassingen een hogere sterkte hebben maar is het moeilijker te verwerken en te verdichten waardoor een grotere spreiding in de stijfheid en de sterkte wordt verwacht. Hier kan in de levensduurprognose rekening mee worden gehouden.

Als een effect niet direct kan worden gekwantificeerd, bijvoorbeeld doordat een mengselaanpassing leidt tot een hogere weerstand tegen inwerking van vocht en/of verouderingsprocessen waardoor de teruggang van de sterkte in de tijd wordt vertraagd, moet hiervan een kwalitatieve beschrijving worden opgenomen. Deze beschrijving moet volledig zijn; zowel de positieve als de negatieve effecten op de levensduur moeten worden beschreven. Het effect op de levensduur moet worden geschat en zo veel mogelijk worden onderbouwd met onderzoeksresultaten.

3.3 Beschrijving van de testprocedure

3.3.1 Stap 1: de toepassingsvoorwaarden

Voor de levensduurprognose wordt gebruik gemaakt van de gedetailleerde toetsmethode. Hiervoor zijn toepassingsvoorwaarden opgesteld (Min. I&M, 2017). Deze zijn hier samengevat:

1. De bekleding bestaat uit waterbouwasfaltbeton (WAB)
2. $H_{m0} \leq 3$ m
3. Grondwaterstand (GRWS) < onderrand asfaltbekleding
4. Het betreft één van de volgende watersystemen: IJsselmeer, Markermeer, Waddenzee Oost, Waddenzee West, Hollandse Kust Noord, Hollandse Kust Midden, Hollands Kust Zuid of Westerschelde;
5. Type onderlaag of ondergrond is zand;
6. Laagdikte WAB > 0,1 m

Enkele opmerkingen bij de genoemde voorwaarden:

- Als niet wordt voldaan aan één of meerdere van de toepassingsvoorwaarden, moet dit worden beschreven maar kan gewoon worden vervolgd met de rest van de procedure.
- Het is op dit moment vaak niet bekend of de grondwaterstand lager ligt dan de onderrand van de asfaltbekleding, of het is mogelijk bekend dat de grondwaterstand hoger ligt dan de onderrand van de asfaltbekleding. In deze gevallen moet dit worden vermeld en kan worden vervolgd met de procedure. Bij het ontwerp van de constructie moet echter wel rekening worden gehouden met de verhoogde grondwaterstand. Er treedt dan mogelijk een ander faalmechanisme op.
- Voor nieuw te ontwerpen bekledingen van waterbouwasfaltbeton zal de onderlaag veelal bestaan uit een funderingslaag op zand. Hiervoor kan gewoon een levensduurprognose worden opgesteld. In de Handreiking funderingslagen (De Looft, Wichman, & 't Hart, 2018) is beschreven hoe een dergelijke constructie moet worden ontworpen. Hierbij is ook aandacht besteed aan de mogelijkheid van een verhoogde grondwaterstand.



3.3.2 Stap 2: Hydraulische belastingen bepalen

De hydraulische belastingen zijn invoergegevens voor de berekening in de basismodule BM - Asphalt Golfklap. Deze worden beschikbaar gesteld door de opdrachtgever of moeten worden berekend met de Hydra-modellen. Zie ook de documenten over hydraulische belastingen behorend bij het Ontwerpinstrumentarium (Smale, 2016).

De volgende gegevens zijn nodig:

- Waterstand bij de norm.
- Golfcondities: Significante golfhoogte en piekperiode bij verschillende hoogtes t.o.v. N.A.P.
- Gemiddelde getijamplitude. Dit betreft het langjarig gemiddelde zoals beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 1985).

Daarnaast heeft BM Asphalt Golfklap enkele stuurparameters nodig. De defaultwaarden zijn:

Tabel 3.1: defaultwaarden stuurparameters BM Asphalt Golfklap

Parameter	Defaultwaarde
Aantal rekenpunten	50
Aantal SWL stappen [-]	100
Aantal inslagpunten [-]	50

3.3.3 Stap 3: Bepalen karakteristieke waarden materiaal- en constructie-eigenschappen

De karakteristieke waarden van de materiaal- en constructie-eigenschappen moeten worden bepaald. Voor enkele van deze eigenschappen moet rekening worden gehouden met een toename van de spreiding van de eigenschappen in de tijd. Daarnaast moet de afname van de sterkte in de tijd in rekening worden gebracht. Voor de benodigde parameters is aangegeven hoe deze moeten worden bepaald.

Beddingsconstante ondergrond en laagdikte constructie

Voor de laagdikte en de beddingsconstante, of veerconstante, van de ondergrond kan de 5% ondergrens op basis van metingen ten behoeve van de opleveringscontrole worden gebruikt. De veerconstante van de ondergrond wordt bepaald uit valgewicht-deflectiemetingen. De wijze waarop deze moet worden bepaald is beschreven in de Schematiseringshandleiding asfaltbekledingen (Min. I&M, 2016) en de Handreiking funderingslagen (De Looft, Wichman, & 't Hart, 2018). De laagdikte van de asfaltbekleding en, indien aanwezig de fundering, wordt bepaald met grondradarmetingen die worden geïjkt met enkele boorkernen. In de ontwerpfase worden veilige waarden gekozen voor de beddingsconstante en de laagdikte.

Buigtreksterkte en holle ruimte van de asfaltbekleding

Van de bekleding moet de buigtreksterkte in het laboratorium worden bepaald. Dit kan in de ontwerpfase op balken uit een plaat. Voor de holle ruimte moet een veilige (hoge) waarde worden aangehouden. De gemiddelde holle ruimte van de in het laboratorium vervaardigde proefstukken moet hoger of gelijk zijn aan de holle ruimte die bij oplevering door 95% van alle waarnemingen wordt overschreden.



Bij de oplevering worden kernen \varnothing 250 mm geboord waaruit balkjes worden gezaagd. De buigtreksterkte kan worden bepaald in een driepunts- of vierpunts-buigopstelling. De proef wordt uitgevoerd bij een temperatuur van 5 °C en een constante verplaatsingsnelheid van 0,35 mm/s (3PB) of 1,2 mm/s (4PB). Voor de driepunts-buigproef is een proefvoorschrift beschikbaar (Stowa, 2010). Voor de vierpunts-buigproef gelden de eisen aan de opstelling zoals gesteld in NEN-EN 12697-26 waarbij de proef wordt uitgevoerd onder de hier vermelde condities. Opgemerkt wordt dat het gebruik van de vierpunts-buigopstelling leidt tot iets lagere resultaten dan de driepunts-buigopstelling. Van elk proefstuk wordt eveneens de holle ruimte bepaald. De buigtreksterkte wordt ten minste in achtvoud bepaald. De ontwerpwaarde voor de buigtreksterkte wordt bepaald met het levensduurmodel, zie paragraaf 3.3.4.

Stijfheidsmodulus van de asfaltbekleding

In de ontwerpfase kan de stijfheidsmodulus worden bepaald op proefstukken in het laboratorium. Dit betreft de proefstukken waarvan ook de buigtreksterkte wordt bepaald. De stijfheidsmodulus kan worden bepaald in een driepunts- of vierpunts-buigopstelling. De proef wordt uitgevoerd bij een temperatuur van 5 °C en een frequentie van 10 Hz. Voor de driepunts-buigproef is een proefvoorschrift beschikbaar (Stowa, 2010). Voor de vierpunts-buigproef gelden de eisen zoals gesteld in NEN-EN 12697-26 waarbij de proef wordt uitgevoerd onder de hier vermelde condities. De stijfheidsmodulus wordt in het laboratorium ten minste in achtvoud bepaald.

> De stijfheidsmodulus van de asfaltbekleding wordt bij oplevering bepaald met valgewicht-deflectiemetingen. De uit de resultaten van het valgewicht teruggerekende stijfheden moeten worden gecorrigeerd voor temperatuur en frequentie, zie hiervoor de Schematiseringshandleiding asfaltbekledingen.

De stijfheidsmodulus verandert in de tijd; de gemiddelde waarde neemt af en de spreiding neemt toe. In paragraaf 3.3.4 is aangegeven hoe hiermee moet worden omgegaan.

Vermoeiingseigenschappen van de asfaltbekleding

In de ontwerpfase kunnen veilige waarden voor de vermoeiingseigenschappen worden gebruikt. Deze ontwerpwaarden zijn gebaseerd op proeven op verouderd waterbouwasfaltbeton. Ook de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton veranderen in de tijd. Er zijn echter nog geen modellen beschikbaar om een prognose te maken van deze veranderingen. De ontwerpwaarden zijn als volgt:

- $v_{\alpha} = 0,5$
- $v_{\beta} = 4,8$

3.3.4 Stap 4: Prognose van stijfheid en sterkte bij einde levensduur

Buigtreksterkte van het asfalt

Met het levensduurmodel kan een prognose worden gemaakt van de verandering van de buigtreksterkte in de tijd, afhankelijk van de holle ruimte. In de Schematiseringshandleiding asfaltbekledingen, paragraaf 5.3.7, is aangegeven hoe gemeten buigtreksterktes kunnen worden geëxtrapoleerd naar een later tijdstip. De werkwijze is als volgt:

- Van elk proefstuk zijn de buigtreksterkte en de holle ruimte bekend. Daarnaast is een minimale levensduur geëist of gekozen. De maximum waarde voor de leeftijd aan het einde van de levensduur die ingevoerd mag worden is 70 jaar. Meer gebruikelijk is 50



jaar. Met de onderstaande formule wordt per proefstuk een prognose gemaakt van de buigtreksterkte aan het einde van de levensduur.

$$\sigma_{b,e} = \sigma_{b,m} - 1,195 \cdot 10^{-6} \cdot Lft_e^2 \cdot HR^3$$

Hierin is:

- $\sigma_{b,e}$ = Buigtreksterkte bij de gekozen levensduur (MPa)
- $\sigma_{b,m}$ = Buigtreksterkte op het moment van meten (MPa)
- Lft_e = Leeftijd aan het einde van de levensduur (jaren)
- HR = holle ruimte (%)

- Bepaal de gemiddelde waarde van de buigtreksterkte aan het einde van de levensduur.
- Bepaal de karakteristieke ondergrens voor de buigtreksterkte aan het einde van de levensduur ($\sigma_{b,e,5\%}$) door uit te gaan van een variatiecoëfficiënt van 0,35 en een lognormale verdeling. De variatiecoëfficiënt is de standaardafwijking gedeeld door de gemiddelde waarde, dus met de gegeven waarde voor de variatiecoëfficiënt en de berekende gemiddelde waarde kan de standaardafwijking worden berekend. Met de gemiddelde waarde en de standaardafwijking kan de 5%-ondergrens van de buigtreksterkte worden berekend. Zie ook bijlage D uit de Schematisteringshandleiding asfaltbekledingen.

Stijfheidsmodulus van het asfalt

Bij ontwerp wordt gerekend met de karakteristieke bovengrens van de stijfheidsmodulus. De stijfheidsmodulus verandert in de tijd; de gemiddelde waarde neemt af en de spreiding neemt toe. Deze veranderingen worden als volgt in rekening gebracht:

- Bereken de gemiddelde waarde van de stijfheidsmodulus uit de resultaten van de metingen.
- Vermenigvuldig de gemiddelde waarde met 0,7 om de afname van de gemiddelde stijfheid in de tijd te verdisconteren.
- Bepaal de standaardafwijking door uit te gaan van een lognormale verdeling en een variatiecoëfficiënt van 0,35 bij einde levensduur. Met de gemiddelde waarde en de standaardafwijking kan de 95%-bovengrens van de stijfheidsmodulus worden berekend. Zie ook bijlage D uit de Schematisteringshandleiding asfaltbekledingen.

3.3.5 *Stap 5: Bepalen maximaal toelaatbare waarde van de minersom (M_{max})*

De maximaal toelaatbare waarde van de Minersom ten gevolge van golfklappen, M_{max} , moet worden bepaald. Deze is afhankelijk van de modelfactor en de veiligheidsfactor, zie ook de Regeling veiligheid waterkeringen (Min. I&M, 2017). De berekening van de maximaal toelaatbare Minersom is gebaseerd op de formule:

$$M_{max} = \frac{10^{-Y_s}}{\gamma_m}$$

Waarin:

- M_{max} de minersom: maximaal toelaatbare waarde voor de vermoeiingsschade in de bekleding ten gevolge van golfklappen;



- γ_s veiligheidsfactor. Deze is afhankelijk van het watersysteem, de variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte en faalkanseisen;
- γ_m modelfactor voor het toetspoot 'Golfklappen op asfaltbekleding', deze is 1,77 conform (Min. I&M, 2017).

3.3.6 Stap 6: Iteratief bepalen bij welke buigtreksterkte M_{max} wordt bereikt

Als alle invoergegevens bekend zijn, kan in de software BM - Asfalt Golfklap door middel van een iteratief proces de buigtreksterkte bepaald worden waarbij de minersom M_{max} (bepaald in stap 5) wordt bereikt. Dit iteratieve proces vraagt verschillende berekeningen waarin alleen de buigtreksterkte wordt gevarieerd. Zoals aangegeven in de Schematiseringshandleiding asfaltbekledingen wordt bij gebruik van het levensduurmodel de gevonden minimaal vereiste buigtreksterkte verhoogd met een veiligheidsfactor van 1,2.

3.3.7 Stap 7: Prognose: restlevensduur bepalen

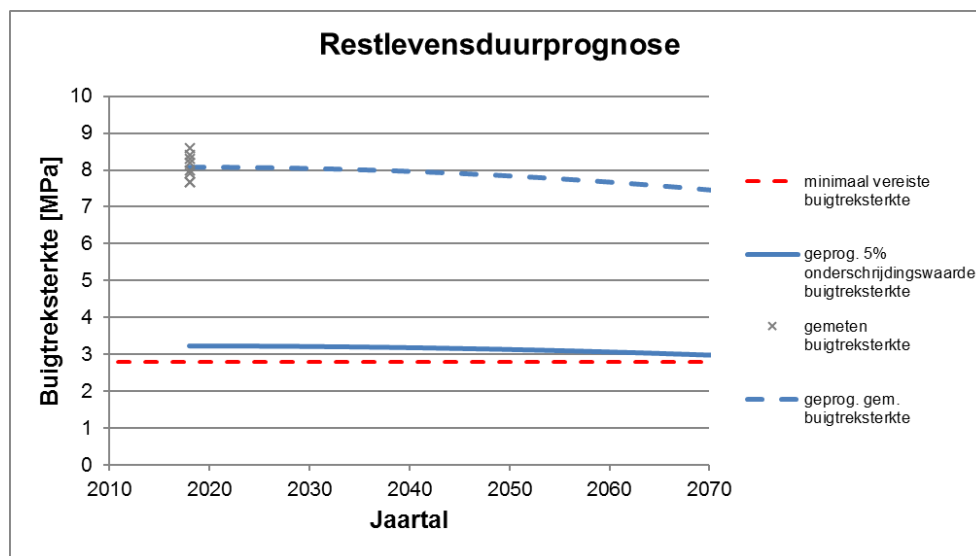
De restlevensduur kan nu worden bepaald door twee waarden met elkaar te vergelijken:

- de 5% onderschrijdingswaarde van de geprognosticeerde buigtreksterkte;
- de minimaal vereiste buigtreksterkte.

Als deze waarden gelijk zijn dan wordt dat moment gedefinieerd als het einde van de levensduur van de asfaltdijkbekleding. De volgende waarden worden gerapporteerd:

- Levensduur (het jaar waarbij de ondergrens van de geprognosticeerde buigtreksterkte gelijk is aan de minimaal vereiste buigtreksterkte, of de gekozen levensduur)
- Minimaal vereiste buigtreksterkte (MPa)
- Geprognosticeerde ondergrens van de buigtreksterkte bij de levensduur (MPa)

De resultaten worden grafisch weergegeven zoals in de grafiek in figuur 3.1.



Figuur 3.1 Voorbeeld van een grafische weergave van een restlevensduurprognose

De 5% ondergrens van de geprognosticeerde buigtreksterkte is in de figuur gedurende de hele levensduur bepaald op basis van een variatiecoëfficiënt van 0,35. In werkelijkheid zal de variatie



in eigenschappen in de eerst gering zijn en constant blijven en vervolgens in de loop van de jaren toenemen.



4 Water- en vorstgevoeligheid van het mengsel

4.1 Doel van de testprocedure

Dijkbekledingen van waterbouwasfaltbeton moeten hun functie gedurende een zeer lange periode blijven vervullen. Vaak wordt een levensduur van ten minste 50 jaar geëist. Gedurende de levensduur zijn belasting door vocht en vorst-dooicycli de belangrijkste oorzaken van een teruggang van de sterkte in de tijd. Om voldoende weerstand te bieden tegen deze mechanismen, moet een dicht mengsel zijn ontworpen met een voldoende hoog bitumenpercentage, een goede affiniteit tussen steen en bitumen etc. Om na te gaan of het mengsel voldoende weerstand biedt tegen deze mechanismen, wordt de watergevoeligheidsindex of retained index bepaald. Deze retained index geeft de verhouding aan tussen de sterkte van een ongeconditioneerd proefstuk en de sterkte van een proefstuk dat voor testen is blootgesteld aan belasting door water en vorst-dooicycli. Aan deze retained index worden eisen gesteld, zie hoofdstuk 6.

De proef wordt voor uitvoering van het werk uitgevoerd om de water -en vorstgevoeligheid te kunnen beoordelen en na uitvoering van het werk bij de opleveringscontrole.

4.2 Beschrijving van de testprocedure

In deze paragraaf is de procedure beschreven voor het bepalen van de water- en vorstgevoeligheid van een mengsel van waterbouwasfaltbeton.

4.2.1 Vervaardigen van de proefstukken

De proeven worden uitgevoerd op cilindrische proefstukken Ø 100 of Ø 150 mm, afkomstig van boorkernen uit het werk of uit in het laboratorium vervaardigde platen, of van in het laboratorium vervaardigde gyratorproefstukken.

Bij in het laboratorium vervaardigde proefstukken geldt het volgende:

- Alle gebruikte componenten van het asfaltmengsel moeten hetzelfde zijn als de componenten van het asfaltmengsel dat op de waterkering wordt verwerkt.
- De gemiddelde holle ruimte van de in het laboratorium vervaardigde proefstukken moet hoger of gelijk zijn aan de holle ruimte die bij oplevering door 95% van alle waarnemingen wordt overschreden.
- De hoogte van de proefstukken bedraagt 60 mm +/- 5 mm.
- Er worden ten minste 6 proefstukken getest waarvan 3 geconditioneerd en 3 ongeconditioneerd.

4.2.2 Conditioneren van de proefstukken

De helft van de te testen proefstukken wordt geconditioneerd, de andere helft wordt opgeslagen bij 5 °C tot het moment van beproeven. Van elk proefstuk wordt de dichtheid proefstuk bepaald door middel van onder en boven water wegen. De proefstukken worden zodanig verdeeld in twee sets dat de gemiddelde dichtheid proefstuk ongeveer gelijk is. Het verschil tussen de gemiddelde dichtheid proefstuk van de sets mag ten hoogste 15 kg/m³ bedragen. De helft van de proefstukken wordt geconditioneerd met de volgende procedure:



- Stap 1: Waterbad. De proefstukken worden gedurende 3 weken geheel ondergedompeld in een waterbad van 30 °C +/- 1 °C. Let op! Voorafgaand aan het onderdompelen wordt geen vacuüm op de proefstukken toegepast.
- Stap 2: vorst-dooi. De proefstukken worden gedurende 48 uur als volgt blootgesteld aan twee vorst-dooicycli: Direct na het waterbad worden de proefstukken licht drooggedept met een handdoek en gedurende 16 uur opgeslagen in een klimaatkamer bij -18 °C +/- 1 °C. Hierna worden de proefstukken gedurende 8 uur geheel ondergedompeld in een waterbad van 30 °C +/- 1 °C. Deze procedure wordt eenmaal in zijn geheel herhaald.
- Ter voorbereiding op de testen worden de proefstukken gedroogd met een handdoek en gedurende ten minste 8 uur opgeslagen bij 5 °C +/- 1 °C.

4.2.3 *Bepaling van de watergevoelighedsindex*

De proefstukken worden getest met een indirecte trekproef conform NEN-EN 12697-23. Hierbij wordt het volgende in acht genomen:

- Voorafgaand aan de bepaling van de indirecte treksterkte wordt de dynamische stijfheidsmodulus bepaald volgens NEN-EN 12697-26, annex F. Er wordt een frequency sweep uitgevoerd met frequenties van 0,1 tot 20 Hz. Bij een temperatuur van 5 °C.
- Optioneel kan de dynamische stijfheidsmodulus ook worden bepaald tijdens het conditioneren van het proefstuk na stap 1 (waterbad) en voor stap 2 (vorst-dooicycli).
- Na bepaling van de dynamische stijfheidsmodulus wordt de indirecte treksterkte (ITS) bepaald conform NEN-EN-12697-23.
- De retained index (watergevoelighedsindex) wordt bepaald zoals beschreven in NEN-12697-12, paragraaf 8.2. Zowel de retained strength als de retained stiffness worden gerapporteerd. De watergevoelighedsindex op basis van de stijfheidsmodulus wordt gerapporteerd voor een frequentie van 10 Hz.



5 Watergevoeligheid van de componenten

5.1 Doel van de testprocedure

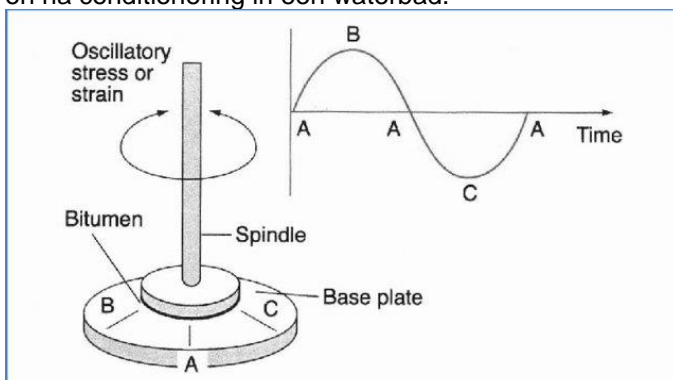
Doel van de testprocedure is het geven van inzicht in het gedrag van zowel het toegepaste bitumen/ mastiekmengsel in het waterbouwasfaltbeton alsook inzicht in de interactie tussen bitumen/mastiek en mineraalaggregaat. Een zorgvuldige selectie van de juiste componenten zorgt ervoor dat een asfaltmengsel wordt verkregen met een hoge weerstand tegen de inwerking van vocht. Hierbij is zowel de verwekingsgevoeligheid van de mastiek van belang alsook de hechting tussen stenen en bitumen.

5.2 Beschrijving van de testprocedure

Het testprotocol wordt uitgevoerd door de TU-Delft. Het resultaat van het onderzoek laat de relatieve prestaties per mengsel zien; er zal een ranglijst worden opgesteld op basis van de resultaten van de verschillende testmethoden. De testmethoden zijn hier beknopt beschreven. Voor meer informatie wordt verwezen naar de rapportage van de TU-Delft (Varveri, 2018).

5.2.1 Reologische eigenschappen mastiek

Met behulp van een dynamic shear rheometer (DSR) worden de glijdingsmodulus en fasehoek bij verschillende temperaturen en frequenties bepaald. De helft van de proefstukken wordt kunstmatig verouderd, de andere helft niet. De eigenschappen worden bepaald in droge toestand en na conditionering in een waterbad.



Figuur 5.1 Schematische weergave DSR-test

5.2.2 Cohesieve sterkte mastiek

Van kleine kernen mastiek wordt in een uniaxiale trekopstelling de treksterkte bepaald. De helft van de proefstukken wordt kunstmatig verouderd, de andere helft niet. De eigenschappen worden bepaald in droge toestand en na conditionering in een waterbad.



Figuur 5.2 Resultaat uniaxiale trekproef om de cohesieve sterkte van de mastiek te bepalen

5.2.3 Adhesieve sterkte steen-bitumen

De hechting tussen stenen en bitumen wordt getest in een uniaxiale trekopstelling. De proef wordt uitgevoerd op monsters die bestaan uit twee kleine kernen van de toe te passen steen waartussen een dunne laag bitumen is aangebracht. Bij de trekproef wordt de treksterkte bepaald en wordt nagegaan of breuk optreedt in het hechtvlak of door de mastiek. De helft van de proefstukken wordt kunstmatig verouderd, de andere helft niet. De eigenschappen worden bepaald in droge toestand en na conditionering in een waterbad.



Figuur 5.3 Monster ter bepaling van de adhesieve sterkte tussen steen en bitumen



6 Eisen

6.1 Prognose van de buigtreksterkte bij de gekozen levensduur

In hoofdstuk 3 is beschreven hoe een prognose van de levensduur kan worden opgesteld. Aan de resultaten worden de volgende eisen gesteld:

- Geprognoseerde 5%-waarde van de buigtreksterkte moet groter zijn dan de buigtreksterkte waarbij de maximale Minersom wordt bereikt. De geprognoseerde 5%-waarde van de buigtreksterkte moet daarnaast groter zijn dan $\geq 2,4$ MPa. Dit is de ontwerpwaarde voor de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton met een leeftijd van 50 jaar volgens (Rijkswaterstaat, 2015).
- De levensduur is vrij te kiezen door de opdrachtgever. Gebruikelijk is een levensduur ≥ 50 jaar.

6.2 Water- en vorstgevoeligheid van het mengsel

In hoofdstuk 4 is beschreven hoe zowel stijfheidsmodulus en indirecte treksterkte van de geconditioneerde en ongeconditioneerde proefstukken zijn bepaald. De retained index of watergevoelighedsindex is bepaald op basis van de sterkte en de stijfheidsmodulus. Aan de resultaten worden de volgende eisen gesteld:

- ITSR $\geq 80\%$
- ITS, geconditioneerd $\geq 1,5$ MPa

Aan de watergevoelighedsindex op basis van de stijfheidsmodulus worden op dit moment geen eisen gesteld.

6.3 Watergevoeligheid van de componenten

Er worden geen eisen gesteld aan de resultaten van de testen. De resultaten kunnen helpen bij het selecteren van de juiste componenten die in het mengsel worden toegepast. Daarnaast worden de resultaten gebruikt om de geteste mengsels te ranken op watergevoeligheid.



7 Referenties

- CROW. (2014). *Standaard RAW-bepalingen 2015*. Ede: CROW.
- De Looff, A., & Tolman, F. (2017). *Handreiking vraagspecificatie asfalt dijkbekledingen*. Amersfoort: Stowa.
- De Looff, A., Wichman, B., & 't Hart, R. (2018). *Handreiking asfalt dijkbekledingen op funderingslagen*. Kiwa KOAC.
- Deltares. (2017). *Basis modules Asfalt-Golfklap, Stand alone tool voor Asfaltbekleding Golfklap, Gebruikershandleiding, versie 1.2, revisie: 49566*. Delft: Deltares.
- Min. I&M. (2016). *Schematiseringshandleiding asfaltbekleding, WBI 2017*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Min. I&M. (2017). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Min. I&M. (2017). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en Veiligheid*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rijkswaterstaat. (1985). *Referentiewaarden waterstanden*. Opgehaald van https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Referentiewaarden%20waterstanden_tcm174-326696_tcm21-24223.pdf
- Rijkswaterstaat. (2015). *Handreiking dijkbekledingen, deel 3: Asfaltbekledingen*. Delft: Deltares.
- Smale, A. (2016). *Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden, aanvulling OI2014, versie 4*. Delft: Deltares.
- Stowa. (2010). *State of the art asfaltdijkbekledingen, bijlage C: Proefvoorschriften waterbouwasfaltbeton*. Amersfoort: Stowa.
- Telman, J. (2013). *Voorspellingsmodel voor de breuksterkte, afhankelijk van leeftijd en holle ruimte*. Q-Consult.
- Varveri, A. (2018). *POV-Waddenzeedijken Asfaltbekleding fase B2: Development of test methods for assessing the durability of asphalt dike revetments*. Delft: TU-Delft.