

STATE OF THE ART ASFALTDIJKBEKLEDINGEN



RAPPORT

2010
w06



STATE OF THE ART ASFALTDIJKBEKLEDINGEN

STOWA

2010
W06



COLOFON

Amersfoort, 2010

UITGAVE STOWA, Amersfoort

AUTEURS

ir. M.P. Davidse	KOAC•NPC
ir. R. 't Hart	Deltares
ing. A.K. de Looff	KOAC•NPC
ing. C.C. Montauban	Zelfstandig adviseur
ir. M.F.C. van de Ven	TU Delft, Weg- en Railbouwkunde
dr. B.G.H.M. Wichman	Deltares

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2010-W06

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

STATE OF THE ART ASFALTDIJKBEKLEDINGEN

INHOUD

	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Rol publicatie	1
1.2	Doelgroep	1
1.3	Kader	1
1.4	Bekledingstypen	2
1.5	Leeswijzer	2
2	NIEUWE ONTWIKKELINGEN	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Kwaliteitszorg	4
2.2.1	Inleiding	4
2.2.2	Functionele eisen	4
2.2.3	Integrale kwaliteitszorg	5
2.2.4	Kwaliteitszorg bij Ontwerp	5
2.2.5	Kwaliteitszorg bij Aanleg	5
2.2.6	Kwaliteitszorg bij Beheer & Onderhoud	6
2.2.7	Kwaliteitszorg bij Toetsen op Veiligheid	6
2.2.8	Kwaliteitszorg bij Reconstructie	7

2.3	Waterbouwasfalt en CE-markeringen	7
2.4	Patroon gepenetreerde bekledingen	7
2.5	Overlaging van een bestaande constructie	9
2.6	Ontwerp en toetsing	11
2.6.1	Algemeen	11
2.6.2	Hydraulische randvoorwaarden	12
2.6.3	Ontwerp en toetsing bij hoge golven	12
2.6.4	Ontwerpgrafieken voor golfklappen	13
2.6.5	Gevolgen nieuwe ontwerpparameters	15
2.7	Volumetrische ontwerpmethodede voor open steenasfalt	17
2.8	Duurzaamheidsaspecten	18
2.8.1	Grind in asfalt	18
2.8.2	Hergebruik van asfalt	18
2.8.3	Hechting steen-bitumen	19
2.9	Inzet van grondradar voor het lokaliseren van door vocht aangetast asfalt	20
2.10	Innovatieve bekledingen	20
3	GEGEVENS VERZAMELEN EN ANALYSEREN	22
3.1	Inleiding	22
3.2	Inspectie	22
3.3	Meetmethoden	32
3.3.1	Detectie van aangetast asfalt met niet destructieve meettechnieken	32
3.3.2	Betrouwbaarheid en herhaalbaarheid van valgewicht deflectiemetingen	33
3.4	Laboratoriumonderzoek	34
3.4.1	Waterbouwasfaltbeton	34
3.4.2	Open steenasfalt	36
3.5	Materiaalkarakterisering	38
	AFKORTINGEN	42
	LIJST MET ONDERDELEN IN DIT RAPPORT IN RELATIE TOT DE ONDERDELEN UIT HET TECHNISCH RAPPORT ASFALT VOOR WATERKEREN	43
	REFERENTIELIJST	44
	LIJST MET GEBRUIKTE FOTO'S	47
	LIJST MET GEBRUIKTE FIGUREN EN TABELLEN	48
	ERRATA BIJ HET TECHNISCH RAPPORT ASFALT VOOR WATERKEREN	49
	BIJLAGEN	
A	KWALITEITSZORG BIJ OPEN STEENASFALT	51
B	WERKWIJZEBESCHRIJVING WATERBOUWASFALTBETON	53
C	PROEFVOORSCHRIFTEN WATERBOUWASFALTBETON	101
D	BEREKENING VAN DE OMHULLINGSDIKTE VOOR HET ONTWERP VAN OPEN STEENASFALT	159

1

INLEIDING

1.1 ROL PUBLICATIE

Dit rapport bevat geactualiseerde kennis, waarin voorgesteld wordt delen uit het TR Asphalt voor Waterkeren [1] te vervangen en waarin nieuwe kennis m.b.t. toetsen, inspecteren en ontwerpen van asphalt dijkbekleding is opgenomen.

De bijlagen bij dit rapport bevatten detailinformatie, die nodig is voor het uitvoeren van de toetsing en het maken van ontwerpen.

1.2 DOELGROEP

De doelgroepen van dit rapport zijn toetsers, ontwerpers en waterkeringbeheerders (o.a. overheden en adviesbureaus). Het rapport geeft een gestructureerde aanpak om tot een veilige schematisering te komen, maar kan niet als een eenvoudig receptenboek worden gebruikt. De gebruiker dient de nodige kennis en ervaring te hebben om goede afwegingen te kunnen maken en om de toepasbaarheid van een bepaalde methode in de beschouwde situatie op waarde te kunnen schatten. Bij het gebruik van dit rapport is basiskennis op het gebied van waterbouwkunde en geohydrologie nodig, bij voorkeur aangevuld met ervaring op het gebied van dijkverbetering en/of toetsing.

1.3 KADER

Sinds het uitkomen van het Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren, heeft de werkwijze bij de toetsing op veiligheid van asfaltdijkbekledingen de nodige veranderingen ondergaan. Er is veel ervaring opgedaan met het uitvoeren van veiligheidsbeoordelingen in twee toetsronden. Op basis van deze kennis is de methode op een aantal punten verbeterd.

De visuele inspectie heeft een meer centrale rol gekregen, waarbij schadebeelden die samenhangen met de veroudering van het materiaal zijn toegevoegd. Er wordt tevens meer gebruik gemaakt van niet destructieve meetmethoden, aan de hand waarvan locaties voor het boren van kernen worden aangewezen. Het laboratoriumonderzoek is uitgebreid, onder meer met een bepaling van de breuksterkte.

Dit laatste is van belang, omdat het sterktemodel bij verouderd asphalt onder een grote golfklap belasting niet voldeed. De wijze van parameterbepaling is aangepast, en er is een procedure voor herhalingsmetingen gereed gekomen. Tevens is een computerprogramma ten behoeve van de gedetailleerde toetsing op golfklappen verder doorontwikkeld, en zijn hiermee, op basis van de nieuwste kennis van de materiaaleigenschappen, nieuwe toets- en ontwerpgrafieken verkregen.

Deze ontwikkelingen maken het uitbrengen van een Technisch rapport noodzakelijk. Door middel van dit state of the art rapport wordt nieuwe kennis beschikbaar gesteld, die te zijner tijd opgenomen gaat worden in een Technisch Rapport, te weten het Technisch Rapport harde bekledingen.

Hiermee wordt voorkomen dat er teveel informatie in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid moet worden opgenomen, en ook worden zo diverse in de loop van de jaren opgestelde documenten gebundeld.

1.4 BEKLEDINGTYPEN

In dit rapport worden de volgende bekledingstypen behandeld:

- Waterbouwasfaltbeton
- Open steenasfalt
- Vol en zat gepenetreerde breuksteen
- Patroon gepenetreerde breuksteen

1.5 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 worden nieuwe ontwikkelingen behandeld ten aanzien van ontwerp, aanleg en reconstructie, nieuwe bekledingstypen, schadebeelden en nieuwe inspectietechnieken. Tevens wordt ingegaan op ontwikkelingen ten aanzien van te stellen eisen en kwaliteitszorg. Hoofdstuk 2 bevat ook nieuwe ontwerpgrafieken en een uitleg hoe dit zich verhoudt tot de toetsing.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het verzamelen van gegevens en de benodigde analyses ten behoeve van de toetsing op veiligheid. De bijlagen bij dit rapport bevatten detailinformatie, die nodig is voor het uitvoeren van de toetsing en het maken van ontwerpen.

Het hoofdstuk m.b.t. toetsing op veiligheid moet nog afgestemd worden op het WTI2011 en is nog niet opgenomen.

DE WIJZE VAN TOT STAND KOMEN

Dit state of the art rapport is tot stand gekomen in opdracht van Rijkswaterstaat en Stichting Toegepast Onderzoek Waterkeringen (STOWA). De opstellers van dit rapport zijn:

ing. C.C. Montauban	Zelfstandig adviseur
ing. A.K. de Looff	KOAC•NPC
ir. M.F.C. van de Ven	TU Delft, CITG Weg- en Railbouwkunde
ir. R. 't Hart	Deltares
dr. B.G.H.M. Wichman	Deltares
ir. M.P. Davidse	KOAC•NPC

Het rapport is beoordeeld door de klankbordgroep asfaltdijkbekledingen onderzoek, welke valt onder de werkgroep Techniek van Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). In de klankbordgroep asfaltdijkbekledingen hebben de volgende personen zitting:

ir. M.F.C. van de Ven	TU Delft, CITG Weg- en Railbouwkunde (voorzitter KGA)
ir. M. Klein Breteler	Deltares (ENW-mentor KGA)
ing. A.K. de Looff	KOAC•NPC (secretaris KGA)
dr. B.G.H.M. Wichman	Deltares (projectleider)
ing. C.C. Montauban	zelfstandig adviseur (inhoudelijk projectbegeleider namens STOWA)
ir. R. 't Hart	Deltares (adviseur/specialist)
ing. H. Faber	RWS Dir. IJsselmeergebied (mentor RWS-stuurboord), t/m 2008
ing. P. Gerrits	RWS Dir. IJsselmeergebied, vanaf 2009
ing. S.J.P. Vereeke	RWS Projectbureau Zeeweringen (mentor RWS-stuurboord)
ing. A. Zijlstra	Wetterskip Fryslan
ing. R.A. Joosten	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
G. van den Nieuwendijk	Waterschap Hollandse Delta vanaf medio 2008
ir. J.A. van Herpen	KOAC•NPC
ing. N. Leguit	Hydraphalt

Vervolgens werd dit rapport goedgekeurd door ENWTechniek.

2

NIEUWE ONTWIKKELINGEN

2.1 INLEIDING

Sinds het uitkomen van het Technisch Rapport Asphalt voor waterkeren in 2002 zijn er veel nieuwe ontwikkelingen geweest op het gebied van asphalt dijkbekledingen, deels door veranderingen op de aanbestedingmarkt, deels door ontwikkelingen op het gebied van het toetsen op veiligheid en ook door het beschikbaar komen van nieuwe onderzoekstechnieken. In dit hoofdstuk is een beschrijving gegeven van de belangrijkste ontwikkelingen die kunnen worden toegepast bij ontwerp, aanleg, beheer en toetsing van asphalt dijkbekledingen.

2.2 KWALITEITSZORG

2.2.1 INLEIDING

Kwaliteitszorg is een begrip dat vooral wordt geassocieerd met de aanleg van werken. Hierbij wordt m.b.v. een uitgebreid stelsel van besteksbepalingen voorgeschreven hoe de aannemer de vereiste kwaliteit van het eindproduct moet realiseren. Dit stelsel bepalingen is in de RAW-systematiek [03] ondergebracht.

Momenteel is voornamelijk bij Rijkswaterstaat veel aandacht voor zogenaamde “prestatiebestekken”. Hierin wordt niet meer in detail alles voorgeschreven maar ligt de nadruk op de kwaliteit van het eindproduct (de prestatie). Het idee hierachter is dat deze besteksvorm de marktwerking bevordert.

Het is daarbij van belang dat de opdrachtgever goed formuleert welke prestatie geleverd moet worden. Dit kan alleen als de opdrachtgever in staat is goed gedefinieerde eisen voor de prestatie in te vullen. Deze zogenaamde functionele eisen zijn de basis voor een prestatiebestek.

2.2.2 FUNCTIONELE EISEN

Functionele eisen worden afgeleid van de primaire en secundaire functies die een object, in dit geval een asphaltbekleding, moet vervullen.

In het Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren [01] is uitgebreid belicht welke functies relevant zijn en welke technische eisen hieruit zijn af te leiden. Deze eisen zijn indertijd op basis van deskundigheid en gezond verstand opgesteld. Beter is om deze eisen af te leiden met de systematiek van de “Piramide van eisen” [04]. Hierbij wordt vanuit tamelijk abstracte maatschappelijke eisen systematisch afgeleid welke concrete technische eisen nodig zijn. Hieronder is een voorbeeld gegeven voor een primaire eis van een asfaltdijkbekleding:

Soort eis	Eis voor asfaltbekleding
Gebruikers-eis (samenleving)	Veiligheid tegen overstroming
Functie-eis (politiek/beleid)	Hoogwaterkeren
Constructie-eisen (bekleding)	Bestand tegen herhaalde golfklappen
Elementaire eisen (materiaalgedrag)	Weerstand tegen herhaalde belasting
Materiaal-eisen (aard materiaal)	Vermoeiingssterkte
Bouwstof-eisen (kwaliteit bouwstoffen)	Bitumenkwaliteit (vb.)

2.2.3 INTEGRALE KWALITEITSZORG

Nu is de functionele eis (prestatie) niet alleen van belang bij de aanleg van het werk, maar ook gedurende de gehele levensduur, dus van ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud en toetsing tot en met de reconstructie van de bekleding.

Gedurende deze levensduur (van bijvoorbeeld 60 jaar) moet de aandacht zijn gericht op het in stand houden van de benodigde kwaliteit van de bekleding, zodat de (primaire) (veiligheids) functie blijvend kan worden vervuld. Ook secundaire functies kunnen op die manier worden benaderd.

Praktisch gesproken betekent dit:

- De ontwerper moet een constructie bedenken, die kan worden gemaakt, beheerd, onderhouden, getoetst en gereconstrueerd met acceptabele kosten en gevolgen voor de samenleving.
- De aannemer moet een constructie realiseren die voldoet aan het ontwerp.
- De beheerder moet de constructie op peil houden (beheren en onderhouden).
- De toetser moet nagaan of de veiligheid nog is gewaarborgd.
- Bij einde levensduur moet de beheerder nagaan hoe de constructie moet worden verbeterd of vervangen.

Bovenstaand proces is te definiëren als de *integrale kwaliteitszorg* bij het in stand houden van de te vervullen functies van asfaltdijkbekledingen. In de volgende paragrafen wordt aangegeven hoe kwaliteitszorg kan worden geïntegreerd in de levensduurfasen.

In Bijlage A: Kwaliteitszorg bij open steenasfalt is voor open steenasfalt uitgewerkt aan welke eigenschappen in het kader van kwaliteitszorg aandacht moet worden besteed tijdens de verschillende fasen in de levensduur.

2.2.4 KWALITEITSZORG BIJ ONTWERP

Bij het ontwerp van asfaltdijkbekledingen kan met behulp van een systeem als de “piramide van eisen” worden nagegaan welke eisen van belang zijn. Een goed hulpmiddel hierbij is de recente ENW-publicatie: “Criteria voor de toepassing van bekledingen op waterkeringen” [05]. Omdat deze systematische aanpak nog nooit is gebruikt loont het de moeite om dit zowel voor RAW-bestekken (Standaard RAW bepalingen 2005 [03]) als prestatiebestekken toe te passen. Deze aanpak levert veel inzicht in de benodigde kwaliteit van de bekleding, niet alleen bij het ontwerp maar ook gedurende de levensduur.

2.2.5 KWALITEITSZORG BIJ AANLEG

Voor de aanleg van werken is de kwaliteitszorg beschreven in de RAW-systematiek. Voor prestatiebestekken is nog weinig geformuleerd.

In opdracht van Rijkswaterstaat (Projectbureau Zeeweringen) is een stelsel besteksbepalingen voor open steenasfaltbekledingen [06] geformuleerd, dat in een prestatiebestek is te gebruiken. Hierbij is (nog) niet de piramide van eisen gebruikt, maar zijn wel de functies systematisch beschreven en vertaald in eisen. Voor open steenasfalt is het mengselontwerp aangevuld met een volumetrisch ontwerp (zie § 2.7) en het bepalen van de hechting tussen steen en bindmiddel (zie § 2.8). Ook het gebruik van vezels en hechtverbetersaars is in deze besteksbepalingen voorzien.

Voor waterbouwasfaltbeton is nog geen stelsel van besteksbepalingen opgesteld dat geschikt is om in prestatiebestekken te gebruiken.

2.2.6 KWALITEITSZORG BIJ BEHEER & ONDERHOUD

Hoe het beheer en onderhoud van asfalt dijkbekledingen wordt vormgegeven is van eminent belang voor het langdurig functioneren van de bekleding. Tot nu toe is de wijze waarop het beheer wordt ingevuld een zaak van de beheerder geweest. Bij waterkeringen is (nog) niet zoals in de wegebouw een systematische (rationele) beheermethode ontwikkeld.

De behoefte daaraan wordt daarentegen steeds groter. Vooral door de toegenomen ouderdom van de bekledingen wordt de kans op schade immers groter.

Daarom is in 2009 begonnen met ontwikkelen van een beheer- en onderhoudsmethode, waarmee de beheerder periodiek het benodigde onderhoud kan plannen en kan bepalen op welke termijn vervanging of grootschalige reparatie nodig is.

Voor goed beheer is systematisch vastleggen van informatie noodzakelijk. Daarbij moet aan de volgende gegevens worden gedacht:

- Ontwerpgegevens
- Aanleggegevens
- Inspectiegegevens: (in het kader van periodieke monitoring)
 - visuele inspectie (schade, ernst en omvang)
 - Niet Destructief Onderzoek (NDO) (Valgewicht-deflectiometingen, radarmetingen e.d.)
 - laboratoriumonderzoek aan boorkernen (standaard en mechanisch)
- Toetsgegevens (gebruikte data, beoordelingsresultaten, e.d.)
- Reparatiegegevens

Bij een beheermethode is het van groot belang dat elk aspect (systeem of onderzoek) aan zekere kwaliteitseisen voldoet.

2.2.7 KWALITEITSZORG BIJ TOETSEN OP VEILIGHEID

Bij het uitvoeren van de periodieke veiligheidstoetsing worden veel gegevens ingewonnen. Deze worden verkregen door het uitvoeren van visuele inspecties, NDO-metingen en onderzoek aan boorkernen. Vervolgens wordt de bekleding beoordeeld aan de hand van de in het VTV genoemde faalmechanismen en beoordelingssporen.

De kwaliteit van de manier waarop gegevens worden ingewonnen en beoordelingen worden opgesteld bepaalt de betrouwbaarheid van de veiligheidstoetsing. Om de kwaliteit bij het toetsen van waterbouwasfaltbeton op golfklappen te waarborgen is een document opgesteld waarin alle kwaliteitsaspecten worden vermeld. Dit document is een werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen op een waterbouwasfaltbetonbekleding [07] (Bijlage B).

2.2.8 KWALITEITSZORG BIJ RECONSTRUCTIE

Ook bij einde levensduur en reconstructie van de bekleding is kwaliteitszorg van belang. Net als bij het ontwerp moet worden nagegaan welke functies blijvend moeten worden vervuld. Bij het ontwerp moet worden bepaald of de oude bekleding een rol kan spelen in de nieuwe constructie of geheel of gedeeltelijk moet worden hergebruikt.

Daarnaast is de keuze van belang of een zo economisch mogelijke constructie wordt ontworpen of een zo duurzaam mogelijke constructie.

2.3 WATERBOUWASFALT EN CE-MARKERINGEN

Sinds 1 maart 2008 moeten asfaltmengsels in de wegebouw een CE markering dragen. Een CE-markering is een conformiteitsteken dat aangeeft dat het product in kwestie volgens Europese specificaties is getest. Alle bouwproducten moeten op termijn van de CE-markering worden voorzien. Dat geldt niet alleen voor Nederland, maar voor alle landen van de Europese Unie en bovendien voor Noorwegen, IJsland en Liechtenstein. Samen vormen deze landen de Europees Economische Ruimte (EER).

Het doel van de CE-markering is het bevorderen van de vrije handel binnen de EER en het verhogen van de veiligheid bij het gebruik van het product. Bij het testen voor een CE-markering worden eisen gesteld aan mechanische sterkte en stabiliteit, brandveiligheid, geluidhinder en cetera. Deze zogenaamde type testen worden elke vijf jaar uitgevoerd. De producent van het product voert deze testen zelf uit of laat deze uitvoeren.

Van de waterbouwasfalt mengsels wordt (nog) niet geëist dat deze een CE-markering hebben. In normen als NEN-EN 13108 [08] wordt de CE-markering voor asfalt alleen in combinatie met verkeersgebieden genoemd. Er zijn geen algemene Europese Normen voor waterbouwasfalt waardoor een CE markering niet van toepassing is.

2.4 PATROON GEPENETREERDE BEKLEDINGEN

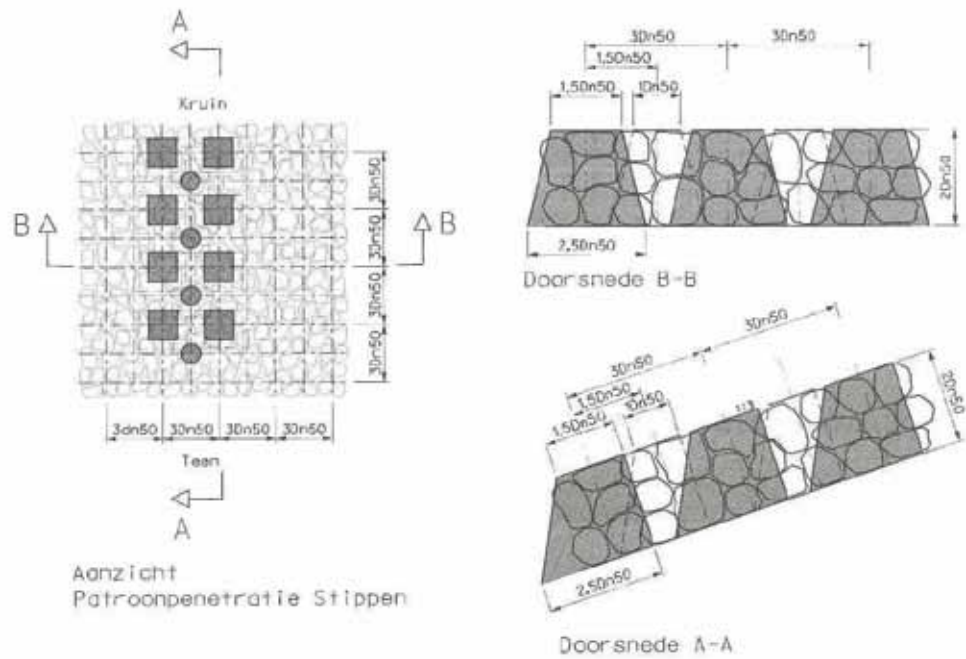
Bij reconstructie van de dijkbekledingen in Zeeland is veel ervaring opgedaan met het uitvoeren van in patroon gepenetreerde bekledingen, ook als overlaging van een bestaande bekleding. De richtlijnen die hier zijn opgenomen zijn gebaseerd op de in Zeeland opgedane ervaringen [09].

Voor met gietasfalt gepenetreerde bekledingen wordt in het algemeen breuksteen met de sortering 10-60 (kg) gebruikt. Kleinere sorteringen breuksteen zijn mogelijk na aanpassing van het asfaltmengsel. Daarbij moet ervoor worden gezorgd dat de viscositeit van het mengsel wordt verlaagd omdat het anders niet goed in de breuksteenlaag penetreert. Dit kan bijvoorbeeld door asfaltmastiek toe te passen in plaats van gietasfalt. In Zeeland zijn ervaringen opgedaan met het penetreren van sorteringen tot maximaal 300-1000 kg. Bij grotere breuksteensorteringen bestaat het risico dat de holle ruimten in de breuksteenlaag te groot zijn waardoor er te veel gietasfalt door de bekleding naar beneden toe wegloopt. Verhogen van de viscositeit van het mengsel en het eventueel toevoegen van breuksteen met een kleinere sortering maakt het penetreren van grotere sorteringen mogelijk.

Er worden twee varianten toegepast; stippenpenetratie (Figuur 2-1) en strokenpenetratie (Figuur 2-2). De stippenpenetratie wordt met name onder water toegepast, de strokenpenetratie boven water. Het is van belang dat bij beide penetratiemethoden de onderzijde van de bekleding open blijft, zodat er geen wateroverdrukken onder de bekleding kan ontstaan.

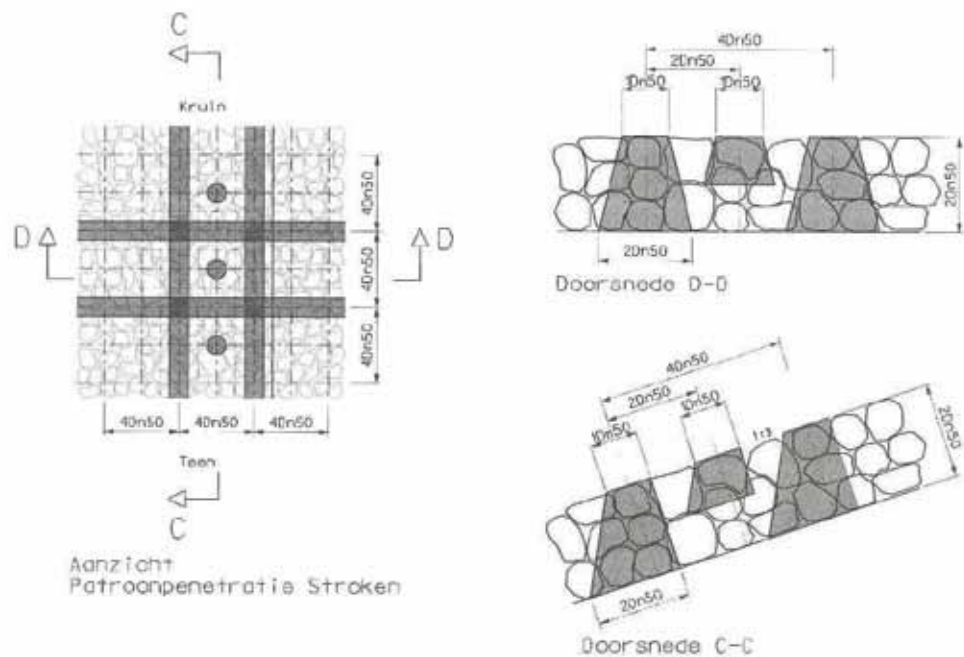
In Figuur 2-1 en Figuur 2-2 [09] zijn de gewenste afmetingen van de plots en de hart op hart afstanden gegeven.

FIGUUR 2-1 STIPPENPENETRATIE (ONDER WATER)



Voor de stippenpenetratie worden min of meer vierkante plots asfalt met een oppervlak van $1,5D_{n50} \times 1,5D_{n50}$ (m²) op onderlinge hart op hart afstanden van $3D_{n50}$ aangebracht. In de centra van vier van dergelijke plots wordt vervolgens een plot met een diameter van D_{n50} aangebracht.

FIGUUR 2-2 STROKENPENETRATIE (BOVEN WATER)



De strokenpenetratie bestaat uit een roosterpatroon waarvan de lijnen met een breedte van D_{n50} op onderlinge hart op hart afstand van $4D_{n50}$ zijn aangebracht en waarvan de verticale lijnen haaks op de teen en de berm staan. In de centra van elk verkregen rooster wordt een plot met een diameter van D_{n50} aangebracht, die vanaf de bovenzijde tot de halve hoogte van de breuksteenlaag doorloopt.

Een in patroon gepenetreerde breuksteenbekleding wordt altijd in een laagdikte van minimaal $2D_{n50}$ aangelegd. Om de benodigde steendiameter te bepalen wordt gebruik gemaakt van de algemene formule van Pilarczyk voor het stabiliteitscriterium van los gestorte breuksteen onder golfaanval [10].

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \leq \phi \cdot \psi_u \cdot \frac{\cos \alpha}{\xi_z^b}$$

Hierin is:

b	: factor t.b.v. het interactieproces tussen golven en bestorting	(-)
D_{n50}	: nominale steendiameter, gebaseerd op M_{50}	(m)
M_{50}	: massa die door 50% van de steenstukken van een sortering wordt overschreden	(kg)
H_s	: significante golfhoogte	(m)
α	: taludhoek t.o.v. de horizontaal	(°)
Δ	: relatieve dichtheid steen ten opzichte van (zee)water	(-)
ξ_z	: brekerparameter gebaseerd op de piekperiode op diep water $T_p (= \xi_{0p})$	(-)
ϕ	: stabiliteitsfactor	(-)
ψ_u	: stabiliteits-upgrading-factor afhankelijk van de bekledingssoort	(-)

Toelichting:

De parameter b is een empirische factor die afhankelijk is van de interactie tussen golven en de bekleding. De waarde ligt tussen 0,5 (bekleding met een open structuur) en 1 (gladde bekleding). Voor een in patroon gepenetreerde bekleding is 0,6 een veilige waarde.

Voor de beide penetratiemethoden worden de volgende waarden voor het product van ϕ en ψ_u aangehouden:

- $\phi \times \psi_u = 3,4$ voor een stippenpenetratie;
- $\phi \times \psi_u = 5$ voor een strokenpenetratie.

Met patroon gepenetreerde bekledingen zijn goede ervaringen opgedaan tot belastingen met een golfhoogte van 3 à 5 m [11].

Patroonpenetraties kunnen ook op steile taludhellingen worden uitgevoerd tot een taludhelling van maximaal 1:1,5. In dat geval wordt de bekleding in verschillende lagen aangebracht.

2.5 OVERLAGING VAN EEN BESTAANDE CONSTRUCTIE

Bij reconstructie of verzwaring van dijkbekledingen kan het overlagen van de bestaande constructie een goed alternatief zijn voor het compleet vervangen van de constructie. Met de volgende varianten is onder meer in Zeeland ervaring opgedaan:

- Losse breuksteen
- Vol en zat gepenetreerde breuksteen
- Patroon gepenetreerde breuksteen

Een overlaging van losse breuksteen wordt niet in dit rapport behandeld. Naast de genoemde bekledingstypen zijn in principe ook overlagingen met andere typen mogelijk. In deze paragraaf is aangegeven waar bij het ontwerp van een overlaging rekening mee moet worden gehouden.

BEPALLEN VAN DE LAAGDIKTE

Bij het bepalen van de laagdikte van een overlagingconstructie worden dezelfde ontwerpregels gehanteerd als bij een nieuwe constructie. Als er een gesloten constructie ontstaat die op wateroverdrukken moet worden gedimensioneerd en de hechting tussen de overlaging en de onderliggende constructie is volledig en duurzaam, dan mag het gewicht van de onderliggende constructie worden meegenomen bij het dimensioneren op wateroverdrukken.

HECHTING OP DE ONDERLAAG

Indien een asfaltbekleding als overlaging op een bestaande constructie wordt aangebracht, is een goede hechting aan de onderlaag van groot belang. Daarom moet het oppervlak waarop de overlaging wordt aangebracht schoon zijn, er mogen geen zand, slib of bijvoorbeeld plantenresten tussen de oude en nieuw aan te brengen bekleding zitten.

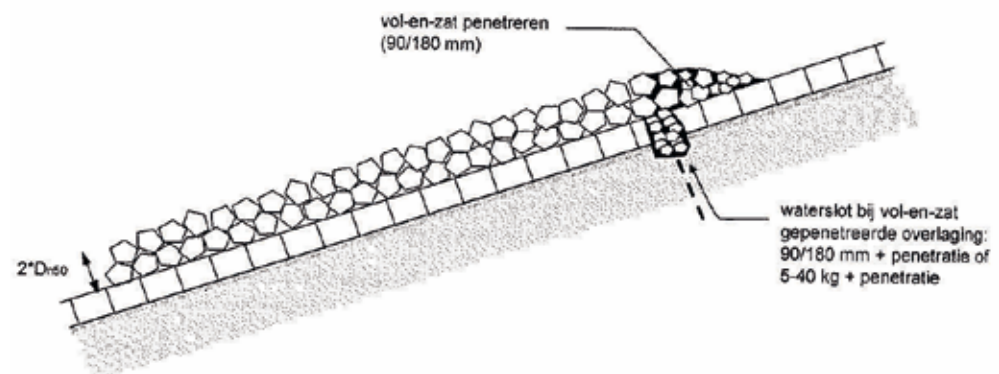
Bij een overlaging van gepenetreerde breuksteen moet worden voorkomen dat er holten ontstaan tussen de oude en nieuwe bekleding. Als een overlaging van waterbouwasfaltbeton wordt aangebracht op een oude onderlaag van asfaltbeton, bijvoorbeeld nadat er vakken met aangetast asfaltbeton zijn weggefreest, is het van belang dat de kwaliteit van de onderlaag goed is. Het oude asfaltbeton mag niet gestript zijn want in dat geval zal de hechting van de nieuwe laag beperkt blijven tot de bovenste korrels van de onderlaag. Dit is geen duurzame hechting, waardoor er eenvoudig water kan dringen tussen beide lagen. Hierdoor kan de nieuwe top laag bij hoogwater van de oude laag worden afgedrukt. Voor een goede hechting wordt altijd een kleeflaag toegepast.

WATERDRUK IN HET FILTER

Het aanleggen van een gesloten bekleding op een open filterlaag is een minder gewenste constructie en moet in principe worden vermeden. Als toch wordt gekozen voor deze constructie, dan is het van belang dat wordt voorkomen dat het filter aan de bovenzijde van de overlaging kan vollopen. Dit kan worden voorkomen door het aanleggen van een zogenaamd waterslot; een afdichtende laag die voorkomt dat er water via de bovenzijde in het filter kan lopen. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 2-3. (In de figuur geeft de stippellijn de grens aan tussen de bij de veiligheidstoetsing onvoldoende beoordeelde bekleding enerzijds en de goed beoordeelde of nieuwe bekleding anderzijds.)

FIGUUR 2-3

EEN WATERSLOT TER VOORKOMING VAN WATEROVERDRUKKEN IN DE FILTERLAAG



Als een gesloten bekleding direct op een filterlaag wordt aangelegd en deze filterlaag aan de onderzijde in direct contact staat met het buitenwater, dan kunnen door golfbewegingen (dynamische) waterdrukken in het filter ontstaan die, op den duur, mogelijk leiden tot schade aan de overlaging. Daarom heeft het de voorkeur dat bij overlaging van een steenbekleding op een filter, de steenbekleding gehandhaafd blijft en dat een goede hechting tussen de steenbekleding en de overlaging wordt gerealiseerd. Hierdoor is het gewicht van de constructie die weerstand biedt tegen de waterdruk groter en zal schade ten gevolge van waterdruk in het filter worden voorkomen.

REFLECTIESCHEUREN

Een bekleding van waterbouwasfaltbeton is, in vergelijking met vol en zat gepenetreerde breuksteen en open steenasfalt, gevoeliger voor scheuren. Bij een gebruikelijke constructie van waterbouwasfaltbeton op zand of een fundering speelt dit geen rol. Het overlagen van een gezette steenbekleding met waterbouwasfaltbeton kan leiden tot reflectiescheuren in het waterbouwasfaltbeton. Dit wordt veroorzaakt doordat er ter plaatse van de voegen van de steenbekleding spanningsconcentraties in het asfaltbeton kunnen optreden die leiden tot scheuren. Om reflectiescheuren te voorkomen kan een wapening worden toegepast.

BEGROEIBAARHEID

Voor een snelle begroeiing en aanhechting van waterplanten wordt een constructie van gepenetreerde breuksteen tot 5 centimeter onder de toppen van de stenen gepenetreerd om zogenaamde waterpockets te creëren. Daarnaast kan het nog warme gietasfalt worden afgestrooid met een bij voorkeur poreuze steensoort zoals lavasteen. Dit wordt vooral in de getijzone toegepast om de vestiging van kleine plantensoorten te bevorderen. Het afstrooien met basalt kan de aangroei van korstmossen bevorderen. Boven de tijzone wordt geen winst van afstrooien verwacht.

2.6 ONTWERP EN TOETSING

2.6.1 ALGEMEEN

Het toetsen op veiligheid is het wettelijk [02] voorgeschreven beoordelen van het waterkerend vermogen door vergelijken van de aanwezige sterkte van de waterkering met de bij de norm behorende belastingen. De regels daarvoor zijn vastgesteld bij ministeriële regeling in het VTV [12]. De tijdshorizon is daarbij met ingang van de vierde toetsronde (2011-2017) 6 jaar. Dat wil zeggen dat als belasting gebruik wordt gemaakt van hydraulische randvoorwaarden waarin rekening wordt gehouden met de ontwikkelingen gedurende die periode. Het gaat daarbij om effecten van bodemdaling en zeespiegelstijging. Voor de sterkte van de asfaltbekleding dient rekening te worden gehouden met de achteruitgang van de kwaliteit in de betreffende periode ten opzichte van de actuele staat.

Het ontwerpen is het zoeken voor een langere periode naar een optimum voor kosten van aanleg en onderhoud, afgestemd op alle te vervullen functies. Voor dijkbekledingen wordt normaliter rekening gehouden met een gebruiksperiode van 50 jaar. Gedurende die periode dienen de maatgevende belastingen met voldoende zekerheid te kunnen worden weerstaan. Gedurende die levensduur moet de verwachte afname van materiaalkwaliteit en eventuele toename van de hydraulische belastingen kunnen optreden zonder dat het functioneren van de bekleding in gevaar komt. Dit alles natuurlijk rekening houdend met het voorziene beheer en onderhoud.

Bij toetsen en ontwerpen worden voor de bekleding waar mogelijk wel dezelfde rekenregels gehanteerd waar het de waterbouwkundige functie betreft. Maar omdat toetsing eenzijdig is gefocust op de veiligheid van de waterkering en door de beperkte tijdshorizon rekening houdt met andere hydraulische randvoorwaarden en sterkte-eigenschappen, zijn de toetsregels ontoereikend voor een goed ontwerp.

2.6.2 HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN

De hydraulische randvoorwaarden voor de toetsing van waterkeringen worden per toetsronde bij ministeriële regeling vastgesteld. Voor de derde toetsronde betrof dit [13]

Het afleiden van hydraulische ontwerpvoorwaarden voor bekledingen is werk voor specialisten. Voor de rivieren [14] wordt de formule van Brettsneider wel gebruikt, terwijl voor grotere watersystemen het rekenmodel Simulating WAves Nearschore (SWAN) gebruikelijk is. Aangezien de planperiode voor asfaltbekledingen 50 jaar is, dient daarbij in ieder geval rekening te worden gehouden met ontwikkelingen van het hoogste hoogwater wat kan worden voorzien. Enerzijds gaat het om de invloed van een klimaatwijziging, die zich manifesteert met hogere rivierafvoeren en zeespiegelstijging, anderzijds om toekomstige ontwikkelingen in het peilbeheer, bijvoorbeeld in geval van het IJsselmeer. Het hoogste hoogwater bepaalt enerzijds tot hoe hoog op het talud de golfbelastingen hun invloed hebben, maar wellicht nog belangrijker is dat als de waterdiepte beperkt is, dat de golfhoogte vrijwel evenredig is met de waterdiepte [15].

Voorts wordt door ENW [15] aanbevolen om bij het ontwerp rekening te houden met onzekerheid in de modellen waarmee de hydraulische randvoorwaarden worden bepaald. Geadviseerd wordt om de waarde voor de golfhoogte en de golfperiode 10% conservatiever te nemen dan met de modellen berekend. Voor asfaltbekledingen betekent dit een 10% grotere golfhoogte en een 10% kortere golfperiode. Deze 10% kortere golfperiode is alleen van toepassing voor de beoordeling op golfbelastingen met het rekenprogramma GOLFKLAP. Een kortere golfperiode betekent meer golven, dus meer belastingswisselingen, dus meer vermoeiing. Als er sprake is van doordringing van golfdrukken tot onder de bekleding, omdat deze op een relatief doorlatende ondergrond wordt aangelegd, dan zal bij het ontwerp voor dat mechanisme juist een langere golfperiode de conservatieve waarde opleveren.

2.6.3 ONTWERP EN TOETSING BIJ HOGE GOLVEN

Een asfaltbekleding op een waterkering wordt gedimensioneerd op wateroverdrukken onder de bekleding en golfklappen op de bekleding. Bij het dimensioneren op golfklappen wordt vastgesteld welke laagdikte nodig is zodat de optredende buigtrekspanningen in de bekleding ten gevolge van golfklappen de sterkte van het materiaal niet overschrijden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de ontwerpgrafieken. Bij zware golfaanval, dat wil zeggen een ontwerpwaarde voor de significante golfhoogte van 3 meter of meer, is het noodzakelijk om naast de genoemde dimensioneringsmethoden na te gaan of er andere mechanismen kunnen optreden die kunnen leiden tot bezwijken van de constructie. Mechanismen die mogelijk kunnen optreden zijn:

- Verweking van de ondergrond door golfaanval. Voorwaarde voor het ontstaan van verweking is dat de ondergrond met water verzadigd is. Daarnaast neemt de kans op verweking toe naarmate de verdichtingsgraad van het zand lager is. Verweking ontstaat als een (plotselinge) belastingsverhoging op een verzadigde grond leidt tot een situatie waarbij het korrelskelet de optredende spanningen niet meer kunnen dragen, daardoor vervormen en een dichtere pakking aannemen. Hierdoor wordt de belasting volledig gedragen door het poriënwater en zullen er grote vervormingen in de ondergrond optreden die leiden tot bezwijken van de constructie.

- Afschuiving van de bekleding. Als de constructie bezwijkt door beweging in de langsrichting van het talud, wordt dit afschuiving genoemd. Afschuiving kan worden veroorzaakt door waterdruk onder de bekleding, golfaanval op de bekleding of een combinatie van beide.
- Vorming van een S-profiel. Door langdurige golfaanval in dezelfde zone kan er vervorming van de ondergrond optreden die leidt tot een S-profiel. 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 is kan dit leiden tot bezwijken van de ondergrond. Overschrijding van de kritieke schuifspanning leidt tot plastische deformatie in de ondergrond. Daarnaast kan stuik in de ondergrond (elastische vervorming) optreden onder invloed van herhaalde belastingen. Als de ondergrondstuik te groot wordt leidt dit tot bezwijken van de bovenliggende bekleding.

In bijzondere gevallen kunnen andere mechanismen maatgevend zijn. Voor het ontwerpen van een asfaltbekleding met een ontwerpwaarde voor de significante golfhoogte van 3 meter en hoger is het raadzaam om specialisten in te schakelen.

Bij het ontwerp van een asfaltbekleding op hoge golven kunnen maatregelen worden genomen die leiden tot een verhoging van de sterkte van de constructie, verlaging van de optredende spanningen en rekken in de ondergrond en reductie van de optredende belasting, namelijk de waterspanning in de ondergrond. Hieronder zijn enkele handreikingen gegeven bij het ontwerp van een asfaltbekleding die blootstaat aan zware golfaanval:

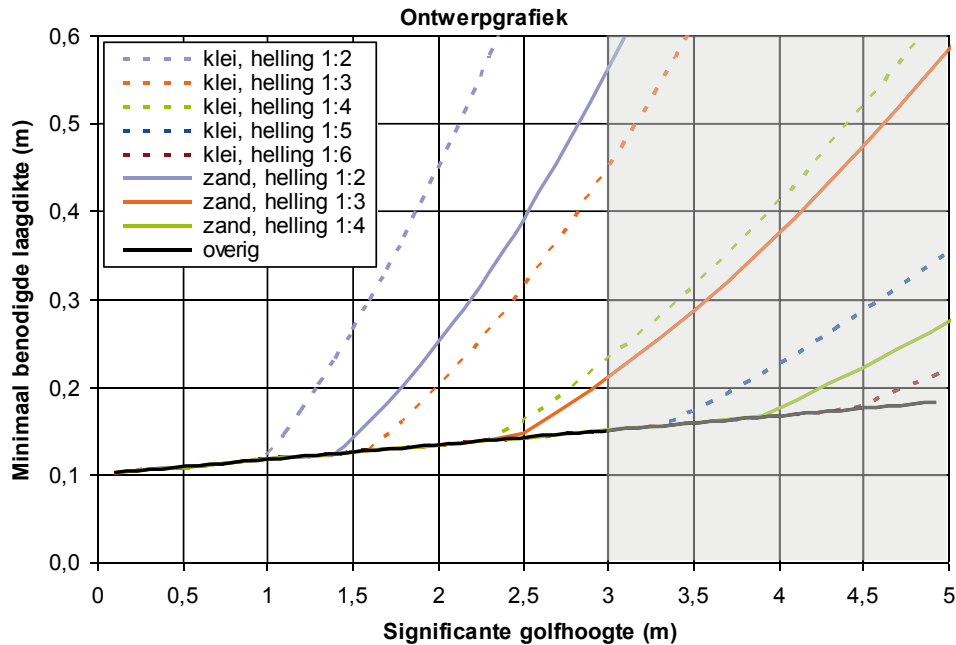
- Toepassen van een gebonden fundering onder de bekleding. Het toepassen van een gebonden fundering van bijvoorbeeld zandasfalt of hydraulisch gebonden slakken heeft als voordelen dat de weerstand van het funderingsmateriaal tegen vervormingen vele malen groter is dan dat van zand en dat het zorgt voor een afname van spanningen en rekken in de onderliggende ondergrond. Het toepassen van een ongebonden fundering met een hoge doorlatendheid is niet gewenst omdat dit leidt tot een extra belasting op de bovenliggende bekleding door waterdrukken in deze laag. De dikte van de fundering kan worden bepaald door het uitvoeren van berekeningen met een lineair-elastisch meerlagen programma of met bijvoorbeeld Plaxis. Een startwaarde bij deze ontwerpberoekeningen kan een laagdikte van 0,3 tot 0,5 meter zijn.
- Verdichten van het zand onder de constructie. De verdichtingsgraad van zand is bepalend voor het wel of niet optreden van verweking in de ondergrond. Bij een relatieve dichtheid van het zand van 0,55 of hoger kan het optreden van verweking in de ondergrond worden uitgesloten. Daarnaast leidt een goede verdichting van het zand tot een betere weerstand tegen vervormingen.

2.6.4 ONTWERPGRAFIEKEN VOOR GOLFKLAPPEN

De ontwerpgrafieken in het Technisch rapport Asfalt voor Waterkeren zijn gebaseerd op berekeningen met een eerste versie van het GOLFKLAP model en de inzichten in de constructie-eigenschappen die zijn verkregen op basis van een beperkt aantal onderzoeken. In de afgelopen jaren zijn er op dit gebied veel ontwikkelingen geweest. In de eerste plaats is GOLFKLAP een aantal malen aangepast, verbeterd. Onder meer de schematisatie van de belasting en de verdeling van de golfklappen over het talud zijn verbeterd. In de tweede plaats is het model waarmee de sterkte van het asfalt wordt gekarakteriseerd verbeterd; de breuksterkte van het materiaal heeft hierin een prominente rol gekregen. Tenslotte is het inzicht in constructie-eigenschappen van de asfaltbekledingen langs de Nederlandse kust vergroot door de veiligheidsbeoordelingen die in de afgelopen jaren zijn uitgevoerd.

Op basis van deze nieuwe inzichten is een nieuwe ontwerpgrafiek opgesteld waarmee de laagdikte van een bekleding van waterbouwasfaltbeton kan worden vastgesteld op basis van de significante ontwerpgolfhoogte. Hiermee komen de ontwerpgrafieken uit het Technisch rapport te vervallen. In Figuur 2-4 is de grafiek gegeven.

FIGUUR 2-4 GRAFIEK VOOR HET ONTWERPEN VAN EEN BEKLEDING VAN WATERBOUWASFALTBETON OP GOLFKLAPPEN



Als de significante golfhoogte groter is dan 3,0 meter, moet ook aandacht worden besteed aan mogelijke andere wijzen van bezwijken als gevolg van de golfbelasting.

Uitgangspunt voor het gebruik van de ontwerpgrafiek is dat de bekleding ten minste voldoet aan de eisen die aan het mengsel worden gesteld in de RAW-standaard 2005 [12]. Een onderbouwing van de parameters die zijn gebruikt bij het opstellen van de grafiek is opgenomen in [16]. Bij het opstellen van de grafiek zijn de volgende ontwerpparameters aangehouden:

BREUKSTERKTE

Op basis van uit de toetsingen beschikbare data is een regressiemodel ontwikkeld die de relatie weergeeft tussen de breuksterkte, leeftijd en de holle ruimte van de bekleding. Met dit model is de waarde bepaald met een 5% overschrijdingskans van de breuksterkte bij een leeftijd van 50 jaar. Op deze manier is een ontwerpwaarde voor de breuksterkte vastgesteld van 2,4 (MPa). Hierbij is uitgegaan van een holle ruimte percentage van maximaal 6%.

VERMOEIINGSPARAMETERS

De vermoeiingsparameters α en β karakteriseren samen met de breuksterkte de sterkte van een asfaltbekleding (zie verder § 3.5). Op basis van de complete dataset van breuksterkte- en vermoeiingsproeven zijn veilige waarden voor α en β vastgesteld. De volgende ontwerpwaarden zijn gehanteerd: $\alpha = 0,5$ en $\beta = 5,4$.

ELASTICITEITSMODULUS

De breuksterkte en de elasticiteitsmodulus zijn gecorreleerd; asfalt met een lage breuksterkte heeft ook een lage elasticiteitsmodulus. In [17] is op basis van laboratoriumonderzoek een relatie tussen de breuksterkte en de elasticiteitsmodulus bepaald. Met deze relatie is de elasticiteitsmodulus bepaald die hoort bij de ontwerpwaarde voor de breuksterkte. De elasticiteitsmodulus is vastgesteld op 4260 (MPa).

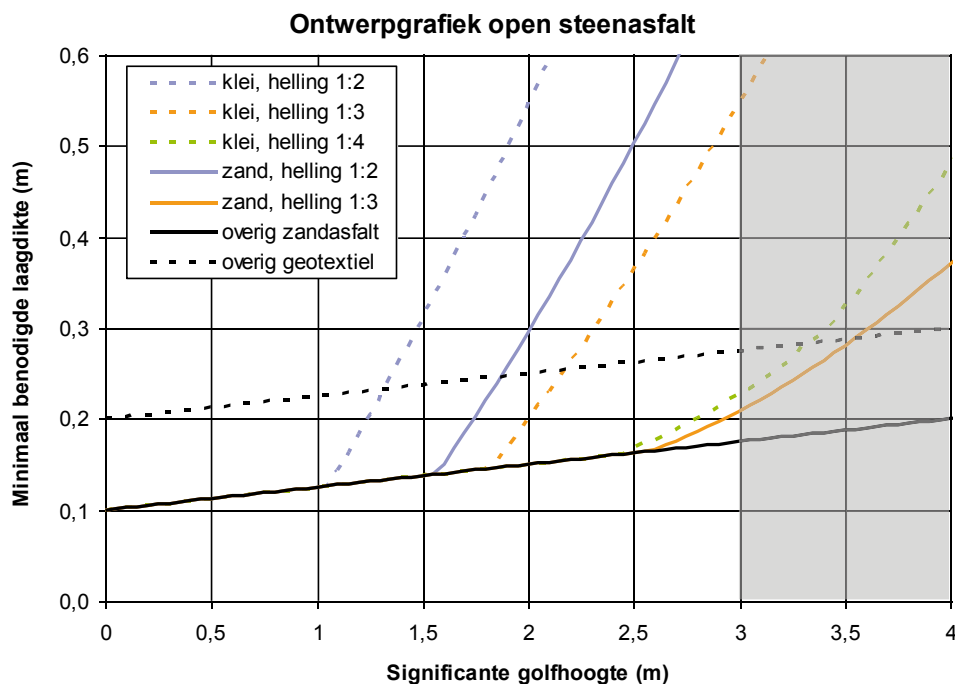
BEDDINGSCONSTANTE VAN DE ONDERGROND

In de afgelopen jaren zijn op veel asfaltglooiingen valgewicht-deflectiometingen (VGD-metingen) uitgevoerd. Dit heeft inzicht gegeven in de draagkracht van de ondergrond onder de asfaltbekledingen. Op grond van deze informatie is een karakteristieke waarde voor de beddingsconstante vastgesteld van 64 (MPa/m). Voor een ondergrond van klei wordt een beddingsconstante van 30 (MPa/m) gehanteerd.

Omdat voor de grafieken van open steenasfalt minder data aanwezig is dan voor de grafieken van waterbouwasfaltbeton is gekozen om de huidige grafieken te behouden. Voor de ondergrond van zand is voor de huidige grafieken gerekend met een beddingsconstante van 100 (MPa/m). De grafiek die de laagdikte geeft bij verschillende golfhoogtes voor deze ondergrond is opnieuw berekend. Voor het opstellen van deze nieuwe grafiek zijn dezelfde aannames gedaan als beschreven in bijlage 6 van [01]. Alleen is nu met een beddingsconstante van zand gerekend van 64 (MPa/m). Dit geeft het volgende resultaat.

FIGUUR 2-5

GRAFIEK VOOR HET ONTWERPEN VAN EEN BEKLEDING VAN OPEN STEENASFALT OP GOLFKLAPPEN



2.6.5 GEVOLGEN NIEUWE ONTWERPPARAMETERS

De nieuwe inzichten hebben niet op alle punten geleid tot gunstiger waarden voor de ontwerpparameters. Enkele parameters bleken in 2002 hoger te zijn ingeschat dan op basis van de huidige inzichten verantwoord wordt gevonden. Dit geldt in de eerste plaats voor de sterkte; de invloed van de breuksterkte en de afname van de sterkte in de tijd leiden volgens

de huidige inzichten tot conservatievere aannamen. Hetzelfde geldt voor de beddingsconstante van zand. Deze blijkt op basis van de metingen bij toetsingen lager dan destijds werd aangenomen.

Aan de andere kant is gebleken dat op een aantal punten minder conservatief kan worden gerekend dan in 2002 werd aangenomen. Dit geldt met name voor de verdeling van de golfklappen over het talud zoals dat is geschematiseerd in GOLFKLAP en de in rekening te brengen elasticiteitsmodulus. Omdat de elasticiteitsmodulus is gecorreleerd aan de breuksterkte is bij het vaststellen van de ontwerpparameters uitgegaan van een lage elasticiteitsmodulus behorend bij de ontwerpwaarde voor de breuksterkte. Deze keuze leidt tot lagere optredende spanningen in de bekleding.

De hierboven beschreven veranderingen hebben ertoe geleid dat met de nieuwe ontwerpgrafiek en de nieuwe toetsgrafiek hogere waarden voor de benodigde laagdikte worden gevonden in vergelijking met de oude grafieken.

Op basis van de in vorige paragraaf genoemde nieuwe inzichten is tevens een nieuwe toetsgrafiek voor waterbouwasfaltbeton opgesteld. De gebruikte parameters verschillen op een aantal punten met die van de ontwerpgrafieken. Bij de ontwerpgrafiek is uitgegaan van materiaalparameters die representatief zijn voor een bekleding van 50 jaar. Bij de toetsgrafiek is als uitgangspunt gehanteerd dat de parameters representatief moeten zijn voor een bekleding met een leeftijd van 30 jaar omdat na 30 jaar gedetailleerd moet worden getoetst. Daarbij moeten de relevante constructieparameters door middel van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen worden bepaald. Een levensduur van 30 jaar leidt tot de volgende representatieve waarden voor de parameters:

BREUKSTERKTE

Op basis van uit de toetsingen beschikbare data is een regressiemodel ontwikkeld die de relatie weergeeft tussen de breuksterkte, leeftijd van de bekleding en de holle ruimte. Met dit model is de waarde bepaald met een 5% overschrijdingskans van de breuksterkte bij een leeftijd van 30 jaar. Op deze manier is een toetswaarde voor de breuksterkte vastgesteld van 3,6 (MPa).

VERMOEIINGSPARAMETERS

De vermoeiingsparameters α en β karakteriseren samen met de breuksterkte het verloop van de vermoeiingslijn (zie verder paragraaf 3.5). Op basis van de dataset van breuksterkte- en vermoeiingsproeven van bekleding met een leeftijd van maximaal 30 jaar zijn veilige waarden voor α en β vastgesteld. Voor de toetsgrafiek zijn de volgende ontwerpwaarden gehanteerd: $\alpha = 0,5$ en $\beta = 4,8$.

ELASTICITEITSMODULUS

De breuksterkte en de elasticiteitsmodulus zijn gecorreleerd; asfalt met een lage breuksterkte heeft ook een lage elasticiteitsmodulus. In [17] is op basis van laboratoriumonderzoek een relatie tussen de breuksterkte en de elasticiteitsmodulus bepaald. Met deze relatie is de elasticiteitsmodulus bepaald die hoort bij de ontwerpwaarde voor de breuksterkte. De elasticiteitsmodulus is vastgesteld op 5700 (MPa).

BEDDINGSCONSTANTE VAN DE ONDERGROND

In de afgelopen jaren zijn op veel asfaltglooiingen valgewicht-deflectiemetingen uitgevoerd. Dit heeft inzicht gegeven in de draagkracht van de ondergrond onder de asfaltbekledingen. Op grond van deze informatie is een karakteristieke waarde voor de beddingsconstante vastgesteld van 64 (MPa/m). Voor een ondergrond van klei wordt een beddingsconstante van 30 (MPa/m) gehanteerd.

2.7 VOLUMETRISCHE ONTWERPMETHODE VOOR OPEN STEENASFALT

Open steenasfalt is een mengsel dat door het hoge gehalte aan steen een hoog percentage holle ruimte en dus een grote doorlatendheid bezit. De duurzaamheid moet daarom worden verzekerd door de steenfractie te omhullen met een voldoende dikke en duurzame laag asfaltmestiek.

Voorheen werd de samenstelling uitgedrukt in een gewenste massaverhouding tussen steenfractie en asfaltmestiek. Hierbij werd geen rekening gehouden met de variatie in steengrading. Deze heeft echter grote invloed op het specifiek oppervlak van de steen en dus op de omhullingsdikte door de mestiek.

In de jaren '90 is een volumetrisch ontwerp ingevoerd voor het ontwerpen van de mengsamenstelling. Hierbij wordt, uitgaande van de grading van de steen en een gewenste laagdikte van de mestiekomhulling, berekend hoeveel mestiek nodig is. Deze berekening is in een spreadsheet (bijlage 4) ondergebracht en in 2009 door Rijkswaterstaat (Projectbureau Zeeweringen) als ontwerpmethode voor open steenasfalt geaccepteerd.

Met dit rekenmiddel kan bij de kwaliteitscontrole ook worden berekend wat de gemiddelde omhullingsdikte van de mestiek is, die bij de aanleg is gerealiseerd. Hiervoor wordt de door meting bepaalde grading van de steen en het gemeten gehalte aan mestiek ingevoerd.

Gebleken is dat schade en vroegtijdig onderhoud kan worden verklaard door een niet optimale omhulling. Bij goede werken blijkt de gemiddelde omhullingsdikte ongeveer 1,0 (mm) te bedragen bij open steenasfalt zonder vezels. Indien vezels worden toegepast blijkt een gemiddelde omhullingsdikte van circa 1,1 (mm) te leiden tot kwalitatief goede werken.

Een tekort aan asfaltmestiek in het mengsel leidt tot een geringere omhullingsdikte en dus een geringere duurzaamheid. Een overmaat aan asfaltmestiek is echter ook niet goed. Dit leidt namelijk tot afdruipe van de asfaltmestiek waardoor de omhullingsdikte per saldo lager zal zijn dan gewenst. Een nauwkeurige bepaling van de hoeveelheid mestiek die leidt tot de hierboven genoemde omhullingsdikten is dus gewenst.

Door deze positieve ervaring is de methodiek bij diverse aannemers als interne standaard al in de jaren '90 ingevoerd.

2.8 DUURZAAMHEIDSASPECTEN

2.8.1 GRIND IN ASFALT

De duurzaamheid van een asfaltmengsel hangt voornamelijk af van 2 factoren:

- duurzame hechting tussen mineraalaggregaat en bitumen
- invloed van externe factoren als vocht, vorst, begroeiing e.d.

De hechting tussen mineraalaggregaat en bitumen wordt bepaald door [18]:

- de hoeveelheid bitumen
- de bitumeneigenschappen
- het type vulstof
- de verhouding vulstof-bitumen (= mortelviscositeit)
- het gebruik van kalkhydroxide en hechtverbeteraars
- de oppervlakeigenschappen van het mineraal aggregaat

Naarmate een asfaltbekleding meer toegankelijk is voor externe factoren door een hoge percentage holle ruimte is de hechting tussen mineraal aggregaat en bitumen van groter belang.

Waterbouwasfaltbeton met een percentage holle ruimte kleiner dan 5 % is nauwelijks toegankelijk; bovendien beschermt een oppervlakbehandeling de laag nog extra tegen externe factoren.

Daarom is de toepassing van het type steen (grind of steenslag) in waterbouwasfaltbeton nooit zo'n groot punt van discussie geweest. De verwachting is weliswaar dat grind door het gladde natuurlijke korreloppervlak een iets minder duurzame hechting kan vertonen dan steenslag; door de geringe toegankelijkheid voor externe factoren zal dit verschil niet worden aangesproken.

Er zijn in het verleden enkele werken in grindasfaltbeton uitgevoerd die 30 tot 35 jaar probleemloos hebben gefunctioneerd. Toch is in 2004 en 2006 bij deze bekledingen in Friesland geconstateerd dat het asfalt direct onder de oppervlakbehandeling stripping vertoont en snel degenereert. Uitgebreid onderzoek heeft niet een volledige verklaring opgeleverd, maar leidde wel tot de conclusie dat het gebruik van grind bij deze schade slechts een ondergeschikte rol kan hebben gespeeld.

Anders ligt het bij open steenasfalt. Bij dit type asfalt met 20 tot 30 % holle ruimte (in de vorm van doorgaande poriën) wordt steenslag van de soort kalksteen voorgeschreven als basis van voor een goede hechting. In een enkel geval is bij stagnatie van de aanvoer grind in plaats van kalksteen in open steenasfalt verwerkt en dat leidde binnen enkele jaren tot behoorlijke stripping en erosie van de bekleding. Bij dit type open bekleding kan grind worden toegepast maar er worden dan bijzondere eisen gesteld aan de samenstelling van het mengsel. Dit is echter geen voor de hand liggende keuze.

2.8.2 HERGEBRUIK VAN ASFALT

Zoals aangegeven in Technische Rapport Asphalt voor Waterkeren [01] is in het kader van het milieubeleid een zuinig gebruik van grondstoffen van groot belang. Hergebruik van asfalt is standaardpraktijk in de Nederlandse wegebouw. Door de sterk verbeterde eisen, onder andere ten gevolge van de CE markering, is hergebruik van asfaltgranulaat met percentages van 50% of meer gebruikelijk en goed mogelijk bij alle asfaltcentrales in Nederland. Hiermee worden zowel grote hoeveelheden aggregaat als bindmiddel bespaard.

Omdat de mengsels in asfalt voor dijkbekledingen hoge gehalten aan bindmiddel bevatten zijn ze zeer gewild als asfaltgranulaat, ook voor de wegenbouw. Zo heeft waterbouwasfaltbeton een bitumengehalte van ongeveer 6.5% op gewichtsbasis.

Omdat asfaltdijkbekledingen met waterbouwasfaltbeton gemiddeld reeds meer dan 30 jaar oud zijn, zal in de nabije toekomst steeds vaker de behoefte ontstaan om na te gaan of de bestaande asfaltconstructie moet worden vervangen. Direct recyclen is dan een belangrijke optie. Een belangrijk voordeel van waterbouwasfaltbeton granulaat is, dat ze afkomstig is van dichte mengsels (holle ruimte lager dan 9%) en het gebruikte bitumen is altijd een 80/100 Pen bitumen. Uit recent onderzoek is gebleken dat het verouderde bitumen zelfs na 30 a à 40 jaar nog een penetratie van meer dan 30 heeft, zodat het verouderde bitumen zelfs bij 50% hergebruik slechts hoeft te worden gemengd met een zachtere bitumen om weer dezelfde hoge kwaliteit te produceren.

Momenteel staat naast waterbouwasfaltbeton ook hergebruik van open steenasfalt in de belangstelling. In 2007 zijn bij de Ellewoutsdijk proefvakken aangelegd, waarin granulaat van open steenasfalt is hergebruikt in nieuw open steenasfalt. Uit het onderzoek is gebleken dat hergebruik in de vorm van steenasfaltgranulaat tot 40% goede resultaten oplevert.

2.8.3 HECHTING STEEN-BITUMEN

Sinds jaar en dag wordt kalksteen voorgeschreven als steenslag voor open steenasfalt vanwege de vermeende goede hechting. Voor deze hechting wordt echter geen onderzoeksmethode voorgeschreven.

Ervaringen bij kust- en oeverwerken in diverse landen hebben geleerd dat kalksteen niet altijd het beste resultaat geeft.

Daarom is de zogenaamde "Queensland Test" ingevoerd, een Australische hechtproef die zeer onderscheidend laat zien welke steen-bitumen-combinatie goed bestand is tegen de onthechtende invloed (stripping) van water.

In de Queensland Test worden 50 steentjes met hun vlakke zijde in een dunne laag bitumen gedrukt en 24 uur bij 60 °(C) in een oven bewaard. Vervolgens wordt het geheel 4 dagen in een waterbad geplaatst bij 50 °(C), waarna de stenen met een tang uit de bitumenlaag worden getrokken.

De hechtlagen worden beoordeeld op stripping: < 10 %, 10-90 % en > 90 %. Hieruit wordt het gemiddeld percentage stripping berekend.

Als eis wordt een maximum percentage stripping van 25 % gehanteerd.

Voordeel van deze methode is, naast het onderscheidend vermogen, de mogelijkheid om de het in het werk te gebruiken bitumen mee te testen. Daarnaast kan bij gebleken hoge stripping ook worden vastgesteld wat het effect is van hechtverbeters (dopes).

Aanbevolen wordt om bij het onderzoek ook een steensoort als calibratiemateriaal mee te nemen, waarvan de eigenschappen bekend en constant zijn. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van de Noorse steensoort Norit, die heel constant in kwaliteit is en waarmee bovendien veel ervaring is opgebouwd.

2.9 INZET VAN GRONDRADAR VOOR HET LOKALISEREN VAN DOOR VOCHT AANGETAST ASFALT

Aantasting door vocht is een belangrijke bron van schade voor bekledingen van waterbouw-asfaltbeton en open steenasfalt.

Indien uit de visuele inspectie van de asfalt dijkbekleding blijkt dat aantasting door vocht een rol speelt, wat voor waterbouw-asfaltbeton te herkennen is aan de schadebeelden opbollingen, loslaten oppervlakbehandeling en diverse type van begroeiing, is het raadzaam niet destructieve meettechnieken in te zetten als aanvulling op de visuele inspectie. Niet zichtbare schade onder de oppervlakbehandeling kan zo zichtbaar worden gemaakt. Hieruit kan dan duidelijk worden of de bekleding al dan niet over grote oppervlakken is aangetast.

Uit diverse verkennende studies is gebleken dat grondradar hiervoor in geval van waterbouw-asfaltbeton de beste meettechniek is [19] en [17] Radar waarnemingen op open steenasfalt waren minder succesvol [20].

Er zijn diverse in grondradar gespecialiseerde bedrijven. Detectie van door vocht aangetast asfalt vereist echter wel specifieke kennis.

Er zijn de laatste jaren diverse meet sessies geweest op een Friese Waddenzeedijk [21] [22], de Hellegatsdam en de Eemshavendijk [23]. Op deze laatste dijk is een meetvak van 500 m geanalyseerd, waarbij de wisselende kwaliteit van het asfalt onder de oppervlakbehandeling goed zichtbaar is gemaakt. Met boorkernen is aangetoond dat het inderdaad aangetast asfalt betrof, wat vaak visueel niet werd herkend. In paragraaf 3.3 wordt nader ingegaan op deze meetmethode.

2.10 INNOVATIEVE BEKLEDINGEN

Het Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren en dit rapport beschrijven de gebruikelijke asfaltmengsels en de daarmee te realiseren bekledingen. Door de markt kunnen echter ook alternatieve materialen of constructies worden aangeboden die dezelfde functie kunnen vervullen als de beschreven asfaltmengsels danwel asfaltbekledingen.

Als dit nieuwe ontwikkelingen betreft, dan zijn deze per definitie nog niet in de huidige set Technische Rapporten, leidraden en het wettelijk toetsinstrumentarium (WTI) opgenomen. Desondanks zal een beheerder zekerheid willen hebben over verschillende aspecten van de nieuwe constructie. Het rapport "Criteria voor toepassing van bekledingen op waterkeringen" [05] biedt de producent en beheerder wat houvast ten aanzien van (wettelijke) eisen waaraan voldaan moet worden en aspecten die meerwaarde opleveren.

In essentie moet de bekleding voldoen aan de wettelijke eisen en dient de waterkering te beschermen, zodat deze haar functie kan vervullen. De producent dient dit aan te tonen.

Door het zoeken naar parallellen met bestaande materialen en bekledingssystemen kan veelal gebruik worden gemaakt van bestaande kennis en rekenregels en kan de hoeveelheid onderzoek die bij de ontwikkeling van nieuwe typen bekledingen nodig is worden geoptimaliseerd. Voor de primaire functie, bescherming van de waterkering, dient de producent in ieder geval rekenregels aan te reiken en zo nodig te onderbouwen. Met die rekenregels wordt de stabiliteit van de bekleding en zijn ondergrond onder verschillende hydraulische belastingen vastgesteld. Uitvoerbaarheid van de constructie, een voldoende levensduur en inspecteerbaarheid zijn daarnaast belangrijke aspecten.

Verificatie met proefvakken (uitvoerbaarheid, inspecteerbaarheid) en/of modelonderzoek (rekenregels) zal normaliter deel uitmaken van het aantonen van de eigenschappen van het materiaal of de bekleding door de producent.

Zo is rond 1990 door een CUR-commissie als alternatief voor bitumen-gebonden plaatbekledingen gewerkt aan cementgebonden plaatbekledingen [24] en is vanaf 2007 onderzoek uitgevoerd naar plaatbekledingen gebonden met polymeren.

In dat laatste onderzoek is aandacht geweest voor diverse aspecten als materiaalonderzoek [25], mogelijke faalmechanismen [26] en verificatie van de rekenmodellen [27][28] resulterend in een voorlopige ontwerphandleiding [29]

3

GEGEVENS VERZAMELEN EN ANALYSEREN

3.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk is nader uitgewerkt op welke wijze data over de asfaltbekleding wordt verzameld en hoe de data vervolgens wordt geanalyseerd. Het doel van dit hoofdstuk is om te komen tot een uniforme wijze van dataverzameling en analyse. Dit hoofdstuk zal voornamelijk worden gebruikt bij het toetsen van asfaltbekledingen omdat dit een steeds terugkerende activiteit is, maar is algemener toepasbaar. Het biedt ook een handvat voor dataverzameling en verwerking bij de kwaliteitscontrole en oplevering bij aanleg van een bekleding.

3.2 INSPECTIE

Visuele inspectie is van oudsher de meest elementaire manier van gegevensverzameling. Uiterlijke kenmerken, specifiek schades, kunnen veel vertellen over de toestand van de constructie en de toegepaste materialen. Maar meer nog dan de actuele staat van de constructie kan een verandering van uiterlijke kenmerken veel vertellen over de actuele toestand. Daarom is het vastleggen van waargenomen fenomenen van groot belang.

Door verouderingsmechanismen veranderen de sterkte-eigenschappen van asfalt in de tijd. Door verharding van het bitumen wordt het asfalt brosser en door stripping minder sterk waardoor de scheurgevoeligheid en de erosiegevoeligheid toenemen. Vergaande afname van deze sterkte-eigenschappen leidt tot schade.

Het vastleggen en archiveren van gegevens in de vorm van aantekeningen van aangetroffen schades dient te worden ondersteund door het fotografisch vastleggen van de schades. Aldus kan door het terugroepen van gegevens van eerdere inspectie(s) zicht gekregen worden op de ontwikkeling van de schades. De methodiek door STOWA en RWS ontwikkeld (digispectie [30]) www.inspectiewaterkeringen.nl vormt hierbij voor Nederland de standaard.

Na het uitvoeren van de visuele inspectie wordt aan de hand van criteria vastgesteld of de aangetroffen schade reden is om onderhoud in te plannen of dat deze zelfs de veiligheid van de waterkering in gevaar brengt. De criteria ten aanzien van de veiligheid zijn vastgelegd in het wettelijk toetsinstrumentarium [12].

Van schade wordt gesproken als door één of andere oorzaak de kwaliteit van de constructie zichtbaar is afgenomen. Ten behoeve van het volgen van de schadeontwikkeling in de tijd is de schade vertaald naar classificeerbare schadebeelden die objectief meetbaar en objectief te beoordelen zijn. In de digigids (<http://digigids.hetwaterschapshuis.nl/dg/starter.php>) is fotomateriaal opgenomen van verschillende klassen van schadebeelden. Maar nog meer onderscheidend dan classificatie van de schade is een directe vergelijking met beeldmateriaal ter plaatse gemaakt tijdens eerdere inspecties.

SCHADEBEELDEN

De volgende vormen van schade worden onderscheiden:

- scheuren;
- naden;
- gaten;
- aangetast oppervlak;
- opbollingen;
- verzakkingen;
- begroeiing;
- hechtingsproblemen.

Aangezien de belangrijkste functie van asfaltbekledingen het beschermen van de ondergrond tegen erosie betreft, zijn schades die deze primaire functie aantasten van belang.

Scheuren geven aan dat lokaal de sterkte is overschreden, waarbij de samenhang van het materiaal is verbroken. Als het aantal scheuren te groot wordt zou dit de stabiliteit van de constructie in gevaar kunnen brengen. Maar veelal belangrijker is dat scheuren de zanddichtheid van de bekleding kunnen aantasten. Daarom verdienen scheuren veel aandacht. De zanddichtheid is niet meer gegarandeerd als scheuren over de volledige dikte van de asfaltlaag doorgaan en open staan.

De meeste scheuren die op de dijk worden aangetroffen betreffen grillig verlopende scheuren ten gevolge van temperatuurspanningen. Vervormingen van de ondergrond kunnen tot zeer ernstige scheuren leiden. Daarbij zullen delen van het talud in de richting loodrecht op het oppervlak, zich hebben verplaatst. Ook bijzondere belastingen kunnen tot (locale) scheuren leiden.

FOTO'S 1

LINKS, TEMPERATUURSSCHEUREN WAARBIJ ZAND VAN ONDER DE BEKLEDING IS GEKOMEN ALS GEVOLG VAN ACTIVITEIT VAN MIEREN;
RECHTS, WALSSCHEUREN



Scheuren die duidelijk minder bedreigend zijn, zijn walsscheuren. Dit zijn scheuren die op korte afstand min of meer parallel aan elkaar lopen. Deze scheuren, ontstaan bij aanleg, zijn slechts oppervlakkig en reduceren daardoor de effectieve toplaagdikte slechts in beperkte mate. Zij vormen geen bedreiging voor de zanddichtheid. Toch verdienen zij wel enige aandacht omdat een minder dicht oppervlak makkelijker leidt tot veroudering en aantasting.

Naden die bij aanleg van de bekleding onvermijdelijk ontstaan, zijn plaatsen waar de kwaliteit, o.a. de sterkte, vaak net even wat minder is dan midden in een asfaltplaat. De constructie is bij een naad dus schadegevoeliger. Temperatureffecten kunnen daarom nog weleens tot openstaande naden of daglassen leiden. Indien de naad onderdeel is van een liplas (zie Figuur 3-1) hoeft een openstaande naad nog niet te betekenen dat de zanddichtheid in gevaar is, maar het risico bestaat uiteraard dat de lip ter plaatse van de wijkende naad ook afscheurt.

FOTO'S 2

LINKS, OPENSTAANDE NAAD DIE AL EERDER WAS GEVULD; RECHTS, LIPLAS MET LINKS IN BEELD EEN GEVULDE NAAD MET EEN ENKELE PLANT EN EVEN RECHTS DAARVAN EEN STROOK BEGROEIING IN DE SCHEUR VAN DE AFGEBOKEN LIP (ZIE FIGUUR 3-1 RECHTS ONDER)



FIGUUR 3-1

EEN AANTAL DENKBARE VARIANTEN VAN OPENSTAANDE NADEN IN GEVAL VAN EEN LIPLAS



Gaten worden over het algemeen veroorzaakt door ondermijning van de bekleding in geval van uitspoeling of door bijzondere belastingen. Scheuren, naden of spleten bij aansluitingen op harde objecten of een bezwaken aangrenzende bekleding kunnen leiden tot ondermijning en vervolgens tot het instorten van de asfaltlaag, resulterend in extreem grote gaten. Gaten kunnen ook het gevolg zijn van langdurige begroeiing of niet goed afgedichte boorgaten. De zanddichtheid is bij een gat uiteraard niet meer gegarandeerd.

FOTO'S 3

LINKS, LOKAAL VERVANGEN BEKLEDING NA SCHADE DOOR UITSPOELEN ZAND BIJ SLECHT UITGEVOERDE AANSLUITING OP BETONNEN CONSTRUCTIE; RECHTS, GAT NA HET INSTORTEN VAN DE TOPLAAG NA ONDERMIJNING ALS GEVOLG VAN HET BEZWIJKEN VAN DE AANGRENZENDE STEENZETTING



Aangetast oppervlak is normaliter het gevolg van dagelijkse omstandigheden. Degradatie van het materiaal als gevolg van stripping is meestal de oorzaak. De steenfractie komt, door het teruglopen van hechting met de mastiek, steen voor steen los uit het oppervlak.

FIGUUR 3-2

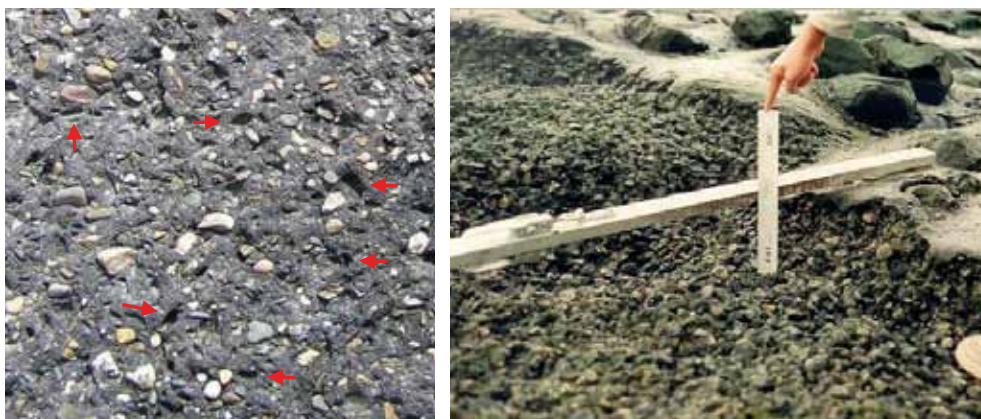
AANGETAST OPPERVLAAG: STENEN UIT HET OPPERVLAAG VERDWENEN



Onderstaande foto links toont een voorbeeld van aangetast oppervlak van grindasfaltbeton waar enerzijds kale grindkorrels en anderzijds komvormige kuiltjes (bij rode pijltjes) zichtbaar zijn waaruit grindkorrels losgekomen zijn. Een duidelijk voorbeeld waarbij de hechting tussen aggregaat en mastiek is aangetast.

FOTO'S 4

AANGETAST OPPERVLAAG, LINKS GRINDASFALT AANGETAST DOOR STRIPPING, BIJ DE PIJLTJES AFDRUKKEN VAN GRINDBIGGELS DIE ZIJN LOSGEKOMEN; RECHTS, OPEN STEENASFALT AANGETAST DOOR EROSIE (MECHANISCHE BELASTING)



Erosie kan bij asfaltmengsels met minder samenhang zoals open steenasfalt of zandasfalt ook leiden tot substantiële aantasting van het oppervlak. Als deze materialen als bekleding worden toegepast in een zone waar langdurig losse stenen over de bekleding heen en weer bewegen als gevolg van golfaanval, dan zal dit zelfs tot volledig doorslijten van de toplaag leiden.

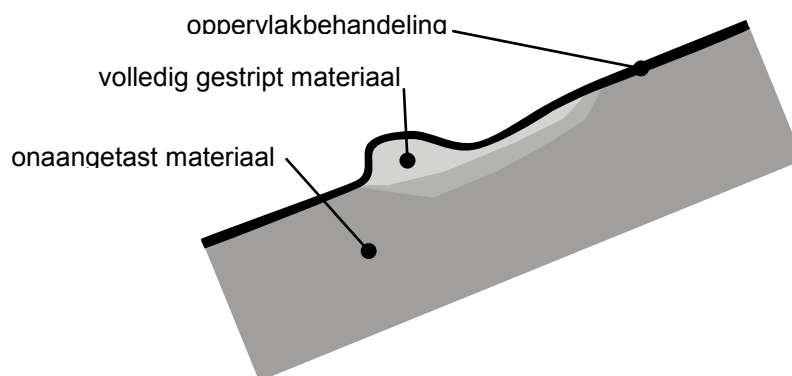
Opbollingen zijn, als ze heel lokaal zijn, een uitingvorm van stripping van het bekledingsmateriaal. De aangetaste bekleding is dan afgedekt met vaak meerdere oppervlakbehandelingen. Het zichtbare oppervlak is dus niet aangetast, maar het proces van stripping voltrekt zich onder de oppervlakbehandeling. De opbolling komt in eerste instantie door zwel van het mengsel die optreedt als onder invloed van vocht de hechting tussen steenfractie en bitumen verloren gaat. In principe is een oppervlakbehandeling bedoeld om de asfaltlaag tegen weersinvloeden, waaronder vocht, te beschermen. Maar als vocht is opgesloten onder de oppervlakbehandeling werkt een oppervlakbehandeling wellicht zelfs averechts.

Bij volledig verlies van samenhang van het materiaal kan het loskorrelige materiaal zich onder de oppervlakbehandeling langs het talud naar beneden verplaatsen. De opbollingen worden dan heel prominent en gaan gepaard met een lichte verzakking van het oppervlak net boven de opbolling, zie Figuur 3-3.

De afmetingen van een opbolling ten gevolge van stripping zijn veelal 10 tot 50 cm in diameter, maar soms nog groter.

FIGUUR 3-3

SCHEMATISCHE DOORSNEDE VAN EEN ASFALTBEKLEDING TER PLAATSE VAN EEN OPBOLLING



Om de ernst van de aantasting onder de oppervlakbehandeling vast te stellen kan met een stootijzer worden nagegaan tot op welke diepte het bekledingsmateriaal zijn samenhang heeft verloren.

FOTO'S 5

LINKS, ENKELE ZEER PROMINENTE OPBOLLINGEN; RECHTS, OPEN GEBROKEN OPBOLLING TOONT LOKAAL VOLLEDIG UITEENGEVALLEN GRINDASFALT



Soms worden ook strookvormige opbollingen waargenomen. Verondersteld wordt dat het hier ook om stripping onder de oppervlakbehandeling gaat, maar dan voor een in horizontale stroken aangelegde bekleding. De stripping is geassocieerd aan de naden tussen de stroken.

FOTO'S 6

ENKELE STROOKVORMIGE OPBOLLINGEN



Als een opbolling, en erboven aangrenzend een verzakking, wordt geconstateerd met een afmeting tegen het talud groter dan 1 m dan ligt de oorzaak veelal veel dieper: instabiliteit van de laag onder de bekleding. Normaliter speelt een (te) hoge grondwaterstand bij deze instabiliteit een rol. Dit zijn zeer ernstige fenomenen die vaak gepaard gaan met aanzienlijke scheuren in de bekleding. Zie onderstaande foto's.

FOTO'S 7

VOORBEELDEN VAN INSTABILITEIT VAN ONDERGROND



Verzakking is als bijproduct van opbollingen al aan de orde geweest. Naast verzakkingen als gevolg van stripping en instabiliteit van de ondergrond worden er nog twee vormen van verzakkingen onderscheiden. Verzakkingen komen ook voort uit het samendrukken, verdichten van de diepere ondergrond. En ook als er sprake is van uitspoelen van de ondergrond direct onder de bekleding, dan kan dit tot verzakking van de bekleding leiden.

Zettingen van de ondergrond zijn normaliter zodanig geleidelijk dat zij in een dijkstrekking niet tot scheuren in de bekleding leiden. Anders is dit bij de aansluiting van een dijk op een kunstwerk. Daar treden over korte afstand de verschilzettingen op.

Ondermijning van de bekleding door uitspoelen van de ondergrond is uiteraard zeer kwalijk, omdat dat op de lange duur onvermijdelijk tot instorten van de toplaag leidt en dus resulteert in een zeer groot gat in de bekleding.

FOTO'S 8

LINKS, ZAKKING ALS GEVOLG VAN ZETTINGEN VAN DE ONDERGROND; RECHTS, ZAKKING ALS GEVOLG VAN UITSPOELING, IN DIT GEVAL VIA DE ONDERSTE OVERGANGSCONSTRUCTIE, LET OOK OP DE VERZAKTE BLOKKEN ONDER IN BEELD



Begroeiing van asfalt kent vele vormen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen begroeiing door planten en door (zee)dieren. Planten en bomen kunnen op, in en door de bekleding groeien. Bij begroeiing op de bekleding is er sprake van begroeiing waarvan de wortels op zijn hoogst aan het oppervlak van de bekleding hechten, maar niet wezenlijk tot in de bekleding doordringen. Op zijn hoogst wordt een oppervlakbehandeling iets beschadigd, maar van structurele schade is geen sprake.

FOTO'S 9

BEGROEIING OP ASFALT, LINKS, OVERGROEIING MET MOS; RECHTS, KLUIT MET BEGROEIING DIE LOS OP BEKLEDING LIGT



Begroeiing in de bekleding is kwalijker. Dan is er sprake van wortels die in het veelal gestripte asfalt doordringen. Een dergelijke begroeiing is een indicatie dat de bekleding op zijn minst oppervlakkig is aangetast. De planten blijven meestal klein door gebrek aan vocht.

FOTO'S 10

LINKS: BEGROEIING IN DE BEKLEDING (RIET EN SPURRIE); RECHTS: BEGROEIING (DUINDOORN, STRUIK) DOOR DE BEKLEDING



Met begroeiing door het asfalt wordt bedoeld dat de wortels of wortelstokken van de begroeiing zich onder de bekleding bevinden, de stam of stengels door de asfaltaag gaan en de groene delen boven het asfalt uitgroeien. Begroeiing door het asfalt betekent dat het asfalt is doorboord door stengel of stam, die bij afsterven en verrotting een gat achterlaat. De zanddichtheid is op langere termijn niet meer gegarandeerd.

Houtvormende gewassen verdienen bijzondere aandacht omdat hout (stam en/of wortels) een sterke breedtegroei kent die asfaltbekledingen uiteen kan drukken.

Riet is ook een vorm van begroeiing die extra aandacht verdient omdat riet wortelstokken vormt en groeipunten bezit die grote oppervlakten bekleding kunnen doorgroeien en uitedrukken.

Een wat andere vorm van begroeiing die vooral bij open steenasfalt, maar soms ook bij WAB, tot schade kan leiden, is begroeiing met de zogenaamde paardenstaarten. Dit is een familie van sporenplanten die ook wortelstokken vormen en waarvan de wortelzuren het materiaal aantasten.

FOTO 11

DOORGROEIING MET RIET



FOTO'S 12

PAARDENSTAART: LINKS EEN VRUCHTBARE STENGEL MET SPORENAAR, RECHTS JONGE VEGETATIEVE SCHEUTEN



Overgangsconstructies en openstaande naden vormen veelal een eerste vestigingsplaats voor planten, op die plaatsen is vocht, een eerste vereiste voor plantengroei, het meest constant voor handen.

Begroeiing door (zee)dieren, als Zeepokken en Mosselen, is normaliter alleen oppervlakkig en zal weinig structurele schade aanbrengen. Alleen het wat zwakkere open steenasfalt kan door deze begroeiing op de lange duur uit elkaar worden gedrukt.

FOTO'S 13

AANTASTING DOOR ZEEPOKKEN



Hechtingsproblemen kunnen optreden daar waar nieuw werk met een las aansluit op oud werk. Bij een daglas is het “oude werk” eigenlijk ook nog nieuw. Er is ook sprake van een las bij een inkassing voor een overlaging of bij een reparatieplek in de vorm van een inlay ter plaatse van een lokaal weggefreeste aangetaste toplaag. Zoals bij naden al is aangegeven kunnen naden relatief gemakkelijk leiden tot het doorscheuren van de volledige laagdikte.

Als er door hechtingsproblemen over een groot oppervlakte ruimte komt tussen de onderste laag en de nieuwe inlay of overlaging kunnen wateroverdrukken de nieuwe toplaag er uiteindelijk in zijn geheel afdrukken. Er resteert dan een te dunne bekleding.

De hechtingsproblemen zullen over het algemeen kunnen worden teruggevoerd op een onvoldoende kleeflaag, een onvoldoende schoon oppervlak waarop overlaagd is, of een door stripping aangetast oppervlak waarop overlaagd is. In de laatste gevallen is er dus sprake van een falende binding onder de aangebrachte kleeflaag.

FOTO 14

SCHADE DOOR LOSKOMEN LATER AANGEBRACHTE TOPLAAG: ONVOLDOENDE HECHTING



Op kleine schaal wordt ook waargenomen dat een oppervlakbehandeling die is aangebracht op aangetast oppervlak als gevolg van onvoldoende hechting verdwijnt. Ook deze reparatie blijkt dan dus niet effectief al zijn hier de consequenties minder ingrijpend: het geleidelijke proces van aantasting wordt niet afdoende gestopt door de reparatie.

FOTO 15

ONVOLDOENDE HECHTING: OPGEKRULDE RAND VAN LOKALE OPPERVLAGBEHANDELING AANGEBRACHT OP AANGETAST OPPERVLAG



ZANDDICHTHEID

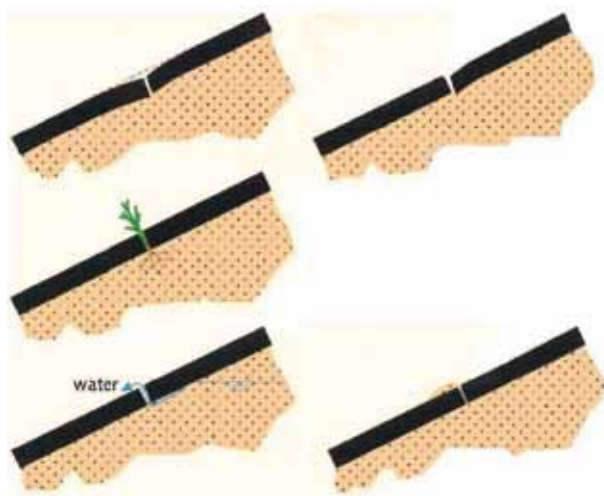
Vanuit de functie van de bekleding is het signaleren van het niet-zanddicht-zijn van de bekleding een onderwerp dat een zelfstandige plaats in de toetschema's heeft gekregen in het beoordelingsspoor Materiaaltransport (AMT). Vaak vormen combinaties van de hiervoor behandelde schades een niet mis te verstane aanwijzing dat de zanddichtheid tekort schiet. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3-4.

Verzakkingen grenzend aan een scheur, naad of klein gat geven aan dat er al materiaal van onder de bekleding is verdwenen. Substantiële begroeiing is een goede indicator voor een doorgaande schade, omdat een dergelijke begroeiing alleen mogelijk is op een waterbouw-asfaltbekleding als de wortels tot onder de bekleding reiken.

Ook kan de aanwezigheid van zand direct naast de schade, danwel het stromen van water vanuit de schade duidelijk maken dat de asfaltlaag onvoldoende dicht is.

FIGUUR 3-4

COMBINATIE VAN VISUELE KENMERKEN DIE WIJZEN OP NIET ZANDDICHT ZIJN VAN DE BEKLEDING



INTERPRETATIE VAN INSPECTIERESULTATEN

Voor de interpretatie van inspectieresultaten worden voor de veiligheidsbeoordeling van asfaltbekledingen op primaire waterkeringen in het Wettelijk toetsinstrumentarium richtlijnen gegeven. Afgezien van de ernst en omvang van een schade kan het achterhalen van de oorzaak van een schade van groot belang zijn voor de afweging van de te nemen maatregelen en de termijn waarop deze moeten worden genomen.

Scheuren ten gevolge van temperatuurbelastingen of zettingsverschillen kunnen veelal worden gerepareerd zonder dat de veiligheid van de bekleding in het geding is. Reparatie buiten het stormseizoen is veelal niet urgent, al kan in bijzondere gevallen te lang uitstel van onderhoud leiden tot de noodzaak van ingrijpender onderhoud. Foto's 1 laat een voorbeeld zien waar door dierlijke activiteit de bekleding langzaam maar zeker wordt ondergraven, zodat ook herstel van de ondergrond noodzakelijk wordt.

Zijn vervormingen of scheuren het gevolg van belastingen tijdens een storm (golven) of vallend hoogwater (opdrukken), dan is dat reden om aan te nemen dat de bekleding structureel onvoldoende is en is reconstructie dringend noodzakelijk.

3.3 MEETMETHODEN

3.3.1 DETECTIE VAN AANGETAST ASFALT MET NIET DESTRUCTIEVE MEETTECHNIKEN

Laagdiktebepalingen worden bij veiligheidsbeoordelingen gedaan aan de hand van metingen met radar.

Voor waterbouwasfaltbeton is onderzocht hoe uit radarwaarnemingen meer informatie over de samenstelling en conditie van het materiaal kan worden verkregen.

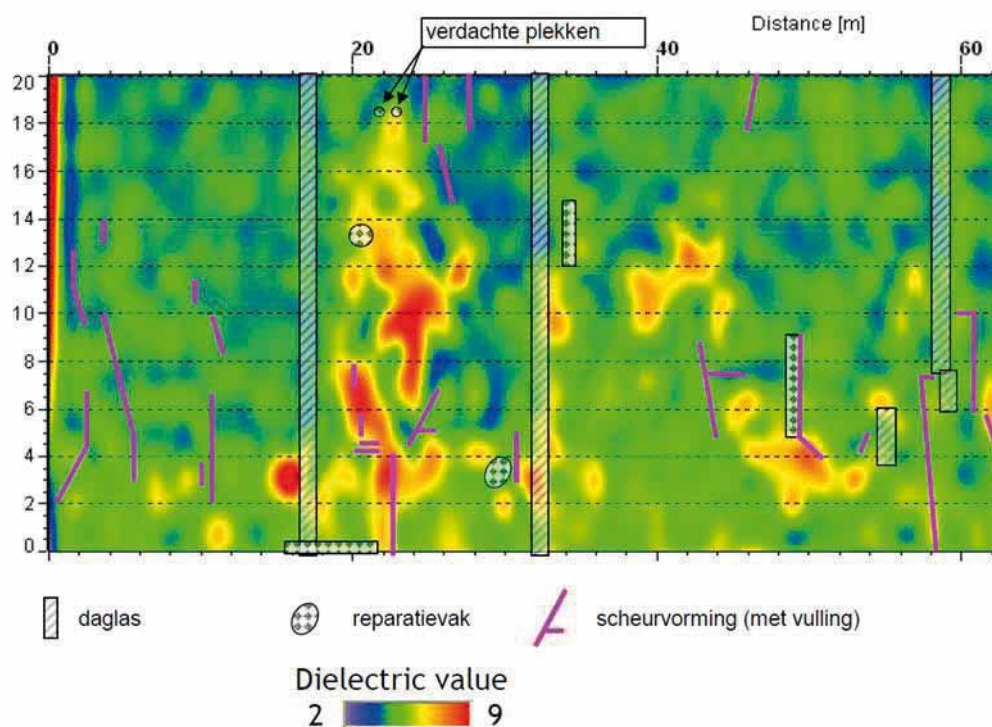
De voor radar relevante materiaaleigenschappen zijn de diëlektrische constante (permittiviteit) en de elektrische geleidbaarheid. Deze grootheden tonen variaties die veroorzaakt worden door het type aggregaat, het type bitumen, de aanwezigheid van geleidbare mineralen, de aanwezigheid van poriën en scheuren, en ook het effect van (zout) water en de opeenhoping van materialen in de poriën en scheuren.

Verschillende radar-systemen zijn getest, waarvan het systeem met een 1 (GHz) hoorn antenna de best bruikbare is. Deze geeft een optimum t.a.v. het waarnemen van ondiepe aantasting (bovenste 3 cm) en de laagdikte (10 – 30 (cm)). Ook informatie over holle ruimten van enige omvang onder het asfalt is hieruit te verkrijgen (detecteerbaar is een grootte rond de 10-20 (cm)).

Uit metingen uitgevoerd door een gespecialiseerd bedrijf met een 1 GHz hoorn antenne, kon uit de reflecties vanaf het oppervlak van het waterbouwasfaltbeton, de diëlektrische constante wordt bepaald voor de bovenste 3 centimeter, in een raster over het betreffende meetvak. Uit deze grootheid kan worden afgeleid waar het asfalt onder de oppervlakbehandeling is aangetast. Scheuren zijn niet goed zichtbaar te maken met deze antenne.

Het resultaat van een radarmeting op een 60 meter lang deel van de Eemshavendijk is gegeven in Figuur 3-5.

FIGUUR 3-5 DE DIËLEKTRISCHE CONSTATE VAN DE BOVENSTE 3 (CM) VAN DE BEKLEDING UIT RADAR METINGEN OP DE EEMSHAVENDIJK. HOGE WAARDEN DUIDEN OP DOOR VOCHT AANGETAST ASFALT



3.3.2 BETROUWBAARHEID EN HERHAALBAARHEID VAN VALGEWICHT DEFLECTIEMETINGEN

In de afgelopen jaren is de valgewicht-deflectiemeter gebruikt bij het uitvoeren van veiligheidsbeoordelingen van asfaltbekledingen en met gietasfalt ingegoten basaltzuilen. Het apparaat is niet nieuw; het wordt al tientallen jaren ingezet om de draagkracht van wegconstructies te beoordelen en er zijn in de wegbouwkunde diverse onderzoeken gedaan naar de betrouwbaarheid en herhaalbaarheid van valgewicht-deflectiemetingen. Alle in Nederland en een aantal in het buitenland geregistreerde valgewichten worden elke twee jaar onderworpen aan een door de CROW georganiseerde vergelijkende test. Op basis hiervan wordt voor elk apparaat een calibratiefactor vastgesteld om te waarborgen dat de apparaten tot dezelfde resultaten komen.

De omstandigheden op een dijk zijn anders dan op een weg. Het is met name de vraag of de meting onder een hellingshoek het resultaat beïnvloedt. In de afgelopen jaren zijn onderzoeken uitgevoerd naar zowel de invloed van de taludhelling op de meetresultaten als naar de herhaalbaarheid van valgewicht-deflectiemetingen op dijken.

De invloed van de schuinplaatsing op de metingen blijkt gering. Bij een onderzoek op Texel [31] is een systematische afwijking bij een taludhelling van 1:3 van 5 tot 10 μm vastgesteld ten opzichte van een centrumdeflectie van 305 μm . Uit tests is wel gebleken dat de taludhelling 1:3 of flauwer moet zijn omdat het apparaat bij steilere taluds tijdens het meten in beweging kan komen.

De herhaalbaarheid van de valgewicht-deflectiemetingen op dijken is recent twee maal onderzocht [31] en [32]. In beide onderzoeken zijn metingen op verschillende tijdstippen op exact dezelfde locaties uitgevoerd. In het jaar 2000 zijn op Texel 8 metingen in een periode van een half uur op exact dezelfde locatie uitgevoerd. De standaardafwijking van de centrumdeflectie was minder dan 5 μm . In 2009 zijn bij de Eemshaven metingen op exact dezelfde locatie uitgevoerd op twee verschillende dagen. Dit veroorzaakt wat grotere verschillen omdat de temperatuur de stijfheid en dus de deflecties beïnvloedt. Na temperatuurcorrectie bleek het verschil tussen de metingen op de eerste en tweede meetdag circa 5%. Conclusie van beide onderzoeken is dat de herhaalbaarheid van de metingen goed is.

FOTO 16

VALGEWICHT-DEFLECTIEMETING OP EEN TALUD OP EEN BEKLEDING VAN OPEN STEENASFALT



3.4 LABORATORIUMONDERZOEK

Bij het bepalen van de mechanische eigenschappen van een asfaltbekleding, bijvoorbeeld voor het toetsen op veiligheid of voor het bepalen van de functionele eigenschappen bij aanleg van de bekleding, zijn in de afgelopen jaren proeven ontwikkeld en gestandaardiseerd. Onder de mechanische eigenschappen van asfalt worden in dit verband de stijfheid of elasticiteitsmodulus, de breuksterkte en de vermoeiingseigenschappen verstaan. In de volgende paragrafen zijn de proeven per asfaltsoort beschreven en toegelicht. In deze paragrafen is vooral een toelichting van de werkwijze gegeven. Een meer gedetailleerde beschrijving van de werkzaamheden is opgenomen in de werkwijzebeschrijving voor waterbouwasfaltbeton [07]. Daarnaast zijn er proefvoorschriften beschikbaar waarin gedetailleerd is vastgelegd op welke wijze de proeven moeten worden uitgevoerd [33] (Bijlage 3).

Alleen voor de asfaltsoorten waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt is het proevenprogramma voor het bepalen van de mechanische eigenschappen uitgewerkt. Voor vol en zat gepenetreerde breuksteen zijn geen gestandaardiseerde proeven beschikbaar. Enerzijds omdat deze bekledingssoort vanwege het viskeuze karakter, de hoge vermoeiingsweerstand en de grote dikte een overmaat aan sterkte in zich heeft. Anderzijds doordat het bepalen van de mechanische eigenschappen op homogene proefstukken uit deze bekledingssoort niet met bekende proefopstellingen mogelijk is vanwege de grote steen die in de bekleding wordt gebruikt en het viskeuze karakter van het gietasfalt.

De mechanische eigenschappen van zandasfalt en grindasfaltbeton kunnen op dezelfde wijze worden bepaald als bij waterbouwasfaltbeton.

Andere dan de hierboven genoemde bekledingssoorten zoals dicht steenasfalt komen slechts sporadisch voor in Nederland. Als het bepalen van de mechanische eigenschappen van dergelijke asfaltsoorten noodzakelijk is, wordt geadviseerd om contact op te nemen met specialisten.

3.4.1 WATERBOUWASFALTBETON

De mechanische eigenschappen van waterbouwasfaltbeton worden bepaald in de driepuntsbuigopstelling. Om deze eigenschappen van een bestaande bekleding te bepalen worden kernen met een diameter van ten minste 250 mm uit de bekleding geboord. Per dijkvak worden acht kernen uit de bekleding geboord. De boorlocaties kunnen op twee manieren worden bepaald: als er valgewicht-deflectiemetingen (VGD) zijn uitgevoerd worden de kernen geboord op verschillende karakteristieke locaties. Zijn er geen VGD-metingen uitgevoerd, dan worden de boorlocaties representatief en aselekt gekozen door het dijkvak eerst in acht gelijke boorvakken te verdelen en vervolgens per boorvak aselekt een locatie aan te wijzen. Na het boren van de kernen wordt per kern een schijf met een dikte van 50 mm uit de onderzijde gezaagd. De schijf moet afkomstig zijn uit de onderzijde van de bekleding omdat bij buiging onder golfbelasting hier de grootste buigtrekspanning optreedt. Uit de schijf worden twee balkvormige proefstukken van 220x50x50 mm gezaagd.

De stijfheid van de bekleding wordt bij voorkeur bepaald op basis van de resultaten van VGD-metingen. Deze hebben de voorkeur boven laboratoriumproeven omdat bij VGD-metingen een groter deel van de constructie wordt belast onder een belasting die representatiever is voor een golfbelasting. Daarnaast zijn er per dijkvak meer VGD-metingen dan boorkernen waardoor zowel het gemiddelde als de spreiding van de stijfheid beter kan worden geschat op basis van VGD-metingen. Soms is het uitvoeren van VGD-metingen niet mogelijk, bijvoorbeeld doordat het asfalt niet bereikbaar is voor een meetvoertuig met aanhanger of doordat het talud steiler is dan 1:3 waardoor er geen VGD-metingen op de bekleding kunnen worden

uitgevoerd. In deze gevallen kan de elasticiteitsmodulus worden bepaald op proefstukken in het laboratorium. Daarnaast kan het zinvol zijn om de elasticiteitsmodulus in het laboratorium te bepalen ter verificatie van de met het valgewicht bepaalde stijfheden.

Een voorbeeld van de driepunts-buigopstelling, waarin de mechanische eigenschappen van waterbouwasfaltbeton worden bepaald, is gegeven in Foto 17.

FOTO 17

BEZWIJKEN VAN EEN PROEFSTUK IN DE DRIEPUNTS-BUIGOPSTELLING



Als de elasticiteitsmodulus van het asfalt moet worden bepaald, wordt dit op één of beide proefstukken gedaan voorafgaand aan de sterkteproeven. De proeven worden uitgevoerd bij standaard testcondities, te weten een temperatuur van 5 graden Celsius en een belastingfrequentie van 10 Hertz. Deze standaard condities zijn van groot belang omdat de elasticiteitsmodulus van asfalt afhankelijk is van de temperatuur en de belastingfrequentie. De elasticiteitsmodulus van het proefstuk wordt bepaald bij een laag krachtniveau zodat er geen schade aan het proefstuk ontstaat die de daaropvolgende sterkteproef negatief beïnvloedt. Omdat de proef bij een laag krachtniveau wordt uitgevoerd moeten de verplaatsingen van het proefstuk met een nauwkeurige, externe verplaatsingsopnemer worden gemeten.

Als de sterkte van de bekleding moet worden bepaald, wordt het eerste proefstuk uit een kern gebruikt voor het bepalen van de breuksterkte. Op het tweede proefstuk wordt een vermoeiingsproef uitgevoerd. Op deze manier zijn er steeds gepaarde resultaten van een breuksterkteproef en een vermoeiingsproef beschikbaar. Ook deze proeven worden uitgevoerd bij een temperatuur van 5 graden Celsius.

De breuksterkte wordt bepaald door het proefstuk met een constante verplaatsingssnelheid van 0,35 (mm/s) te belasten totdat deze bezwijkt. Het gemeten krachtniveau bij bezwijken bepaalt de breuksterkte van het proefstuk.

Een vermoeiingsproef wordt uitgevoerd bij een vooraf gekozen krachtniveau. Dit is een percentage van de kracht bij bezwijken van de breuksterkteproef. Het proefstuk wordt aan een sinusvormige belasting met een frequentie van 1 Hertz onderworpen totdat bezwijken optreedt. Door vermoeiingsproeven bij verschillende krachtniveaus uit te voeren wordt de relatie tussen de opgelegde spanning en het aantal lastherhalingen bij bezwijken bepaald. Dit worden de vermoeiingseigenschappen genoemd.

In paragraaf 3.5 wordt nader toegelicht hoe een vermoeiingslijn uit de resultaten van breuksterkte- en vermoeiingsproeven kunnen worden bepaald.

Ter onderbouwing van de resultaten van de sterkteproeven worden tevens de standaard-eigenschappen van elke kern bepaald. Onder de standaard eigenschappen worden de samenstelling, dichtheid en holle ruimte verstaan. De dichtheid en de holle ruimte worden van elk afzonderlijk proefstuk bepaald.

3.4.2 OPEN STEENASFALT

Bij het bepalen van de mechanische eigenschappen in het laboratorium moeten de afmetingen van het proefstuk worden afgestemd op de diameter van de grootste korrels in het proefstuk. De hoogte van het proefstuk moet ten minste drie tot vier maal de maximale steendiameter bedragen omdat anders de vorm van het proefstuk het proefresultaat te veel gaat beïnvloeden. Daarnaast is het bij buigproeven gewenst dat de lengte van de balk zo groot mogelijk is ten opzichte van de hoogte zodat zuivere buiging in de balk ontstaat. Deze eisen zouden er bij open steenasfalt toe leiden dat er met proefstukken moet worden gewerkt die niet uit een boorkern kunnen worden gezaagd. Daarom worden de mechanische eigenschappen bij het toetsen van bestaande bekledingen van open steenasfalt niet op balkvormige proefstukken bepaald. Voor het toetsen van open steenasfaltbekledingen worden kernen met een diameter van ten minste 200 mm uit de bekleding geboord. Als de functionele eigenschappen van open steenasfalt moeten worden bepaald bij aanleg van een bekleding heeft het de voorkeur om deze te bepalen op balken met een doorsnede van 60x60 of 70x70 mm, afhankelijk van de toe te passen steengradering in het mengsel. De balken kunnen dan uit platen worden gezaagd die in het laboratorium zijn vervaardigd.

Omdat er op open steenasfalt geen valgewicht-deflectiemetingen worden uitgevoerd, wordt de elasticiteitsmodulus in het laboratorium bepaald. Dit wordt gedaan in een indirecte trekopstelling (ITT) op schijven uit de kern.

Indien mogelijk worden er drie schijven uit één boorkern gezaagd. De gewenste minimale dikte van een schijf is drie maal de maximale steendiameter. Omdat dit bij open steenasfalt met de grootste steensorteringen leidt tot erg dikke schijven wordt een minimale dikte van 70 mm gehanteerd. In Foto 18 is een voorbeeld gegeven van een ITT-opstelling.

FOTO 18

SCHIJF VAN OPEN STEENASFALT IN DE ITT-PROEFOPSTELLING

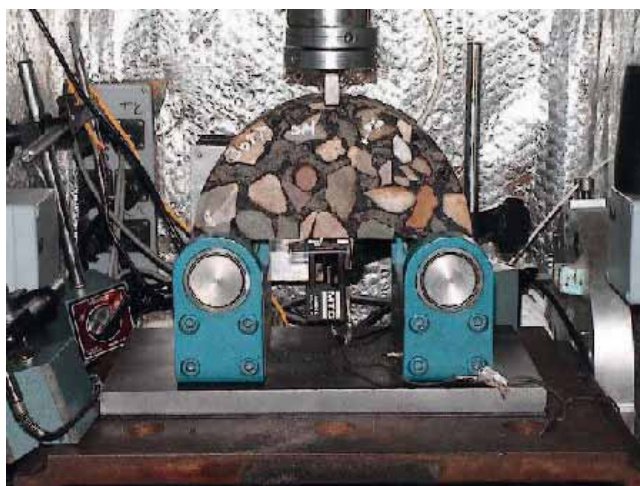


Net als bij waterbouwasfaltbeton worden alle proeven bij open steenasfalt uitgevoerd bij een temperatuur van 5 graden Celsius.

De procedure die wordt gevolgd voor het bepalen van de breuksterkte en vermoeiingseigenschappen is afhankelijk van het aantal schijven dat uit de kern kan worden gezaagd. Als er drie schijven uit een kern kunnen worden gezaagd, worden er twee schijven gebruikt voor het uitvoeren van een breuksterkteproef en een vermoeiingsproef in de ITT-opstelling. De derde schijf wordt in twee gelijke delen gezaagd zodat er twee half-cirkelvormige proefstukken ontstaan. Hiervan wordt het ene proefstuk gebruikt voor het bepalen van de breuksterkte, op het andere proefstuk wordt een vermoeiingsproef uitgevoerd. De breuksterkte en de vermoeiingseigenschappen worden bepaald met een semi-circular bending test (SCB). Vanwege de beperkte ervaringen met beide proefopstellingen bij open steenasfalt, worden beide eigenschappen op dit moment in twee verschillende proefopstellingen bepaald. In de toekomst zal er een keuze worden gemaakt voor de meest geschikte proefopstelling. De opstelling voor de SCB-proef is gegeven in Foto 19.

FOTO 19

EEN PROEFSTUK VAN OPEN STEENASFALT IN DE SCB-OPSTELLING



Indien er slechts twee schijven uit een kern kunnen worden gezaagd, vervallen de proeven in de SCB-opstelling en worden de breuksterkte en vermoeiingseigenschappen in de ITT-opstelling bepaald. Als er maar één schijf uit een kern kan worden gezaagd, worden de breuksterkte en vermoeiingseigenschappen bepaald in de SCB-opstelling nadat eerst de elasticiteitsmodulus van de schijf in de ITT-opstelling is bepaald.

Voor het bepalen van de breuksterkte wordt het proefstuk met een constante verplaatsingsnelheid belast totdat het bezwijkt. Net als bij waterbouwasfaltbeton wordt bij een vermoeiingsproef een sinusvormige belasting aan het proefstuk opgelegd en wordt vastgesteld na hoeveel lastherhalingen het proefstuk bezwijkt. Door de proef bij verschillende krachtniveaus uit te voeren wordt inzicht verkregen in de relatie tussen de opgelegde spanning en het aantal lastherhalingen bij bezwijken.

Van elk proefstuk worden de dichtheid en holle ruimte bepaald, van elke kern wordt de samenstelling bepaald.

3.5 MATERIAALKARAKTERISERING

MATERIAALKARAKTERISERING, VERMOEIINGSPARAMETERS

Asfalt is een vermoeingsgevoelig materiaal, dat wil zeggen dat de maximaal toelaatbare spanning in het asfalt afhankelijk is van het aantal malen dat het wordt belast. De spanning waarbij het asfalt bij eenmalig belasten bezwijkt, wordt de breuksterkte genoemd.

Voor asfaltdiijkbekledingen zijn er modellen ontwikkeld om het vermoeingsgedrag te karakteriseren. Voor de beoordeling op golfaanval is het meest relevante model gebaseerd op zowel vermoeingsgegevens als op breuksterktes. Dat resulteert in de zogenaamde “gekromde vermoeingslijn”. De gekromde vermoeingslijn is typisch een gegeven dat voor een oude bekleding wordt bepaald. Alleen als de materiaalkwaliteit in de loop van vele jaren is teruggelopen, zal de sterkte van het materiaal zodanig zijn teruggelopen dat golfbelastingen mogelijk tot scheuren gaan leiden. Om de gekromde vermoeingslijn te bepalen, worden uit de bekleding kernen geboord, waaruit per kern twee proefstukken worden gezaagd. Voor het ene proefstuk wordt de breuksterkte bepaald; het andere proefstuk wordt onderworpen aan een vermoeingsproef. Details van de procedure worden gegeven in [07].

Met behulp van een lineaire regressie op dubbele log-schaal worden de coëfficiënten α en β van de volgende vermoeingsrelatie bepaald:

$$\log(\log(N)) = \beta + \alpha \log(\log(\sigma_b) - \log(\sigma_0))$$

Waarin:

σ_b	de breuksterkte	(MPa)
σ_0	de in de vermoeingsproef opgelegde spanning	(MPa)
N	het aantal opgelegde spanningsherhalingen tot breuk	(-)

Deze regressie levert een schatting voor de verwachtingswaarde van het vermoeingsgedrag. Bij een beoordeling van een asfaltbekleding dient echter enige veiligheid te worden ingebouwd. Dit wordt bij dit kromlijng vermoeingsmodel gedaan door gebruik te maken van de onzekerheid in de breuksterkte. De bij de beoordeling te hanteren vermoeingslijn wordt namelijk gegeven door:

$$\log(N) = \beta(\log(\sigma_{b,5\%}) - \log(\sigma_0))^\alpha$$

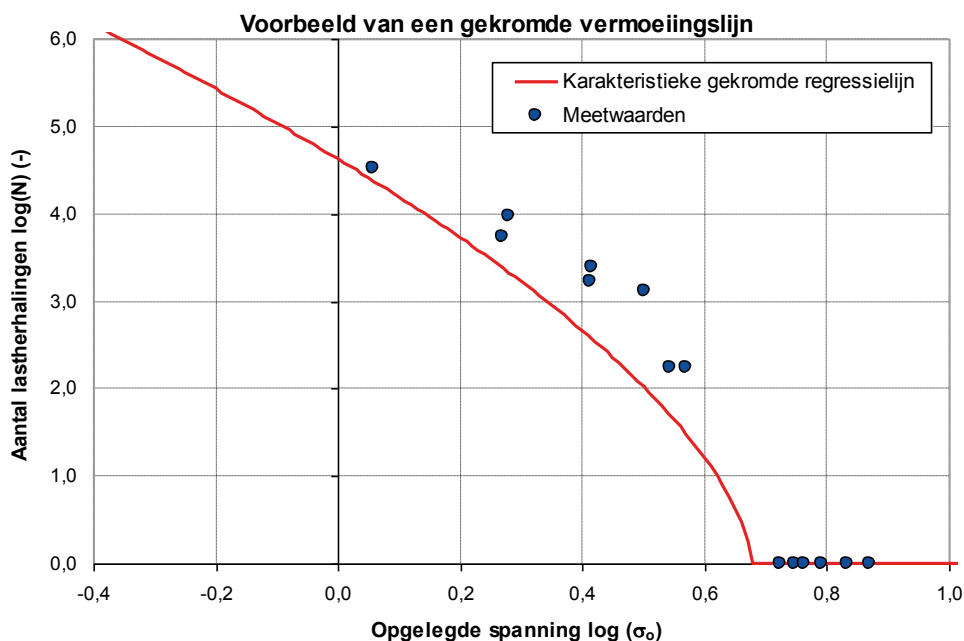
Waarin:

$\sigma_{b,5\%}$	de 5% overschrijdingswaarde van de breuksterkte	(MPa)
------------------	---	-------

Een voorbeeld van een vermoeingslijn is gegeven in Figuur 3-6.

FIGUUR 3-6

BEPALEN VAN KARAKTERISTIEKE WAARDEN VAN DE VERMOEINGSPARAMETERS



STATISTISCHE VERWERKING ONDERZOEKSRISULTATEN

Bij het uitvoeren van de *eenvoudige* en *gedetaileerde* beoordeling en bij de nadere beoordeling van schade zijn kenmerken van de bekleding benodigd zoals de laagdikte en de asfalteigenschappen. Om statistisch betrouwbare resultaten te verkrijgen wordt gebruik gemaakt van karakteristieke waarden van de parameters van de steekproef. In deze paragraaf wordt aangegeven hoe de betreffende parameters worden bepaald.

Als algemene formulering voor de karakteristieke waarde van een parameter X met een normale verdeling geldt:

$$X_{kar} = X_{gem} \pm ts \sqrt{\frac{1}{n} + 1}$$

Hierin is:

X_{kar} karakteristieke waarde

X_{gem} gemiddelde waarde = $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

t factor, afhankelijk van het aantal waarnemingen zoals aangegeven in tabel B1.1

s standaardafwijking = $\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{gem})^2}$

n aantal waarnemingen

Voor de karakteristieke waarden voor de parameters worden altijd veilige waarden gekozen. Een kleinere laagdikte en een hogere elasticiteitsmodulus zijn ongunstig voor de veiligheid van de constructie. Voor de laagdikte wordt dus een karakteristieke ondergrens en voor de elasticiteitsmodulus wordt een karakteristieke bovengrens gebruikt bij de toetsing.

TABEL 3-1 FACTOR T, GELDIG VOOR ZOWEL EEN 5%-ONDERGRENDS ALS EEN 95%-BOVENGRENDS, AFHANKELIJK VAN HET AANTAL WAARNEMINGEN N

n	t	n	t	n	t	n	t
1	-	16	1,7531	31	1,6973	46	1,6794
2	6,3138	17	1,7459	32	1,6955	47	1,6787
3	2,9200	18	1,7396	33	1,6939	48	1,6779
4	2,3534	19	1,7341	34	1,6924	49	1,6772
5	2,1318	20	1,7291	35	1,6909	50	1,6766
6	2,0150	21	1,7247	36	1,6896	51	1,6759
7	1,9432	22	1,7207	37	1,6883	52	1,6753
8	1,8946	23	1,7171	38	1,6871	53	1,6747
9	1,8595	24	1,7139	39	1,6860	54	1,6741
10	1,8331	25	1,7109	40	1,6849	55	1,6736
11	1,8125	26	1,7081	41	1,6839	56	1,6730
12	1,7959	27	1,7056	42	1,6829	57	1,6725
13	1,7823	28	1,7033	43	1,6820	58	1,6720
14	1,7709	29	1,7011	44	1,6811	59	1,6716
15	1,7613	30	1,6991	45	1,6802	□	1,64

Voorbeelden

De laagdikte van de bekleding die bij de gedetailleerde beoordelingen wordt gebruikt, is een laagdikte zodanig dat de kans dat een kleinere dikte wordt aangetroffen gelijk is aan 5% ($h_{5\%}$). Als de laagdikte uit een beperkt aantal waarnemingen ter plaatse van geboorde kernen moet worden afgeleid, is de aanpak als volgt:

$$h_{5\%} = h_{gem} - ts \sqrt{\frac{1}{n} + 1}$$

Hierin is:

h_{gem} gemiddelde laagdikte (m)

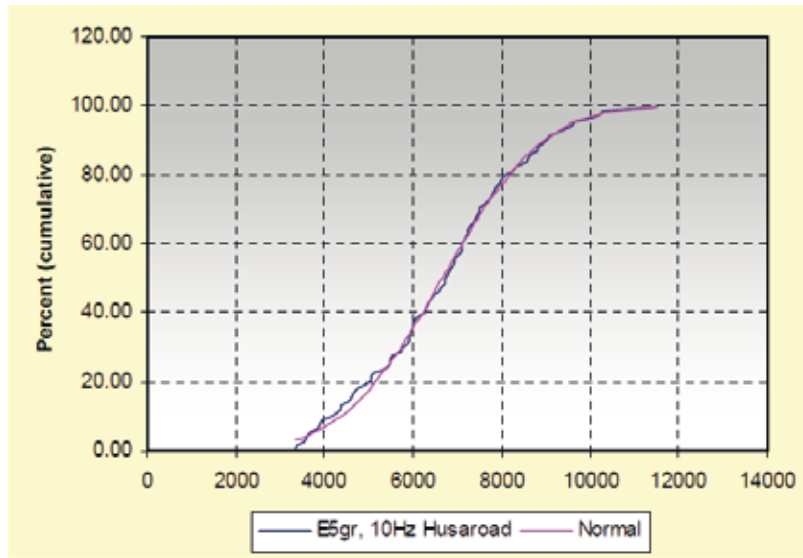
Bovenstaande methode mag strikt genomen alleen worden gebruikt als de waarnemingen “normaal” verdeeld zijn. Dit is bij asfalteigenschappen niet zonder meer het geval.

Voor de beoordeling met GOLFKLAP is overigens de 5%-onderschrijdingswaarde van $\log(\sigma_b)$ nodig. Aangezien $\log(\sigma_b)$ normaal is verdeeld zijn de hiervoor gegeven formules ook voor $\log(\sigma_b)$ zonder problemen toepasbaar.

Als er sprake is van veel waarnemingen heeft het gebruik maken van een cumulatieve frequentieverdeling de voorkeur. De cumulatieve frequentieverdeling wordt bepaald volgens [34] NEN 1047 ‘Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen’. Uit deze verdeling zijn de karakteristieke waarden eenvoudig bij 5% of 95% af te lezen. Figuur 3-7 geeft een voorbeeld voor de E-modulus van het asfalt.

FIGUUR 3-7

WEERGAVE VAN DE GEMETEN ELASTICITEITSMODULI (BIJ 5 GRADEN CELSIUS EN 10 HZ.) VAN EEN VAK IN EEN CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING. DE KARAKTERISTIEKE WAARDE ($E_{95\%}$) KAN IN DE GRAFIEK WORDEN AFGELEZEN



AFKORTINGEN

AES	-	In de toetsing gehanteerde bezwijkmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van erosie van zand van onder de bekleding in de hoge golfoploopzone als gevolg van ernstige beschadigingen van de toplaag (Asfaltbekledingen Ernstige Schade)
AMT	-	In de toetsing gehanteerde bezwijkmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van erosie van zand van onder de bekleding (Asfaltbekledingen Materiaaltransport)
AGK	-	In de toetsing gehanteerde bezwijkmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van golfklappen (Asfaltbekledingen Golfklappen)
AWO	-	In de toetsing gehanteerde bezwijkmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken onder de bekleding (Asfaltbekledingen Wateroverdrukken)
CROW	-	Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek
ENW	-	Expertise Netwerk Waterveiligheid
GLW	-	Gemiddeld Laag Water
GPR	-	Ground Penetrating Radar
GWS	-	Gemiddelde waterstand
ITT	-	Indirect Tensile Test
ITSR	-	Indirect Tensile Strength Retained
KGA	-	Klankbordgroep Asfaltdijkbekledingen
MHW	-	Maatgevend Hoogwater
MGW	-	Maatgevende waterstand
NDO	-	Niet Destructief Onderzoek
NEN	-	Nederlandse Norm
OSA	-	Open SteenAsfalt
PBZ	-	Project Bureau Zeeweringen
RAW	-	Rationalisatie en Automatisering Wegenbouw
RWS	-	Rijkswaterstaat
SCB	-	Semi Circular Bending
STOWA	-	Stichting Toegepast Onderzoek Waterkeringen
SP	-	Streefpeil
SWAN	-	Simulating Waves Nearshore (rekenprogramma)
TAW	-	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
TU	-	Technische Universiteit
VBW	-	Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt
VGD	-	Valgewicht Deflectie
VTV	-	Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen.
WAB	-	WaterbouwAsfaltBeton
WTI	-	Wettelijk toetsinstrumentarium

LIJST MET ONDERDELEN IN DIT RAPPORT IN RELATIE TOT DE ONDERDELEN UIT HET TECHNISCH RAPPORT ASFALT VOOR WATERKEREN

Het state of the art rapport asfaldijkbekledingen onderzoek 2010 bevat nieuwe kennis. De opgenomen informatie is of:

- nieuw, in het Technisch Rapport is geen informatie over dit onderwerp opgenomen
- aanvullend ten opzichte van de in het Technisch Rapport opgenomen informatie
- ter vervanging van de in het Technische rapport opgenomen informatie.

In onderstaande tabel is per paragraaf of hoofdstuk aangegeven of het nieuwe informatie betreft, of dat de tekst een aanvulling danwel vervanging van de bestaande tekst betreft.

Aangezien dit rapport pas naar verwachting in 2012 gebruikt zal worden voor het TR Harde Bekledingen, is deze lijst nog voorlopig en heeft nog geen TR status.

State of the art rapport hoofdstuk/paragraaf	nieuw	Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren		
		aanvulling	vervanging	Opmerkingen
Hoofdstuk 1	ja			
2.2		8.13		
2.3	ja			
2.4		Bijlage 7	7.4.3	Aanbevelingen voor de ontwerpparameters zijn vervangen
2.5	ja			
2.6		Bijlage 6	7.4.2	De ontwerpgrafieken van WAB en OSA zijn vervangen
2.7	ja			
2.8.1		2.4.3		
2.8.2		8.12		
2.8.3		2.4.3		
2.9		9.3		
2.10	ja			
3.2	ja			
3.3		9.3		
3.4		2.4.2		
3.5			Bijlage 8	

REFERENTIELIJST

[01] Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, november 2002	5
[02] Wet van 29 januari 2009, houdende regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen (Waterwet)	5
[03] Standaard RAW bepalingen 2005, CROW, Ede	8
[04] Richtlijn Functionele eisen wegfunderingen CROW-publicatie 205, Ede, november 2004	8
[05] Criteria voor de toepassing van bekledingen op waterkeringen, hulpmiddel voor ontwikkeling van innovatieve dijkbekledingen. Witteveen+Bos, concept februari 2010	9
[06] Bestekbepalingen open steenasfalt prestatiebestek, Van de Ven, M.F.C., Montauban, C.C., Leguit, N, TU-Delft, Delft, mei 2009	10
[07] Werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklapen op een waterbouwasfaltbetonbekleding (rapport e1000057-4), KOAC•NPC, Nieuwegein, augustus 2010	11
[08] NEN-EN 13108 'Bitumineuze mengsels - Materiaalspecificaties -Deel 1: Asfaltbeton', juni 2006	11
[09] Handleiding ontwerpen dijkbekledingen inclusief bijlagen en achtergrondrapport, documentversie 11, Projectbureau Zeeweringen, Middelburg, 19 december 2006	11
[10] Coastal protection, K.W. Pilarczyk, Balkema, Rotterdam, 1990	13
[11] Woestenenk, A.J., Ontwerp en uitvoering van bitumineuze oeverbeschermingen, cursus oeverbescherming 1976-1977, Stichting postdoctoraal onderwijs in de civiele techniek, Delft, 1977	14
[12] Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, (VTV2006) Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, september 2007, of recentere uitgaven voor recentere toetsrondes	16
[13] Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen, (VTV2006) Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, september 2007, of recentere uitgaven voor recentere toetsrondes	17
[14] Technisch rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied, ENW, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, juli 2007	17
[15] Addendum I bij de Leidraad Zee- en Meerdijken t.b.v. het ontwerpen van meerdijken, ENW, 25 maart 2009.	17

- [16] Opstellen ontwerp- en toetsgrafieken (rapport e1000057-5), KOAC•NPC, Nieuwegein, juni 2010 19
- [17] Relatie tussen sterkte en stijfheid in de context van de inspectiemethode meerjarig onderzoek asfaltdijkbekledingen (rapport e0700170-2), KOAC-NPC, 4 februari. 2008 20
- [18] Asfalt in wegen- en waterbouw, Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt, Breukelen, November 2000 23
- [19] E.C. Slob, Report on ground-penetrating radar techniques for seawall asphalt pavement investigations, TU Delft, section of applied geophysics and petrophysics, 2006 25
- [20] Onderzoek Open Steen Asfalt Havendammen Oosterschelde, eindrapport, M.F.C. van de Ven e.a., TU-Delft, Delft, oktober 2007 25
- [21] Tomi Herronen & Timo Saarenketo 3D GPR surveys on Friesland dike, Roadscanners 2007 25
- [22] Tomi Herronen & Timo Saarenketo, GPR surveys on a dike near St. Jacobiparochie, Roadscanners 2008 25
- [23] Tomi Herronen & Timo Saarenketo, GPR surveys on a dike in Eemshaven, Roadscanners 2009 25
- [24] Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken en oevers CUR-publicatie 156, Gouda, 1992 26
- [25] D. Gu: Hydraulic properties of PUR-revetments compared to those of open stone asphalt revetments - Some mechanical properties of elastocoast for safety investigations of dikes. MSc. Thesis report TUDelft, July, 2007 26
- [26] E. Bijlsma: The Elastocoast system: A study of possible failure mechanisms. MSc. Thesis report TUDelft, september 2008 26
- [27] R.W. Sluijsmans: Analysis of wave impact on the elastocoast system. MSc. Thesis report TUDelft, september 2009 26
- [28] H. Oumeraci, T. Staal, S. Pfoertner, G. Ludwigs, M. Kudella: Hydraulic Performance, Wave Loading and Response of Elastocoast Revetments and their Foundation, A Large Scale Model Study, Leichtweiss-Institut für Wasserbau LWI report no. 988, 8 januari. 2010 26
- [29] E. Bijlsma, Polyurethane Bonded Aggregate Revetments Design Manual, Final Draft, Arcadis, September 2009 26
- [30] www.inspectiewaterkeringen.nl 27
- [31] Methodiekontwikkeling toetsing asfaltbekledingen (Texel), Netherlands pavement consultants, A. Versluis e.a., projectnummer 998205, Utrecht, december 1999 40

- | | |
|---|----|
| [32] Onderzoek heterogeniteit asfaltdijkbekledingen (rapport e0902633), KOAC•NPC, september 2009 | 40 |
| [33] Proefvoorschrift driepuntsbuigonderzoek waterbouwasfaltbeton, KOAC•NPC, projectnummer 1000057, Nieuwegein, augustus 2010 | 41 |
| [34] NEN 1047 'Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen' | 49 |

LIJST MET GEBRUIKTE FOTO'S

Foto's 1 links, temperatuursscheuren waarbij zand van onder de bekleding is gekomen als gevolg van activiteit van mieren; rechts, walsscheuren

Foto's 2 links, openstaande naad die al eerder was gevuld; rechts, liplas met links in beeld een gevulde naad met een enkele plant en even rechts daarvan een strook begroeiing in de scheur van de afgebroken lip (zie Figuur 3-1 rechts onder)

Foto's 3 links, lokaal vervangen bekleding na schade door uitspoelen zand bij slecht uitgevoerde aansluiting op betonnen constructie; rechts, gat na het instorten van de topklaag na ondermijning als gevolg van het bezwijken van de aangrenzende steenzetting

Foto's 4 aangetast oppervlak, links grindasfalt aangetast door stripping, bij de pijltjes afdrucken van grindbiggels die zijn losgekomen; rechts, open steenasfalt aangetast door erosie (mechanische belasting)

Foto's 5 links, enkele zeer prominente opbollingen; rechts, open gebroken opbolling toont lokaal volledig uiteengevallen grindasfalt

Foto's 6 Enkele strookvormige opbollingen

Foto's 7 Voorbeelden van instabiliteit van ondergrond

Foto's 8 links, zakking als gevolg van zettingen van de ondergrond; rechts, zakking als gevolg van uitspoeling, in dit geval via de onderste overgangsconstructie, let ook op de verzakte blokken onder in beeld

Foto's 9 begroeiing op asfalt, links, overgroeiing met mos; rechts, kluit met begroeiing die los op bekleding ligt

Foto's 10 links: begroeiing in de bekleding (Riet en Spurrie); rechts: begroeiing (Duindoorn, struik) door de bekleding

Foto 11 Doorgroeiing met riet

Foto's 12 Paardenstaart: links een vruchtbare stengel met sporenaar, rechts jonge vegetatieve scheuten

Foto's 13 Aantasting door Zeepokken

Foto 14 Schade door loskomen later aangebrachte topklaag: onvoldoende hechting

Foto 15 Onvoldoende hechting: opgekrulde rand van lokale oppervlakbehandeling aangebracht op aangetast oppervlak

Foto 16 valgewicht-deflectiemeting op een talud op een bekleding van open steenasfalt

Foto 17 Bezwijken van een proefstuk in de driepunts-buigopstelling

Foto 18 Schijf van open steenasfalt in de ITT-proefopstelling

Foto 19 Een proefstuk van open steenasfalt in de SCB-opstelling

LIJST MET GEBRUIKTE FIGUREN EN TABELLEN

FIGUREN

Figuur 2-1 Stippenpenetratie (onder water)

Figuur 2-2 Strokenpenetratie (boven water)

Figuur 2-3 Een waterslot ter voorkoming van wateroverdrukken in de filterlaag

Figuur 2-4 Grafiek voor het ontwerpen van een bekleding van waterbouwasfaltbeton op golfklappen

Figuur 2-5 Grafiek voor het ontwerpen van een bekleding van open steenasfalt op golfklappen²¹

Figuur 3-1 Een aantal denkbare varianten van openstaande naden in geval van een liplas

Figuur 3-2 Aangetast oppervlak: stenen uit het oppervlak verdwenen

Figuur 3-3 Schematische doorsnede van een asfaltbekleding ter plaatse van een opbolling

Figuur 3-4 Combinatie van visuele kenmerken die wijzen op niet zanddicht zijn van de bekleding

Figuur 3-5 De diëlektrische constante van de bovenste 3 (cm) van de bekleding uit radar metingen op de Eemshavendijk. Hoge waarden duiden op door vocht aangetast asfalt.

Figuur 3-6 Bepalen van karakteristieke waarden van de vermoeiingsparameters

Figuur 3-7 weergave van de gemeten elasticiteitsmoduli (bij 5 graden Celsius en 10 Hz.) van een vak in een cumulatieve frequentieverdeling. De karakteristieke waarde (E95%) kan in de grafiek worden afgelezen.

TABELLEN

Tabel 3-1 Factor t, geldig voor zowel een 5%-ondergrens als een 95%-bovengrens, afhankelijk van het aantal waarnemingen n

ERRATA BIJ HET TECHNISCH RAPPORT

ASFALT VOOR WATERKEREN

Vrijwel alle horizontale deelstrepen in de formules in het TR zoals dat in druk is verschenen, zijn nauwelijks zichtbaar.

In de onderstaande opsomming zijn ook enkele evidente fouten aangehaald in delen die door dit onderzoeksrapport worden vervangen.

- pagina 120. In formule (1) ontbreekt een “-“-teken. De juiste formule is:

$$d = 0,21 \cdot Q_n(a + v) \left(\frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \right) \cdot R_w$$

- pagina 321. Daar waar “7.0” vermeldt staat in combinatie met “GOLFKLAP” dient dit te worden geschrapt. Een zo hoog genummerde versie van het rekenmodel is tot op heden nooit uitgebracht.

- pagina 322. In formule (2) dient het 4^e-machts-wortelteken de volledige term rechts van het =-teken te omvatten:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3c(1-v^2)}{Sh^3}}$$

- pagina 323. De formule voor de maximale drukstoot bevat ten onrechte de parameter H. Dit moet zijn: H_s. De variatie van golfhoogte in het golfveld is verdisconteerd in de stootfactor q. De juiste formule is: $p_{\max} = \rho_w \cdot g \cdot q \cdot H_s$ met H_s = significante golfhoogte [m]
- pagina 324. De kansdichtheidsfunctie van de stootfactor is niet beschreven in de referentie [Führböter, 1988]. Het samenvoegen van de intensiteit en het aantal golven dat werkelijk een golfklap veroorzaakt wel. De kansdichtheidsfunctie volgt een log-normale verdeling zodat deze er als volgt uit komt te zien:

$$\log(p(q)) = \frac{1}{\sigma_q \sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{q-q_{gem}}{2\sigma_q^2}\right)^2}$$

- pagina 330. Het teken van de vermoeiingsparameter a die voor verschillende asfaltmengsels wordt gepresenteerd, dient positief te zijn omdat in formule (7) (op pag. 327) al een “-“-teken is opgenomen.

- pagina 333. De formule voor de mediaan van het steenmassa bevat onterecht de

valversnelling g. De juiste formule is: $M_{50} = \frac{\rho_s H^3}{K_D \Delta^3 \cot(\alpha)}$

- pagina 335. De formule voor de relatieve dichtheid van de stenen bevat ten onrechte een parameter r.

De juiste formule is: $\Delta = \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)$

- pagina 337. In de formule voor de standaardafwijking dient het wortelteken de volledige term rechts van het =-teken te omvatten:

$$s = \sqrt{\left(\frac{1}{n-1} \right) \sum_{i=1}^n (X_i - X_{gem})^2}$$

- pagina 338. In tabel B8.1 wordt n = 3 een foutieve t-waarde vermeld. De juiste waarde is 2,9200

BIJLAGE A

KWALITEITSZORG BIJ OPEN STEENASFALT

Om er voor te zorgen dat bij de uitvoering van werken het beoogde resultaat wordt bereikt, is een uitvoerig systeem van kwaliteitszorg ontwikkeld. Deze technische besteksbepalingen zijn in de RAW-Standaard opgenomen en bepalen samen met Nederlandse en Europese normen welke maatregelen moeten worden genomen om het juiste resultaat te bereiken. In opdracht van RWS-Zeeland zijn in 2009 aanvullende bepalingen opgesteld [06] voor prestatiebestekken, die met name gericht zijn op het verhogen van de duurzaamheid.

Voor open steenasfalt betekent dit dat in het kader van integrale kwaliteitszorg onderzoek moet worden verricht bij aanleg, beheer en toetsen van de bekleding:

In het vooronderzoek worden de bouwstoffen onderzocht. Het bitumengehalte, de verdichting, de viscositeit en eventueel de hoeveelheid vezels worden bepaald. De mengselsamenstelling wordt bepaald met behulp van de volumetrische ontwerpmethodode.

De volgende fase is het uitvoeren van een geschiktheidsonderzoek. De aannemer legt een proefvak aan waarmee hij aantoont dat de aangelegde bekleding voldoet aan de gestelde eisen.

Tijdens de uitvoering worden bedrijfscontroles uitgevoerd om de gestelde kwaliteit te bewaken. Bij oplevering van het werk worden controles uitgevoerd door middel van steekproeven. Het resultaat van deze controles worden vergeleken met de bedrijfscontroles die tijdens de aanleg zijn uitgevoerd.

De kwaliteit van de bekleding wordt tijdens de levensduur gevolgd door het uitvoeren van radarmetingen, valgewichtmetingen en metingen in het laboratorium.

VOORONDERZOEK (AANLEG)

Op basis van de voorgeschreven bouwstoffen moet een vooronderzoek worden verrichten waarmee een mengsel wordt ontworpen; dit vooronderzoek bestaat uit:

- een onderzoek naar de kwaliteit van de bouwstoffen, (incl. Queenslandtest)
- onderzoek naar de verdichting van zand-vulstofmengsels,
- berekening van het theoretisch bitumengehalte van de asfaltmastiek;
- bepaling van de viscositeit van de asfaltmastiek met vloeiproeven;
- bepaling van de hoeveelheid vezels in het bindmiddel (indien nodig)
- het volumetrisch ontwerpen van een mengsel open steenasfalt.

GESCHIKTHEIDSONDERZOEK (AANLEG)

Met het ontworpen mengsel open steenasfalt wordt bij aanvang van het werk een geschiktheidsonderzoek uitgevoerd, waarin de aannemer in een proefvak aantoont dat hij met de door hem gekozen werkwijze een bekleding realiseert die aan de gestelde eisen voldoet.

Dit geschiktheidsonderzoek bestaat uit:

- Het bereiden van 40 ton open steenasfalt.
- Controleren of de samenstelling voldoet aan het ontwerp mengsel.
- Het aanbrengen van 40 ton open steenasfalt in het werk volgens de door de aannemer te hanteren werkwijze.
- Het bepalen van de laagdikte, de korrelverdeling, het bitumengehalte, de steen-mortelverhouding, de omhullingsdikte, de holle ruimte, de eigenschappen van het teruggewonnen bitumen en de doorlatendheid aan de hand van 5 boorkernen met een diameter van 200 mm.

UITVOERING (AANLEG)

Tijdens de uitvoering verricht de aannemer bedrijfscontroles waarmee hij aantoont dat het bereikte resultaat voldoet aan de gestelde eisen. Hiertoe worden de volgende eigenschappen bepaald:

- laagdikte laagdikte
- samenstellingsamenstelling
- omhullingsdikte
- holle ruimte
- eigenschappen teruggewonnen bitumen
- watergevoeligheid (ITSR)
- temperatuur bij verwerken

OPLEVERING (AANLEG)

Tijdens en na de uitvoering verricht de opdrachtgever een check op de bedrijfscontrole naar de kwaliteit en de kwantiteit van het bereikte resultaat d.m.v. steekproeven.

Deze worden vergeleken met de resultaten van de bedrijfscontrole, zoals deze volgens het uitvoerings- en kwaliteitsplan zijn verzameld.

MONITORING (BEHEER EN TOETSING)

In het kader van beheer en toetsing is het van belang de kwaliteit te monitoren. Hiertoe worden direct na oplevering van het werk en volgens een nader vast te stellen tijdschema de volgende eigenschappen bepaald (e.e.a. volgens de werkwijzebeschrijving [07]):

- visuele kenmerken door inspectie
- laagdikte te meten metingen m.b.v. met GPR
- asfaltstijfheid te meten m.b.v. VGD
- stijfheid te meten aan boorkernen m.b.v. ITT
- sterktemetingen asfaltbreuksterkte te meten aan boorkernen m.b.v. ITT (en SCB)
- standaard eigenschappen (vooral ook m.n. de eigenschappen van het teruggewonnen bitumen)

BIJLAGE B

WERKWIJZEBESCHRIJVING

WATERBOUWASFALTBETON

Werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde toetsing op golfklappen op een bekleding van waterbouwasfaltbeton.

STATUS

De Werkwijzebeschrijving in deze bijlage B beschrijft de “state of the art” kennis. Het beschrijft de wijze waarop tot op heden de gedetailleerde toetsing werd uitgevoerd, met op enkele detailpunten wat correcties naar aanleiding van leerpunten uit de 3e toetsronde. Als zodanig zijn zij beoordeeld en goedgekeurd door de Klankbordgroep Asfaltbekledingen (KGA). De werkwijzebeschrijving is niet vastgesteld in het kader van het Wettelijk Toets Instrumentarium (WTI) en maakt dan ook geen deel uit van de wettelijke toetsvoorschriften voor primaire waterkeringen. Ook zijn de beschrijvingen niet vastgesteld door het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) als onderdeel van een leidraad of technisch rapport.

1	INLEIDING	56
1.1	Probleemstelling en doel	56
1.2	Werkwijze	56
1.3	onderdelen van de beoordeling	57
1.4	Richtlijnen voor rapportages	58
1.5	Leeswijzer	58
2	VOORBEREIDINGEN	59
2.1	Algemeen	59
2.2	Basisinformatie	59
2.3	Meetplan	60
2.4	Resultaten activiteiten	61
3	VELDWERKZAAMHEDEN	62
3.1	Algemeen	62
3.2	Uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen	62
3.3	Uitvoeren van grondradarmetingen	63
3.4	Resultaten activiteiten	64
4	ANALYSE DATA VELDMETINGEN	66
4.1	Algemeen	66
4.2	Bepalen van de rek op basis van het deflectieprofiel	66
4.3	Bepalen van de boorlocaties voor vermoeiingsonderzoek	67
4.4	Boren van kernen uit de bekleding voor het uitvoeren van frequency sweeps	68
4.5	Uitvoeren van frequency sweeps en opstellen van mastercurves	68
4.6	Bepalen van de stijfheid van de bekleding en de ondergrond	70
4.7	Resultaten activiteiten	71
5	UITVOEREN BREUKSTERKTE- EN VERMOEIINGSONDERZOEK	73
5.1	Algemeen	73
5.2	Boren van kernen uit de bekleding	73
5.3	Uitvoeren van breuksterkte- en vermoeiingsproeven	74
5.4	Opstellen van vermoeiingslijnen	75
6	TOETSING MET GOLFKLAP	78
6.1	Omschrijving van de activiteiten	78
6.2	Resultaten activiteiten	79
7	PROCEDURE HERHALINGSMETINGEN	80
8	VASTLEGGEN VAN DE GEGEVENS	85
9	REFERENTIES	86
	LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN EN AFKORTINGEN	88
BIJLAGE 1	GEDETAILLEERD PLAN WERKBESCHRIJVING	92
BIJLAGE 2	ONDERZOEKSPAN CYCLISCHE PROEF IN TREK-DRUKOPSTELLING	97
BIJLAGE 3	HANDLEIDING GRAFIEKENMAKER	99

1

INLEIDING

1.1 PROBLEEMSTELLING EN DOEL

Conform het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [VTV, 2007] is in de afgelopen jaren op veel dijkbekledingen van waterbouwasfaltbeton een gedetailleerde beoordeling op golfklappen uitgevoerd. Uitgaande van een van te voren opgezette systematiek heeft de methode zich in de loop van de projecten verder ontwikkeld. Op dit moment is de methode zodanig uitgekristalliseerd dat deze kan worden geüniformeerd. Achtergronden bij het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen op een asfaltbekleding zijn opgenomen in het rapport state of the art asfaltdijkbekledingen [STOWA, 2010].

In deze werkbeschrijving wordt de gedetailleerde beoordeling van een asfaltbekleding op golfklappen geüniformeerd, dat wil zeggen; de verschillende onderdelen van het proces worden beschreven. Per onderdeel worden 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 de Waterdienst 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 verschillende onderdelen en per onderdeel worden verschillende activiteiten uitgevoerd. Geordend per onderdeel en per activiteit zijn de volgende gegevens in de werkbeschrijving vastgelegd:

- Omschrijving van de benodigde informatie voor de beoordeling, zowel minimaal benodigd (bijv. hydraulische randvoorwaarden) als bruikbare aanvullende informatie (bijv. gegevens opleveringscontrole).
- Een gedetailleerde beschrijving van de onderdelen van de beoordeling, zowel de minimaal benodigde als eventuele aanvullende onderdelen.
- 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

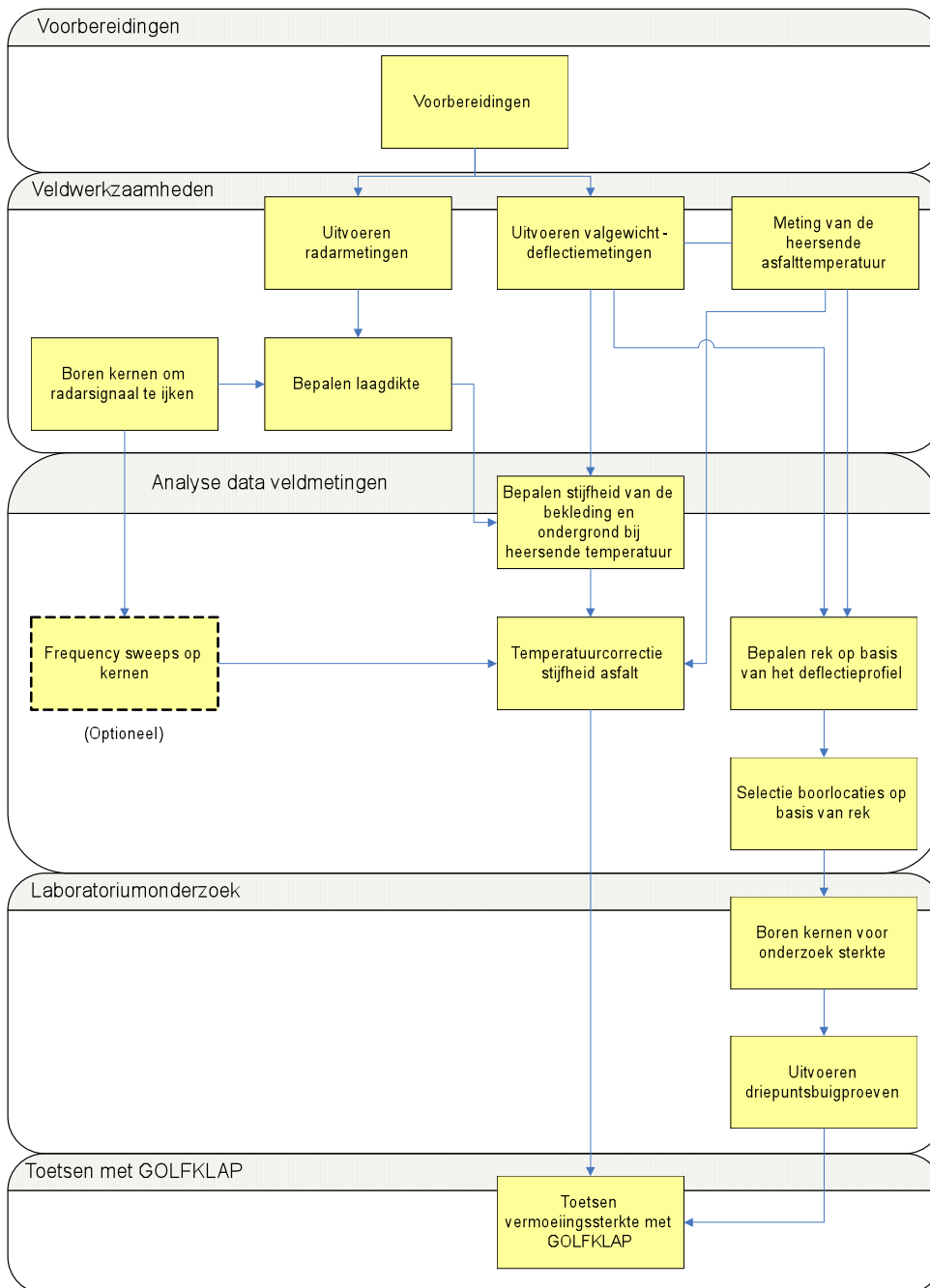
De beoordeling op golfklappen is verdeeld in de volgende onderdelen:

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

In Figuur 1-1 is een processchema van de gedetailleerde beoordeling op golfklappen gegeven.

FIGUUR 1-1

PROCESSHEMA GEDETAILEERDE BEOORDELING OP GOLFKLAPPEN



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 paragraaf 1.3. In hoofdstuk 2 zijn de projectvoorbereidingen beschreven. Hoofdstuk 3 behandelt de uit te voeren veldwerkzaamheden. Dit betreft het uitvoeren van radar- en 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 breuksterkte- en vermoeiingsonderzoek beschreven. Hoofdstuk 5 behandelt het bepalen van het breuksterkte- en vermoeiingsgedrag van het asfalt met driepuntsbuigproeven. In hoofdstuk 6 is aangegeven hoe de breuk- en vermoeiingssterkte van het asfalt wordt getoetst met het computermodel GOLFKLAP. Voor die gevallen waarin er bij een voorafgaande toetsing al een gedetailleerde beoordeling op golfklappen is uitgevoerd, is in hoofdstuk 7 de procedure voor het uitvoeren van herhalingsmetingen beschreven. In hoofdstuk 8 wordt tot slot ingegaan op het vastleggen van de bij de beoordeling verkregen gegevens.

2

VOORBEREIDINGEN

2.1 ALGEMEEN

Bij het onderdeel voorbereidingen wordt alle voor de beoordeling benodigde informatie verzameld. Daarnaast worden alle voorbereidende werkzaamheden uitgevoerd voor het uitvoeren van de radar- en 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 volgende 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 metring, opbouw van de bekledingsconstructie inclusief type onderlaag/ondergrond.
- Representatieve dwarsprofielen
- Besteksgegevens: jaar van aanleg, mengselsamenstelling, besteksgrenzen.
- Hydraulische randvoorwaarden: significante golfhoogte (H_g), gemiddelde golfperiode (T_g), Toetspeil, gemiddelde getij amplitude (GGA), gemiddelde waterstand (GWS), type watersysteem, locatie golfklapzone in het profiel.
- Resultaten van de visuele inspectie

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 [TAW, 2002].

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:

- 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 MEETPLAN

In het meetplan wordt vastgelegd op welke wijze grondradar- en valgewicht-deflectiemetingen (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 (radar, 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
- Beoogde datum van meting

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

2.3.1 VGD METINGEN

In de golfklapzone wordt 1 langsraai gemeten met een hart-op-hart afstand van 25 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.

Per meetpunt worden minimaal 3 metingen uitgevoerd met een kracht van 50 kN. Het deflectieprofiel wordt vastgelegd met minimaal 7 geofoons. Bij een afwijkende constructie kan de standaard geofoonopstelling (0-300-600-900-1200-1500-1800 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.

2.3.2 RADARMETINGEN

De antenne van de radarunit moet zijn afgestemd op de laagdikte die moet worden gemeten. Voor een bekleding van waterbouwasfaltbeton met een dikte tot maximaal 50 cm moeten antennes worden gebruikt met een frequentie van 800 tot 1200 MHz. Een hogere frequentie zorgt voor een te geringe penetratie van het signaal in het te onderzoeken medium, een lagere frequentie levert een te lage resolutie op.

De meting van de reistijd moet met een nauwkeurigheid van minimaal 0,5 ns worden uitgevoerd.

Om de locatie van de meetpunten voldoende nauwkeurig vast te leggen moeten de GPR-metingen met een snelheid van maximaal 10 km/u worden uitgevoerd. Minimaal elke 20 cm moet een meting worden uitgevoerd.

In het volgende hoofdstuk wordt uitgebreid ingegaan op het uitvoeren van de grondradar- en valgewicht-deflectiemetingen.

2.4 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 grondradar (GPR)- en valgewicht-deflectiemetingen (VGD) 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)
- Uitvoeren grondradarmetingen
- Opstellen van een boorplan
- Boren van kernen uit de bekleding
- Bepalen van de laagdikte van de kernen
- Ijken van het radarsignaal met de laagdikten van de kernen

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

3.2 UITVOEREN VAN VALGEWICHT-DEFLECTIEMETINGEN

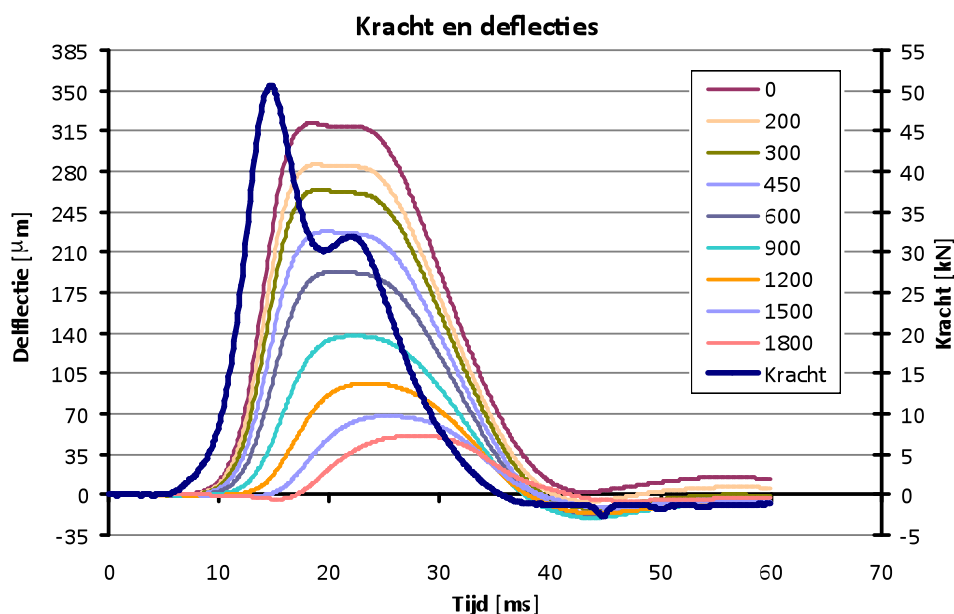
De metingen worden uitgevoerd zoals beschreven in het meetplan. Als de VGD-metingen voorafgaand aan de GPR-metingen worden uitgevoerd moeten de locaties waar de VGD-metingen zijn uitgevoerd op de bekleding worden gemarkeerd zodat met de radarunit dezelfde raai kan worden gemeten.

Tijdens het uitvoeren van de VGD-metingen wordt eveneens de temperatuur van het asfalt gemeten. Bij elke VGD-meting wordt de oppervlaktetemperatuur van het asfalt met infrarood gemeten. Hierbij wordt het tijdstip van meten geregistreerd. Op basis van de oppervlakte-temperatuur, de laagdikte en de gemiddelde temperatuur van het voorgaande etmaal wordt met de BELLS-vergelijking [Baltzer e.a., 1995] de gemiddelde asfalttemperatuur berekend. Daarnaast wordt de asfalttemperatuur in het midden van de bekleding in een boorgat gemeten conform de specificaties van het CROW [CROW, 1995]. De meting in een boorgat vindt plaats vanaf aanvang van de VGD-metingen op 2 locaties. De temperatuur wordt gedurende de VGD-metingen met data-loggers vastgelegd. Als de met de BELLS-vergelijking bepaalde temperatuur meer dan 1 graad Celsius afwijkt van de in het boorgat gemeten temperatuur wordt de met de BELLS-vergelijking bepaalde temperatuur gecorrigeerd met de helft van het verschil tussen beide waarnemingen.

De valgewicht-deflectiemetingen moeten worden uitgevoerd met een door CROW gecertificeerd valgewicht en dient gekalibreerd te zijn. De VGD-metingen worden alleen uitgevoerd bij een asfalttemperatuur van minimaal 0 en maximaal 15 graden Celsius 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.

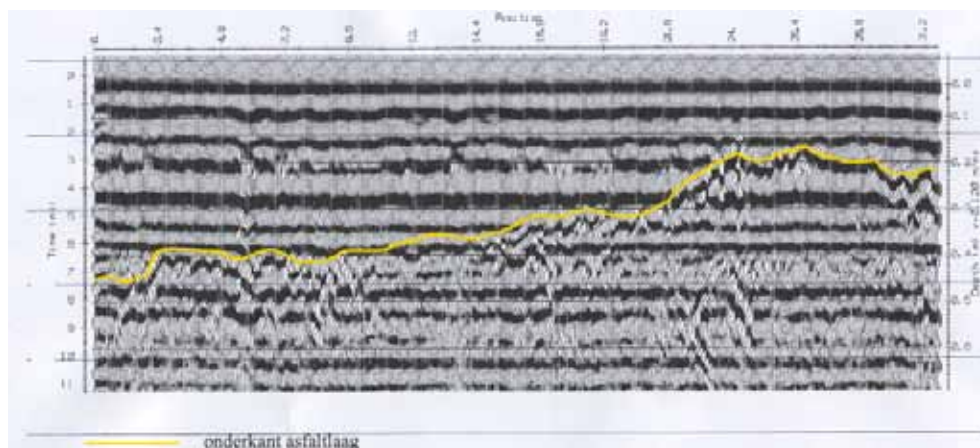
FIGUUR 3-1 DEFLECTIES OP VERSCHILLENDE AFSTANDEN (IN MM) VAN HET LASTCENTRUM EN OPGELEGDE BELASTING IN DE TIJD



3.3 UITVOEREN VAN GRONDRADARMETINGEN

De metingen worden uitgevoerd zoals beschreven in het meetplan. GPR- en VGD-metingen kunnen zowel gelijktijdig als na elkaar worden uitgevoerd. Bij het gelijktijdig uitvoeren van de metingen wordt de radarunit aan het valgewicht gekoppeld. Hierdoor rijden beide meetunits dezelfde meetraai en is er een directe koppeling tussen beide metingen. Dit geeft de zekerheid dat van elk valgewicht-meetpunt tevens de laagdikte op dezelfde locatie is gemeten. Hierbij moet rekening worden gehouden met de afstand tussen het VGD-meetpunt bij de voetplaat van het VGD-apparaat en het meetpunt van de radar. Een andere mogelijkheid is het uitvoeren van de radarmetingen nadat de valgewicht-deflectiemetingen zijn uitgevoerd. In dit geval moeten de locaties van de VGD-metingen zichtbaar op de bekleding zijn gemarkeerd. Er moet altijd rekening worden gehouden met de offset tussen de locatie van de VGD-meting en de markering op het talud. Omdat deze het apparaat dat de markering aanbrengt (verfspuit) niet op de voetplaat van het valgewicht gemonteerd wordt maar elders op de VGD-kar is er een offset tussen de markering en het werkelijke meetpunt. Tijdens het uitvoeren van de GPR-metingen moeten de locaties van de VGD-meetpunten in het meetbestand worden gemarkeerd zodat de laagdikte bij deze punten exact bekend is. Een voorbeeld van een laagdikte met radar bepaald (in dwarsprofiel) is gegeven in Figuur 3-2.

FIGUUR 3-2 LAAGDIKTE BEPAALD MET GRONDRADAR (DWARSPROFIEL)



Via een quick scan op het verkregen radarsignaal wordt bepaald op welke locaties kernen moeten worden geboord om het radarsignaal te ijken. Per min of meer homogeen vak met een maximale lengte van 1 km wordt 1 kern geboord. Onderscheid in vakken wordt gemaakt op basis van verschillen in reistijd van het radarsignaal. Daarnaast kunnen op locaties met een afwijkend signaal kernen worden geboord. Met de laagdikten van de boorkernen wordt het radarsignaal (reistijd) omgezet naar een laagdikte. De wijze waarop deze laagdikte is bepaald moet worden vastgelegd in documenten.

De aanwezigheid van zout water op of in het te onderzoeken medium kan het vaststellen van de laagdikte belemmeren omdat het signaal in zout water wordt gedempt.

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.
 - Metrerering.
 - Opgelegde belasting.
 - Datum en tijd.
 - Oppervlaktetemperatuur.
 - Asfalttemperatuur gemeten in een boorgat
 - Eventueel het verloop van de deflecties in de tijd (bijvoorbeeld gedurende 60 ms).

3.4.2 UITVOEREN VAN GRONDRADARMETINGEN

Het uitvoeren van grondradarmetingen resulteert in de volgende producten:

- Een meetrapport met daarin de volgende gegevens:
 - Onderzoeksmethode en werkwijze
 - Beschrijving van de gebruikte apparatuur incl. type(n) antenne(s)
 - Locatie van de uitgevoerde metingen inclusief metrering.
 - Datum en tijdstip van de metingen.
 - Een tabel met per boorkern de volgende gegevens:
 - Lengte
 - Reistijd
 - Diëlektrische constante
 - Resultaten per dijkvak.
 - Bijzonderheden.
- Een meetbestand met een laagdikte op elk gemeten punt (minimaal elke 20 cm).
- Een meetbestand met de laagdikte bij elk VGD-meetpunt.

4

ANALYSE DATA VELDMETINGEN

4.1 ALGEMEEN

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

Voor het bepalen van locaties voor breuksterkte- 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 breuksterkte- en vermoeiingsonderzoek

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

- Bepalen van de stijfheid van de bekleding bij de tijdens de metingen heersende temperatuur
- Bepalen van de representatieve asfalttemperatuur tijdens de metingen
- Opstellen van een onderzoeksplan voor het uitvoeren van frequency sweeps
- Voorbereiden van de proefstukken
- Uitvoeren van frequency sweeps op proefstukken uit de bekleding
- Opstellen van mastercurves op basis van de frequency sweeps
- 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 4-4 in paragraaf 4.5) 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 graden Celsius. 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 3e 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 2e klap wel bruikbaar is. Deflectieprofielen met grote discontinuïteiten worden niet verwerkt en als onbetrouwbaar gemarkeerd.

Temperatuurnormalisatie kan plaatsvinden zoals is beschreven in [KOAC•NPC, 2010]. De deflecties worden genormaliseerd naar 5 graden Celsius waarna de rek uit de deflecties wordt berekend. De relatie tussen afgeleiden van het deflectieprofiel en de asfaltrek luidt:

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

waarbij ε = maximum rek onderin asfalt onder belasting van 50 kN ($\mu\text{m}/\text{m}$)
 h_1 = laagdikte asfalt (mm)
 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.

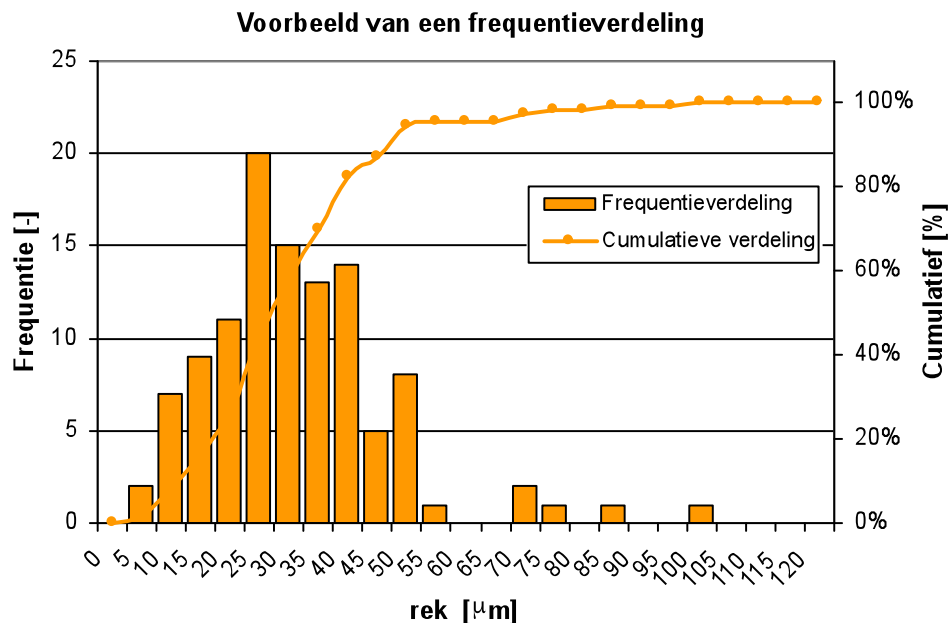
4.3 BEPALEN VAN DE BOORLOCATIES VOOR VERMOEIINGSONDERZOEK

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

- Het dwarsprofiel en de constructieopbouw van de verschillende dijkgedeelten is gelijk
- De mengsamenstelling en holle ruimte 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

Voor elk dijkgedeelte waarvan de vermoeiingseigenschappen worden bepaald, wordt de cumulatieve frequentieverdeling van de rek bepaald. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 4-1

FIGUUR 4-1 VOORBEELD VAN EEN CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING VAN DE REK



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

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

4.4 BOREN VAN KERNEN UIT DE BEKLEDING VOOR HET UITVOEREN VAN FREQUENCY SWEEPS

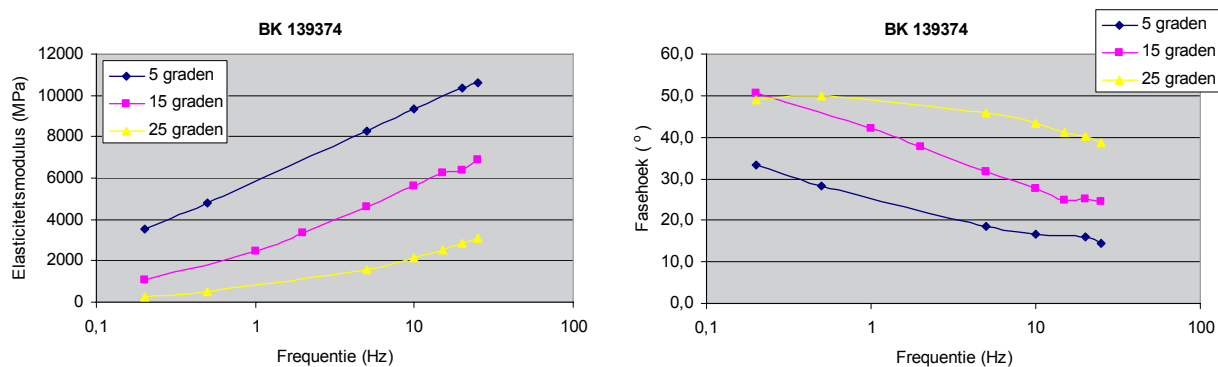
Op basis van de eerste resultaten van de radarmetingen wordt een boorplan opgesteld. Er worden kernen geboord met een diameter van 75 mm. De kernen worden geboord volgens deel 5 van de voorschriften voor waterbouw-asfaltbeton [STOWA, 2011e]. De kernen worden in eerste instantie gebruikt om de radardata te ijken en in een later stadium om mechanisch onderzoek in het laboratorium (frequency sweeps) op uit te voeren. Hiermee wordt de afhankelijkheid van de stijfheid van de temperatuur en de belastingfrequentie bepaald (zie paragraaf 4.5). 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.

4.5 UITVOEREN VAN FREQUENCY SWEEPS EN OPSTELLEN VAN MASTERCURVES

Voorafgaand aan het uitvoeren van de frequency sweeps wordt een onderzoeksplan opgesteld waarin de uit te voeren werkzaamheden zijn beschreven.

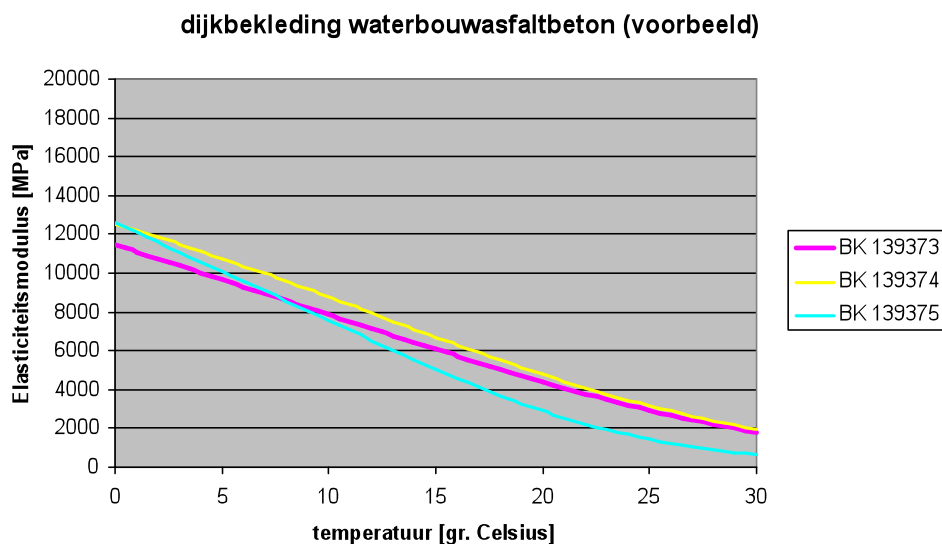
De frequency sweeps worden uitgevoerd in een trek-drukopstelling op planparallel gezaagde proefstukken uit de eerder verkregen kernen. Voorafgaand wordt van elk proefstuk de dichtheid proefstuk vastgesteld. Op elk proefstuk wordt een sweepstest uitgevoerd van 0,1 tot 30 Hz. bij drie temperaturen (5, 10 en 20 graden Celsius). Hierbij worden uit de verkregen signalen de elasticiteitsmodulus en de fasehoek bepaald. In Figuur 4-2 is het resultaat van frequency sweeps op een proefstuk bij verschillende temperaturen gegeven. *In deze figuur zijn andere temperaturen gebruikt.*

FIGUUR 4-2 RESULTATEN FREQUENCY SWEEPS



Met het programma HUSAROAD of een vergelijkbare methode wordt een mastercurve, een relatie tussen de elasticiteitsmodulus (E) en de frequentie (f), voor elk proefstuk opgesteld. Op basis hiervan wordt een relatie tussen de elasticiteitsmodulus bij 10 Hz. en de temperatuur opgesteld. Uit deze curves wordt per bestek 1 representatieve curve geselecteerd. Deze wordt gebruikt voor het normeren van alle stijfheden naar 1 temperatuur. Een voorbeeld van de relatie tussen stijfheid en temperatuur is gegeven in Figuur 4-3.

FIGUUR 4-3 RELATIE TUSSEN DE ELASTICITEITSMODULUS (BIJ 10 HZ.) EN DE TEMPERAATUUR VOOR EEN WILLEKEURIGE BEKLEDING



Voor het uitvoeren van een cyclische proef in een trek-drukopstelling is geen proefvoorschrift beschikbaar. In bijlage 2 is een onderzoeksplan opgenomen waarin de condities voor deze proef zijn vastgelegd.

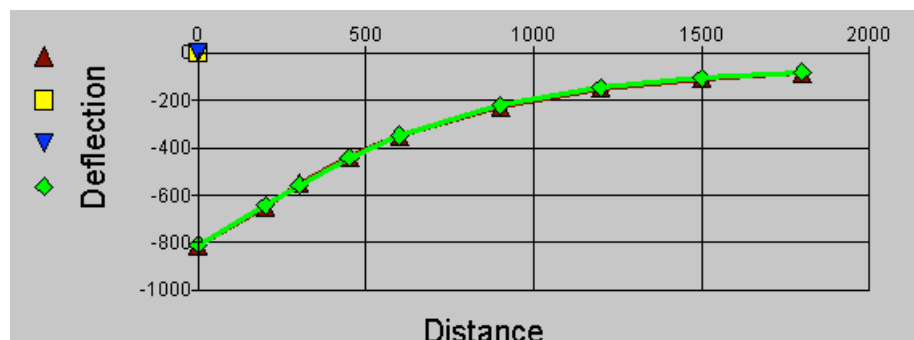
Indien er mastercurves beschikbaar zijn van asfalt met een vergelijkbare leeftijd en materiaaleigenschappen (mengsamenstelling en hollende ruimte) kan worden overwogen om gebruik te maken van deze gegevens. In dit geval is het uitvoeren van frequency sweeps niet noodzakelijk.

4.6 BEPALEN VAN DE STIJFHEID VAN DE BEKLEDING EN DE ONDERGROND

De elasticiteitsmoduli van het asfalt en de ondergrond worden teruggerekend met een computermodel gebaseerd op de zogenaamde Odemark-Boussinesq methode voor equivalente laagdikten. 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.

Voor het terugrekenen van de stijfheden wordt voor elk meetpunt gebruik gemaakt van de laatste meting tenzij hier een meetfout is opgetreden en de eerste of tweede meting wel een betrouwbaar deflectieprofiel levert. Een voorbeeld van een gemeten en teruggerekend deflectieprofiel is gegeven in Figuur 4-4.

FIGUUR 4-4

GEMETEN EN BEREKEND DEFLECTIEPROFIEL (DEFLECTIE IN μM EN AFSTAND IN MM)

Van elke teruggerekende elasticiteitsmodulus van de toplaag wordt de bijbehorende representatieve asfalttemperatuur berekend met de BELLS-vergelijkingen [Baltzer e.a., 1995]. Dit is het gewogen gemiddelde van de temperatuur over de dikte van de bekleding.

Met behulp van de bepaalde relatie tussen elasticiteitsmodulus en temperatuur wordt de elasticiteitsmodulus genormeerd naar 1 temperatuur. Voor de toetsing met GOLFKLAP worden de VGD-stijfheden genormaliseerd naar 5 graden Celsius en 10 Hz.

Ter controle worden de stijfheden die uit de VGD-metingen zijn bepaald, vergeleken met de stijfheden die in het laboratorium worden bepaald. Deze controle kan op twee momenten plaatsvinden:

- De stijfheden uit de frequency sweeps in de trek-drukopstelling kunnen worden vergeleken met de stijfheden uit de VGD-metingen. De stijfheden die in de trek-drukopstelling zijn bepaald zijn gemeten aan het proefstuk en hebben een hoge nauwkeurigheid.
- Voorafgaand aan de vermoeingsproeven (zie paragraaf 5.3) kan de elasticiteitsmodulus van de proefstukken bij 5 graden Celsius en 10 Hz. worden bepaald. Deze kunnen worden vergeleken met de elasticiteitsmoduli uit de VGD-metingen.

Voor het vergelijken van de stijfheden geldt dat de stijfheid uit de valgewichtmeting moet worden vergeleken met de stijfheid van het proefstuk dat uit hetzelfde meetpunt afkomstig is. De kernen zijn immers exact op VGD-meetpunten geboord. De te vergelijken stijfheden moeten eerst met HUSAROAD of een vergelijkbare methode worden genormeerd naar eenzelfde temperatuur en frequentie voordat ze met elkaar kunnen worden vergeleken. Controle van de stijfheden vindt gelijktijdig plaats met controle van de radarlaagdikte. Dit vindt plaats nadat de kernen voor het vermoeingsonderzoek zijn geboord (zie paragraaf 5.2 en 5.3).

Uit de stijfheid van de onderlaag wordt de beddingsconstante bepaald met de volgende formule (uit [Verruit,1983]):

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

Hierin is:

- c beddingsconstante (MPa/m)
- E elasticiteitsmodulus van de ondergrond (MPa)
- a straal van de belaste plaat (m)
- n 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 van de belaste plaat 0,15 m + de laagdikte. De genoemde plaat is de voetplaat van het valgewicht. Deze heeft een diameter van 0,30 m.

4.7 RESULTATEN ACTIVITEITEN

4.7.1 BEPALEN VAN REK OP BASIS VAN HET DEFLECTIEPROFIEL

Het bepalen van de rek op basis van het deflectieprofiel resulteert in een naar 5 graden Celsius genormaliseerde rek van de asfaltbekleding voor elk VGD-meetpunt.

4.7.2 BEPALEN VAN DE BOORLOCATIES VOOR VERMOEIINGSONDERZOEK

Het bepalen van boorlocaties voor vermoeiingsonderzoek resulteert in het volgende:

- Overzicht van percentiepunten van de rek en boorlocaties per dijkgedeelte
- Boorplan

4.7.3 BOREN VAN KERNEN UIT DE BEKLEDING

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

- Laagdikten van de kernen ten behoeve van het ijken van het radarsignaal
- Proefstukken voor het uitvoeren van frequency sweeps
- Proefstukken voor het uitvoeren van breuksterkte- en vermoeiingsonderzoek (zie hoofdstuk 5)

4.7.4 UITVOEREN VAN FREQUENCY SWEEPS EN OPSTELLEN VAN MASTERCURVES

Het uitvoeren van frequency sweeps resulteert voor elk proefstuk in het volgende:

- Onderzoeksplan frequency sweeps
- Elasticiteitsmoduli en fasehoeken van het asfalt bij de beproefde temperaturen en frequenties

Het opstellen van de mastercurves resulteert in het volgende:

- Relatie tussen elasticiteitsmodus (E) en frequentie (f) voor elk proefstuk
- Relatie tussen elasticiteitsmodus (E) en temperatuur (T) voor elk proefstuk
- Representatieve relatie tussen elasticiteitsmodus (E) en temperatuur (T) voor elk bestek

4.7.5 BEPALEN VAN DE STIJFHEID VAN DE BEKLEDING EN ONDERGROND

Het bepalen van de stijfheid resulteert in de volgende producten:

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

5

UITVOEREN BREUKSTERKTE- EN VERMOEIINGSONDERZOEK

5.1 ALGEMEEN

Het breuksterkte- en vermoeiingsonderzoek wordt uitgevoerd op proefstukken afkomstig van locaties die zijn geselecteerd op basis van de rek in de bekleding. De volgende werkzaamheden worden bij dit onderdeel van de beoordeling uitgevoerd:

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

In de onderstaande paragrafen worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt. Voor een gedetailleerde beschrijving van beide proeven wordt verwezen naar de proefvoorschriften voor waterrbouwasfaltbeton deel 1 en 2 [STOWA, 2011a] en [STOWA, 2011b].

5.2 BOREN VAN KERNEN UIT DE BEKLEDING

Op basis van de rekken in de bekleding zijn de locaties voor het boren van kernen voor het vermoeiingsonderzoek vastgelegd. De 8 kernen moeten exact op de locaties worden geboord waar ook de VGD-metingen zijn uitgevoerd. Hiertoe zijn de VGD-meetpunten op de bekleding gemarkeerd.

Voor het boren van de kernen moeten de locaties van de VGD-metingen exact worden teruggezocht. De diameter van de kernen bedraagt 250 mm. Als een kern bij het boren uiteenvalt, dient voor die kern op de reserve-lokatie behorende bij het percentielpunt van de uiteengevalen kern, een substituuat te worden geboord. Op deze manier worden ten minste 8 boorkernen verkregen.

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. De laagdikte wordt vergeleken met de met grondradar bepaalde laagdikte op deze locaties. Op deze wijze wordt achteraf een indicatie verkregen van de nauwkeurigheid van de laagdikte die met de GPR-metingen is verkregen. Eventuele verschillen worden gerapporteerd.

5.3 UITVOEREN VAN BREUKSTERKTE- EN VERMOEIINGSPROEVEN

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

Uit de onderzijde van elke kern wordt een schijf gezaagd waaruit 2 balkvormige proefstukken worden gezaagd van 225 x 50 x 50 mm. De proefstukken worden gedroogd aan de lucht waarna de dichtheid proefstuk wordt bepaald door middel van meten en wegen.

Voor het onderzoek zijn 16 balkjes uit 8 kernen beschikbaar. Per kern wordt in de driepuntsbuigopstelling eenmaal de breuksterkte bepaald en wordt 1 vermoeiingsproef uitgevoerd. De breuksterkte wordt bepaald bij een temperatuur van 5 graden Celsius en een verplaatsingsnelheid van 0,35 mm/s

Het krachtniveau van de vermoeiingsproeven wordt bepaald op basis van de breuksterkte van de tweelingbalkjes. Hiervoor wordt de volgende procedure gevolgd:

- De balkjes voor de vermoeiingsproeven worden gesorteerd en genummerd op basis van de breuksterkte van de tweelingbalkjes waarbij het balkje met de hoogste breuksterkte nummer 1 krijgt en het balkje met de laagste breuksterkte (in het geval van 8 vermoeiingsproeven) nummer 8.
- De op te leggen kracht tijdens de vermoeiingsproef wordt vastgesteld door het krachtniveau bij breuk van het tweelingbalkje te vermenigvuldigen met de factor zoals aangegeven in Tabel 5-1.

TABEL 5-1

FACTOREN VOOR HET VASTSTELLEN VAN DE KRACHTNIVEAUS VAN DE VERMOEIINGSPROEVEN

Volgorde breuksterkte	Factor
1	0,47 - 0,60
2	0,25 - 0,35
3	0,35 - 0,47
4	0,60 - 0,70
5	0,60 - 0,70
6	0,35 - 0,47
7	0,25 - 0,35
8	0,47 - 0,60

In de tabel is een bereik in de factoren opgegeven om de proefnemer naar inzicht en ervaring een keuze te laten maken.

Voorafgaand aan de vermoeiingsproeven kan de elasticiteitsmodulus van de proefstukken bij 5 graden Celsius en 10 Hz. worden bepaald. Deze worden gebruikt ter controle van de elasticiteitsmoduli uit de VGD-metingen. De controle van de elasticiteitsmoduli uit de VGD-metingen kan ook worden uitgevoerd met de resultaten van de frequency sweeps. Zie ook paragraaf 4.5. Als er geen frequency sweeps zijn uitgevoerd, is het bepalen van de elasticiteitsmodulus van de proefstukken in de driepuntsbuigopstelling noodzakelijk.

De controle van de stijfheden vindt gelijktijdig plaats met de controle van de radarlaagdikte. Zie hiervoor ook paragraaf 5.2.

Ter onderbouwing van de resultaten van de sterkteproeven wordt op de zaagrestanten van elke kern een standaardonderzoek uitgevoerd. Het proeven die worden uitgevoerd voor het standaardonderzoek worden uitgevoerd volgens [RAW, 2010] en Europese normen. De van toepassing zijnde RAW proef of Europese norm is tussen haakjes achter elke eigenschap weer gegeven. 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 11.1)
- 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)

5.4 OPSTELLEN VAN VERMOEIINGSLIJNEN

5.4.1 KEUZE VAN DE VERMOEIINGSLIJN

Voor asfalt dijkbekledingen is er een model ontwikkeld om het vermoeiingsgedrag van waterbouwasfaltbeton te karakteriseren. Het vermoeiingsgedrag wordt beschreven door een gekromde lijn die de breuksterkte en het maximaal aantal lastherhalingen bij een spanning beschrijft. In paragraaf 5.4.2 is aangegeven hoe de gekromde vermoeiingslijn kan worden bepaald.

5.4.2 GEKROMDE VERMOEIINGSLIJN

Door het vermoeiingsonderzoek zijn voor elke kern gepaarde waarnemingen beschikbaar gekomen van de breuksterkte 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 breuksterkte (σ_b) en opgelegde spanning (σ_o) luidt:

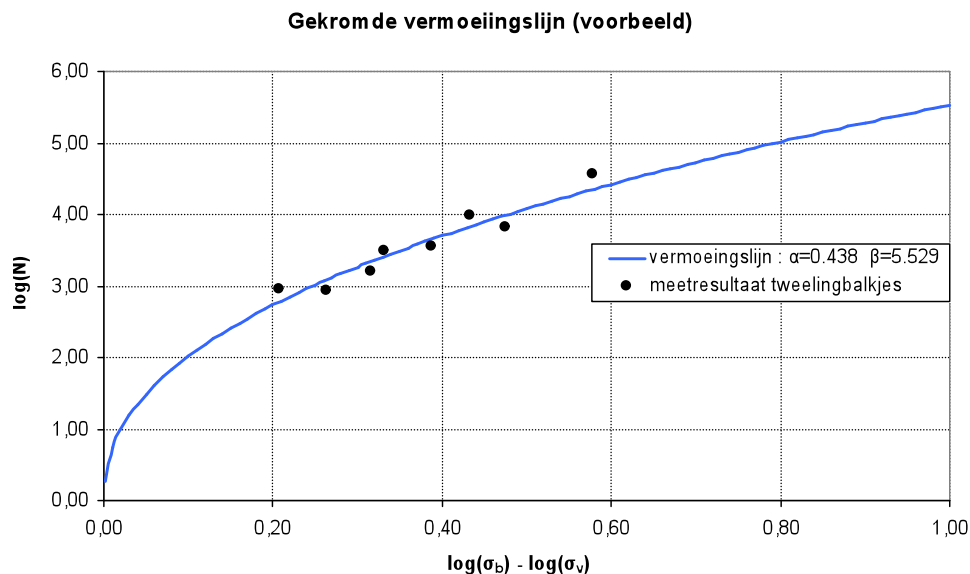
$$\log(N) = \beta(\log(\sigma_b) - \log(\sigma_o))^\alpha \quad (8)$$

Hierin zijn α en β materiaalparameters.

Voor het opstellen van de vermoeiingslijn wordt gebruikt van het MS-Excel-sjabloon: grafiekenmaker karakteristieke vermoeiingslijn. De handleiding hiervan is opgenomen in bijlage 3. Voor de laatste versie hiervan en de bijbehorende handleiding wordt verwezen naar www.helpdeskwater.nl

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

FIGUUR 5-1 VOORBEELD VAN EEN GEMIDDELDE EN KARAKTERISTIEKE VERMOEIINGSLIJN



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

De breuksterkte wordt bepaald 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 paragraaf 3.5 uit [STOWA, 2010]
- bepaal $\sigma_{b,5\%}$

5.5 RESULTATEN ACTIVITEITEN

5.5.1 BOREN VAN KERNEN UIT DE BEKLEDING

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

- Kernen met een diameter van 250 mm (8 per bestek)
- Laagdikte per kern

5.5.2 UITVOEREN VAN BREUKSTERKTE- EN VERMOEIINGSPROEVEN

Het uitvoeren van vermoeiingsproeven resulteert in het volgende:

- Onderzoeksplan breuksterkte- en vermoeiingsonderzoek
- Proefstukken voor breuksterkte- en vermoeiingsonderzoek
- Dichtheid proefstuk van de balkjes
- Elasticiteitsmodulus bij 5 graden en 10 Hz van elk balkje onderworpen aan de vermoeiingsproef.
- Breuksterkte van elk beproefd balkje van elk balkje onderworpen aan de breuksterkteproef.
- De opgelegde spanning en het aantal lastherhalingen bij bezwijken voor elk beproefd balkje onderworpen aan een vermoeiingsproef.
- Per vermoeiingsproef een grafiek waarbij de permanente rek, de fasehoek en de elasticiteitsmodulus zijn uitgezet tegen het aantal lastherhalingen.

- Per breuksterkteproef een grafiek waarbij de verplaatsing is uitgezet tegen de opgelegde spanning.
- Resultaten standaardonderzoek:
 - Korrelfracties mineraalaggregaat
 - bitumenpercentage
 - Dichtheid proefstuk en dichtheid mengsel
 - Holle ruimte
 - Bitumeneigenschappen

5.5.3 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 breuksterkte

6

TOETSING MET GOLFKLAP

6.1 OMSCHRIJVING VAN DE ACTIVITEITEN

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

- Indien nodig, aanpassen van de dijkvakindeling
- Normeren van de stijfheden naar 5 graden en 10 Hz.
- Bepalen van karakteristieke materiaalparameters per dijkvak
- Bepalen hydraulische randvoorwaarden per dijkvak
- Uitvoeren berekeningen met GOLFKLAP
- Opstellen rapportage

Hieronder worden de hierboven beschreven activiteiten nader uitgewerkt.

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

De uit de resultaten van de VGD-metingen teruggerekende stijfheden worden met HUSAROAD genormeerd naar 5 graden Celsius en 10 Hz. Per dijkvak wordt met de cumulatieve frequentiemethode een karakteristieke elasticiteitsmodulus ($E_{95\%}$) bepaald.

De beddingsconstante van de ondergrond wordt 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.

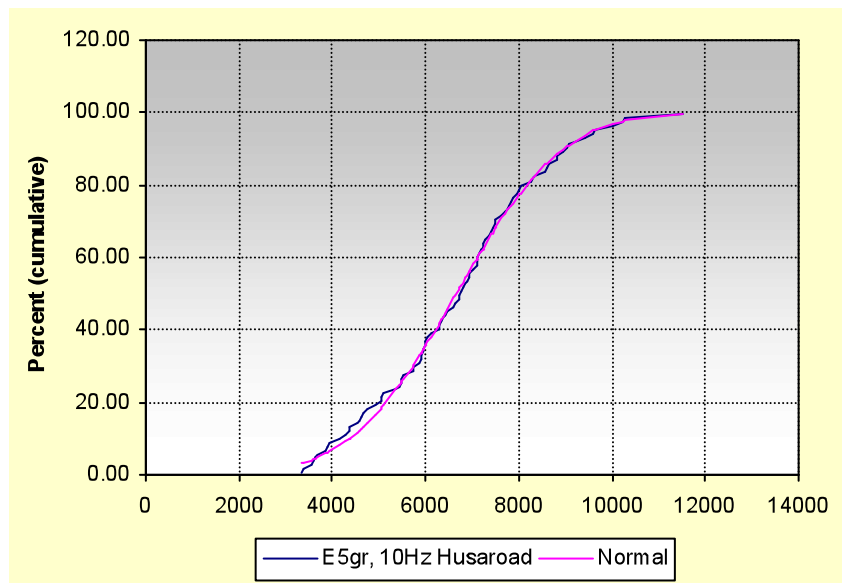
Op basis van de laagdikten uit de radarmetingen wordt met de cumulatieve frequentiemethode een karakteristieke laagdikte ($d_{5\%}$) bepaald. Een voorbeeld van het bepalen van karakteristieke waarden met de cumulatieve frequentiemethode is gegeven in Figuur 6-1.

Op basis van de breuksterkteproeven wordt, uitgaande van een normale verdeling van de logaritme van de breuksterkte, de karakteristieke breuksterkte ($\log(\sigma_b)_{5\%}$) bepaald. De vermoeingsparameters 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 GOLFKLAP [KOAC-NPC/IKM, 2009]. Per dijkvak wordt een minersom bepaald.

FIGUUR 6-1

WEERGAVE VAN DE ELASTICITEITSMODULI (BIJ 5 GRADEN CELSIUS EN 10 HZ.) VAN 1 VAK IN EEN CUMULATIEF FREQUENTIEHISTOGRAM. DE KARAKTERISTIEKE WAARDE ($E_{95\%}$) KAN IN DE GRAFIEK WORDEN AFGELEZEN



6.2 RESULTATEN ACTIVITEITEN

Het uitvoeren van de beoordeling met GOLFKLAP resulteert in het volgende:

- Dijkvakindeling
 - Karakteristieke materiaalparameters (invoer voor berekeningen met GOLFKLAP):
 - Laagdikte ($d_{5\%}$)
 - Elasticiteitsmodulus ($E_{95\%}$)
 - Beddingsconstante ($c_{5\%}$)
 - Breuksterkte ($b_{5\%}$)
 - Vermoeiingsparameters (en)
- Set hydraulische randvoorwaarden (invoer voor berekeningen met GOLFKLAP):
 - 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 GOLFKLAP)

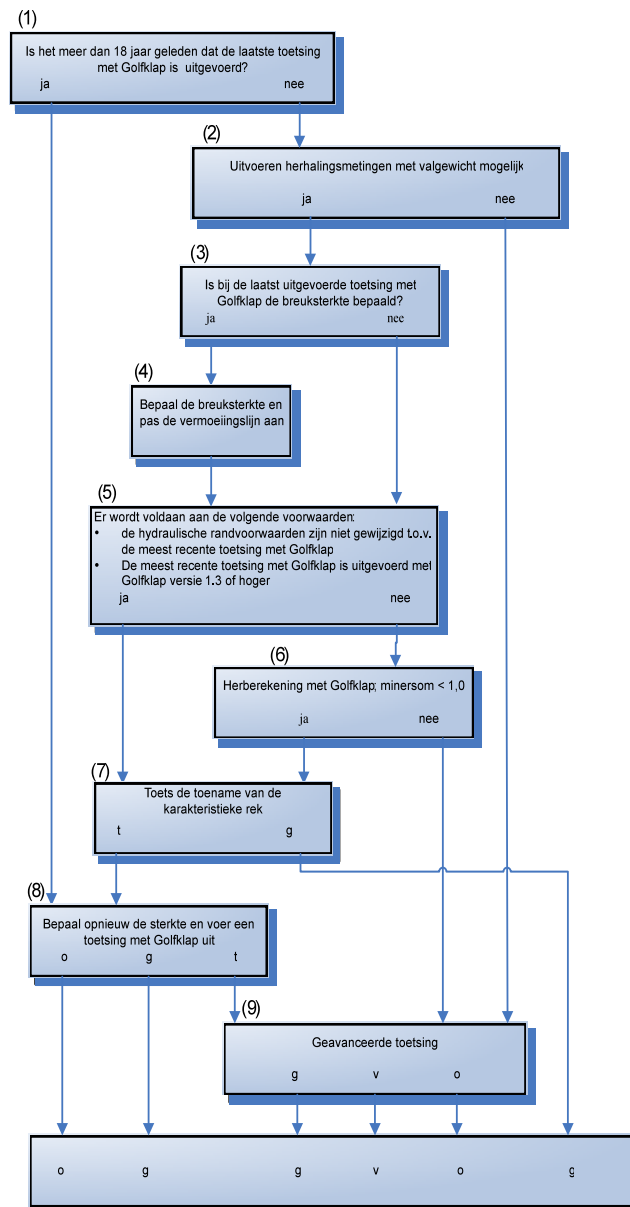
7

PROCEDURE HERHALINGSMETINGEN

Van asfaltbekledingen waar eenmaal een gedetailleerde toetsing met GOLFKLAP inclusief valgewicht-deflectiemetingen is uitgevoerd, moet elke 6 jaar worden nagegaan of de sterkte van het asfalt niet achteruit is gegaan. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van valgewicht-deflectiemetingen. Uit de gemeten deflectieprofielen wordt de rek berekend en deze wordt vergeleken met de rek die is bepaald uit de deflectieprofielen tijdens het uitvoeren van de meest recente gedetailleerde toetsing op golfklap. De procedure is schematisch weergegeven in Figuur 7-1.

FIGUUR 7-1

STROOMSCHEMA HERHALINGSMETINGEN



TOELICHTING BIJ FIGUUR 7-1

(1)

Ga na wanneer voor het laatst een toetsing met GOLFKLAP is uitgevoerd. Heeft dit meer dan 18 jaar geleden plaatsgevonden, dan dient de hieronder beschreven procedure verder niet te worden gevolgd maar moet opnieuw een volledige toetsing met GOLFKLAP plaatsvinden. Werd de laatste gedetailleerde toetsing 18 jaar geleden of recenter uitgevoerd, ga dan verder met stap 2.

(2)

In enkele gevallen is het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen niet mogelijk. Concrete voorbeelden hiervan zijn:

- Bij enkele asfaltbekledingen is het uitvoeren van herhalingsmetingen zeer moeilijk of onmogelijk vanwege de aanwezigheid van grote hoeveelheden zand op de bekleding. Ditzelfde geldt enkele aansluitingsconstructies op duinen die diep onder het zand liggen.
- Op enkele asfaltbekledingen kunnen geen VGD-metingen worden uitgevoerd omdat het talud niet voor meetvoertuigen bereikbaar is en/of omdat het talud te steil is.

In deze gevallen wordt een geavanceerde toetsing uitgevoerd (stap 9). Als er wel valgewicht-deflectiemetingen op de bekleding kunnen worden uitgevoerd, ga dan verder met stap 3.

(3)

Ga na of bij de laatst uitgevoerde toetsing met GOLFKLAP de breuksterkte is bepaald en of deze is gebruikt bij het opstellen van de vermoeiingslijn. Is dit het geval, ga dan verder met stap 5, zo niet, ga verder met stap 4.

(4)

Bepaal de breuksterkte en pas de vermoeiingslijn aan. Volg hierbij de volgende procedure:

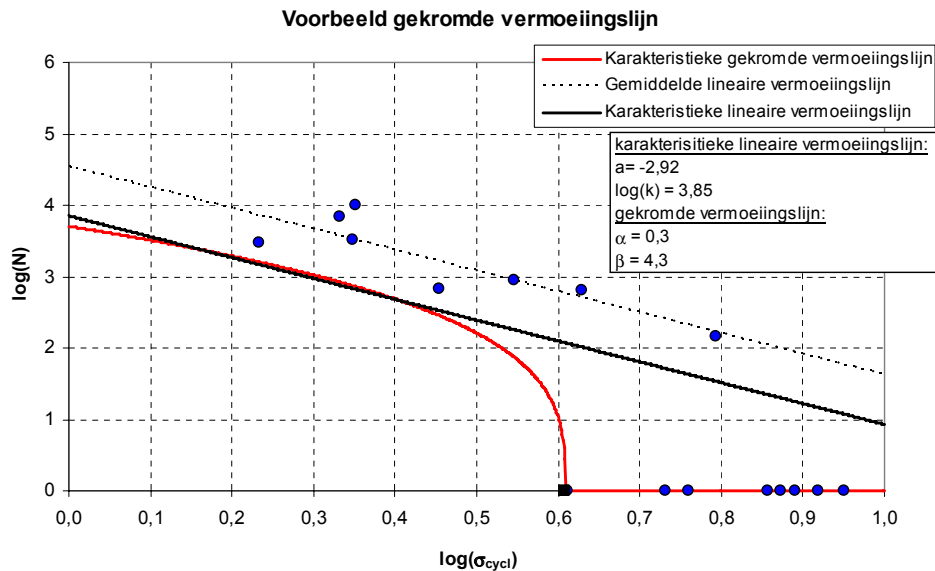
- Neem per locatie waarvoor bij de laatst uitgevoerde toetsing met GOLFKLAP één vermoeiingslijn is bepaald 8 boorkernen uit de bekleding met een diameter van 250 mm. Deze locatie kan zowel een dijkgedeelte zijn die onder één bestek is aangelegd, als een dijkgedeelte dat onder meerdere bestekken zijn aangelegd maar op basis van samenstelling een leeftijd zijn gegroepeerd.
- Bepaal in de driepuntsbuig-opstelling de breuksterkte (bij 5 graden Celsius en een verplaatsingssnelheid van 0,35 mm/s) op proefstukken uit de onderzijde van de bekleding. Een beschrijving van de driepuntsbuig-proef is gegeven in een proefomschrijving die als bijlage bij het addendum op het Technisch rapport asfalt voor waterkeren beschikbaar wordt gesteld via de site van de helpdesk water [KOAC • NPC, 2010-2].
- Bepaal de karakteristieke waarde voor de logaritme van de breuksterkte (de waarde die door 5% van de waarnemingen wordt onderschreden, uitgaande van een normale verdeling, zie paragraaf 5.4.2).
- Ga bij het opstellen van de gekromde vermoeiingslijn als volgt te werk:
 - a. Gebruik als referentie de karakteristieke lineaire vermoeiingslijn, zie [TAW, 2002]. Bepaal de afstand van het dichtst bij deze lijn gelegen punt tot de lijn (loodrecht op de lijn gemeten). NB. als er een punt onder de karakteristieke lijn ligt, dan is dit een uitbijter en dient deze niet te worden gebruikt.
 - b. Voor het opstellen van de gekromde vermoeiingslijn wordt de formule uit paragraaf 5.4.2 gebruikt. Als invoerwaarde voor de breuksterkte wordt de karakteristieke breuksterkte gebruikt die is bepaald zoals hierboven aangegeven.

Kies α en β zodanig dat de afstand van het dichtst bij gelegen punt tot de gekromde vermoeiingslijn hetzelfde is als de de onder punt a. bepaalde afstand en dat de kromme zo goed

mogelijk aansluit bij de meetwaarden verkregen uit de vermoeiingsproeven met de opgelegde spanningen kleiner dan de breuksterkte. Als aanvangswaarde wordt $\alpha = 0,4$ gekozen. Voor α worden de volgende grenzen gehanteerd: $0,25 \leq \alpha \leq 0,6$. In Figuur 7-2 is een voorbeeld uitgewerkt. Bij twijfel moet contact worden opgenomen met de Helpdesk Water www.helpdeskwater.nl

Ga vervolgens verder met stap 5.

FIGUUR 7-2 VOORBEELD VAN EEN GEKROMDE VERMOEIINGSLIJN, GESCHAT OP BASIS VAN EEN KARAKTERISTIEKE BREUKSTERKTE EN DE LIGGING VAN DE OUDE VERMOEIINGSLIJN



(5)

Controleer de berekening die bij de meest recente toetsing met GOLFKLAP is uitgevoerd op de volgende punten:

- Ga na of de hydraulische randvoorwaarden inmiddels zijn veranderd. Is dit het geval dan moet de minersom opnieuw worden berekend (stap 6).
- Ga na welke versie van GOLFKLAP is gebruikt bij de meest recente gedetailleerde beoordeling. Indien dit niet is uitgevoerd met versie 1.3 of hoger van GOLFKLAP dan moet het resultaat opnieuw worden berekend met de nieuwste versie (stap 6). Voor de nieuwste versie van GOLFKLAP wordt verwezen naar www.helpdeskwater.nl.

Als de hydraulische randvoorwaarden niet zijn gewijzigd en als versie 1.3 of hoger van GOLFKLAP werd gebruikt bij de meest recente toetsing met GOLFKLAP, ga dan verder met stap 7. Wordt niet aan deze voorwaarden voldaan, ga dan verder met stap 6.

(6)

Voer een herberekening uit met GOLFKLAP met de aangepaste hydraulische randvoorwaarden en/of met de meest recente versie van GOLFKLAP.

Als in stap 4 een de breuksterkte en een aangepaste vermoeiingslijn zijn bepaald, moeten deze gegevens worden gebruikt bij de herberekening. De resulterende minersom wordt dus berekend bij de vigerende hydraulische randvoorwaarden met versie 1.3 van GOLFKLAP of hoger. Deze minersom wordt gebruikt bij raadpleging van Tabel 7-1 (stap 7).

Als een herberekening leidt tot een minersom ≥ 1 , ga dan verder met een geavanceerde toetsing, stap 9. Als de minersom na herberekening kleiner is dan 1, ga dan verder met stap 7.

(7)

Voer valgewicht-deflectiemetingen uit over 1 meetraai met een maximale hart op hart afstand van 50 m. Markeer de locatie van alle vgd-meetpunten met een verfstip. Bepaal de ligging van de meetraai op grond van de volgende argumenten:

- De meetraai moet liggen in de door golven zwaarst aangevallen zone.
- De meetraai dient zo mogelijk overeen te komen met een meetraai van de meest recente toetsing met GOLFKLAP.

Per dijkvak dienen minimaal 20 punten te worden gemeten. In voorkomende gevallen moet de hart-op-hart-afstand van de metingen worden verkleind om het minimum aantal van 20 meetpunten te verkrijgen.

Toets de toename van de karakteristieke rek en volg hiervoor de volgende procedure:

- Normmeer gemeten deflecties naar 5 graden Celsius met de in paragraaf 4.2 genoemde methode.
- Bepaal de maatgevende rek per meetpunt op basis van de resultaten van de genormeerde deflecties.
- Bepaal de gemiddelde waarde en een karakteristieke bovengrens voor de maatgevende rek (waarde die door 95% van de waarnemingen wordt onderschreden) per dijkvak met behulp van de cumulatieve frequentieverdeling.
- Indien de karakteristieke waarde voor de maatgevende rek niet is bepaald bij de laatst uitgevoerde gedetailleerde toetsing met GOLFKLAP, moeten de drie hiervoor genoemde bewerkingen ook op de indertijd verkregen meetdata worden toegepast. Als er bij een in het verleden uitgevoerde toetsing met GOLFKLAP in 2 raaien is gemeten, wordt alleen de meetraai gebruikt die een vergelijkbare ligging heeft als de meetraai van de herhalingsmetingen.
- Bereken de toename van de karakteristieke bovengrens van de maatgevende rek per vak. Vergelijk de rek die is bepaald op basis van de herhalingsmetingen met de rek die is bepaald op basis van de metingen die zijn uitgevoerd bij de meest recente gedetailleerde toetsing met GOLFKLAP.
- Bepaal of de absolute toename van de rek kleiner is dan, of gelijk is aan $15 \mu\text{m}/\text{m}$. Is dit het geval en is de met GOLFKLAP berekende minersom kleiner dan 1 dan is de score 'goed'.
- Als de toename van de rek groter is dan $15 \mu\text{m}/\text{m}$ dan wordt op basis van de matrix in Tabel 7-1 wordt beslist of opnieuw de sterkte in het laboratorium moet worden bepaald. Is de score 'twijfelachtig' dan wordt vervolgd met stap 8. Zo niet, dan is de eindscore bij de beoordeling op Golfklap AGK 'goed'. Voorwaarde is dat aangetast oppervlak geen aanleiding geeft tot nader onderzoek (zie hiervoor het beoordelingsschema Golfklap AGK in het VTV).

TABEL 7-1 GRENZEN VOOR TOETSING VAN DE TOENAME VAN DE REK [KOAC•NPC, 2010]

Minersom	Toename karakteristieke bovengrens rek		
	10-20%	20-25%	>25%
$M < 0,1$	goed	goed	twijfelachtig
$0,1 \leq M \leq 0,5$	goed	twijfelachtig	twijfelachtig
$0,5 < M < 1$	twijfelachtig	twijfelachtig	twijfelachtig

(8)

Als de score op basis van de toename van de karakteristieke bovengrens van de rek 'twijfelachtig' is, moet opnieuw de sterkte van de bekleding worden bepaald en getoetst met GOLFKLAP. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de resultaten van de herhalingsmetingen. De volgende procedure wordt gevolgd:

- Voer grondradarmetingen uit zoals beschreven in paragraaf 3.3
- Bepaal de boorlocaties voor het vermoeiingsonderzoek. Zie hiervoor paragraaf 4.3. Boor op deze locaties 8 kernen met een diameter van 250 mm uit de bekleding. Deze stap kan geheel of gedeeltelijk worden gecombineerd met de hier opvolgende stap.
- Boor kernen uit de bekleding voor het ijken van het radarsignaal. Zie verder paragraaf 4.4.
- Bepaal per VGD-meetpunt de stijfheid van de bekleding en de ondergrond bij 5 graden Celsius en 10 Hz. zoals beschreven in paragraaf 4.6.
- Bepaal de breuksterkte en de vermoeiingslijn.
- Toets de bekleding met GOLFKLAP zoals beschreven in hoofdstuk 6. Bij een minersom kleiner dan 1 is de eindscore voor de toetsing op golfklappen 'goed'. Bij een minersom groter dan 5 is de eindscore voor de toetsing op golfklappen 'onvoldoende'. Bij een minersom tussen de 1 en 5 wordt een geavanceerde toetsing uitgevoerd (stap 9).

(9)

Er kunnen verschillende oorzaken zijn waarom een geavanceerde toetsing moet worden uitgevoerd. Als een toetsing met GOLFKLAP niet leidt tot een eindscore, is een geavanceerde toetsing noodzakelijk. Hiervoor moet contact worden opgenomen met specialisten. De nadruk zal in het algemeen liggen bij gegevensverzameling, waarbij ook geavanceerde meetmethodes kunnen worden gebruikt. De belangrijkste parameters in dit stadium zijn de sterkte (vermoeiingssterkte en breuksterkte), de stijfheid en de laagdikte van de bovenlaag en de beddingconstante van de ondergrond. Ook een faalkansanalyse kan onderdeel uitmaken van een geavanceerde toetsing. Bij een faalkansanalyse wordt op basis van de spreiding in de relevante materiaalparameters een overschrijdingskans van de Minersom bij een gegeven belastingniveau bepaald.

Het niet kunnen uitvoeren van herhalingsmetingen leidt eveneens tot een geavanceerde toetsing. In deze gevallen moet een toetsing op maat worden uitgevoerd. Hierbij kan worden gedacht aan het bepalen van de sterkte en stijfheid in het laboratorium en het periodiek monitoren van de breuksterkte met driepuntsbuigproeven.

8

VASTLEGGEN VAN DE GEGEVENS

Alle uit het veld verkregen informatie wordt gekoppeld aan een vaste metrerings, 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:

- Alle rapportages in PDF-formaat. Dit betreft in het algemeen 7 rapporten:
 - Rapportage voorstudie
 - Meetplan
 - Onderzoeksplan frequency sweeps
 - Analyse data veldmetingen
 - Onderzoeksplan vermoeiingsonderzoek
 - Rapportage laboratoriumonderzoek
 - Beoordeling op golfklappen
- Laagdikten uit de radarmetingen in XLS-formaat
- Ruwe data valgewichtdeflectiemetingen in MDB-formaat (MS-Access database bestand) of een vergelijkbaar uniform bestandsformaat.

9

REFERENTIES

[Baltzer e.a., 1995]

Baltzer, S.; Ertman-Larson, H.J.; Lukanen, E.O.; and Stubstad, R.N. "Prediction of AC Mat 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.

[CROW, 1995]

Deflectieprofiel geen valkuil meer, meet- en interpretatiemethodiek valgewichtdeflectiemetingen, publikatie 92, C.R.O.W., Ede, augustus 1995

[DWW, 2005]

Veiligheidsrapport van asfaltdijkbekledingen – achtergrondrapport bij het toetsen van asfaltdijkbekledingen volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV), Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, november 2005.

[KOAC-NPC/IKM, 2009]

Gebruikershandleiding GOLFKLAP 1.3, Loeff, A.K. de, e.a., projectnummer 0801440, KOAC-NPC/IKM-Engineering, Nieuwegein, maart 2004.

[KOAC-NPC, 2009-1]

Blanken, A. e.a., Vervolgonderzoek monitoringsprogramma en validatie/verbetering van huidige beoordeling op golfklappen, e0800644-2, KOAC-NPC, Nieuwegein, maart 2009.

[KOAC•NPC, 2010]

Evaluatie interpretatie naar aanleiding van de nieuwe methode voor de temperatuurcorrecties (e1000057-3), KOAC•NPC, Nieuwegein, mei 2010

[RAW, 2010]

Standaard RAW bepalingen, CROW, Ede, 2011

[STOWA, 2010]

State of the art asfaltdijkbekledingen, Stichting Toegepast Onderzoek WATERbeheer, Amersfoort, December 2010

[STOWA, 2011a]

Beproevingmethoden voor waterbouwasfaltbeton - Deel 1: Bepaling van de vermoeiingseigenschap van waterbouwasfaltbeton

[STOWA, 2011b]

Beproevingmethoden voor waterbouwasfaltbeton - Deel 2: Bepaling van de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton

[STOWA, 2011e]

Beproevingmethoden voor waterbouwasfaltbeton - Deel 5: Boren van kernen uit een waterbouw-asfaltbetonbekleding

[TAW, 2002]

Technisch rapport Asphalt voor Waterkeren, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, november 2002.

Addendum toevoegen?

[Verruit, 1983]

Verruit, A., Grondmechanica, Delftse Uitgevers Maatschappij, Delft, 1983.

[VTV, 2007]

Voorschrift Toetsen op veiligheid primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, september 2007.

LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN EN AFKORTINGEN

SYMBOLEN

a	Straal van de belaste plaat	[m]
a	vermoeiingsparameter van het asfalt	[-]
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	[μ m]
d_t	deflectie bij meettemperatuur	[μ m]
d_5	deflectie bij 5 °C	[μ m]
d_i	deflectie onder belasting van 50 kN gemeten op afstand i mm vanaf het lastcentrum	[μ m]
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]
k	vermoeiingsparameter van het asfalt	[-]
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	[μ m/m]
σ_b	Breuksterkte	[MPa]
v	Dwarscontractiecoëfficiënt	[-]

AFKORTINGEN

BDI	Base Damage Index $d_{300} - d_{600}$ [μm]
BCI	Base Curvature Index $d_{600} - d_{900}$ [μm]
CROW Wegenbouw	Stichting Centrum voor Regelgeving en onderzoek in de Grond-, Water- en en de Verkeerstechniek
GGA	Gemiddelde getij amplitude [m]
GPR	ground penetrating radar
RAW	Rationalisatie en Automatisering Wegenbouw
SCI ₃₀₀	Surface Curvature Index $d_0 - d_{300}$ [μm]
SCI ₆₀₀	Surface Curvature Index $d_0 - d_{600}$ [μm]
TNF	temperatuurnormalisatiefactor
TNF _t	temperatuurnormalisatiefactor van de meettemperatuur
TNF ₅	temperatuurnormalisatiefactor bij een temperatuur van 5 °C
VGD	valgewicht-deflectiemeting

BIJLAGEN

BIJLAGE 1: GEDETAILLEERD PLAN WERKBESCHRIJVING

BIJLAGE 2: ONDERZOEKSPAN CYCLISCHE PROEF IN TREK-DRUKOPSTELLING

BIJLAGE 3: HANDLEIDING GRAFIEKENMAKER

GEDETAILEERD PLAN WERKBESCHRIJVING
BIJLAGE 1

ONDERDEEL 1: VOORBEREIDINGEN

Activiteit	N/O*	Conditie	Resulterende parameters	Product van de activiteit
Verzamelen basisinformatie	N			Locatiegegevens (dijkkring, 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 meettraaien, 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 oppervlakte-temperatuur	N	asfalttemperatuur (0<T<20 gr. 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] Oppervlakte-temperatuur [gr. 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 [gr. C.]	Registratie van asfalttemperatuur elke 2 uur
Uitvoeren radarmetingen	N	Stapvoets (max. 10 km/u) Geen (grote hoeveelheden) zout in het te onderzoeken medium Minimaal elke 20 cm een meetpunt	Reistijd [ns]	Meetbestand met reistijden en markeringen bij de vgd-meetpunten
Uitvoeren quick scan radarsignaal	N			Overzicht van locaties gewenste boorkernen
Opstellen boorplan	N			boorplan
Boren kernen uit de bekleding	N	Taludhelling (1:3 of flauwer)		Kernen met een diameter van 75 mm (gemiddeld 1 per km)

* 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 [$\mu\text{m}/\text{m}$]	Excel-bestand met rek per vgd-meetpunt
Bepalen locatie van 8 meetpunten op basis van rek	N			Excel-bestand met cumulatieve frequentieverdelingen en percentielpunten van de rek
Opstellen boorplan	N			Boorplan met locaties voor vermoeingsonderzoek
Metten van de laagdikte aan de kernen	N	4x meten per kern	Gemiddelde laagdikte per kern [mm]	Overzicht met laagdikten per kern
Ijken van het radarsignaal	N		Snelheid [m/ns]	Snelheid voor elke boorkern
Bepalen van de laagdikte	N		Laagdikte [mm]	Rapport over laagdikte Excel-bestand met laagdikte per vgd-meetpunt Excelbestand met laagdikte elk meetpunt
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} [gr. C.]	Excel-bestand met temperatuur in het midden van de bekleding per meetpunt
Uitvoeren frequency sweeps	N/O	5, 12 en 20 gr. C. 0,1 t/m 30 Hz.	E [MPa] Fasehoek [gr.]	Van elke kern series stijfheden en fasehoeken bij 3 temperaturen en een aantal frequenties
Opstellen mastercurves op basis van frequency sweeps	N			Mastercurves, relatie E-T
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 250 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 gr. 10 Hz.	E [MPa], fasehoek [gr.]	
Bepalen breuksterkte	N/O	5 graden, 0,35 mm/s Minimaal 8 proeven	σ_b [MPa]	
Uitvoeren vermoeiingsproeven	N	5 gr. 1 Hz. Minimaal 8 proeven, 4 korte proeven, 4 lange proeven	$\sigma-N_f$ 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 GOLFKLAP

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 GOLFKLAP	N		minersom	Uitvoer GOLFKLAP
Opstellen rapportage	N			Eindrapportage veiligheidsbeoordeling

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

BIJLAGE 2

ONDERZOEKSPAN CYCLISCHE PROEF IN TREK-DRUKOPSTELLING

PROEFSTUKVOORBEREIDING

- 1 Op afmetingen zagen proefstukken, laten drogen en verlijmen:
 - a Diameter kern gebruiken zoals aangeleverd. Desnoods tijdje laten liggen om beter haaks te laten worden;
 - b Weghalen oppervlakte-behandeling en zandasfaltlagen;
 - c Diameter: ± 75 mm;
 - d Hoogte proefstuk: 150 mm; (Dit leidt tot een hoogte/diameter verhouding van 2);
 - e Planparallel;
 - f Verlijmen bevestigingsplaten;

- 2 Voorbereiden te gebruiken meetsysteem. Voorstel te gebruiken meetsysteem:
 - a Opzet meetsysteem zoals gebruikt voor indirecte trekproeven;
 - b MTS-meetopnemers in klein bereik, zodat de verwachte verplaatsingsgrootten van ongeveer 6 μm , goed bruikbaar zijn;
 - c Aantal MTS-meetopnemers: 2;
 - d Verlijmen hoekijzers met gat voor schroefdraad op zijkant proefstuk. Dit betekent het maken van hoekijzers, boren van gaten en het zorgen voor schroefdraad;
 - e Hoekijzers op 180° op de omtrek;
 - f Meetlengte (afstand tussen de hoekijzers) : 100 mm;
 - g. Bevestiging MTS-opnemers op schroefdraad;
 - h. In het systeem een gemiddelde opnemer aanmaken van de twee opnemers.

KARAKTERISERING GEBRUIKTE STUURSYSTEEM:

Voorbereiden te gebruiken stuursysteem. Voorstel te gebruiken stuursysteem:

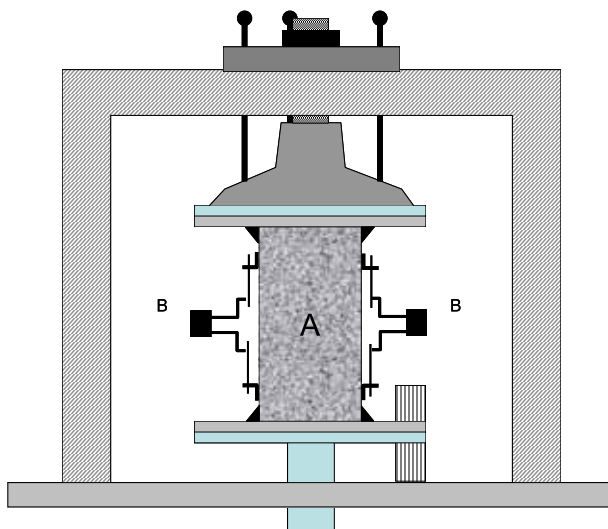
- 1 Er is gebruik gemaakt van krachtsturing, sinusvorming lastsignaal, frequenties (in volgorde): 0.1, 0.5, 1; 2; 5; 10; 15; 20, 25, 30 en 0.1 Hz.
- 2 De afschatkrachten zijn bepaald, gebruik makend van onderstaande tabel.

Freq. Hz.	Amplitude kracht		
	T=5°C	T=12°C	T=20°C
0.5	884	331	166
1	1050	415	208
2	1247	521	261
5	1566	702	351
10	1860	880	440
15	2057	1005	503
20	2209	1104	552
25	2335	1187	594

- 3 Toelaatbare grenswaarden voor de resulterende amplitudes tijdens het meetmoment:
 - Minimaal: 1 mm;
 - Maximaal: 10 mm;
 - Gewenst: 5 mm;
 - Proef afbreken indien groter dan 20 mm;
 - Proef aanpassen indien opnemers uit fase.
- Verdere proefopzet-gegevens:
 Triaxiaalopstelling;
 Beproevingstemperaturen: 5°C, 12°C, 20°C.

FIGUUR 0-1

SCHETS GEBRUIKTE MEET-OPSTELLING



BIJLAGE 3

HANDLEIDING GRAFIEKENMAKER

Voor het bepalen van een gekromde vermoeiingslijn op basis van de resultaten van breuksterkte- en vermoeiingsproeven is een Excel-werkblad beschikbaar. Deze kan worden gevonden op de bijgeleverde cd-rom of op de website van de helpdesk water: www.helpdeskwater.nl. Hieronder is een beknopte toelichting gegeven voor gebruik van het werkblad.

BEPALEN VERMOEIINGSKARAKTERISTIEK TEN BEHOEVE VAN GOLFKLAPBEREKENINGEN, TOELICHTING

De *Grafiekenmaker* bepaalt de vermoeiingskarakteristiek die benodigd is voor de gedetailleerde toetsing van asfaltbekledingen.

Invoerwaarden op het tabblad **analyse** daarbij zijn de resultaten van vermoeiingsproeven en breuksterkte-proeven:

σ_b = De breukspanning [N/m²] bepaald op de ene tweelingbalkje;

σ_o = De opgelegde spanning [N/m²] in de vermoeiingsproef waaraan het andere tweelingbalkje wordt onderworpen;

N = Aantal lastherhalingen [-] tot het bezwijken in de vermoeiingsproef.

De factoren α en β worden verkregen door een lineaire regressie door de meetpunten op dubbel log-log-schaal.

De 5%-onderschrijdingswaarde voor de breuksterkte wordt gebruikt als snijpunt voor de vermoeiingslijn en de x-as.

Voordat regressie uitgevoerd kan worden moet de gegevensanalyse door Excel uitgevoerd kunnen worden. Deze kan worden ingeschakeld door: Extra/Invoegtoepassingen/ToolPak-VBA te selecteren. Hiermee wordt de mogelijkheid tot uitvoeren van regressie geïnstalleerd.

OVER DE OPBOUW VAN HET WERKBLAD

De invoervelden op het tabblad **Invoer** hebben een licht groene achtergrondkleur.

In totaal kunnen 98 gepaarde waarnemingen worden opgegeven.

De grijze knop stuurt de macro aan waarmee de regressie wordt uitgevoerd.

Alleen nadat de regressie is uitgevoerd zijn de figuren in overeenstemming met de ingegeven meetdata. Nieuwe meetpunten worden wel in de grafieken opgenomen, maar de regressielijn wordt, omdat de regressie niet automatisch wordt uitgevoerd, niet volledig aangepast.

Als er in de grafiek al een regressielijn staat, dan wordt bij het uitvoeren van een regressie in een pop-up-venster gevraagd of de oude gegevens mogen worden overschreven.

OVER DE BEVEILIGING VAN HET WERKBLAD

Het werkblad is beveiligd tegen ongewenste veranderingen, maar deze beveiliging is zonder wachtwoord eenvoudig te verwijderen.

De gebruiker is dus vrij om zelf zaken aan het werkblad te wijzigen.

De beveiliging kan worden opgeheven door: Extra/Beveiliging/Beveiliging blad opheffen...

In de Engelstalige versie van Excel door: Tools/Protection/Unprotect sheet...

De macro die gekoppeld is aan de knop "Voer regressie uit" schakelt altijd gelijk de beveiliging weer in.

WERKWIJZE IN STAPPEN

- Voer meetgegevens van tweelingbalkjes in, te beginnen bij de eerste regel van het groene blok B11:D109.
- In de figuur verschijnen automatisch de ingevoerde meetpunten, zodat visueel de invoer kan worden gecontroleerd.
- In de velden B7:G8 kan eventueel een titel o.i.d. worden opgegeven om printjes te kunnen archiveren.
- Voer de regressie uit door de grijze knop “Voer regressie uit” te gebruiken.
- Als de melding “Regressie: het invoerbereik bevat niet-numerieke gegevens.” verschijnt is er een cel zonder getal tussen het eerste en laatste ingevoerde meetresultaat, of een ingevoerde breuksterkte is lager dan de wisselspanning van de vermoeiingsproef. Hiervan verschijnt een melding in cel B9 en de waarde wordt in rood gemarkeerd. Deze waarde moet worden verwijderd, er is teveel inhomogeniteit tussen de proefstukken.
- Wanneer een waarde van de breuksterkte verwijderd is mag deze wel worden meegenomen in de berekening van de 5% waarde van de breuksterkte, dit wordt niet berekend in deze sheet.
- In de velden H3 t/m H5 staan de materiaalkarakteristieken, de invoerparameters voor GOLFKLAP.
- Voor het printen is reeds een gebied geselecteerd, wil men dit veranderen dan moet de beveiliging even worden opgeheven.

DISCLAIMER

De *Grafiekenmaker* is door Deltares en KOAC • NPC in samenwerking met TNO in opdracht van Rijkswaterstaat en STOWA ontwikkeld en is vrij te gebruiken. De gebruiker is verantwoordelijk voor het gebruik ervan, voor de resultaten die hij daarmee genereert en voor het toepassen van deze resultaten. Deltares, KOAC • NPC, TNO, RWS en STOWA zijn niet aansprakelijk voor enigerlei soort schade ontstaan als gevolg van het gebruik van dit werkblad, de daarmee gegenereerde resultaten, en/of de bijbehorende voorbeelden of documentatie.

ONDERSTEUNING

Met vragen kunt u terecht bij de Helpdesk Water (Rijkswaterstaat, Waterdienst):
http://www.helpdeskwater.nl/algemene_onderdelen/stel_een_vraag/

BIJLAGE C

PROEFVOORSCHRIFTEN

WATERBOUWASFALTBETON

INHOUDSOPGAVE

- Deel 1: Proefbeschrijving voor het bepalen van de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton.
- Deel 2: Proefbeschrijving voor het bepalen van de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton.
- Deel 3: Proefbeschrijving voor het bepalen van de elasticiteitsmodulus van waterbouwasfaltbeton.
- Deel 4: Beschrijving voor het zagen van proefstukken uit een waterbouwasfaltbeton boorkern.
- Deel 5: Beschrijving voor het boren van kernen uit een waterbouwasfaltbetonbekleding.

STATUS

De toetsbeschrijvingen in deze bijlage C beschrijven de “state of the art” kennis. Het is de wijze waarop tot op heden de betreffende proeven worden uitgevoerd. Als zodanig zijn zij beoordeeld en goedgekeurd door de Klankbordgroep Asfaltbekledingen (KGA). De beschrijvingen zijn niet vastgesteld in het kader van het Wettelijk Toets Instrumentarium (WTI) en maken dan ook geen deel uit van de wettelijke toetsvoorschriften voor primaire waterkeringen. Ook zijn de beschrijvingen niet vastgesteld door het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) als onderdeel van een leidraad of technisch rapport.

PROEFVOORSCHRIFT

WATERBOUWASFALTBETON

Waterbouwasfaltbeton - Beproevingmethoden voor waterbouwasfaltbeton
- Deel 1: Bepaling van de vermoeiingseigenschap van waterbouwasfaltbeton

januari 2011

PROEFVOORSCHRIFT
WATERBOUWASFALTBETON
DEEL 1

KOAC • NPC in opdracht van STOWA

INHOUDSOPGAVE

1	VOORWOORD	104
2	PRINCIPE VAN DE PROEF	104
3	TERMINOLOGIE	105
4	TOESTELLEN EN HULPMIDDELEN	108
5	PROEFSTUKKEN	111
6	BESCHRIJVING VAN DE PROEF	113
7	VERWERKING VAN MEETGEGEVENS	118
8	RAPPORTAGE	119
9	LITERATUURLIJST	119

1 VOORWOORD

Dit proefvoorschrift is een voorschrift voor het bepalen van de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton met de driepuntsbuigproef. Het doel van de proef is de weerstand tegen vermoeiing te bepalen, onder een sinusvormige belasting met constante amplitude. Dit proefvoorschrift is het eerste deel van een serie (proef)voorschriften van proeven die worden uitgevoerd op waterbouwasfaltbeton. De andere (proef)voorschriften zijn:

Deel 2: Proefvoorschrift voor het bepalen van de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton.

Deel 3: Proefvoorschrift voor het bepalen van de elasticiteitsmodulus van waterbouwasfaltbeton.

Deel 4: Voorschrift voor het zagen van proefstukken uit een waterbouwasfaltbeton boorkern.

Deel 5: Voorschrift voor het boren van kernen uit een waterbouwasfaltbetonbekleding.

2 PRINCIPE VAN DE PROEF

Een prismatisch proefstuk wordt aan een periodieke driepuntsbuiging onderworpen, waarbij de rotaties en horizontale translaties op de oplegpunten en de reactiepunten vrij zijn. De eindopleggingen zijn plaatsvast.

De buiging wordt gerealiseerd via een strip die in verticale richting loodrecht op de lengteas van het proefstuk kracht uitoefent op het midden van het proefstuk.

Bij de bepaling van de vermoeiingseigenschappen is de opgelegde belasting een sinusvormige sprongbelasting. Gedurende de proef zijn de krachtamplitude en de frequentie constant. Tijdens de proef worden de kracht en de resulterende doorbuiging gemeten als functie van de tijd. Hieruit worden de vermoeiingseigenschappen van het beproefde materiaal afgeleid.

3 TERMINOLOGIE

3.1 BEGRIPPEN EN DEFINITIES

Aandraaimoment	Het moment waarmee de inklemkracht tot stand wordt gebracht.
Beginkrachtamplitude of initiële krachtamplitude	De gemiddelde krachtamplitude van minimaal 5 en maximaal 20 belastingsherhalingen, gemeten tussen de 45 ^{ste} en 75 ^{ste} belastingsperiode na het starten van de proefbelasting
Buigtreksterkte	De opgelegde spanning waarbij breuk van het proefstuk optreedt
Bezwijken	Een proefstuk is bezwiken wanneer breuk is opgetreden
Complexe stijfheidsmodulus	Het complexe getal dat de relatie vastlegt tussen spanning en rek in een lineair visco-elastisch materiaal onder sinusvormige belasting.
Dynamische stijfheidsmodulus	De absolute waarde van de complexe stijfheidsmodulus die de elastische eigenschappen van een visco-elastisch materiaal vastlegt (zie formule 5).
Initiële dynamische stijfheidsmodulus	De grootte van de dynamische stijfheidsmodulus tussen de 45ste en 75ste belastingsperiode na het starten van de proefbelasting, bepaald voor minimaal 5 en maximaal 20 belastingsherhalingen.
Krachtamplitude	De helft van het verschil tussen de maximale kracht en de minimale kracht, gemeten in één periode van de sinusvormige belasting.
Krachtgestuurd	De krachtamplitude en periode van de sinusvormige belasting wordt opgelegd aan het proefstuk. Het krachtsignaal wordt hierbij constant gehouden.
Materiaalfasehoek	De hoek tussen de reële en imaginaire component van de complexe stijfheidsmodulus (zie formule 6).
Mechanisch spectrum	De karakteristiek van initiële dynamische stijfheidsmodulus en initiële materiaalfasehoek van het materiaal als functie van de belastingsfrequentie bij één temperatuur.
Meetpuntnummer	Nummer van de belastingsperiode in een aantal lastherhalingen
Meetfout	Het verschil tussen de werkelijke waarde van de fysische grootheid en de aangewezen waarde op het meetinstrument, uitgedrukt in % van de werkelijke waarde.
Offset	Verticale afstand tussen nullijn van signaal van de sprongbelasting en nullijn werkelijke schaal voor kracht c.q. verplaatsing
Rotatie	Hoekverdraaiing.
Sprongbelasting	Een cyclische belasting die excentrisch is t.o.v. de nul.
Translatie	Verplaatsing in horizontale c.q. verticale richting van oplegging en proefstuk
Vermoeiingslevensduur	Het aantal belastingsperioden uitgeoefend op het proefstuk, waarbij het vermoeiingscriterium wordt bereikt
Vermoeiingscriterium	Het bezwijken van een proefstuk of het bereiken van een doorbuiging van 10 mm
Verplaatsingsamplitude	De helft van het verschil tussen de maximale verplaatsing en de minimale verplaatsing, gemeten in één belastingsperiode

3.2 SYMBOLEN

b	Breedte proefstuk	[mm]
C	Constante bij bepaling imaginaire en reële deel van complexe stijfheidsmodulus	[1/mm]
E_{dyn}	Dynamische stijfheidsmodulus	[N/mm ²]
E^*	De complexe stijfheidsmodulus	[N/mm ²]
E_1	Reële deel van de complexe stijfheidsmodulus	[N/mm ²]
E_2	Imaginaire deel van de complexe stijfheidsmodulus	[N/mm ²]
f	Opgelegde frequentie	[Hz]
f_s	Bemonsteringsfrequentie	[Hz]
F_o	Offset van de kracht	[N]
F_t	Kracht op tijdstip t	[N]
F_{min}	Minimale opgelegde kracht tijdens de vermoeiingsproef	[N]
F_{max}	Maximale opgelegde kracht tijdens de vermoeiingsproef	[N]
h	Hoogte proefstuk	[mm]
h_{max}	Maximale hoogte proefstuk	[mm]
h_{min}	Minimale hoogte proefstuk	[mm]
l	Lengte proefstuk	[mm]
l_{max}	Maximale lengte proefstuk	[mm]
l_{min}	Minimale lengte proefstuk	[mm]
b	Breedte proefstuk	[mm]
b_{max}	Maximale breedte proefstuk	[mm]
b_{min}	Minimale breedte proefstuk	[mm]
L	Lengte tussen eindopleggingen	[mm]
M_p	Massa proefstuk (droog)	[g]
M_m	Totale meebewegende massa	[g]
M_{max}	Maximaal buigend moment	[N mm]
M_{opn}	Schijnbare massa van de verplaatsingsopnemer	[g]
N	Aantal lastherhalingen	[-]
N_f	Aantal lastherhalingen bij het vermoeiingscriterium	[-]
N_{nr}	Meetpuntnummer	[-]
N_s	Aantal samples in een cyclus (periode) genomen van kracht- en verplaatsingssignaal	[-]
T	Proeftemperatuur	[°C]
V_o	Initiële verplaatsingsamplitude	[mm]
V	Verplaatsingsamplitude van het proefstuk, gemeten in het diagonale midden van het bovenzvlak van het proefstuk	[mm]
V_{of}	Offset van de verplaatsing	[mm]
V_n	Verplaatsing bij een bepaalde lastherhaling	[mm]
V_t	Verplaatsing op tijdstip t	[mm]
W	Weerstandsmoment	[mm ³]
ρ	Dichtheid proefstuk	[g/mm ³]
ε	Rekamplitude	[mm/mm]
φ_s	Systeemfasehoek	[°]
φ_n	Materiaalfasehoek bij lastherhaling n	[°]
σ_{max}	Maximale spanning, ten gevolge van het buigend moment	[N/mm ²]

3.3 FORMULES

$$C = \frac{l^3}{4bh^3} \quad [1/\text{mm}] \quad (1.)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{3F_t l}{2bh^2} \quad [\text{N}/\text{mm}^2] \quad (2.)$$

$$E_{1,n} = C \frac{F_t}{V_t} \cos(\varphi_{s,n}) \quad [\text{N}/\text{mm}^2] \quad (3.)$$

$$E_{2,n} = C \frac{F_t}{V_t} \sin(\varphi_{s,n}) \quad [\text{N}/\text{mm}^2] \quad (4.)$$

$$E_n^* = \sqrt{E_{1,n}^2 + E_{2,n}^2} \quad [\text{N}/\text{mm}^2] \quad (5.)$$

$$\varphi_n = \arctan\left(\frac{E_{2,n}}{E_{1,n}}\right) \quad [^\circ] \quad (6.)$$

4 TOESTELLEN EN HULPMIDDELEN

4.1 MEETINSTRUMENTEN EN HULPMIDDELEN

ALGEMEEN

Schuifmaat, bereik minimaal 250 mm, afleesnauwkeurigheid 0,1 mm

Balans, minimaal bereik 1500 g, afleesnauwkeurigheid 0,1 g

Blokhaak

Voelermaten, van 0 tot 1 mm oplopend in stappen van 0,1 mm

Opslagruimte, temperatuur 0 - 20 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

Droogruimte, temperatuur 15 - 25 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

KLIMAATKAST

Instelbare temperatuur 0 - 30 °C

DRIEPUNTSBUIGPROEF

Beugelrollen, diameter 10 mm

Momentsleutel, instelbaar tot 6 Nm

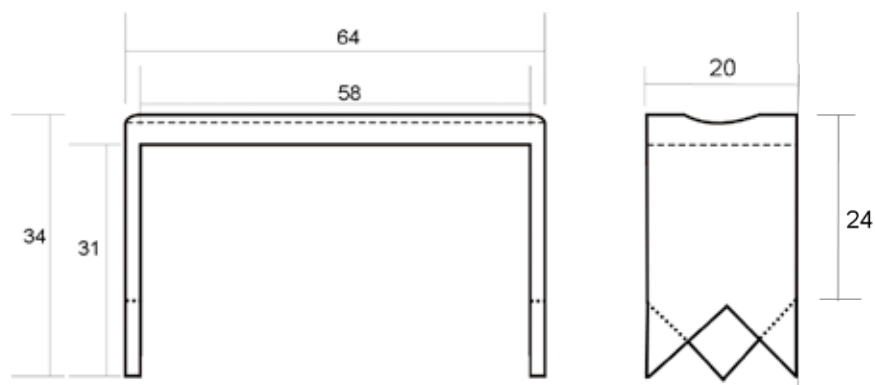
Beugels, volgens Figuur 4-1.

Bitumen, plakmiddel voor de beugels, Shell Cariphalte JS

Straal uitholling ca. 100 mm.

FIGUUR 4-1

BEUGELS



4.2 BEPROEVINGSSYSTEEM

4.2.1 ALGEMEEN

Het beproevingssysteem bestaat uit een testbank, waarin een proefstuk dynamisch wordt belast. De belasting wordt door middel van een strip op het proefstuk aangebracht. De onderdelen dienen uit corrosiebestendig materiaal te zijn vervaardigd.

Het uitvoeren van de metingen mag de proef niet beïnvloeden.

Het beproevingssysteem is geschikt voor metingen van 0 tot 30°C en bij sinusvormige belastingen met een frequentie van 1 tot en met 30 Hz.

Een voorbeeld van een geschikte proefopstelling is in figuur 4.2 weergegeven. In de proefopstelling wordt horizontaal een proefstuk op 2 steunpunten opgelegd. Het proefstuk heeft afmetingen van 225 mm lengte, 50 mm breed en 50 mm hoog.

4.2.2 OPLEGGINGEN

De eindopleggingen zijn lijnopleggingen, ieder gevormd door een rol boven de beugels die ter plaatse van de eindopleggingen aan het proefstuk worden aangebracht. De rollen worden loodrecht op de lengteas van het proefstuk gesitueerd. De eindopleggingen bevinden zich op een onderlinge afstand van 200 ± 1 mm. De oplegging laat enige horizontale en verticale verplaatsing toe. Belangrijk uitgangspunt is dat de oplegging geen belemmering mag vormen voor het buigen van het proefstuk. De verticale verplaatsingen worden beperkt doordat de rollen door middel van veren aan het beproevingsapparaat zijn bevestigd.

De twee eindopleggingen hart-op-hart 200 mm, bestaan uit (zie ook figuur 4.1):

- 2 beugels
- 2 rollen
- starre hulpstukken

De beugels worden met bitumen om het proefstuk geplakt. In de ronding van de beugels worden rollen geplaatst boven het proefstuk. De rollen vallen in de rondingen van de beugels, die het proefstuk fixeren.

4.2.3 BELASTINGSSYSTEEM

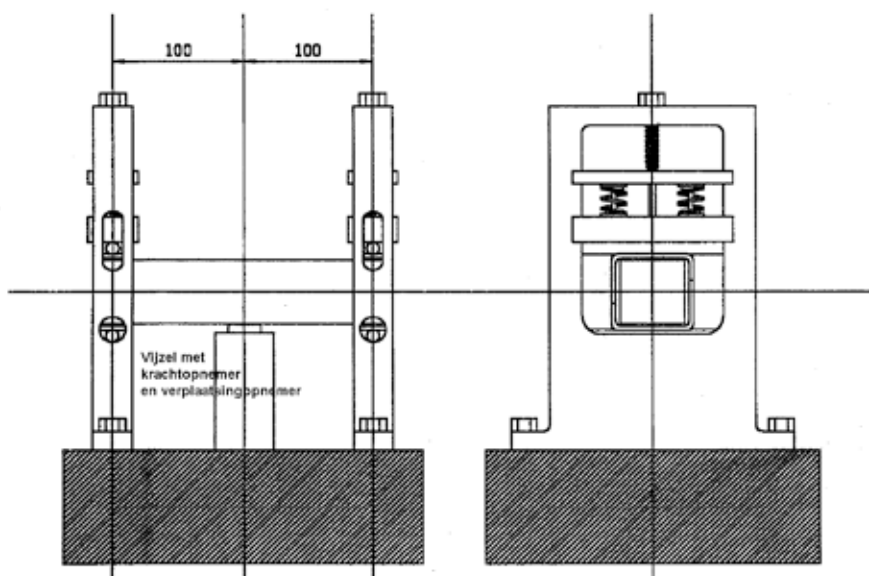
De dynamische belasting wordt in verticale richting overgedragen op het midden van de opstelling aangebracht. Het belastingssysteem bestaat uit een vijzel die via een stijve strip het proefstuk belast. De strip wordt loodrecht op de lengteas van het proefstuk gesitueerd. De strip heeft een bovenafronding (straal 100 mm)

De kracht werkt tegen de zwaartekracht in (in 1 richting) en varieert met een bepaalde frequentie tussen een minimale en maximale kracht. Door de wijze van het aanbrengen van de belasting wordt de bovenzijde van het proefstuk de op trek belaste zijde. Door het uitoefenen van een constante krachtamplitude krijgt het proefstuk een steeds grotere doorbuiging en permanente verplaatsing.

Om de stijfheids- en vermoeiingseigenschappen te bepalen worden de opgelegde kracht en de daardoor veroorzaakte verplaatsing gemeten in het verloop van de tijd tot het bereiken van het vermoeiingscriterium.

FIGUUR 4-2

SCHEMATISCHE WEERGAVE PROEFOPSTELLING VOOR HET BEPALEN VAN DE VERMOEIINGSEIGENSCHAPPEN



4.2.4 STUURINRICHTING

Het beproevingssysteem moet zijn voorzien van een actieve stuurinrichting voor de vijzel zodat de benodigde belastingen kunnen worden opgelegd.

4.2.5 KRACHTOPNEMER

De krachtopnemer heeft een meetbereik van 0 tot 5000 N met een nauwkeurigheid van 1% (NEN-EN 12697-26). De eigenfrequentie van de opnemer en de daaraan gekoppelde meebewegende massa dient tenminste een factor 10 hoger te zijn dan de beproevingsfrequentie. De kracht wordt gemeten op de plaats waar de krachtoverdracht plaatsvindt.

4.2.6 VERPLAATSINGSOPNEMER

De bepaling van de vermoeiingslevensduur wordt uitgevoerd met behulp van een krachtgestuurde 3-puntsbuigproef, waarbij meting plaatsvindt door de verplaatsingsopnemer van de dynamische bank. Deze verplaatsingsopnemer heeft een meetbereik van 0 tot 20 mm met een nauwkeurigheid van 1%.

De eigenfrequentie van de opnemer en de daaraan gekoppelde meebewegende massa dient tenminste een factor 10 hoger te zijn dan de beproevingsfrequentie.

4.2.7 ELEKTRONISCHE REGISTRATIEAPPARATUUR

De elektrische signalen uit de opnemers worden via ruisarme versterkers versterkt tot bij voorkeur 10 volt gelijkspanning voor de eindwaarde van het meetbereik van de betreffende opnemer. Aanbevolen wordt te voorzien in een speciale uitgang van gelijkspanning om registratie en/ of verwerkingsapparatuur aan te kunnen sluiten. Met analoge of digitaal aanwijzende meetinstrumenten moeten de meetversterkers kunnen worden uitgelezen met een resolutie van 1 N voor de kracht en 1 μm voor de verplaatsing.

Opmerking: Het dynamische gedrag van opnemers en elektronische meetapparatuur kan de oorzaak zijn van meetfouten die ver boven de maximale toelaatbare waarden liggen. Aanbevolen wordt om de door de leverancier verstrekte specificaties hierop te controleren. Voorts is van belang dat de elektronische apparatuur voldoende afgeschermd is tegen de invloed van externe elektrische en magnetische stoorbronnen die aanleiding kunnen zijn voor meetfouten.

4.2.8 KLIMAATKAST

De proefopstelling wordt in een klimaatkast geplaatst waarin een constante beproevingstemperatuur van 5°C met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5^\circ\text{C}$ te handhaven is. In de klimaatkast moeten temperaturen kunnen worden gehandhaafd in het temperatuurgebied van 0 tot 30°C, omdat bij bepaling van het mechanisch spectrum bij meerdere beproevingstemperaturen (bijv. 5, 15 en 25°C) wordt gemeten.

Opmerking: Het is aan te bevelen een voldoende grote klimaatkast te kiezen, zodat tijdens de proef extra proefstukken in deze kast kunnen worden geacclimatiseerd.

4.2.9 KALIBRATIE VAN HET BEPROEVINGSSYSTEEM

Naast de voorgeschreven tweejaarlijkse kalibratie moet het beproevingssysteem worden gekalibreerd bij heringebruikname, bijvoorbeeld na demontage. Door middel van de kalibratieprocedure dient de goede werking van het beproevingssysteem te worden vastgesteld.

5 PROEFSTUKKEN

5.1 ALGEMEEN

Het proefstuk dient representatief te zijn voor het te onderzoeken materiaal. Dit houdt in dat de samenstelling en holle ruimte van het proefstuk overeen moet komen met de aanlegdata. Een toelichting op de eisen die aan proefstukken worden gesteld is in deel 5 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton beschreven. Beschadiging dient in alle fasen van de proefvoorbereiding (inclusief monsterneming en transport van de platen en/ of boorkernen) te worden voorkomen. De boorkernen moeten tijdens opslag volledig op een lange vlakke kant worden ondersteund.

5.2 HERKOMST PROEFSTUK

Het proefstuk wordt gezaagd uit een boorkern of een plaat volgens deel 5 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton.

De boorkern kan afkomstig zijn uit een asfaltbekleding. De plaat kan afkomstig zijn uit een asfaltbekleding of kan in het laboratorium vervaardigd zijn. Tijdens transport en opslag dienen de boorkernen en de platen volledig ondersteund te zijn, om vervorming en beschadiging te voorkomen. Voor meer informatie over het vervaardigen van proefstukken wordt verwezen naar deel 5 en 6 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton.

5.3 OPSLAG PROEFSTUK

Aan de opslag van proefstukken wordt een aantal eisen gesteld:

- De ondergrond waarop de proefstukken rusten moet vlak en schoon zijn.
- Proefstukken moeten volledig op een lange vlakke kant worden ondersteund tijdens opslag.
- De proefstukken mogen niet worden gestapeld.
- De relatieve luchtvochtigheid in de opslagruimte mag niet hoger zijn dan 80%.
Proefstukken die niet direct voor beproeving in aanmerking komen, dienen in een droge ruimte met een temperatuur tussen 0 en 20°C te worden opgeslagen.
- De proefstukken mogen niet in de nabijheid van een warmtebron liggen of aan directe zonnestraling worden blootgesteld.

5.4 AFMETING PROEFSTUK

Na het zagen (proefvoorschrift deel 5) worden van het proefstuk de afmetingen bepaald volgens RAW [1] proef 82. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.5 BEPALING MASSA

Van het proefstuk wordt de massa bepaald volgens RAW [1] proef 82. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.6 CONTROLE AFMETINGEN

Van het proefstuk worden de afmetingen opnieuw bepaald volgens proef 82 uit de standaard RAW [1]. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.7 BEPALING DICHTHEID

Van het proefstuk wordt de dichtheid berekend volgens proef 82 uit de standaard RAW [1]. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

6 BESCHRIJVING VAN DE PROEF

6.1 VOORBEREIDING VAN DE PROEF

6.1.1 MONTEREN VAN DE BEUGELS

De ouderdom van het te beproeven materiaal moet tenminste twee weken zijn. Dit betekent dat in het laboratorium vervaardigde platen ten minste twee weken moeten blijven liggen voordat ze beproefd worden. Voor proefstukken uit een bestaande dijkbekleding is geen rustperiode van twee weken noodzakelijk. Het proefstuk moet tijdens het beproeven droog zijn (zie RAW [1] proef 82).

Aan het proefstuk worden metalen beugels (zie Figuur 6-1) bevestigd ter plaatse van de eindopleggingen. De beugels voorkomen piekspanningen in het proefmateriaal. De beugels vormen samen met de rollen en aanslagpunten een roloplegging.

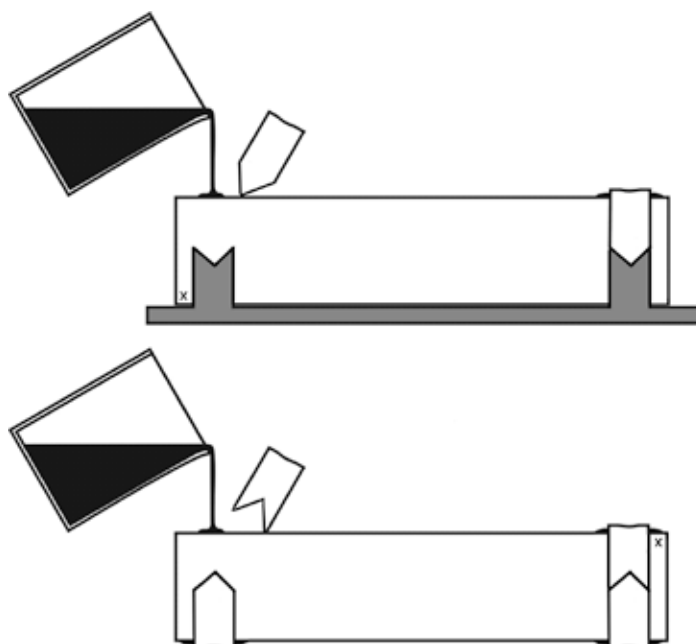
Voor de vermoeiingsmeting worden de beugels geplakt met bitumen. De bitumensoort is afhankelijk van de proeftemperatuur om de juiste stijfheid van het plakmiddel te waarborgen [1]. In de vermoeiingsmeting wordt Shell Cariphalte JS gebruikt tussen de beugels en het proefstuk.

Voor de vermoeiingsmeting worden de beugels geplakt met het bitumen Shell Cariphalte JS. Specifiek deze bitumensoort is voorgeschreven om bij de proeftemperatuur de juiste stijfheid van het plakmiddel te waarborgen [1].

Het proefstuk wordt op een mal (plaat met twee beugels) gelegd, waarbij de hart op hart afstand van de beugels 200 mm is. Het bitumen moet opgewarmd worden tot het goed vloeibaar is. Vervolgens wordt de vloeibare Cariphalt op de uiteinden van de proefstukken aangebracht waarna de beugels worden geplaatst (zie figuur 6.1). Nu wordt het proefstuk 90° gedraaid, en met de zojuist geplaatste beugels op een vlakke ondergrond gelegd. Op de plaatsen waar de beugels moeten komen, wordt cariphalt aangebracht, zodanig dat tussen de te plakken beugel en de reeds aangebrachte beugel een ruimte van ca. 1 tot 2 mm zit (dit om het proefstuk beter in te kunnen klemmen). Het proefstuk wordt na het plakken van de beugels over een zo groot mogelijke breedte tussen de beugels vlak ondersteund, zodanig dat de beugels vrij liggen van de vlakke onderplaat. Het gebeugelde proefstuk moet gelijkmatig worden ondersteund om doorzakken te voorkomen.

Wanneer de proefstukken niet gelijk beproefd worden, worden ze in de koeling, bij een temperatuur van 5 tot 10°C nog steeds ondersteund bewaard.

FIGUUR 6-1 BEVESTIGEN BEUGELS



De coderingen op het proefstuk worden na het bevestigen van de beugels gecontroleerd en zo nodig opnieuw aangebracht. De massa van het “gebeugelde proefstuk” wordt gewogen en genoteerd.

6.1.2 INBOUWEN PROEFSTUK

Voorafgaand aan de beproeving worden de proefstukken, ondersteund, op de beproevings-temperatuur (5°C) gebracht. Hiervoor wordt minimaal een uur aangehouden vanaf het moment dat de proefstukken uit de koeling komen. De acclimatisatie van de proefstukken dient uitgevoerd te worden, zoals in de volgende tabel is beschreven.

TABEL 6-1 ACCLIMATISERINGSTIJDEN

Te overbruggen temperatuur	Acclimatiseringstijd
0 – 10°C	1 uur
> 10°C	2 uur

Ook de kast met de testopstelling wordt op temperatuur gebracht, hiervoor wordt minimaal 2 uur aangehouden.

Voordat het proefstuk wordt geplaatst wordt de krachtaanwijzing op nul gezet. De oriëntatie van het proefstuk moet overeenkomen met de belastingssituatie in de praktijk, waarbij de onderkant van de bekleding op trek wordt belast. Daarom wordt het vlak van het proefstuk wat in de bekleding onder zat, in de op trek belaste zijde (bovenzijde) van de opstelling geplaatst.

De opstelling bestaat uit twee jukken met een kleminrichting welke op een hart op hartafstand van 200 mm staan, deze vormen de eindopleggingen. Midden tussen de jukken bevindt zich de drijfstang van de vijzel waar bovenop de strip met een lichte ronding is gemonteerd. De balk wordt in het midden van de jukken ingeklemd, waarbij gebruik wordt gemaakt van rolletjes welke onder en op de uitsparing van de beugels liggen. Het proefstuk wordt geleidelijk aan de voor en achterzijde ingeklemd, totdat er geen ruimte meer tussen de beugels zit

of wanneer het aandrainmoment 2 Nm is en geen verdere verdraaiing van de inklembout optreedt. Tijdens de inklemming staat de strip vrij van het proefstuk om te voorkomen dat door het inklemmen er een kracht op het proefstuk wordt uitgeoefend. Wanneer het proefstuk is ingeklemd, wordt de vijzel met strip voorzichtig tegen het proefstuk gezet waardoor er een lichte kracht van ca. 10 tot 15 Newton wordt uitgeoefend.

Is het proefstuk horizontaal ingespannen dan wordt het niveau van de vijzel constant gehouden. De proefopstelling is in evenwicht als het krachtniveau van de vijzel niet meer bijgesteld hoeft te worden. Nadat het evenwicht minimaal 5 minuten is bereikt worden de meetversterkers van de kracht en de verplaatsingssignalen op nul geregeld. De proef kan vervolgens worden gestart.

6.1.3 DE PROEFOPSTELLING IS IN FIGUUR 4-2 WEERGEGEVEN.

De acclimatisatie van de proefopstelling neemt minimaal 2 uur in beslag. Nadat het proefstuk is ingebouwd in de opstelling, wordt nog minimaal 5 minuten en maximaal 30 minuten gewacht voordat de proef wordt opgestart.

Bepalen op te leggen signaal

De frequentie van het op te leggen signaal is 1 Hz. De grootte van de krachtamplitude wordt zo gekozen dat een bepaald gewenst aantal lastherhalingen tot breuk (N_f) wordt bereikt. Er zijn twee grenswaarden voor het aantal lastherhalingen:

- minimaal 50 lastherhalingen
- maximaal 50.000 lastherhalingen

Het minimum aantal lastherhalingen geldt als criterium voor het bereiken van een stabiel signaal. Het maximum aantal lastherhalingen is gebaseerd op het beperkte aantal golfklappen dat in een storm voorkomt. Een hoger aantal lastherhalingen zal in de praktijk niet of nauwelijks voorkomen. De hoogte van de te schatten belasting om het streefniveau van N_f te behalen hangt af van het beproefde materiaal.

Voor het uitvoeren van de proef is het van belang om het geschikte belastingniveau te vinden. Bij de bepaling van de vermoeiingslevensduur moet een dusdanig belastingsniveau worden gekozen, dat een bepaalde streefwaarde wordt bereikt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de bepaalde bruijgtreksterktes (deel 2 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton) om het belastingsniveau in te schatten. Het krachtniveau in de proef wordt dusdanig ingeschat op basis van de buijgtreksterktes, dat het proefstuk het vermoeiingscriterium bereikt. De bijbehorende bandbreedtes voor de kracht zijn weergegeven in Tabel 6-2. De bandbreedte is gegeven om met opgedane ervaringen de richtwaarden voor de opgelegde kracht in te stellen.

TABEL 6-2

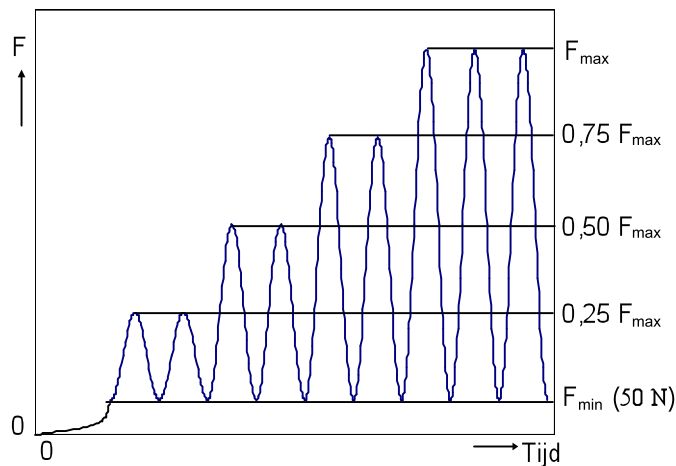
 F_{max} RICHTWAARDEN VERMOEING

Volgorde buijgtreksterkte (gesorteerd op sterkte)	Bepaalde kracht bij breuk	Factor	$F_{max} = \text{kracht bij breuk} \times \text{factor}$
1	Te bepalen	0,25 - 0,35	Te berekenen
2	Te bepalen	0,35 - 0,47	Te berekenen
3	Te bepalen	0,47 - 0,60	Te berekenen
4	Te bepalen	0,60 - 0,70	Te berekenen
5	Te bepalen	0,60 - 0,70	Te berekenen
6	Te bepalen	0,47 - 0,60	Te berekenen
7	Te bepalen	0,35 - 0,47	Te berekenen
8	Te bepalen	0,25 - 0,35	Te berekenen

Deze tabel is alleen van toepassing als de buigtreksterkte van een bekleding tegelijk met de vermoeiingseigenschappen wordt bepaald. Zijn geen buigtreksterktes bekend, dan wordt op basis van de materiaaleigenschappen een inschatting van het krachtniveau gedaan. Er kan worden gezocht naar referenties om de inschatting zo goed mogelijk uit te kunnen voeren.

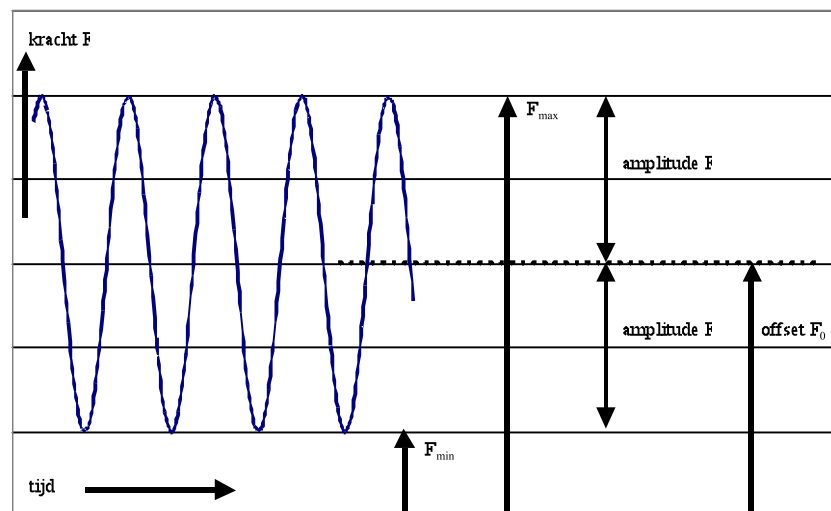
Voor het krachtniveau geldt dat bij het begin van de proef de belasting in stappen wordt opgebouwd tot het gewenste krachtniveau, zoals weergegeven in Figuur 6-2.

FIGUUR 6-2 BELASTINGSSIGNAAL BIJ HET OPSTARTEN VAN DE PROEF



Hierbij is de minimum kracht (F_{min}) 50 N om te voorkomen dat het proefstuk los van de opleggingen komt te liggen. De maximum kracht (F_{max}) is de kracht uit tabel Tabel 6-2 of de ingeschatte maximum kracht. Op deze manier wordt de belasting geleidelijk aangebracht zodat daarmee een te abrupte proefstart wordt voorkomen die de resultaten zou kunnen beïnvloeden. Na uiterlijk 30 lastherhalingen, inclusief de 6 gereduceerde start lastherhalingen, dient het definitieve lastniveau te zijn bereikt. Een voorbeeld van het definitieve krachtsignaal is in Figuur 6-3 weergegeven..

FIGUUR 6-3 BELASTINGSSIGNAAL BIJ HET OPSTARTEN VAN DE PROEF



De frequentie wordt geacht zonder significante fout te kunnen worden gegenereerd door de programmegever. De zuiverheid van de sinusvorm moet op een oscilloscoop worden gecontroleerd door het gemeten krachtsignaal te vergelijken met het aangestuurde signaal uit de functiegenerator.

6.2 UITVOERING VAN DE PROEF

6.2.1 METINGEN

Tijdens de proef moeten vanaf het tijdstip $t=0$ regelmatig metingen worden gedaan. Een meting bestaat uit een herhaalde simultane registratie van de op het proefstuk uitgeoefende kracht en de resulterende verplaatsing van het midden van de proefstukdiagonaal. Een meting levert dus een reeks waarden van kracht- en verplaatsingsamplituden op. Tijdens een proef hoeft niet alle meetdata continu te worden opgeslagen. De meetfrequentie en het totaal aantal meetpunten binnen de meting moeten het mogelijk maken de voor de proef relevante grootheden te berekenen. Relevante grootheden zijn het verloop van de kracht, verplaatsing, fasehoek en frequentie gekoppeld aan het aantal lastherhalingen. Vooral het begintraject en het bezwijkstadium moeten goed vastgelegd worden. Het bezwijkcriterium van de proef is het (voortijdig) breken van het proefstuk of een offset van de verplaatsing van het proefstuk van 10 mm. Bij elke meting wordt bovendien het aantal belastingsherhalingen geregistreerd.

7 VERWERKING VAN MEETGEGEVENS

7.1 REKENKUNDIGE BEWERKINGEN

Met de formules uit paragraaf 3.3 moeten uit de metingen de relevante proefuitkomsten worden berekend en in tabellen worden weergegeven.

- Belastingfrequentie
- Temperatuur
- Opgelegde krachten
- Aantal lastherhalingen bij breuk (N_p)
- Aantal metingen per tijdseenheid
- Berekende opgelegde spanning (σ_{\max})

7.2 GRAFISCHE WEERGAVE

Voor de vermoeiingsproef moeten de volgende relaties worden weergegeven:

- amplitude krachtniveaus, verplaatsingsamplitude, totale permanente vervorming, fasehoek als functie van aantal lastherhalingen (N);
- Aantal lastherhalingen tot bezwijken als functie van opgelegde spanning ($N_f - \sigma$) (op dubbel logaritmische schaal) met de waarden uit de tabel, per combinatie van temperatuur en frequentie herkenbaar.

8 RAPPORTAGE

In de volgende paragrafen staat per onderdeel beschreven wat moet worden vastgelegd en gerapporteerd.

8.1 PROEFSTUKGEGEVENS

Van een proefstuk moet het volgende worden vastgelegd en gerapporteerd:

- proefstukcode
- proefstukmassa
- proefstukbreedte 2 maal
- proefstukhoogte 2 maal
- proefstuklengte 2 maal
- proefstukdichtheid

8.2 EXPERIMENTGEGEVENS

8.2.1 ALGEMENE GEGEVENS

- temperatuur proefstuk tijdens beproeving
- beproevingsfrequentie
- hart op hart afstand tussen de beugels
- massa bewegende delen (massa proefstuk + beugels + bitumen)

8.2.2 RESULTAAT GEGEVENS

Het verloop van de volgende grootheden moet worden vastgelegd, wanneer mogelijk gekoppeld aan het aantal lastherhalingen:

- kracht
- verplaatsing
- fasehoek
- frequentie
- aantal lastherhalingen bij breuk proefstuk

8.3 BEREKENDE GEGEVENS

maximale spanning

9 LITERATUURLIJST

Standaard RAW bepalingen 2010, CROW, Ede, januari 2011

Waterbouwasfaltbeton - Beproevingmethoden voor waterbouwasfaltbeton - Deel 2: Bepaling van de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton

januari 2011

**PROEFVOORSCHRIFT
WATERBOUWASFALTBETON
DEEL 2**

KOAC • NPC in opdracht van STOWA

INHOUDSOPGAVE

1	VOORWOORD	122
2	PRINCIPE VAN DE PROEF	122
3	TERMINOLOGIE	122
4	TOESTELLEN EN HULPMIDDELEN	124
5	PROEFSTUKKEN	127
6	BESCHRIJVING VAN DE PROEF	128
7	VERWERKING VAN MEETGEGEVENS	130
8	RAPPORTAGE	131
9	LITERATUURLIJST	131

1 VOORWOORD

Dit proefvoorschrift is een voorschrift voor het bepalen van de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton met de driepuntsbuigproef. Het doel van de proef is de weerstand tegen breuk bepalen, onder een belasting met een constante snelheid. Dit proefvoorschrift is het tweede deel van een serie (proef)voorschriften van proeven die worden uitgevoerd op waterbouwasfaltbeton. De andere (proef)voorschriften zijn:

Deel 1: Proefvoorschrift voor het bepalen van de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton.

Deel 3: Proefvoorschrift voor het bepalen van de elasticiteitsmodulus van waterbouwasfaltbeton.

Deel 4: Voorschrift voor het zagen van proefstukken uit een waterbouwasfaltbeton boorkern.

Deel 5: Voorschrift voor het boren van kernen uit een waterbouwasfaltbetonbekleding.

2 PRINCIPE VAN DE PROEF

Een prismatisch proefstuk wordt in het midden aan een constant toenemende verplaatsing onderworpen, waarbij de rotaties en horizontale translaties op de oplegpunten en de reactiepunten vrij zijn. De eindopleggingen zijn plaatsvast. Hierdoor zal het proefstuk doorbuigen. De buiging wordt gerealiseerd via een metalen strip die in verticale richting loodrecht op de lengteas van het proefstuk kracht uitoefent op het midden van het proefstuk. Bij de bepaling van de buigtreksterkte is de opgelegde verplaatsingsnelheid constant. De verplaatsing wordt uitgevoerd totdat het proefstuk bezwijkt. Tijdens de proef worden de opgelegde verplaatsing en de benodigde kracht gemeten als functie van de tijd. Hieruit wordt de buigtreksterkte van het beproefde materiaal afgeleid.

3 TERMINOLOGIE

3.1 BEGRIPPEN EN DEFINITIES

Buigtreksterkte	De spanning waarbij breuk van het proefstuk optreedt
Bezwijken	Breuk van het proefstuk; Bij een proef waarbij een constante verplaatsing in de tijd wordt opgelegd wordt het moment van bezwijken gedefinieerd als het moment waarop de aangebrachte kracht maximaal is.
Meetfout	Het verschil tussen de werkelijke waarde van de fysische grootheid en de aangewezen waarde op het meetinstrument, uitgedrukt in % van de werkelijke waarde.
Rotatie	Hoekverdraaiing.
Translatie	Verplaatsing in horizontale c.q. verticale richting van oplegging en proefstuk
Verplaatsing gestuurd	Wijze van belasten waarbij niet een kracht maar een verplaatsing wordt opgelegd

3.2 SYMBOLEN

b	Breedte proefstuk	[mm]
b _{max}	Maximale breedte proefstuk	[mm]
b _{min}	Minimale breedte proefstuk	[mm]
F _{max}	Maximaal gemeten kracht	N
h	Hoogte proefstuk	[mm]
h _{max}	Maximale hoogte proefstuk	[mm]
h _{min}	Minimale hoogte proefstuk	[mm]
l	Lengte proefstuk	[mm]
l _{max}	Maximale lengte proefstuk	[mm]
l _{min}	Minimale lengte proefstuk	[mm]
l	Lengte tussen eindopleggingen	[mm]
σ _{max}	Buigtreksterkte; maximale spanning, ten gevolge van het buigend moment	[N/mm ²]

3.3 FORMULES

$$\sigma_{\max} = \frac{3F_{\max}l}{2bh^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1.)$$

4 TOESTELLEN EN HULPMIDDELEN

4.1 MEETINSTRUMENTEN EN HULPMIDDELEN

ALGEMEEN

Schuifmaat, bereik maximaal 250 mm, afleesnauwkeurigheid 0,1 mm

Balans, minimaal bereik 1500 g, afleesnauwkeurigheid 0,1 g

BLOKHAAK

Voelermaten, van 0 tot 1 mm oplopend in stappen van 0,1 mm

Opslagruimte, temperatuur 0- 20 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

Droogruimte, temperatuur 15- 25 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

KLIMAATKAST

Instelbare temperatuur 0 - 30 ° C

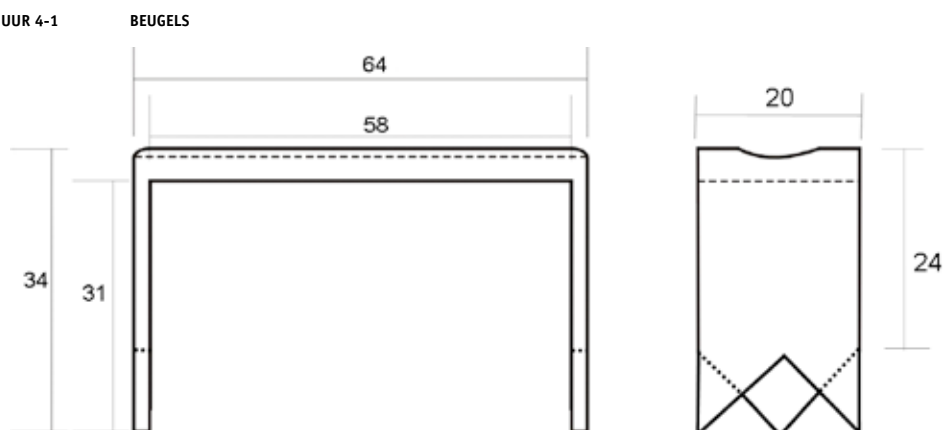
Nauwkeurigheid; te handhaven temperatuur, $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

DRIEPUNTSBUIGPROEF

Beugelrollen, diameter 35 mm

Beugels, volgens Figuur 4-1.

FIGUUR 4-1



4.2 BEPROEVINGSSYSTEEM

4.2.1 ALGEMEEN

Het beproevingssysteem bestaat uit een testbank, waarin een proefstuk wordt belast. De belasting wordt door middel van een metalen strip op het proefstuk aangebracht. De onderdelen dienen uit corrosiebestendig materiaal te zijn vervaardigd. Het uitvoeren van de metingen mag de proef niet beïnvloeden. Het beproevingssysteem is geschikt voor metingen van 0 tot 30°C en een verplaatsingsnelheid van 0,35 mm/s.

Een voorbeeld van een geschikte proefopstelling is in Figuur 4-2 weergegeven. In de proefopstelling wordt een proefstuk op 2 steunpunten opgelegd. Het proefstuk heeft afmetingen van 220 mm lengte, 50 mm breed en 50 mm hoog. Voor de bepaling van de buigtreksterkte worden ter plaatse van de eindopleggingen aan één zijde van het proefstuk metalen beugels aangebracht.

4.2.2 OPLEGGINGEN

De eindopleggingen zijn lijnopleggingen, ieder gevormd door een rol boven de beugels. De rollen worden loodrecht op de lengteas van het proefstuk gesitueerd. De eindopleggingen bevinden zich op een onderlinge afstand van 200 ± 1 mm. De oplegging laat enige horizontale verplaatsing toe. Belangrijk uitgangspunt is dat de oplegging geen belemmering mag vormen voor het buigen van het proefstuk.

De twee eindopleggingen hart-op-hart 200 mm, bestaan uit (zie ook Figuur 4-2):

- 2 beugels
- 2 rollen
- starre hulpstukken

In de ronding van de beugels worden rollen geplaatst boven het proefstuk. De rollen vallen in de rondingen van de beugels, die het proefstuk fixeren.

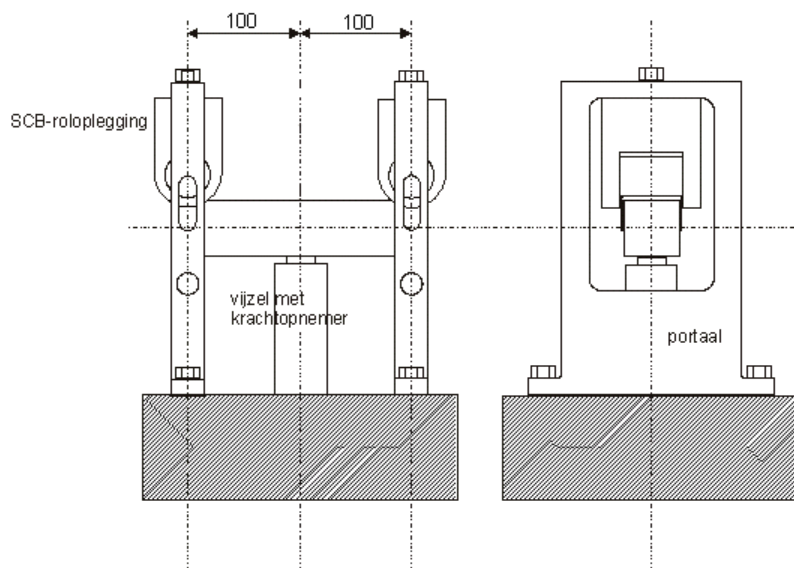
4.2.3 BELASTINGSSYSTEEM

De verplaatsing wordt door middel van een vijzel via de strip op het midden van het proefstuk aangebracht. Het systeem bestaat uit een vijzel en een strip. De strip heeft een breedte van 20 mm en een bovenafroning met een straal van 100 mm.

De verplaatsingsrichting is tegen de zwaartekracht in (in 1 richting) en de snelheid is 0,35 mm/s. Door de wijze van het aanbrengen van de verplaatsing wordt de bovenzijde van het proefstuk de op trek belaste zijde. Om de buigtreksterkte te bepalen wordt de opgelegde verplaatsing en de daardoor veroorzaakte kracht gemeten in het verloop van de tijd totdat het proefstuk is bezwaken.

FIGUUR 4-2

SCHEMATISCHE WEERGAVE PROEFOPSTELLING VOOR HET BEPALEN VAN DE BUIGTREKSTERKTE



4.2.4 STUURINRICHTING

Het beproevingsstelsel moet zijn voorzien van een actieve stuurinrichting voor de vijzel zodat de benodigde verplaatsing kan worden opgelegd.

4.2.5 KRACHTOPNEMER

De krachtopnemer heeft een meetbereik van 0 tot 5000 N met een nauwkeurigheid van 1% (NEN-EN 12697-26). De kracht wordt gemeten op de plaats waar de opgelegde verplaatsing plaatsvindt.

4.2.6 VERPLAATSINGSOPNEMER

De bepaling van de buigtreksterkte wordt uitgevoerd met behulp van een verplaatsingsgestuurde 3-puntsbuigproef, waarbij meting plaatsvindt door de verplaatsingsopnemer van de bank waarmee de verplaatsing wordt opgelegd. Deze verplaatsingsopnemer heeft een meetbereik van 0 tot 20 mm met een nauwkeurigheid van 1%.

4.2.7 ELEKTRONISCHE REGISTRATIEAPPARATUUR

De elektrische signalen uit de opnemers worden via ruisarme versterkers versterkt tot bij voorkeur 10 volt gelijkspanning voor de eindwaarde van het meetbereik van de betreffende opnemer. Aanbevolen wordt te voorzien in een speciale uitgang van gelijkspanning om registratie en/ of verwerkingsapparatuur aan te kunnen sluiten. Met analoog of digitaal aanwijzende meetinstrumenten moeten de meetversterkers kunnen worden uitgelezen met een resolutie van 1 N voor de kracht en 1 μ m voor de verplaatsing.

Opmerking: Het dynamische gedrag van opnemers en elektronische meetapparatuur kan de oorzaak zijn van meetfouten die ver boven de maximale toelaatbare waarden liggen. Aanbevolen wordt om de door de leverancier verstrekte specificaties hierop te controleren. Voorts is van belang dat de elektronische apparatuur voldoende afgeschermd is tegen de invloed van externe elektrische en magnetische stoorbronnen die aanleiding kunnen zijn voor meetfouten.

4.2.8 KLIMAATKAST

De proefopstelling wordt in een klimaatkast geplaatst waarin een constante beproevingstemperatuur van 5°C met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5^\circ\text{C}$ te handhaven is. In de klimaatkast moeten temperaturen kunnen worden gehandhaafd in het temperatuurgebied van 0 tot 30°C, omdat bij bepaling van het mechanisch spectrum bij meerdere beproevingstemperaturen (bijv. 5, 15 en 25°C) wordt gemeten.

Opmerking: Het is aan te bevelen een voldoende grote klimaatkast te kiezen, zodat tijdens de proef extra proefstukken in deze kast kunnen worden geacclimatiseerd.

4.2.9 CALIBRATIE VAN HET BEPROEVINGSSYSTEEM

Door middel van een calibratieprocedure dient de goede werking van het beproevingsstelsel te worden vastgesteld. Calibratie kan worden uitgevoerd door een onafhankelijke referentie te gebruiken. Ook kan calibratie worden uitgevoerd door een daarvoor geaccrediteerde instelling.

5 PROEFSTUKKEN

5.1 ALGEMEEN

Het proefstuk dient representatief te zijn voor het te onderzoeken materiaal. Dit houdt in dat de samenstelling en holle ruimte van het proefstuk overeen moet komen met de aanlegdata. Een toelichting op de eisen die aan proefstukken worden gesteld is in deel 5 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton beschreven.

Beschadiging dient in alle fasen van de proefvoorbereiding (inclusief monsterneming en transport van de platen en/ of boorkernen) te worden voorkomen. De boorkernen moeten tijdens opslag volledig op een lange vlakke kant worden ondersteund.

5.2 HERKOMST PROEFSTUK

Het proefstuk wordt gezaagd uit een boorkern of een plaat volgens deel 5 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton.

De boorkern kan afkomstig zijn uit een asfaltbekleding. De plaat kan afkomstig zijn uit een asfaltbekleding of kan in het laboratorium vervaardigd zijn. Tijdens transport en opslag dienen de boorkernen en de platen volledig ondersteund te zijn, om vervorming en beschadiging te voorkomen. Voor meer informatie over het vervaardigen van proefstukken wordt verwezen naar deel 5 en 6 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton.

5.3 OPSLAG PROEFSTUK

Aan de opslag van proefstukken wordt een aantal eisen gesteld:

- De ondergrond waarop de proefstukken rusten moet vlak en schoon zijn.
- Proefstukken moeten volledig op een lange vlakke kant worden ondersteund tijdens opslag.
- De proefstukken mogen niet worden gestapeld.
- De relatieve luchtvochtigheid in de opslagruimte mag niet hoger zijn dan 80%. Proefstukken die niet direct voor beproeving in aanmerking komen, dienen in een droge ruimte met een temperatuur tussen 0 en 20°C te worden opgeslagen.
- De proefstukken mogen niet in de nabijheid van een warmtebron liggen of aan directe zonnestraling worden blootgesteld.

5.4 AFMETING PROEFSTUK

Na het zagen (proefvoorschrift deel 5) worden de afmetingen van het proefstuk bepaald volgens RAW [1] proef 82. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.5 BEPALING MASSA

De massa van het proefstuk wordt bepaald volgens RAW [1] proef 82. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.6 CONTROLE AFMETINGEN

Van het proefstuk worden de afmetingen bepaald volgens proef 82 uit de standaard RAW [1]. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.7 BEPALING DICHTHEID

Van het proefstuk wordt de dichtheid berekend volgens proef 82 uit de standaard RAW [1]. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

6 BESCHRIJVING VAN DE PROEF

6.1 VOORBEREIDING VAN DE PROEF

6.1.1 MONTEREN VAN DE BEUGELS

De ouderdom van het te beproeven materiaal moet tenminste twee weken zijn. Dit betekent dat in het laboratorium vervaardigde platen ten minste twee weken moeten blijven liggen voordat ze beproefd worden. Voor proefstukken uit een bestaande dijkbekleding is geen rustperiode van twee weken noodzakelijk. Het proefstuk moet tijdens het beproeven droog zijn (zie RAW [1] proef 82).

Aan het proefstuk worden metalen beugels (zie figuur Figuur 4-1) worden geplaatst ter plaatse van de eindopleggingen. De beugels voorkomen piekspanningen in het proefmateriaal. De beugels vormen samen met de rollen en aanslagpunten een roloplegging.

FIGUUR 6-1

BEVESTIGEN BEUGELS



6.1.2 INBOUWEN PROEFSTUK

Voorafgaand aan de beproeving worden de proefstukken, ondersteund, op de beproevings-temperatuur (5°C) gebracht. Hiervoor wordt minimaal een uur aangehouden vanaf het moment dat de proefstukken uit de koeling komen. De acclimatisatie van de proefstukken dient uitgevoerd te worden, zoals in de volgende tabel is beschreven.

TABEL 6-1

ACCLIMATISERINGSTIJDEN

Te overbruggen temperatuur	Acclimatiseringstijd
0 - 10°C	1 uur
> 10°C	2 uur

Ook de kast met de testopstelling wordt op temperatuur gebracht, hiervoor wordt minimaal 2 uur aangehouden.

Voordat het proefstuk wordt geplaatst wordt de krachtaanwijzing op nul gezet. De oriëntatie van het proefstuk moet overeenkomen met de belastingsituatie in de praktijk, waarbij de onderkant van de bekleding op trek wordt belast. Daarom wordt de onderkant van het proefstuk in de op trek belaste zijde (bovenzijde) van de opstelling geplaatst.

Nadat het proefstuk is geplaatst, wordt de krachtregistratie op nul gezet. Dit om de massa van het gebeugelde proefstuk niet mee te nemen in de krachtmeting. Vervolgens wordt het proefstuk met de beugels tegen de rollen gedrukt. De maximale kracht die wordt uitgeoefend is 10 Newton. De verplaatsingssignalen worden op nul gezet. De proef kan worden gestart.

De proefopstelling is in Figuur 4-2 weergegeven.

6.1.3 ACCLIMATISATIE PROEFOPSTELLING

De acclimatisatie van de proefopstelling neemt minimaal 2 uur in beslag. Nadat het proefstuk is ingebouwd in de opstelling, wordt nog minimaal 5 minuten en maximaal 30 minuten gewacht voordat de proef wordt opgestart.

6.1.4 OP TE LEGGEN SIGNAAL

Het op te leggen signaal is een verplaatsingsnelheid van 0,35 mm/s.

6.2 UITVOERING VAN DE PROEF

6.2.1 METINGEN

Tijdens de proef moeten vanaf het tijdstip $t=0$ regelmatig metingen worden gedaan. Een meting bestaat uit een registratie van de op het proefstuk opgelegde verplaatsing en de benodigde kracht om deze verplaatsing te realiseren. Een meting levert dus een reeks momentane waarden van krachtniveaus en verplaatsingen op. Tijdens een proef moeten alle meetdata continu worden opgeslagen. De meetfrequentie en het totaal aantal meetpunten binnen de meting moeten het mogelijk maken de voor de proef relevante grootheden te berekenen. Relevante grootheden zijn het verloop van de kracht en de verplaatsingsnelheid. Omdat het proefstuk (voortijdig) kan breken is het van belang een hoge meetfrequentie aan te houden.

7 VERWERKING VAN MEETGEGEVENS

7.1 GEGEVENS

Met de formule uit paragraaf 3.3 moet uit de metingen de relevante proefuitkomsten worden berekend en in tabellen worden weergegeven.

- Temperatuur
- Opgelegde verplaatsing
- Opgelegde kracht per meetpunt
- Aantal meetpunten per tijdseenheid
- Spanning op het moment van breken (σ_{\max})
-

7.2 GRAFISCHE WEERGAVE

De resultaten van de proef moeten voor de volgende relaties worden weergegeven:

- code proefstuk
- kracht uitgezet tegen de verplaatsing
- Verplaatsing en verplaatsingssnelheid uitgezet tegen de tijd

8 RAPPORTAGE

In de volgende paragrafen staat per onderdeel beschreven wat moet worden vastgelegd en gerapporteerd.

8.1 PROEFSTUKGEGEVENS

Van een proefstuk moet het volgende worden vastgelegd en gerapporteerd:

- proefstukcode
- proefstukmassa
- proefstukbreedte
- proefstuklengte

8.2 EXPERIMENTGEGEVENS

8.2.1 ALGEMENE GEGEVENS

- temperatuur proefstuk tijdens beproeving
- beproevingsnelheid
- hart op hart afstand van de beugels
- massa proefstuk + beugels

8.2.2 RESULTAAT GEGEVENS

Het verloop van de volgende grootheden moet worden vastgelegd:

- kracht
- verplaatsing

8.3 BEREKENDE GEGEVENS

- maximale spanning bij breuk

9 LITERATUURLIJST

Standaard RAW bepalingen 2010, CROW, Ede, januari 2011

Waterbouwasfaltbeton - Beproevingmethoden voor waterbouwasfaltbeton
- Deel 3: Bepaling van de dynamische elasticiteitsmodulus van waterbouwasfaltbeton

januari 2011

PROEFVOORSCHRIFT
WATERBOUWASFALTBETON
DEEL 3

KOAC • NPC in opdracht van STOWA

INHOUDSOPGAVE		
1	VOORWOORD	134
2	PRINCIPE VAN DE PROEF	134
3	TERMINOLOGIE	135
4	TOESTELLEN EN HULPMIDDELEN	138
5	PROEFSTUKKEN	142
6	BESCHRIJVING VAN DE PROEF	143
7	VERWERKING VAN MEETGEGEVENS	146
8	RAPPORTAGE	147
9	LITERATUURLIJST	147

1 VOORWOORD

Dit proefvoorschrift is een voorschrift voor het bepalen van de dynamische elasticiteitsmodulus van waterbouwasfaltbeton met de driepuntsbuigproef. Het doel van de proef is het bepalen van de elasticiteitsmodulus, onder een sinusvormige belasting met constante amplitude. Dit proefvoorschrift is het derde deel van een serie (proef)voorschriften van proeven die worden uitgevoerd op waterbouwasfaltbeton. De andere (proef)voorschriften zijn:

Deel 1: Proefvoorschrift voor het bepalen van de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton.

Deel 2: Proefvoorschrift voor het bepalen van de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton.

Deel 4: Voorschrift voor het zagen van proefstukken uit een waterbouwasfaltbeton boorkern.

Deel 5: Voorschrift voor het boren van kernen uit een waterbouwasfaltbetonbekleding.

2 PRINCIPE VAN DE PROEF

Een prismatisch proefstuk wordt aan een periodieke driepuntsbuiging onderworpen, waarbij de rotaties en horizontale translaties op de oplegpunten en de reactiepunten vrij zijn. De eindopleggingen zijn plaatsvast.

De buiging wordt gerealiseerd via een strip die in verticale richting loodrecht op de lengteas van het proefstuk kracht uitoefent op het midden van het proefstuk.

Bij de bepaling van de dynamische elasticiteitsmodulus is de opgelegde belasting een sinusvormige sprongbelasting. Gedurende de proef zijn de krachtamplitude en de frequentie constant. Tijdens de proef worden de kracht en de resulterende doorbuiging gemeten als functie van de tijd. Hieruit wordt de dynamische elasticiteitsmodulus van het beproefde materiaal afgeleid.

3 TERMINOLOGIE

3.1 BEGRIPPEN EN DEFINITIES

Aandraaimoment	Het moment waarmee de inklekracht tot stand wordt gebracht.
Beginkrachtamplitude of initiële krachtamplitude	De gemiddelde krachtamplitude van minimaal 5 en maximaal 20 belastingsherhalingen, gemeten tussen de 45 ^{ste} en 100 ^{ste} belastingsperiode na het starten van de proefbelasting
Complexe stijfheidsmodulus	Het complexe getal dat de relatie vastlegt tussen spanning en rek in een lineair visco-elastisch materiaal onder sinusvormige belasting.
Dynamische stijfheidsmodulus	De absolute waarde van de complexe stijfheidsmodulus die de elastische eigenschappen van een visco-elastisch materiaal vastlegt
Initiële dynamische stijfheidsmodulus	De grootte van de dynamische stijfheidsmodulus tussen de 45ste en 100ste belastingsperiode na het starten van de proefbelasting, bepaald voor minimaal 5 en maximaal 20 belastingsherhalingen.
Krachtamplitude	De helft van het verschil tussen de maximale kracht en de minimale kracht, gemeten in één periode van de sinusvormige belasting.
Krachtgestuurd	De krachtamplitude en periode van de sinusvormige belasting wordt opgelegd aan het proefstuk. Het krachtsignaal wordt hierbij constant gehouden.
Materiaalfasehoek	De hoek tussen de reële en imaginaire component van de complexe stijfheidsmodulus
Mechanisch spectrum	De karakteristiek van initiële dynamische stijfheidsmodulus en initiële materiaalfasehoek van het materiaal als functie van de belastingsfrequentie bij één temperatuur.
Meetpuntnummer	Nummer van de belastingsperiode in een aantal lastherhalingen
Meetfout	Het verschil tussen de werkelijke waarde van de fysische grootte en de aangewezen waarde op het meetinstrument, uitgedrukt in % van de werkelijke waarde.
Rotatie	Hoekverdraaiing.
Translaties	Verplaatsingsamplitude in horizontale c.q. verticale richting van oplegging en proefstuk
Verplaatsingsamplitude	De helft van het verschil tussen de maximale verplaatsing en de minimale verplaatsing, gemeten in één belastingsperiode

3.2 SYMBOLEN

b	Breedte proefstuk	[mm]
b_{\max}	Maximale breedte proefstuk	[mm]
b_{\min}	Minimale breedte proefstuk	[mm]
C	Constante bij bepaling imaginaire en reële deel van complexe stijfheidsmodulus	[1/mm]
E_{dyn}	Dynamische stijfheidsmodulus	[N/mm ²]
E^*	De complexe stijfheidsmodulus	[N/mm ²]
E_1	Reële deel van de complexe stijfheidsmodulus	[N/mm ²]
E_2	Imaginaire deel van de complexe stijfheidsmodulus	[N/mm ²]
f	Opgelegde frequentie	[Hz]
f_s	Bemonsteringsfrequentie	[Hz]
F	Krachtamplitude	[N]
F_o	Offset van de kracht	[N]
F_t	Kracht op een gegeven tijdstip	[N]
F_{\min}	Minimale opgelegde kracht tijdens de vermoeiingsproef	[N]
F_{\max}	Maximale opgelegde kracht tijdens de vermoeiingsproef	[N]
h	Hoogte proefstuk	[mm]
h_{\max}	Maximale hoogte proefstuk	[mm]
h_{\min}	Minimale hoogte proefstuk	[mm]
l	Lengte proefstuk	[mm]
l_{\max}	Maximale lengte proefstuk	[mm]
l_{\min}	Minimale lengte proefstuk	[mm]
L	Lengte tussen eindopleggingen	[mm]
M_p	Massa proefstuk (droog)	[g]
M_m	Totale meebewegende massa	[g]
M_{\max}	Maximaal buigend moment	[N mm]
M_{opn}	Schijnbare massa van de verplaatsingsopnemer	[g]
N	Aantal lastherhalingen	[-]
N_f	Aantal lastherhalingen bij het vermoeiingscriterium	[-]
N_{nr}	Meetpuntnummer	[-]
N_s	Aantal samples in een cyclus (periode) genomen van kracht- en verplaatsingssignaal	[-]
T	Proeftemperatuur	[°C]
V_o	Initiële verplaatsingsamplitude	[mm]
V	Verplaatsingsamplitude van het proefstuk, gemeten in het diagonale midden van het bovenzvlak van het proefstuk	[mm]
V_t	Verplaatsing op tijdstip t	[mm]
V_{of}	Offset van de verplaatsing	[mm]
V_n	Verplaatsing bij een bepaalde lastherhaling	[mm]
W	Weerstandsmoment	[mm ³]
ρ	Dichtheid proefstuk	[g/mm ³]
ϵ	Rekamplitude	[mm/mm]
φ_s	Systeemfasehoek	[°]
φ_n	Materiaalfasehoek bij lastherhaling n	[°]

3.3 FORMULES

$$C = \frac{l^3}{4bh^3} \quad [1/\text{mm}] \quad (1.)$$

$$E_{1,n} = C \frac{F_t}{V_t} \cos(\varphi_{s,n}) \quad [\text{N}/\text{mm}^2] \quad (2.)$$

$$E_{2,n} = C \frac{F_t}{V_t} \sin(\varphi_{s,n}) \quad [\text{N}/\text{mm}^2] \quad (3.)$$

$$E_n^* = \sqrt{E_{1,n}^2 + E_{2,n}^2} \quad [\text{N}/\text{mm}^2] \quad (4.)$$

$$\varphi_n = \arctan\left(\frac{E_{2,n}}{E_{1,n}}\right) \quad [^\circ] \quad (5.)$$

4 TOESTELLEN EN HULPMIDDELEN

4.1 MEETINSTRUMENTEN EN HULPMIDDELEN

ALGEMEEN

Schuifmaat, bereik maximaal 250 mm, afleesnauwkeurigheid 0,1 mm

Balans, minimaal bereik 1500 g, afleesnauwkeurigheid 0,1 g

BLOKHAAK

Voelermaten, van 0 tot 1 mm oplopend in stappen van 0,1 mm

Opslagruimte, temperatuur 0 - 20 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

Droogruimte, temperatuur 15 - 25 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

KLIMAATKAST

Instelbare temperatuur 0 - 30 °C

Nauwkeurigheid; ingestelde temperatuur, $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$

DRIEPUNTSBUIGPROEF

Beugelrollen, diameter 10 mm

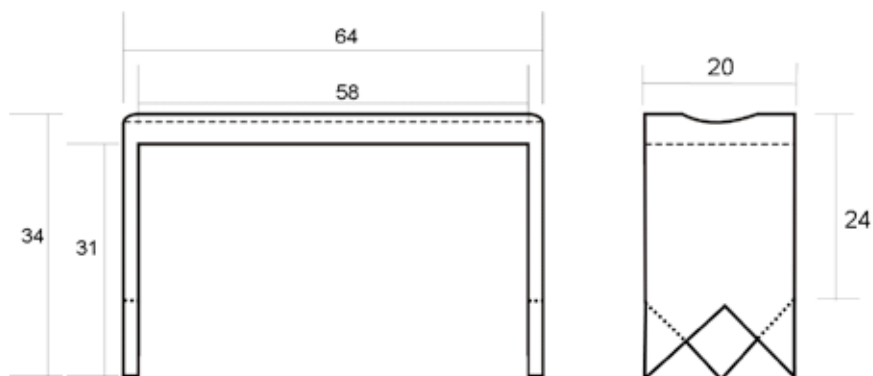
Momentsleutel, instelbaar tot 6 Nm

Beugels, volgens Figuur 4-1.

Bitumen, plakmiddel voor de beugels, Shell Cariphalte JS

FIGUUR 4-1

BEUGELS



4.2 BEPROEVINGSSYSTEEM

4.2.1 ALGEMEEN

Het beproevingssysteem bestaat uit een testbank, waarin een proefstuk dynamisch wordt belast. De belasting wordt door middel van een strip op het proefstuk aangebracht. De onderdelen dienen uit corrosiebestendig materiaal te zijn vervaardigd.

Het uitvoeren van de metingen mag de proef niet beïnvloeden.

Het beproevingssysteem is geschikt voor metingen van 0 tot 30°C en bij sinusvormige belastingen met een frequentie van 1 tot en met 30 Hz.

Een voorbeeld van een geschikte proefopstelling is in Figuur 4-2 weergegeven. In de proefopstelling wordt horizontaal een proefstuk op 2 steunpunten opgelegd. Het proefstuk heeft afmetingen van 220 mm lengte, 50 mm breed en 50 mm hoog.

4.2.2 OPLEGGINGEN

De eindopleggingen zijn lijnopleggingen, ieder gevormd door een rol boven de beugels die ter plaatse van de eindopleggingen aan het proefstuk worden aangebracht. De rollen worden loodrecht op de lengteas van het proefstuk gesitueerd. De eindopleggingen bevinden zich op een onderlinge afstand van 200 ± 1 mm. De oplegging laat enige horizontale en verticale verplaatsing toe. Belangrijk uitgangspunt is dat de oplegging geen belemmering mag vormen voor het buigen van het proefstuk. De verticale verplaatsingen worden beperkt doordat de rollen door middel van veren aan het beproevingsapparaat zijn bevestigd.

De twee eindopleggingen hart-op-hart 200 mm, bestaan uit (zie ook Figuur 4-1):

- 2 beugels
- 2 rollen
- starre hulpstukken

De beugels worden met bitumen om het proefstuk geplakt. In de ronding van de beugels worden rollen geplaatst boven het proefstuk. De rollen vallen in de rondingen van de beugels, die het proefstuk fixeren.

4.2.3 BELASTINGSSYSTEEM

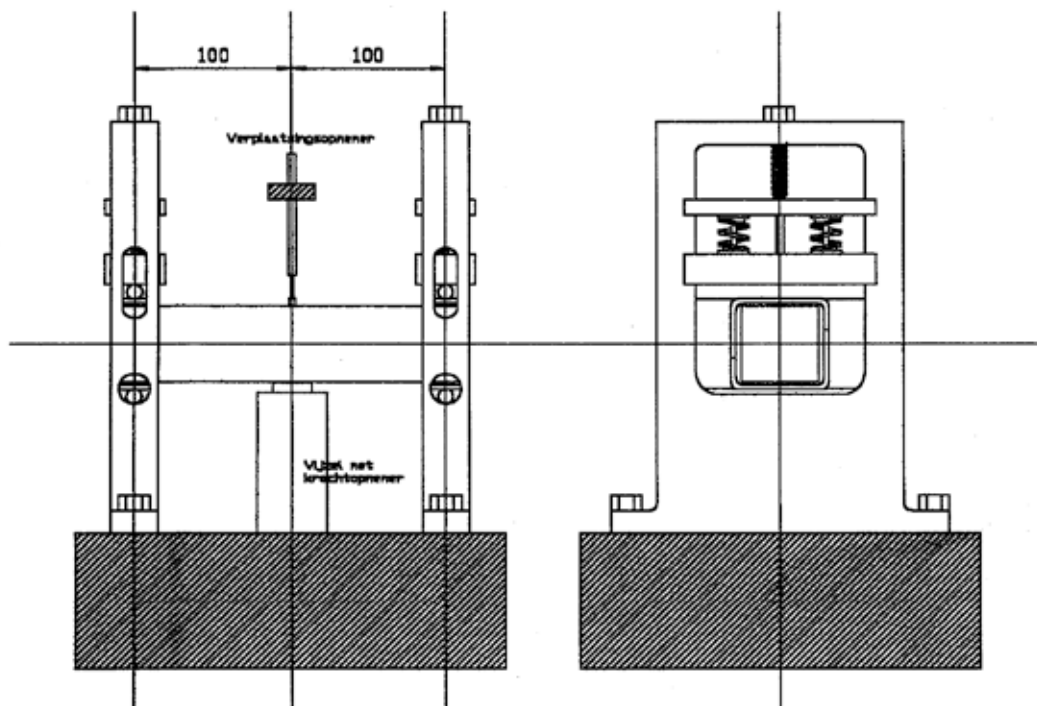
De dynamische belasting wordt in verticale richting overgedragen op het midden van de opstelling aangebracht. Het belastingsysteem bestaat uit een vijzel die via een stijve strip het proefstuk belast. De strip wordt loodrecht op de lengteas van het proefstuk gesitueerd. De strip heeft een bovenafrondding (straal 100 mm)

De kracht werkt tegen de zwaartekracht in (in 1 richting) en varieert met een bepaalde frequentie tussen een minimale en maximale kracht. Door de wijze van het aanbrengen van de belasting wordt de bovenzijde van het proefstuk de op trek belaste zijde. Door het uitoefenen van een constante krachtamplitude krijgt het proefstuk een steeds grotere doorbuiging en permanente verplaatsing.

Om de stijfheids- en vermoeiingseigenschappen te bepalen worden de opgelegde kracht en de daardoor veroorzaakte verplaatsing gemeten in het verloop van de tijd tot het bereiken van het vermoeiingscriterium.

FIGUUR 4-2

SCHEMATISCHE WEERGAVE PROEFOPSTELLING VOOR HET BEPALEN VAN DE VERMOEINGSEIGENSCHAPPEN



4.2.4 STUURINRICHTING

Het beproevingssysteem moet zijn voorzien van een actieve stuurinrichting voor de vijzel zodat de benodigde belastingen kunnen worden opgelegd.

4.2.5 KRACHTOPNEMER

De krachtopnemer heeft een meetbereik van 0 tot 5000 N met een nauwkeurigheid van 1% (NEN-EN 12697-26). De eigenfrequentie van de opnemer en de daaraan gekoppelde meebewegende massa dient tenminste een factor 10 hoger te zijn dan de beproevingsfrequentie. De kracht wordt gemeten op de plaats waar de krachtoverdracht plaatsvindt.

4.2.6 VERPLAATSINGSOPNEMER

De bepaling van de initiële dynamische elasticiteitsmodulus wordt uitgevoerd, met behulp van een krachtgestuurde 3-puntsbuigproef. Hierbij dient gebruik te worden gemaakt van een externe verplaatsingsopnemer met een meetbereik van maximaal 2000 mm, met een nauwkeurigheid van 1%. De meting van de verplaatsingsamplitude wordt uitgevoerd in het diagonale midden van het bovenvlak van het proefstuk.

4.2.7 ELEKTRONISCHE REGISTRATIEAPPARATUUR

De elektrische signalen uit de opnemers worden via ruisarme versterkers versterkt tot bij voorkeur 10 volt gelijkspanning voor de eindwaarde van het meetbereik van de betreffende opnemer. Aanbevolen wordt te voorzien in een speciale uitgang van gelijkspanning om registratie en/ of verwerkingsapparatuur aan te kunnen sluiten. Met analoge of digitale aanwijzende meetinstrumenten moeten de meetversterkers kunnen worden uitgelezen met een resolutie van 1 N voor de kracht en 1 μm voor de verplaatsing.

Opmerking: Het dynamische gedrag van opnemers en elektronische meetapparatuur kan de oorzaak zijn van meetfouten die ver boven de maximale toelaatbare waarden liggen. Aanbevolen wordt om de door de leverancier verstrekte specificaties hierop te controleren. Voorts is van belang dat de elektronische apparatuur voldoende afgeschermd is tegen de invloed van externe elektrische en magnetische stoorbronnen die aanleiding kunnen zijn voor meetfouten.

4.2.8 KLIMAATKAST

De proefopstelling wordt in een klimaatkast geplaatst waarin een constante beproevingsstemperatuur van 5°C met een nauwkeurigheid van $\pm 0,5^\circ\text{C}$ te handhaven is. In de klimaatkast moeten temperaturen kunnen worden gehandhaafd in het temperatuurgebied van 0 tot 30° C, omdat bij bepaling van het mechanisch spectrum bij meerdere beproevingstemperaturen (bijv. 5, 15 en 25° C) wordt gemeten.

Opmerking: Het is aan te bevelen een voldoende grote klimaatkast te kiezen, zodat tijdens de proef extra proefstukken in deze kast kunnen worden geacclimatiseerd.

4.2.9 CALIBRATIE VAN HET BEPROEVINGSSYSTEEM

Door middel van een calibratieprocedure dient de goede werking van het beproevingssysteem te worden vastgesteld. Calibratie kan worden uitgevoerd door een onafhankelijke referentie te gebruiken. Ook kan calibratie worden uitgevoerd door een daarvoor geaccrediteerde instelling.

5 PROEFSTUKKEN

5.1 ALGEMEEN

Het proefstuk dient representatief te zijn voor het te onderzoeken materiaal. Dit houdt in dat de samenstelling en holle ruimte van het proefstuk overeen moet komen met de aanlegdata. Een toelichting op de eisen die aan proefstukken worden gesteld is in deel 4 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton beschreven. Beschadiging dient in alle fasen van de proefvoorbereiding (inclusief monsterneming en transport van de platen en/ of boorkernen) te worden voorkomen. De boorkernen moeten tijdens opslag volledig op een lange vlakke kant worden ondersteund.

5.2 HERKOMST PROEFSTUK

Het proefstuk wordt gezaagd uit een boorkern of een plaat volgens deel 4 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton.

De boorkern kan afkomstig zijn uit een asfaltbekleding. De plaat kan afkomstig zijn uit een asfaltbekleding of kan in het laboratorium vervaardigd zijn. Tijdens transport en opslag dienen de boorkernen en de platen volledig ondersteund te zijn, om vervorming en beschadiging te voorkomen. Voor meer informatie over het vervaardigen van proefstukken wordt verwezen naar deel 4 en 5 van de proefvoorschriften voor waterbouwasfaltbeton.

5.3 OPSLAG PROEFSTUK

Aan de opslag van proefstukken wordt een aantal eisen gesteld:

- De ondergrond waarop de proefstukken rusten moet vlak en schoon zijn.
- Proefstukken moeten volledig op een lange vlakke kant worden ondersteund tijdens opslag.
- De proefstukken mogen niet worden gestapeld.
- De relatieve luchtvochtigheid in de opslagruimte mag niet hoger zijn dan 80%. Proefstukken die niet direct voor beproeving in aanmerking komen, dienen in een droge ruimte met een temperatuur tussen 0 en 20°C te worden opgeslagen.
- De proefstukken mogen niet in de nabijheid van een warmtebron liggen of aan directe zonnestraling worden blootgesteld.

5.4 AFMETING PROEFSTUK

Na het zagen (proefvoorschrift deel 5) wordt van het proefstuk de afmetingen bepaald volgens RAW [1] proef 82. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.5 BEPALING MASSA

Van het proefstuk wordt de massa bepaald volgens RAW [1] proef 82. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.6 CONTROLE AFMETINGEN

Van het proefstuk worden de afmetingen opnieuw bepaald volgens proef 82 uit de standaard RAW [1]. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

5.7 BEPALING DICHTHEID

Van het proefstuk wordt de dichtheid berekend volgens proef 82 uit de standaard RAW [1]. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

6 BESCHRIJVING VAN DE PROEF

6.1 VOORBEREIDING VAN DE PROEF

6.1.1 MONTEREN VAN DE BEUGELS

De ouderdom van het te beproeven materiaal moet tenminste twee weken zijn. Dit betekent dat in het laboratorium vervaardigde platen ten minste twee weken moeten blijven liggen voordat ze beproefd worden. Voor proefstukken uit een bestaande dijkbekleding is geen rustperiode van twee weken noodzakelijk. Het proefstuk moet tijdens het beproeven droog zijn (zie RAW [1] proef 82).

Aan het proefstuk worden metalen beugels (zie figuur Figuur 4-1) bevestigd ter plaatse van de eindopleggingen. De beugels voorkomen piekspanningen in het proefmateriaal. De beugels vormen samen met de rollen en aanslagpunten een roloplegging.

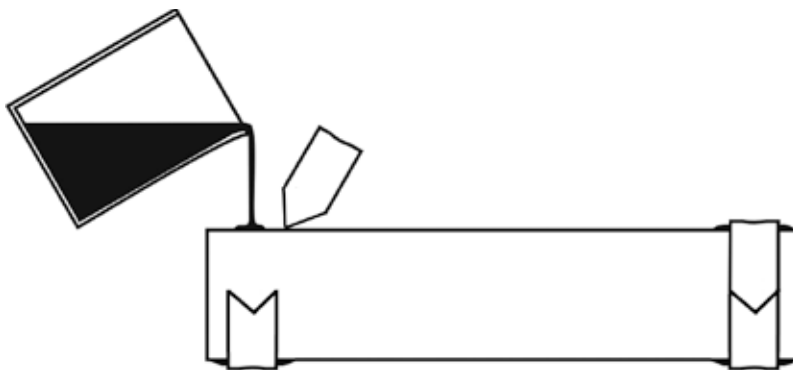
Voor de vermoeingsmeting worden de beugels geplakt met bitumen. De keuze voor het gebruiken van het bitumen is afhankelijk van de visuele conditie van het proefstuk (gaafheid, schrale plekken, onvlakheid, enz.). Daarbij moet de oriëntatie van de proefstukken in de proef bekend zijn. De bitumensoort is afhankelijk van de proeftemperatuur om de juiste stijfheid van het plakmiddel te waarborgen [1]. Voor het fixeren van het proefstuk wordt Shell Cariphalte JS gebruikt tussen de beugels en het proefstuk.

Het proefstuk wordt op een mal (plaat met twee beugels) gelegd, waarbij de hart op hart afstand van de beugels 200 mm is. Het bitumen moet opgewarmd worden tot het goed vloeibaar is. Vervolgens wordt de vloeibare Cariphalt op de uiteinden van de proefstukken aangebracht waarna de beugels worden geplaatst (zie figuur 6.1). Nu wordt het proefstuk 90° gedraaid, en met de zojuist geplaatste beugels op een vlakke ondergrond gelegd. Op de plaatsen waar de beugels moeten komen, wordt cariphalt aangebracht, zodanig dat tussen de te plakken beugel en de reeds aangebrachte beugel een ruimte van ca. 1 tot 2 mm zit (dit om het proefstuk beter in te kunnen klemmen). Het proefstuk wordt na het plakken van de beugels over een zo groot mogelijke breedte tussen de beugels vlak ondersteund, zodanig dat de beugels vrij liggen van de vlakke onderplaat. Het gebeugelde proefstuk moet gelijkmatig worden ondersteund om doorzakken te voorkomen.

Wanneer de proefstukken niet gelijk beproefd worden, worden ze in de koeling, bij een temperatuur van 5 tot 10°C nog steeds ondersteund bewaard.

FIGUUR 6-1

BEVESTIGEN BEUGELS



De coderingen op het proefstuk worden na het bevestigen van de beugels gecontroleerd en zo nodig opnieuw aangebracht. De massa van het “gebeugelde proefstuk” wordt gewogen en genoteerd.

6.1.2 INBOUWEN PROEFSTUK

Voorafgaand aan de beproeving worden de proefstukken, ondersteund, op de beproevings-temperatuur (5°C) gebracht. Hiervoor wordt minimaal een uur aangehouden vanaf het moment dat de proefstukken uit de koeling komen. De acclimatisatie van de proefstukken dient uitgevoerd te worden, zoals in de volgende tabel is beschreven.

TABEL 6-1

ACCLIMATISERINGSTIJDEN

Te overbruggen temperatuur	Acclimatiseringstijd
0 – 10°C	1 uur
> 10°C	2 uur

Ook de kast met de testopstelling wordt op temperatuur gebracht, hiervoor wordt minimaal 2 uur aangehouden.

Voordat het proefstuk wordt geplaatst wordt de krachtsaanwijzing op nul gezet. De oriëntatie van het proefstuk moet overeenkomen met de belastingssituatie in de praktijk, waarbij de onderkant van de bekleding op trek wordt belast. Daarom wordt de onderkant van het proefstuk in de op trek belaste zijde (bovenzijde) van de opstelling geplaatst.

De opstelling bestaat uit twee eindopleggingen met een kleminrichting welke op een hart op hartafstand van 200 mm staan, met in het midden de drijfslag waar bovenop de strip met een lichte ronding is gemonteerd. De balk wordt in het midden van de jukken ingeklemd, waarbij gebruik wordt gemaakt van rolletjes welke onder en op de uitsparing van de beugels liggen. Het proefstuk wordt geleidelijk aan de voor en achterzijde ingeklemd, totdat er geen ruimte meer tussen de beugels zit of wanneer het aandraaimoment 2 Nm is en geen verdere verdraaiing van de inklembout optreedt. Tijdens de inklemming staat de strip vrij van het proefstuk om te voorkomen dat door het inklemmen er een kracht op het proefstuk wordt uitgeoefend. Wanneer het proefstuk is ingeklemd, wordt de vijzel met strip voorzichtig tegen het proefstuk gezet waardoor er een lichte kracht van ca. 10 tot 15 Newton wordt uitgeoefend.

De uitlijning van het proefstuk in de opstelling wordt dan gecontroleerd met een rechte stalen lat. Is het proefstuk recht ingespannen dan wordt het niveau van de vijzel constant gehouden. De proefopstelling is in evenwicht als het krachtniveau van de vijzel niet meer bijgesteld hoeft te worden. Nadat het evenwicht minimaal 5 minuten is bereikt worden de meetversterkers van de kracht en de verplaatsingssignalen op nul geregeld. De proef kan vervolgens worden gestart.

De proefopstelling is in Figuur 4-2 weergegeven.

De acclimatisatie van de proefopstelling neemt minimaal 2 uur in beslag. Nadat het proefstuk is ingebouwd in de opstelling, wordt nog minimaal 5 minuten en maximaal 30 minuten gewacht voordat de proef wordt opgestart.

6.1.3 BEPALEN OP TE LEGGEN SIGNAAL

De proefneming wordt gestart waarbij het onderste krachtniveau op 50 Newton wordt gehouden. Het bovenste krachtniveau wordt zodanig gekozen dat uiteindelijk een piek-piek vervorming van ca.13 tot 15 micrometer wordt gemeten door de externe verplaatsingsopnemer.

De frequentie wordt geacht zonder significante fout te kunnen worden gegenereerd door de programmeerder. De zuiverheid van de sinusvorm moet op een oscilloscoop worden gecontroleerd door het gemeten krachtsignaal te vergelijken met het aangestuurde signaal uit de functiegenerator.

6.2 UITVOERING VAN DE PROEF

6.2.1 AANTAL LASTHERHALINGEN

De bepaling van de E_0 vindt plaats tussen 45 en 100 lastherhalingen. Het minimum aantal lastherhalingen geldt als criterium voor het bereiken van een stabiel signaal. Het maximum aantal lastherhalingen wordt gehanteerd om vermoeiingseffecten te voorkomen en door het aantal meetpunten dat benodigd is om een betrouwbare meting uit te voeren.

6.2.2 FASEHOEK

De (systeem)fasehoek tussen de opgelegde krachtamplitude en verplaatsing wordt gemeten, door te bepalen in hoeverre het krachtsignaal voorloopt op het verplaatsingsignaal. Indien noodzakelijk kan de fasehoek als indicator worden gebruikt bij de interpretatie van de meetresultaten.

6.2.3 METINGEN

Tijdens de proef moeten vanaf het tijdstip $t=0$ regelmatig metingen worden gedaan. Een meting bestaat uit een herhaalde simultane registratie van de op het proefstuk uitgeoefende kracht en de resulterende verplaatsing van het midden van de proefstukdiagonaal. Een meting levert dus een reeks waarden van kracht- en verplaatsingsamplituden op. Tijdens een proef hoeft niet alle meetdata continu te worden opgeslagen. De meetfrequentie en het totaal aantal meetpunten binnen de meting moeten het mogelijk maken de voor de proef relevante grootheden te berekenen. Relevante grootheden zijn het verloop van de kracht, verplaatsing en fasehoek.. Vooral het begintraject en het traject na 45 lastherhalingen moeten goed worden vastgelegd.

7 VERWERKING VAN MEETGEGEVENS

7.1 REKENKUNDIGE BEWERKINGEN

Met de formules uit paragraaf 3.3 moeten uit de metingen de relevante proefuitkomsten worden berekend en in tabellen worden weergegeven.

- Belastingfrequentie
- Temperatuur
- Opgelegde krachten
- Aantal metingen per tijdseenheid
- Een gemiddelde dynamische elasticiteitsmodulus van ten minste 5 en maximaal 20 lastherhalingen

7.2 GRAFISCHE WEERGAVE

Voor het bepalen van de dynamische elasticiteitsmodulus moeten de volgende eigenschappen grafisch worden weergegeven:

- code proefstuk
- temperatuur tijdens meting
- dynamische elasticiteitsmodulus
- fasehoek
- belastingfrequentie

8 RAPPORTAGE

In de volgende paragrafen staat per onderdeel beschreven wat moet worden vastgelegd en gerapporteerd.

8.1 PROEFSTUKGEGEVENS

Van een proefstuk moet het volgende worden vastgelegd en gerapporteerd:

- proefstukcode
- proefstukmassa
- proefstukbreedte
- proefstuklengte
- proefstukdichtheid

8.2 EXPERIMENTGEGEVENS

8.2.1 ALGEMENE GEGEVENS

- temperatuur proefstuk tijdens beproeving
- beproevingsfrequentie
- hart op hart afstand tussen de beugels
- massa bewegende delen (massa proefstuk + beugels + bitumen)

8.2.2 RESULTAAT GEGEVENS

Het verloop van de volgende grootheden moet worden vastgelegd, wanneer mogelijk gekoppeld aan het aantal lastherhalingen:

- kracht
- verplaatsing
- fasehoek
- frequentie
- aantal lastherhalingen

8.3 BEREKENDE GEGEVENS

maximale spanning

dynamische elasticiteitsmodulus

9 LITERATUURLIJST

Standaard RAW bepalingen 2010, CROW, Ede, januari 2011

Waterbouwasfaltbeton - Beproevingmethoden voor waterbouwasfaltbeton
- Deel 4: zagen van proefstukken uit een waterbouwasfaltbeton boorkern

januari 2011

**PROEFVOORSCHRIFT
WATERBOUWASFALTBETON
DEEL 4**

KOAC • NPC in opdracht van STOWA

INHOUDSOPGAVE		
1	VOORWOORD	150
2	DOEL EN TOEPASSING VAN DE PROEFSTUKKEN	150
3	SYMBOLLEN	150
4	TOESTELLEN EN HULPMIDDELEN	151
5	OPSTELLEN ZAAGPLAN	151
6	ZAGEN VAN DE SCHIJVEN UIT EEN KERN	152
7	ZAGEN VAN DE PROEFSTUKKEN	153
8	AFMETINGEN, MASSA EN DICHTHEID PROEFSTUK	154
9	RAPPORTAGE	154
10	LITERATUURLIJST	154

1 VOORWOORD

Dit voorschrift is een voorschrift voor het zagen van proefstukken uit een waterbouwasfaltbeton boorkern. Het doel is het verkrijgen van goede proefstukken voor het uitvoeren van proeven op waterbouwasfaltbeton. Dit proefvoorschrift is het vierde deel van een serie (proef) voorschriften van proeven die worden uitgevoerd op waterbouwasfaltbeton. De andere (proef) voorschriften zijn:

Deel 1: Proefvoorschrift voor het bepalen van de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton.

Deel 2: Proefvoorschrift voor het bepalen van de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton.

Deel 3: Proefvoorschrift voor het bepalen van de elasticiteitsmodulus van waterbouwasfaltbeton.

Deel 5: Voorschrift voor het boren van kernen uit een waterbouwasfaltbetonbekleding.

2 DOEL EN TOEPASSING VAN DE PROEFSTUKKEN

De proefstukken worden uit een boorkern gezaagd om hier proeven op uit te kunnen voeren. Deze proeven worden in de driepuntsbuigopstelling uitgevoerd. Het proefstuk wordt onderworpen aan een kracht of een verplaatsing waardoor het wordt gebogen.

3 SYMBOLEN

b	Breedte proefstuk	[mm]
b_{\min}	Minimale breedte proefstuk	[mm]
b_{\max}	Maximale breedte proefstuk	[mm]
d_{\min}	Minimale dikte schijf	[mm]
d_{\max}	Maximale dikte schijf	[mm]
h	Hoogte proefstuk	[mm]
h_{\max}	Maximale hoogte proefstuk	[mm]
h_{\min}	Minimale hoogte proefstuk	[mm]
l	Lengte proefstuk	[mm]
l_{\max}	Maximale lengte proefstuk	[mm]
l_{\min}	Minimale lengte proefstuk	[mm]

4 TOESTELLEN EN HULPMIDDELEN

ALGEMEEN

Schuifmaat, bereik maximaal 250 mm, afleesnauwkeurigheid 0,1 mm

Balans, minimaal bereik 1500 g, afleesnauwkeurigheid 0,1 g

Blokhaak

Voelermaten, van 0 tot 1 mm oplopend in stappen van 0,1 mm

Opslagruimte, temperatuur 0 - 20 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

Droogruimte, temperatuur 15 - 25 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

ZAAGMACHINES

Zaagmachine voor het zagen van schijven uit een kern

Zaagmachine voor het zagen van balkjes uit een schijf

Zaagmachine voor het zagen van balkjes uit een plaat

5 OPSTELLEN ZAAGPLAN

Het zagen wordt volgens een zaagplan uitgevoerd. In het zaagplan worden de volgende gegevens opgenomen:

- Aanduiding van het betreffende project.
- Aantal en de unieke codering van de te zagen kernen.
- Laag of lagen waaruit de schijven gezaagd moeten worden.
- Waar welke coderingen en oriëntatiemerkttekens op de gezaagde delen gezet moeten worden.
- Hoe de balkjes uit de schijven gezaagd moeten worden.
- Wat er met de zaagresten gebeurt.
- Hoe de proefstukken en de zaagresten behandeld worden.
- Afmetingen en toleranties voor het zaagwerk.

Afwijkingen van het zaagplan moeten worden gerapporteerd.

6 ZAGEN VAN DE SCHIJVEN UIT EEN KERN

6.1 ALGEMEEN

Bij het zagen van de schijf en de verdere bewerking tot proefstuk moet door het coderen of merken altijd terug te herleiden zijn wat de oorspronkelijke boven- of onderzijde van de kern is geweest. Dit om het uiteindelijke proefstuk op de juiste wijze in de beproevingsmachine te kunnen bouwen. Beschadiging aan de schijf ten gevolge van bewerkingen of opslag moet worden voorkomen.

6.2 POSITIE VAN DE SCHIJF

De schijf wordt gezaagd uit het onderste deel van de kern. De schijf wordt zo laag mogelijk onderin de kern gekozen rekening houdend met beschadigingen en oneffenheden aan de onderzijde van de kern. Als er uit de uiterste boven- of onderlaag gezaagd moet worden, worden de kernen gekopt of gestaard. Daarbij wordt een minimale hoeveelheid top- of onderlaagmateriaal gezaagd om een vlakke schijf te krijgen loodrecht op de kern as. Bij een vlakke top of onderzijde mag maximaal 10 mm weggezaagd worden.

6.3 SCHIJFDIKTE

De dikte van de schijf moet zodanig zijn dat er een proefstuk met een hoogte van 50 mm uit kan worden gezaagd.

6.4 DELING VAN DE SCHIJF

Vervolgens wordt op een vlakke zaagtafel de schijf zo goed mogelijk doormidden gezaagd, zodanig dat beide helften nagenoeg even groot zijn.

6.5 OPSLAG DE SCHIJF

Aan de opslag van schijven wordt een aantal eisen gesteld:

- De ondergrond waarop de schijven rusten moet vlak en schoon zijn.
- Schijven moeten volledig op een lange vlakke kant worden ondersteund tijdens opslag.
- De schijven mogen niet worden gestapeld.
- De relatieve luchtvochtigheid in de opslagruimte mag niet hoger zijn dan 80%. Schijven die niet direct worden gezaagd, dienen in een droge ruimte met een temperatuur tussen 0 en 20°C te worden opgeslagen.
- De schijven mogen niet in de nabijheid van een warmtebron liggen of aan directe zonnestraling worden blootgesteld.

7 ZAGEN VAN DE PROEFSTUKKEN

7.1 ALGEMEEN

Bij het zagen van de proefstukken en de verdere bewerkingen moet door het coderen of merken altijd terug te herleiden zijn wat de oorspronkelijke boven- of onderzijde van de kern is geweest. Dit om het uiteindelijke proefstuk op de juiste wijze in de beproevingsmachine te kunnen bouwen. Beschadiging aan het proefstuk ten gevolge van bewerkingen of opslag moet worden voorkomen. In de volgende paragraaf wordt de procedure van het zagen van proefstukken uit schijven beschreven. In paragraaf 7.3 is beschreven hoe proefstukken uit platen worden gezaagd.

7.2 ZAGEN VAN DE BREEDTE, HOOGTE EN LENGTE

Het gezaagde middenvlak van de halve schijf wordt tegen de aanslag van de zaagmachine gelegd. Er wordt gezaagd zodanig dat de breedte van het langste deel van de schijf 50 mm is.

Vervolgens wordt het proefstuk 90° gedraaid en wordt het proefstuk op de hoogte van 50 mm gezaagd. Aansluitend worden de ronde kanten van de proefstukken gezaagd, zodanig dat een proefstuk wordt verkregen welke zo lang mogelijk is (225 tot 227 mm).

7.3 ZAGEN VAN PROEFSTUKKEN UIT PLATEN

Wanneer het waterbouwasfaltbeton als een plaat is gemaakt of als een plaat is aangeleverd moet eerst een haakse hoek worden gecreëerd. Deze haakse hoek wordt tegen de aanslag van de zaagmachine aangelegd waarna de balkjes uit de plaat kunnen worden gezaagd.

7.4 TOLERANTIES

De afmetingen worden bepaald volgens paragraaf 8. De volgende toleranties gelden voor het zagen van de proefstukken.

- Balkjes 50 x 50 x 225 mm
 - Hoogte 50 mm,
 - tolerantie $b = 49,5 - 50,5$ mm
 - maximaal 0,5 mm tussen h_{\max} en h_{\min}
 - Breedte 50 mm,
 - tolerantie $b = 48,5 - 51,5$ mm
 - maximaal 0,8 mm tussen b_{\max} en b_{\min}
 - Lengte 225 mm,
 - tolerantie $l = 219,0 - 227$ mm
 - maximaal 1,0 mm tussen l_{\max} en l_{\min}

7.5 OPSLAG PROEFSTUK

Aan de opslag van proefstukken wordt een aantal eisen gesteld:

- De ondergrond waarop de proefstukken rusten moet vlak en schoon zijn.
- Proefstukken moeten volledig op een lange vlakke kant worden ondersteund tijdens opslag.
- De proefstukken mogen niet worden gestapeld.
- De relatieve luchtvochtigheid in de opslagruimte mag niet hoger zijn dan 80%. Proefstukken die niet direct voor beproeving in aanmerking komen, dienen in een droge ruimte met een temperatuur tussen 0 en 20°C te worden opgeslagen.
- De proefstukken mogen niet in de nabijheid van een warmtebron liggen of aan directe zonnestraling worden blootgesteld.

8 AFMETINGEN, MASSA EN DICHTHEID PROEFSTUK

8.1 AFMETINGEN

Na het zagen wordt van het proefstuk de afmetingen bepaald volgens RAW [1] proef 82. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing. De afmetingen moeten vallen binnen de toleranties vermeld in paragraaf 7.4.

8.2 BEPALING MASSA

Van het proefstuk wordt de massa bepaald volgens RAW [1] proef 82. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

8.3 CONTROLE AFMETINGEN

Van het proefstuk worden de afmetingen opnieuw bepaald volgens proef 82 uit de standaard RAW [1]. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing. De afmetingen moeten vallen binnen de toleranties vermeld in paragraaf 7.4.

8.4 BEPALING DICHTHEID

Van het proefstuk wordt de dichtheid berekend volgens proef 82 uit de standaard RAW [1]. Het deel beschreven voor kust- en oeverwerken is hiervoor van toepassing.

9 RAPPORTAGE

Van een proefstuk moet het volgende worden vastgelegd en gerapporteerd:

- proefstukhoogte
- proefstukbreedte
- proefstuklengte
- proefstukcode
- proefstukmassa
- proefstukdichtheid

Ook is een zaagplan beschikbaar.

10 LITERATUURLIJST

Standaard RAW bepalingen 2010, CROW, Ede, januari 2011

Waterbouwasfaltbeton - Beproevingmethoden voor waterbouwasfaltbeton
- Deel 5: Boren van kernen uit een waterbouwasfaltbetonbekleding

januari 2011

PROEFVOORSCHRIFT
WATERBOUWASFALTBETON
DEEL 5

KOAC • NPC in opdracht van STOWA

INHOUDSOPGAVE		
1	VOORWOORD	156
2	DOEL EN TOEPASSING VAN DE KERNEN	156
3	MEETINSTRUMENTEN EN HULPMIDDELEN	156
4	OPSTELLEN BOORPLAN	156
5	BOREN VAN KERNEN UIT DE BEKLEDING	157
6	RAPPORTAGE GEGEVENS	158

1 VOORWOORD

Dit is een voorschrift voor het boren van kernen uit een waterbouwasfaltbetonbekleding. Het doel van dit voorschrift is om het boren van kernen op de juiste manier te laten verlopen zodat deze kernen gebruikt kunnen worden om proefstukken uit te zagen. Dit proefvoorschrift is het vijfde deel van een serie (proef)voorschriften van proeven die worden uitgevoerd op waterbouwasfaltbeton. De andere (proef)voorschriften zijn:

Deel 1: Proefvoorschrift voor het bepalen van de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton.

Deel 2: Proefvoorschrift voor het bepalen van de buigtreksterkte van waterbouwasfaltbeton.

Deel 3: Proefvoorschrift voor het bepalen van de elasticiteitsmodulus van waterbouwasfaltbeton.

Deel 4: Voorschrift voor het zagen van proefstukken uit een waterbouwasfaltbeton boorkern.

2 DOEL EN TOEPASSING VAN DE KERNEN

De kernen worden geboord om hier proefstukken uit te kunnen maken of om de laagdikte van de waterbouwasfaltbetonbekleding te bepalen. De kernen of de proefstukken kunnen worden onderworpen aan proeven of analyses waardoor meer informatie over de waterbouwasfaltbetonbekleding wordt verkregen.

3 MEETINSTRUMENTEN EN HULPMIDDELEN

ALGEMEEN

Schuifmaat, bereik maximaal 250 mm, afleesnauwkeurigheid 0,1 mm

Balans, minimaal bereik 1500 g, afleesnauwkeurigheid 0,1 g

Blokhaak

Voelermaten, van 0 tot 1 mm oplopend in stappen van 0,1 mm

Opslagruimte, temperatuur 0 - 20 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

Droogruimte, temperatuur 15 - 25 °C en relatieve luchtvochtigheid < 80%

BOREN

Boormachine

Boor met een binnendiameter die gelijk is aan de gevraagde diameter van de kern

Spuitbuis of ander hulpmiddel om de kern te markeren

Eventueel voorzieningen om op een helling tot maximaal 1:1,5 te kunnen boren

4 OPSTELLEN BOORPLAN

Een boorplan wordt opgesteld. Hierin staan de volgende zaken omschreven:

- Aanduiding van het betreffende project (projectnummer)
- Omschrijving diameter boorkern
- Locaties van de boorkernen, waar mogelijk gekoppeld aan een (dijk)kilometrering
- Omschrijving hoe bij de boorlocaties te komen
- Gegevens opdrachtgever
- Gegevens (dijk)beheerder
- Omschrijving hoe de kernen vervoerd en opgeslagen moeten worden
- Opmerkingen en opvallende constatering bij het boren/coderen.

Afwijkingen van het boorplan moeten worden gerapporteerd.

5 BOREN VAN KERNEN UIT DE BEKLEDING

5.1 ALGEMEEN

Bij het boren van de kern moet door het coderen of merken terug te herleiden zijn wat de oorspronkelijke boven- of onderzijde van de kern is geweest. Ook de positie in de bekleding moet terug te herleiden zijn. Beschadiging aan de kern ten gevolge van bewerkingen of opslag moet worden voorkomen.

5.2 BOREN

Er wordt loodrecht op het vlak van de dijkbekleding geboord, door de gehele asfaltbetonbekleding heen.

Er moet exact op de gemarkeerde plaats worden geboord. Dit omdat hier in de meeste gevallen eerder metingen zijn uitgevoerd en er een koppeling tussen de kern en de meting is of wordt gemaakt.

Er wordt vastgelegd uit welk materiaal de ondergrond onder de bekleding bestaat (bijvoorbeeld: zand, klei, beton- of menggranulaat).

5.3 BOORKERN

De boorkern wordt bij voorkeur in het geheel en onbeschadigd uit het boorgat gehaald. De kernen worden met de vlakke bovenzijde, op een vlakke ondergrond opgeslagen en vervoerd. Het transport dient zorgvuldig te gebeuren zodat geen schade aan de kernen ontstaat. Opslag van de kernen dient tussen 0 en 20° C te gebeuren, vrij van direct zonlicht en regen, en niet in de nabijheid van een warmtebron. Als de kern niet intact uit het boorgat komt worden de losse delen, zo mogelijk gesorteerd op plaats uit de constructie, in plastic zakken verpakt. In dat geval wordt in het boorgat een dieptemeting en visuele inspectie uitgevoerd. Tevens wordt contact opgenomen met de opdrachtgever om te bepalen of een extra boring wordt uitgevoerd.

5.4 CODERING

Van iedere boorkern wordt vastgelegd:

- Een unieke code, in overleg met de opdrachtgever.
- De exacte boorlocatie.
- Een globale lengtemeting van de boorkern, of als deze beschadigd is, van het boorgat.

Op iedere boorkern moet direct na het boren een unieke codering worden aangebracht. Losse, in plastic verpakte delen van een kern die niet meer intact is worden ten minste van de unieke code voorzien, en zo mogelijk nog van oriëntatie of constructielaag aanduidingen. Deze codes en aanduidingen worden in elk geval op de betreffende zak geschreven. In deze bijzondere gevallen moet een grote nauwkeurigheid in acht worden genomen bij het vastleggen van gegevens.

5.5 BOORGAT

Het boorgat wordt gedicht met schraal beton en (bij voorkeur) warm gietasfalt of koudasfalt. Gietasfalt wordt met behulp van een roerketel aangebracht. Voordeel van gietasfalt is dat het een grotere duurzaamheid heeft dan koudasfalt. Vóór het boren wordt de vulprocedure in overleg met de opdrachtnemer door de opdrachtgever vastgesteld.

6 RAPPORTAGE GEGEVENS

Van een kern moet het volgende worden vastgelegd en gerapporteerd:

- kerncode
- als de locatie afwijkt van het boorplan; locatie van de kern
- bijzonderheden en afwijking van de procedure beschreven in die voorschrift
- per kern het type van de ondergrond

BIJLAGE D

BEREKENING VAN DE OMHULLINGSDIKTE VOOR HET ONTWERP VAN OPEN STEENASFALT

UIT REFERENTIE [06]

Volumetrisch ontwerpen wordt al lang in de asfalttechnologie gebruikt. In het verleden werd met methoden gerekend van Smid & Hollander of Schulz en in het SHELL Bitumen-Handbook (1980) is ook een methode beschreven. Ook "SUPERPAVE", het meest recente Amerikaanse ontwerpsysteem voor asfaltmengsels is gebaseerd op volumetrisch ontwerpen. Deze volumetrische ontwerpen hebben nuttige onderdelen in zich, maar zijn vooral gericht op wegebouw mengsels, waarbij meestal het bitumen en het totale aggregaat als twee gescheiden eenheden worden gezien. De hierbij gebruikte "bulk" volumetrische parameters (VMA, VFB, gemiddelde dikte bitumenhuid over alle aggregaat) zijn minder geschikt voor het ontwerp van open steenasfalt mengsels. Voor open steenasfalt moet op basis van volumetrisch inzicht de juiste methode worden ontwikkeld. Een recente ontwikkeling in de wegebouw is gerapporteerd door CROW voor mengsels met veel holle ruimte zoals ZOAB en dunne deklagen. Ook hier is een speciale benadering gekozen. In deze methodiek kan met een spreadsheet zowel de omhullingsdikte van het bitumen, de mortel als de mastiek worden berekend. De flexibiliteit van deze volumetrische methode, waarbij ook de omhullingsdikte van de mastiek kan worden bepaald is wellicht geschikt voor open steenasfalt.

Sinds midden jaren negentig van de vorige eeuw is voor de projecten met open steenasfalt een volumetrisch ontwerp als proef toegepast bij het ontwerpen van de mengsamenstelling en bij de kwaliteitscontrole van de productie. De volgende hypothesen liggen ten grondslag aan het mengselontwerp op basis van volume bouwstof:

- De sterkte van open steenasfalt is afhankelijk van de omhullingsdikte van de gradering steenslag met asfaltmastiek.
- De duurzaamheid van open steenasfalt is eveneens afhankelijk van deze omhulling.

Onderzoek in de duurzaamheid van gemaakt werk toonde onder anderen twee verschillende faal mogelijkheden:

- Bij projecten waarbij de open steenasfalt duidelijk te weinig omhulling van de steen gradering bezat was in een eerder stadium onderhoud uitgevoerd.
- Bij projecten waarbij ontmenging was opgetreden, was eveneens meer onderhoud uitgevoerd of was de constructie te vroeg in een verweerde en slechte staat.

Met laboratorium onderzoek (Hesselberg Hydro – Sheffield) is aangetoond dat bij ontmenging van open steenasfalt, de asfaltmastiek afdruipt onder invloed van zwaartekracht en transporttrillingen. Te dik aangebrachte asfaltmastiek raakt in beweging en laat een te dunne laag materiaal achter. Het juiste volume aan asfaltmastiek ten opzichte van het te bedekken oppervlak aan steen moet dus zorgvuldig worden gekozen. Van projecten waarbij de constructie

met open steenasfalt zeer goed voldeed bleek de omhulling van de steen gemiddeld 1,0 mm te bedragen. Bij de projecten met toevoeging van vezels aan de asfaltmestiek als afdruiptremmer was dit 1,1 mm. Hiermee werd aangetoond dat de tot nu toe gehanteerde “rule of thumb” niet voldeed. Dit mengselontwerp voor open steenasfalt, met een zeer nauwkeurige samenstelling voor de asfaltmestiek, werd afgerond met een vaste verhouding steen: asfaltmestiek:

- Voor steen grof, onder andere de gradering 20-40 mm was dit 81:19.
- Voor steen middel, onder andere gradering 11-22 mm was dit 78:22.

De inzet bij het ontwerpen van de asfaltmestiek had niet het gewenste resultaat in de kwaliteit van het gemaakte project. Met andere woorden, alleen een goed ontworpen asfaltmestiek is niet voldoende.

De hoop was nu gericht op het ontwerp op basis van volume voor het hele mengsel, maar de vraag is of de aannames juist zijn. Gerekend wordt met een omhulling van 1,0 mm terwijl de asfaltmestiek is samengesteld met materiaal tot 2,0 mm. Visueel kon worden waargenomen dat nabij de contact punten de asfaltmestiek zich concentreerde en dat fijnere steen geen onafhankelijk skelet vormde. Met fijne steen wordt bedoeld gradering vreemde korrelafmetingen: te grof voor asfaltmestiek en te fijn voor de gekozen gradering. Deze komen mee als “vervuiling” of worden gevormd door breuk in de menger van de asfaltmolen.

Echter ook met deze observaties zijn de startwaarden nog steeds gehandhaafd. Voor ontwerp 1,0 mm of 1,1 mm omhulling, voor asfaltmestiek zonder en met vezels. Bij de extractie mag de uitkomst van de omhulling tot 0,2 mm lager zijn, omdat de breukdelen van de steen in oppervlak worden gewaardeerd.

Een eis van het ontwerpen op basis van volume is en blijft een uitkomst in gewichten, omdat deze als invoer voor de menginstallatie dienen. Bij de kwaliteitscontrole (extractie) wordt eveneens gewogen en in een later stadium het volume bepaald. Tevens moet het ontwerp onveranderd worden gebaseerd op een degelijk ontwerp van de asfaltmestiek. De samenstelling en eigenschappen van de asfaltmestiek moeten dan ook direct van het werkblad zijn af te lezen. (Een goede hechting van de bitumensoort aan de steen is ook cruciaal, zeker in mengsamenstellingen met een open structuur).

Met behulp van een spreadsheet kunnen zowel het ontwerp als de controle worden uitgevoerd. De werkbladen van het spreadsheet zijn hierna kort beschreven.

Ontwerp van open steenasfalt:

- Invoer van de gekozen steen gradering. Aan de hand van deze invoer wordt het effectieve gebruik in de open steenasfaltbekleding berekend. Ook wordt gecontroleerd of de steen zuiver in gradering en schoon is geleverd.
- Invoer van de soortelijke gewichten van de grondstoffen: steen, zand, vulstof en bitumen.
- Invoer van de gekozen mengsamenstelling van de asfaltmestiek: percentage zand, vulstof en bitumen. Deze is op basis van totaal 100%. (Niet 100% mineraal plus toegevoegde bitumen) Als extra informatie wordt de gevonden viscositeit van de asfaltmestiek bij 140°C weergegeven. Ideaal 40Pa.s (tussen 30 en 80Pa.s)

- Invoer van de gewenste dikte van omhulling van de steen met asfaltmestiek.
- De samenstelling van de asfaltmestiek, uit de invoer, wordt omgezet naar een volume: (Percentage zand / soortelijk gewicht zand) / 100; (Percentage vulstof / soortelijk gewicht vulstof) / 100; (Percentage bitumen / soortelijk gewicht bitumen) / 100; Het totaal is dan volume asfaltmestiek in cm³ per gram

Het oppervlak van de steen gradering wordt berekend doormiddel van het U-cijfer (formule van Zunker), bekend uit de grondmechanica. De stappen zijn:

-
1. Voor elke fractie de onder en bovenmaat bepalen. Deze mogen niet meer dan ongeveer $\sqrt{2}$ van elkander verschillen. Dit is voor een standaard zeefselectie in een asfaltlaboratorium het geval.
 2. Het specifieke oppervlak U-cijfer bepalen met de formule van Zunker: $U = 4,343 / (\log \text{bovenmaat} - \log \text{ondermaat}) \times (1/\text{ondermaat} - 1/\text{bovenmaat})$
 3. De soortelijke diameter bepalen. Deze is $10 / \text{het U-cijfer}$.
 4. De factor voor het soortelijk gewicht van de gekozen steen is $6000 / \text{het soortelijk gewicht uit de invoer}$.
 5. Het specifieke oppervlak (oppervlak per gewichtseenheid) van deze steen fractie is dan $U\text{-cijfer} \times \text{factor soortelijk gewicht}$
 6. Het werkelijke oppervlak van de bepaalde steen fractie is dan: $(\text{Invoer percentage zeefanalyse} / 1000) \times \text{het specifieke oppervlak}$
 7. De berekende oppervlakten voor elke fractie wordt gesommeerd tot een totaal oppervlak (voor de gevonden zeefanalyse en gerelateerd per gewicht).
-

RESULTAAT

De benodigde hoeveelheid asfaltmestiek om 1 kg steen te omhullen met de gewenste dikte = (gewenste dikte van de omhulling / 10) X (berekende oppervlak voor deze verdeling in gradering / het aandeel steen effectief gebruik / 1000). Het volume aan mestiek voor een hoeveelheid steen is via het volume per gewicht weer terug te brengen naar een mengsamenstelling in percentages gewicht steen en gewicht asfaltmestiek.

Controle van open steenasfalt:

- Om het geproduceerde open steenasfalt op (mengsamenstelling) dikte van omhulling van de steen gradatie met asfaltmestiek te controleren aan de hand van een gebruikelijke extractie zijn de uitkomsten in gewichten omgerekend naar volumens.
- Het werkblad is opgesteld voor een extractie met bitumen berekend uit verschil in gewicht, zoals gebruikelijk in asfaltlaboratoria in Nederland:
- Invoer van de extractie gegevens, aandeel mineraal, aandeel bitumen en de zeefanalyse
- Invoer van de soortelijke gewichten van de grondstoffen: steen, zand, vulstof en bitumen.
- Invoer van de gewenste mengsamenstelling, volgens vooronderzoek.
- Invoer van de maximale afwijkingen volgens het desbetreffende bestek.

De berekening van het gezamenlijke oppervlak van de gevonden steen gradering gebeurt in dezelfde stappen als bij het werkblad ontwerp.

Resultaat

- De gewichtsverhouding van de steen en asfaltmestiek en de dikte van de omhulling van de steen met asfaltmestiek.
- De aangenomen dikte van de omhulling van de steen met asfaltmestiek bij het ontwerp en de gevonden omhulling bij de controle zijn vergelijkingscijfers en zijn geen absolute waarden.

HOE WERKT DE METHODE IN DE PRAKTIJK?

Het ontwerpen van een mengsel open steenasfalt is niet gecompliceerder dan voorheen, maar de volumetrische methode geeft meer inzicht in de opbouw van het materiaal. Bijsturen van de productie bij de asfalmolen vindt men veel eenvoudiger dan voorheen. Er is veel meer inzicht in: hoe en wat er moet gebeuren en waarom. Er kan direct worden ingegrepen. Vooral bij verandering in de gradatie van de aangevoerde steen, op basis van enkel een zeefanalyse die sowieso wordt uitgevoerd als aanvoer controle. De nauwkeurigheid bij het ontwerpen van een asfaltmestiek wordt nu ook beloond met een continue vergelijkbare kwaliteit.

VOORBEELDEN UIT DE PRAKTIJK:

1. In 2008 zijn er bij een asfalmolen tot twee keer toe proefleveranties afgekeurd, op basis van de zeefanalyse. Het alternatief was een in aankoop bijna 30% duurdere steen maar deze leverde een kwalitatief beter product bij gelijkblijvende totaalkosten. Het argument om duurder in te kopen is bij de constante druk op materiaalkosten niet populair, maar door de onderbouwing was men snel te overtuigen na enkel zeefanalyses en doorrekening van de invoer met het spreadsheet. Hiermee is de basis gelegd voor een goed mengsel en bijsturen van de productie kan zeer eenvoudig en snel gebeuren. Ook op het project was overleg met de toezichhouders eenvoudiger.
2. Bij het historisch onderzoek is een project met veel onderhoud onder de loep genomen. Wat was hier fout gegaan? De open steenasfalt bleek steeds in orde: 22% asfaltmestiek en 78% steen. Echter, bij de invoer van de extractie in het werkblad voor controle bleek de omhulling met asfaltmestiek 0,4 tot 0,5mm te bedragen. De steen leveranties waren telkens wel binnen de specificatie, echter met telkens meer materiaal aan de ondergrens dan aan de bovenmaat. Zonder een volumetrische controle zoals voorgesteld zal dat altijd leiden tot goedkeuring.

GEBRUIK

De hiervoor beschreven methode van ontwerpen en controleren is sinds 1999 toegepast op werken van Hesselberg Hydro, van 2001 tot 2004 bij Bitumarin en sinds 2004 vanaf de oprichting bij Hydraphalt.