

stowa



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

STATE OF THE ART ASFALTDIJKBEKLEDINGEN



RAPPORT

2010
w06

ONDERZOEK 2010

stowa

STATE OF THE ART ASFALTDIJKBEKLEDINGEN

STOWA

2010
W06



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01
Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

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, zonedig 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	55
D	BEREKENING VAN DE OMHULLINGSDIKTE VOOR HET ONTWERP VAN OPEN STEENASFALT	57

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 WT12011 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-stuurboard), t/m 2008
ing. P. Gerrits	RWS Dir. IJsselmeergebied, vanaf 2009
ing. S.J.P. Vereeke	RWS Projectbureau Zeeweringen (mentor RWS-stuurboard)
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 toetsers 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 hechtverbeters 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 KWALITEITZORG 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-deflectiemetingen, 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 KWALITEITZORG 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, geluidhinderer et 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 GEOPENETREERDE BEKLEDINGEN

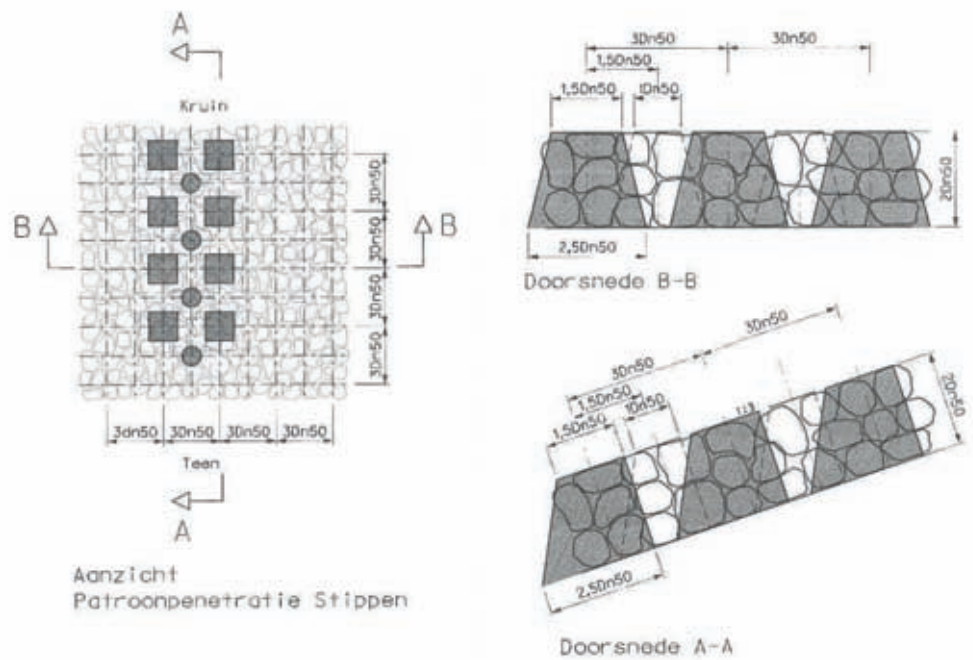
Bij reconstructie van de dijkbekledingen in Zeeland is veel ervaring opgedaan met het uitvoeren van in patroon gepenetreerde bekledingen, ook als overlaging van een bestaande bekleding. De richtlijnen die hier zijn opgenomen zijn gebaseerd op de in Zeeland opgedane ervaringen [09].

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.

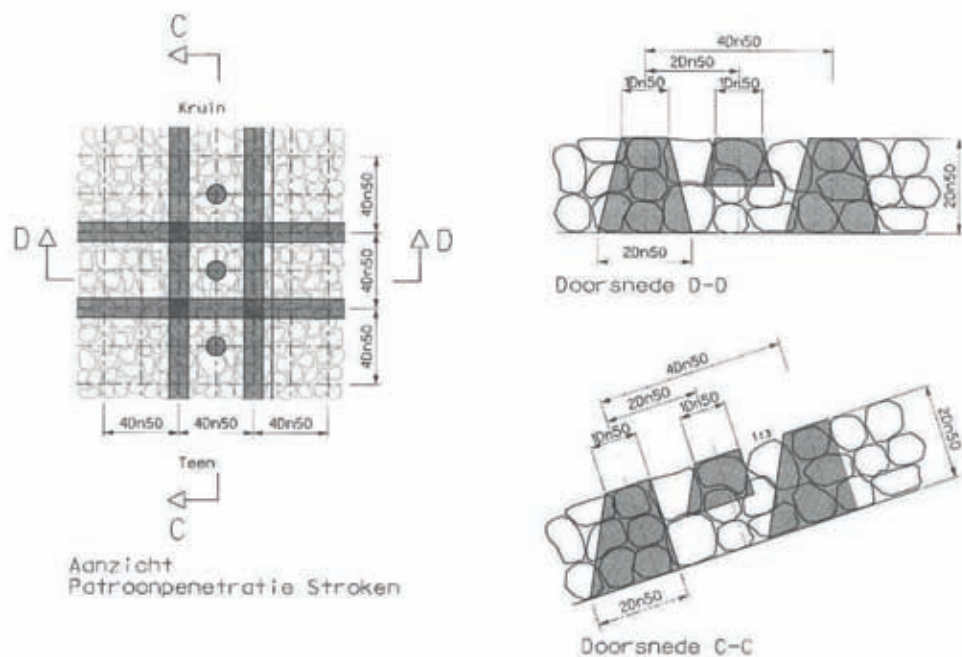
In Figuur 2-1 en Figuur 2-2 [09] zijn de gewenste afmetingen van de plots en de hart op hart afstanden gegeven.

FIGUUR 2-1 STIPPENPENETRATIE (ONDER WATER)



Voor de stippenpenetratie worden min of meer vierkante plots asfalt met een oppervlak van $1,5 \cdot D_{n50} \times 1,5 \cdot D_{n50}$ (m^2) op onderlinge hart op hart afstanden van $3 \cdot D_{n50}$ 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.

BEPALEN VAN DE LAAGDIKTE

Bij het bepalen van de laagdikte van een overlagingenconstructie 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.

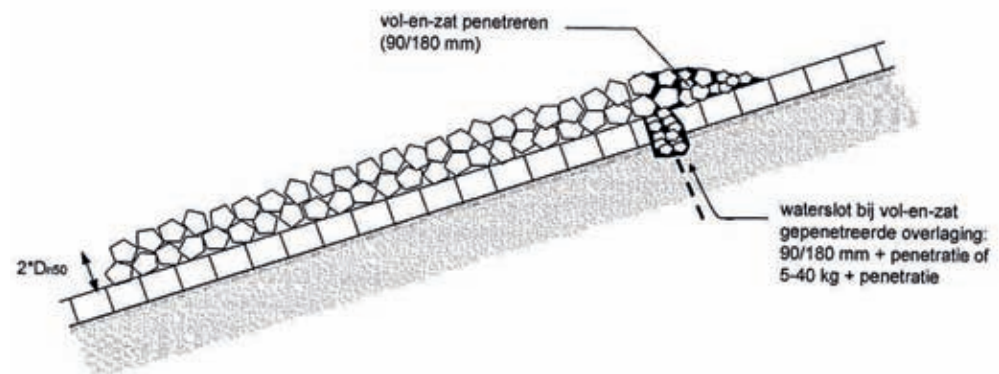
Bij een overlaging van gepenetreerde breuksteen moet worden voorkomen dat er holten ontstaan tussen de oude en nieuwe bekleding. Als een overlaging van waterbouwasfaltbeton wordt aangebracht op een oude onderlaag van asfaltbeton, bijvoorbeeld nadat er vakken met aangetast asfaltbeton zijn weggefreest, 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 ontwerpcondities 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:

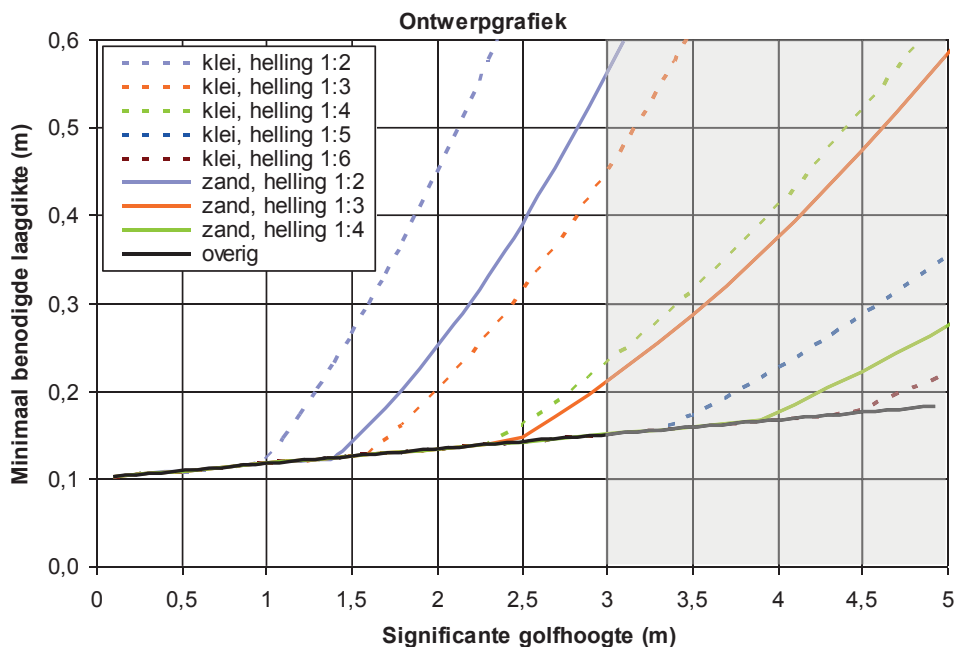
- Toepassen van een gebonden fundering onder de bekleding. Het toepassen van een gebonden fundering van bijvoorbeeld zandasfalt of hydraulisch gebonden slakken heeft als voordelen dat de weerstand van het funderingsmateriaal tegen vervormingen vele malen groter is dan dat van zand en dat het zorgt voor 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

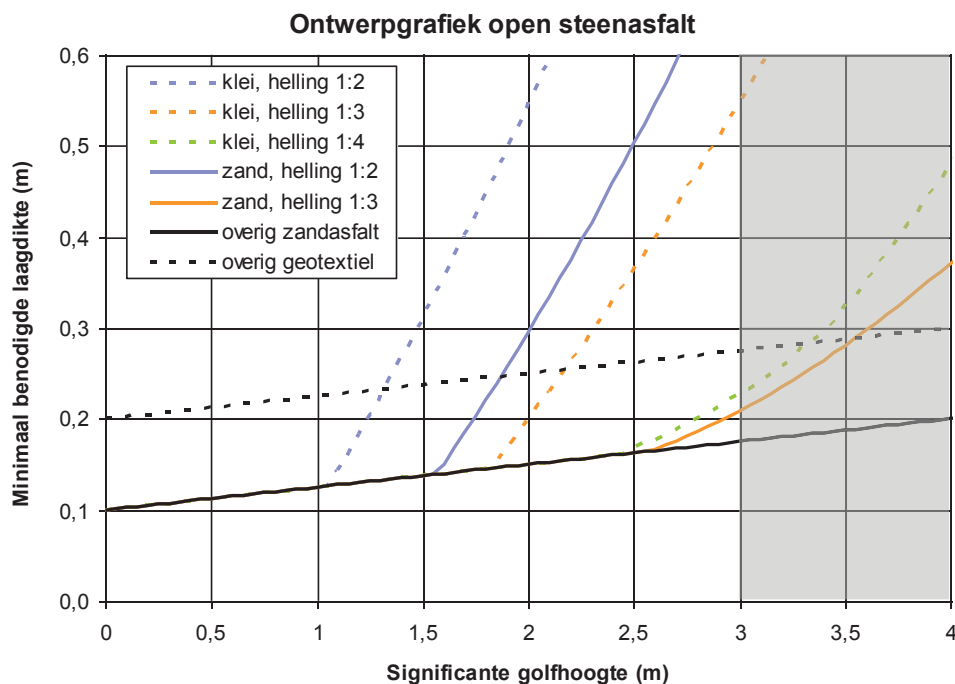
De breuksterkte en de elasticiteitsmodulus zijn gecorreleerd; asfalt met een lage breuksterkte heeft ook een lage elasticiteitsmodulus. In [17] is op basis van laboratoriumonderzoek een relatie tussen de breuksterkte en de elasticiteitsmodulus bepaald. Met deze relatie is de elasticiteitsmodulus bepaald 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 hoh 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 hechtverbeteraars (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 AFGEBROKEN 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

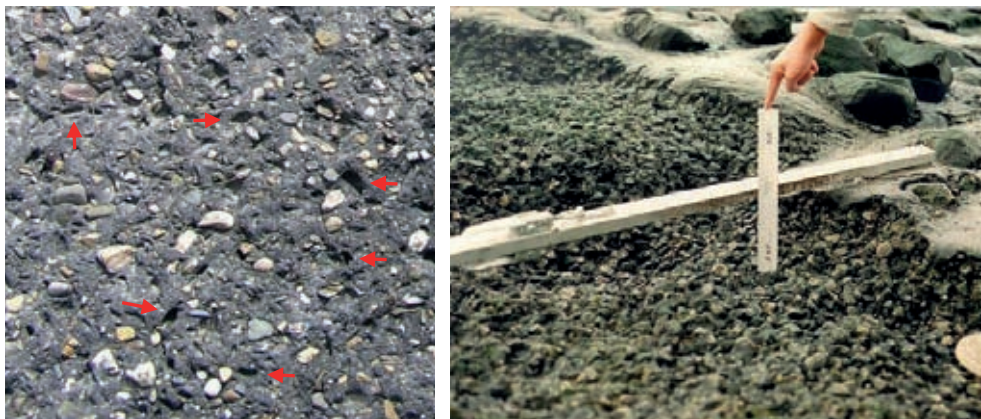
AANGETAST OPPERVLAAG: STENEN UIT HET OPPERVLAAG VERDWENEN



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.

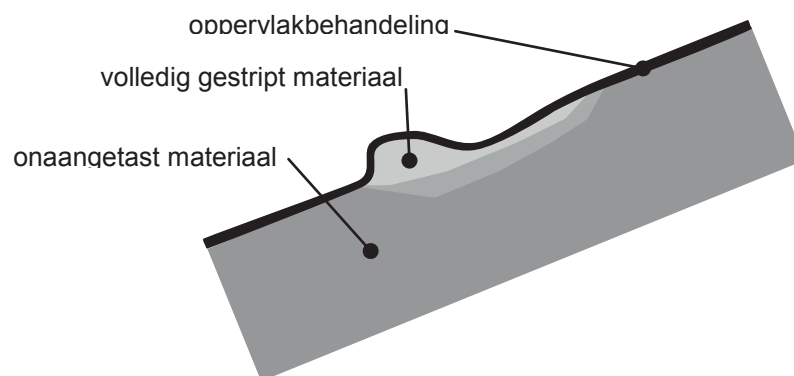
Opbollingen zijn, als ze heel lokaal zijn, een uitingvorm van stripping van het bekledingsmateriaal. De aangetaste bekleding is dan afgedekt met vaak meerdere oppervlakbehandelingen. Het zichtbare oppervlak is dus niet aangetast, maar het proces van stripping voltrekt zich onder de oppervlakbehandeling. 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 weggefreesde 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 OPPERVLAKEBEHANDELING AANGEBRACHT OP AANGETAST OPPERVLAKE



ZANDDICHTHEID

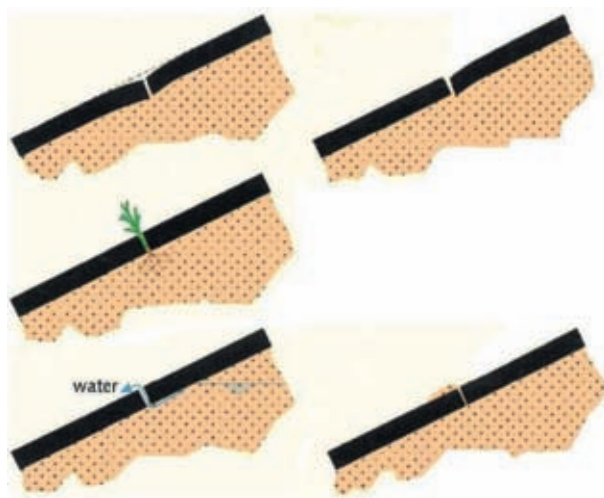
Vanuit de functie van de bekleding is het signaleren van het niet-zanddicht-zijn van de bekleding een onderwerp dat een zelfstandige plaats in de toetschema's heeft gekregen in het beoordelingsspoor Materiaaltransport (AMT). Vaak vormen combinaties van de hiervoor behandelde schades een niet mis te verstane 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.

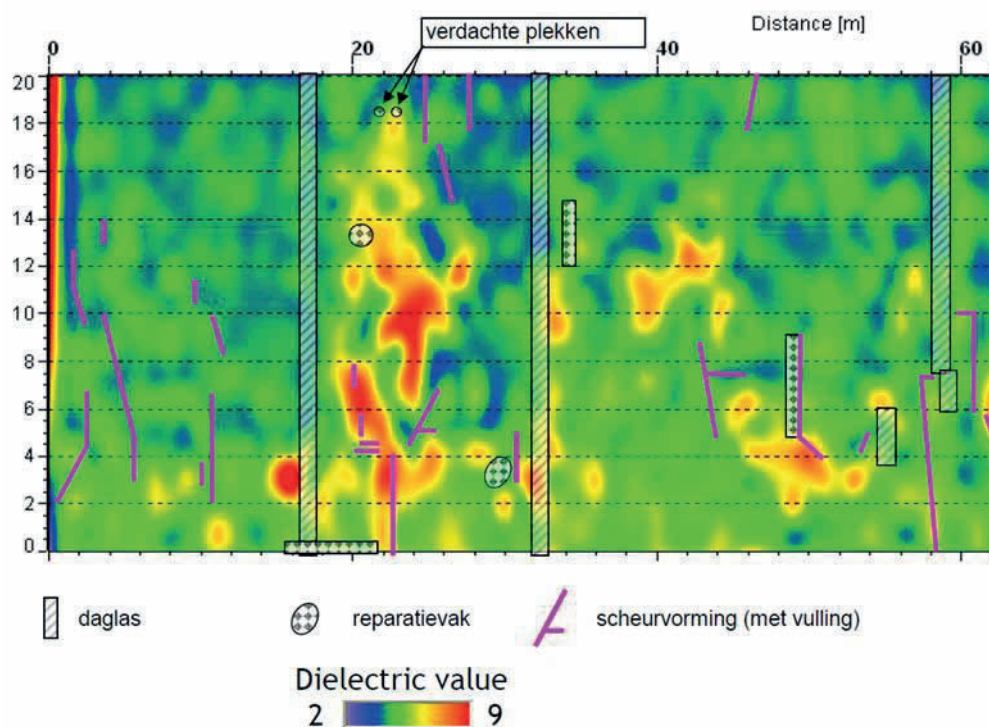
De voor radar relevante materiaaleigenschappen zijn de diëlektrische constante (permittiviteit) en de elektrische geleidbaarheid. Deze grootheden tonen variaties die veroorzaakt worden door het type aggregaat, het type bitumen, de aanwezigheid van geleidbare mineralen, de aanwezigheid van poriën en scheuren,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

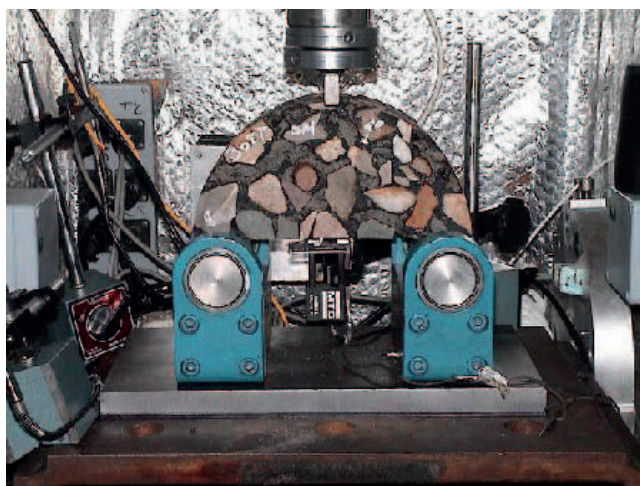


Net als bij waterbouwasfaltbeton worden alle proeven bij open steenasfalt uitgevoerd bij een temperatuur van 5 graden Celsius.

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 vermoeiingsgevoelig 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 vermoeiingsgedrag te karakteriseren. Voor de beoordeling op golfaanval is het meest relevante model gebaseerd op zowel vermoeiingsgegevens als op breuksterktes. Dat resulteert in de zogenaamde “gekromde vermoeiingslijn”. De gekromde vermoeiingslijn 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 vermoeiingslijn 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 vermoeiingsproef. 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 vermoeiingsrelatie bepaald:

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

Waarin:

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

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

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

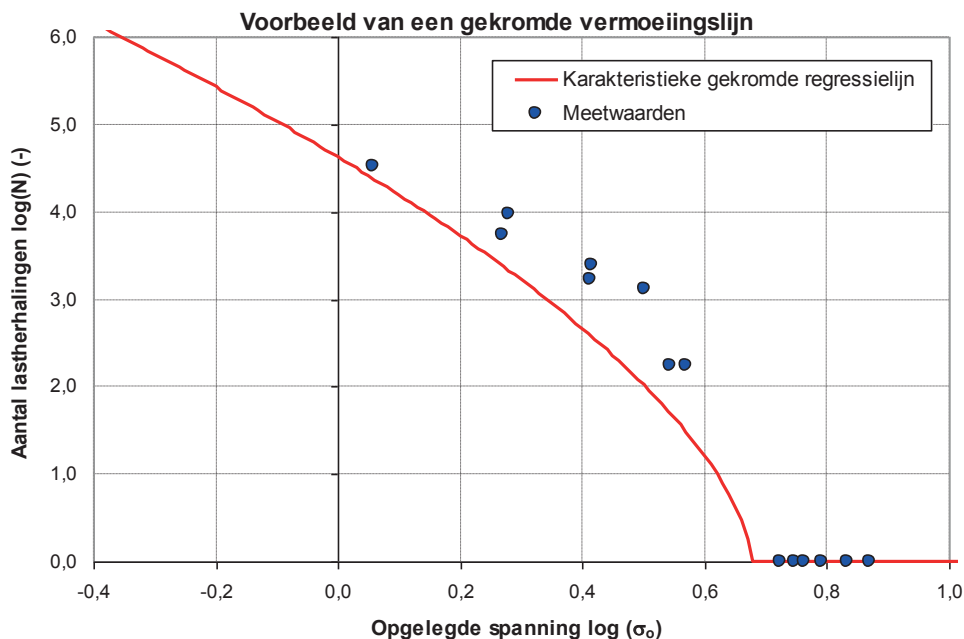
Waarin:

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

Een voorbeeld van een vermoeiingslijn 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%-ONDERGRENZ ALS EEN 95%-BOVENGRENZ, 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)

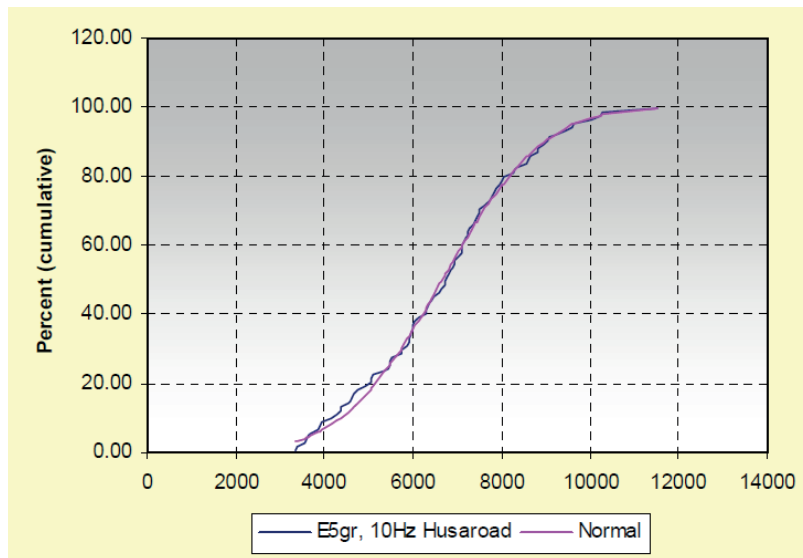
Bovenstaande methode mag strikt genomen alleen worden gebruikt als de waarnemingen “normaal” verdeeld zijn. Dit is bij asfalteigenschappen niet zonder meer het geval.

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 asfaltdijkbekledingen 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 Asfalt voor Waterkeren		
		aanvulling	vervanging	Opmerkingen
Hoofdstuk 1	ja			
2.2		8.13		
2.3	ja			
2.4	ja			
2.5.1		2.4.3		
2.5.2		8.12		
2.5.3		2.4.3		
2.6		Bijlage 7	7.4.3	Aanbevelingen voor de ontwerpparameters zijn vervangen
2.7	ja			
2.8	ja			
2.9		9.3		
2.10		Bijlage 6	7.4.2	De ontwerpgrafieken van WAB en OSA zijn vervangen
3.2	ja			
3.3		9.3		
3.4		2.4.2		
3.5			Bijlage 8	

REFERENTIELIJST

[01] Technisch Rapport Asphalt 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] Besteksbepalingen 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] Asphalt in wegen- en waterbouw, Vereniging tot Bevordering van Werken in Asphalt, 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 Asphalt 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] Methodieontwikkeling 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 top laag 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 top laag: 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 I'.

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

BIJLAGE C

PROEFVOORSCHRIFTEN WATERBOUWASFALTBETON

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 bitumenfilm 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 asfaltmastiek 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 asfalmolen.

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 spreadsheets 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: $(\text{Percentage zand} / \text{soortelijk gewicht zand}) / 100$; $(\text{Percentage vulstof} / \text{soortelijk gewicht vulstof}) / 100$; $(\text{Percentage bitumen} / \text{soortelijk gewicht bitumen}) / 100$; Het totaal is dan volume asfaltmestiek in cm^3 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 / het U-cijfer.
 4. De factor voor het soortelijk gewicht van de gekozen steen is 6000 / het soortelijk gewicht uit de invoer.
 5. Het specifieke oppervlak (oppervlak per gewichtseenheid) van deze steen fractie is dan U-cijfer X factor soortelijk gewicht
 6. Het werkelijke oppervlak van de bepaalde steen fractie is dan: (Invoer percentage zeefanalyse / 1000) X 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 asfaltmastiek 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 mastiek voor een hoeveelheid steen is via het volume per gewicht weer terug te brengen naar een mengsamenstelling in percentages gewicht steen en gewicht asfaltmastiek.

Controle van open steenasfalt:

- Om het geproduceerde open steenasfalt op (mengsamenstelling) dikte van omhulling van de steen gradatie met asfaltmastiek 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 asfaltmastiek en de dikte van de omhulling van de steen met asfaltmastiek.
- De aangenomen dikte van de omhulling van de steen met asfaltmastiek 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% duurder 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.