

# Handreiking Dijkbekledingen

Deel 3: Asfaltbekledingen







Rijkswaterstaat  
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

## Handreiking Dijkbekledingen

### Deel 3: Asfaltbekledingen

Opdrachtgever Rijkswaterstaat WVL en Projectbureau Zeeweringen  
Datum Januari 2015  
Status Definitief





## Voorwoord

### Inleiding en kader

Deze Handreiking Dijkbekledingen is opgesteld om de meest recente kennis, de state-of-the-art, vast te leggen over de in Nederland meest voorkomende typen dijkbekledingen. Die kennis kan gebruikt worden voor het ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud ervan. Het betreft een vastlegging van de kennis over bekledingen op dijken, oevers en boezemkaden met als hoofdfunctie de bescherming tegen hoogwater, golven en stroming. Het is in principe bedoeld voor dijkbekleding op primaire waterkeringen (in Nederland), maar kan ook nuttig gebruikt worden in geval van bekledingen op andere typen dijken of oevers. Het rapport bevat ook criteria om het toepassen van nieuwe materialen als dijkbekleding mogelijk te maken (ondersteuning innovaties).

Aanleiding voor het opstellen van deze handreiking is enerzijds de noodzaak om de actuele kennis publiek bekend en toegankelijk te maken en anderzijds om de behoefte van het bedrijfsleven (innovators) en de beheerders van de waterkeringen te helpen aan een gids voor het ontwikkelen en accepteren van nieuwe (innovatieve) dijkbekledingstypen.

Dit rapport wordt uitgegeven als 'Handreiking' vanwege het feit dat op dit moment veel veranderingen plaats vinden.

- Zo wordt er een nieuw toetsinstrumentarium ontwikkeld, gebaseerd op overstromingskansen (in het programma WTI).
- Ook wordt gewerkt aan het herstructureren van de ENW Leidraden en Technische rapporten,
- En er wordt gewerkt aan een Ontwerpinstrumentarium.

Deze handreiking bevat de stand van de kennis tot en met 2013. Deze kennis heeft een kwaliteitsborging- en acceptatietraject gehad met de betrokkenheid van ENW. In het rapport is ook recentere kennis verwerkt (namelijk deel 4 "breuksteenbekledingen" en paragraaf 7.3.3. van deel 5 "grasbekledingen"). Ook deze kennis heeft een kwaliteitsborgingstraject gehad. De behandeling in ENW zal in het najaar van 2015 plaatsvinden. Deze handreiking wordt binnenkort in de nieuwe structuur van ENW Leidraden en Technische Rapporten verwerkt.

Dit onderdeel van de Handreiking Dijkbekledingen betreft Deel 3: Asfaltbekledingen.

### Structuur en samenhang

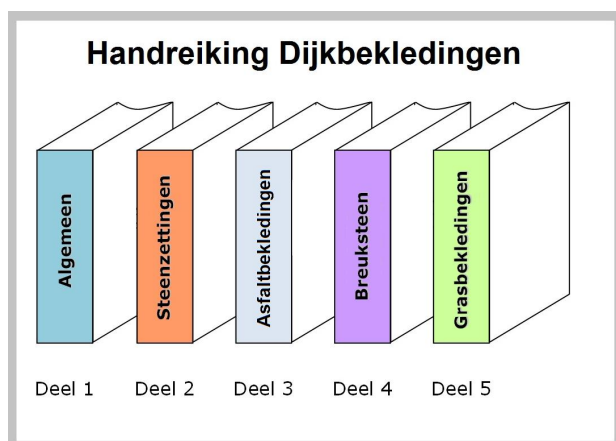
De Handreiking Dijkbekledingen bestaat uit vijf delen:

- Deel 1 : *Algemeen*  
Deel 1 geeft de criteria aan voor de toepassing van (innovatieve) bekledingen op waterkeringen.
- Deel 2 : *Steenzettingen*  
Deel 2 bevat de (technische) eisen en rekenregels ten behoeve van het ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud van steenzettingen.
- Deel 3 : *Asfaltbekledingen* (dit onderdeel)  
Deel 3 bevat de (technische) eisen en rekenregels ten behoeve van het ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud van asfaltbekledingen.
- Deel 4 : *Breuksteenbekledingen*  
Deel 4 bevat de (technische) eisen en rekenregels ten behoeve van het

ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud van breuksteenbekledingen.

Deel 5 : *Grasbekledingen*

Deel 5 bevat de rekenregels en achtergrondinformatie ten behoeve van de toetsing van grasbekledingen.



De indeling van de Handreiking is per onderdeel verschillend:

*Deel 1* heeft een eigen indeling op basis van de eisen vanuit wetgeving en vanuit de functies van de bekleding;

*Deel 2 t/m 4* zijn opgesteld als 'gebruiksdocument', vanuit het perspectief van de gebruiker. Hiervoor is een duidelijke scheiding tussen toepassingen (ontwerp, toetsen en B&O) en achtergrondinformatie doorgevoerd. Achtergrondinformatie is in deze rapporten alleen op hoofdlijnen gegeven met verwijzingen naar onderliggende (onderzoek) rapportages. *Deel 2 t/m 4* zijn opgebouwd uit een leeswijzer en vier katernen: ontwerp, toetsen, beheer & onderhoud en algemene informatie.

*Deel 5:* is gebaseerd op het rapport 'Toetsen Grasbekledingen op Dijken' en opgesteld in het kader van het onderzoekprogramma Sterkte en Belastingen Waterkeringen (SBW). Omdat de achtergrondinformatie en achtergronden van het onderzoek zijn opgenomen in het document heeft *deel 5* hierdoor een afwijkende indeling. Ondanks deze andere opbouw is dit onderdeel opgenomen in de Handreiking Dijkbekledingen ten einde alle veelvoorkomende typen bekledingen aan bod te laten komen.

Totstandkoming Handreiking Dijkbekledingen

De Handreiking Dijkbekledingen is grotendeels opgesteld op basis van beschikbare kennis en documenten tot en met 2013:

Deel 1 : *Algemeen* is integraal gebaseerd op het rapport:

- *Criteria voor toepassing van bekledingen op waterkeringen. Hulpmiddel voor ontwikkeling van innovatieve dijkbekledingen* [64].

Deel 2 : *Steenzettingen* is onder andere gebaseerd op onderdelen van:

- het *Technisch Rapport Steenzettingen* [11];

- de *Documentatie Steentoets2014* [90];
- overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst Deel 2.

Deel 3 : *Asfaltbekledingen (dit onderdeel)* is onder andere gebaseerd op onderdelen van:

- het *Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren* [60];
- de *State of de art Asfaltdijkbekledingen* [82];
- overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst van dit onderdeel.

Deel 4 : *Breuksteenbekledingen* is onder andere gebaseerd op teksten uit:

- het *Technisch Rapport Steenzettingen* [11];
- overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst Deel 4.

Deel 5 : *Grasbekledingen* is vrijwel gelijk aan de '*Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*' en is gebaseerd op:

- het onderzoeksrapport *Toetsen Grasbekledingen op Dijken* [85].

De Handreiking Dijkbekledingen is tot stand gekomen mede door:

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijks-waterstaat (WVL en Projectbureau Zeeweringen)	
Opgesteld door	J. Cirkel, C. van Dam ( <i>projectleiders</i> ) E. van den Akker, J.-W. Nell ( <i>redacteurs</i> )	Royal HaskoningDHV
Bijdragen en Begeleidingsgroep	M. Klein Breteler R. 't Hart B.G.H.M. Wichman C.J. Dorst Y. Provoost A. Bizzarri ( <i>projectleider</i> )	Deltares Deltares Deltares RWS RWS RWS
(Externe) kwaliteitsborging	ENW Klankbordgroep Asfalt Martin van de Ven ( <i>voorzitter</i> )	
Overige bijdragen aan Deel 3 ( <i>dit onderdeel</i> )	A.K. de Loeff C.C. Montauban N. Leguit	KOAC·NPC - Hydraphalt

## Inhoudsopgave (Deel 3: Asfaltbekledingen)

Voorwoord

Lijst met afkortingen

Symbolenlijst

Verklarende woordenlijst

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Leeswijzer	1
KATERN I: ONTWERP		
2	Ontwerpprocedure	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Ontwerpstappen	3
2.3	Relatie met Duurzaam Bouwen	5
2.4	Toelichting op ontwerpstappen	7
3	Vorbereiding, inventariseren functies en eisen	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Waterkeren	10
3.2.1	Erosiebescherming	10
3.2.2	Waterafsluiting	10
3.3	Verkeer	11
3.4	Landschap en ecologie	11
3.5	Recreatie	11
3.6	Indeling in zones	12
3.6.1	Bermen	12

3.6.2	Rivierdijken	12
3.6.3	Meerdijken	13
3.6.4	Zeedijken	14
3.7	Eerste selectie	15
3.8	Functionele eisen	17
3.8.1	Weerstand tegen hydraulische belastingen	17
3.8.2	Volgen van zettingen en ontgrondingen	18
3.8.3	Weerstand tegen belastingen door ijs en drijvende objecten	18
3.8.4	Waterdichtheid en grondichtheid	19
3.8.5	Begaanbaarheid	20
3.8.6	Draagvermogen	22
3.8.7	Aanzicht/esthetica	22
3.8.8	Begroeibaarheid	22
3.8.9	Constructiegebonden factoren	23
3.8.10	Locatiegebonden factoren	24
3.8.11	Bestendigheid tegen vandalisme	29
4	Dimensioneren	31
4.1	Inleiding	31
4.2	Ontwerpaspecten constructies	31
4.2.1	Algemeen	31
4.2.2	Ontwerpaspecten taludbekleding	32
4.2.3	Ontwerpaspecten teenbescherming	36
4.2.4	Ontwerpaspecten vooroeververdediging	37
4.2.5	Ontwerpaspecten filterconstructie	38
4.2.6	Overlaging van een bestaande constructie	39
4.3	Dimensioneren op wateroverdrukken	41

4.3.1	Algemeen	41
4.3.2	Doorlatendheid van de ondergrond	41
4.3.3	Bepaling van de maatgevende waterstanden	42
4.3.4	Bepaling van de benodigde laagdikte	45
4.3.5	Invloed van de teenconstructie	47
4.4	Dimensioneren op golfklappen	47
4.4.1	Algemeen	47
4.4.2	Waterbouwasfaltbeton	48
4.4.3	Open steenasfalt	49
4.4.4	“Vol en zat” gepenetreerde breuksteen	50
4.4.5	Patroon gepenetreerde bekleding	50
4.4.6	Ontwerp waterbouwasfaltbeton bij hoge golven	56
4.5	Dimensioneren op stroming	57
4.5.1	Weerstand tegen stroming	57
4.5.2	Golfoploop	59
4.6	Dimensioneren op overdrukken door golfbeweging	60
4.7	Dimensioneren op ontgrondingen	61
4.8	Dimensioneren op kruierend ijs	63
4.9	Dimensioneren op verkeersbelasting	64
4.10	Dimensioneren van aansluitings- en overgangsconstructies	66
4.10.1	Overgang op hetzelfde materiaal	66
4.10.2	Overgang op andere bekledingen	68
4.10.3	Aansluitingen op kunstwerken	73
4.10.4	Teenconstructies	74
4.11	Wapenen van asfaltbekledingen	76
4.11.1	Inleiding	76



4.11.2	Functie	76
4.11.3	Soorten wapening	76
4.11.4	Ontwerp	77
4.11.5	Aanbrengen van wapening	79
5	Ontwerp voorbeeld	81
5.1	Inleiding	81
5.2	Locatie en huidige constructieopbouw	81
5.3	Inventarisatie functies, eisen, wensen en belangen	83
5.3.1	Functies van het te beschermen voorland	83
5.3.2	Projecten en werkzaamheden derden	83
5.3.3	Verontreinigingen	83
5.3.4	Derden/ omgeving land	83
5.3.5	Derden/ omgeving water (nautische aspecten)	84
5.3.6	Vergunningen	84
5.4	Ondergrond en hydraulische randvoorwaarden	85
5.4.1	Geotechnische informatie	85
5.4.2	Hydraulische belastingen	85
5.4.3	Stroming	86
5.5	Ontwerp bekleding oeverbescherming	86
5.5.1	Uitgewerkte varianten	86
5.5.2	Variant 1	86
5.5.3	Variant 2	87
5.5.4	Dimensioneren bekleding	88
5.5.5	Boventalud	88
5.5.6	Ondertalud	91

## KATERN II: TOETSING

6	Toetsing	95
6.1	Inleiding	95
6.2	Verzamelen gegevens	95
6.2.1	Inspectie en meetmethoden	96
6.2.2	Laboratoriumonderzoek	96
6.2.3	Materiaalkarakterisering	100
6.3	Vaststellen vakindeling	103
6.4	Gedetailleerde toetsing	103
6.4.1	Materiaaltransport (AMT)	103
6.4.2	Ernstige schade (AES)	104
6.4.3	Golfklap (AGK)	104
6.4.3.1	Toetsing met GOLFKLAP	104
6.4.3.2	Belastingkenmerken golfklap	105
6.4.3.3	Invoerparameters GOLFKLAP	105
6.4.3.4	Reststerkte bekleding	107
6.4.4	Bezwijken van de onderlaag (ABO)	107
6.4.5	Wateroverdruk (AWO)	107
6.5	Geavanceerde analyse	108
6.5.1	Materiaaltransport (AMT)	108
6.5.2	Ernstige schade (AES)	108
6.5.3	Golfklap (AGK)	108
6.5.4	Bezwijken van de onderlaag (ABO)	112
6.5.5	Wateroverdruk (AWO)	112
6.6	Toetsing van overgangsconstructies	112

7	Toetsing voorbeeld	113
7.1	Inleiding	113
7.2	Projectomschrijving	113
7.2.1	Inleiding	113
7.2.2	Beschrijving dijktraject	113
7.3	Vorbereidingen	114
7.3.1	Inleiding	114
7.3.2	Gegevens verzamelen	114
7.3.3	Indeling dijkvakken	115
7.4	Toetsproces	116
7.4.1	Zone-indeling	116
7.4.2	Toetsing op materiaaltransport (AMT)	117
7.4.3	Beoordeling ernstige schade (AES)	118
7.4.4	Toetsing op golfklappen (AGK)	118
7.4.5	Toetsing op wateroverdrukken (AWO)	127
7.4.6	Toetsing bezwijken onderlaag (ABO)	129
7.4.7	Toetsing overgangsconstructies	129
KATERN III: UITVOERING, INSPECTIE, BEHEER EN ONDERHOUD		
8	Uitvoering	131
8.1	Inleiding	131
8.2	Bestekken	131
8.3	Het dijklichaam	132
8.4	Filterlagen	134
8.5	Vooronderzoek asfaltmengsels	134
8.5.1	Hechting steen-bitumen	135
8.6	Asfaltbereiding	136

8.7	Asfalttransport	138
8.8	Asfaltverwerking	140
8.8.1	Algemeen	140
8.8.2	Verwerking asfaltbeton	143
8.8.3	Verwerking asfaltmastiek en gietasfalt	148
8.8.4	Verwerking open steenasfalt	152
8.8.5	Verwerking zandasfalt	155
8.9	Uitvoering overgangsconstructies	158
8.10	Aanbrengen oppervlakbehandeling	158
8.11	Aanbrengen van wapening	160
8.12	Hergebruik asfalt	161
8.13	Kwaliteitszorg	161
8.13.1	Algemeen	161
8.13.2	Waterbouwasfalt	162
8.13.3	Integrale kwaliteitszorg	164
9	Schadebeelden en inspectie	167
9.1	Inleiding	167
9.2	Schadebeelden	167
9.3	Zanddichtheid	176
9.4	Interpretatie van inspectieresultaten	177
10	Beheer en onderhoud	179
10.1	Inleiding	179
10.2	Beheersysteem	179
10.3	Niet-destructief onderzoek van de asfaltkwaliteit	180
10.3.1	Inleiding	180

10.3.2	Nucleaire dichtheidsmeter	181
10.3.3	Grondradar	182
10.3.4	Valgewicht-deflectiemeter	184
10.3.5	Toepasbaarheid niet-destructieve onderzoeksmethoden	186
10.4	Reparatiemethoden	186
10.4.1	Inleiding	186
10.4.2	De aansluiting met de aanliggende constructie	187
10.4.3	De aard van het reparatiemiddel	187
10.4.4	Uitvoeringstechniek	188
10.4.5	Vullen van scheuren en naden	189
10.4.6	Vullen boorkerngaten	190
10.4.7	Uitvullen	190
10.4.8	Herprofileren	193
10.4.9	Herstellen van het filter	193
10.4.10	Overlagen	193
10.4.11	Uitvoeringstechniek reparatie overgangsconstructies	194
KATERN IV: ALGEMENE INFORMATIE		
11	Asfalt	195
11.1	Kennismaking	195
11.2	Bouwstoffen	195
11.2.1	Mineraal aggregaat	195
11.2.2	Bindmiddelen	197
11.2.3	Hulpstoffen	197
11.3	Mengselaspecten	198
11.3.1	Algemeen	198
11.3.2	Holle ruimte in het korrel skelet	198

11.3.3	Vulling van de holle ruimte	198
11.3.4	Holle ruimte in het mengsel	199
11.4	Eigenschappen	199
11.4.1	Doorlatendheid	199
11.4.2	Mechanische eigenschappen	200
11.4.3	Levensduur	202
11.4.4	Ingieting toplaag	206
11.5	Testmethoden	207
11.5.1	Testen voor kwaliteitsbewaking	207
11.5.2	Testen voor mechanische eigenschappen	207
11.5.3	Testen om de verwerkbaarheid vast te stellen	208
11.5.4	Bijzondere testen	210
11.6	Milieu	210
11.6.1	Algemeen	210
11.6.2	Besluit bodemkwaliteit	210
11.6.3	BRL 9320	211
11.6.4	PAK	211
11.6.5	Gezondheid	211
11.6.6	Hergebruik van asfalt	211
11.6.7	LNC	212
11.7	Mengsels	212
11.7.1	Algemeen	212
11.7.2	Asfaltbeton	213
11.7.3	Asfaltmastiek	213
11.7.4	Gietasfalt	214
11.7.5	Open steenasfalt	216



11.7.6	Zandasfalt	217
11.7.7	Overige mengsels	218
12	Faalmechanismen asfaltbekledingen	219
12.1	Inleiding	219
12.2	Bezwijken ten gevolge van golfklappen	219
12.2.1	Overschrijding van de buigtreksterkte door golfklappen	219
12.2.2	Afschuiving in de asfaltbekleding	221
12.2.3	Bezwijken van de ondergrond door golfklappen	222
12.3	Bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken	222
12.4	Materiaaltransport vanonder de bekleding	224
12.5	Erosie bekledingsoppervlak	225
12.6	Opdrukken door golfbeweging	225
12.7	Falen ten gevolge van ontgroning van de vooroever	226
13	Toepassingen van asfalt bij waterkeringen	227
13.1	Algemeen	227
13.2	Dijkbekleding	227
13.3	Teenbescherming	228
13.4	Duinvoetverdediging	229
13.5	Vooroeververdediging	230
13.6	Filterconstructie	231
COLOFON		238

## Lijst met afkortingen

ABB	Algemeen Besteksbestand
ABO	In de toetsing gehanteerd faalmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van erosie van de onderlaag na het falen van de toplaag (Asfaltbekledingen Bezwijken Onderlaag)
AES	In de toetsing gehanteerd faalmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van erosie van zand onder de bekleding in de hoge golfploopzone als gevolg van ernstige beschadigingen van de toplaag (Asfaltbekledingen Ernstige Schade)
AGK	In de toetsing gehanteerd faalmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van golfklappen (Asfaltbekledingen Golfklappen)
AMT	In de toetsing gehanteerd faalmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van erosie van zand onder de bekleding (Asfaltbekledingen MateriaalTransport)
APV	Algemene Plaatselijke Verordening
AWO	In de toetsing gehanteerd faalmechanisme 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
CUR	Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving
ENW	Expertise Netwerk Waterveiligheid, voorheen Expertise Netwerk Waterkeren
GHW	Gemiddelde hoogwaterstand (t.o.v. NAP)
GLW	Gemiddeld Laag Water (t.o.v. NAP)
GPR	Ground Penetrating Radar
GWS	Gemiddelde Waterstand (t.o.v. NAP)
GWW	Grond-, Weg- en Waterbouw
HDPE	Hoge dichtheid polyetheen
ITT	Indirecte trekproef (Indirect Tensile Test)
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Levenscyclusanalyse
LNC	Landschap, natuur en cultuurhistorie
MGWS	Maatgevende Grondwaterstand (t.o.v. NAP)
MHW	Maatgevend Hoogwater (t.o.v. NAP)
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NDO	Niet Destructief Onderzoek

NEN	Nederlandse Norm
NEN-EN	Europese Norm
NPC	Netherlands Pavement Consultants
PAK	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen
PP	Polypropeen (polypropyleen)
RAW	Rationalisatie en Automatisering Wegenbouw
RWS	Rijkswaterstaat
SAMI	Scheurremmende tussenlaag (Stress Absorbing Membrane Interlayer)
SE	Systems Engineering
SCB	Semi Circular Bending
STOWA	Stichting Toegepast Onderzoek Waterkeringen
TAW	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
VBW-Asfalt	Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt
VGD	Valgewicht Deflectie
VTV	Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen
WAB	WaterbouwAsfaltBeton
WM	Wet milieubeheer
WRO	Wet Ruimtelijke Ordening
WTI	Wettelijk toetsinstrumentarium

## Symbolenlijst

$a$	de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand	[m]
$a_v$	vermoeiingsparameter	[-]
$b$	parameter die afhankelijk is van de interactie tussen golven en het bekledingstype	[-]
$B$	lengte van de dichte bekleding op het voorland	[m]
$c$	beddingsconstante	[MPa/m]
$c_{5\%}$	beddingsconstante die door 5% van de waarnemingen wordt onderschreden	[MPa/m]
$d$	aanwezige laagdikte	[m]
$d_{\min}$	benodigde laagdikte	[m]
$d_{\text{gem}}$	gemiddeld aanwezige laagdikte	[m]
$d_{5\%}$	aanwezige laagdikte die door 5% van de waarnemingen wordt onderschreden	[m]
$d(y)$	benodigde laagdikte op $y$ meter van de onderkant van de gesloten bekleding	[m]
$d_{\max}$	maximaal benodigde laagdikte wegens wateroverdrukken	[m]
$D_{n50}$	nominale steendiameter, gebaseerd op $M_{50}$	[m]
$E$	asfaltstijfheid	[MPa]
$E_{95\%}$	asfaltstijfheid die door 5% van de waarnemingen wordt overschreden	[MPa]
$g$	versnelling van de zwaartekracht	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	waterdiepte	[m]
$h_t$	waterdiepte ter plaatse van de teenconstructie	[m]
$H$	golfhoogte	[m]
$H_s$	significante golfhoogte	[m]
$K$	waterdoorlatendheid	[m/s]
$K_D$	stabiliteitsfactor formule van Hudson	[m]
$k_v$	vermoeiingsparameter	
$l$	lengte scheur	[m]
$l_s$	lengte slab	[m]
$l_b$	lengte van de bodembescherming in de golfrichting	[m]
$L$	golflengte, lengte van de dichte damwand in te teen van de dijk	[m]
$L_{op}$	golflengte op diep water op basis van de piekperiode	[m]

$L_p$	golflengte op basis van de piekperiode bij een heersende waterdiepte	[m]
$M$	Minersom, maat voor de schade door vermoeiing	[-]
$M_{50}$	massa van de steen die door 50% van de steen wordt overschreden	[kg]
$n$	Aantal waarnemingen van de steekproef	[-]
$N_s$	stabiliteitsgetal	[-]
$N_v$	aantal lastherhalingen bij bezwijken	[-]
$q$	verticale afstand tussen teen van de dijk en de fictieve onderrand van de dichte bekleding in geval van een dichte damwand in de teen	[m]
$Q_n$	factor, afhankelijk van de taludhelling	[-]
$r$	verticale afstand tussen teen van de dijk en de fictieve onderrand van de dichte bekleding in geval van een dichte bekleding op het voorland	[m]
$R_w$	reductiefactor in verband met ligging buitenwaterstand	[-]
$S$	stijfheidsmodulus asfalt	[MPa]
$t$	factor voor het in rekening brengen van de onzekerheid als gevolg van een beperkt aantal waarnemingen in een steekproef (Student-t)	[-]
$T_q$	gemiddelde golfperiode	[s]
$T_{tij}$	duur van een getijperiode	[u]
$T_{lucht}$	luchttemperatuur	[°C]
$T_{m-1,0}$	spectrale golfperiode	[s]
$T_p$	golfperiode bij de piek van het spectrum	[s]
$T_{r\&k}$	verwekingspunt	[°C]
$v$	de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand	[m]
$X_{gem}$	gemiddelde waarde van een steekproef	
$X_i$	waarde voor trekking $i$	
$X_{kar}$	karakteristieke waarde	
$y$	de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot het beschouwde punt	[m]
$y_{m,e}$	evenwichtsdiepte ontgroning	[m]
$Z_{2\%}$	de verticaal gemeten golfploohoogte op een talud die door 2% van de golven wordt overschreden	[m]
$Z_{2\%,glad}$	de verticaal gemeten golfploohoogte op een glad talud die door 2% van de golven wordt overschreden	[m]
$\alpha$	taludhoek ten opzichte van de horizontaal	[°]
$\alpha_v$	vermoeiingsparameter	[-]

$\beta_v$	vermoeiingsparameter	[-]
$\phi$	stabiliteitsfactor	[-]
$\gamma_r$	reductiefactor voor de golfploop in verband met de ruwheid van het talud	[-]
$\Delta$	relatieve dichtheid steen ten opzichte van (zee)water	[-]
$\nu$	constante van Poisson voor asfalt (=0,35)	[-]
$\rho_a$	dichtheid van de bekleding	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_s$	dichtheid van de breuksteen	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	dichtheid van water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\xi$	brekerparameter	[-]
$\xi_{0\rho}$	brekerparameter op basis van piekperiode van onregelmatige golven op diep water	[-]
$\sigma$	standaardafwijking	
$\sigma_0$	optredende trekspanning	[MPa]
$\sigma_b$	breuksterkte	[MPa]
$\sigma_{b,5\%}$	de 5%-waarde van de breuksterkte	[MPa]
$\sigma_c$	standaardafwijking van de beddingsconstante	[MPa/m]
$\sigma_d$	standaardafwijking van de aanwezige asfaltdikte	[m]
$\sigma_E$	standaardafwijking van de asfaltstijfheid	[MPa]
$\sigma_{\log k}$	standaardafwijking van de vermoeiingsparameter	[-]
$\sigma_q$	parameter kansdichtheid stootfactor	[-]
$\sigma_{\max}$	maximale buigspanning van het asfalt	[MPa]
$\varphi$	hoek van inwendige wrijving van de ondergrond	[°]
$\varphi_\beta$	hoek van inwendige wrijving van de bekleding	[°]
$\psi_u$	(empirische) upgradingfactor voor stabiliteit, afhankelijk van bekledingstype	[-]



## Verklarende woordenlijst

afschuiven	(onder frequent voorkomende omstandigheden optredende) neiging tot afglijden van een bekleding langs het talud doordat een wateroverdruk onder de bekleding de wrijving tussen de bekleding en de ondergrond zodanig vermindert dat deze kleiner wordt dan de component van het eigen gewicht van de bekleding langs het talud
asfalt	een natuurlijk of kunstmatig mengsel van bitumen en minerale stoffen
asfaltkleefmiddel	een dun vloeibaar mengsel van bitumen en een vluchtig oplosmiddel
asfaltmastiek	warm bereid asfalt met een continu gegradeerd mengsel van zand en vulstof en een overmaat aan bitumen, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft
asfaltmortel	een mengsel van bitumen met zand en vulstof als component van een asfaltmengsel
beddingsconstante	een coëfficiënt die de verhouding aangeeft tussen de door de grond geleverde tegendruk en de zakking van de grond ten gevolge van een bovenbelasting (een parameter die de stijfheid van de ondergrond uitdrukt)
benedenrivierengebied	een gebied waar de waterstand van de rivier wordt bepaald door de waterstand op zee en de rivierafvoer
bitumen	een zeer viskeuze vloeistof of vaste stof, in hoofdzaak bestaande uit koolwaterstoffen of hun derivaten, die vrijwel geheel oplosbaar is in zwavelkoolstof
bitumenemulsie	een homogeen mengsel van bitumen en water waarbij bitumen in de vorm van zeer kleine bolletjes is gedispergeerd in water
dicht steenasfalt	een licht overvuld mengsel met een zekere gap-grading, waardoor verdichting door eigen gewicht optreedt
dichtingslaag	een laag bindmiddel aangebracht op een oppervlak van waterbouwasfaltbeton
emulgator	een stof die een emulsie stabiel houdt (er voor zorgt dat de geëmulgeerde stof niet samenklontert)
fauna-uitstapplaats	een voorziening langs een steile oever van een waterweg, waar (te water geraakte) dieren aan land kunnen komen
flexibiliteit	buigzaamheid, het vermogen om vervormingen te kunnen ondergaan waarbij het materiaal intact blijft
fractie	verzameling korrels die de grootste van twee nader aangeduide zeven (nominale fractiegrenzen) passeert en blijft liggen op de kleinste. De ondergrens kan daarbij ook nul zijn
freatische lijn	niveau van de waterspiegel in een dijklichaam

geschiktheidsonderzoek	onderzoek waarbij een proefproductie (veelal een dagproductie, volgens de RAW-standaard: 40 ton van waterbouwasfaltbeton of 16 ton in geval van open steenasfalt) bereid en verwerkt wordt op de door de aannemer voorgestelde werkwijze, met als doel aan te tonen dat de beoogde werkwijze tot de vereiste kwaliteit leidt.
gietasfalt	warm bereid asfalt met een mengsel van gegradeerd grind (of steenslag) en een overmaat aan asfaltmastiek, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft
golflap	korte drukstoot op het talud die ontstaat doordat de watermassa van een brekende golf het talud met grote snelheid treft
Golflap	in de toetsing gehanteerd faalmechanisme voor asfaltbekledingen: bezwijken ten gevolge van golflappen (AGK, Asfaltbekledingen Golfklappen)
GOLFLAP	software waarmee de vermoeiingsschade aan asfaltbekledingen als gevolg van inslaande golven kan worden berekend
golfooploop	de hoogte boven de waterstand tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt
grindasfaltbeton	warm bereid asfalt met een continu gegradeerd mengsel van grind, zand en vulstof, dat een laag percentage holle ruimte heeft
inwendige stabiliteit	mate van weerstand van een asfaltmengsel tegen blijvende en ongewenste vervormingen ten gevolge van het eigen gewicht of externe belastingen (bijvoorbeeld walsen)
klink	dikteafname van een grondconstructie of -laag ten gevolge van autonome verdichting van het materiaal
korrelgroep	verzameling korrels die met uitzondering van geringe percentages boven- en ondermaat blijft liggen tussen twee nader aangeduide zeven
korrelverdeling	verdeling van de korrels naar afmeting in de diverse fracties binnen een korrelgroep
kruip	in de tijd doorgaande vervorming van een materiaal ten gevolge van een belasting
maatgevende hoogwaterstand (MHW)	de ontwerpwaterstand volgens de norm van artikel 3.2 van de Waterwet
mineraal aggregaat	mengselcomponent in asfalt, bestaande uit grind of steenslag, zand en vulstof of een combinatie hiervan
ontwerppeil	waterpeil dat als maatgevend voor het ontwerp van een waterbouwkundige constructie wordt beschouwd (MHW)
opdrijven	onder extreme omstandigheden optredende neiging tot

	oplichten van een bekleding langs het talud door een wateroverdruk onder de bekleding die groter is dan de component van het eigen gewicht loodrecht op het talud
open steenasfalt	warm bereid asfalt met een mengsel van grof en uniform gegradeerd steenslag en een ondermaat aan asfaltmastiek, dat een hoog percentage holle ruimte heeft
oppervlakbehandeling	een dichtingslaag en/of een slijtlaag op een bekleding van asfaltbeton
ontgronding	erosie van de vooroever ten gevolge van stroming en/of golfaanval
patroonpenetratie	het vullen van de holle ruimten in een laag breuksteen met gietasfalt of asfaltmastiek over de gehele dan wel over een gedeelte van de dikte van de laag, waarbij het gietasfalt of de asfaltmastiek gelijkmatig over een deel van het oppervlak van de breuksteen volgens een aangegeven stramien wordt aangebracht
penetratie (van bitumen)	de getalwaarde van de indringing, uitgedrukt in eenheden van 0,1 mm, van een standaard naald die verticaal op het oppervlak van een bitumineus materiaal is geplaatst onder gespecificeerde condities van temperatuur, belasting en tijd
penetratie-index	een maat voor de temperatuurafhankelijkheid van de viscositeit van bitumen
primaire waterkering	een waterkering die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen
proctordichtheid, maximum	hoogste dichtheid van grond die in een gestandaardiseerde proefprocedure wordt bereikt als het watergehalte wordt gevarieerd
schroefstralen	beweging in het water achter de draaiende schroef van het schip
significante golfhoogte	de gemiddelde golfhoogte van het hoogste één derde deel van de golven (op diep water is dat de golfhoogte die door ongeveer 13,5% van de golven wordt overschreden) gedurende een bepaalde periode, bijvoorbeeld een half uur
slijtlaag	dunne laag vloeibitumen of bitumenemulsie die wordt aangebracht op een asfaltbetonbekleding om de bekleding te conserveren, afgestrooid met steenslag of grind om het aanzicht te verbeteren
steenslag	procesmatig gebroken gesteente, waarbij onder gesteente wordt verstaan gesteente van natuurlijke oorsprong en kunstmatig gevormde gesteente zoals slakken, granulaten, gecalcineerd bauxiet, gecalcineerde vuursteen e.d.

stripping	het indringen van water tussen het mineraal en het bitumen waardoor de hechting wordt verbroken en de samenhang van het asfalt vermindert
teenbescherming	constructie die het talud beschermt door ontgronding en/of afslag van de voorliggende oever te voorkomen
teer	een viskeuze zwarte vloeistof met hechtvermogen, verkregen door destructieve destillatie van steenkool, hout, leisteen e.d. Wanneer de oorsprong niet wordt vermeld, houdt dit in dat de teer is verkregen uit steenkool (steenkoolteer)
uitloggen	het proces waarbij water in een materiaal dringt en bepaalde stoffen oplost waardoor deze in de omgeving terechtkomen
verdichtingsgraad (van grond)	verhouding tussen de werkelijk bereikte dichtheid en een referentiedichtheid (bijvoorbeeld de maximum proctordichtheid)
vermoeiing	het veranderen van de mechanische eigenschappen van een materiaal ten gevolge van herhaalde belastingen
veroudering	het veranderen van de materiaaleigenschappen onder invloed van licht, lucht en belastingen
verwekingspunt ring en kogel (van bitumen)	de temperatuur waarbij een schijfje van het materiaal, vastgehouden in een ring, onder standaard proefomstandigheden door het gewicht van een kogel een standaardvervorming ondergaat
viscositeit	een maat voor de weerstand tegen vervorming van een vloeistof onder invloed van een belasting (een maat voor de dikvloeibaarheid of stroperigheid)
vloedmerk (veek)	drijfvuil dat na hoge waterstanden op het buitenbeloop achterblijft
vloeibitumen	een mengsel van een penetratiebitumen (zie NEN-EN 12591) en een aardoliedestillaat
volumetrisch ontwerp	ontwerpmethode voor de mengselsamenstelling van open steenasfalt waarbij wordt berekend hoeveel mastiek nodig is, uitgaande van de gradering van de steen en een gewenste laagdikte van de mastiekomhulling
volumieke massa van droge korrels	de massa per volume van het droge toeslagmateriaal met poriën
vol en zat penetratie	het volledig vullen van de holle ruimten in een laag breuksteen met gietasfalt of asfaltmastiek over de gehele dikte en over het gehele oppervlak van de laag, zodanig dat de steenstukken in de bovenste laag voor ten minste 50% zijn ingebed in het gietasfalt of asfaltmastiek
vooroeververdediging	lage dam op enige afstand van de primaire waterkering die een onder water gelegen ondiep deel van de oeverzone

	en waterkering beschermt, voornamelijk om mogelijkheden voor flora- en faunaontwikkeling te creëren of structurele kusterosie te bestrijden
vooronderzoek	onderzoek waarin wordt vastgesteld of de te gebruiken bouwstoffen aan de eisen voldoen en in welke mengverhouding deze bouwstoffen moeten worden toegepast om te komen tot een stabiel, goed verwerkbaar en duurzaam asfaltmengsel
vulstof voor bitumineuze mengsels	een homogeen poeder op basis van mineralen, bereid in een daartoe ingerichte installatie volgens een beheerst productieproces
waterbouwasfaltbeton	warm bereid asfalt met een continu gegradeerd mengsel van steenslag (of grind), zand en vulstof, dat een laag percentage holle ruimte heeft
wateroverdruk	waterdruk onder een gesloten bekleding ten gevolge van een waterstandsverschil binnen en buiten het dijklichaam
zandasfalt	warm bereid asfalt met gegradeerd zand en een ondermaat aan bitumen, dat een hoog percentage holle ruimte heeft
zetting	verticale verplaatsing als gevolg van volumeverkleining van samendrukbare lagen in de ondergrond, hoofdzakelijk ten gevolge van een bovenbelasting, de eigen massa en/of het uittreden van water





# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

Voorliggend rapport maakt onderdeel uit van de Handreiking Dijkbekledingen. Dit rapport legt de kennis tot en met 2013 vast met betrekking tot de ontwerp- en toetsrekenregels<sup>1</sup>, en het beheer en onderhoud van asfaltbekledingen. Het vervangt als zodanig de rapporten:

- Technisch Rapport Asfalt voor waterkeren, TAW 2002 [60]
- State of the art asfaltdijkbekledingen, STOWA 2010 [82]

De doelgroepen van deze handreiking zijn toetsers, ontwerpers, aannemers en waterkeringbeheerders (onder andere overheden en adviesbureaus). Deze handreiking 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 deze handreiking is basiskennis op het gebied van waterbouwkunde en geohydrologie nodig, bij voorkeur aangevuld met ervaring op het gebied van dijkverbetering en/of toetsing.

Dit deel van de Handreiking Dijkbekledingen behandelt alleen de toepassing van asfalt op waterkeringen. Andere waterbouwkundige toepassingsgebieden, zoals kanalen en drinkwaterbekkens, vallen buiten het kader van deze Handreiking.

In voorliggend deel Asfaltbekledingen komen de volgende bekledingstypen aan bod:

- Waterbouwasfaltbeton;
- Open steenasfalt;
- Gietasfalt;
- “Vol en zat” gepenetreerde breuksteen;
- Patroon gepenetreerde breuksteen;
- Ingegoten steenzettingen.

## 1.2 Leeswijzer

In Katern 1 is in vier hoofdstukken het ontwerp van asfaltbekledingen uiteengezet. Hierin wordt de ontwerpprocedure (hoofdstuk 2) en voorbereiding (hoofdstuk 3) van het ontwerp behandeld. Vervolgens komt het dimensioneren van asfaltbekledingen in hoofdstuk 4 aan de orde. In hoofdstuk 5 is een voorbeeld van een ontwerp van een asfaltbekleding gegeven.

In katern 2 is in twee hoofdstukken de toetsing van asfaltbekledingen uiteengezet. In hoofdstuk 6 is de toetsing van de verschillende faalmechanismen beschouwd. In hoofdstuk 7 is een voorbeeld gegeven voor het toetsen van asfaltbekledingen.

In katern 3 worden in de hoofdstukken 8, 9 en 10 uitvoerings-, beheer- en onderhoudsgerelateerde zaken behandeld.

---

<sup>1</sup> Het toetsen van een bekleding in het kader van de door de Waterwet voorgeschreven ‘periodieke toetsing’ op de veiligheid van de waterkeringen dient uitgevoerd te worden op basis van het vigerende Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) en onderliggende specialistische documenten (onder andere dit document).

Katern 4 geeft algemene informatie over diverse type asfaltbekledingen. In hoofdstuk 11 zijn de verschillende eigenschappen van asfalt als dijkbekleding uiteengezet. Hoofdstuk 12 en 13 behandelen respectievelijk de verschillende faalmechanismen en de toepassing van asfalt op waterkeringen.

## KATERN I: ONTWERP

### 2 Ontwerpprocedure

#### 2.1 Inleiding

Voorliggende ontwerpprocedure beschrijft de stappen ten behoeve van een adequaat ontwerp van een asfaltbekleding op een waterkering.

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 gebruikperiode van 50 jaar. Gedurende die periode dienen de maatgevende belastingen met voldoende zekerheid te kunnen worden weerstaan. Gedurende die levensduur moet een 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.

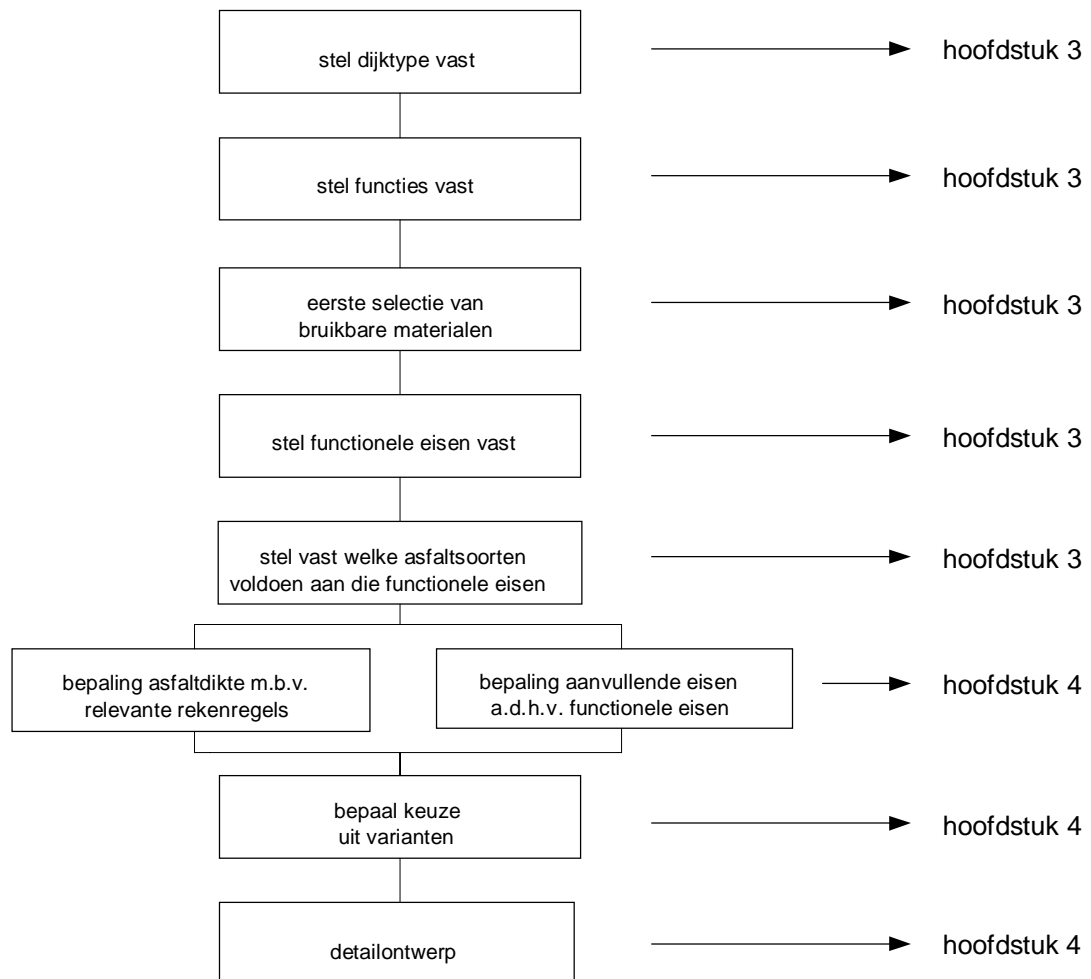
Bij toetsen en ontwerpen worden voor de bekleding waar mogelijk wel dezelfde rekenregels gehanteerd waar het de waterbouwkundige functie betreft. Maar omdat toetsing eenzijdig is gefocust op de veiligheid van de waterkering en door de beperkte tijdshorizon rekening houdt met andere hydraulische randvoorwaarden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

#### 2.2 Ontwerpstappen

Er worden steeds meer eisen gesteld aan de waterkering en de verschillende constructieonderdelen waaruit deze bestaat (onder andere de bekleding). Was voorheen alleen de primaire functie waterkeren van belang, tegenwoordig wordt aan andere functies steeds meer waarde toegekend (bijvoorbeeld recreatie en ecologie). Dit is enerzijds te verklaren doordat het gebruik van de waterkering is verbreed. Anderzijds is er meer belangstelling gekomen voor de andere functies die de waterkering ook voorheen al heeft vervuld. Deze ontwikkelingen hebben consequenties voor de procedure die gevolgd wordt om een bekleding van een waterkering te ontwerpen. Waar vroeger de keuze voor een bekleding voornamelijk afhing van de bestendigheid tegen hydraulische belastingen en de kosten, moet nu in het ontwerp al rekening worden gehouden met de verschillende functies die een waterkering en ook een bekleding vervult. Voor de verschillende faalmechanismen van asfaltbekledingen wordt verwezen naar hoofdstuk 12.

In het rapport Multifunctioneel ontwerp van Asfaltbekledingen voor Waterkeringen [43] is een aanzet voor een multifunctionele ontwerpprocedure gepresenteerd. Deze ontwerpprocedure wordt in hoofdlijnen weergegeven in Figuur 2-1. Deze afbeelding geeft aan hoe de ontwerper stap voor stap de procedure moet doorlopen.

Zoals in het stroomschema van de ontwerpprocedure is aangegeven, dient eerst het dijktype te worden vastgesteld. Dit kan een rivierdijk, een meerdijk of een zeedijk zijn. Vervolgens worden de functies vastgesteld die de asfaltbekleding vervult. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht van de mogelijke functies gegeven. Het dijkprofiel wordt in dit hoofdstuk ingedeeld in zones omdat de functies en de functionele eisen niet voor het gehele dwarsprofiel dezelfde hoeven te zijn. Hieruit volgt dat ook het ontwerp per zone kan verschillen.



Figuur 2-1: Schema van de ontwerpprocedure

Indien de toepassing van asfalt wordt overwogen, wordt een eerste selectie van asfalttypen gemaakt aan de hand van de uitvoeringsmogelijkheden. Zodoende worden onmogelijk uit te voeren alternatieven in het verdere ontwerpproces uitgesloten.

Uit de functies die de bekleding vervult en de mogelijke typen bekleding volgen de belastingen die op de bekleding werken. De belangrijkste hiervan zijn doorgaans de hydraulische belastingen.

Vervolgens dient de ontwerper de functionele eisen vast te stellen die volgen uit de functies die de bekleding moet vervullen. Daarbij zijn er functionele eisen die een voorkeur aan een bepaald asfalttype geven of een asfalttype uitsluiten en functionele eisen die resulteren in een eis met betrekking tot de benodigde laagdikte.

In hoofdstuk 3 wordt de eerste soort functionele eisen behandeld. Hierbij kunnen asfaltsoorten afvallen, wat de hoeveelheid rekenwerk in een later stadium vermindert.

Vervolgens moet ook worden voldaan aan de functionele eisen waaronder een benodigde laagdikte.

In hoofdstuk 4 zijn op basis van de belastingen en de eigenschappen van de bekleding de dimensioneringsregels gegeven die volgen uit de functionele eisen.

Zijn de afmetingen van de diverse asfaltvarianten bekend, dan zal een keuze moeten worden gemaakt. Hierbij zijn aspecten als milieubelasting en kosten van belang. Na de keuze zal het gedetailleerde ontwerp moeten worden gemaakt waarbij in het bijzonder aandacht moet worden besteed aan aansluitingen en overgangsconstructies.

### 2.3 Relatie met Duurzaam Bouwen

Alle activiteiten in de bouw worden vanaf de jaren '90 meer en meer beschouwd in het licht van "Duurzaam Bouwen". Dit duurzaam bouwen of deze duurzame ontwikkeling is ontstaan uit het besef dat toekomstige generaties ook in hun behoeften moeten kunnen blijven voorzien (natuur, energie, grondstoffen).

"In feite betreft duurzaam bouwen aandacht en zorg voor milieu en ruimte, in alle fasen van het bouwproces. Duurzaam bouwen is daarmee een vorm van werken aan duurzame kwaliteitsverbetering van bouwprojecten en een middel om het milieuaspect in alle GWW-fasen te integreren" [36].

Tabel 2-1: Thema's en doelstellingen van duurzaam bouwen

Thema's duurzaam bouwen	Doelstelling duurzaam bouwen
Grondstoffen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Besparing op gebruik van primaire grondstoffen;</li> <li>- Gebruik van secundaire grondstoffen;</li> <li>- Gebruik van minder milieuschadelijke materialen;</li> <li>- Gebruik van vernieuwde, niet-eindige grondstoffen.</li> </ul>
Afval	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preventie van afvalstoffen;</li> <li>- Selectief slopen;</li> <li>- Verantwoord afvoeren van afvalstoffen;</li> <li>- Hergebruik van bouw- en sloopafval.</li> </ul>
Energie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energiezuinig ontwerpen;</li> <li>- Energiebesparing bij realisatie infrastructuur;</li> <li>- Energiebeheer bij bestaande installaties;</li> <li>- Energie-extensivering van grondstoffen.</li> </ul>
Vormgeving en ruimte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beperking van het ruimtegebruik;</li> <li>- Landschappelijke inpassing;</li> <li>- Behoud van toekomstpotentie;</li> <li>- Beperking van effecten op omgeving;</li> <li>- Natuurvriendelijk ontwerp.</li> </ul>

Eind jaren '80 is duurzaam bouwen gestart met name in de B&U-sector. Vanaf 1995 wordt Duurzaam Bouwen ook in de GWW-sector ingevoerd. Aan Rijkswaterstaat is hierbij zowel een voorbeeldfunctie als trekkersrol toegekend.

De essentie van Duurzaam Bouwen is dat alle effecten van het bouwproces op de omgeving (milieu) in kaart worden gebracht, zodat rationele keuzes met minimale effecten kunnen worden gemaakt. Deze effecten zijn gekoppeld aan vier thema's:

- Grondstoffen;
- Afval;
- Energie;
- Vormgeving en ruimte.

Voor elk thema zijn in Tabel 2-1 zogenaamde "duurzaam bouwen doelstellingen" geformuleerd.

Voor de toepassing van asfalt voor waterkeringen betekent dit onder andere:

**Thema grondstoffen:**

Om op primaire grondstoffen te besparen moet het gebruik van secundaire grondstoffen worden gestimuleerd (zoals fosforslakken, asfaltgranulaat, et cetera). In de Standaard 2010 [9] wordt het gebruik van secundaire grondstoffen in waterbouwasfalt vormgegeven.

**Thema afval:**

Het gebruik van bouw- en sloopafval moet worden gestimuleerd. Dit betreft hergebruik van asfaltgranulaat, zie ook §8.12.

**Thema energie:**

Energiebesparing moet zoveel mogelijk worden gestimuleerd. Asfaltmengsels moeten daarom niet warmer worden bereid dan strikt nodig is. De asfaltbranche (producenten van asfalt) zoekt naar maatregelen om het energiegebruik nog verder te verminderen. Met dat doel worden met overheden convenanten (meerjarenafspraken) afgesloten.

**Thema vormgeving en ruimte:**

Onder dit thema valt de aandacht voor landschap en natuur. Daarbij is het van belang vast te stellen welke mogelijkheden asfaltbekledingen bieden voor de vestiging van dierlijk en plantaardig leven.

De implementatie van Duurzaam Bouwen in de GWW-sector wordt tot nu toe per project geregeld, waarbij vanuit landelijk beleid als randvoorwaarde geldt dat bij Duurzaam Bouwen via EMVI de duurzaamheid (sustainability) gewaardeerd kan worden op projectniveau.

Elk project moet hiervoor grondig worden geanalyseerd, zodat in alle fasen duidelijk wordt wat de effecten van het bouwproces zijn. Daarbij wordt gebruik gemaakt van zogenaamd LCA's, levenscyclusanalyses. Met deze methode worden de duurzaamheids- en milieueffecten van alle levensfasen van de verwerkte onderdelen beoordeeld.

Bedacht moet worden dat Duurzaam Bouwen nog erg in ontwikkeling is. Een 100% duurzaam-bouwenoplossing bestaat niet. Het blijft een voortdurende afweging en streven naar een redelijk optimum van diverse duurzaamheids- of milieuaspecten in het bouwproject.

Duurzaam Bouwen mag niet worden verward met duurzaamheid. De (technische) duurzaamheid of levensduur is een op zichzelf staand begrip. Het is overigens wel een feit, dat een lange (technische) levensduur ook gunstige gevolgen voor duurzaam-bouwenaspecten kan hebben, zoals een geringer verbruik van grondstoffen en energie en minder afval.

## 2.4 Toelichting op ontwerpstappen

De primaire functie van een dijkbekleding is die van waterkeren. In §3.2 wordt daarop ingegaan. Maar naast de waterkerende functie zal de bekleding ook nog andere functies vervullen. Om welke functies dat kan gaan, tot welke functionele eisen dat leidt en welke typen bekledingen daar het beste bij aansluiten, wordt behandeld in §3.3 t/m 3.8.

Belangrijke elementen in het ontwerp zijn onder andere: de lokale ondergrond en de gewenste toplaag van de bekleding. De lokale ondergrond kan worden vastgesteld met geotechnisch onderzoek. De totstandkoming van de gewenste toplaag van de bekleding is onder andere afhankelijk van voorkeuren voor wat betreft: hergebruik, landschappelijke inpassing, milieu, et cetera.

Beide elementen, lokale ondergrond en gewenste toplaag, vormen als zodanig het kader of begrenzing van de totale bekledingsconstructie. Vaak kan de gewenste toplaagbekleding niet direct op de lokale ondergrond aangebracht worden. Er is dan een zogenaamde tussenlaag nodig. Deze tussenlaag kan bijvoorbeeld bestaan uit zand of zandasfalt.

Voor het dimensioneren van de verschillende typen asfaltbekledingen op wateroverdrukken kan gebruikgemaakt worden van de methodiek beschreven in §4.3. Voor het dimensioneren van de verschillende typen asfaltbekledingen op golfklappen kan gebruikgemaakt worden van de ontwerpgrafieken gegeven in §4.4. Voor optimalisatie van het ontwerp, of in bijzondere gevallen, kan gebruikgemaakt worden van het rekenmodel GOLFKLAP [92].

Voor het dimensioneren van gepenetreerde breuksteenbekledingen zijn geen ontwerpgrafieken beschikbaar. In §4.4 is aangegeven welke laagdikten voldoen om golfbelastingen te weerstaan. Voor het dimensioneren van een stippen- of patroongepenetreerde breuksteenbekleding zijn aparte rekenregels opgesteld.





### 3 Voorbereiding, inventariseren functies en eisen

#### 3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de aandachtspunten voor de ontwerper voorafgaand aan het daadwerkelijke dimensioneren. Het betreft de functies en de functionele eisen die aan de bekleding worden gesteld.

In het ontwerp worden de functies onderscheiden:

- Waterkeren (§3.2)
- Verkeer (§3.3)
- Landschap / ecologie (§3.4)
- Recreatie (§3.5)

Waterkeren is de primaire functie. Mogelijk vervult een waterkering/bekleding incidenteel nog andere functies, bijvoorbeeld het dragen van constructies. In dat geval kan bekeken worden of op basis van die specifieke functie aanvullende eisen aan de bekleding moeten worden gesteld.

Na het vaststellen van de functies van de bekleding kunnen de functionele eisen worden vastgesteld waaraan de bekleding moet voldoen. De belangrijkste functionele eisen zijn voor de verschillende mogelijke functies in Tabel 3-1 opgenomen. Hierin is duurzaamheid niet expliciet benoemd als functionele eis. Maar om elk van de genoemde functies gedurende de levensduur van de bekleding te kunnen vervullen, moeten wel degelijk eisen aan de duurzaamheid worden gesteld.

Tabel 3-1: Functies en functionele eisen

	functie	functionele eisen
primair	waterkeren - erosiebescherming	weerstand tegen hydraulische belastingen volgen van zettingen en ontgrondingen weerstand tegen ijs en drijvende objecten grond dichtheid
	- waterafsluiting	waterdichtheid
secundair	verkeer	begaanbaarheid draagvermogen
	landschap/ecologie	aanzicht/esthetica begroeibaarheid
	recreatie	begaanbaarheid bestendigheid tegen vandalisme

Op basis van §3.8 van dit hoofdstuk stelt de ontwerper vast welke functionele eisen voor het betreffende ontwerp van belang zijn. In de paragrafen 3.2 tot en met 3.5 wordt daarom per functie behandeld welke eisen aan de bekleding worden gesteld. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten functionele eisen, namelijk eisen die resulteren in een voorkeur voor, of het uitsluiten van bepaalde asfaltsoorten en eisen die resulteren in een

minimaal benodigde bekledingsdikte of andere technische eisen. Deze laatste soort eisen leidt tot dimensioneringsregels. Deze worden in hoofdstuk 4 behandeld. Uiteindelijk wordt, mede aan de hand van §3.7, vastgesteld voor welke asfaltsoorten dimensioneringsberekeningen moeten worden gemaakt.

### 3.2 Waterkeren

#### 3.2.1 *Erosiebescherming*

Om de waterkerende functie te kunnen vervullen moet de bekleding het grondlichaam beschermen tegen erosie ten gevolge van optredende belastingen. Naast de weerstand tegen hydraulische belastingen (wateroverdrukken, golven, stroming) moet de bekleding ook voldoende duurzaam zijn om de veiligheid van de waterkering voor een langere periode te kunnen garanderen.



Figuur 3-1: Bekleding van gepenetreerde breuksteen (onder) en waterbouwafaltbeton (boven) om erosie van het zandlichaam te voorkomen - Veersedam (foto NPC)

Een teenbescherming moet de waterkering beschermen tegen de gevolgen van ontgroning. Doorgaande ontgroning kan de stabiliteit van de waterkering in gevaar brengen. Een duinvoetverdediging moet het grensprofiel voldoende lang beschermen tegen duinafslag. Met het verschijnen van de norm voor Waterbouwsteen is het begrip "breuksteen" formeel achterhaald, maar in de praktijk is het nog een gangbaar begrip.

#### 3.2.2 *Waterafsluiting*

Het kan wenselijk zijn dat de asfaltbekleding het dijklichaam waterdicht afsluit. Hiervoor zijn verschillende redenen, zoals:

- Door het waterdicht afsluiten van het dijklichaam wordt de freatische lijn in de dijk beïnvloed. Hierdoor zal de freatische lijn in het dijklichaam bij het optreden van een hoogwater relatief laag blijven. Dit beïnvloedt met name de macro- en microstabiliteit van het binnentalud positief.
- Door het waterdicht afsluiten van het dijklichaam wordt voorkomen dat (grond)water uit het dijklichaam kan migreren. Dit kan vereist zijn als uit milieutechnische overwegingen uitloging van in het verleden toegepaste verontreinigde materialen moet worden voorkomen.

### 3.3 Verkeer

Asfalt is, afhankelijk van het mengseltype, uitermate geschikt om als verkeersdrager te fungeren. Als (een deel van) de bekleding fungeert als verkeersdrager moet deze in staat zijn de verkeersbelastingen te weerstaan. Vaak zijn dit alleen fietsers of incidenteel onderhoudsmaterieel. Soms fungeert een deel van de bekleding als openbare rijweg of als parkeerplaats (Figuur 3-2). Hiervoor worden specifieke eisen aan de stabiliteit van het mengsel gesteld. Als de bekleding fungeert als verkeersdrager moet deze tevens goed begaanbaar zijn.



Figuur 3-2: Zwaar verkeer op de Brouwersdam (foto NPC)

### 3.4 Landschap en ecologie

Een bekleding vertegenwoordigt als deel van zijn omgeving een bepaalde landschappelijke waarde. In stedelijk gebied of op plaatsen waar de bekleding goed in het zicht ligt, is het vanuit esthetisch oogpunt vaak gewenst dat de bekleding er verzorgd uitziet. In een landelijke omgeving is het meestal wenselijk dat de bekleding begroeibaar is. Ook kan bijvoorbeeld in een getijdegebied de aangroei van (zee-)organismen wenselijk zijn. Als faunaontwikkeling gewenst is, kan een vooroeverconstructie worden aangelegd.



Figuur 3-3: Begroeide bekleding van open steenasfalt aan de Waal bij Dodewaard (foto Oranjewoud)

### 3.5 Recreatie

Een bekleding waarop recreatie plaatsvindt (bijvoorbeeld door wandelaars, zwemmers, surfers of vissers) moet goed begaanbaar zijn en geen letsel veroorzaken. Daarnaast moet de bekleding bestand zijn tegen vernielingen die recreanten kunnen veroorzaken.

### 3.6 Indeling in zones

De functies hoeven niet voor het gehele dijkprofiel gelijk te zijn. Het is daarom wenselijk de bekleding in te delen in zones. Vanuit de primaire functie 'waterkeren' dient de bekleding bestand te zijn tegen de op de bekleding werkende hydraulische belastingen. Per deelgebied van de bekleding zijn verschillende belastingen bepalend. Daarom worden de te beschouwen dijktypen onderverdeeld in hydraulische zones. Deze hydraulische zoneverdeling wordt ook aangehouden voor de andere functies.

In de volgende paragrafen worden de indelingen per dijktipe gemaakt, maar eerst wordt ingegaan op bermen in het buitentalud die buiten deze indeling zijn gehouden.

#### 3.6.1 Bermen

Een berm in het buitentalud van de dijk vervult veelal verschillende functies. Allereerst zal de bekleding de gebruikelijke erosiebescherming moeten bieden, maar als de berm om en nabij de maatgevende waterstand wordt aangelegd, beperkt de berm de golfoverslag, zie het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken [50]. Daarnaast wordt een berm veelal gebruikt als toegangsweg voor onderhoud en inspectie van het dijktaalud. Daarnaast kan een berm ook een rol spelen in het kader van de recreatie (fietspad of zelfs openbare weg). Voor de verkeersfunctie zie paragraaf 3.3 en 3.8.5.

Voor wat betreft de erosiebescherming die de bekleding op de berm moet bieden, is nog onvoldoende bekend over de grootte van de belastingen op de berm. Voor de toetsing is de beoordeling in eerste instantie nog gebaseerd op een berekening als was de berm een deel van het ondertalud.

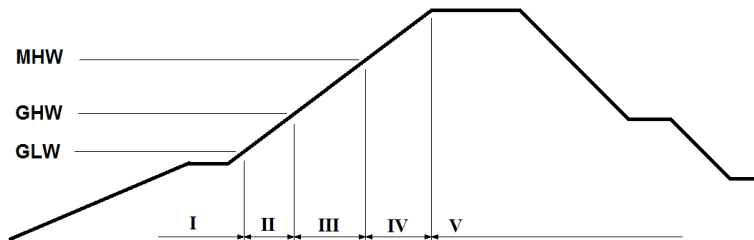
#### 3.6.2 Rivierdijken

Asfalt wordt bij rivierdijken voornamelijk toegepast als bekleding van het buitenbeloop op plaatsen waar de gebruikelijke grasmat onvoldoende bescherming biedt tegen erosie van het dijklichaam. Een harde bekleding kan vanuit landschappelijk oogpunt gewenst zijn, bijvoorbeeld in een stedelijk gebied.

Rivierdijken kunnen ingedeeld worden in rivierdijken met een laag en een hoog voorland.

De volgende hydraulische belastingzones worden bij een rivierdijk met laag voorland onderscheiden (zie Figuur 3-4):

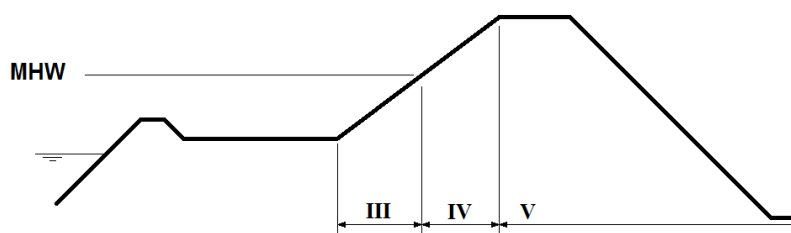
- Zone I: de zone die zich eigenlijk altijd onder water bevindt. Deze wordt belast door stroming.
- Zone II: de zone tussen gemiddeld laagwater (GLW) en gemiddeld hoogwater (GHW). Bij dijken in het bovenrivierengebied is deze zone niet aanwezig. Deze zone komt alleen voor in het gebied waar de invloed van het getij merkbaar is. Deze zone wordt frequent belast door golven en stroming. Na een hoge waterstand kunnen in deze zone wateroverdrukken onder een dichte bekleding ontstaan.
- Zone III: de zone tussen gemiddeld hoogwater en het ontwerppeil (MHW) bij dijken in het getijdegebied. Bij dijken in het bovenrivierengebied sluit zone III aan op zone I. De zone wordt bij hoge waterstanden belast door golven en stroming. De belasting is minder frequent, maar de golfaanval is zwaarder. Ook kunnen onder in deze zone wateroverdrukken ontstaan.
- Zone IV: de zone boven het ontwerppeil wordt bij maatgevend hoogwater belast door golfoploop.
- Zone V: de zone betreffende de kruin en het binnentalud wordt belast door eventuele golfoverslag.



Figuur 3-4: Rivierdijk met laag voorland (in het benedenrivierengebied)

Bij een rivierdijk met hoog voorland worden de volgende hydraulische belastingzones onderscheiden (zie Figuur 3-5):

- Zone III: de zone tussen de teen en het ontwerppeil (MHW). Bij hoge rivierwaterstanden wordt deze zone belast door golfbelastingen en stroming. Mogelijk kunnen bij een waterdichte bekleding onder in de zone wateroverdrukken optreden.
- Zone IV: de zone boven het ontwerppeil wordt bij maatgevend hoogwater belast door golfoploop.
- Zone V: de zone betreffende de kruin en het binnentalud wordt belast door eventuele golfoverslag.



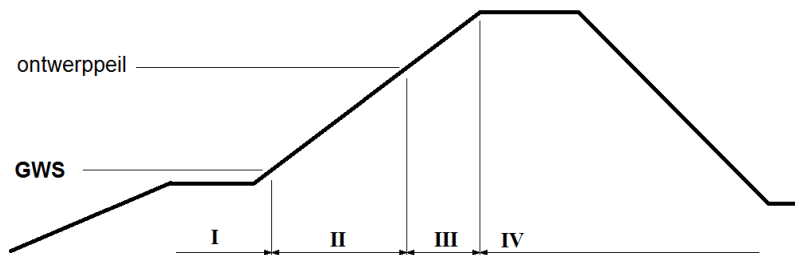
Figuur 3-5: Rivierdijk met hoog voorland

### 3.6.3

#### *Meerdijken*

Meerdijken worden belast door een vrij constante waterstand. Alleen gedurende een storm kan de waterstand ten gevolge van opwaaiing hoger zijn. In Figuur 3-6 is de schematisatie van een meerdijk met de verschillende belastingzones weergegeven en is de hydraulische zone-indeling aangegeven:

- Zone I: de zone onder de gemiddelde waterstand. Deze zone wordt ter hoogte van de gemiddelde waterstand belast door golven. Verder wordt deze zone belast door stroming.
- Zone II: de zone tussen de gemiddelde waterstand en het ontwerppeil. Deze zone wordt incidenteel belast door hoge golven of sterke stroming. Na een hoge waterstand kunnen in deze zone wateroverdrukken onder een dichte bekleding ontstaan.
- Zone III: de zone boven het ontwerppeil. Deze zone wordt incidenteel belast door golfoploop.
- Zone IV: de zone betreffende de kruin en het binnentalud wordt belast door eventuele golfoverslag.



Figuur 3-6: Meerdijk

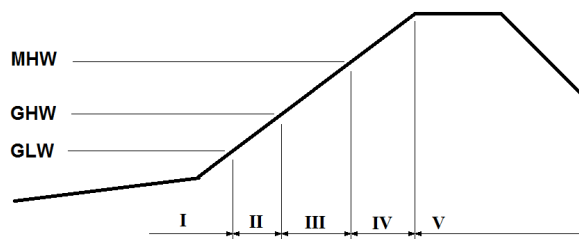
### 3.6.4

#### Zeedijken

Langs de Nederlandse kust komen dijken met en zonder voorland voor. Figuur 3-7 is een doorsnede van een zeedijk waar geen voorland aanwezig is. Voorbeelden hiervan zijn dijken die direct aan een stroomgeul gelegen zijn en de afsluitdammen in Zeeland. Een schematische weergave van een zeedijk met een voorland (meestal ligt dit op ongeveer NAP) wordt gegeven in Figuur 3-8. Het voorland valt bij eb droog. De meeste zeedijken zijn van dit type.

Hydraulische belastingzones bij een zeedijk zonder voorland:

- Zone I: de zone die zich voortdurend onder water bevindt. Deze wordt voornamelijk belast door stroming. Als ontgronding van de vooroever plaatsvindt, kan deze worden beschermd door een teenbescherming. Tevens dient rekening gehouden te worden met oplichten van de bescherming door golfbewegingen of stroom.
- Zone II: de zone tussen gemiddeld laagwater en gemiddeld hoogwater. Deze zone wordt zeer frequent belast door golven en stroming. Na een hoge waterstand kunnen bij een waterdichte bekleding in deze zone wateroverdrukken ontstaan.
- Zone III: de zone tussen gemiddeld hoogwater en het ontwerppeil of maatgevend hoogwater (MHW). De zone wordt belast door hoge golven en stroming door golfoploop. Na een hoge waterstand kunnen bij een waterdichte bekleding onder in deze zone wateroverdrukken ontstaan.
- Zone IV: de zone boven het maatgevend hoogwater wordt belast door golfoploop.
- Zone V: de zone betreffende de kruin en het binnentalud wordt belast door eventuele golfoverslag.



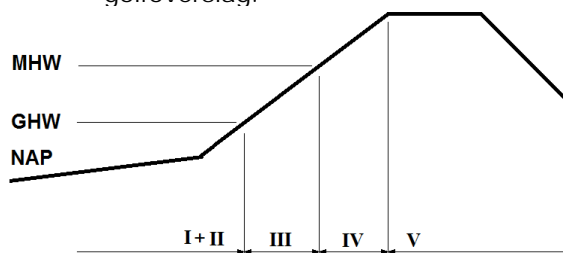
Figuur 3-7: Zeedijk zonder voorland

Hydraulische belastingzones bij een zeedijk met voorland:

- Zone II: deze zone is een combinatie van de zones I en II bij een zeedijk zonder voorland.
- Zone III: de zone tussen gemiddeld hoogwater en het maatgevend hoogwater. De zone wordt belast door hoge golven en stroming door golfoploop. Na een hoge waterstand

kunnen bij een waterdichte bekleding onder in deze zone wateroverdrukken ontstaan.

- Zone IV: de zone boven het maatgevend hoogwater wordt belast door golfoploop.
- Zone V: de zone betreffende de kruin en het binnentalud wordt belast door eventuele golfoverslag.



Figuur 3-8: Zeedijk met hoog voorland

### 3.7

#### Eerste selectie

De volgende stap in het ontwerpproces is het maken van een eerste selectie van mogelijke bekledingstypen. Een onderdeel hiervan is de beoordeling van de mogelijk toepasbare asfalttypen. Deze selectie van asfalttypen in een bepaalde zone vindt plaats op basis van de uitvoeringsmogelijkheden. Zodoende worden onuitvoerbare alternatieven uitgesloten en wordt het aantal bekledingsvarianten in een vroeg stadium beperkt. In Tabel 3-2 is aangegeven of de asfalttypen op uitvoeringstechnische gronden toepasbaar zijn in de eerder aangegeven hydraulische zones. Daarnaast wordt een voorkeur aangegeven, gebaseerd op praktische ervaringen in relatie tot de functie waterkeren. Er is in de tabel onderscheid gemaakt tussen een dichte en een open bekleding, vooruitlopend op de vraag of wateroverdrukken onder de bekleding acceptabel zijn of niet. Onder wateroverdrukken moet worden verstaan opwaartse grondwaterdrukken die de bekleding willen opdrukken. Bij een dichte bekleding treden wel wateroverdrukken op en dient hierop gedimensioneerd te worden; bij open bekledingen zijn geen wateroverdrukken onder de bekleding mogelijk.

Tabel 3-2: Mogelijke asfalttypen per hydraulische zone

dijktype	zone	dichte bekleding			open bekleding			
		asfalt- beton	asfalt- mastiek	gepenetreerde breuksteen (vol en zat)	gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen	open steenasfalt (in situ)	open steenasfalt (mat)	zand- asfalt
rivierdijk	I	-	+	+	o	-	+	o
	II	-	-	+	o	+	+	o
	III	+	-	o	o	+	o	o
	IV	o	-	o	o	o	o	o
meerdijk	I	-	+	+	+	-	o	o
	II	+	-	o	+	+		o
	III	o	-	o	+	+		o
zeedijk	I	-	+	+	+	-	+	o
	II	-	-	+	+	+	+	o
	III	+	-	+	+	+	+	o
	IV	+	-	o	o	+	o	o

- + materiaal kan gezien de aard van de belastingen goed worden toegepast en dit wordt ook in de praktijk gedaan.
- o materiaal kan worden toegepast, maar wordt zelden gedaan in verband met de aard van de belasting
- materiaal kan niet worden toegepast.



In deze tabel betekent 'o' dat het betreffende asfalttype toepasbaar is vanuit het oogpunt van uitvoerbaarheid. Een '+' betekent dat het asfalttype als toplaag normaal gesproken in deze zones wordt toegepast. Zandasfalt is vaak toegepast als onderlaag bij open steenasfalt.

Bij het afwijzen van asfaltmastiek in de hogere zones is er op voorhand vanuit gegaan dat het talud te steil is (zie Tabel 3-4). Gepenetreerde breuksteen is niet geschikt om als flexibele teenbescherming tegen ontgrondingen te dienen.

Bij "vol en zat" gepenetreerde breuksteen mag niet op 100% waterdichtheid worden gerekend. Wel moet het als waterdicht (dus ook op wateroverdrukken) worden gedimensioneerd.

Rivierdijken worden meestal bekleed met gras en klei. Alleen bij relatief hoge belastingen worden harde materialen zoals asfalt toegepast. Bij zeedijken wordt meestal minder dan de helft van de golfploopzone bekleed met een harde bekleding zoals asfalt. Het bovenste deel wordt bekleed met gras op klei. Voor het toepassingsgebied van een grasbekleding wordt verwezen naar het deel Grasbekledingen van deze Handreiking [89].

Een andere uitvoeringsafhankelijke variabele is de taludhelling. Niet iedere asfaltsoort kan op een talud worden aangelegd. Sommige asfaltsoorten hebben hiervoor een te lage viscositeit (asfaltmastiek). Bij waterbouwasfaltbeton, dat moet worden verdicht, wordt de maximale taludhelling begrensd door de inzetbaarheid van zwaar materieel op het talud. In tabel 3-4 is de maximale steilheid van de taludhelling aangegeven [16]

Tabel 3-4: Mogelijke taludhellingen

asfaltsoort		Maximale steilheid talud
Asfaltbeton		1:1,7; in wateroverdrukkenzone maximaal 1:3 <sup>1)</sup>
Gepenetreerde breuksteen	onder water	1:1,7; in wateroverdrukkenzone maximaal 1:3 <sup>1) 2)</sup>
	boven water	1:3, 1:1,5 mogelijk na aanpassingen van mengsel en verwerkingstechniek <sup>3)</sup>
Asfaltmastiek	onder water	1:7
	boven water	1:10
Open steenasfalt	in situ	1:1,5
	mat	1:1, bovenzijde mat verankeren bij taluds 1:2 en steiler <sup>4)</sup>
zandasfalt		ca. 1:2,5 als weinig vervormingen toelaatbaar zijn
		ca. 1:1,5 als vervormingen niet relevant zijn

<sup>1)</sup> De taludhelling van 1:3 is een indicatieve waarde. De maximale taludhelling moet nauwkeurig worden vastgesteld door het bepalen van de grondmechanische stabiliteit van het buitentalud en de stabiliteit van het mengsel.

<sup>2)</sup> Onder water wordt meestal asfaltmastiek toegepast, gietasfalt kan onder voorwaarden worden toegepast.

<sup>3)</sup> Het gietasfalt dient in dit geval in meerdere lagen te worden aangebracht. Bij het in één keer aanbrengen van een te grote hoeveelheid gietasfalt vloeit een groot deel hiervan naar beneden weg.

<sup>4)</sup> De sterkte van het geotextiel moet voldoende zijn omdat de mat gedeeltelijk aan het geotextiel hangt. Daarnaast mag de rek van het geotextiel bij de opgelegde belasting niet groter zijn dan die in het asfalt.

Deze eerste keuze geeft per zone één of meerdere mogelijke asfaltbekledingen. Zo is voor de ontwerper snel vast te stellen aan de hand van het dwarsprofiel van het te bekleden dijkttype welke asfaltsoorten mogelijk zijn. Voor het verdere ontwerp moeten in de volgende fase de functionele eisen worden bepaald waaraan de asfaltbekleding moet



voldoen. Deze functionele eisen dient de ontwerper zelf vast te stellen aan de hand van de volgende paragrafen.

### 3.8 Functionele eisen

#### 3.8.1 Weerstand tegen hydraulische belastingen

Een bekleding moet weerstand kunnen bieden aan de volgende hydraulische belastingen:

- Wateroverdrukken onder de bekleding. Deze worden bij taludbekledingen veroorzaakt door waterstandsverschillen in en buiten het grondlichaam. Gesloten dijkbekledingen moeten worden gedimensioneerd op wateroverdruk als gelijktijdig een hoge grondwaterstand in het dijklichaam en een lage buitenwaterstand kunnen optreden. Deze situatie treedt op als de buitenwaterstand direct na het optreden van een hoog water snel daalt. Dimensionering op wateroverdrukken wordt behandeld in §4.3 'Golfbelastingen op de bekleding'. Deze golven worden veroorzaakt door wind en schepen. Een bekleding moet bestand zijn tegen de golfklappen die golven kunnen veroorzaken. Dimensioneringsregels worden behandeld in §4.4.

Tabel 3-5: Hydraulische belastingen per zone

dijktype	zone	type bekleding	wateroverdrukken	golfklappen	stroming	overdrukken door golfbeweging
rivierdijk	I	dicht	x		x	x
		open			x	
	II	dicht	x	x	x	
		open		x	x	
	III	dicht	x	x	x	
		open		x	x	
	IV	dicht				
		open				
meerdijk	I	dicht	x	x	x	x
		open		x	x	
	II	dicht	x	x	x	
		open		x	x	
	III	dicht			1)	
		open			1)	
zeedijk	I	dicht	x		x	x
		open			x	
	II	dicht	x	x	x	
		open		x	x	
	III	dicht	x	x	x	
		open		x	x	
	IV	dicht			1)	
		open			1)	

<sup>1)</sup> De belasting treedt wel op, er wordt echter niet op gedimensioneerd.

- Stroming langs de bekleding. Stroming van water langs de bekleding kan erosie aan het oppervlak veroorzaken. In §4.5 wordt dimensionering op stroming behandeld.
- Stroming door golfoploop. Door golfoploop kan het oppervlak eveneens worden aangetast. Zie verder §4.6.

- Overdrukken door golfbeweging. Bij een teenbescherming kunnen drukverschillen optreden door stroming en golfbewegingen. Dimensionering op deze mechanismen wordt behandeld in §4.10.

In Tabel 3-5 is per dijktipe en per asfalttype aangegeven in welke zone en op welke belasting moet worden gedimensioneerd.

### 3.8.2 *Volgen van zettingen en ontgrondingen*

Door het viskeuze gedrag is asfalt over het algemeen goed in staat onregelmatige zettingen op te vangen. Als onregelmatige zettingen in de ondergrond optreden, zal de bekleding de zetting in de loop van de tijd volgen. Voordeel van deze 'ingebouwde signaalfunctie' is dat, door het zichtbaar worden van verschilzettingen in de ondergrond, tijdig maatregelen kunnen worden genomen. Hiermee wordt voorkomen dat schade optreedt, bijvoorbeeld door een hoge golfbelasting ter plaatse.

Bij een goede opbouw van het onderliggende grondlichaam en door een goede verdichting van de ophoging kunnen de zettingen beperkt blijven.



Figuur 3-9: Zetting van het dijklichaam op de plaats waar deze een oude watergang kruist - Schelde-Rijnkanaal – 1981

Ontgrondingen van de vooroever gaan vaak zo snel dat een taludbekleding deze niet kan volgen. Daarom moet de dijk- of oeverconstructie, waar de kans op ontgroning ten gevolge van een sterke stroming of golfslag aanwezig is, zodanig worden opgebouwd dat de ontgroning het talud niet kan bereiken. Dit kan worden gedaan door het aanbrengen van een teenbescherming. Losse breuksteen, asfaltmestiek, gietasfalt en open steenasfalt(-matten) zijn hiervoor geschikte materialen, omdat deze materialen erg flexibel zijn en daardoor ontgrondingen goed kunnen volgen.

### 3.8.3 *Weerstand tegen belastingen door ijs en drijvende objecten*

Incidenteel kan een bekleding worden belast door bijvoorbeeld scheepsaanvaringen, drijvend vuil of kruierend ijs. Bekledingen worden gewoonlijk niet gedimensioneerd op dit soort mechanische belastingen, mede doordat de kans dat een dergelijke belasting voorkomt niet groot is.

Drijvend vuil levert over het algemeen geen problemen op bij waterbouwasfaltbeton en gepenetreerde breuksteen. Als open steenasfalt frequent door drijvend vuil wordt belast, kan de bekleding aan het oppervlak worden aangetast.

Kruiend ijs richt in het algemeen weinig schade aan. Doordat het oppervlak van een asfaltbekleding vlak is, glijdt het ijs gemakkelijk over de bekleding heen zonder schade aan te richten.

Omdat de combinatie van ijsgang en een hoge waterstand met zware golfaanval nauwelijks voorkomt, is ook de kans op overstroming ten gevolge van ijsgang verwaarloosbaar klein. Daarom worden ijsbelastingen in Nederland niet in beschouwing genomen bij het bepalen van de laagdikte van een bekleding. Kruiend ijs kan wel schade veroorzaken aan een bekleding. In §4.8 wordt ingegaan op het dimensioneren van bekledingen op ijsbelastingen.



Figuur 3-10: Bekleding van open steenasfalt belast door kruiend ijs – Houtribdijk (foto Bitumarin)

De kans op schade door kruiend ijs is bij zoet water groter dan bij zout water. Enerzijds omdat zoet water eerder befrist, anderzijds omdat ijs van zout water brosser is dan ijs van zoet water en dus eerder breekt. Gezien het zoutgehalte en de zeewatertemperatuur is de kans op significante ijsvorming in de Noordzee gering. Van de meren en de zeearmen is wel bekend dat er ijsvorming kan optreden die schade aan de waterkering kan veroorzaken (zie Figuur 3-10).

#### 3.8.4 *Waterdichtheid en grondichtheid*

Een bekleding moet voldoende dicht zijn om uitspoeling van de ondergrond te voorkomen. Is de bekleding waterdicht, dan is de grondichtheid altijd verzekerd. Bij een waterdichte bekleding kunnen echter wateroverdrukken ontstaan waarop de bekleding moet zijn gedimensioneerd.

Bij een dichte asfaltbekleding is plantengroei ongewenst, aangezien dit de waterdichtheid aantast. Plantenzaden kunnen in scheuren en naden kiemen en de wortels kunnen grote krachten op de bekleding uitoefenen. Dit speelt vooral een rol bij waterbouwasfaltbeton en in mindere mate bij gepenetreerde breuksteen. Zaden en wortelstokken die bij de aanleg in de ondergrond aanwezig waren, kunnen van onderuit door de bekleding heen groeien. Hierbij is de grondsoort van het grondlichaam van invloed.

Onder een waterdoorlatende bekleding kunnen geen relevante wateroverdrukken optreden. De bekleding is hier doorgaans ook niet op gedimensioneerd. Het is dus van belang dat de bekleding ook in de toekomst waterdoorlatend blijft. Het eventueel dichtslaan van het filter kan hierop van invloed zijn.

Een open steenasfaltbekleding of een gedeeltelijk gepenetreerde breuksteenbekleding is zowel water- als zanddoorlatend. Door toepassing van een geotextiel, een laag zandasfalt of een granulaair filter onder de bekleding kan de totale constructie grond dicht worden gemaakt.

In Tabel 3-6 is een overzicht gegeven van de water- en grond dichtheid van de verschillende asfaltsoorten.

Tabel 3-6: Water- en grond dichtheid van de asfaltsoorten

	waterbouw- asfaltbeton	asfaltmastiek	“vol en zat” gepenetreerde breuksteen	Gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen	open steenasfalt	zand- asfalt
waterdicht	ja	ja	ja <sup>1)</sup>	nee	nee	nee
grond dicht	ja	ja	ja	nee	nee	ja

<sup>1)</sup> Op volledige waterdichtheid mag niet worden gerekend. De bekleding dient wel te worden gedimensioneerd op wateroverdrukken, maar is niet geschikt als bekleding waarvoor waterdichtheid een eis is.

### 3.8.5

#### *Begaanbaarheid*

Een bekleding moet in het algemeen begaanbaar zijn voor onderhoud en soms voor recreatie. De bekleding dient dan voldoende stroef en vlak te zijn. Daarnaast mag het talud niet te steil zijn. Waterbouw-asfaltbeton is voldoende stroef. Bovendien wordt meestal een oppervlakbehandeling aangebracht die wordt afgestrooid met grind of steenslag. Dit vergroot de stroefheid. Ook de overige asfaltmengsels zijn voldoende stroef, met uitzondering van asfaltmastiek.



Figuur 3-11: Fauna-uitstapplaats, met de zijanten uitgevoerd in asfalt (foto Bitumarin)

Begaanbaarheid is hoofdzakelijk van belang voor de zones die boven of deels boven water liggen. Dit komt neer op de zones II, III en IV. Alleen voor surfers, zwemmers en dieren kan begaanbaarheid in zone I van belang zijn met het oog op het in en uit water stappen. Voor dieren bestaan hiervoor zogenaamde fauna-uitstapplaatsen, (zie Figuur 3-11).

In Tabel 3-7 wordt per asfaltsoort aangegeven of een asfalttype goed (g), voldoende (v) of slecht (s) begaanbaar is voor diverse doelgroepen. In deze tabel wordt verder geen rekening gehouden met de hydraulische zones.

Tabel 3-7: Begaanbaarheid

	waterbouw- asfaltbeton <sup>1)</sup>	Asfaltmastiek <sup>1)</sup>	gepenetreerde breuksteen	open steenasfalt	zandasfalt
autoverkeer <sup>2)</sup>	g	v	s	v <sup>4)</sup>	v
fietsers	g	v	s	s	v
wandelaars	g	v	s	v	v
surfers	g	v	s	v <sup>5)</sup>	v
zwemmers	g	v	s	v <sup>5)</sup>	v
vissers	g	s	v	g	v
dieren <sup>3)</sup>	v	v	g	g <sup>5)</sup>	v

<sup>1)</sup> Voor fietsers, zwemmers en surfers is het verstandig geen steenslag te gebruiken, maar bijvoorbeeld parelgrind. De begaanbaarheid van asfaltmastiek is doorgaans niet van belang omdat deze bekleding meestal onder water ligt. Asfalt wordt daarom niet voorzien van een oppervlakbehandeling.

<sup>2)</sup> Voor het reguliere verkeer dient het talud niet steil (maximaal circa 1:10) te zijn. Voor voertuigen van beheerders en dergelijke kan een grotere steilheid worden geaccepteerd.

<sup>3)</sup> Voor begaanbaarheid voor dieren kan ook worden gedacht aan de zogenaamde fauna-uitstapplaatsen. Asfalt is hiervoor een geschikt materiaal. Voor een fauna-uitstapplaats wordt een asfalttype met een grove structuur, zoals open steenasfalt, geprefereerd.

<sup>4)</sup> De score is 'slecht' voor regulier verkeer.

<sup>5)</sup> In sommige gevallen is een grove structuur gewenst van open steenasfalt (20/40), zoals hiervoor gemeld is bij fauna-uitstapplaatsen. Voor surfers en zwemmers is een fijne structuur gewenst (16/22).



Figuur 3-12: Begaanbaarheid van een bekleding van open steenasfalt als oeverbescherming van een recreatieplaats (foto VBW-Asfalt)



### 3.8.6 *Draagvermogen*

Een asfaltbekleding op de kruin of berm wordt regelmatig gebruikt als openbare rijweg, onderhoudsweg of fietspad. Is dit het geval, dan dient de bekleding de betreffende verkeersbelastingen te kunnen weerstaan. In §4.9 is aangegeven hoe een asfaltbekleding kan worden gedimensioneerd op verkeersbelastingen.

### 3.8.7 *Aanzicht/esthetica*

De landschappelijke en ecologische aspecten van dijken worden steeds belangrijker. Bij een afweging van alternatieven wordt een begroeide bekleding steeds meer geprefereerd. Een niet-begroeide bekleding kan vanuit landschappelijk oogpunt ook gewenst zijn, bijvoorbeeld in een bebouwde omgeving of om een dijk te benadrukken in zijn omgeving. Waterbouwasfaltbeton wordt meestal afgestrooid met steenslag of grind, hetgeen de kleur bepaalt. Overige asfalttypen krijgen na verloop van tijd de kleur van de toegepaste steensoort omdat het bovenste laagje bitumen slijt.

Soms is het gewenst dat een deel van de bekleding een contrasterende kleur heeft, bijvoorbeeld om de ligging van een fietspad of rijweg te benadrukken (Figuur 3-13). Dit kan worden verkregen door een kleurstof aan het bitumen toe te voegen of door het toepassen van een gekleurd mineraal aggregaat in het asfalt of in de oppervlakbehandeling.



Figuur 3-13: Gekleurd asfalt op de Brouwersdam om de ligging van de rijweg te accentueren (foto NPC)

### 3.8.8 *Begroeibaarheid*

Bij de waardering van dijkbekledingen speelt de natuurwaarde een rol. Omdat dijken op die plaatsen het water keren waar duinen (met veel natuurwaarde) daar niet toe in staat zijn, is de behoefte gegroeid om bekledingen toe te passen die planten en dieren meer mogelijkheden bieden om zich te vestigen.

In het algemeen worden bekledingen van asfalt in dit opzicht minder gewaardeerd dan bekledingen van natuursteen of betonelementen. Dit heeft te maken met het feit dat asfaltbekledingen vooral bestaan uit vlakke doorgaande plaatconstructies van asfaltbeton, die niet door begroeiing mogen worden aangetast; begroeiing is dus altijd bewust tegengegaan. Nu begroeiing als functie veel meer waarde krijgt, moet worden nagegaan in welke mate andere functies als veiligheid, duurzaamheid en ecologie hiermee zijn te verenigen. Immers als begroeiing de samenhang van doorgaande plaatconstructies

verstoort, komen de veiligheid en de duurzaamheid in het geding. Naast de versturende invloed kan begroeiing ook een positief effect hebben:

- Doorgaande begroeiing kan in de asfaltlaag als een wapening dienen;
- Begroeiing als wieren en oesters kunnen als erosieremmende laag op de asfaltbekleding fungeren.

Asfaltbekledingen als gepenetreerde breuksteen en open steenasfalt hebben door hun ruwe oppervlak of grote poriën wel de potentie voor begroeiing. Door de grote flexibiliteit van deze materialen zal begroeiing niet snel tot schade leiden.

Tot voor kort was de kennis over de begroeiing van asfaltbekledingen nog heel beperkt. Daarom zijn in de afgelopen jaren diverse studies uitgevoerd naar de begroeiingsmogelijkheden van asfaltbekledingen. Vegetatieonderzoeken op open steenasfalttaluds in en boven de getijdezone hebben aangetoond dat deze taluds na enkele jaren spontaan geheel of grotendeels begroeid raken [59] en [27].

In een verkennend onderzoek [41] is gebleken dat de mate van begroeiing niet alleen bij asfaltbekledingen maar bij alle harde bekledingen heel sterk varieert. Alleen goed onderhouden asfaltbetonbekledingen en "vol en zat" gepenetreerde bekledingen waarbij de koppen van de steen zijn bedekt met gietasfalt blijken geen begroeiing te vertonen. Van Berchum en Meijer hebben de natuurwaarde van gepenetreerde breuk- en zetsteenbekledingen in de tijzone onderzocht [2]. In hun onderzoek zijn de oorspronkelijk zeer lage waarderingen bijgesteld, omdat blijkt dat de bitumenhuid aan het oppervlak afslijt zodat het mineraal (steen, zand) toch begroeid raakt.

Bij de beoordeling van de begroeibaarheid van een (asfalt-)bekleding kan onderscheid worden gemaakt tussen zogenaamde constructiegebonden factoren (zie §3.8.9) en locatiegebonden factoren (zie §3.8.10) [41]. De samenstelling en de kwaliteit van de vegetatie hangen nauw samen met deze criteria. Bij constructiegebonden factoren spelen het type asfaltbekleding en de manier van verwerken een rol. Deze bepalen of er begroeiing mogelijk is of niet. Locatiegebonden factoren zijn vooral bepalend voor aard en type van de potentiële begroeiing.

### 3.8.9 *Constructiegebonden factoren*

#### *Algemeen*

De constructiegebonden factoren bepalen met name of er begroeiing mogelijk is. Een grote ruwheid, voldoende watervasthoudend vermogen van het materiaal en veel spleten en holle ruimten hebben een positief effect op de begroeibaarheid. Bij asfalt blijkt dat organismen zich niet kunnen vestigen op een glad en bitumenrijk oppervlak. Zodra mineraal (zand en steenkorrels) aan het oppervlak bloot komt te liggen, vestigen zich organismen. Open steenasfalt moet ten minste 0,10 meter dik zijn om de wortels voldoende ruimte te geven.

In Tabel 3-8 is de begroeibaarheid van de verschillende asfaltbekledingen aangegeven voor wat betreft de constructiegebonden factoren. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen begroeibaarheid door vegetatie (planten en gras), algen en wieren, en schaaldieren (mosselen, oesters, zeepokken). Er wordt hierbij geen rekening gehouden met eventuele maatregelen om de begroeiing te bevorderen danwel te voorkomen.

Tabel 3-8: Begroeibaarheid van de asfaltsoorten

	waterbouw- asfaltbeton 1, 2, 3)	asfalt- mastiek	"vol en zat" gepenetreerde breuksteen <sup>4)</sup>	gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen	zandasfalt <sup>2)</sup>	open steenasfalt
vegetatie	niet	niet	niet	mogelijk	mogelijk	goed
algen en wieren	n.v.t.	nauwelijks	mogelijk	goed	mogelijk	goed
schaaldieren	n.v.t.	nauwelijks	goed	goed	mogelijk	goed

<sup>1)</sup> In scheuren en spleten komt in het algemeen wel begroeiing voor.

<sup>2)</sup> Begroeiing is niet gewenst i.v.m. het verbreken van de plaatvormige constructie.

<sup>3)</sup> Waterbouw-asfaltbeton wordt niet onder gemiddeld hoogwater toegepast.

<sup>4)</sup> Na afslijten van het bitumenoppervlak nemen de mogelijkheden sterk toe.

### In de getijzone

Voor begroeibaarheid van de bekleding in deze regelmatig belaste zone zijn factoren als ruwheid en de hoeveelheid spleten en holle ruimten bepalend voor het watervasthoudend vermogen van het materiaal en de mogelijkheid van het invangen van sediment. Ook het materiaal van het onderliggende filter bij een doorlatende bekleding is hierop van invloed; als het filter doorgroeibaar is, nemen de kansen op begroeiing toe.

Asfaltbeton en asfaltmastiek vormen door het gladde oppervlak geen goede vestigingsplaats voor zeeorganismen zoals wieren, mosselen of zeepokken. De overige bekledingstypen, gepenetreerde breuksteen en open steenasfalt, bieden door hun ruwere oppervlak en grote poriën meer mogelijkheden. Het afstrooien van gepenetreerde breuksteen met een poreus gesteente (zoals slakken of lavasteen) bevordert de ruwheid en dus de begroeibaarheid van de bekleding. Bij "vol en zat" gepenetreerde breuksteen kan begroeiing worden bevorderd door de toppen van de bovenliggende stenen vrij te houden van bedekking met gietasfalt.

Het is bekend dat zeepokken schade aan een bekleding van open steenasfalt kunnen veroorzaken. Door sterke groei van zeepokken kunnen stenen uit de bovenste laag worden losgedrukt. Aanbevolen wordt een extra steenlaag toe te passen op plaatsen waar een sterke aangroei van zeepokken wordt verwacht.

### Boven de getijzone (dagelijks droge zone)

Boven de getijzone, en bij rivierdijken, zijn voor de begroeiing van hogere planten de aanwezigheid en verdeling over het oppervlak van holten en spleten bepalend. Daarnaast spelen de mate van ruwheid, het watervasthoudend vermogen en de mogelijkheid van invangen van sediment een rol. Grote dagelijkse temperatuurwisselingen zijn niet bevorderlijk voor de groei van organismen; daarom geniet een lichte kleur van de bekleding de voorkeur. Ook het materiaal van het onderliggende filter bij doorlatende bekledingen is van invloed; als veel vegetatie is gewenst, moet een doorgroeibaar filter worden toegepast.

#### 3.8.10

##### *Locatiegebonden factoren*

De locatiegebonden factoren zijn vooral bepalend voor aard en type van de potentiële begroeiing. Sommige van deze factoren zijn wel, andere zijn niet door de mens te beïnvloeden. Dit zijn factoren zoals ligging, aanwezigheid van voorland, mate en aard van sedimentatie, belasting, aanwezigheid van zaadbronnen en depositie van veek.



De soortensamenstelling van de vegetatie wordt onder andere beïnvloed door de ligging ten opzichte van de zon, hoogteligging en de plaatselijke dynamiek in het milieu. Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen zee-, rivier- en meerdijken en is de dijk in te delen in zones die verschillend worden belast.

Bij zeedijken is het waterniveau nooit constant. In zoute wateren moet een onderscheid worden gemaakt tussen de getijzone, de zone die nog onder invloed staat van zout water als gevolg van golfploop en de zone boven de golfploop met een overwegend zoet milieu. In de nabijheid van strand en duinen leidt sedimentatie door wind tot de vorming van (mini-) duinen, die over het algemeen spontaan begroeid raken.



Figuur 3-14: Zealsem en Lamsoor tussen Strandkweek op een bekleding van open steenafalt – Tholen (foto WS-Tholen)

Een ander criterium is de invloed van het zoute water. Dit bepaalt of er zoet- of zoutminnende planten worden aangetroffen. Langs zoute wateren geeft een geleidelijke overgang van zout naar zoet water (de zout-zoet-gradiënt) in het algemeen een positieve bijdrage aan de begroeiing.

Meerdijken hebben over het algemeen een minder wisselende waterstand.

Bij rivierdijken wordt de waterstand hoofdzakelijk bepaald door de grootte van de rivierafvoer. De belasting is hierdoor anders en dit is met name bepalend voor de mate van sedimentatie. Op sommige plaatsen vindt juist wel sedimentatie plaats, op andere weer niet.

Onder de tijzone (permanent natte zone)

In deze zone zijn zout, brak of zoet water, bodemsamenstelling, stroming, zandtransport en lichttoevoer bepalend voor de begroeiing. De aanwezigheid van spleten en holten en een geleidelijke overgang van land naar water zijn hierbij bevorderlijk voor de begroeiing.

In de getijzone (wisselend natte en droge zone)

Bij zeedijken zal in deze zone in het algemeen eerst aangroei plaatsvinden van een laagje groenwieren, en in een later stadium zullen bruinwieren en zeepokken zich gaan vestigen. In de getijzone spelen het zoutgehalte, de mate van overstroming, de grootte van de belasting en de mate van blootstelling aan de zon een rol. De aanwezigheid van een kreukelberm, een geleidelijke overgang van land naar water, de aanwezigheid van een voorland en een lichte kleur van de bekleding zijn in deze zone bevorderend voor de begroeiing. Langs zoete wateren vertoont de vegetatie bij de waterlijn over het algemeen vochtminnende planten.

#### Boven de getijzone (dagelijks droge zone)

In deze zone speelt een aantal factoren een rol. De hoogte van de ligging van de bekleding bepaalt de mate van blootstelling aan golven en de grootte van de belastingen. De hoogte is ook bepalend voor de mate en aard van sedimentafzetting en de depositie van veek die bevorderend zijn voor begroeiing.

De aanwezigheid van zaadbronnen en een plaatselijke grote dynamiek van het milieu zijn van groot belang voor een waardevolle begroeiing.

Bij zeedijken wordt de vegetatie in deze zone gekenmerkt door soorten met dikke, vlezige blad- en stengeldelen, met doorgaans een blauwgrijze tint. Hoger in het talud komt in het algemeen een grasvegetatie voor die niet specifiek is voor het zoute watersysteem en zijn droogte-tolerante plantensoorten te vinden.



Figuur 3-15: Begroeide oever met open steenasfalt langs de Maas bij Bokhoven- 1995 (foto Oranjewoud)

#### Maatregelen om de begroeikbaarheid te bevorderen

Het is soms mogelijk om het aanzicht en de begroeiing van een dijk te beïnvloeden door middel van een zandsuppletie op de dijkbekleding. Dit is met name bij asfaltbetonbekledingen van belang, omdat begroeiing hier niet gewenst is. Een voorbeeld hiervan is het talud van de Veersedam (zie Figuur 3-16). Deze suppleties met begroeiing kunnen onder extreme omstandigheden worden weggeslagen. De dikte van de suppletie en de mate van begroeiing zijn bepalend voor de bestendigheid tegen zware golfaanval.

Bij zandsuppleties moet ook rekening worden gehouden met het feit dat inspectie van de onderliggende asfaltbekleding moeilijk wordt. Een periodieke inspectie is noodzakelijk voor het beheer en onderhoud en voor de veiligheidstoetsing van de waterkering. Aangeraden wordt de kwaliteit van de bekleding voor het aanbrengen van de zandsuppletie goed vast te leggen.

Eerst inzaaien van de ondergrond, voordat de open steenasfaltbekleding wordt aangelegd, leidt tot een snellere begroeiing. Instrooien van een aangelegde open steenasfaltbekleding met grond of teelaarde stimuleert de ontwikkeling, ook door het creëren van een voor de planten betere vocht- en temperatuurhuishouding. Instrooien moet echter alleen worden toegepast op plekken met een lage (golf-)belasting. De wortels van planten kunnen door de open structuur van het open steenasfalt tot in de bekleding doordringen en zich als het ware verankeren in de bekleding.



Figuur 3-16: Zandsuppletie met helm beplant op het binnentalud van de Veersedam – 2000 (foto NPC)

Ook gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen is begroeibaar, zij het minder goed dan open steenasfalt. Bij gedeeltelijke en “vol en zat” gepenetreerde breuksteenbekledingen kan de penetratiemethode zodanig worden gekozen dat een bekleding ontstaat met meer begroeiingsmogelijkheden. Uit onderzoek [2] is gebleken dat vegetatie beter aan de stenen hecht dan aan het gietasfalt (Figuur 3-17). Door de breuksteen zodanig te penetreren dat de koppen schoon blijven, ontstaat een bekleding met betere begroeiingsmogelijkheden.



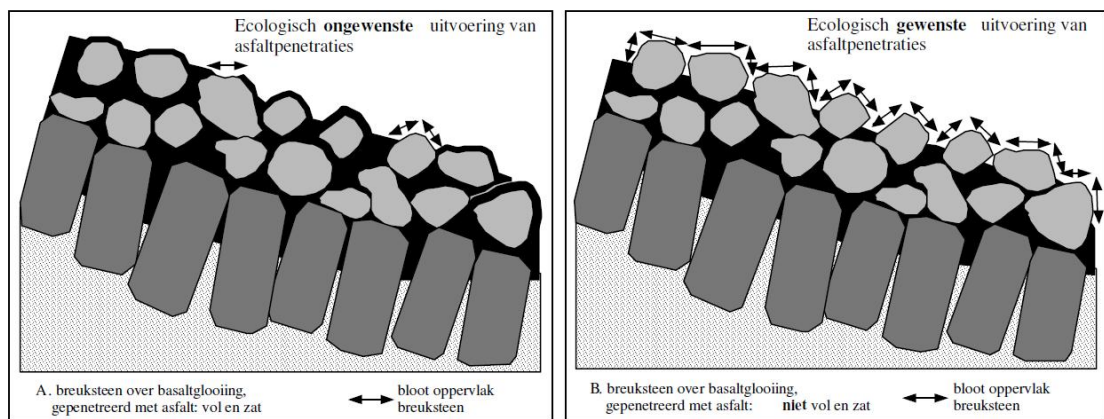
Figuur 3-17: Oude gietasfaltpenetratie met begroeiing - Grevelingendam – 1996

Door de taldhelling te verflauwen en een berm aan te leggen op het niveau van de gemiddelde waterstand kan meer ruimte worden gecreëerd voor natuurontwikkeling. Ook dieren hebben baat bij een geleidelijke overgang van land naar water. Een berm moet bij voorkeur zodanig zijn geconstrueerd dat er water blijft staan (plaspvorming) als de berm bij laagwater droog valt.



Op plaatsen met (te) hoge hydraulische belastingen kan door het aanleggen van vooroevers en strekdammen worden bereikt dat de bekledingen meer in de luwte komen te liggen en de natuur meer kansen krijgt.

Uit een onderzoek [37] blijkt dat een overlagingconstructie uitgevoerd met schone koppen een constructie is die genoeg potentie biedt om als groeiplaats voor wieren te dienen. Het is aannemelijk dat als een dergelijke constructie, met minimaal 50% schone koppen, wordt toegepast op een locatie waar zich nu een soortenrijke wiervegetatie bevindt, deze wiervegetatie zich uiteindelijk zal herstellen. Waarschijnlijk zal op de constructie binnen vijf jaar een nieuwe, maar soortenarme wiervegetatie zijn ontstaan. Deze vegetatie zal zich langzaam maar zeker doorontwikkelen naar een soortenrijke wiervegetatie. Deze ontwikkeling kan echter lang duren en zal in totaal meer dan 10-20 jaar in beslag kunnen nemen.



Figuur 3-18: Uitvoering asfaltpenetraties voor ecologie

Het is niet te garanderen dat nu aanwezige soorten en levensgemeenschappen terug zullen keren. Met name als er nu een Knotswier-gemeenschap aanwezig is, zal deze waarschijnlijk niet terugkeren maar vervangen worden door een Fucus-gemeenschap. Ook is de kans groot dat als er nu Groefwier aanwezig is, deze soort niet terug zal keren. Het bovenstaande leidt tot een positief advies voor het toepassen van een schone koppen constructie mits er op ieder dijkvak op basis van recente inventarisaties maatwerk wordt geleverd. Het bovenstaande is echter wel afhankelijk van de uitvoering. Het moet praktisch wel mogelijk zijn om een schone koppen constructie op grote schaal aan te leggen. Op de dijken van de Westerschelde is hier al ervaring mee opgedaan. Op een dijkvak bij Borssele is een proefvak aangelegd van een paar honderd meter lang, met gemiddeld ongeveer 60% schone koppen. Dit is zonder problemen op grote schaal (meerdere kilometers) uit te voeren. De resultaten op andere stukken bleken echter minder goed. De hoeveelheid schone koppen op het dijkvak Zuidwatering liet te wensen over. De resultaten in de buitenhaven van Vlissingen zijn ronduit slecht, hier is absoluut geen sprake van een overlaging met schone koppen. Een dergelijk resultaat in de Oosterschelde zal funest zijn voor de soortenrijke wiervegetaties. Naar aanleiding van deze problemen is er een proefvlak aangelegd op de westelijke havendam bij Vlissingen. Hier is door een "vol en zat" gepenetreerde overlaging af te strooien met stortsteen een schone koppen overlaging gecreëerd. Ook dit proefvlak ziet er redelijk goed uit met ca. 65% schone koppen. Dit lijkt de meest betrouwbare techniek tot nu toe om een schone koppen constructie toe te passen.

Het is dus van belang dat er goed op wordt toegezien dat er een goede schone koppen constructie wordt aangelegd. Daarvoor is het van belang om te weten waar deze aan moet voldoen:

- De schone koppen bestaan uit kalksteen of lavasteen.  
Kalksteen staat bekend als de steensoort die zeer geschikt is voor wierbegroeiingen. De steensoort moet iets poreus zijn en een ruw oppervlak hebben. Uit recentere onderzoeken is gebleken dat lavasteen geschikter is voor wierbegroeiingen (gebruikte sortering 60-130 mm).
- Er moet minimaal 60% schone koppen zijn.  
Loodrecht geprojecteerd op de glooiing moet 60% van het oppervlak bestaan uit schone koppen. Dit is, zo tonen de proefvakken aan, een realiseerbaar percentage. Uit het onderzoek is gebleken dat er dan voldoende mogelijkheid is om een soortenrijke wiervegetatie te laten ontwikkelen.

Ook bij het toepassen van de afstrooiotechniek zijn een aantal voorwaarden opgesteld:

- om te voorkomen dat het asfalt al teveel is afgekoeld op het moment dat er wordt afgestrooid, moet het asfalt dat gebruikt wordt op moment van verwerking minimaal 135°C zijn.
- door af te strooien met een sortering die een slag kleiner is dan de stortsteen waarmee wordt overlaagd, behaal je waarschijnlijk het mooiste afstrooiresultaat. De inschatting is dat een 80-180 mm sortering het beste resultaat geeft.

#### 3.8.11 *Bestendigheid tegen vandalisme*

Indien een dijkbekleding toegankelijk is voor recreanten, kunnen deze de bekleding beschadigen, bijvoorbeeld met hengels en door het stoken van vuurtjes. Gepenetreerde breuksteen en asfaltbeton zijn beter tegen vuurtjes bestand dan open steenasfalt. Het stoken van een vuurtje op de bekleding levert over het algemeen alleen esthetische schade op aan het oppervlak van de bekleding.

Los gestorte breuksteen wordt soms door recreanten vanaf het talud in het water gegooid of meegenomen voor in de tuin. Dit kan worden voorkomen door de breuksteen vast te leggen met gietasfalt. Hierdoor ontstaat een bekleding die anders op belastingen reageert. De bekleding moet in dat geval worden gedimensioneerd op wateroverdrukken.



## 4 Dimensioneren

### 4.1 Inleiding

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 gebruikperiode van 50 jaar. Gedurende die periode dienen de maatgevende belastingen met voldoende zekerheid te kunnen worden weerstaan. Gedurende die levensduur moet een 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.

Dit hoofdstuk omvat ontwerp en dimensionering van asfaltbekledingen bij waterkeringen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de volgende constructieonderdelen:

- Taludbekleding (dijkbekleding en duinvoetverdediging);
- Teenbescherming;
- Vooroeververdediging;
- Filterconstructie;
- Overlagingsconstructies.

In §4.2 wordt ingegaan op de ontwerpaspecten van de verschillende constructieonderdelen. Een belangrijk aspect bij het ontwerp van asfaltbekledingen is de laagdikte die nodig is om de optredende belastingen te kunnen weerstaan. De ontwerpregels waarmee de laagdikte kan worden bepaald, zijn aangegeven in de paragrafen 4.3 tot en met 4.9. In §4.10 wordt ingegaan op het ontwerp van aansluitings- en overgangsconstructies. In §4.11 wordt het wapenen van asfaltbekledingen behandeld.

### 4.2 Ontwerpaspecten constructies

#### 4.2.1 *Algemeen*

In deze paragraaf wordt ingegaan op de ontwerpaspecten van taludbekledingen en overige constructieonderdelen. In §4.2.2 worden de ontwerpaspecten met betrekking tot taludbekledingen zoals dijkbekledingen en duinvoetverdedigingen behandeld. In §4.2.3 tot en met §4.2.5 komen de ontwerpaspecten van respectievelijk teenbeschermingen, vooroeververdedigingen en filterconstructies aan bod.

In Tabel 4-1 is kort samengevat op welke van de in dit hoofdstuk behandelde mechanismen de betreffende constructieonderdelen gedimensioneerd moeten worden. Dit is mede afhankelijk van het gebruik van de bekleding en de zone waarin het constructieonderdeel zich bevindt.

Tabel 4-1: Relevante mechanismen per constructieonderdeel

mechanisme	constructieonderdeel				
	dijkbekleding	teen- bescherming	duinvoet- verdediging	vooroever- verdediging	filter- constructie
wateroverdrukken	x	x	x	x	
golfklappen	x		x	x	
stroming	x	x	x	x	
overdrukken door golfbeweging		x			
ontgrondingen		x			
ijsbelasting	x		x	x	
verkeersbelasting	x		x		
filterwerking		x			x

#### 4.2.2 *Ontwerpaspecten taludbekleding*

Onder taludbekledingen worden zowel dijkbekledingen als duinvoetverdedigingen verstaan. Bij het bepalen van de dimensies van een taludbekleding zijn met name de volgende aspecten van belang:

- Laagdikte van de bekleding;
- Onderbeëindiging;
- Bovenbeëindiging;
- Taludhelling;
- Onderlagen en ondergrond;
- Bermen.

Voor het bepalen van de genoemde dimensies zijn, met uitzondering van de laagdikte, vaak geen concrete ontwerpregels te geven. In deze paragraaf worden per aspect enige aandachtspunten gegeven.

##### Laagdikte van de bekleding

De benodigde laagdikte van de bekleding wordt bepaald door de mechanismen die de bekleding belasten. Het maatgevende mechanisme is afhankelijk van de zones waarin de bekleding zich bevindt (zie §3.6). Een taludbekleding kan worden belast door de mechanismen wateroverdrukken, golfklappen en stroming. Daarnaast is het mogelijk dat de bekleding wordt belast door verkeer. Ontwerpregels voor de genoemde mechanismen zijn verderop in dit hoofdstuk opgenomen.

Als de belastingen op de bekleding gering zijn, volgt de laagdikte uit een praktische eis: een minimale aanlegdikte. Deze is afhankelijk van de asfaltsoort, de ondergrond en de steenafmeting in het asfalmengsel. In Tabel 4-2 zijn de minimale laagdikten voor verschillende asfaltsoorten gegeven die als taludbekleding kunnen worden toegepast. Het toepassen van de in Tabel 4-2 genoemde laagdikten voorkomt eveneens dat andere dan de in dit hoofdstuk behandelde mechanismen leiden tot bezwijken van de bekleding, zoals scheurvorming ten gevolge van thermische spanningen. Deze waarden gelden specifiek voor de Nederlandse omstandigheden. Als er sprake is van extreem hoge golven, dan moeten rekening worden gehouden met geotechnische faalmechanismen, zie §12.2.2 en 12.2.3.



Tabel 4-2: Minimale laagdikte van de verschillende asfaltsoorten

asfaltsoort	minimale laagdikte [m]
waterbouwasfaltbeton, ondergrond zand	0,10
waterbouwasfaltbeton, ondergrond klei	0,15
geprefabriceerde open steenasfaltmat	$3D_{\max}$ , in de tijzone $4D_{\max}$
open steenasfalt in situ aangelegd	$4D_{\max}$ , in de tijzone $5D_{\max}$
gepenetreerde breuksteen 5-40	0,30
zandasfalt, ondergrond zand (boven water)	0,10
zandasfalt, ondergrond klei (boven water)	0,15
zandasfalt, aangebracht onder water	0,50 - 0,70

*Opmerking:*

Voor bermconstructies die tevens als weg worden gebruikt, gelden andere waarden. Bij aanwezigheid van een goede fundering en in geval van een gering aantal golfbelastingen op de bekleding kan de laagdikte op bermen worden gereduceerd.

*Toelichting:*

- De minimale aanlegdikte is specifiek afhankelijk van de toegepaste steendiameter in het asfaltmengsel en de ondergrond waarop de bekleding wordt aangelegd. De toegepaste steendiameter is hierbij de nominale maximum korrelafmeting van de steenslag of het grind in het asfaltmengsel.
- De minimale laagdikte is ook van belang om mechanismen waarvoor geen rekenregels zijn gegeven te voorkomen, denk daarbij bijvoorbeeld aan geotechnische bezwijkmechanismen, zie §12.2.2 en §12.2.3.
- Om een homogene laag te verkrijgen dient de bekleding minimaal enkele steenlagen dik te zijn.
- Als de ondergrond draagkrachtiger is, kan een bekleding worden aangelegd met minder variatie in de laagdikte. Als het vochtgehalte van een klei-ondergrond niet zeer strikt wordt beheerst kan dit leiden tot een grote variatie in de daarop aangebrachte bekledingsdikte. Aangezien een ondergrond van zand minder kritisch is, wordt voor een ondergrond van zand een kleinere minimale laagdikte van een bekleding gehanteerd dan die voor een ondergrond van klei.
- De variatie in laagdikte is bij geprefabriceerde matten geringer dan bij in situ aangelegd asfalt waardoor ook hier de minimale laagdikte geringer kan zijn.

**Onderbeëindiging**

De bekleding sluit aan de onderzijde aan op de teenconstructie of op een andere bekleding. De teenconstructie moet zodanig worden uitgevoerd dat de standzekerheid van de dijk of duinvoetverdediging tijdens zware stormvloeden niet in gevaar komt. De teenconstructie moet voorkomen dat materiaal uit de constructie uitspoelt, geeft steun aan de bovenliggende bekleding en mag niet bezwijken ten gevolge van ontgrondingskuilen. Ontgrondingskuilen treden alleen op bij een zandige vooroever. In het Basisrapport Zandige Kust [47] wordt nader ingegaan op het ontwerpen van een onderbeëindiging van een duinvoetverdediging. Het ontwerp van een teenconstructie wordt in §4.10 behandeld. Door middel van een teenbescherming kan eveneens worden voorkomen dat een ontgrondingskuil de teen van de constructie bereikt. Zie hiervoor §4.2.3.

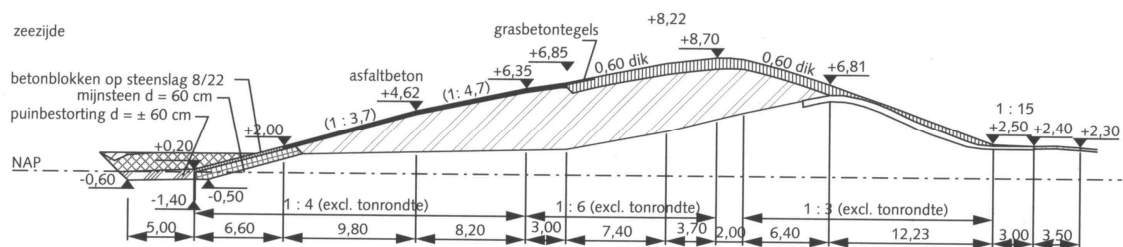
Een bekleding van waterbouwasfaltbeton wordt alleen boven gemiddeld hoogwater aangelegd, omdat verwerking van een dergelijke bekleding in de tijzone problematisch is. Daarom zal een asfaltbetonbekleding normaal gesproken aan de onderzijde op een andere bekleding aansluiten, zoals op open steenasfalt, (gepenetreerde) breuksteen of een gezette steenbekleding. Ontwerp en uitvoering van een dergelijke overgang in de door golven belaste zone verdient extra aandacht. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar §4.10 en het deel Steenzettingen [87] van deze Handreiking.

### Bovenbeëindiging

Tot welk niveau een asfaltbekleding op een dijk moet worden doorgetrokken, is afhankelijk van de hydraulische belastingen. Vaak sluit een asfaltbekleding aan de bovenzijde aan op een grasbekleding. In dit geval kan het niveau van de bovenbeëindiging worden vastgesteld aan de hand van de volgende criteria:

- Om erosie van de grasbekleding door golfklappen te voorkomen moet de asfaltbekleding worden doorgetrokken tot MHW + (0,25 tot 0,50)  $H_s$ . Indien er een berm op het niveau van het maatgevend hoogwater aanwezig is kan de bekleding minder ver worden doorgetrokken.
- De bekleding moet zo ver zijn doorgetrokken dat de bovenliggende grasmat voldoet aan de ontwerpcriteria ten aanzien van golfklappen en stroming.

In onderstaande figuur 4-1 is de doorsnede weergegeven van de taludbekleding van de Emmapolder zeedijk.



Figuur 4-1: Bestektekening van de taludbekleding van de Emmapolder zeedijk

Bij duinvoetverdedigingen bepaalt het niveau van de bovenbeëindiging de effectiviteit van de verdediging in hoge mate. Naarmate het niveau hoger ligt, zal de afslag (toperosie) afnemen. Tegelijkertijd neemt hierdoor echter ook de reducerende werking op het optreden van ontgrondingen af. Wellicht speelt daarbij ook nog de verminderde aanvoer van zand als gevolg van verminderde toperosie een rol. In het Basisrapport Zandige kust [47] wordt dieper ingegaan op de keuze van de bovenbeëindiging bij duinvoetverdedigingen.

### Taludhelling

De maximaal mogelijke taludhelling wordt bepaald door:

- De grondmechanische stabiliteit van het talud;
- De inwendige stabiliteit van het asfaltmengsel.

In deze handreiking wordt niet nader ingegaan op het bepalen van de grondmechanische stabiliteit van het talud als geheel. De maximale taludhelling van de verschillende asfaltsoorten is gegeven in §3.7 (eerste selectie).

Vanuit het oogpunt van ruimtegebruik en om het grondverzet te beperken is, binnen de randvoorwaarden, een zo steil mogelijk talud vaak gewenst. Daarnaast kunnen bij de keuze van de taludhelling de volgende overwegingen een rol spelen:

- De helling beïnvloedt de hydraulische belastingen en dus de benodigde asfaltdikte. Een flauwer talud reduceert de belastingen;
- De taludhelling beïnvloedt de golfoploop. Hoe flauwer het talud, des te minder is de golfoploop;
- De helling beïnvloedt de diepte van de ontgrondingskuil. Met name de helling van het lager gelegen deel van het talud is hierop van invloed. Binnen zekere grenzen blijkt dat hoe flauwer de taludhelling is, hoe dieper de ontgrondingskuil wordt;
- Andere functies dan de waterkerende functie kunnen eisen stellen aan de taludhelling zoals recreatie (toegankelijkheid van de bekleding voor recreanten), verkeer (toegankelijkheid van de bekleding voor onderhoudsmaterieel) en begroeiing (flauw talud voor natuurontwikkeling).

#### Onderlagen en ondergrond

Waterbouwasfaltbeton wordt bij voorkeur in één laag aangebracht zonder onderlagen. Als de ondergrond direct onder het asfaltbeton sterk samendrukbaar is, kan een onderlaag van zandasfalt worden aangebracht zodat het waterbouwasfaltbeton beter kan worden verdicht. Onder open steenasfalt kan een onderlaag van zandasfalt worden aangebracht. Deze dient als filter.

Bij waterkeringen zal het dijklichaam onder een asfaltbekleding normaal gesproken uit zand bestaan, omdat dit de meest geschikte grondsoort is.

Zand is goed verdichtbaar en weinig samendrukbaar. Klei is vanwege de samendrukbaarheid en minder goede verdichtbaarheid minder geschikt als ondergrondmateriaal. Toch wordt klei in sommige gevallen als dijk materiaal toegepast.

Voorbeelden hiervan zijn:

- De bekleding wordt bij een binnendijkse verzwaring op de oude kleikern aangelegd. Voorwaarde hierbij is dat de kleikern voldoende draagkrachtig is;
- Voor aanleg van de waterkering wordt soms eerst een perskade van klei aangelegd die later deel kan uitmaken van de waterkering;
- Bij rivierdijken kan op plaatsen waar de dijk aan een vrijwel constante golfaanval wordt blootgesteld, een bekleding van open steenasfalt worden aangelegd om erosie te voorkomen. Dit zal doorgaans op een (al aanwezige) ondergrond van klei worden gedaan;
- Bij waterkeringen waarlangs een druk bevaren scheepvaartroute loopt, is in het verleden wel een kleilaag van beperkte dikte onder een asfaltbetonbekleding aangelegd om bij een eventuele scheepsaanvaring uitspoeling van zand uit het dijklichaam te voorkomen.

Naast zand en klei wordt incidenteel zandasfalt of mijnsteen gebruikt als ondergrond voor een asfaltbekleding. Met name als deze materialen worden gebruikt voor het aanleggen van een perskade die deel blijft uitmaken van de waterkering.

#### Bermen

Bij zeedijken wordt vaak een buitenberm aangelegd om de golfoploop te reduceren. Een berm op stilwaterniveau (MHW) is het meest effectief. De breedte van een stormvloedberm is ongeveer  $4H_s$  met een minimum van 5 meter. Naast een reductie van de golfoploop wordt een groot deel van de golven gebroken op de stormvloedberm wat de belasting door golfklappen boven de berm reduceert. Een stormvloedberm kan tevens worden benut als

onderhoudsweg. Meer informatie is opgenomen in de Leidraad Zee- en Meerdijken [51] en in het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag [50].

#### 4.2.3 Ontwerpaspecten teenbescherming

Bij het bepalen van de dimensies van een teenbescherming zijn met name de volgende aspecten van belang:

- Laagdikte van de teenbescherming;
- Lengte van de teenbescherming;
- Taludhelling.

##### Laagdikte

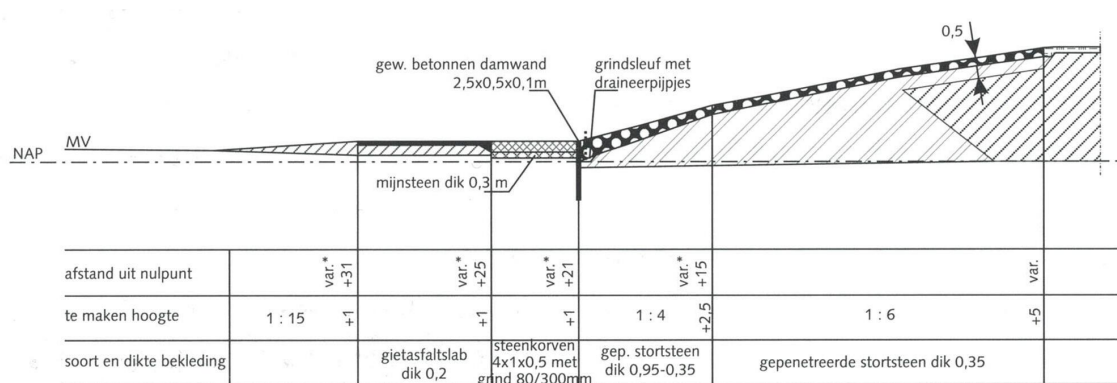
De laagdikte van de teenbescherming wordt bepaald door de volgende optredende belastingen:

- Overdrukken ten gevolge van waterstandsverschillen. Dit mechanisme wordt behandeld in §4.3;
- Overdrukken door stromend water. Dit mechanisme wordt behandeld in §4.5;
- Overdrukken door golfbeweging. Dit mechanisme wordt behandeld in §4.6.

Een praktische maat voor de minimale laagdikte van een asfaltmastiekslab is 0,10 – 0,15 meter indien deze boven water is vervaardigd en 0,20 meter indien deze onder water is aangelegd.

##### Lengte van de teenbescherming

De lengte van de teenbescherming bepaalt de weerstand van de constructie tegen ontgrondingen. In §4.7 is aangegeven hoe de benodigde lengte van de teenbescherming wordt bepaald.



Figuur 4-2: Teenbescherming van de Brouwersdam

##### Taludhelling

De maximaal mogelijke taludhelling is afhankelijk van de stabiliteit van het mengsel. Bij de toepassing van asfaltmastiek als teenbescherming is de maximale taludhelling 1:7 onder water en 1:10 boven water. Matten van open steenasfalt kunnen ook op steile taluds zowel boven als onder water worden aangebracht (zie ook §3.7).

In Figuur 4-2 is de teenbescherming van de Brouwersdam weergegeven.

#### 4.2.4 *Ontwerpaspecten vooroeververdediging*

Bij het ontwerp van een vooroeververdediging moet onderscheid worden gemaakt tussen de toepassing bij rivieren en meren enerzijds en de toepassing langs de zee kust (offshore golfbrekers) anderzijds. Het doel en de functies van de vooroeververdediging zijn bij rivieren en meren anders dan bij de zee kust. Dit beïnvloedt het ontwerp.

Bij ontwerp van een vooroeververdediging bij meren en rivieren zijn de volgende aspecten van belang:

- Afstand tussen de vooroeververdediging en de vaste oever. Als de vooroeververdediging is aangelegd om erosie van de vaste oever te voorkomen, mag de afstand tussen de vooroeververdediging en de vaste oever niet te groot zijn om de beoogde reductie van de golfhoogte te verkrijgen;
- Kruinhoogte en -breedte van de vooroeververdediging. De kruinhoogte en -breedte hebben grote invloed op de golftransmissie. In [58] is een methode opgenomen waarin ook de invloed van de kruinbreedte wordt meegenomen;
- Taludhelling. De maximale taludhelling is afhankelijk van het materiaal waaruit de vooroeververdediging is opgebouwd. Een dam die is opgebouwd uit breuksteen heeft een taludhelling van 1:1,5 of flauwer. Een dam met een kern van zand of klei en een toplaag heeft een taludhelling van 1:3 of flauwer;
- Ontwerp van in- en uitstroomopeningen. Om voldoende wateruitwisseling te krijgen, is het verstandig om verlagingen of openingen in de vooroeververdediging aan te leggen. Hierbij moet worden gezorgd dat de golfreductie ter plaatse door deze verlaging of opening niet te klein wordt.

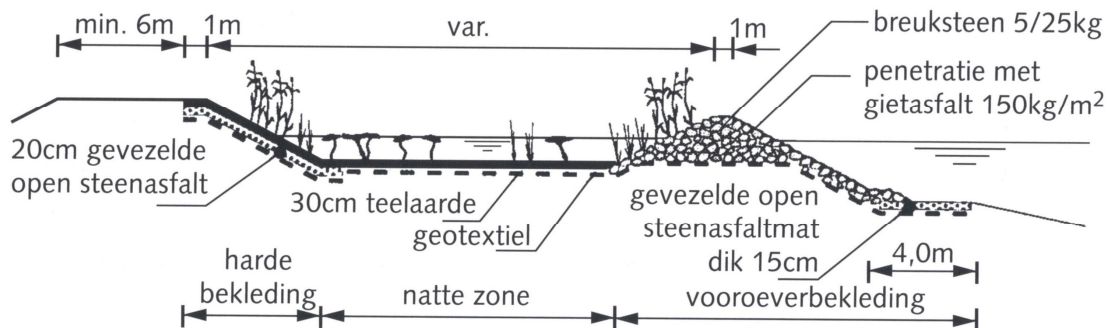
In het CUR-rapport Natuurvriendelijke Oevers [26] wordt nader ingegaan op het ontwerp van een vooroeververdediging bij rivieren en meren.

Voor het ontwerp van een vooroeververdediging langs de zee kust zijn voor Nederlandse omstandigheden geen concrete ontwerpregels beschikbaar. De genoemde aspecten voor toepassing bij meren en rivieren zijn ook hier van belang. Daarnaast zijn de volgende aspecten belangrijk:

- Het ontwerp van de dam is afhankelijk van het doel van de vooroeververdediging. Dit kan zijn: a) reductie van de mate van duinafslag of b) het bestrijden van structurele kusterosie;
- De kruinhoogte van de dam is mede afhankelijk van de vraag of een doorgaande of een onderbroken dam wordt aangelegd;
- Bij het ontwerp dient rekening te worden gehouden met processen als ontgroningen en achterloopsheid;
- Aanleg van een gesloten bekleding op een open dam (van bijvoorbeeld breuksteen) moet worden voorkomen. De bekleding kan bezwijken door de voortdurend wisselende grote drukverschillen op de bekleding bij golfaanval.

In het Basisrapport Zandige Kust [47] wordt dieper ingegaan op ontwerp van een vooroeververdediging langs de zandige kust.

Als voorbeeld is in Figuur 4-3 een doorsnede weergegeven van een vooroeververdediging.



Figuur 4-3: Voorbeeld van een vooroeververdediging [16]

#### Materiaalkeuze

In deze publicatie worden alleen de varianten beschouwd waarin asfalt kan worden verwerkt. Bij een dam van breuksteen kan op de plaatsen waar de grootste stroming of golfaanval plaatsvindt gietasfalt worden toegepast om de stabiliteit te verhogen. Dit zijn de koppen van de dammen ter plaatse van de in- en uitstroomopeningen en verlagingen of de kruin van de dam. Bij een dam van klei of zand met een bekleding kunnen open steenasfaltmatten of met gietasfalt gepenetreerde breuksteen worden toegepast. In plaats van zand of klei kan ook zandasfalt worden toegepast. Dit heeft als voordeel dat het erosiebestendiger is dan de genoemde materialen. Indien nodig kan zandasfalt worden bekleed met bijvoorbeeld open steenasfalt.

#### 4.2.5 Ontwerpaspecten filterconstructie

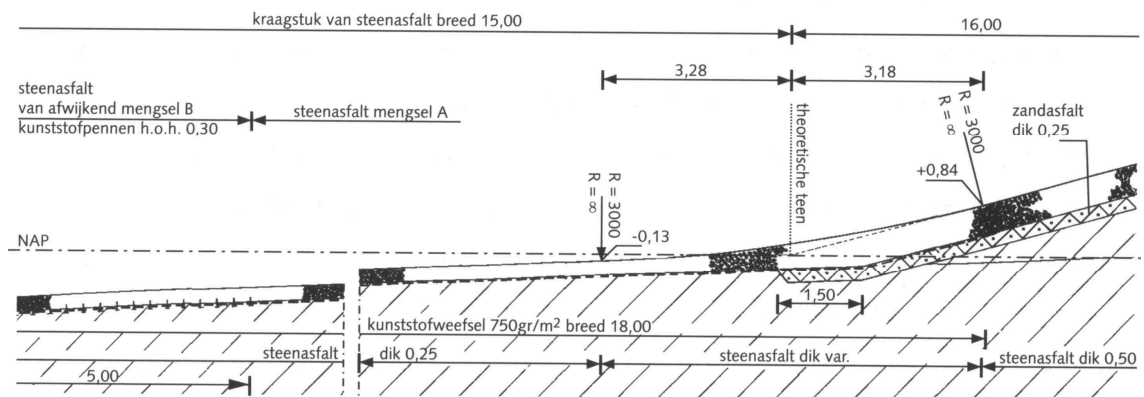
Een filter van zandasfalt kan worden aangelegd onder een open bekleding zoals open steenasfalt en een gezette steenbekleding. Onder een gezette steenbekleding wordt zandasfalt zelden toegepast vanwege de hoge kosten ten opzichte van een granulair filter. Als er geen klei in het beloop aanwezig is, kan het toepassen van zandasfalt in plaats van een granulair filter en klei wel kosteneffectief zijn.

Als de doorlatendheid van het zandasfalt vergelijkbaar is met de doorlatendheid van het onderliggende zand, heeft de laagdikte van het filter geen invloed op de bekledingsdikte van een bovenliggende, gezette steenbekleding.

Als de filterconstructie een bepaalde (rest-)sterkte moet hebben, kan deze als volgt worden gedimensioneerd: met driepunts-buigproeven worden de vermoeiingsparameters en de elasticiteitsmodulus bepaald. Deze worden gebruikt als invoer in het computermodel GOLFKLAP waarmee de benodigde laagdikte wordt bepaald.

Door het toepassen van een filter van zandasfalt in plaats van een geotextiel onder een bekleding van open steenasfalt kan in bepaalde gevallen de laagdikte van het open steenasfalt worden gereduceerd. Dit is weergegeven in Figuur 4-4. Geadviseerd wordt zandasfalt in een laagdikte van minimaal 0,10 meter aan te leggen.

In Figuur 4-4 is de filterconstructie zoals deze is toegepast bij de havendam van de Bouwput Schaar weergegeven. Boven NAP is een filter van zandasfalt onder het open steenasfalt toegepast, onder NAP dient het geotextiel als filter.



Figuur 4-4: Detail van de filterconstructie van de Havendam bij Bouwput Schaar

#### 4.2.6 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
- Waterbouwasfaltbeton;
- Open steenasfalt.

Een overlaging van losse breuksteen wordt niet in dit deel van de Handreiking behandeld. Hiervoor wordt verwezen naar het deel 4 van deze Handreiking: Breuksteenbekledingen [88]. 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 overlagingsconstructie 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 volledig en duurzaam is, dan mag het gewicht van de onderliggende constructie worden meegenomen bij het dimensioneren op wateroverdrukken.

#### Hechting op de onderlaag

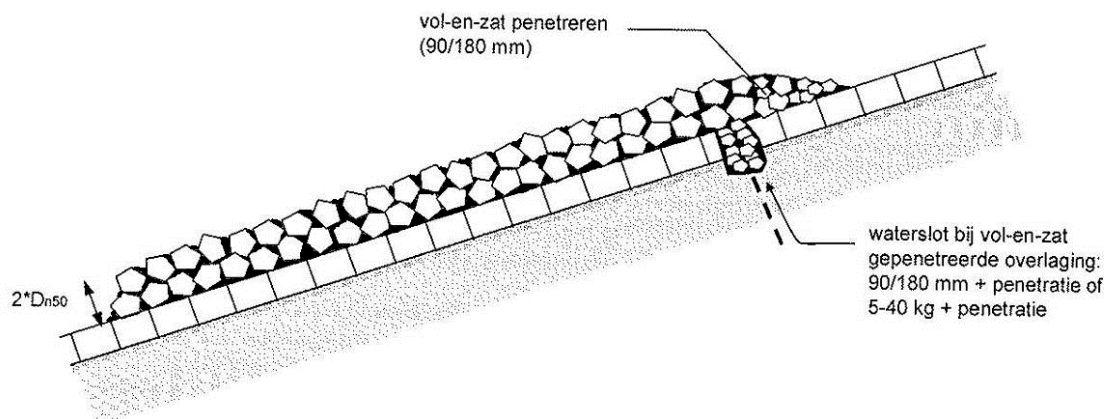
Indien een asfaltbekleding als overlaging op een bestaande constructie wordt aangebracht, is een goede hechting aan de onderlaag van groot belang. Daarom moet het oppervlak waarop de overlaging wordt aangebracht schoon zijn. Er mogen geen zand, slib of bijvoorbeeld plantenresten tussen de oude en nieuwe 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 toplaag bij hoogwater van de oude laag worden afgedrukt. Voor een goede hechting wordt altijd een kleeflaag toegepast.

#### Waterdruk in het filter

Een gesloten bekleding op een open filterlaag levert een minder gewenste constructie op en moet in principe worden vermeden. Als toch wordt gekozen voor deze constructie 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 4-5 (In de afbeelding geeft de stippellijn de grens aan tussen de bij de veiligheidstoetsing onvoldoende beoordeelde bekleding enerzijds en de goed beoordeelde of nieuwe bekleding anderzijds).



**Figuur 4-5: 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, kunnen door golfbewegingen (dynamische) waterdrukken in het filter ontstaan. Die leiden op den duur mogelijk 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 vergeleken 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 (ingieten) van een gezette steenbekleding met waterbouwasfaltbeton kan leiden tot reflectiescheuren in het waterbouwasfaltbeton (voor achtergronden over ingegoten steenzettingen zie §0). Dit wordt veroorzaakt doordat er op de plek 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. Bij het overlagen van een oude asfaltbetonbekleding kan een SAMI-laag (Stress Absorbing Membrane Interlayer) 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.

## 4.3 Dimensioneren op wateroverdrukken

### 4.3.1 *Algemeen*

Wateroverdrukken onder een gesloten bekleding kunnen ontstaan ten gevolge van:

- Golven en deining;
- Waterstandsverschillen in en buiten het grondlichaam.

#### Golven en deining

De wateroverdrukken ten gevolge van golven (wind en schepen) en deining zijn kortdurend en klein in vergelijking met wateroverdrukken ten gevolge van waterstandsverschillen. Op kortdurende belastingen reageert asfalt stijf. Gezien de grootte en de duur van belastingen door golven en deining hoeft de gebruikelijke asfaltbekleding die op zand ligt, hierop niet te worden gedimensioneerd. Op uitzonderingsgevallen wordt ingegaan in de volgende paragraaf.

#### Langdurige waterstandsverschillen

Wel relevant zijn de wateroverdrukken ten gevolge van waterstandsverschillen. Als de grondwaterstand in een dijklichaam onder een gesloten bekleding de buitenwaterstand niet kan volgen, zullen er wateroverdrukken onder de bekleding ontstaan. Dit kan voorkomen na het optreden van een hoogwater. Tijdens het hoogwater wordt het dijklichaam gevuld met water. Als de buitenwaterstand na het hoogwater snel daalt, zal de grondwaterstand in het dijklichaam vertraagd volgen. Hierdoor ontstaat een wateroverdruk onder de bekleding. Ook (extreme) neerslag, tijdens of voorafgaande aan de storm, kan de grondwaterstand in de dijk en daarmee de wateroverdruk significant beïnvloeden.

Een gesloten bekleding moet zodanig zijn ontworpen dat deze niet zal bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken. De te hanteren dimensioneringsregels zijn in de onderstaande paragrafen opgenomen.

Onder extreme belastingomstandigheden (bijvoorbeeld na het optreden van een maatgevend hoogwater) kan de wateroverdruk onder de bekleding groter worden dan de component van het eigen gewicht van de bekleding loodrecht op het talud. Hierdoor heeft de bekleding de neiging plaatselijk te worden opgelicht en kunnen er blijvende vervormingen ontstaan. Dit verschijnsel wordt opdrijven genoemd. Als er ruimte ontstaat tussen de bekleding en de ondergrond treedt hier een grotere grondwaterstroming op. Hierdoor wordt kernmateriaal getransporteerd en kan de bekleding, na het verdwijnen van de overdruk, niet meer in de oorspronkelijke positie terugkeren. Omdat het kernmateriaal naar beneden wordt getransporteerd zullen onder aan het talud bulten ontstaan en hoger op het talud kuilen. Onder extreme omstandigheden kan dit leiden tot bezwijken van de bekleding.

### 4.3.2 *Doorlatendheid van de ondergrond*

De hier opgenomen ontwerpmethodede levert veilige laagdikten op bij doorlatendheden van een homogeen dijklichaam en ondergrond van circa  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s tot  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s. Dit zijn normale waarden voor zand in Nederland. De invloed van de doorlatendheid op de

wateroverdrukken is mede afhankelijk van de duur van het hoogwater. Meer informatie hierover is gegeven in het rapport Dimensioneren op wateroverdrukken [34].

Bij kleinere doorlatendheden dan  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s zijn de optredende wateroverdrukken in het algemeen beduidend lager omdat de freatische lijn in het grondlichaam nauwelijks stijgt. Als er een ondergrond van klei onder de gesloten bekleding aanwezig is, wordt de ondergrond bij kortdurende hydraulische belastingen zoals een hoogwater bij zeedijken als ondoorlatend beschouwd. Dimensioneren op overdrukken is in dit geval niet noodzakelijk. Als er een kleilaag van beperkte dikte aanwezig is, wordt ervan uitgegaan dat de wateroverdrukken tegen de onderzijde van de kleilaag zullen optreden. De kleilaag mag bij dimensioneren op wateroverdrukken als deel van de bekleding worden beschouwd waardoor de bovenliggende asfaltbekleding minder dik kan zijn.

Bij hogere doorlatendheden, bijvoorbeeld ten gevolge van een doorlatende mijnsteenkade onder de bekleding, kan de optredende wateroverdruk groter zijn. In dit geval dient de maximale overdruk onder de bekleding te worden bepaald met een niet-stationair grondwaterstromingsprogramma. Hierbij moet tevens worden nagegaan of de kortdurende waterstandsverschillen ten gevolge van golven en deining relevante belastingen zijn op de bekleding.

Ook als het dijklichaam en de directe ondergrond qua doorlatendheid inhomogeen zijn, moet de maatgevende belastingssituatie worden bepaald met een niet-stationair grondwaterstromingsprogramma.

Door bepaling van de optredende wateroverdrukken onder de bekleding met een niet-stationair grondwaterstromingsprogramma wordt nauwkeuriger gedimensioneerd waardoor in veel gevallen de ontwerplaagdikte kan worden beperkt.

#### 4.3.3 *Bepaling van de maatgevende waterstanden*

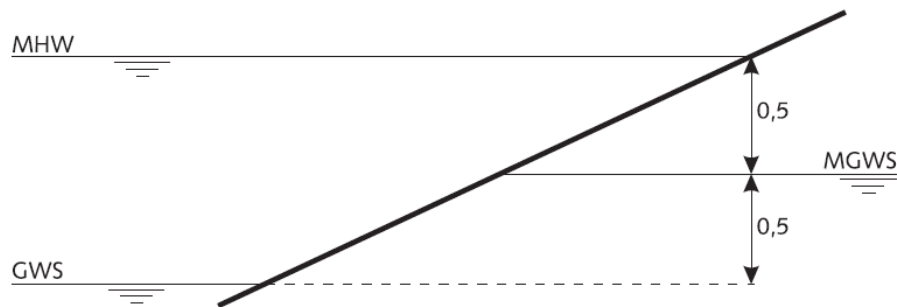
Als de buitenwaterstand na het optreden van een hoogwater snel daalt, is de grondwaterstand in het dijklichaam niet altijd in staat de buitenwaterstand te volgen. Als er een gesloten dijkbekleding op het buitentalud aanwezig is, ontstaat er een wateroverdruk onder de bekleding. De grootte van de wateroverdruk is onder meer afhankelijk van het waterstandsverloop, de doorlatendheid van het dijklichaam en de ondergrond en de mate waarin het grondwater kan afstromen.

Hoe groter het verschil is tussen de grondwaterstand en de buitenwaterstand, des te groter is de wateroverdruk onder de bekleding. Maatgevend bij dimensioneren op wateroverdrukken is de combinatie van waterstanden waarbij het (verticaal gemeten) verschil tussen de lage buitenwaterstand en de hoge grondwaterstand het grootst is. De buitenwaterstand moet hierbij op een zekere afstand van de onderkant van de gesloten bekleding liggen. Het niveau van de maatgevende grondwaterstand is voor zee-, rivier- en meerdijken anders, omdat het verloop van het hoogwater bij elk van de dijktypen anders is. Als het dijklichaam uit redelijk homogeen doorlatend zand bestaat, kan een veilige inschatting van de grondwaterstand in het dijklichaam worden gemaakt zoals aangegeven in Figuur 4-6, Figuur 4-7 en Figuur 4-8.

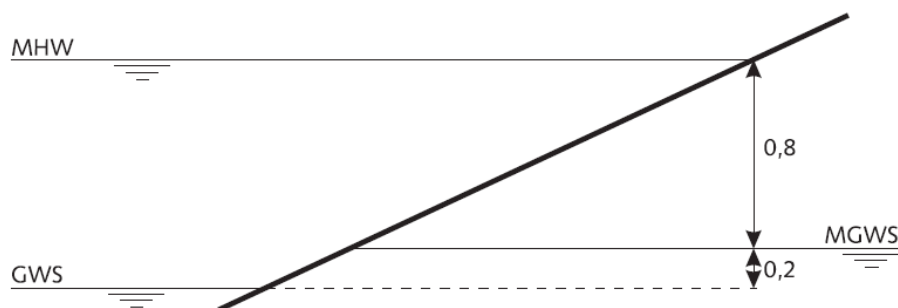
In de figuren is:

- GWS: gemiddelde waterstand. Voor zeedijken is de gemiddelde waterstand bij benadering NAP + Om, voor rivierdijken wordt het winterpeil aangehouden en voor meerdijken het winterstreefpeil
- MGWS: maatgevende grondwaterstand

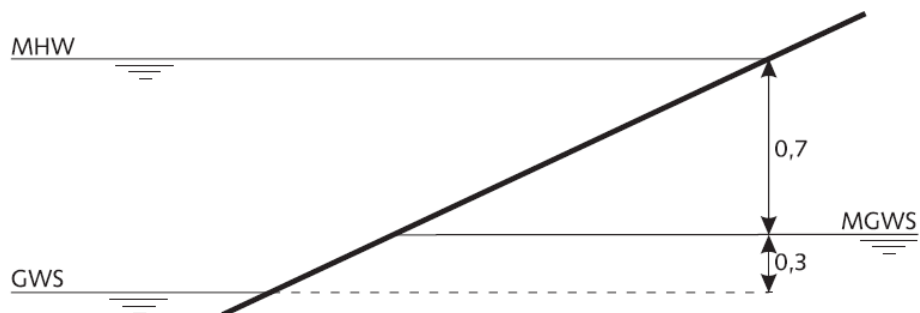
MHW: maatgevend hoogwater



Figuur 4-6: Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij zeedijken



Figuur 4-7: Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij meerdijken

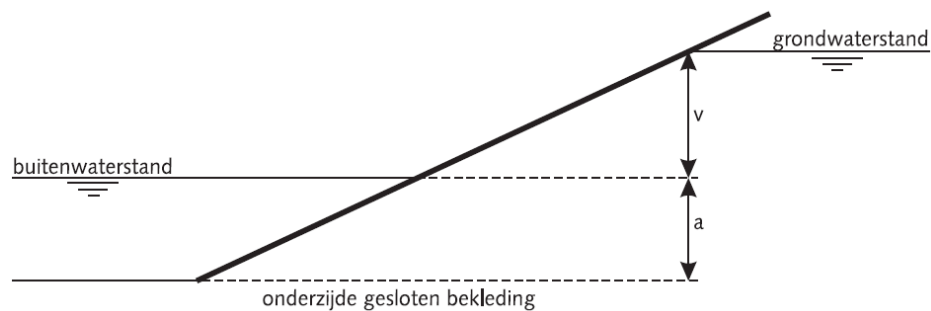


Figuur 4-8: Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij rivierdijken

Als de gevonden grondwaterstand onder de onderkant van de gesloten bekleding ligt, zullen er geen wateroverdrukken onder de bekleding optreden en hoeft de bekleding hierop niet te worden gedimensioneerd.

Nu de ligging van de grondwaterstand bekend is, moet de buitenwaterstand worden bepaald die de grootste wateroverdruk onder de bekleding oplevert. Voor het bepalen van deze maatgevende buitenwaterstand wordt de situatie geschematiseerd zoals aangegeven in Figuur 4-9.

Als de bekleding aansluit op een gesloten teenbescherming of een damwand moet de invloed hiervan worden verdisconteerd zoals aangegeven in §4.3.5.

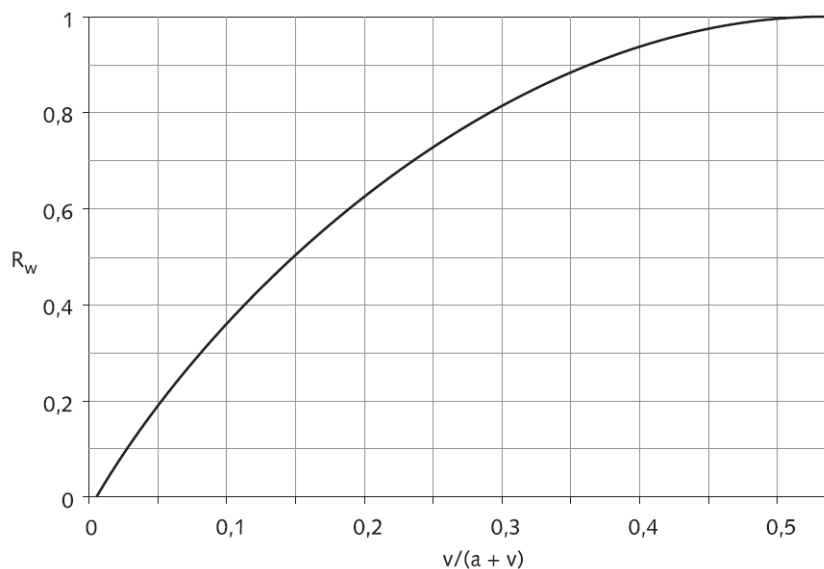


Figuur 4-9: Relevante parameters voor het bepalen van de maatgevende buitenwaterstand

Hierin is:

- $a$  = de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand [m]  
 $v$  = de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand [m]

Als het dijklichaam en de ondergrond homogeen doorlatend zijn, treedt theoretisch de grootste waterdruk op in de situatie waarbij  $a = 47\%$  en  $v = 53\%$  van  $(a + v)$ . Op dit niveau wordt de maatgevende buitenwaterstand vastgelegd (dit kan bijvoorbeeld door middel van een iteratief proces).



Figuur 4-10: De reductiefactor  $R_w$

Als dit niveau lager uitkomt dan de gemiddelde waterstand, dan moet de gemiddelde waterstand als maatgevende buitenwaterstand worden aangehouden. De reden hiervoor is dat het niet waarschijnlijk is dat de buitenwaterstand direct na het optreden van het hoogwater onder het niveau van de gemiddelde waterstand zal komen. In dit geval veranderen de verhoudingen tussen  $a$  en  $v$  en zal er een kleinere wateroverdruk onder de

bekleding optreden. Hiervoor wordt een reductiefactor ( $R_w$ ) toegepast op de laagdikte zoals die wordt bepaald in de volgende paragraaf. De reductiefactor  $R_w$  wordt bepaald met Figuur 4-10.

#### 4.3.4 *Bepaling van de benodigde laagdikte*

De benodigde laagdikte in de zone waarin wateroverdrukken optreden wordt bepaald met de volgende formule:

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

Hierin is:

$d$	=	benodigde laagdikte	[m]
$Q_n$	=	factor, afhankelijk van de taludhelling	[-]
$\rho_w$	=	dichtheid water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_a$	=	dichtheid bekleding	[kg/m <sup>3</sup> ]
$R_w$	=	reductiefactor in verband met de ligging van de buitenwaterstand	[-]

De dichtheden van de verschillende waterdichte asfaltsoorten zijn opgenomen in Tabel 4-3.

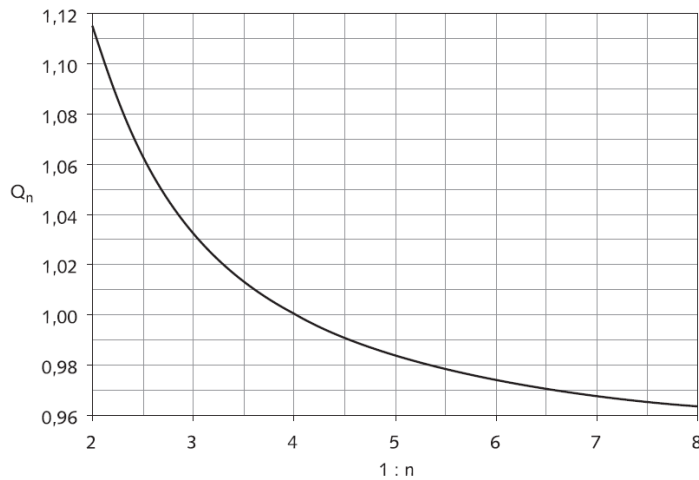
Tabel 4-3: Dichtheden van de verschillende asfaltsoorten

asfaltsoort	dichtheid bekleding [kg/m <sup>3</sup> ]
waterbouwasfaltbeton	2300
gietasfalt	2150
asfaltmastiek	2000
vol en zat gepenetreerde breuksteen	2450

#### *Toelichting:*

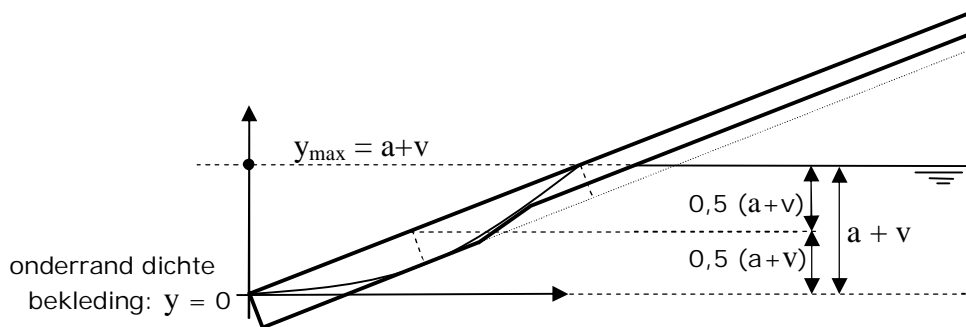
De genoemde dichtheden van de asfaltsoorten zijn (veilige) gemiddelde waarden voor mengsels uit de Standaard 2010. Een hoger bitumenpercentage of een hogere holle ruimte resulteert in een lagere dichtheid. De grootte van de wateroverdruk is mede afhankelijk van de taludhelling. De invloed van de taludhelling op de wateroverdruk is verdisconteerd in de factor  $Q_n$ . Voor het bepalen van de factor  $Q_n$  kan Figuur 4-11 worden gebruikt.

De zone waarin wateroverdrukken kunnen optreden is de zone tussen de maatgevende grondwaterstand in het dijklichaam en de onderrand van de gesloten bekleding. Het is niet noodzakelijk dat deze asfaltdikte in de hele zone aanwezig is. Aan de onderrand van de bekleding en ter hoogte van de maatgevende grondwaterstand is geen wateroverdruk aanwezig. Tussen deze twee uitersten is het verloop van de omhullende van de optredende wateroverdrukken bij benadering parabolisch. Uit praktisch oogpunt wordt de maximaal benodigde laagdikte tot aan de teen van de constructie doorgezet. Naar boven toe kan de dikte van de asfaltbekleding afnemen, afhankelijk van de optredende wateroverdruk.



Figuur 4-11: De factor  $Q_n$

Om de benodigde laagdikte op elke willekeurige plaats te kunnen berekenen, dient er een assenstelsel te worden opgezet, waarbij de y-as verticaal omhoog wijst. Het nulpunt van deze y-as wordt gelegd op de onderrand van de asfaltbekleding, waarbij het maximum ( $a + v$ ) ter hoogte van de maatgevende grondwaterstand ligt. Dit is weergegeven in Figuur 4-12.



Figuur 4-12: Bepaling van de benodigde laagdikte in de wateroverdrukkenzone

Voor de eenvoud wordt er nu van uitgegaan dat het maximum ligt op  $0,5 \cdot (a + v)$  boven de onderrand van de bekleding, in plaats van  $0,47 \cdot (a + v)$ .

De laagdikte als functie van  $y$  kan dan als volgt worden beschreven:

$$d(y) = \frac{4}{a+v} \times d_{\max} \times \left[ y - \frac{y^2}{a+v} \right]$$

Hierin is:

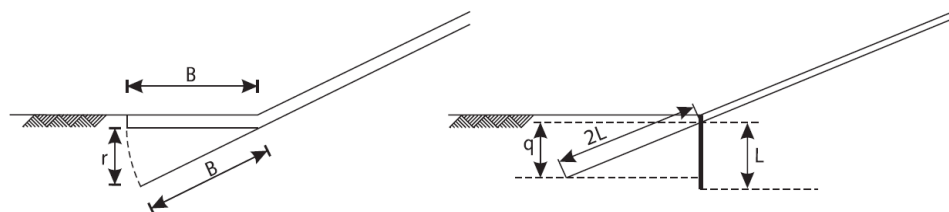
$d(y)$  = de benodigde laagdikte op  $y$  meter van de onderrand van de gesloten bekleding [m]

$d_{\max}$  = de maximaal benodigde laagdikte zoals bepaald in §4.3.4. [m]

$y$	=	de verticaal gemeten afstand van de onderrand van de gesloten bekleding tot het beschouwde punt	[m]
$a$	=	de verticaal gemeten afstand van de onderrand van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand	[m]
$v$	=	de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand	[m]

#### 4.3.5 Invloed van de teenconstructie

De aard en de vorm van de teenconstructie beïnvloeden de grootte van de wateroverdruk. Een open teenconstructie bevordert het afstromen van het water uit het dijklichaam terwijl een gesloten teenbeschermer of een damwand het afstromen bemoeilijkt. Als er een gesloten teenbeschermer of damwand aanwezig is, moet de invloed hiervan worden meegenomen bij het bepalen van de benodigde laagdikte. Hiervoor wordt  $(a + v)$  in formules van §4.3.4 herschreven tot  $(a + r + v)$  danwel  $(a + q + v)$ . Voor een gesloten teenbeschermer wordt gerekend met de waarde  $r$  en voor een damwand met de waarde  $q$  zoals aangegeven in Figuur 4-13.



Figuur 4-13: Invloed van een gesloten teenbeschermer en van een damwand

De aanwezigheid van een damwand of een gesloten teenbeschermer beïnvloedt ook de ligging van de maatgevende buitenwaterstand omdat de fictieve onderrand van de bekleding op een ander niveau komt te liggen. Dit kan consequenties hebben voor de reductiefactor  $R_w$ , zie daarvoor §4.2.3.

## 4.4 Dimensioneren op golfklappen

### 4.4.1 Algemeen

Een asfaltbekleding op een waterkering of een oever moet bestand zijn tegen golfklappen veroorzaakt door wind en schepen. Niet de hele bekleding wordt belast door golfklappen en de grootte van de golven is niet op ieder niveau gelijk. Alleen het gedeelte dat werkelijk wordt belast door golfklappen moet hierop worden gedimensioneerd.

Voor ontwerp moeten voornamelijk de ontwerpgrafieken worden gebruikt. Alleen in bijzondere gevallen kan gebruik worden gemaakt van het programma GOLFKLAP [92]. Dit programma is verkrijgbaar bij de helpdesk water ([www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)). Voor de toetsing wordt wel gebruik gemaakt van GOLFKLAP.

De asfalttypen: waterbouwasfaltbeton, open steenasfalt en "vol en zat" gepenetreerde breuksteen kunnen worden beschouwd als plaatbekleding. Deze plaat wordt door golfklappen belast op buiging. De golfklap wordt geschematiseerd als een driehoeksbelasting. Bij dimensioneren is het criterium dat de optredende buigspanning in de bekleding de bezwijkspanning van het materiaal niet mag overschrijden.

In de laatste jaren is het inzicht in de mechanisme golfklap steeds meer toegenomen. Daarnaast is het inzicht in de constructie-eigenschappen van de asfaltbekledingen langs de

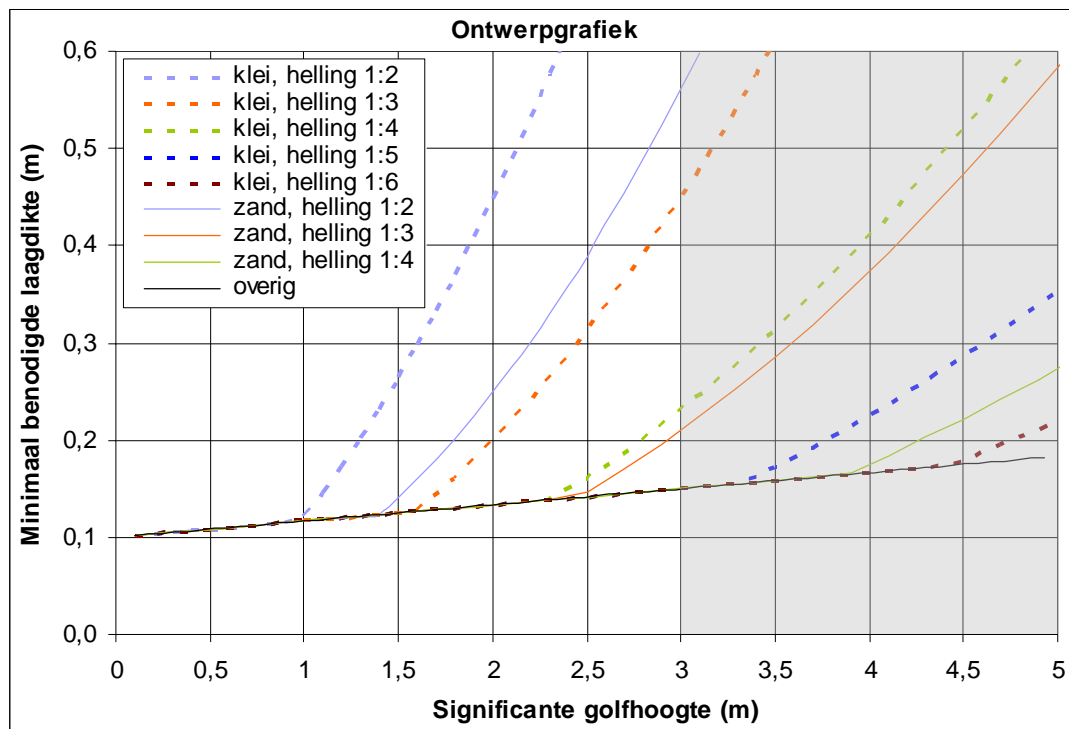
Nederlandse kust vergroot door de veiligheidsbeoordelingen die in de afgelopen jaren zijn uitgevoerd. Op basis van deze nieuwe inzichten zijn de ontwerpgrafieken van verschillende bekledingstypen verschillende malen aangepast. In de volgende paragrafen wordt daar voor de verschillende materiaaltypen op ingegaan.

In de ontwerpgrafieken is onderscheid gemaakt tussen een ondergrond van klei en een ondergrond van zand.

4.4.2

*Waterbouwasfaltbeton*

Voor waterbouwasfaltbeton is een ontwerpgrafiek opgesteld waarmee de laagdikte van de bekleding kan worden vastgesteld op basis van de significante ontwerp golfhoogte. In Figuur 4-14 is deze grafiek gegeven.



Figuur 4-14: 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 de (wellicht) mogelijk andere wijzen van bezwijken als gevolg van 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. Een onderbouwing van de parameters die zijn gebruikt bij het opstellen van de grafiek is opgenomen in de rapportage "Opstellen ontwerp- en toetsgrafieken" [77]. Bij het opstellen van de grafiek is rekening gehouden met de hieronder genoemde ontwerpparameters.



### Breksterkte

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% onderschrijdingskans 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  $\alpha_v$  en  $\beta_v$  karakteriseren samen met de breuksterkte de sterkte van een asfaltbekleding. Op basis van de complete dataset van breuksterkte- en vermoeiingsproeven zijn veilige waarden voor  $\alpha_v$  en  $\beta_v$  vastgesteld. De volgende ontwerpwaarden zijn gehanteerd:  $\alpha_v = 0,5$  en  $\beta_v = 5,4$ .

### Elasticiteitsmodulus

De breuksterkte en de elasticiteitsmodulus zijn gecorreleerd; asfalt met een lage breuksterkte heeft ook een lage elasticiteitsmodulus. In de rapportage "Relatie tussen sterkte en stijfheid in de context van de inspectiemethode" [72] 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-deflectiemetingen (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.

In het kader van het ontwikkelen van het toetsinstrumentarium voor de vierde toetsronde is een nieuwe veiligheidsfilosofie ontwikkeld, waarbij voor de toetsing voor waterbouw-asfaltbeton veiligheidscoëfficiënten zijn bepaald [95]. Een vergelijkbare uitwerking in het kader van de ontwikkeling van een nieuw ontwerpinstrumentarium moet nog plaatsvinden.

#### 4.4.3 *Open steenasfalt*

##### Buiging van de toplaag

Een grafiek voor het ontwerpen van een bekleding van open steenasfalt op buiging door golfklappen is aangegeven in [82]. Voor het opstellen van deze grafiek is uitgegaan van een elasticiteitsmodulus van 1000 MPa en vermoeiingsparameters:  $\log(k_v) = 2,8$  en  $a_v = -2,5$ , in overeenstemming met de aannames gedaan in bijlage 6 van [60]. Alleen voor de beddingconstante van zand is gerekend met 64 MPa/m. Inmiddels zijn meer meetgegevens op open steenasfalt beschikbaar gekomen [93]. Op grond daarvan is geconcludeerd dat deze grafiek aan herziening toe is. Voor een ontwerp van open steenasfalt zullen vooralsnog dus berekeningen met GOLFKLAP moeten worden uitgevoerd met waarden voor de materiaaleigenschappen zoals die naar verwachting bij het einde van de levensduur zullen zijn.

##### Instabiliteit van de ondergrond

Omdat open steenasfalt zeer doorlatend is, dringt de druk van de golven gemakkelijk door tot in de ondergrond. Dat betekent dat als de open steenasfaltbekleding direct op zand ligt, dat er moet worden gecheckt of er geen instabiliteit van de ondergrond optreedt. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van de rekenregel voor afschuiving van steenzettingen op

zand. Die rekenregel wordt beschreven in §5.6 van het deel ontwerp van het Technisch Rapport Steenzettingen [11]. Als de open steenasfaltbekleding op (een laag) klei ligt, is deze controle uiteraard niet noodzakelijk.

Duurzaamheid: volumetrische ontwerpmethode

Open steenasfalt is een mengsel dat door het hoge gehalte aan steen, een hoog percentage holle ruimte en dus een grote doorlatendheid bezit. De levensduur moet daarom worden verzekerd door de steenfractie te omhullen met een voldoende dikke en duurzame laag asfaltmastiek. Om dit voor elkaar te krijgen is de volumetrische ontwerpmethode ontwikkeld. Deze wordt verder behandeld in §11.7.5.

#### 4.4.4 *“Vol en zat” gepenetreerde breuksteen*

De minimaal benodigde laagdikte in de golfklapzone wordt bepaald op basis van de nominale steendiameter ( $D_{n50}$ ). Om een bekleding te krijgen die goed kan worden gepenetreerd, dient de dikte van de bekleding minimaal  $1,5 \cdot D_{n50}$  te zijn.

Voor omstandigheden langs de Nederlandse kust levert het toepassen van een steensortering 5-40kg een bekleding op die ruim voldoende sterkte heeft om golfklappen te weerstaan. Eventueel kan een steensortering 10-60kg worden toegepast: laagdikte wordt ongeveer (uitgaande van een soortelijk gewicht van  $2650 \text{ kg/m}^3$ ):

- 5-40kg : 0,30m
- 10-60kg : 0,35m

Er moet de nodige zorg worden besteed aan de afstemming tussen de steensortering en de penetratiemortel. Zo is met de sortering 5-40kg ervaren dat volledige penetratie niet altijd mogelijk bleek, mogelijk mede omdat de sortering ontmengd of verontreinigd was waardoor lokaal te veel fijne bestanddelen aanwezig waren. En zo leidt het toepassen van een steensortering groter dan 10-60kg ertoe dat het gietasfalt zonder mengselaanpassingen door de bekleding wegvloeit doordat de holle ruimten tussen de stenen te groot zijn. Dit kan worden ondervangen door het toepassen van een minder viskeus mengsel of door het toevoegen van een grovere sortering grind of steenslag aan het gietasfalt. Als een lichtere steensortering wordt gebruikt (50/150 mm of 80/200 mm), bijvoorbeeld om een bestaande bekleding te overlagen, moet asfaltmastiek in plaats van gietasfalt als penetratiemortel worden toegepast.

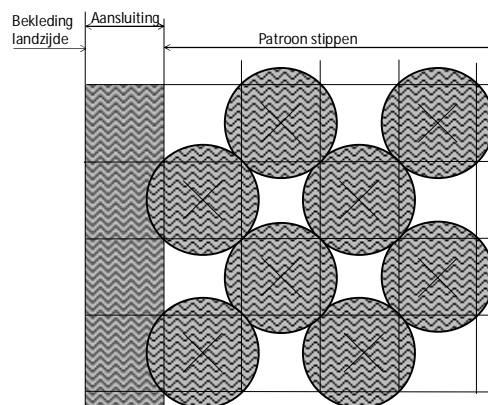
#### 4.4.5 *Patroon gepenetreerde bekleding*

Het idee achter patroonpenetratie is om met een relatief lichte sortering breuksteen een doorlatende bekleding te creëren die gezien de gebruikte sortering een relatief zware golfaanval kan weerstaan. Evenals bij bekledingen van stortsteen, zullen er bij dit type bekleding altijd enige (lichte) stenen los liggen, waardoor bij zware golfaanval er sprake zal zijn van wat bewegende stenen danwel verlies van enkele individuele stenen. Omdat een in patroon gepenetreerde breuksteenbekleding altijd wordt aangelegd in een laagdikte van minimaal  $2 \cdot D_{n50}$ , gaat een dergelijke ingecalculerde oppervlakkige schade niet ten koste van de functie erosiebescherming van de bekleding.

O.a. bij de 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 mede gebaseerd op de in Zeeland opgedane ervaringen.

Voor met gietasfalt gepenetreerde bekledingen worden in het algemeen breuksteensorteringen 10-60kg of zwaarder gebruikt. Kleinere sorteringen breuksteen zijn mogelijk na aanpassing van het asfaltmengsel. Daarbij moet worden gezorgd dat de viscositeit van het

mengsel wordt verlaagd omdat het anders niet goed in de breuksteenlaag penetreert. Dit kan bijvoorbeeld door asphaltmastiek toe te passen in plaats van gietasfalt. In Zeeland zijn ervaringen opgedaan met het penetreren van sorteringen tot maximaal 300-1000kg. 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.



Figuur 4-15: Stippenpenetratie 1 "dambord" (onder water)

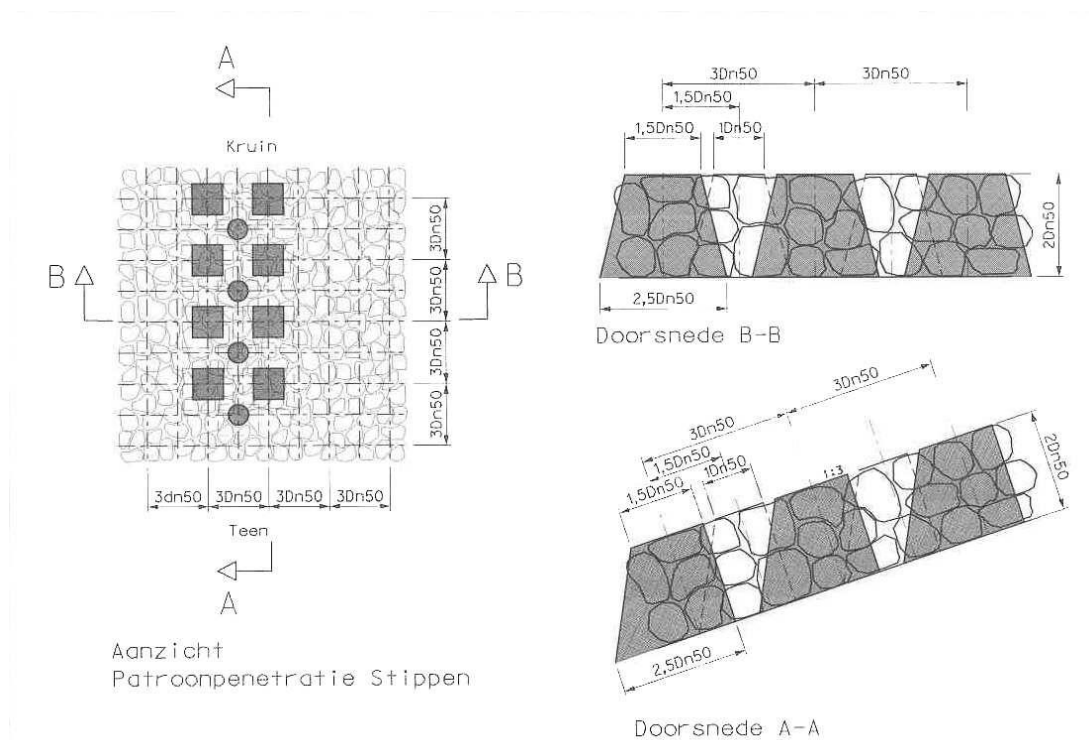


Figuur 4-16: Stippenpenetratie "dambord" onder water – Stuw Lith (foto Hydraphalt)

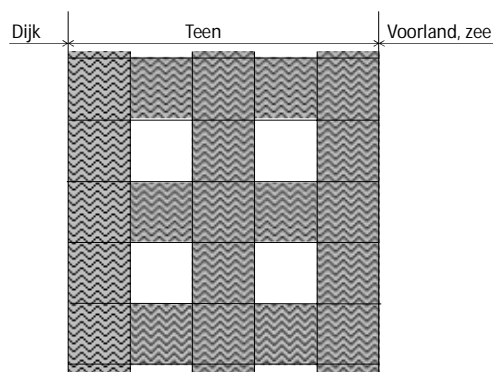
Er worden meerdere varianten toegepast: stippenpenetratie (Figuur 4-15 en Figuur 4-17), rasterpenetratie (Figuur 4-18 en 4-19) en strokenpenetratie (Figuur 4.20). De stippenpenetratie wordt vooral onder water toegepast, de strokenpenetratie boven water. Bij een stippenpenetratie onder water moet de breuksteen sortering die nog kan worden gepenetreerd bij voorkeur groter zijn dan 60-300kg. Bij kleinere sorteringen is de hoeveelheid penetratiemortel per stip te klein om nog een redelijke kwaliteit te krijgen. Het is van belang dat bij alle penetratiemethoden de onderzijde van de bekleding open blijft, zodat er geen wateroverdrukken onder de bekleding kunnen ontstaan. In Figuur 4-15 en 4-17 [82] zijn de gewenste afmetingen van de plots en de hart-op-hart afstanden gegeven.

Voor de "dambord" stippenpenetratie (Figuur 4-15) wordt gebruikgemaakt van de x-y-z plaatsbepaling van het gebruikte kraanschip. Uiteraard moet de rastergrootte worden afgestemd op de te penetreren sortering.

Voor de variant stippenpenetratie (Figuur 4-17) worden min of meer vierkante plots asfalt met een oppervlak van  $1,5 \cdot D_{n50} \times 1,5 \cdot D_{n50} \text{ m}^2$  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.



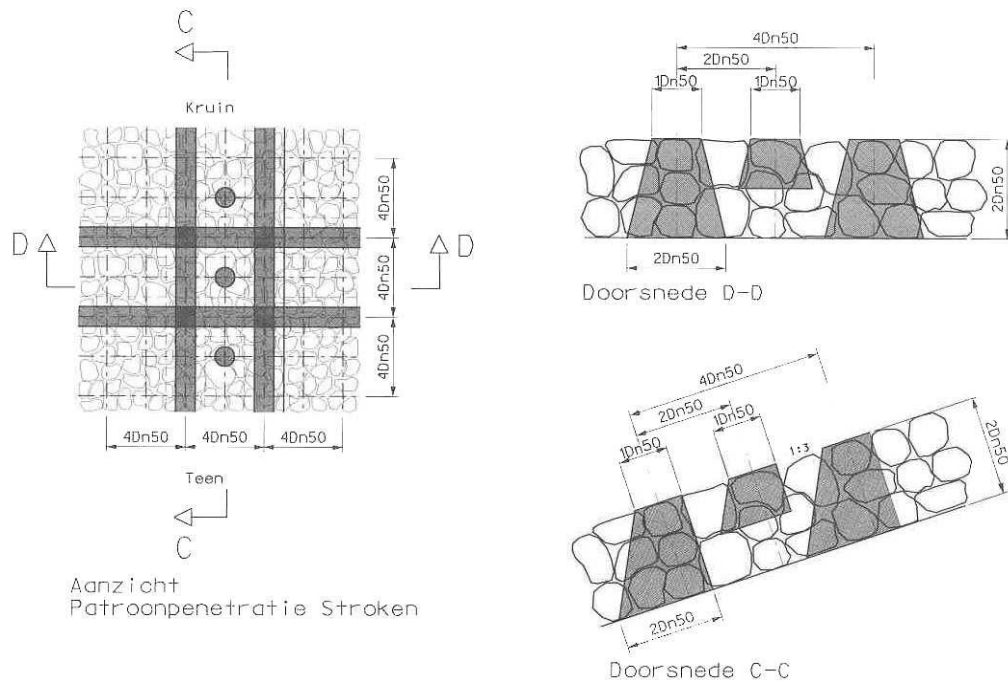
Figuur 4-17: Stippenpenetratie variant 2 (onder water) [82]



Figuur 4-18: Rasterpenetratie 1 (boven water)

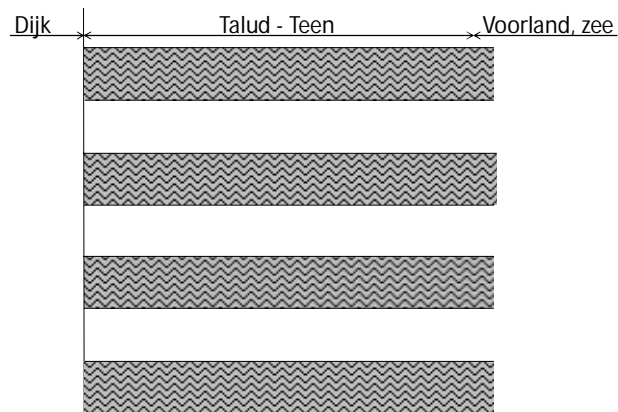
De variant rasterpenetratie bestaat uit een roosterpatroon waarvan de lijnen met een breedte van  $D_{n50}$  op onderlinge hart-op-hart afstand van  $4 \cdot D_{n50}$  zijn aangebracht en waarvan de verticale lijnen haaks op de teen en de berm staan. In de centra van elk verkregen

rooster wordt een plot met een diameter van  $D_{n50}$  aangebracht, die vanaf de bovenzijde tot de halve hoogte van de breuksteenlaag doorloopt.



Figuur 4-19: Rasterpenetratie variant (boven water) [82]

Nb. de rasterpenetratie variant is ontwikkeld voor een situatie waarbij de stortsteen gradering niet overeenkwam met de gebruikelijke sorteringen, maar eigenlijk wat te breed was. Het kan worden gezien als een combinatie van de gebruikelijke rasterpenetratie en "vastleggen", zie ook Figuur 11-15



Figuur 4-20: Strokenpenetratie, zie ook Figuur 4-21

Dimensioneren van de breuksteensortering met patroonpenetratie

Voor het dimensioneren van losse breuksteenbekledingen op stabiliteit onder golfaanval zijn verschillende formules beschikbaar. Deze formules worden ook gebruikt voor breuksteen met

patroonpenetratie. Hieronder wordt aangegeven hoe de invloed van de penetratie op de stabiliteit kan worden verdisconteerd.

*Formule van Hudson*

Een van oudsher gebruikte formule voor het bepalen van de steengrootte van losse breuksteen bekledingen is de formule van Hudson. De hier gegeven formule is afkomstig uit de Shore Protection Manual [40]. De formule luidt:

$$M_{50} = \frac{\rho_s g H^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha}$$

Hierin is:

$M_{50}$	=	massa van de steen die door 50% van de stenen wordt overschreden	[kg]
$K_D$	=	Stabiliteitsfactor	[m]
$\rho_s$	=	dichtheid stenen	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	=	dichtheid water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	=	versnelling van de zwaartekracht	[m/s <sup>2</sup> ]
$H$	=	golfhoogte	[m]
$\Delta$	=	relatieve dichtheid van de stenen = $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$	[-]
$\alpha$	=	hellingshoek van het talud	[°]

De formule is geldig voor hellingen van 1:3 en flauwer.

De formule is gebaseerd op de resultaten van een beperkt aantal tests waarbij alleen regelmatige golven zijn gebruikt. In de Shore Protection Manual [40] wordt geadviseerd om voor  $H$  niet  $H_s$  maar  $H_{10}$  te gebruiken. ( $H_{10}$  is de gemiddelde hoogte van de hoogste 10% van alle golven).

De stabiliteitsfactor  $K_D$  is een waarde voor de stabiliteit van een bepaald bekledingstype. Hierin zijn ondermeer de vorm, de mate van interlock en de ruwheid van de elementen verdisconteerd. Voor de factor  $K_D$  worden in de Shore Protection Manual [40] voor losse breuksteen de volgende waarden geadviseerd:

$K_D = 4,0$  voor niet brekende golven;

$K_D = 2,0$  voor brekende golven (golven die breken onder invloed van de diepte van het voorland).

Door het gedeeltelijk penetreren van een breuksteenbekleding met gietasfalt wordt de stabiliteit van de bekleding verhoogd. Als gietasfalt wordt toegepast om de stabiliteit van de bekleding te verhogen kunnen de volgende waarden worden aangehouden:

- *Oppervlaktepenetratie*. Bij een vulling van ongeveer 30% van de holle ruimte kan de  $K_D$ -waarde volgens de Leidraad Asfalt [44] met een factor 1 tot 1,5 worden vermenigvuldigd.
- *Patroonpenetratie*. Volgens het rapport Use of asphalt in breakwater construction [97] is een vermenigvuldigingsfactor 5 een zeker veilige waarde bij circa 60% vulling van de holle ruimte. Deze waarden zijn gebaseerd op modelonderzoek (schaal 1:30) bij het Waterloopkundig Laboratorium. In de Leidraad Asfalt [44] wordt een opwaarderingsfactor van de  $K_D$ -waarde van 5-7 geadviseerd.

Uit modelonderzoek is gebleken dat de vergroting van de stabiliteit vermindert bij een kleinere vulling dan 50% van de holle ruimte. Bij een vulling van minder dan 50% liggen te veel stenen los. Bij een vulling van 70% is er niet of nauwelijks meer sprake van een

toename van de stabiliteit. Om deze reden wordt een vulling van 50-70% van de holle ruimte geadviseerd [97].

Gezien de problemen met omschaling van asfalt, en dus twijfels over de uitslag van het modelonderzoek wordt in de Leidraad Asfalt [44] aanbevolen proefondervindelijk vast te stellen hoe groot de werkelijke opwaardering van de  $K_D$ -waarde kan zijn.

Het heeft algemeen de voorkeur om de stabiliteit van een bekleding uit te drukken als  $H_s / \Delta D = N_s$ . Hierin is  $N_s$  het stabiliteitsgetal. Volgens de Manual on the use of rock in hydraulic engineering [83] kan de Hudson formule worden herschreven tot:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = N_s = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \quad \text{met} \quad D = D_{n50} = \left( \frac{M_{50}}{\rho_s} \right)^{1/3}$$

De formule van Hudson heeft als voordeel dat deze snel en eenvoudig toepasbaar is.

Daarnaast kent de formule de volgende beperkingen:

- De formule is opgesteld op basis van schaalproeven met regelmatige golven. Hierdoor is er kans op schaaleffecten en is de invloed van een onregelmatig golfveld onzeker.
- Met de formule kunnen de invloed van de golfperiode en de stormduur niet worden meegenomen.
- Door de ontwerper kunnen geen verschillende schadeniveaus worden gehanteerd.
- De formule is alleen geldig voor bekledingen op een relatief doorlatende ondergrond.

#### *Formule van Pilarczyk*

Een recentere formule om de benodigde steendiameter van los gestorte breuksteen onder golfaanval te bepalen, is de algemene formule van Pilarczyk:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \leq \phi \cdot \psi_u \cdot \frac{\cos \alpha}{\xi_{0p}^b}$$

Hierin is:

$b$	= factor ten behoeve van 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]
$\alpha$	= taludhoek ten opzichte van de horizontaal	[°]
$\Delta$	= relatieve dichtheid steen ten opzichte van (zee)water	[-]
$\xi_{0p}$	= brekerparameter gebaseerd op de piekperiode op diep water $T_p$	[-]
$\phi$	= stabiliteitsfactor	[-]
$\psi_u$	= 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  $\phi$  en  $\psi_u$  aangehouden:

$\phi \cdot \psi_u = 3,4$  voor een stippenpenetratie;

$\phi \cdot \psi_u = 5$  voor een raster of strokenpenetratie.



Figuur 4-21: Strokenpenetratie in uitvoering (foto Hydraphalt)

Met patroon gepenetreerde bekledingen zijn goede ervaringen opgedaan tot belastingen met een golfhoogte van 3 à 5 meter.

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.

#### 4.4.6 *Ontwerp waterbouwasfaltbeton 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 gebruikgemaakt 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 zijn, 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.

## 4.5 Dimensioneren op stroming

### 4.5.1 *Weerstand tegen stroming*

Stromend water kan, al dan niet samen met meegevoerd materiaal, een eroderende werking hebben op een asfaltbekleding. Meegevoerde objecten - stukken hout en steen - kunnen, vooral in de brandingszone, botsingskrachten uitoefenen op de bekleding die schade veroorzaken. Stromend water kan vat krijgen op de randen van een dunne asfaltplaat of mat

en hem doen omklappen. Dit kan worden voorkomen door bijvoorbeeld de rand te verzwaren of in te graven.

#### Waterbouwasfaltbeton

Waterbouwasfaltbeton wordt slechts in zeer geringe mate door stroming aangetast. Alleen vaste bestanddelen die worden meegevoerd kunnen door de botsingskrachten schade aan het bekledingsmateriaal veroorzaken. Een onregelmatig oppervlak van de bekleding kan een aangrijpingspunt zijn voor stromend water. Hierdoor kunnen op den duur steentjes en mortel uit het oppervlak van de bekleding eroderen. Het tijdig aanbrengen van een oppervlakbehandeling voorkomt dit.

#### Penetratiemortels

Bij "vol en zat" gepenetreerde breuksteen is stroming niet relevant aangezien deze bekleding niet door stroming wordt aangetast.

Patroon gepenetreerde breuksteen is in geringe mate beter bestand tegen stroming dan losse breuksteen. De mate waarin is sterk afhankelijk van de wijze van penetreren. Om de weerstand tegen stroming te bepalen, kan in eerste instantie worden uitgegaan van de gebruikelijke formules om losse breuksteen te dimensioneren op golfaanval. Hiervoor wordt verwezen naar 'The Rock Manual' [83].

#### Open steenasfalt

In 1976 is onderzoek uitgevoerd waarbij is aangetoond dat open steenasfalt goed bestand is tegen stroomsnelheden tot 6 m/s bij stationaire stroming [62]. Bij deze proeven in een laboratoriumopstelling is open steenasfalt gedurende 232 uur belast met een water-zandmengsel bij een stroomsnelheid van 6 m/s. Dit resulteerde in het loslaten van enkele stenen uit het oppervlak.

Open steenasfalt is een materiaal waarmee een overstroombare of doorbraakvrije dijk kan worden gecreëerd. Sinds de jaren '70 zijn er in België ervaringen opgedaan met open steenasfalt op het binnentalud van overloopdijken. Deze overloopdijken zijn gelegen tussen een retentiepolder en de rivier en overstromen gemiddeld een tot twee maal per jaar. In het verleden werd het binnentalud aangelegd met een taludhelling van 1:3 en 1:4, tegenwoordig wordt een taludhelling van 1:5 gehanteerd. In dit kader is meer recent de stroombestendigheid van open steenasfalt in Duitsland onderzocht. In een laboratoriumopstelling op ware grootte is open steenasfalt bij taludhellingen van 1:3,5 tot 1:5 onderworpen aan een stationaire stromingsbelasting [56]. Uit de proeven blijkt dat de wrijvingshoek op het grensvlak tussen bekleding en ondergrond en de taludhelling van grote invloed zijn op de maximaal toelaatbare stromingsbelasting. In [57] zijn ontwerprichtlijnen gegeven voor overstroombare dammen en dijken gebaseerd op de bovengenoemde proeven. Hieruit volgt dat een maximale stromingsbelasting mogelijk is van 1.000 l/sm. Er wordt een taludhelling voorgeschreven van 1:6 of flauwer. De toelaatbare stromingsbelasting kan worden bepaald op basis van de taludhelling, wrijvingshoek op het grensvlak tussen bekleding en ondergrond en de laagdikte.

In 2008 is de erosiebestendigheid van open steenasfalt getest met behulp van de overslagsimulator op de dijk bij Kattendijke [58]. De dijk had een taludhelling van 1:3. De bekleding vertoonde geen schade nadat er gedurende zes uur golfoverslag was gesimuleerd met een debiet van 125 l/s/m.

Wel wordt open steenasfalt aangetast als het zeer frequent wordt belast door met het water meegevoerde objecten. Aangeraden wordt aan de teen van een talud geen bestorting van los materiaal toe te passen dat tijdens een storm op het talud terecht kan komen.

#### Asfaltmastiek

Asfaltmastiek is een overvuld mengsel met een relatief lage stijfheid. De opgewekte spanningen die worden veroorzaakt door botsingen door met de stroom meegevoerde voorwerpen zullen dus meestal niet zo groot zijn dat het materiaal er niet tegen bestand is. Voorkomen moet worden dat de randen van de plaat in de stroming omklappen. Dit kan worden bereikt door de uiteinden van de plaat in te graven, zodat de stroming geen vat op de randen heeft. Ook kan de rand worden afgestort met breuksteen.

Een mastieklag kan worden opgebouwd uit een aantal afzonderlijke lagen die dakpansgewijs over elkaar worden gelegd. Als deze lagen niet goed aan elkaar zijn gehecht, hetzij door zandinsluitingen, hetzij door onvoldoende warmteoverdracht, kan stromend water de niet aansluitende laag optillen en zelfs doen opbreken.

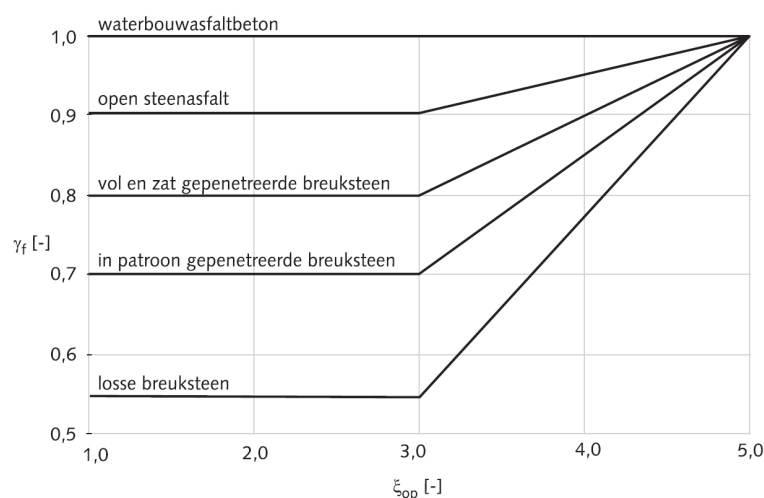
#### Zandasfalt

Indicatieve stromingsproeven hebben aangetoond dat zandasfalt bestand is tegen langdurig optredende stroming tot 3m/s [44]. Het bitumenpercentage en de mate van verdichting beïnvloeden de erosiebestendigheid. Door een hoger bitumenpercentage en door het toepassen van vulstof en een betere verdichting neemt de erosiebestendigheid toe. Zandasfalt wordt toegepast als kernmateriaal, filter onder een bekleding of als tijdelijke bekleding. Alleen bij toepassing van zandasfalt als tijdelijke bekleding is de erosiebestendigheid van belang.

### 4.5.2

#### Golfoploop

De golfoploop is een belangrijk gegeven bij het bepalen van de kruinhoogte van de waterkering. De ruwheid van het talud heeft invloed op de golfoploop op het talud. In het Technisch Rapport Golfoploop en golfoverslag [50] is aangegeven hoe de golfoploop kan worden bepaald. Op de golfoploop wordt een reductiefactor toegepast als de ruwheid van de bekleding de golfoploop remt. Met Figuur 4-22 kan de reductiefactor ( $\gamma_f$ ) voor de verschillende asfalt dijkbekledingen worden bepaald afhankelijk van de brekerparameter ( $\xi_{op}$ ).



Figuur 4-22: Reductiefactoren  $\gamma_f$  voor verschillende bekledingen

De genoemde reductiefactoren zijn geldig voor de bekleding in het gebied tussen 0,25  $z_{2\%, \text{glad}}$  onder en 0,5  $z_{2\%, \text{glad}}$  boven de stilwaterlijn. Hierbij is  $z_{2\%, \text{glad}}$  de golfoploop op een glad talud. Voor meer informatie wordt verwezen naar het Technisch Rapport Golfoploop en golfoverslag [50].

#### 4.6

##### Dimensioneren op overdrukken door golfbeweging

Golfbewegingen kunnen bij een ondoorlatende bodembedekking op zand drukverschillen veroorzaken tussen de boven- en onderzijde van de slab. Voorkomen moet worden dat de slab ten gevolge van de drukverschillen wordt opgelicht.

De golfbeweging veroorzaakt grondwaterbewegingen onder de bodembescherming. Hierdoor veranderen de grondwaterdrukken. Deze verandering hoeft echter niet gelijk te zijn aan de verandering van de wateroverdrukken boven de bekleding. Er kan een resulterende opwaartse druk ontstaan.

Twee gebieden kunnen worden onderscheiden:

*a. De golflengte is groter dan de lengte van de bodembescherming.*

Een benadering voor de maximale overdruk onder de bekleding kan worden gegeven door te stellen dat het gewicht van de bekleding groter moet zijn dan de overdruk zodat wordt voorkomen dat de bekleding wordt opgetild [44]:

$$d \leq \frac{\rho_w}{\rho_a} \cdot \frac{H}{2} \quad \text{geldig voor: } l_b < L$$

In deze formule is:

$d$	=	dikte van de bodembescherming	[m]
$\rho_w$	=	dichtheid van water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_a$	=	dichtheid van het bodembeschermingsmateriaal	[kg/m <sup>3</sup> ]
$H$	=	golfhoogte	[m]
$l_b$	=	lengte van de bodembescherming in de golfrichting	[m]
$L$	=	golflengte	[m]

*b. De golflengte is veel kleiner dan de lengte van de bodembescherming.*

Om te voorkomen dat de plaat omhoog komt moet het gewicht ervan groter zijn dan de maximale overdruk onder de bekleding. Een overdruk onder de bekleding wordt veroorzaakt doordat de druk ten gevolge van de golfbeweging boven de plaat plaatselijk kleiner wordt dan de grondwaterdruk eronder.

De tijdsafhankelijke poriewaterbewegingen, die sterk bepalend zijn voor de grondwaterdrukken, veroorzaken hierop een aanzienlijk dempend effect. Onder normale omstandigheden zal het hier gesignaleerde fenomeen van oplichten door een golfbeweging niet maatgevend zijn. Belangrijker zullen zijn de mogelijke ontgrondingen bij de rand als gevolg van erosie door de golfbeweging. Indien het zand daar niet stabiel is, verdient het aanbeveling de waterdichte bodembekleding aan de rand te laten overgaan in een open en zanddichte bekleding.

In de Leidraad Asphalt [44] is een benadering gegeven voor dit systeem. Met de daar afgeleide formules is het mogelijk een schatting te doen voor de vereiste bekledingsdikte. In het in de Leidraad Asphalt [44] uitgewerkte rekenvoorbeeld is te zien dat het dempend effect van de grondwaterbeweging zeer groot is.

#### 4.7 Dimensioneren op ontgrondingen

Indien een ontgroning van de vooroever de teen van de dijk bereikt, zal dit tot aanzienlijke schade of zelfs tot het bezwijken van de dijk kunnen leiden. Daarom worden vaak teenbeschermingen aangelegd, bijvoorbeeld een asfaltslab. Asphalt kan, door zijn viskeus gedrag, tot op zekere hoogte ontgrondingen goed volgen. Het materiaal wordt dan ook vaak toegepast in bodembeschermingen. Geschikte asphaltsoorten hiervoor zijn asphaltmastiek en open steenasfalt.

De taak van een teenbescherming is de ontgroning voldoende ver van de teen te stoppen. Dit houdt in dat de bescherming de ontgroning moet kunnen volgen en tot diep in de ontgrondingskuil moet kunnen reiken [44]. De lengte van een teenbescherming voor een dijk moet zo groot zijn dat een ontgroning de teen van de dijk niet kan bereiken en de stabiliteit van het talud niet in gevaar komt. Zodra het uiteinde van de teenbescherming de bodem heeft bereikt is in principe de ontgroning voorbij. De slab ligt dan nog niet overal aan; tussen slab en bodem is een holte aanwezig.

De lengte waarover de slab niet ondersteund is, wordt vervolgens vergroot doordat de bodem eronder in zijn flauwere, natuurlijke talud gaat staan. De slab zal vervolgens verder door gaan buigen om het aanliggen te voltooien. In de slab treden nieuwe spanningen op; in combinatie met een verminderde laagdikte kan dat tot bezwijken leiden. Bezwijken van de asfaltslab kan worden voorkomen door toepassing van een flexibele wapening (zie §4.11).

Ook is er wel bezwijken geconstateerd bij een slab die lag op een zandbodem waarbij zich onder het zand een kleilaag bevond. De oorzaak was dat golfdrukken zich sterk in de zandlaag konden voortplanten en grote overdrukken tegen de slab veroorzaakten.



Figuur 4-23: Asphaltmastiesslab als bescherming van de teen van de dijk tegen ontgroning – Veersedam

Scheurvorming kan tot gevolg hebben dat er zand van onder de slab verdwijnt, zodat de ontgroning zich voortzet. Gezien de stijfheid van het materiaal zal de kans op

scheurvorming in de winter groter zijn dan in de zomer. Er dient tevens rekening te worden gehouden met het verminderen van de laagdikte door viskeuze vloeï.

Als vuistregel voor de bepaling van de lengte van de slab kan worden gebruikt:

$$l_s = y_{m,e} (4 + \cotan \alpha)$$

Waarbij:  $l_s > \frac{1}{3} L_p$

waarin:

$l_s$	=	lengte slab	[m]
$y_{m,e}$	=	evenwichtsdiepte ontgroning	[m]
$\alpha$	=	taludhoek ten opzichte van de horizontaal	[°]
$L_p$	=	golflengte op basis van $T_p$ bij heersende waterdiepte	[m]

De golflengte  $L_p$  kan als volgt worden benaderd:

$$L_p = \frac{g \cdot T_p^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 \cdot h}{g \cdot T_p^2}\right)}$$

waarbij  $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

en waarin:

$g$	=	versnelling van de zwaartekracht	[9,8 m/s <sup>2</sup> ]
$T_p$	=	golfteriode bij de piek van het spectrum	[s]
$h$	=	waterdiepte	[m]

Ontgroningen kunnen geleidelijk ontstaan ten gevolge van stroming of in korte tijd tijdens een zware storm door een combinatie van golven en stroming. Als de ontgroning geleidelijk optreedt, kan de maximale ontgrondingsdiepte worden bepaald door het regelmatig uitvoeren van peilingen. Voor de maximale ontgrondingsdiepte tijdens een zware storm moet een inschatting worden gemaakt.

Volgens de Shore Protection Manual [40] is de evenwichtsdiepte van de ontgroning in dit geval ongeveer gelijk aan de maximale ongebroken golfhoogte die zou kunnen optreden in de waterdiepte ter plaatse van de teen van de constructie. In sommige gevallen is deze benadering echter te pessimistisch.

Volgens de Scour Manual [29] kan de maximale ontgrondingsdiepte voor een verticale kustverdediging als volgt worden bepaald:

$$y_{m,e} = H_s \sqrt{\frac{22,75h_t}{L} + 0,25}$$

hierin is:

$y_{m,e}$	=	evenwichtsdiepte ontgroning	[m]
$H_s$	=	significante golfhoogte	[m]
$h_t$	=	waterdiepte ter plaatse van de teenconstructie	[m]
$L$	=	golflengte	[m]

Deze formule is geldig onder de volgende condities:

$$0,011 < h_t/L < 0,025$$

$$0,015 < H_s/L < 0,040$$

De evenwichtsdiepte van de ontgroning is bij een verticale constructie groter dan bij een constructie met een taludhelling. De formule geeft dus een conservatieve benadering. Voor meer informatie over ontgroningen wordt verwezen naar de Scour Manual [29].

Een praktische minimale dikte van een asfaltmastiexlab is 0,10 tot 0,15 meter. Voor open steenasfalt is dit driemaal de maximale steendiameter.

#### 4.8

##### Dimensioneren op kruierend ijs

Kruierend ijs kan schade aan een bekleding veroorzaken. Als er voldoende aangrijpingspunten zijn, kan het bewegende ijs de bekleding meesleuren. Van de verschillende asfaltbekledingen is alleen in patroon gepenetreerde breuksteen gevoelig voor schade ten gevolge van ijsbelastingen. "Vol en zat" gepenetreerde breuksteen heeft weliswaar ook een ruw oppervlak, maar de plaatwerking van het materiaal is voldoende om ijsbelastingen te weerstaan. Naast de ruwheid van het oppervlak van de bekleding dient bij het ontwerp rekening te worden gehouden met de volgende aspecten om schade aan de bekleding door ijsgang te voorkomen:

##### Vlakheid van de overgangsconstructie

Als een overgang tussen twee bekledingen onvoldoende vlak is kan de bovenste bekleding door kruierend ijs worden opgelicht. Daarnaast moeten uitsteeksels in de overgangsconstructie (zoals palenrijen) worden voorkomen.

##### Taludhelling

Een steil talud (steiler dan 1:3) verhoogt de kans op schade ten gevolge van ijsbelastingen.



Figuur 4-24: Schade aan een asfaltbekleding door kruierend ijs – Houtribdijk

In Figuur 4-24 is een voorbeeld gegeven van schade aan een bekleding die is ontstaan doordat kruierend ijs de bekleding ter plaatse van de onvoldoende vlakke overgang deed oplichten.

#### 4.9

##### Dimensioneren op verkeersbelasting

Veelal heeft een asfalt dijkbekleding tevens een verkeersfunctie. Dit verkeer oefent een belasting uit op de bekleding waarmee bij het ontwerp rekening moet worden gehouden. Afhankelijk van de verkeersbelasting, kan de minimaal benodigde laagdikte op de volgende wijze worden bepaald:

- Als de bekleding alleen wordt belast door voetgangers en fietsers bieden de in Tabel 4-2 aangegeven minimale waarden voor de verschillende asfaltmengsels voldoende draagkracht. Voor dit verkeer is de vlakheid overigens relevanter dan de draagkracht.
- Als de bekleding incidenteel (minder dan 1000 aslasten per jaar) wordt belast door onderhoudsmaterieel of voertuigen van ontheffingshouders, voldoet meestal de laagdikte die nodig is om golfklappen te weerstaan. In dat geval kunnen in eerste instantie de volgende waarden worden aangehouden:
  - Ondergrond zand: minimaal 0,15 meter waterbouwasfaltbeton;
  - Ondergrond klei: minimaal 0,20 meter waterbouwasfaltbeton;
  - Bij gebruik van open steenasfalt en zandasfalt worden 0,05 meter dikkere lagen aanbevolen.
- In sommige gevallen zijn bij incidentele verkeersbelastingen aanvullende berekeningen gewenst. Voorbeelden hiervan zijn incidenteel maar zwaar materieel of een bekledingsconstructie waar een dunnere laag asfalt gewenst is. In deze gevallen kan de volgende procedure worden gevolgd:
  - Stel het onderhoudsvoertuig vast dat leidt tot de grootste spanningen en rekken in de bekleding. Dit zal veelal het voertuig zijn met de zwaarste aslast. Het kan echter ook zijn dat een configuratie van minder zware aslasten maatgevend blijkt te zijn.
  - Bepaal de mechanische eigenschappen van het waterbouwasfaltbeton bij de maatgevende belastingscondities. Hiervoor kan een asfalttemperatuur van 20 °C en een frequentie van 3Hz worden aangehouden. Dit komt overeen met een snelheid van het onderhoudsvoertuig van circa 20 km per uur. De elasticiteitsmodulus, de breuksterkte en de breukrek moeten worden bepaald. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van, indien beschikbaar, de resultaten van laboratoriumonderzoek, of gegevens uit de literatuur zoals de nomogrammen van Van der Poel en Bonnaure (bijlage 1 [60]).
  - Bereken de optredende spanningen en rekken aan de onderzijde van de bekleding met behulp van een lineair elastisch meerlagenprogramma, bijvoorbeeld BISAR of CARE, behorend bij [20].
  - Toets de optredende spanningen en rekken aan de breuksterkte en de breukrek. Als de optredende spanningen en rekken de breuksterkte en breukrek niet overschrijden is de aangenomen laagdikte voldoende.
- Als de bekleding fungeert als openbare weg en dus regelmatig wordt belast kan de benodigde laagdikte worden bepaald volgens de dimensioneringsmethoden voor asfaltwegen. Hiervoor wordt verwezen naar het ontwerpinstrumentarium asfaltverhardingen (OIA), uitgegeven door het CROW [21].

Om de dikte van de asfaltbekleding te beperken kan bij het aanleggen van een onderhoudsweg op de berm een funderingslaag worden toegepast. Een licht hydraulisch gebonden materiaal (bijvoorbeeld slakken 0/40) heeft hier de voorkeur omdat deze een goede draagkracht en een geringe doorlatendheid heeft. Vanwege de gevoeligheid voor

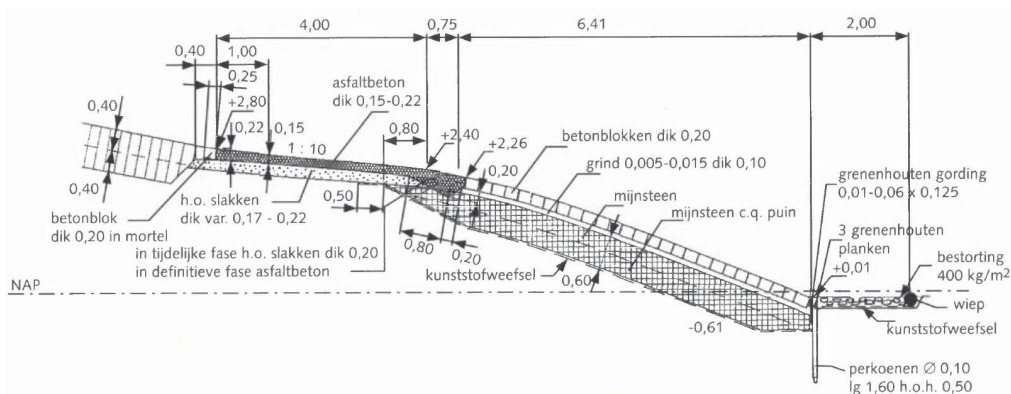


scheurvorming (met risico op reflectiescheuren door het asfalt heen) is een cementgebonden fundering niet gewenst.

Als de onderhoudsweg in de zone onder het maatgevend hoogwater wordt aangelegd, mag geen funderingsmateriaal worden toegepast waarvan de doorlatendheid groter is dan die van zand. Bij een grotere doorlatendheid kunnen wateroverdrukken schade aan de bekleding veroorzaken.

Op een berm kan de wegverharding met een asfaltspreidmachine worden aangebracht waardoor de laagdikte nauwkeuriger kan worden aangelegd. Ook is het materiaal op een berm beter verdichtbaar dan op het talud.

Waterbouwasfaltbeton heeft vanwege het hoge bitumengehalte een lagere vervormingsweerstand dan wegenbouwmengsels. Om deze reden en vanwege het feit dat de sterkte van asfalt afneemt bij hogere temperaturen, moet het belasten van waterbouwasfaltbeton met zwaar materieel op warme dagen ( $T_{\text{lucht}} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) worden vermeden.



Figuur 4-25: Onderhoudsweg op de berm van een dijk op Ameland



Figuur 4-26: Aanleg onderhoudsweg op berm - Ameland - 1987

#### 4.10

##### Dimensioneren van aansluitings- en overgangsconstructies

Overgangsconstructies vergen zowel bij het ontwerp als bij de uitvoering grote aandacht, omdat in de praktijk blijkt dat deze constructies vaak gevoeliger zijn voor schade dan de aanliggende bekledingen. Daarom moeten overgangen tot een minimum worden beperkt. Dit geldt in het bijzonder voor de golfklapzone en bij knikken in het dwarsprofiel.

Voor het ontwerpen van overgangsconstructies bestaan geen specifieke rekenregels. Wel zijn er algemeen geldende principes waaruit eisen zijn af te leiden.

##### Sterkte:

De overgang moet tenminste even sterk zijn als de aanliggende bekledingen. Van belang hierbij is dat de overgang een degelijke hechting vormt.

##### Waterdoorlatendheid:

De waterdoorlatendheid van de toplaag ter plaatse van de overgang moet tenminste even groot zijn als de meest doorlatende van de aanliggende bekledingen. Met behulp van grondwaterstromingsberekeningen kan deze eis nader worden onderbouwd.

##### Zanddichtheid:

De overgangsconstructie moet zanddicht zijn om materiaaltransport te voorkomen. Dit kan worden bereikt door het opnemen van filterlagen in het ontwerp en het voorkomen van doorgaande verticale naden.

##### Flexibiliteit:

De overgang moet tenminste zo flexibel zijn als de aanliggende bekledingen om voldoende vervormingen te kunnen toelaten; hiervoor kan eventueel een flexibele voeg worden toegepast.

##### Vlakheid:

De overgang moet vlak zijn zodat er geen aangrijpingspunt is voor kruierend ijs, drijvend vuil of golfaanval.

##### Levensduur:

De overgang moet net zo duurzaam zijn als de aanliggende bekledingen.

##### Uitvoering:

Naast de functionele eisen moet rekening worden gehouden met de wijze waarop de overgangsconstructie wordt uitgevoerd. Dit betreft aspecten als snel uitvoerbaar, eenvoudig van opbouw en goed controleerbaar. Maar al te vaak blijkt een onzorgvuldig ontwerp tot grote uitvoeringsproblemen te leiden.

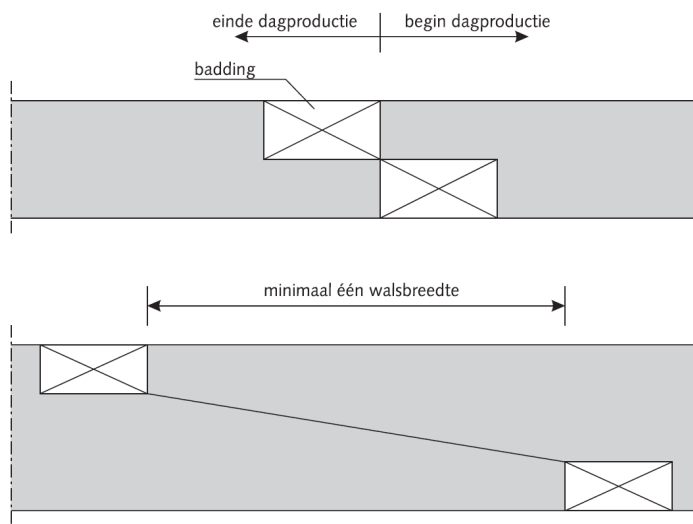
#### 4.10.1

##### *Overgang op hetzelfde materiaal*

Op plaatsen waar de ene dagproductie eindigt en de volgende begint, worden daglassen aangelegd. Op plaatsen waar een knik in het talud ligt en in de lengterichting van de dijk worden bij voorkeur geen lassen gemaakt.

##### Waterbouwasfaltbeton

Daglassen bij waterbouwasfaltbeton worden bij éénlaag systemen als liplas uitgevoerd. In Figuur 4-27 zijn voorbeelden gegeven van goede daglassen bij asfaltbeton. De onderste daglas heeft als voordeel dat de lip goed kan worden verdicht. De randen worden voor het aanbrengen van de nieuwe dagproductie aangestreeken met asfaltkleefmiddel. Als de bekleding uit twee lagen is opgebouwd mogen de lassen niet boven elkaar liggen.



Figuur 4-27: Enkele mogelijke daglassen bij waterbouwasfaltbeton

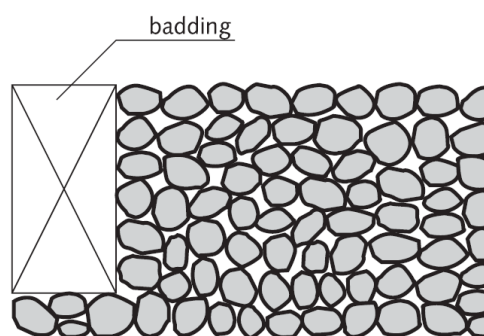
De baddingen worden toegepast om een goede verdichting te verkrijgen aan de randen. Bij aanvang van de nieuwe dagproductie worden de baddingen verwijderd.

#### Gepenetreerde breuksteen

Daglassen van een gepenetreerde breuksteenbekleding moeten "vol en zat" worden gepenetreerd. Bij het begin van een nieuwe productie moet op de las worden begonnen met penetreren.

#### Open steenasfalt

Een daglas bij open steenasfalt wordt als rechte las uitgevoerd zoals weergegeven in Figuur 4-28. Hier wordt de las verwarmd, aangestreaken met asfaltkleefmiddel en geëgaliseerd. Een onderliggend filterdoek wordt met een overlap van minimaal 0,5 meter aangesloten op aanliggende filters.



Figuur 4-28: Daglas bij in situ aangelegd open steenasfalt

Bij open steenasfaltmatten dienen de filterdoeken elkaar met minimaal 0,5 meter te overlappen. De open steenasfaltmatten worden strak tegen elkaar gelegd. De aansluiting moet bij voorkeur worden afgegoten met gietasfalt of asfaltmastiek.



Figuur 4-29: Links: met asfaltmastiek afgegoten aansluiting bij open steenasfalt (foto Hesselberg Hydro); rechts: afgegoten aansluiting 21 jaar na aanleg (foto Hydraphalt)

#### 4.10.2 *Overgang op andere bekledingen*

Bij het aansluiten van een asfaltbekleding op een andere bekleding kunnen gemakkelijk spleten op de plek van de overgang ontstaan. Deze kunnen worden veroorzaakt door een verschil in stijfheid van de twee bekledingen. Hierdoor reageren de bekledingen anders bij zettingen of klink van de onderliggende constructie. Ook kunnen bekledingsmaterialen ten gevolge van temperatuurverschillen krimpen en uitzetten waardoor kieren op de plek van de overgang ontstaan. Door kieren of spleten kan de ondergrond uitspoelen. De overgangsconstructie dient zodanig te zijn ontworpen dat het optreden van kieren of spleten ten gevolge van de genoemde mechanismen zoveel mogelijk wordt beperkt. Daarnaast dient het ontwerp praktisch goed uitvoerbaar te zijn.

Aanbevolen wordt bij een overgang op een andere bekleding een verzwaring van de asfaltbekleding toe te passen, zodat het verschil in dikte van de twee bekledingen glooiend met elkaar wordt verbonden. Bij het toepassen van een verzwaring moet extra aandacht worden besteed aan de verdichting van het asfalt.

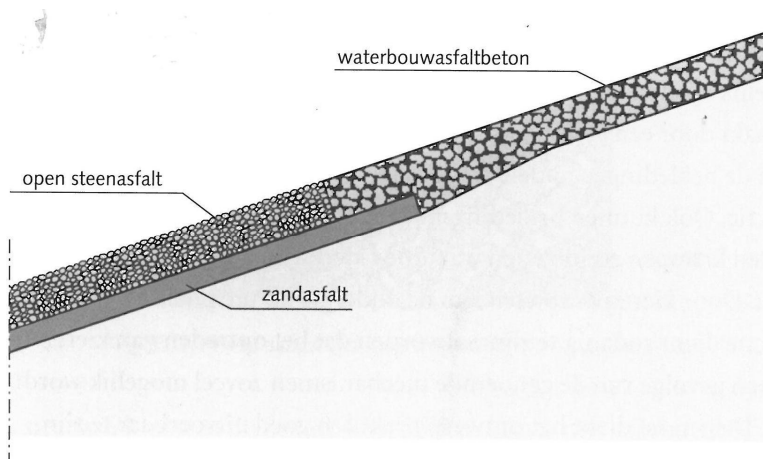
De meest voorkomende bekledingen waarop asfaltbekledingen worden aangesloten, zijn een andere soort asfaltbekleding, een gezette steenbekleding en een grasbekleding. In deze paragraaf worden van elk van de genoemde overgangen één of meer goede voorbeelden gegeven.

##### *Overgang op een andere asfaltbekleding*

Een aansluiting van twee verschillende soorten asfaltbekleding wordt voorverwarmd of voorberekt met asfaltkleefmiddel om een goede hechting tussen de twee bekledingen te krijgen.

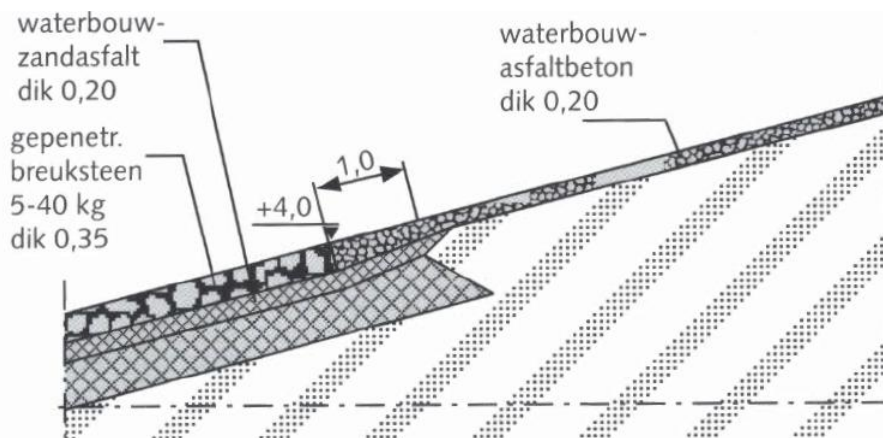
In Figuur 4-30 is een voorbeeld gegeven van een overgang van een open steenasfaltbekleding op waterbouwasfaltbeton. De onderlaag van zandasfalt wordt tot onder het asfaltbeton doorgetrokken, zodat een doorgaande verticale naad wordt vermeden. De

asfaltbetonbekleding is op de plek van de overgang verzwaard om het verschil in dikte glooiend op te vangen.



Figuur 4-30: Voorbeeld van een overgang tussen twee asfaltbekledingen

In Figuur 4-31 is een detail van de overgangsconstructie gegeven van de bekleding van de Damaanzet Schouwen.

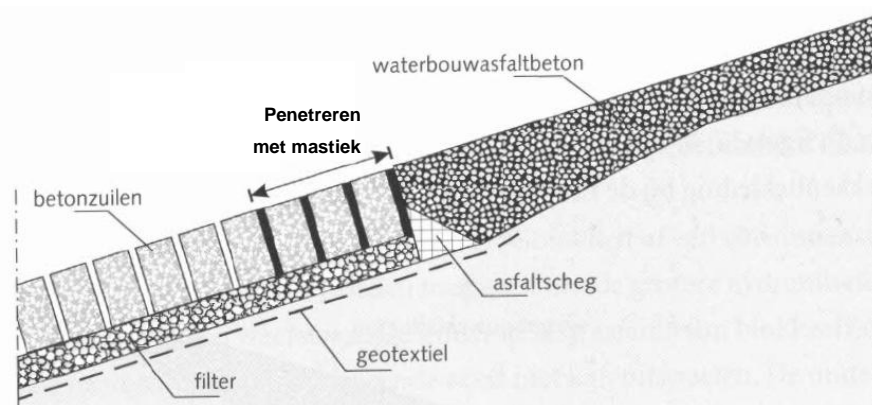


Figuur 4-31: Detail van de overgangsconstructie van "vol en zat" gepenetreerde breuksteen op asfaltbeton (Damaanzet Schouwen)

#### Overgang op een gezette steenbekleding

Bij een overgang van asfaltbeton op een zuilenbekleding is het aan te bevelen de bovenste rijen te penetreren met mastiek. In de bovenste zone van een gezette steenbekleding komen vaak losse elementen voor. De elementen worden daarom vastgelegd met mastiekpenetratie. Hierdoor kan er bovendien geen zand of filtermateriaal ter plaatse van de bekleding uitspoelen. Het geotextiel wordt tot onder de asfaltbekleding doorgetrokken, zodat het zand niet bij de overgang in het filter kan migreren. De asfaltbekleding wordt ter plaatse van de overgang bij voorkeur verzwaard uitgevoerd. Direct na het plaatsen van de gezette steenbekleding kan een asfaltscheg worden aangelegd om de bovenste rij elementen vast te leggen.

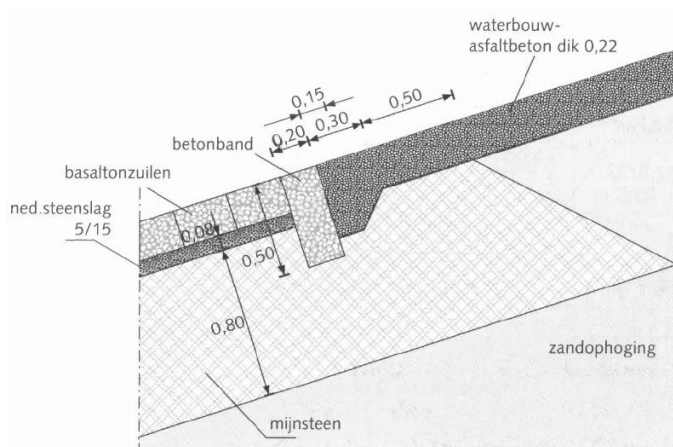




Figuur 4-32: Overgang van een asfaltbekleding naar een zuilenbekleding

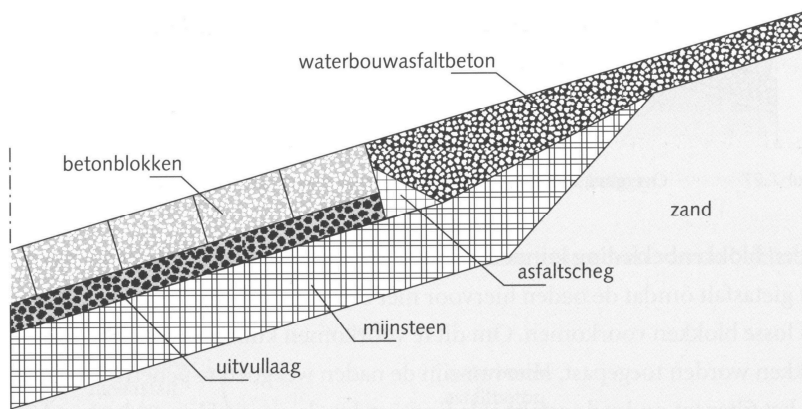
Bij een blokkenbekleding kunnen de bovenste rijen niet worden gepenetreerd met gietasfalt, omdat de naden hiervoor niet breed genoeg zijn. Hierdoor kunnen veel losse blokken voor komen. Om dit te voorkomen kunnen bovenin tapse blokken worden toegepast. Hiervan zijn de naden wel goed te penetreren. Ook kan het filter tot onder de asfaltbekleding worden doorgetrokken, zodat een doorgaande verticale naad wordt voorkomen.

In Figuur 4-33 is een voorbeeld gegeven van een overgang van een asfaltbekleding op een gezette steenbekleding (Ommelanderzeedijk).

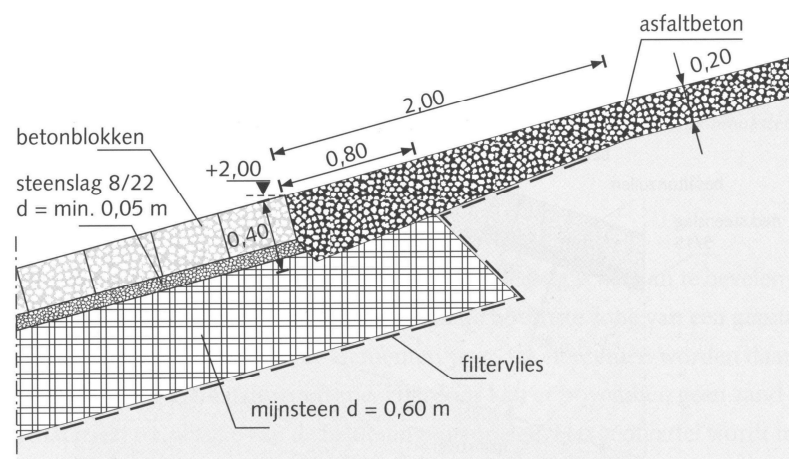


Figuur 4-33: Overgang van asfaltbekleding op gezette steenbekleding van de Ommelanderzeedijk

Als een gezette steenbekleding op een zetting- of klinkgevoelige onderlaag van klei of mijnsteen is aangelegd, moet deze onder de asfaltbekleding geleidelijk dunner worden om ongelijkmatige zettingen te beperken. Zie hiervoor Figuur 4-34 en Figuur 4-35. In Figuur 4-34 is de mijnsteenlaag tot onder het asfaltbeton doorgetrokken om te voorkomen dat het onderliggende zand via de uitvullaag kan uitspoelen. In Figuur 4-35 is een detail weergegeven van de aansluiting van asfalt op een blokkenbekleding bij de Emmapolder zeedijk.



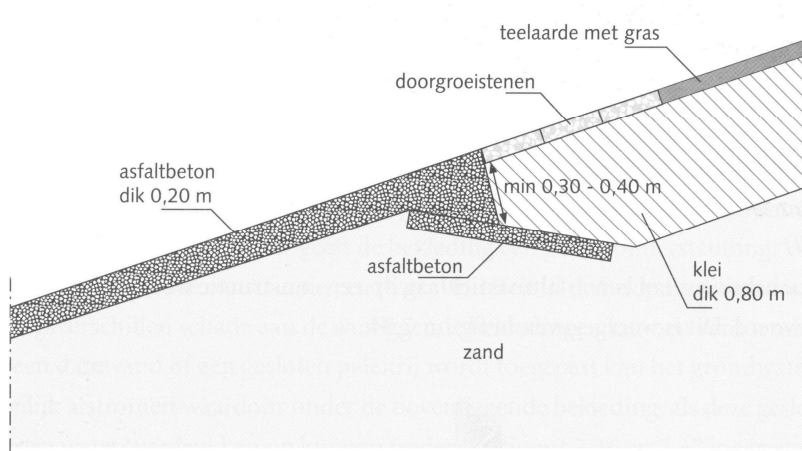
Figuur 4-34: Voorbeeld van een overgang van een asfaltbetonbekleding naar een blokkenbekleding



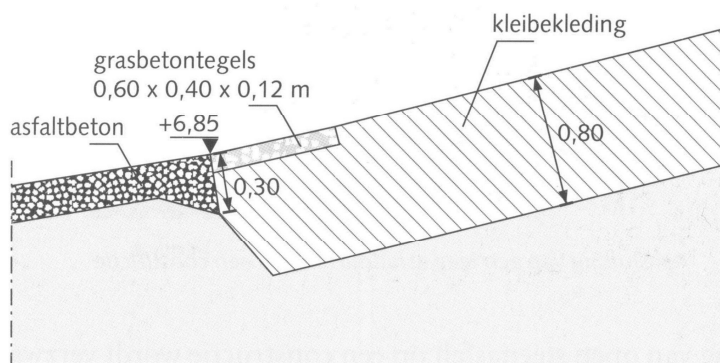
Figuur 4-35: Overgang van de asfaltbekleding op de blokkenbekleding van de Emmapolder zeedijk

#### Overgang op een grasbekleding

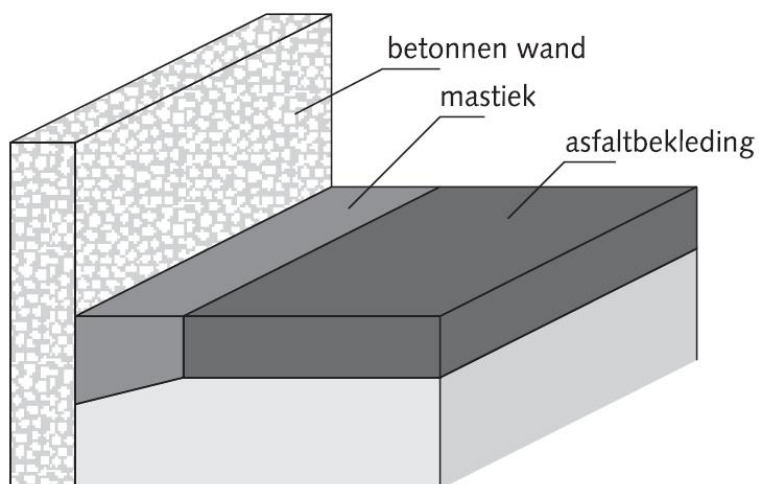
Een aansluiting van een asfaltbekleding op klei kan worden uitgevoerd zoals aangegeven in Figuur 4-36 en Figuur 4-37. In Figuur 4-36 is een voorbeeld weergegeven (zeedijk op Texel). In Figuur 4-37 is een detail gegeven van de uitvoering van een aansluiting van een asfaltbekleding op een grasbekleding bij de Emmapolder zeedijk. Hierbij moet de aansluitende kleibekleding een gebruikelijke dikte hebben van minimaal 80 centimeter. Op de plek van de overgang kunnen doorgroeiblokken of een driedimensionale structuurmat zoals Enkamat worden toegepast om de grotere hydraulische belastingen te weerstaan. De onderste laag asfaltbeton blokkeert de verticale naad zodat het onderliggende zand niet kan uitspoelen. De onderste laag asfaltbeton kan eventueel worden vervangen door een geotextiel. Om een goede vegetatie-ontwikkeling te krijgen moet de kleidikte onder de doorgroeiblokken minimaal 30 tot 40 centimeter zijn.



Figuur 4-36: Overgang van een asfaltbekleding op een grasbekleding



Figuur 4-37: Overgang van de asfaltbekleding op de grasbekleding van de Emmapolder zeedijk

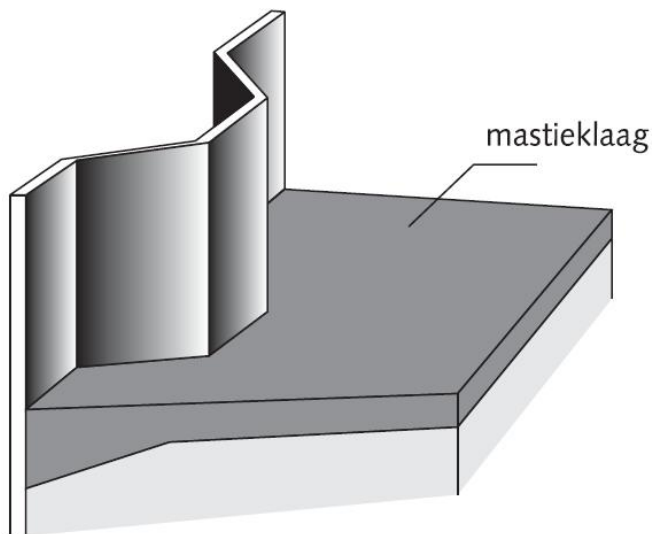


Figuur 4-38: Voorbeeld van een flexibele aansluiting op starre constructie

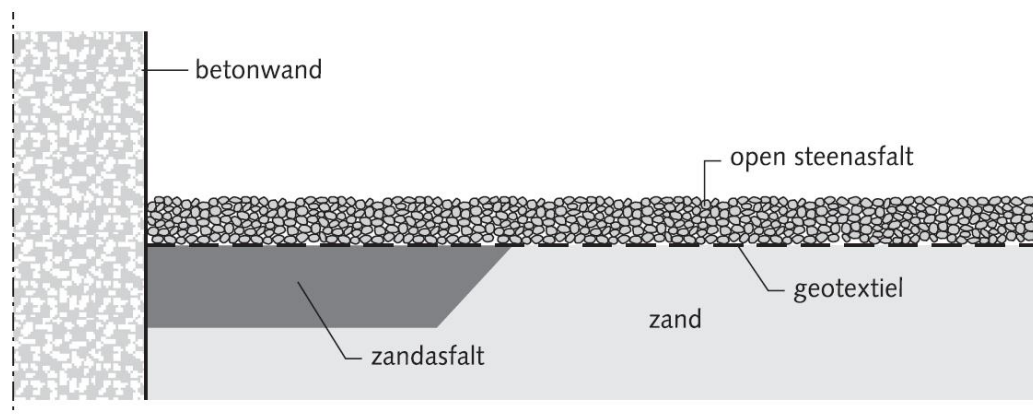


4.10.3 *Aansluitingen op kunstwerken*

Soms wordt een dijk onderbroken door een kunstwerk zoals een sluis of het landhoofd van een brug. Bij een aansluiting op een kunstwerk ontstaat een doorgaande verticale naad waarlangs materiaal kan uitspoelen. Daarom moet de aansluiting in staat zijn eventuele zettingsverschillen tussen de bekleding en het kunstwerk op te vangen zodat de bekleding goed blijft aansluiten op het kunstwerk. Door een flexibele aansluiting wordt schade ten gevolge van zettingsverschillen voorkomen. Een voorbeeld van een flexibele aansluiting is weergegeven in Figuur 4-38.



Figuur 4-40: Aansluiting van een laag asfaltmastiek op een constructie



Figuur 4-40: Aansluiting van open steenasfalt op een constructie

Een aansluiting van een asfaltmastieklaag op een constructie wordt verzwaard uitgevoerd. Dit is weergegeven in Figuur 4-39.

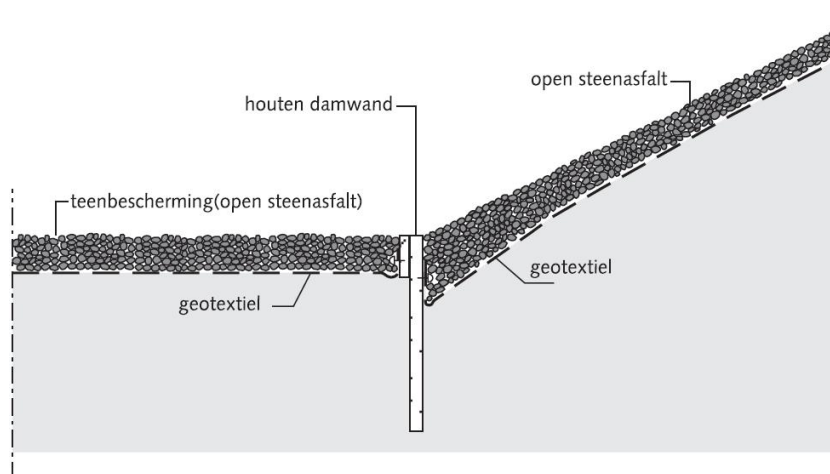
Een aansluiting van open steenasfalt op een constructie wordt verzwaard door een koffer van zandasfalt aan te brengen op de plek van de aansluiting.

De constructie wordt voorbehandeld met asfaltkleefmiddel. In Figuur 4-40 is een voorbeeld gegeven.

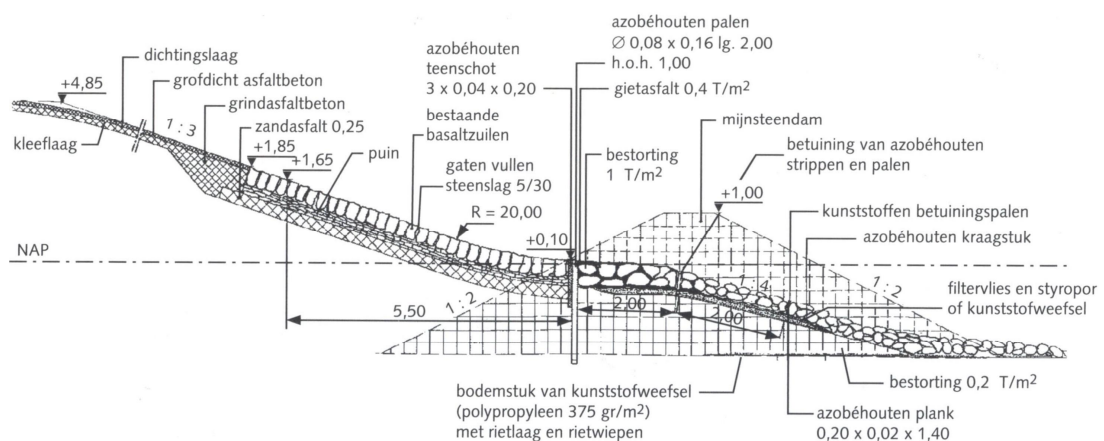
#### 4.10.4 Teenconstructies

Een teenconstructie vormt doorgaans de overgang tussen de vooroever en de taludbekleding. Als de vooroever onder laagwater ligt, wordt de teenconstructie doorgaans met een berm uitgevoerd.

Een teenconstructie kan star of flexibel en open of gesloten worden uitgevoerd. Een starre teenconstructie wordt verkregen door toepassing van een damwand of een palenrij. Deze constructie geeft de bekleding een goede ondersteuning. Wel veroorzaakt de starre constructie een discontinuïteit in de bekleding waardoor zettingsverschillen schade aan de aanliggende bekledingen kunnen veroorzaken.



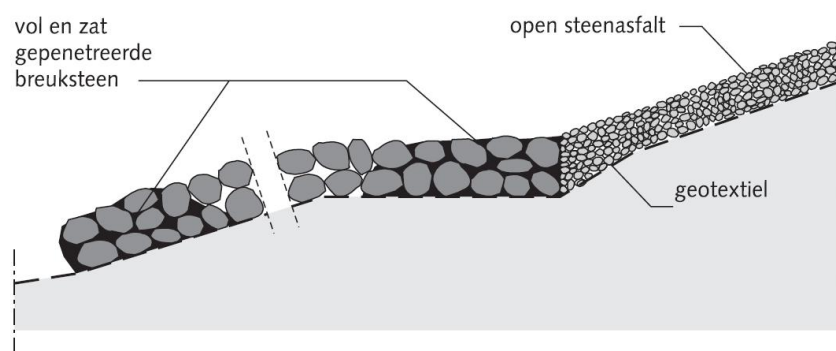
Figuur 4-41: Voorbeeld van een starre teenconstructie



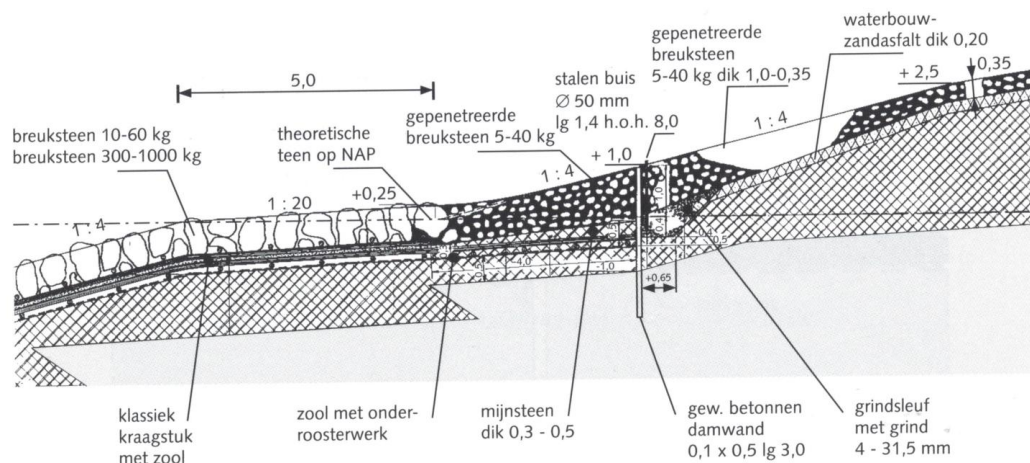
Figuur 4-42: Starre teenconstructie bij de Zeedijk Texel

Als een damwand of een gesloten palenrij wordt toegepast, kan het grondwater moeilijk afstromen waardoor onder de bovenliggende bekleding, als deze gesloten is, extra

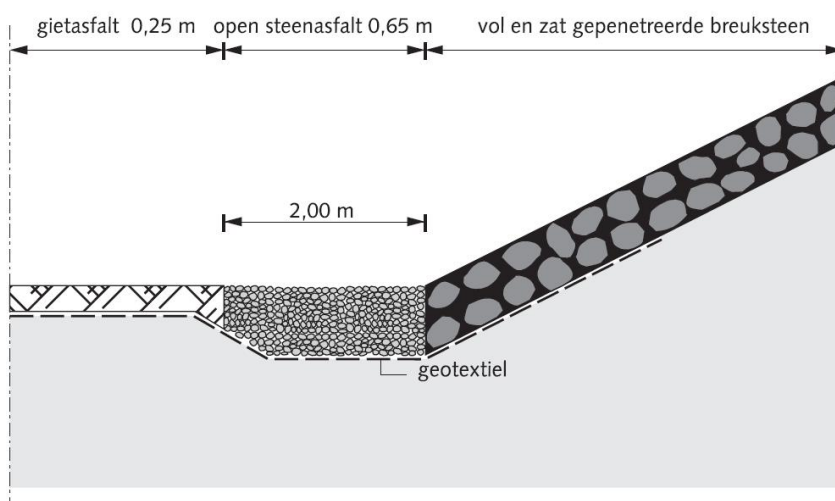
wateroverdrukken op kunnen treden. In Figuur 4-41 en Figuur 4-42 is een starre constructie weergegeven.



Figuur 4-43: Voorbeeld van een flexibele teenconstructie



Figuur 4-44: Flexibele teenconstructie bij Damaanzet Schouwen



Figuur 4-45: Voorbeeld van een open teenconstructie

Een flexibele constructie is goed in staat zettingsverschillen op te vangen. In Figuur 4-43 en Figuur 4-44 is een voorbeeld van een flexibele teenconstructie weergegeven.

Een open teenconstructie wordt aangelegd om de wateroverdrukken onder de bekleding en oeverbescherming te verminderen. Een gesloten teenconstructie wordt vaak verzwaaard uitgevoerd om de grotere wateroverdruk onder de bekleding te kunnen weerstaan. In Figuur 4-45 is een voorbeeld van een open teenconstructie weergegeven.

#### 4.11 Wapenen van asfaltbekledingen

##### 4.11.1 *Inleiding*

In de wegenbouw wordt regelmatig wapening in asfaltconstructies toegepast. In de waterbouw is deze toepassing veel beperkter. In de volgende situaties kan het gebruik van asfaltwapening worden overwogen:

- Bij het overlagen van een oude bekleding van waterbouw-asfaltbeton om scheurdoorgroei uit de oude laag (reflectiescheuren) te voorkomen;
- Bij geprefabriceerde matten open steenasfalt als transportwapening;
- In bijzondere gevallen bij openstaande naden en temperatuurscheuren.

##### 4.11.2 *Functie*

De functie van een wapening is het opnemen van trekspanningen in constructies die niet voldoende trek kunnen opnemen. De wapening kan die functie alleen vervullen als aan twee eisen wordt voldaan:

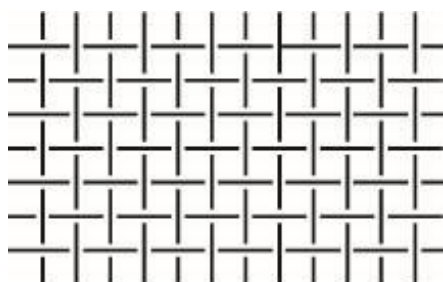
- De verankering van de wapening in het asfalt moet zo goed zijn dat overmatige trekspanningen in het asfalt effectief worden overgedragen op de wapening;
- De stijfheid van de wapening moet zodanig zijn dat de spanningen in het asfalt worden overgedragen op de wapening zonder dat dit leidt tot noemenswaardige scheurvorming in het asfalt.

De verankering van de wapening (weerstand tegen uittrekken) en de stijfheid van de wapening (weerstand tegen vervorming) bepalen gezamenlijk de effectiviteit van de wapening.

##### 4.11.3 *Soorten wapening*

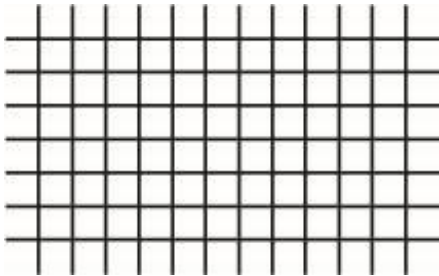
Er zijn verschillende soorten wapening te onderscheiden: weefsels, netten en roosters.

- Weefsels (Figuur 4-46) zijn vlechtwerken van draden, dradenbundels of banden. De eigenschappen kunnen sterk variëren, ook in beide hoofdrichtingen. Weefsels worden gemaakt van kunststoffen, metalen, glasvezel of carbon.



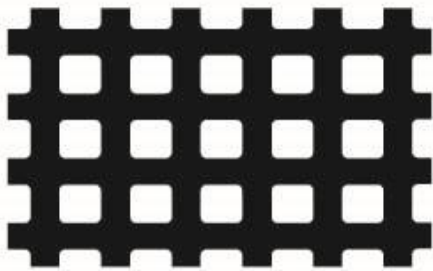
Figuur 4-46: Weefsel

- Netten (Figuur 4-47) zijn vergelijkbaar met weefsels maar hebben vaste knooppunten die niet kunnen schuiven.



Figuur 4-47: Net

- Roosters, ook wel geogrids genoemd (Figuur 4-48) zijn niet gevlochten, maar vormen één geheel. De knopen zijn vast en vormvast. Roosters worden als één geheel gemaakt uit kunststof, voornamelijk uit HDPE en PP.



Figuur 4-48: Rooster

Uit diverse internationale onderzoeken in de wegenbouw, zie onder andere [22] en [23] is gebleken dat wapening met een hoge stijfheid, zoals staal, glasvezel en carbon, effectiever is dan een wapening met een lagere stijfheid, zoals HDPE of een SAMI (stress absorbing membrane interlayer, een scheurremmende tussenlaag die bestaat uit rubber gemodificeerde bitumen en steenslag). Ook het toepassen van de wapeningstypen met een lagere stijfheid levert echter een verbetering op van de weerstand tegen scheurvorming ten opzichte van een ongewapende constructie.

#### 4.11.4 *Ontwerp*

Voor het dimensioneren van wapening in asfalt zijn geen pasklare modellen beschikbaar. Veelal wordt met een kwalitatieve beschouwing onderbouwd hoe de wapening moet functioneren en wordt de keuze van de wapening daarop gebaseerd. In bijzondere gevallen kunnen eindige elementenmethodes worden gebruikt waarmee het dimensioneringsprobleem wordt gemodelleerd. Dit vereist wel bijzondere deskundigheid van gespecialiseerde instituten. Ook kan te rade worden gegaan bij producenten van wapeningsmaterialen.

Bij het ontwerp van een overlaging van waterbouwasfaltbeton op een oude bekleding van hetzelfde materiaal kunnen de volgende praktische richtlijnen worden gehanteerd:

1. Bepaal het toe te passen type wapening. De stijfheid van de wapeningsconstructie moet hoger zijn dan de stijfheid van het asfalt om effectief te kunnen zijn. De stijfheid van de wapeningsconstructie wordt bepaald door de stijfheid van het wapeningsmateriaal ( $E$ ) en de hoeveelheid materiaal in de doorsnede ( $A$ ). In het

algemeen geldt: hoe hoger de EA-waarde, des te hoger de weerstand tegen vervormingen. Om een wapeningsconstructie te verkrijgen met een voldoende hoge stijfheid, heeft het de voorkeur om wapening van staal, glasvezel of carbon toe te passen.

2. Om te voorkomen dat een scheur uit de onderlaag doorgroeit tot aan het oppervlak van de bovenlaag, wordt in het algemeen voor de bovenlaag minimaal een dikte van 10 tot 12 centimeter toegepast.
3. Bekend is dat de spanningen in een scheurtip door spanningsconcentraties een factor vier tot vijf hoger kunnen zijn dan bij een ongescheurde constructie. De wapening moet in staat zijn om deze hogere spanningen over te nemen. Hierdoor blijven de buigtrekspanningen aan de onderzijde van het asfalt beperkt en blijft er aan de bovenzijde van het asfalt een zone met drukspanningen aanwezig waardoor scheuren niet kunnen doorgroeien naar het oppervlak.



Figuur 4-49: Overlagen van een bekleding van waterbouwasfaltbeton op een wapening van glasvezelgrid op de boulevard de Ruijter in Vlissingen. In dit geval lag de oude bekleding van waterbouwasfaltbeton op een kleilaag. Bij het verwijderen van de oude bekleding zou tevens de kleilaag verwijderd moeten worden, omdat het aanleggen van waterbouwasfaltbeton op klei problematisch is; vochtige klei is te vervormbaar waardoor het verdichten van asfalt niet goed mogelijk is. Daarom is er bij de boulevard de Ruijter voor gekozen om de oude bekleding te laten liggen en een nieuwe laag waterbouwasfaltbeton aan te brengen met een wapening

Meer informatie over wapening van asfalt kan onder meer worden gevonden in [24], [25] en [53].





Figuur 4-50: Aanbrengen van wapening in een mat van open steenasfalt (foto Bitumarin)

#### 4.11.5 *Aanbrengen van wapening*

Voor het goed functioneren van een wapening moet tijdens de aanleg extra aandacht worden besteed aan een aantal aspecten. Bij het ontwerp, of het nu een kwalitatieve beschouwing of een numerieke modellering is, moet zorgvuldig worden nagegaan welke elementen bij de uitvoering van belang zijn om een goed en langdurig functionerende wapening te verkrijgen. Hierbij kan de deskundigheid van producenten en leveranciers worden ingeschakeld. Specifieke aandachtspunten zijn door een leverancier vermeld bij de verwerkingsinstructies. Enkele belangrijke aspecten zijn:

- Tijdens transport is het van belang beschadigingen aan de wapening te voorkomen;
- De laag asfalt waar de wapening op wordt aangebracht, mag niet worden beschadigd;
- De wapening moet vlak worden aangebracht op de asfaltlaag;
- Verschillende wapeningstypen moeten onder een voorspanning worden aangebracht. Dit betreft wapeningsnetten die bestaan uit gevlochten strengen. Door het aanbrengen van de voorspanning wordt voorkomen dat er te grote vervormingen van de constructie mogelijk zijn zonder dat de wapening wordt gemobiliseerd;
- Hechting tussen de wapening en de asfaltlagen is van groot belang voor de verankering. Daarom wordt een kleeflaag aangebracht om de wapening vast te leggen. Sommige wapeningstypen zijn voorzien van kleefmiddel, zodat het aanbrengen van een kleeflaag vooraf niet nodig is. Ook kan een wapening met nagels worden vastgezet;
- Kunststof wapening moet worden beschermd tegen te hoge temperaturen (bijvoorbeeld polypropeen).





## 5 Ontwerp voorbeeld

### 5.1 Inleiding

'In dit hoofdstuk werken we een case uit voor de versterking van de oeverbescherming van een stuk voorland. We werken twee alternatieven uit. Hierbij wordt naast de verdediging van de kunstlijn ook aandacht besteed aan het gebruik van het voorland als zate.

De te reconstrueren bekledingen beschermen een voorland voor de primaire waterkering. De locatie ligt direct aan een diepe geul, met dieptes tot NAP -40 meter. Het veldje ligt hier al honderden jaren als voorland van de omdijkte gebieden. Het veldje wordt gebruikt als zate om zinkstukken te maken en als grasland om schapen te weiden.

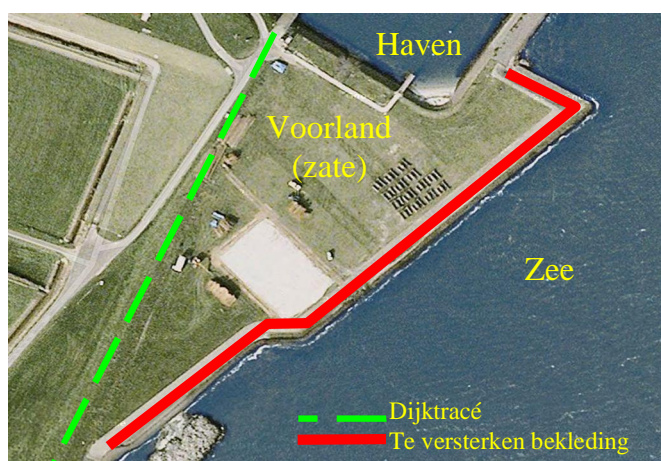
### 5.2 Locatie en huidige constructieopbouw

Het te beschermen voorland heeft een lengte van ongeveer 300 meter (langs de dijk) en heeft een driehoeksvorm, uitlopend van 0 meter (aansluiting dijk aan zuidzijde) tot ongeveer 130 meter breedte aan de kant van de haven. De locatie wordt beschouwd als voorland van de waterkering. Zie Figuur 5-1 voor een overzicht van de situatie.

De te verbeteren oeverbescherming van het voorland loopt van de aansluiting met de dijk (zuidkant) tot aan de noordoostelijke buitenhoek en het verbindingsstukje tussen deze hoek en de golfbreker van de haven. Deze golfbreker en overige oeverbeschermingen daar voorbij vallen buiten dit project.

De oeverbescherming is in de huidige situatie opgebouwd uit de volgende hoofdonderdelen:

- Vooroeverbescherming onder gemiddeld laag water van zinkstukken met stortsteen;
- Tuimeldijkje in de getijzone (kruin iets boven gemiddeld springtij) met basaltzetting;
- Boventalud met asfaltbekleding tot op de rand van het voorland, aansluitend op een grasbekleding op het voorland.



Figuur 5-1: Situatie met het dijktracé, de te verbeteren bekleding en het voorland (zate) (beeld: Google)

In meer detail is de bekleding opgebouwd uit de volgende onderdelen (zie ook Figuur 5-4):

- Stortberm op de vooroever (stortsteen op zinkstukken) van NAP -2,9 meter (en waarschijnlijk dieper) tot NAP -0,39 meter. Waarvan ingegoten met Gietasfalt van

- NAP -0,65 meter tot NAP -0,39 meter;
- Bloksteen van NAP -0,39 meter tot NAP -0,09 meter;
- Basalt zuilen in gietasfalt van NAP -0,09 meter tot NAP +0,67 meter, inclusief tuimeldijkje tot NAP +1,14 meter;
- Asphalt van NAP +0,67 meter tot NAP +2,38 meter (bovenkant bekleding, horizontaal deel ongeveer 2 meter);
- Drie rijen grasbetonblokken van in totaal ongeveer 1 meter breed op NAP +2,38 meter;
- Grasbekleding, horizontaal op het breedste deel ongeveer 130m, oplopend van NAP +2,38 meter aan de overgang oeverbescherming tot NAP +3,7 meter aan de voet van de dijk.

Figuur 5-2 en Figuur 5-3 geven een beeld van de oeverbekledingen.



Figuur 5-2: De tuimeldijk

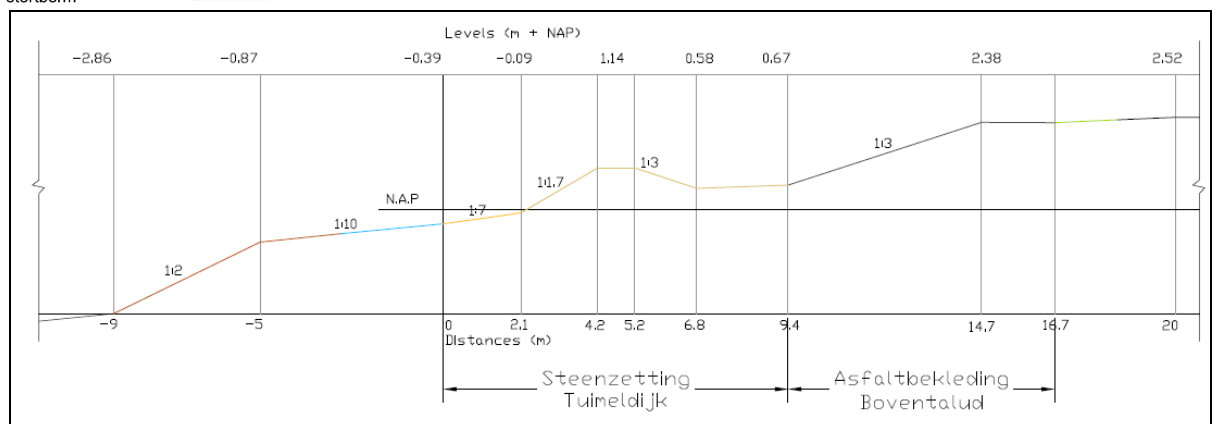


Figuur 5-3: Overzichtsfoto voorland

Hoewel de taludverdediging er op het eerste oog netjes en degelijk uitziet, is dit uiterlijke schijn voor wat betreft de asfaltbekleding. Onder een meer recent aangebrachte toplaag is een sterk verweerde en verzwakte asfaltlaag aanwezig.

**Legenda :**

- grasbetonblokken —
- asfalt —
- basalt —
- bloksteen —
- stortberm met gietasfalt —
- stortberm —



Figuur 5-4: Doorsnede oeverbescherming (lengte en hoogtematen niet geverifieerd)

### 5.3 Inventarisatie functies, eisen, wensen en belangen

#### 5.3.1 *Functies van het te beschermen voorland*

Het te beschermen gebied wordt op dit moment gebruikt voor de volgende functies:

1. Waterbouwkundig: het is een golfreducerend voorland onder maatgevende omstandigheden; onder dagelijkse omstandigheden de eerste grens tussen water en land (niet de primaire waterkering).
2. Waterbouwkundig: van het voorland wordt gebruik gemaakt als zate, voor het samenstellen van zinkstukken en eventueel ook als werkterrein/opslagterrein voor andere projecten.
3. Agrarisch: het wordt gebruikt als weidegrond voor schapen.
4. Landschap en ecologie: vogels gebruiken het als broedplaats.

#### 5.3.2 *Projecten en werkzaamheden derden*

Bij werkzaamheden aan het voorland dient rekening te worden gehouden met de volgende werken en activiteiten van derden:

1. Depotruimte en tijdelijke installaties ten behoeve van de verbeteringswerken van de aangrenzende waterkeringen.
2. Nabijheid van aanleginrichting van veerponten.
3. Scheepvaartbewegingen in de voorliggende geul.
4. Agrarisch gebruik voorland. Na oplevering moet het voorland weer netjes opgeleverd worden (inzaaien, et cetera).

#### 5.3.3 *Verontreinigingen*

1. Asphalt- en bodemonderzoek ten behoeve van de samenstelling van het asfalt en tuemeldijk is noodzakelijk in verband met het verwijderen van het asfalt en het aanpassen van de tuemeldijk. Dit is onderdeel van de uitvoering. Aangenomen wordt dat het asfalt teerhoudend is. Teerhoudend asfalt dient bij een vergunde verwerker voor thermische eindverwerking te worden afgeleverd.
2. Asbest. Het is niet bekend of er mogelijk asbest aanwezig is op/in het betreffende voorland. Materialen die verwijderd worden, dienen hierop geïnventariseerd te worden voor uitneming. Indien nodig moeten aanvullende maatregelen worden genomen.
3. Puin, grasbetontegels (indien gebroken) of andere vrijkomende materialen dienen op de daartoe geschikte wijze te worden behandeld, zo nodig bemonsterd en onderzocht, en afgevoerd en verwerkt te worden, met inachtneming van de geldende wet- en regelgeving.
4. Reinigen van de asfaltverharding. Het afkomend materiaal dient te worden afgevoerd. Teerhoudend asfalt dient bij een vergunde verwerker voor thermische eindverwerking te worden afgeleverd.
5. Explosieven. De locatie is ooit onderzocht op explosieven. Er is geen aanleiding voor verder onderzoek.

#### 5.3.4 *Derden/ omgeving land*

1. Veroorzaakte schade aan constructies en wegen in het gebied dient door de opdrachtnemer te worden hersteld.
2. Flora en fauna. Aangezien de locatie net buiten een Natura 2000 gebied ligt, moet worden bepaald of de activiteit significante effecten heeft op het Natura 2000 gebied door middel van een quickscan ecologie. Zijn er effecten, dan is een vergunning nodig van de provincie. Hiervoor geldt een termijn van 18 weken.
3. Broedvogels. Het is te verwachten dat vogels zullen gaan broeden op het betreffende voorland. Hierdoor kan de uitvoering worden belemmerd. De opdrachtnemer dient broedsels op het werk te voorkomen.

4. Stormseizoen. Omdat de bekleding geen primaire waterkering betreft, zijn er formeel geen beperkingen. De omstandigheden, extreem hoog water en golven kunnen de werkzaamheden uiteraard wel onmogelijk maken.
5. Overlast door het werkverkeer en geluidshinder door de werkzaamheden naar de omgeving toe, dienen tot een minimum te worden beperkt.

#### 5.3.5 *Derden/ omgeving water (nautische aspecten)*

1. De aanliggende geul mag door de uitvoering niet verondiepen ten opzichte van de aangetroffen uitgangssituatie: geen verspreiding van specie over de bodem, geen stortingen binnen de geul, ook niet buiten het profiel/vak.
2. Langsvarende schepen kunnen naast de sterke invloed van de getijden en wind (afhankelijk van de windrichting) het aantal uren beperken dat beschikbaar is om de werkzaamheden uit te voeren op de laagst gelegen onderdelen.
3. De veerboot en bijbehorende verkeersstromen van en naar de boot mogen niet worden verstoord.
4. De vaargeul voorlangs de bekleding moet te allen tijden bruikbaar en toegankelijk blijven.

#### 5.3.6 *Vergunningen*

##### Waterwet

Het voorland is geen onderdeel van een primaire waterkering, het is een stuk buitendijks gelegen land.

De Waterwet vervangt de keur-vergunning en WBR-vergunning met de water-vergunning. Gezien de aard van de werkzaamheden valt het werk onder onderhoud, waardoor een water-vergunning niet nodig is.

##### Besluit bodemkwaliteit

In ieder geval is het Besluit bodemkwaliteit van toepassing. Een melding bij gemeente en/of waterkwaliteitsbeheerder is verplicht. De mogelijkheden zijn afhankelijk van gebruikte stoffen. Een melding moet vijf werkdagen van tevoren plaatsvinden.

##### Wet milieubeheer (WM)

Er is geen sprake van een inrichting. Een WM-vergunning is daarom niet van toepassing.

##### Algemene plaatselijke verordening (APV)

Tijdelijke activiteit: voor het werk is een APV nodig van de gemeente.

##### Vergunning Natuurbeschermingswet

Aangezien de locatie net buiten een Natura 2000 gebied ligt, moet worden bepaald of de activiteit significante effecten heeft op het Natura 2000 gebied door middel van een quickscan. Zijn er effecten, dan is vergunning nodig van de provincie. Hiervoor geldt een termijn van 18 weken.

##### Ontheffing Flora en Faunawet.

Onderzoek naar situatie ter plekke is nodig. Indien beschermde flora en fauna wordt aangetroffen is een ontheffing nodig. Dit komt voort uit de quickscan ecologie. Aanvraag geschiedt bij het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie en heeft een doorlooptijd van 18 weken.

#### Wet Ruimtelijke Ordening (WRO)

Het gaat om een bestaande situatie. De WRO is dus niet van toepassing.

- 5.4 Ondergrond en hydraulische randvoorwaarden  
 Voor het maken van het ontwerp zijn gegevens nodig van de directe omgevings situatie (geotechnische en topografische informatie) en de optredende maatgevende belastingen (hydraulische en overige belastingen). In deze paragraaf worden deze gegevens verzameld en gekwantificeerd.

##### 5.4.1 *Geotechnische informatie*

De ondergrond in het gebied rond het te beschermen talud is algemeen opgebouwd uit zandig materiaal. Gedetailleerde geotechnische informatie is niet beschikbaar. Uitgegaan wordt van een volledige, zandige grondopbouw.

##### 5.4.2 *Hydraulische belastingen*

De locatie ligt direct aan een diepe geul (watersysteem Zee en Estuaria) en is blootgesteld aan golven en stroming. Behalve golven en stroming zijn de optredende maatgevende waterstanden van belang.

#### Waterstanden

Voor mogelijke maatgevende waterstanden is gekeken naar het vastgestelde toetspeil van de dichtstbijzijnde primaire waterkering. Het te beschermen voorland ligt zelf buitendijks en is geen primaire waterkering. Het toetspeil voor die aangrenzende locatie is gegeven in Hydraulische Randvoorwaarden voor het toetsen van primaire waterkeringen 2006 [78].

- Toetspeil: NAP +4,3 meter

Dit toetspeil ligt boven het niveau van het gehele te beschermen voorland. Dat ligt namelijk op ongeveer NAP +2,4 meter aan de overgang bekleding – grastegels – oplopend tot ongeveer NAP +3,7 meter aan de voet van de achterliggende dijk. Tijdens de maatgevende storm (1/4000) zal het gehele voorland daarom onder water staan en slechts als golfreducerend voorland fungeren voor de achterliggende dijk. Als maatgevende waterstand voor wateroverdrukken kan worden uitgegaan van NAP +4,0 meter: een niveau ruim boven het hoogste punt van het voorland.

Voor gemiddeld hoogwater (GHW) en gemiddeld laagwater (GLW) is gebruikgemaakt van de website [http://www.rijkswaterstaat.nl/water/scheepvaartberichten\\_waterdata/index.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/scheepvaartberichten_waterdata/index.aspx).

- Gemiddelde hoogwaterstand (GHW): NAP +0,75 meter
- Gemiddelde laagwaterstand (GLW): NAP -0,50 meter

Voor de stabiliteit van de oeverbescherming worden maatgevende waterstanden aangenomen die een realistisch, maar meest ongunstig, scenario weergeven voor de golfbelasting op de bekleding. Dit leidt tot een maatgevende waterstand in de orde van NAP +1 tot NAP +3 meter.

#### Golven

Voor de golfbelasting op de oeverbescherming is net als voor de waterstanden de situatie voor de dichtstbijzijnde primaire waterkering als representatief aangenomen. De maximale golfbelasting volgens HR 2006 is als volgt:

- Significante golfhoogte:  $H_s = 1,85$  meter

- Piekperiode:  $T_p = 5,4$  seconde
- Spectrale periode:  $T_{m-1,0} = T_p/1,1 = 4,9$  seconde
- Stormduur: duur = 6 uur

Een realistische waterstand wordt gekozen in combinatie met deze golven.

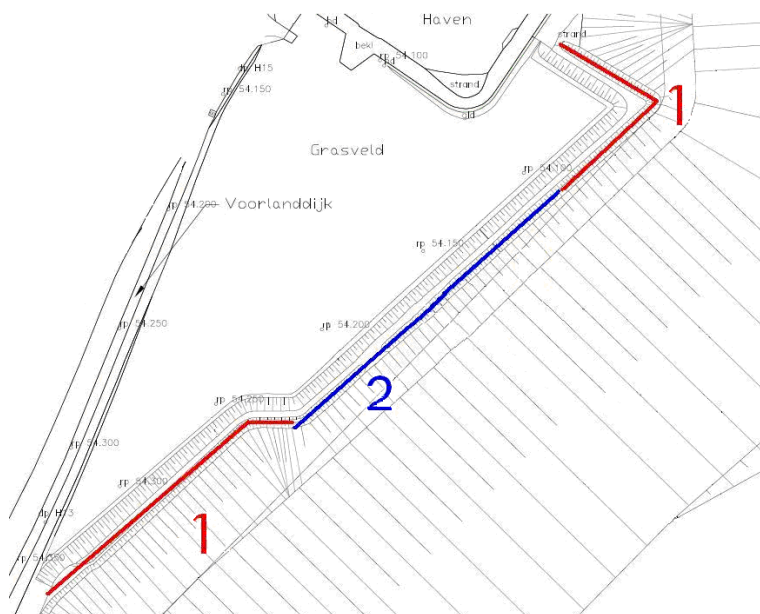
#### 5.4.3 *Stroming*

De locatie grenst direct aan een diepe geul met dieptes tot lokaal NAP-40 meter. Stroomsnelheden door deze geul en dus langs de locatie zijn aanzienlijk, in de orde van 2,5 m/s. Meer gedetailleerde gegevens hierover zijn niet beschikbaar.

#### 5.5 Ontwerp bekleding oeverbescherming

##### 5.5.1 *Uitgewerkte varianten*

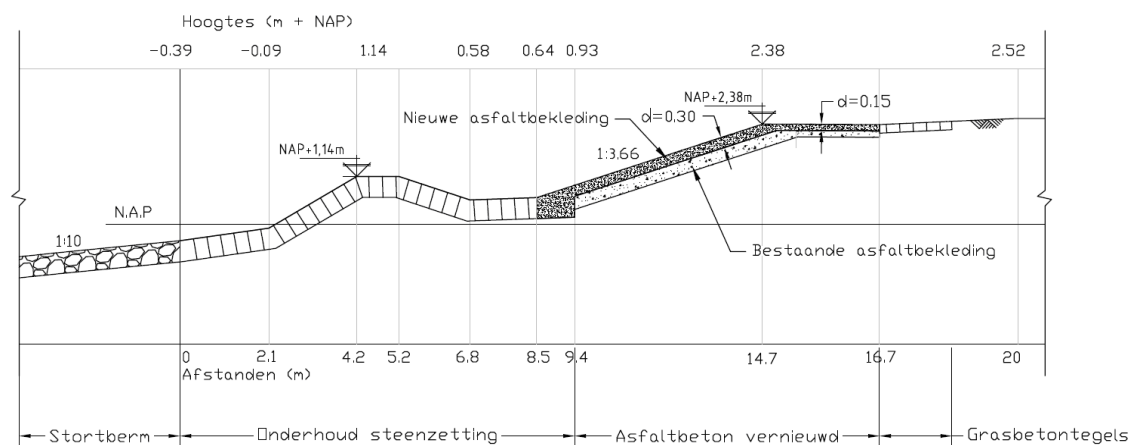
Er worden twee varianten uitgewerkt. Dit zijn varianten 1 en 2. Op onderstaande situatietekening (Figuur 5-5) is te zien op welke locaties de varianten worden toegepast.



Figuur 5-5: Situatie case met de strekkingen van de uitgewerkte varianten

##### 5.5.2 *Variant 1*

Variant 1 is in feite het weer op orde brengen van de oude situatie: de standaardoplossing. Hierbij blijft de tuimeldijk gehandhaafd en wordt alleen de bekleding op het boventalud vervangen/ overlaagd met een nieuwe laag waterbouwasfaltbeton (zie Figuur 5-6). De bestaande bekleding blijft waar mogelijk bestaan en een nieuwe laag wordt er bovenop aangebracht. Praktisch betekent dit dat op het talud de huidige laag blijft bestaan en wordt overlaagd en dat op het horizontale deel op de kruin 15 centimeter wordt verwijderd om de nieuwe laag op hetzelfde niveau te houden in verband met aansluiting naar het voorland zelf. Aan de onderkant van het talud wordt een smalle strook stenen verwijderd om een teen aan de asfaltbekleding te kunnen maken. De hechting van de nieuwe laag asfalt op de bestaande laag is een aandachtspunt voor de uitvoering.



Figuur 5-6: Variant 1 – repareren tuimeldijk in combinatie met nieuw waterbouwasfaltbeton boventalud, maatgevend profiel

### 5.5.3

#### Variant 2

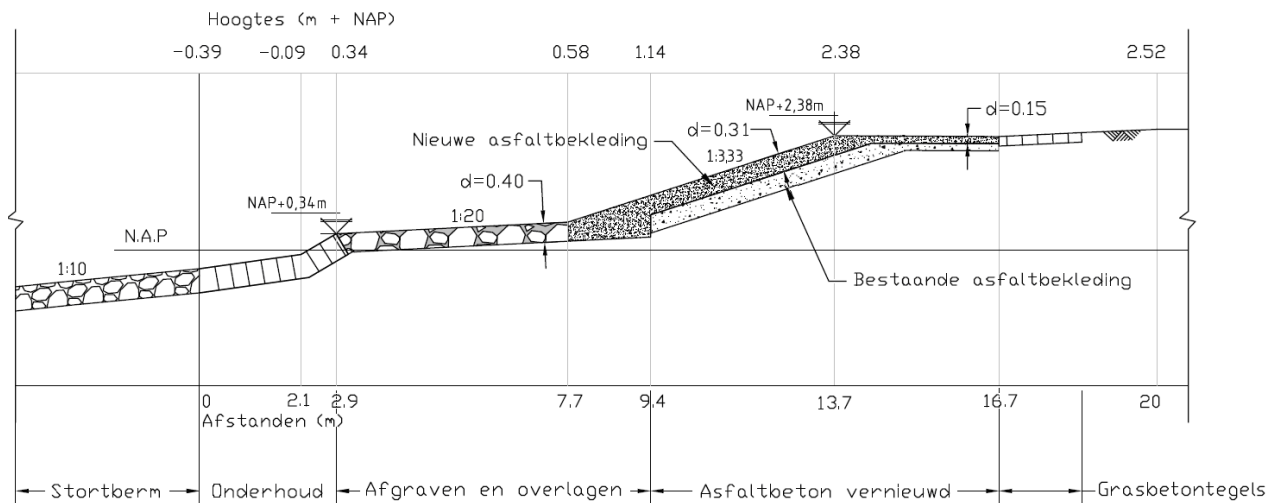
Variant 2 komt voort uit de eisen aan het talud in verband met het gebruik van het voorland als zate. Op een zate worden zinkstukken gemaakt, grote matten van geotextiel met daarop bundels wiepen bevestigd, met afmetingen tot soms 50 x 100 meter (orde grootte). Deze zinkstukken worden vervolgens per sleepboot het water in getrokken en naar locatie verslept om daar te worden afgezonken door bestorting met stortsteen.

Voor het gebruik van het voorland als zate zijn twee zaken belangrijk:

- Werkruimte op de wal op een geschikte ondergrond: de zinkstukken worden vlak, horizontaal uitgelegd en gemaakt. Hiervoor is voldoende ruimte nodig. Op het voorland is deze ruimte in principe aanwezig op de aanwezige weidegrond.
- Een glad en doorlopend talud voor te water laten van de zinkstukken. De werkruimte dient direct aan een oever te grenzen die glad genoeg is om de zinkstukken over het water in te trekken.

Het tuimeldijkje dat langs het voorland aanwezig is, komt niet overeen met het gewenste gladde en doorlopende talud. Het tuimeldijkje zorgt voor een lastige discontinuïteit in het talud, waardoor zinkstukken zouden kunnen scheuren tijdens het te water laten. Om de bestaande situatie te verbeteren wordt het tuimeldijkje afgevlakt over een lengte van circa 100 meter. Het boventalud bestaat net als in de huidige situatie uit waterbouwasfaltbeton dat voldoende glad is. Voor het ondertalud (afgevlakte deel van de tuimeldijk) is gekozen voor volledig gepenetreerde breuksteen (zie Figuur 5-7). De gebruikelijke “vol en zat” penetratie van breuksteen met gietasfalt leidt tot een te ruw oppervlak. Daarom is ervoor gekozen volledige penetratie toe te passen. Hierbij wordt de breuksteenlaag geheel tot boven gevuld, zodat er een redelijk glad oppervlak ontstaat. Dit oppervlak wordt voldoende glad geacht voor het te water laten van zinkstukken.

Op het boventalud wordt dezelfde oplossing toegepast als bij variant 1 (de laagdikte verschilt zo nodig).



Figuur 5-7: Variant 2 – Overlaging na verwijderen tuimeldijk in combinatie met nieuw asfalt boventalud, maatgevend profiel

#### 5.5.4 Dimensioneren bekleding

De relevante belastingen golfklap, wateroverdruk, stroming en kruierend ijs zijn onderzocht. Daarnaast zijn praktische eisen gesteld, zoals een minimale laagdikte.

Elk type bekleding is geschikt voor een specifiek deel van het buitentalud. Het boventalud ligt volledig in zone III. Hiervoor is waterbouwasfaltbeton een zeer geschikt bekledingsmateriaal. Bovendien is het oppervlak glad, zodat de zate geschikt is om zinkstukken overheen te trekken.



Figuur 5-8: Zonering toegepast op de betreffende case, te verbeteren bekleding in rood

Het ondertalud ligt in zone I+II. Hiervoor is waterbouwasfaltbeton geen geschikt materiaal. Gepentreeerd breuksteen voldoet hier veel beter. Nadeel is dat dit een erg ruw oppervlak oplevert. Dit kan worden verholpen door de breuksteen niet "vol en zat" te penetreren, maar volledig te penetreren. Dit houdt in dat het breuksteen tot aan de bovenkant wordt gepentreeerd waardoor een veel vlakker oppervlak ontstaat. Zinkstukken zullen over het algemeen bij hoogwater van de zate worden afgetrokken. De gepentreeerde breuksteen bekleding ligt dan (net) onder water.

#### 5.5.5 Boventalud

Voor zowel variant 1 als variant 2 wordt het waterbouwasfaltbeton op het boventalud vervangen.



#### Minimale laagdikte

Voor waterbouwasfaltbeton is de minimale dikte 0,10 meter.

#### Maximale steilheid talud

Voor waterbouwasfaltbeton is de maximale taludhelling afhankelijk van de zone waarin de bekleding aanwezig is.

- Zone IV (maximaal talud 1:1,7)
- Zone III (maximaal talud 1:3)

Het boventalud bevindt zich in zone III. Hierdoor kan het talud niet steiler zijn dan 1:3. Het talud is in werkelijkheid al flauwer, zie Figuur 5-6 en Figuur 5-7.

#### Dimensioneren op wateroverdrukken

Waterbouwasfaltbeton vormt een dichte bekleding die werkt als een plaat en is ondoorlatend voor water. Een hoge waterstand die lang genoeg aanhoudt, veroorzaakt een hoge grondwaterstand in het grondlichaam. Als vervolgens de waterstand snel zakt, zakt de grondwaterstand veel trager mee met als gevolg dat een wateroverdruk onder de bekleding ontstaat. Deze overdruk kan opdrijven veroorzaken als het gewicht van de bekleding niet groot genoeg is.

De maatgevende waterstanden zijn voor de locatie als volgt gekozen:

- Maatgevend hoog water (MHW) voor het bepalen van de wateroverdrukken is vastgesteld op NAP +4,0 meter. Omdat de gehele locatie ruim beneden dit niveau ligt, wordt verondersteld dat het grondlichaam onder de bekleding volledig verzadigd is na een hoogwaterperiode.
- Het voorgaande betekent dat de maatgevende grondwaterstand (MGWS) gelijk ligt aan de bovenrand van de asfaltbekleding: NAP +2,38 meter.
- De onderzijde van de waterbouwasfaltbekleding ligt bij de twee alternatieven 1 en 2 op verschillende niveaus.
  - variant 1 NAP +0,64 meter
  - variant 2 NAP +0,58 meter
- Voor variant 1 mag worden aangenomen dat de huidige basaltbekleding een doorlatende bekleding is, omdat hij niet is ingegoten. Er hoeft dus geen rekening te worden gehouden met een aan onderzijde dichte bekleding die lager ligt dan de werkelijke onderrand van de bekleding die moet worden beoordeeld.
- In variant 2 grenst de asfaltbekleding wèl aan een dichte bekleding: de volledig gepenetreerde breuksteenbekleding die circa 4,80 meter lang is, zie Figuur 5-7. De asfaltbetonbekleding moet met deze lengte naar beneden toe worden verlengd om te komen tot de juiste rekenwaarde voor het niveau van de onderrand: de fictieve onderrand van de waterdichte bekleding. Bij een taludhelling van 1:3,33 komt het niveau van de fictieve onderrand 1,52 meter lager uit op NAP -0,94 meter.
- De soortelijke massa's waarmee is gerekend, zijn voor water  $\rho_w = 1026 \text{ kg/m}^3$  en voor asfaltbeton  $\rho_a = 2300 \text{ kg/m}^3$ .
- De factor  $Q_n$ , die in beperkte mate afhankelijk is van de taludhelling bedraagt voor variant 1 (1V : 3,66H): 1,01; voor variant 2 (1V : 3,33H): 1,02.
- Voor geen van beide alternatieven is er sprake van een maatgevende buitenwaterstand die onder de gemiddelde buitenwaterstand ligt, dus  $R_w = 1,0$ .
- De benodigde dikten voor de twee alternatieven volgen uit de formule gegeven in §4.3.4.

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

$$0,21 \cdot 1,01 \cdot (2,38 - 0,64) \cdot \left[ \frac{1026}{2300 - 1026} \right] \cdot 1,0 = 0,30 \text{ m voor alternatief 1}$$

$$0,21 \cdot 1,02 \cdot (2,38 - 0,94) \cdot \left[ \frac{1026}{2300 - 1026} \right] \cdot 1,0 = 0,57 \text{ m voor alternatief 2}$$

- De berekende benodigde laagdikte voor variant 2 is extreem dik als gevolg van de dichte bekleding op de laagliggende berm. De overdruk kan aanzienlijk worden gereduceerd door een strook open bekleding, bij wijze van ventiel, op te nemen tussen de dichte taludbekleding en de dichte bermbekleding. Als in de berm op de knik naar het boventalud een niet gepenetreerde schanskorf met stortsteen wordt opgenomen, hoeft niet te worden gerekend met de fictieve waarde van de onderzijde van de dichte bekleding. Dan kan worden gerekend met het niveau van de knik tussen berm en boventalud: NAP +0,58 meter. De benodigde dikte wordt dan door de volgende waarde berekend:

$$d = 0,21 \cdot 1,02 \cdot (2,38 - 0,58) \cdot \left[ \frac{1026}{2300 - 1026} \right] \cdot 1,0 = 0,31 \text{ m}$$

Voor het gebied boven het punt waar de grootste waterdruk optreedt

- NAP + (2,38 - 0,53(2,38 - 0,64)) = 1,46 meter voor variant 1
- NAP + (2,38 - 0,53(2,38 + 0,94)) = 0,62 meter voor variant 2 zonder schanskorf
- NAP + (2,38 - 0,53(2,38 - 0,58)) = 1,43 meter voor variant 2 met schanskorf mag de bekleding in principe afnemen in dikte, onder dit punt moet de berekende dikte worden aangehouden. Uit praktische overwegingen wordt dit alleen gedaan als er een reductie over een grote hoogte mogelijk is. Voor alle varianten is dit niet het geval. Daarom wordt de laagdikte onveranderd doorgezet tot bovenaan het talud. Alleen het horizontale deel op het voorland wordt met een kleinere laagdikte aangelegd (wateroverdruk nihil).

Voor variant 1 kan worden volstaan met een laagdikte van de asfaltbeton van 0,3 meter, voor variant 2 is deze waarde 0,31 meter, onder de voorwaarde dat er net onder de teen van het asfalttalud een schanskorf als ventiel tussen beide dichte bekledingen wordt aangebracht. Het alternatief, zonder schanskorf, levert een irreële dikte op voor de asfaltbekleding. Als zekerheid kan worden gekregen over hechting tussen de bestaande bekleding en de nieuwe overlaging, zou kunnen worden gerekend met de dikte van het totale asfaltpakket. Hierdoor zou het ventiel in de vorm van de schanskorf wellicht niet nodig zijn.

#### Dimensioneren op golfklappen

De minimaal benodigde laagdikte voor dimensionering van het waterbouwasfaltbeton op golfklappen kan worden gedaan met een eenvoudige grafiek. Zie Figuur 4-14 in §4.4.2. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in taludhelling en ondergrond van zand of klei, terwijl de significante golfhoogte de bepalende parameter is. Omdat gedetailleerde informatie over de onderlagen van de huidige bekleding ontbreekt, is gekozen de lijn voor een ondergrond van klei te gebruiken. Dit is de minst gunstige onderlaag. Voor de significante golfhoogte van  $H_s = 1,85$  meter volgt voor de minst gunstige taludhelling van 1 : 3,33 een benodigde dikte kleiner dan 0,20 meter. Voor flauwere taluds en zandondergronden is de laagdikte kleiner. Geconcludeerd mag worden dat de dimensionering op golfklappen niet maatgevend is. Grondonderzoek uitvoeren of een meer-lagen-berekening maken waarbij de oude asfaltlaag

als funderingslaag wordt meegerekend om de toplaagdikte te optimaliseren, heeft dus geen zin.

#### Dimensioneren op stroming

Bij waterbouwasfaltbeton is stroming niet relevant, aangezien deze bekleding niet of nauwelijks door stroming wordt aangetast.

#### Dimensioneren op overdrukken door golfbeweging

Golfbewegingen kunnen drukverschillen over de bekleding veroorzaken. Dit verschijnsel is voor waterbouwasfaltbeton niet maatgevend, omdat het asfaltbeton een plaatwerking kent en de eventuele overdrukken bij de minste vervorming wegvallen, omdat toestroming te veel tijd neemt.

#### Dimensioneren op kruierend ijs

Waterbouwasfaltbeton heeft een glad oppervlak en is daarom bestand tegen ijsbelastingen. Belangrijk aandachtspunt hierbij is dat de overgangsconstructie voldoende vlak moet zijn.

#### Ontwerpdikte overlaging

De minimale ontwerpdiktes voor de verschillende belastingen zijn bepaald en, voor zover relevant, in Tabel 5-1 naast elkaar gezet.

Tabel 5-1: Minimale ontwerpdiktes boven talud

Belasting situatie	Boventalud 1	Boventalud 2
Materiaal	WAB	WAB
Talud	1 : 3,37	1 : 3,33
Minimale dikte	0,10 meter	0,10 meter
Wateroverdruk door waterstandsverschil	0,30 meter	0,31 meter
Golfklappen	<0,20 meter	<0,20 meter

Het blijkt dat de overdrukken door een waterstandsverschil de maatgevende belasting is. De benodigde dikte van het waterbouwasfaltbeton wordt daarom voor variant 1: 0,30 meter en voor variant 2: 0,31 meter. Voor variant 2 moet er wel een strook open bekleding tussen het asfaltbeton en de gepenetreerde breuksteen worden gerealiseerd.

De laagdikte op de kruin kan kleiner zijn, omdat de wateroverdrukken hier nihil zijn.

#### 5.5.6

##### *Ondertalud*

Voor variant 2 wordt het ondertalud ook aangepast, zodat zinkstukken eenvoudiger van de zate in het water getrokken kunnen worden. Hiervoor wordt het grootste deel van de tuimeldijk afgegraven en een berm aangelegd met volledig gepenetreerd breuksteen.

##### Maximale steilheid talud

Voor waterbouwasfaltbeton is de maximale taludhelling afhankelijk van de zone waarin de bekleding aanwezig is.

- Zone IV (maximaal talud 1:1,7)
- Zone III (maximaal talud 1:3)

Het ondertalud bevindt zich in zone III. Hierdoor kan het talud niet steiler zijn dan 1:3. Het voorgestelde ontwerp voldoet daaraan.

#### Dimensioneren op wateroverdrukken

Volledig gepenetreerde breuksteen vormt een dichte bekleding die werkt als een plaat en is ondoorlatend voor water. Om de overdrukken onder de bekleding te reduceren is er een stuk open bekleding tussen het asfaltbeton en de gepenetreerde breuksteen opgenomen. Daarom, in combinatie met het feit dat de bekleding feitelijk op een berm ligt, hoeft er geen rekening te worden gehouden met statische wateroverdrukken.

#### Dimensioneren op golfklappen

De minimaal benodigde laagdikte voor dimensionering van gepenetreerde breuksteen op golfklappen wordt bepaald door de eis dat de bekleding goed te penetreren is.

Voor het penetreren is het van belang dat de stenen groot genoeg zijn om goede penetratie mogelijk te maken en klein genoeg om te voorkomen dat het gietasfalt te hard door de poriën wegstroomt. In de praktijk bruikbaar gevonden waarden voor normale gietasfalt samenstellingen zijn de volgende breuksteensorteringen:

- 5-40 kg (minimale laagdikte 0,30 meter)
- 10-60 kg (minimale laagdikte 0,35 meter)

De minimale laagdikte hangt af van de steengroottes. Uitgegaan wordt van een normale soortelijke massa van  $2650 \text{ kg/m}^3$ , waarbij een stabiele laag opgebouwd dient te worden uit gemiddeld twee stenen dik. Hiervoor is een laagdikte van 1,5 à 2 keer de nominale gemiddelde diameter  $d_{n50}$  nodig. Voor de gebruikelijke sorteringen leidt dit tot 0,30 meter (5-40 kg) respectievelijk 0,35 meter (10-60 kg).

De gevonden dikte van 0,17 meter ligt ruim beneden de minimale aanlegdikte voor gepenetreerde breuksteen van 0,30 meter, oftewel stabiliteit tegen golfklap is niet maatgevend.

#### Dimensioneren op stroming

Bij "vol en zat" gepenetreerde breuksteen is stroming niet relevant aangezien deze bekleding niet door stroming wordt aangetast. Voor volledig gepenetreerd breuksteen waarbij nog wat meer penetratiemortel aan het oppervlak aanwezig is, kan evenzeer worden aangenomen dat stroming geen relevant mechanisme is.

#### Dimensioneren op overdrukken door golfbeweging

Golfbewegingen kunnen drukverschillen over de bekleding veroorzaken. Dit verschijnsel kan maatgevend zijn in geval de golflengte  $L$  groter is dan de lengte van de bekleding  $l_b$ . Voor de locatie geldt:

- $L \approx g \cdot T^2 / (2 \cdot \pi) = 46 \text{ meter}$
- $l_b \approx 5 \text{ m}$
- $L > l_b$ , dus deze belasting kan maatgevend zijn

De minimaal benodigde laagdikte voor dit mechanisme wordt bepaald met de volgende formule:

$$d = \rho_w / \rho_a \cdot H / 2$$

Voor de gegevens van de locatie levert dit op:

$$d \geq \rho_w / \rho_a \cdot H / 2 = 1026 / 2450 \cdot 1,85 / 2 = 0,39 \text{ m}$$

#### Dimensioneren op kruiend ijs

“Vol en zat” gepenetreerde breuksteen heeft een vrij ruw oppervlak, maar de plaatwerking van het materiaal is voldoende sterk om ijsbelastingen te weerstaan. Volledig gepenetreerde breuksteen heeft een gladder oppervlak en zal daarom minder worden aangetast door kruiend ijs. Belangrijk aandachtspunt hierbij is dat de overgangsconstructies voldoende vlak moeten zijn.

#### Ontwerpdikte en materialen overlaging

De minimale ontwerpdiktes voor de verschillende belastingen zijn bepaald en, voor zover relevant, in onderstaande tabel naast elkaar gezet.

Tabel 5-2: Minimale ontwerpdiktes onder talud

Belasting situatie	Ondertalud 2
Materiaal	Volledig gepenetreerd breuksteen
Talud	1:20
Wateroverdruk door golfbeweging	0,40 meter
Golfklappen (minimale dikte)	0,30 meter

Het blijkt dat de wateroverdruk door golfbeweging de maatgevende belasting is. De dikte van de gepenetreerde breuksteen wordt daarom voor variant 2: 0,40 meter. De overlaging wordt uitgevoerd met standaard breuksteen sortering 10-60 kg, dat goed werkbaar is bij de gekozen laagdikte (ongeveer tweemaal de gemiddelde nominale diameter van de stenen).

De breuksteen wordt ingegoten met hiertoe geschikt gietasfalt tot aan de bovenkant van de stenen op een zodanige wijze dat er een glad en vlak oppervlak ontstaat waarover zinkstukken te water kunnen worden gelaten zonder verdere maatregelen.



## KATERN II: TOETSING

### 6 Toetsing

#### 6.1 Inleiding

Het toetsen van een waterkering (inclusief bekleding) in het kader van de door de Waterwet voorgeschreven 'periodieke toetsing' op veiligheid dient uitgevoerd te worden op basis van het vigerende Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) en onderliggende specialistische documenten (onder andere deze Handreiking). De tekst in dit deel van de Handreiking is gebaseerd op het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde [71]. Bij het verschijnen van deze Handreiking wordt volop gewerkt aan het toetsinstrumentarium voor de vierde toetsronde, waarbij een andere veiligheidsfilosofie zal worden gehanteerd.

Het VTV beschrijft het toetsproces en geeft de beoordelings- en rapportageverplichtingen. De toetssystematiek maakt onderscheid tussen het Technisch oordeel, op basis van toetsregels, en het Beheerdersoordeel. De toetsing volgens toetsregels bestaat uit maximaal drie stappen: de eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde toets.

- De eenvoudige toets is voor de verschillende toetssporen uitgewerkt in het VTV.
- Dit katern bevat de uitwerking van de gedetailleerde toets en handreikingen voor het uitvoeren van een geavanceerde toets voor de beoordeling van asfaltbekleding.

De toetsing beschreven in dit hoofdstuk gaat uit van een toetsing van eens per zes jaar. De rekenregels in deze paragrafen hebben betrekking op de volgende typen bekledingen:

1. Waterbouwasfaltbeton;
2. Geprefabriceerde open steenasfaltmatten (eventueel) met wapening;
3. Open steenasfalt;
4. Zandasfalt;
5. Breuksteen, gepenetreerd met asfalt ("vol en zat").

De volgende aanverwante bekledingstypen worden niet behandeld in dit hoofdstuk:

- Asfaltmastiek;
- Dicht steenasfalt;
- Gezette baksteen/betonsteen/basalt, gepenetreerd met asfalt ("vol en zat");
- Breuksteen, gepenetreerd met asfalt (patroonpenetratie).

In dit hoofdstuk worden de volgende stappen van de toetsing beschreven:

- §6.2: Verzamelen van gegevens;
- §6.3: Vakindeling;
- §6.4: Gedetailleerde toetsing;
- §6.5: Geavanceerde analyse;
- §6.6: Toetsing overgangsconstructies.

#### 6.2 Verzamelen gegevens

In deze paragraaf is nader uitgewerkt op welke wijze data over de asfaltbekleding wordt verzameld en hoe deze data vervolgens wordt geanalyseerd. Deze paragraaf is voornamelijk bedoeld voor het toetsen van asfaltbekledingen, omdat dit een steeds terugkerende activiteit is. Maar het toetsen van asfaltbekledingen is ook algemener toepasbaar. Het biedt ook een

handvat voor dataverzameling en verwerking bij de kwaliteitscontrole en oplevering bij aanleg van een bekleding.

#### 6.2.1 *Inspectie en meetmethoden*

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. Voor omschrijvingen van schadebeelden, de interpretatie ervan en de meetmethoden wordt verwezen naar hoofdstuk 9.

#### 6.2.2 *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 [66]. Daarnaast zijn er proefvoorschriften beschikbaar waarin gedetailleerd is vastgelegd op welke wijze de proeven moeten worden uitgevoerd [79]. 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.

#### Waterbouwasfaltbeton

De mechanische eigenschappen van waterbouwasfaltbeton worden bepaald in de driepuntsbuigopstelling. De volgende stappen zijn van belang:

##### 1. *Verkrijgen proefstukken door middel van kernboring*

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.

## 2. *Bepaling van de stijfheid*

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 meer representatief 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 omdat het asfalt niet bereikbaar is voor een meetvoertuig met aanhanger of omdat 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 Figuur 6-1.



Figuur 6-1: Bezijken van een proefstuk in de driepunts-buigopstelling

## 3. *Bepaling van de elasticiteitsmodulus*

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 standaardtestcondities, te weten een temperatuur van 5°C en een belastingfrequentie

van 10 Hz. Deze standaardcondities 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.

#### 4. *Bepaling van de sterkte*

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°C.

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 Hz 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 §6.2.3 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.

### Open steenasfalt

#### 1. *Verkrijgen proefstukken door middel van kernboring*

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 tenminste drie- tot viermaal 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.

2. *Bepaling van de elasticiteitsmodulus*

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. De gewenste minimale dikte van een schijf is driemaal 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 Figuur 6-2 is een voorbeeld gegeven van een ITT-opstelling.



Figuur 6-2: Schijf van open steenasfalt in de ITT-proefopstelling

Net als bij waterbouwasfaltbeton worden alle proeven bij open steenasfalt uitgevoerd bij een temperatuur van 5°C.

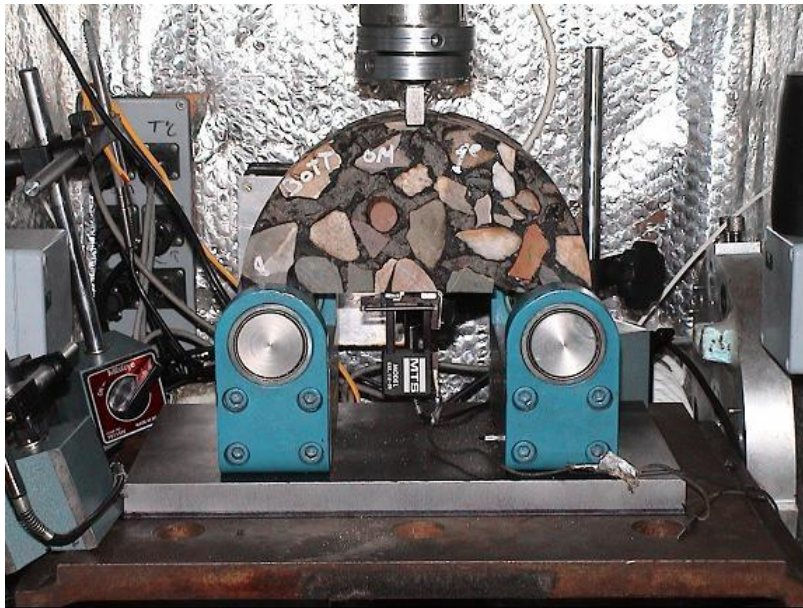
3. *Bepaling van de sterkte*

De breuksterkte en de vermoeiingseigenschappen worden bepaald met een semi-circular bending test (SCB). De opstelling voor de SCB-proef is gegeven in Figuur 6-3.

De breuksterkte en vermoeiingseigenschappen worden bepaald in de SCB-opstelling nadat eerst de elasticiteitsmodulus van de gehele schijf in de ITT-opstelling is bepaald.

Voor het bepalen van de breuksterkte wordt het proefstuk met een constante verplaatsingssnelheid 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.



Figuur 6-3: Een proefstuk van open steenasfalt in de SCB-opstelling

### 6.2.3 *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 asfaltdekkingsbekledingen 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 [66].

Met behulp van een lineaire regressie op dubbele log-schaal worden de coëfficiënten  $\alpha_v$  en  $\beta_v$  van de volgende vermoeiingsrelatie bepaald:

$$\log(\log(N_v)) = \beta_v + \alpha_v \cdot \log(\log(\sigma_b) - \log(\sigma_0))$$

Waarin:

$\sigma_b$	=	breuksterkte	[MPa]
$\sigma_0$	=	in de vermoeiingsproef opgelegde spanning	[MPa]
$N_v$	=	aantal opgelegde spanningsherhalingen tot breuk	[-]

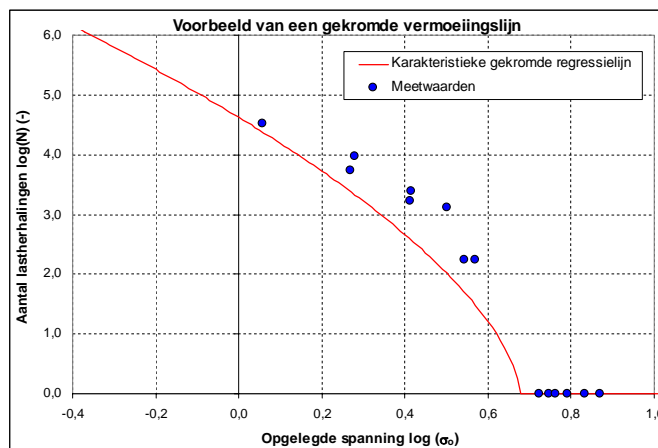
Deze regressie levert een schatting voor de verwachtingswaarde van het vermoeiingsgedrag. Bij een beoordeling van een asfaltbekleding dient echter enige veiligheid te worden ingebouwd. Dit wordt bij dit kromlijinig vermoeiingsmodel gedaan door gebruik te maken van de onzekerheid in de breuksterkte. De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

$$\log(N_v) = \beta_v \cdot (\log(\sigma_{b,5\%}) - \log(\sigma_0))^{\alpha_v}$$

Waarin:

$$\sigma_{b,5\%} = \text{de 5\%-waarde van de breuksterkte} \quad [\text{MPa}]$$

Een voorbeeld van een vermoeiingslijn is gegeven in Figuur 6-4.



Figuur 6-4: Bepalen van karakteristieke waarden van de vermoeiingsparameters

#### Statistische verwerking onderzoeksresultaten

Bij het uitvoeren van de *eenvoudige* en *gedetailleerde* 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 gebruikgemaakt 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:

$$X_{kar} = X_{gem} \pm t \cdot s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + 1}$$

Hierin is:

$$X_{kar} = \text{karakteristieke waarde}$$

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



t = factor voor het in rekening brengen van de onzekerheid als gevolg van een beperkt aantal waarnemingen in een steekproef (Student-t), zie Tabel 6-1

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

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 6-1: Factor t, geldig voor zowel een 5% -ondergrens als een 95% -bovengrens, 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 zodanig dat de kans dat een kleinere dikte wordt aangetroffen gelijk is aan 5% ( $d_{5\%}$ ). Als de laagdikte uit een beperkt aantal waarnemingen ter plaatse van geboorde kernen moet worden afgeleid, is de aanpak als volgt:

$$d_{5\%} = d_{\text{gem}} - t \cdot s \sqrt{\frac{1}{n} + 1}$$

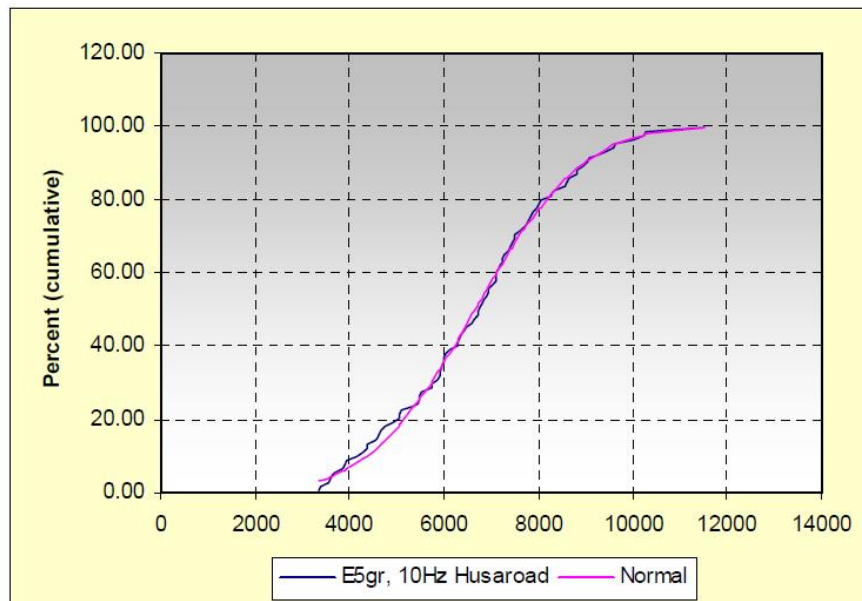
Hierin is:

$$d_{\text{gem}} = \text{gemiddelde laagdikte} \quad [\text{m}]$$

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 gebruikmaken van een cumulatieve frequentieverdeling de voorkeur. De cumulatieve frequentieverdeling wordt bepaald volgens 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 6-5 geeft een voorbeeld voor de E-modulus van het asfalt.



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

### 6.3 Vaststellen vakindeling

Op basis van de volgende gegevens wordt een (horizontale) dijkvakindeling gemaakt:

- Besteksgrenzen;
- Verschillen in hydraulische randvoorwaarden;
- Verschillen in dwarsprofiel;
- Verschillen in kwaliteit van asfalt;
- Verschillen in mengselsamenstelling;
- Verschillen in type ondergrond.

### 6.4 Gedetailleerde toetsing

De gedetailleerde toetsing van asfaltbekledingen vindt plaats op basis van de volgende beoordelingssporen:

- Materiaaltransport (AMT);
- Ernstige schade (AES);
- Golfklap (AGK);
- Bezwijken van de onderlaag (ABO);
- Wateroverdruk (AWO).

#### 6.4.1 *Materiaaltransport (AMT)*

Voor dit beoordelingsspoor bestaat geen gedetailleerde beoordeling, de eenvoudige beoordeling verwijst direct door naar de geavanceerde beoordeling.

6.4.2 *Ernstige schade (AES)*

Een gedetailleerde toets voor de beoordeling van een asfaltbekleding op Ernstige schade is niet beschikbaar. Voor de geavanceerde analyse wordt verwezen naar §6.5.2.

6.4.3 *Golfklap (AGK)*

Voor bekledingen van gepenetreerde breuksteen kan een gedetailleerde toets op het faalmechanisme Golfklap niet worden toegepast. In dat geval wordt de toetsing direct voortgezet met een geavanceerde analyse.

De Gedetailleerde toets op Golfklap wordt uitgevoerd met het computerprogramma GOLFKLAP [92]. De inputparameters zijn weergegeven in §6.4.3.3.

Indien het resultaat gunstig is, is de deelscore voor Golfklap gelijk aan 'voldoet';

Indien het resultaat van de beoordeling met GOLFKLAP 'onvoldoende' is, wordt de toetsing voortgezet met een geavanceerde analyse in §6.5.3.

6.4.3.1 *Toetsing met GOLFKLAP*

De gedetailleerde toetsing wordt uitgevoerd met het computerprogramma GOLFKLAP [92]. In §6.4.3.3 staat beschreven welke invoerparameters nodig zijn en hoe deze kunnen worden bepaald: het betreft de laagdikte, de beddingsconstante van de ondergrond, elasticiteitsmodulus, de sterkte en de hydraulische randvoorwaarden. Van alle materiaaleigenschappen worden veilige karakteristieke waarden bepaald.

Het GOLFKLAP-model berekent of de bekleding bestand is tegen de schade door de golfklapbelasting. De schade wordt uitgedrukt in de zogenaamde Minersom. Dit getal is de som van de relatieve schade die elke golfklap op het materiaal teweegbrengt. Is dit getal groter dan 1 dan is de belasting groter dan de asfaltlaag kan weerstaan en zal het asfalt scheuren.

De toetsregel in deze stap is als volgt:

- De score is 'goed' bij:  $\text{Minersom} < 1$ ;
- De score is 'twijfelachtig' bij:  $1 \leq \text{Minersom} \leq 10$ ;
- De score is 'onvoldoende' bij:  $\text{Minersom} > 10$ .

Een score 'goed' is tevens de eindscore. Bij een score 'twijfelachtig' is een geavanceerde analyse nodig. Een score 'onvoldoende' in deze stap geldt direct als eindscore.

Er zijn enkele gevallen die speciale aandacht behoeven:

- Ten aanzien van asfaltbekledingen op een berm is de werkwijze hetzelfde als in de Eenvoudige methode: ten aanzien van de bekledingseigenschappen worden de werkelijk op de berm aanwezige waarden gebruikt, maar voor de taludhelling en de golfbelasting worden de waarden gebruikt van het talud onder de berm. Het vervolg van de toetsing is hetzelfde als voor asfaltbekledingen op een talud;
- Ten aanzien van samengestelde lagen (bijvoorbeeld een toplaag van open steenasfalt op een onderlaag van zandasfalt) wordt in een gedetailleerde toetsing in eerste instantie alleen gerekend met de toplaag. Als hieruit geen score 'goed' volgt, is het mogelijk om de samengestelde laag door te rekenen met GOLFKLAP. Hiervoor is specialistische hulp nodig.



#### 6.4.3.2 Belastingkenmerken golfklap

De bovengrens van de golfklapzone ligt op Toetspeil +  $\frac{1}{4} \cdot H_s$ . De ondergrens ligt op Gemiddeld Laagwater (GLW) zie Figuur 7-3. Gemiddeld laagwater wordt bepaald door de gemiddelde buitenwaterstand minus, in geval van locaties waar sprake is van getij, de gemiddelde getijamplitude (GGA). Voor de gemiddelde getijamplitude (GGA) kan worden uitgegaan van de gemiddelde getijamplitude volgens het astronomisch getij voor de betreffende locatie, middeling vindt plaats over de toetsperiode. Voor zeedijken kan voor de gemiddelde waterstand worden uitgegaan van NAP, voor rivierdijken wordt het winterpeil aangehouden en voor meerdijken is dit het winterstreefpeil.

Bij veel dijken ligt de ondergrens van de asfaltbekleding overigens hoger dan gemiddeld laagwater, bijvoorbeeld bij zeedijken waar het voorland op NAP-niveau of hoger ligt.

Voor dit beoordelingsspoor bestaat de belasting uit golfaanval gedurende de maatgevende storm, uitgedrukt in het verloop van de stilwaterlijn tijdens de storm, de significante golfhoogte  $H_s$  en de gemiddelde golfperiode  $T_g$ . Afhankelijk van het golfspectrum is de gemiddelde golfperiode 10 à 30% kleiner dan de piekperiode  $T_p$ . Voor de toetsing wordt de volgende verhouding gebruikt:  $T_g = T_p / 1,28$ . Indien nodig kan hierover contact worden gezocht met de Helpdesk Water. Het verloop van de stilwaterlijn tijdens de storm is van belang omdat de vermoeiing van de bekleding afhangt van het aantal golfklappen.

Daarnaast is het Toetspeil van belang, omdat daardoor de bovengrens van de golfklapzone wordt bepaald. De meeste golfklappen vinden iets onder de stilwaterlijn plaats. Daarom moet voor de toetsing van een asfaltbekleding op een bepaald niveau worden gerekend met de golven die horen bij een waterstand die de helft van de golfhoogte  $H_s$  hoger ligt, maar niet hoger dan Toetspeil. Het rekenmodel GOLFKLAP houdt hier al rekening mee voor de gedetailleerde toetsing.

Bij de beoordeling wordt gebruikgemaakt van hydraulische parameters die behoren bij windgolven; scheepsgolven zijn zelden of nooit maatgevend voor asfaltbekledingen omdat de belastingduur altijd kort is.

#### 6.4.3.3 Invoerparameters GOLFKLAP

##### Parameters

De weerstand van de asfaltbekleding tegen het bezwijken onder golfklappen wordt bepaald door de kwaliteit van het asfalt en door de laagdikte. Ten aanzien van de kwaliteit wordt de eenvoudige toetsing gebaseerd op mengselsamenstelling, leeftijd en holle ruimte (van waterbouwasfaltbeton) of mortelgehalte (van open steenasfalt). Deze parameters worden bepaald met het zogenoemde standaardonderzoek. In de gedetailleerde toetsing wordt daarnaast naar de sterkte en stijfheid van het asfalt gekeken. Deze worden bepaald met mechanisch onderzoek. De verschillende vormen van gegevensverzameling voor het spoor Golfklap worden verderop in deze paragraaf behandeld.

De laagdikte speelt een rol in alle toetsingsniveaus. Bij de toetsing wordt voor de rekenwaarde van de aanwezige laagdikte de zogenaamde 'karakteristieke waarde' gebruikt: de waarde voor de laagdikte met een onderschrijdingskans van 5% ( $d_{5\%}$ ). De wijze van bepaling van  $d_{5\%}$  is afhankelijk van de beschikbaarheid van informatie (alleen besteksgegevens of ook metingen):

- Als alleen een bestekswaarde bekend is, kan worden gerekend met een veilige schatting, afhankelijk van het type asfaltbekleding:
  - Voor met asfalt gepenetreerde breuksteen zijn nooit meetwaarden bekend; daarvoor geldt:  $d_{5\%} = 0,7 \cdot \text{bestekslaagdikte}$ ;

- Bij alle andere typen is de diktevariatie kleiner:  $d_{5\%} = 0,8 \cdot \text{bestekslaagdikte}$ ;
- Als wél metingen beschikbaar zijn, kan de 5%-grens worden bepaald uit de cumulatieve frequentieverdeling van de waarnemingen, of bij een gering aantal waarnemingen uit een karakteristieke waarde conform Tabel 6-1.

#### Gegevensverzameling

Voor het bepalen van de aanwezige sterkte van de bekleding is informatie nodig over laagdikte en materiaaleigenschappen. Daarvoor is in ieder geval een visuele inspectie nodig. Als de schade gering is, is het mogelijk om de aanleg- of besteksgegevens te gebruiken. Als de resultaten van de visuele inspectie daartoe aanleiding geven (zie §6.2), moeten de sterkte en stijfheid worden bepaald door het nemen en onderzoeken van boorkernen (mechanisch onderzoek) op deze schadeplekken. Als er onvoldoende aanleg- en besteksgegevens bekend zijn, moet een standaardonderzoek worden uitgevoerd. Als de veroudering van de bekleding daartoe aanleiding geeft, moet een combinatie van niet-destructieve veldmetingen en mechanisch laboratoriumonderzoek worden uitgevoerd. Niet-destructieve veldmetingen omvatten grondradarmetingen (GPR) en valgewicht-deflectiemetingen (VGD). In een Werkwijzebeschrijving [66] is de aanpak gedetailleerd beschreven.

#### Gegevensverzameling indien al eerder de sterkte en stijfheid zijn bepaald

Indien al eerder de sterkte en stijfheid van de bekleding door een combinatie van niet-destructieve veldmetingen en mechanisch laboratoriumonderzoek zijn bepaald, hoeft dit niet voor elke toetsing te worden herhaald. In dit geval kan met een beperkt onderzoek worden nagegaan of de eerder bepaalde sterkte en stijfheid nog steeds mogen worden gehanteerd bij de toetsing. Hiervoor wordt gebruikgemaakt van niet-destructieve metingen. Is dit niet het geval, dan moeten de sterkte en stijfheid opnieuw worden bepaald. In een werkwijzebeschrijving [66] is de aanpak gedetailleerd beschreven.

#### Aanleg- en besteksgegevens

De aanleggegevens zijn niet altijd bekend of voldoende bekend. Als de gegevens van minder dan acht monsters van één uitgevoerd werk bekend zijn, is dit onvoldoende. In dat geval moet een beperkt boorprogramma worden uitgevoerd. Voor een beperkt boorprogramma worden op een dijkstrekking acht kernen met een diameter van 100 mm geboord. De strekking wordt verdeeld in minimaal acht secties van gelijke lengte, waarbij de lengte niet groter mag zijn dan 250 meter. De coördinaten van de boorlocatie worden in iedere sectie op aselechte wijze gekozen (in de golfklap- en/of overdrukkenzone). Als dijkstrekking wordt een dijkdeel genomen waarvan de asfaltsamenstelling redelijk constant wordt verondersteld. Hierbij kan worden gedacht aan een bekleding die binnen één contract (bestek) is gemaakt. Op de boorkernen wordt een standaardonderzoek uitgevoerd.

Als er wél voldoende informatie is over mengselsamenstelling en kwaliteit maar niet over de laagdikte, kan de eenvoudige toetsing op Golfklap en Wateroverdruk worden uitgevoerd op basis van een veilige aanname voor de laagdikte op basis van besteksgegevens (zie de tekst onder het kopje Parameters eerder in deze paragraaf). Het is dus niet nodig om alleen voor de bepaling van de laagdikte een boorprogramma uit te voeren.

#### Standaardonderzoek

In het standaardonderzoek worden de parameters bepaald die nodig zijn voor de eenvoudige toetsing. Het onderzoek bestaat per kern uit het bepalen van:

- Laagdikte;
- Samenstelling;
- Dichtheid van het mengsel;

- Bitumenkwaliteit (deze parameter wordt normaal gesproken wel bepaald, maar is strikt genomen niet nodig voor de toetsing);
- Dichtheid van het proefstuk;
- Holle ruimte.

Zie voor de methode van het standaardonderzoek de Standaard RAW Bepalingen [9].

#### Niet-destructief onderzoek ter bepaling van de laagdikte en stijfheid

Voor de gedetailleerde toetsing op Golfklap is informatie over de laagdikte en stijfheid van het asfalt nodig; dit wordt bepaald met niet-destructief onderzoek. Met valgewicht-deflectiemetingen (VGD) in de golfklapzone wordt de stijfheid van de bekleding en de ondergrond bepaald. Uit de stijfheid van de ondergrond wordt de beddingsconstante berekend. Om de stijfheden uit de VGD-metingen te kunnen bepalen moet de laagdikte bekend zijn. Deze wordt bepaald met grondradarmetingen (GPR). Op basis van de VGD-metingen worden de locaties bepaald waar boorkernen worden genomen voor mechanisch onderzoek. In een Werkwijzebeschrijving [66] is de aanpak gedetailleerd beschreven.

#### Mechanisch onderzoek ter bepaling van sterkte

Voor de gedetailleerde toetsing op Golfklap is informatie over de sterkte van het asfalt nodig; dit wordt bepaald met mechanisch onderzoek. Uit de boorkernen worden proefstukken gezaagd. Deze worden in het laboratorium beproefd, zodat de materiaaleigenschappen kunnen worden bepaald. Bij waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt worden met dynamische proeven in het laboratorium de stijfheid (elasticiteitsmodulus  $E_{dyn}$ ) en de sterkte van het asfalt bepaald. Daarnaast wordt een standaardonderzoek uitgevoerd op de monsters waarvan de mechanische eigenschappen worden bepaald ter onderbouwing van de resultaten. Voor Golfklap zijn in het bijzonder de mechanische eigenschappen onderin de asfaltlaag van belang, omdat het bij dit mechanisme gaat om buiging van het asfalt onder de golfklapbelasting. In een Werkwijzebeschrijving [66] is de aanpak gedetailleerd beschreven.

#### 6.4.3.4 Reststerkte bekleding

Op dit moment wordt een asfaltbekleding zo ontworpen dat de optredende spanningen ten gevolge van golfklappen de bezwijkspanning nooit zullen overschrijden. In werkelijkheid begint de bekleding op het moment dat de bezwijkspanning wordt overschreden van onder af te scheuren en volgt er een scheurgroefase waarin scheuren onder invloed van herhaalde belasting door de bekleding heen groeien. De duur van deze scheurgroefase kan een belangrijke bijdrage leveren aan de totale levensduur, omdat de (gedeeltelijk) gescheurde bekleding nog een zekere reststerkte heeft. Vanwege de scheurgroefase en een eventueel daaropvolgende fase van marginale erosie door de scheur, is het zo dat bezwijken volgens de ontwerpberoeeningen niet direct leidt tot falen van de bekleding. Dit maakt dat doorrekenen tot een Minersom van 1 toelaatbaar is.

#### 6.4.4 *Bezwijken van de onderlaag (ABO)*

Een gedetailleerde toets voor de beoordeling van een asfaltbekleding op Bezwijken van de onderlaag is niet beschikbaar. Voor de geavanceerde analyse wordt verwezen naar §6.5.4.

#### 6.4.5 *Wateroverdruk (AWO)*

Een gedetailleerde toets voor de beoordeling van een asfaltbekleding op Wateroverdruk is niet beschikbaar. Voor de geavanceerde analyse wordt verwezen naar §6.5.5.

## 6.5 Geavanceerde analyse

### 6.5.1 *Materiaaltransport (AMT)*

De geavanceerde toets op Materiaaltransport bestaat uit het nader onderzoek van scheuren en naden met als doel de sterkte van de gescheurde constructie te beoordelen en de aard van de scheuren en naden vast te stellen.

Voor het onderzoek worden drie kernen (diameter 100 mm) geboord op plaatsen met de grootste scheur- of naadbreedte. Aan de kernen worden de laagdikte, de scheur- of naaddiepte en het breedteverloop gemeten.

Voor een score 'goed' moet worden voldaan aan beide voorwaarden:

- De scheur of naad is niet doorgaand;
- De scheur- of naaddiepte is kleiner dan de helft van de oorspronkelijke laagdikte.

Indien aan één van de voorwaarden niet wordt voldaan, wordt de score 'voldoet niet' toegekend aan het beoordelingsspoor Materiaaltransport. Bij twijfel aan het oordeel kunnen meer dan drie kernen worden geboord.

### 6.5.2 *Ernstige schade (AES)*

Voor een geavanceerde analyse kan contact worden opgenomen met daartoe gespecialiseerde bureaus. Vanwege de hoge kosten van een geavanceerde analyse is reparatie van de aangetroffen schade doorgaans de beste keuze.

### 6.5.3 *Golfklap (AGK)*

De nadruk voor de geavanceerde analyse zal in het algemeen liggen bij gegevensverzameling, waarbij ook geavanceerde meetmethodes kunnen worden gebruikt.

Als de geavanceerde analyse voortkomt uit het feit dat met GOLFKLAP in de gedetailleerde toetsing niet kan worden aangetoond dat de aanwezige laagdikte volstaat, kan overwogen worden om meer gegevens in te winnen. Hierbij kunnen ook geavanceerde meetmethodes worden gebruikt. De belangrijkste parameters zijn dan de sterkte (vermoeiingssterkte en breuksterkte), de stijfheid en de laagdikte van de bovenlaag en de beddingsconstante van de ondergrond. Ook een faalkansanalyse kan dan onderdeel uitmaken van een geavanceerde toetsing. Bij een faalkansanalyse wordt op basis van de spreiding in de relevante materiaalparameters een overschrijdingskans van de Minersom bij een gegeven belastingniveau bepaald. Een voorbeeld van een uitgevoerde faalkansanalyse is in deze paragraaf uitgewerkt.

Als de geavanceerde analyse wordt bereikt als gevolg van geconstateerde aantasting van het oppervlak (eenvoudige toets) ligt het voor de hand om de aantasting van het oppervlak nader te bestuderen. Het onderzoek van de aantasting heeft ten doel de eigenschappen van het bekledingsmateriaal ter plaatse van de aantasting te bepalen. Op basis van deze actuele bepaling van het mechanisch materiaalgedrag (de eigenschappen) op een bepaalde aangetaste locatie is de bekleding op het meest nauwkeurig te beoordelen op Golfklap. Het onderzoek kan ook informatie opleveren over de oorzaak van de geconstateerde aantasting. De oorzaak van de aantasting is een relevant gegeven, omdat er een verschil tussen de verwachte en aangetroffen situatie is.

Als de geavanceerde analyse wordt bereikt als gevolg van te hoge golfrandvoorwaarden (eenvoudige toets), dan dienen ook andere mogelijke faalmechanismen als gevolg van golfaanval te worden onderzocht. Om verweking van de ondergrond als gevolg van

golfklappen uit te kunnen sluiten, zullen de verdichtingsgraad van het dijklichaam en de ligging van de freatische lijn bepalend zijn.

Bij een gunstig resultaat is de deelscore voor Golfklap 'voldoet'.

#### Voorbeeld faalkansanalyse met GOLFKLAP

Om meer inzicht te krijgen in de overschrijdingskans van de berekende Minersom kan een faalkansanalyse worden uitgevoerd. Deze analyse geeft inzicht op basis van de spreiding van de materiaalparameters. Als de karakteristieke waarden van de laagdikte, de beddingsconstante, de elasticiteitsmodulus en de breuksterkte bekend zijn, kan de kans berekend worden dat de Minersom groter is dan 1. Grote spreiding in de materiaalparameters leidt tot een grote onzekerheid in de Minersom.

Een voorbeeld van een faalkansanalyse wordt hier gegeven. In het jaar 2005 is een toetsing uitgevoerd op een oude asfaltbekleding. Uit de gedetailleerde beoordeling bleek dat de bekleding afgekeurd zou worden, er werd een Minersom groter dan 5 berekend. Om vast te stellen wat de overschrijdingskans van deze Minersom was, is een faalkansanalyse uitgevoerd.

De faalkansanalyse bestaat uit een probabilistische berekening die de Niveau 2 klasse 1 berekening wordt genoemd [94]. Om inzicht te krijgen in de veiligheidsmarges in de dijkbeoordelingsprocedure, kunnen een viertal probabilistische berekeningen worden uitgevoerd:

- *Niveau I berekening*: Dit is de deterministische berekening op basis van karakteristieke waarden zoals die nu wordt toegepast;
- *Niveau II klasse 1 berekening*: Deze berekening staat ook wel bekend als de "gemiddelde waarde berekening". Deze berekening leidt onder strikte voorwaarden tot een exact resultaat. Aangezien vrijwel nooit aan deze strikte voorwaarden voldaan wordt, kan eventueel met behulp van een niveau III berekening worden nagegaan in hoeverre deze niveau II klasse 1 berekening een goede benadering is;
- *Niveau II klasse 2 berekening*: Deze berekening staat ook wel bekend als de "ontwerp punt berekening". Deze berekening lijkt zeer sterk op de Niveau II klasse 1 berekening. Echter door de variatieberekeningen niet rond de gemiddelde waarde, maar rond het punt met de grootste kansbijdrage te maken, is de klasse 2 berekening nauwkeuriger wanneer niet aan de strikte voorwaarden wordt voldaan;
- *Niveau III berekening*: Deze berekening is een exacte berekening. Bij deze berekening wordt alle beschikbare data individueel beschouwd. Voor iedere set aan data wordt een berekening gemaakt, waardoor de verdeling van het resultaat van deze berekeningen exact is.

De gedetailleerde beoordeling is in feite een Niveau I berekening. Nadeel is dat deze berekening geen inzicht geeft in faalkansen. De Niveau III berekening is zeer tijdrovend. Daar staat tegenover dat deze berekening een exacte verdeling van de faalkans geeft. De beide Niveau II berekeningen vergen ten opzichte van de Niveau I berekening slechts weinig extra rekenwerk en geven naar verwachting een zeer goede indruk in de faalkans. Gebleken is dat het verschil tussen de niveau II, klasse 1 berekening en de niveau III berekening gering zijn.

Met een Niveau II berekening is het mogelijk om met weinig moeite een betrouwbaar beeld van de verdeling van de Minersom over een dijkvak te verkrijgen. Een Niveau II berekening geeft een exact resultaat wanneer wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- $\frac{\delta M}{\delta x_i} = \text{const}_i$ , dat wil zeggen alle verbanden zijn lineair en dus zijn alle afgeleiden constant.
- Er is geen covariantie, dat wil zeggen de variabelen hebben geen onderlinge afhankelijkheid.
- Alle verdelingen zijn normale verdelingen.

Waarbij:

M = Minersom  
 $x_i$  = Verklarende variabelen, in het voorliggende geval stijfheid, laagdikte, beddingsconstante en breuksterkte

*Opmerking:*

Er zal wel een beperkte afhankelijkheid zijn. Een verandering van de stijfheid zal over het algemeen ook gepaard gaan met een verandering van vermoeiingseigenschappen. Een verandering van de laagdikte zal ook een verandering van de stijfheid tot gevolg hebben.

Berekening van de verdeling van de Minersom

Uit de radarmetingen en de valgewicht-deflectiemetingen zijn gemiddelde waarden ( $\mu$ ), respectievelijk standaardafwijking ( $\sigma$ ) gevonden voor log beddingsconstante (log c), laagdikte (d) en log stijfheid (log E). Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de breuksterkte ( $\sigma_{\text{breuk}}$ ) zijn ontleend aan de laboratoriumproeven.

Er zijn per vak vijf berekeningen van de Minersom gemaakt met GOLFKLAP 1.3. Hierbij zijn de invoerparameters log(c), d, log(E) en log( $k_v$ ) gevarieerd. Elke berekening levert een Minersom ( $M_{1..5}$ ) op. De eerste berekening wordt uitgevoerd met de gemiddelde waarden van log(c), d, log(E) en log( $k_v$ ). Deze Minersom ( $M_1$ ) is de gemiddelde waarde van de verdeling van de Minersom. De standaardafwijking van de verdeling wordt berekend door met de waarden van log(c), d, log(E) en log( $k_v$ ) te variëren door tweemaal de standaardafwijking bij de gemiddelde waarde op te tellen of af te trekken.

Vervolgens zijn benaderingen voor de afgeleiden van log Minersom naar log (c), d, log (E) en log( $k_v$ ) bepaald:

$$\frac{\delta(\log \text{Minersom})}{\delta(\log c)} = \frac{M_2 - M_1}{-2\sigma_c}$$

$$\frac{\delta(\log \text{Minersom})}{\delta(\log d)} = \frac{M_3 - M_1}{-2\sigma_d}$$

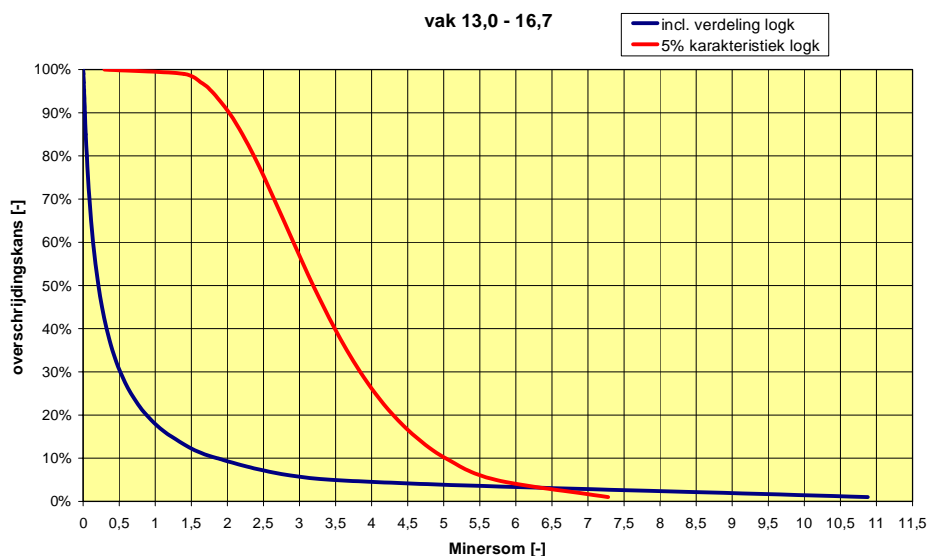
$$\frac{\delta(\log \text{Minersom})}{\delta(\log E)} = \frac{M_4 - M_1}{-2\sigma_E}$$

$$\frac{\delta(\log \text{Minersom})}{\delta(\log k_v)} = \frac{M_5 - M_1}{-2\sigma_{\log k_v}}$$

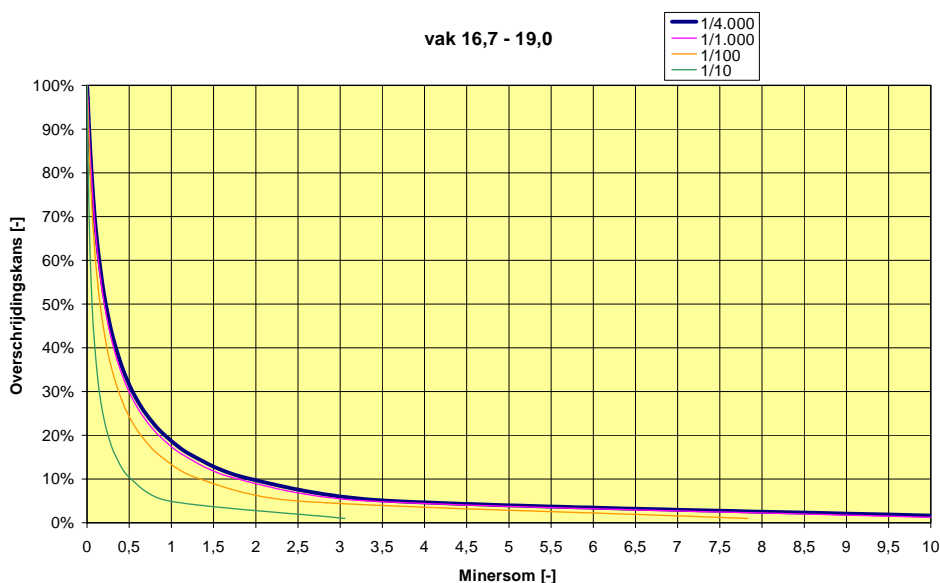
Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de log Minersom zijn bepaald met de volgende vergelijkingen:

$$\mu_{\log \text{minersom}} = M_1$$

Het resultaat is een lognormale verdeling van de Minersom waaruit de overschrijdingskans van de Minersom berekend kan worden. De berekende verdeling is weergegeven in onderstaande afbeelding.



Figuur 6-6: Berekende overschrijdingskans van de Minersom



Figuur 6-7: Overschrijdingskans van de Minersom bij verschillende hydraulische randvoorwaarden

Het resultaat van de berekening is een overschrijdingskans van de Minersom van 18%. Dit is de overschrijdingskans van de Minersom bij de hydraulische randvoorwaarden zoals gebruikt in de gedetailleerde beoordeling. Uitgaande van de overbelastingsbenadering kan voor bekledingen worden gesteld dat - gegeven het optreden van de maatgevende randvoorwaarden - een faalkans kleiner dan 1% acceptabel is, terwijl een faalkans groter dan 10% onvoldoende veiligheid biedt. Door met hydraulische randvoorwaarden te rekenen met verschillende kansen van voor komen, kan inzicht verkregen worden in de over-

schrijdingskans bij verschillende hydraulische randvoorwaarden. Dit is weergegeven in onderstaande afbeelding.

Het bovenstaande voorbeeld van een geavanceerd beoordeling, een faalkansanalyse, biedt gegevens op basis waarvan de beslissing kan worden genomen om de bekleding te repareren of te reconstrueren.

#### 6.5.4 *Bezwijken van de onderlaag (ABO)*

Bij de beoordeling van de reststerkte van een onderlaag van zandasfalt is van belang of met het zandasfalt al rekening is gehouden bij de beoordeling op Golfklap. Als in de toetsing op Golfklap alleen met de toplaag is gerekend, wordt de toetsing vervolgd met de geavanceerde analyse. Die kan in dit specifieke geval bestaan uit een berekening met GOLFKLAP waarin het tweelagensysteem is verwerkt; hiervoor is specialistische inbreng nodig. Uit deze GOLFKLAP-berekening volgt de reststerkte van de gecombineerde laag.

#### 6.5.5 *Wateroverdruk (AWO)*

Als de eenvoudige toetsing niet mogelijk is of als de laagdikte iets te kort schiet, dan ligt het als eerste stap voor de hand om gebruik te maken van een niet-stationair grondwaterstromingsprogramma om de maximale overdruk onder de bekleding te bepalen. Hierbij hoort een gevoeligheidsanalyse met parameterwaarden binnen de range waarvan bekend is dat ze voorkomen. Het verloop van de stilwaterlijn tijdens de storm wordt bepaald zoals aangegeven in het vigerende WTI. Hierbij daalt de stilwaterlijn over een periode van een halve stormduur van Toetspeil naar Gemiddeld Laag Water (GLW) respectievelijk Streefpeil (SP). Bij de toetsing moet het belastinggeval worden beschouwd van een extreme waterstand met bijbehorende neerslag. Veelal is het mogelijk om door gericht lokaal onderzoek te doen minder conservatieve parameterwaarden te bepalen.

Als de geavanceerde analyse moet worden uitgevoerd omdat er sprake is van een doorlatende laag onder de dichte asfaltbekleding, dient ook golfterugtrekking bij de hoogst mogelijke grondwaterstand als mogelijk belastinggeval te worden beschouwd.

#### 6.6 Toetsing van overgangsconstructies

De geavanceerde analyse bestaat uit een onderzoek van de overgangsconstructie. Het doel van het onderzoek van de overgangsconstructie is de kwaliteit of restwaarde van overgangsconstructies met schade te beoordelen. De constructies bij overgangen zijn zo divers dat een exacte beschrijving van een onderzoek van een overgangsconstructie niet is te geven. In het onderzoek moet worden aangetoond dat de constructieovergang zijn functie nog kan vervullen. Dit gebeurt aan de hand van de constructietekeningen. Een opsomming van de zwaktes van de aanwezige overgangsconstructie en een inschatting van de risico's moeten onderdeel van het onderzoek van de overgangsconstructie uitmaken.



## 7 Toetsing voorbeeld

### 7.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een voorbeeld dat duidelijk laat zien hoe het toetsen van een asfaltbekleding verloopt. Het voorbeeld wordt ondersteund door illustraties van resultaten van uitgevoerde metingen.

Om een beschrijving van het toetsproces te geven, zijn gegevens van verschillende projecten verzameld. De gegevens zijn geanonimiseerd om te voorkomen dat verwarring ontstaat over een fictief toetsoordeel en een werkelijk toetsoordeel.

Als opzet van dit hoofdstuk is gekozen om de opeenvolgende stappen uit deze Handreiking te volgen. In §7.2 is een algemene beschrijving gegeven van een waterbouwasfaltbetonbekleding. §7.3 geeft een beschrijving van de voorbereidingen die worden getroffen voordat met de toetsing wordt begonnen. Hierna is in §7.4 de toetsing beschreven conform de stappen in het VTV2006 (eenvoudige toets) en in hoofdstuk 6 (gedetailleerde en geavanceerde toets).

### 7.2 Projectomschrijving

#### 7.2.1 Inleiding

Veel van de waterbouwasfaltbetonbekledingen in Nederland zijn aangelegd in de jaren 60 en 70. Er is in totaal een 600 kilometer waterbouwasfaltbetonbekleding aanwezig op de waterkeringen. De primaire functie van de bekleding is het beschermen van het dijklichaam tegen uitspoeling. De toetsing op veiligheid is ingericht op vier faalmechanismen:

- Bezwijken van de bovenlaag door golfklappen;
- Opdrukken van de bovenlaag door wateroverdruk al dan niet samen met de onderlaag;
- Uitspoeling van het dijklichaam van onder de bekledingsconstructie;
- Bezwijken van de onderlaag bij bezwijkende bovenlaag.

De vier faalmechanismen resulteren in vijf beoordelingssporen:

- Beoordeling ernstige schade;
- Materiaaltransport;
- Golfklap;
- Wateroverdruk;
- Bezwijken van de onderlaag.

Deze beoordelingssporen zijn beschreven in hoofdstuk 6.

#### 7.2.2 Beschrijving dijktraject

Het dijktraject beschreven in dit toetsvoorbeeld is geanonimiseerd weergegeven. In het algemeen zijn waterbouwasfaltbetonbekledingen aanwezig boven de getijzone. In veel gevallen bevindt zich een (koperslak-)blokkenbekleding onder het waterbouwasfaltbeton. Boven het waterbouwasfaltbeton is een grasbekleding of duinzand aanwezig. De taludhelling kan variëren tussen de 1:3 en 1:7. Ook is vaak een tussenberm aanwezig op de bekleding die wordt gebruikt door fietsverkeer.

De toetsprocedure wordt gevolgd voor het geval dat voor de eerste keer een toetsing wordt uitgevoerd. Er wordt kort ingegaan op het geval dat er al een keer een toetsing heeft plaatsgevonden.

Als voorbeeld wordt een asfaltbekleding behandeld van 5,6 km lang. De asfaltbekleding ligt aan de Noordzee. Uit het archiefonderzoek blijkt dat de asfaltbekleding is aangelegd onder twee bestekken 79/1956 en 122/1961. Het eerste deel is 2,4 km lang (dijkpaal 0 – 2,4) en heeft op moment van toetsen (2012) een leeftijd van 56 jaar. Het tweede deel is 3,2 km lang (dijkpaal 2,4 – 5,6) en is 51 jaar oud. In Figuur 7-1 is een deel van de bekleding weergegeven.



Figuur 7-1: Asfaltbekleding toetsvoorbeeld

### 7.3 Voorbereidingen

#### 7.3.1 *Inleiding*

De toetsing van een asfaltdijkbekleding kan bestaan uit veldmetingen en laboratoriumonderzoek. Het is daarom van belang om tijdens de voorbereiding rekening te houden met een doorlooptijd van de toetsing van een aantal maanden. Ook is het van belang om rekening te houden met de maximale asfalttemperatuur van 15°C die in sommige gevallen van toepassing is. Hierdoor is het aan te bevelen het project zo te plannen dat de metingen in het voorjaar of najaar uitgevoerd worden, zodat de kans op vertraging van het project door te hoge temperaturen klein is.

#### 7.3.2 *Gegevens verzamelen*

Om de toetsing te kunnen starten, is het noodzakelijk over een aantal basisgegevens te beschikken. In de voorbereiding op de toetsing is het daarom van belang de volgende gegevens te verzamelen:

- Besteksgegevens (dwarsprofiel, leeftijd, opleveringscontroles, et cetera);
- Locatiegegevens (kilometrering, GPS-coördinaten dijkkpalen, et cetera);
- Gegevens eerder uitgevoerde toetsingen (meetgegevens, rapporten, et cetera);
- Hydraulische randvoorwaarden (toetspeil, langjarig gemiddelde waterstand en getijamplitude, significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode);
- Gegevens over de toegang tot de bekleding.

Op basis van deze gegevens kan worden bepaald welke delen van de asfalttoetsing uitgevoerd dienen te worden. Als het nodig is om een gedetailleerde toetsing uit te voeren (altijd bij leeftijd > 30 jaar) kunnen de werkzaamheden in het laboratorium en de veldmetingen alvast worden ingepland.

De genoemde gegevens zijn verderop in dit voorbeeld gegeven.

### 7.3.3

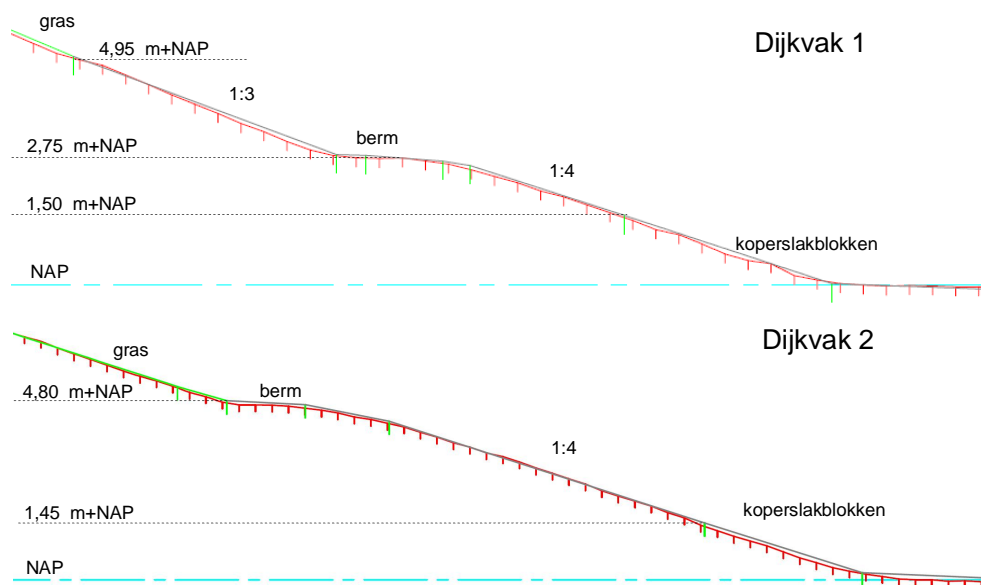
#### *Indeling dijkvakken*

Op basis van de verzamelde gegevens wordt een dijkvakindeling gemaakt. Een asfaltbekleding wordt opgedeeld in dijkvakken op basis van:

- Besteksgrenzen;
- Verschillen in hydraulische randvoorwaarden;
- Verschillen in dwarsprofiel;
- Verschillen in kwaliteit van asfalt;
- Verschillen in mengselsamenstelling;
- Verschillen in typen ondergrond.

De opdeling wordt gemaakt om homogene vakken te creëren waarvoor een representatief toetsoordeel gegeven kan worden.

De dwarsprofielen verschillen per bestek. Op het eerste deel is een tussenberm, op het tweede deel is aan de bovenzijde een berm aanwezig. Er zijn ingemeten dwarsprofielen aanwezig. De karakteristieke profielen van de bekleding zijn gegeven in Figuur 7-2.



Figuur 7-2: Karakteristieke dwarsprofielen dijkvakken 1 en 2

Omdat de bekledingen zijn aangelegd onder twee verschillende bestekken zijn er (kleine) verschillen in mengselsamenstelling. De hydraulische randvoorwaarden voor de vakken zijn hetzelfde. De besteksgrenzen en verschillen in mengselsamenstelling zijn redenen om de dijkvakken ieder afzonderlijk te toetsen.

7.4 Toetsproces

7.4.1 Zone-indeling

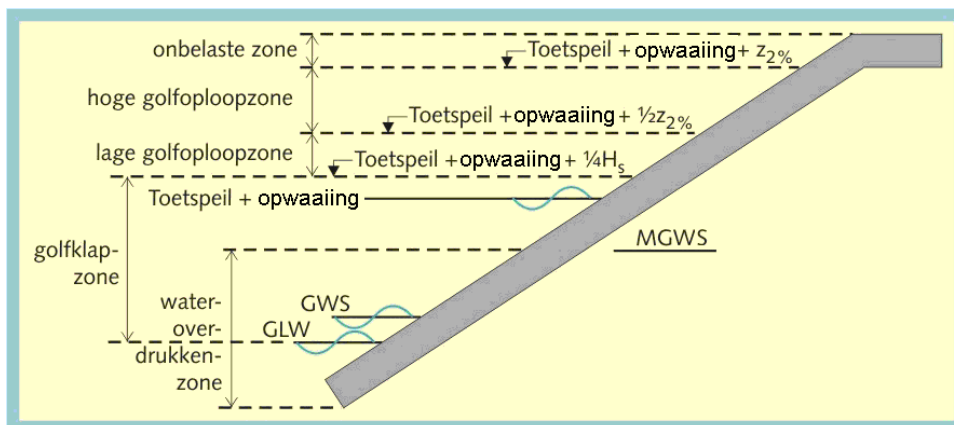
Het toetsproces start met het indelen van de bekleding in een aantal zones (Figuur 7-3). Dit omdat voor elke zone andere faalmechanismen en dus toetssporen die van toepassing zijn. Zo wordt het ondertalud onder maatgevende omstandigheden belast door golfklappen waar op het boventalud alleen golfloop plaatsvindt.

Het minst belaste deel is in dit voorbeeld het deel tussen het toetspeil + opwaaiing +  $\frac{1}{2} Z_{2\%}$  en toetspeil + opwaaiing +  $Z_{2\%}$ . Dit deel wordt de hoge golfloopzone genoemd. Hier wordt alleen een beoordeling ernstige schade uitgevoerd. Op het overige deel van de bekleding wordt een toetsing op materiaaltransport uitgevoerd. De beoordeling ernstige schade en toetsing op materiaaltransport is gebaseerd op een visuele inspectie van de bekleding.

In het VTV wordt de golfklapzone vanaf het gemiddeld laagwater tot het toetspeil + opwaaiing +  $\frac{1}{4} H_s$  gerekend.

De zone waar de toetsing op wateroverdrukken wordt uitgevoerd, is van de maatgevende grondwaterstand tot de onderzijde van de bekleding.

Het toetspeil dat kan worden gebruikt, is omschreven in de vigerende Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen. In deze referentie is ook de significante golfhoogte ( $H_s$ ) te vinden. De golfloop  $Z_{2\%}$  kan eenvoudig worden bepaald met de software PC—overslag behorende bij het Technisch Rapport golfloop en golfoverslag [50].



Figuur 7-3: Zone-indeling toetsing (VTV2006) [71]

In het voorbeeld van de twee dijkvakken zijn de volgende hydraulische randvoorwaarden gegeven.

Tabel 7-1: Voorbeeld hydraulische randvoorwaarden

Toetspeil	4,5	m + NAP
$H_s$	1,6	m
$Z_{2\%}$ ( $\tan(\alpha)=1/4$ )	3,2	m
Opwaaiing	0,2	m
GWS	0,03	m + NAP
GLW	-0,9	m + NAP

De zone-indeling is vervolgens berekend zoals weergegeven in Tabel 7-2.

Tabel 7-2: Voorbeeld zone-indeling

	Van [m + NAP]	Tot [m + NAP]
Onbelaste zone	8,2	bovenzijde bekleding
Hoge golfploopzone	6,6	8,2
Lage golfploopzone	5,4	6,6
Golfklapzone	-0,9	5,4
Wateroverdrukzone	onderzijde bekleding	2,45*

\* bepaald met:  $GWS + \frac{1}{2} \cdot (\text{Toetspeil} - GWS)$

Nu de zone-indeling bekend is, kan worden gestart met het uitvoeren van een gedetailleerde visuele inspectie.

7.4.2 Toetsing op materiaaltransport (AMT)

Stap 1: Ernst en omvang

Er wordt een visuele inspectie uitgevoerd waarbij de omvang van de schade wordt vastgelegd. Schades zijn gaten, scheuren of openstaande naden in de bekleding. Ook begroeiing van riet of houtvormende gewassen worden vastgelegd tijdens de inspectie. Door de locaties vast te leggen met GPS-coördinaten en een foto, kan in de toekomst worden gekeken of de schade verergert. Duidelijk wordt vastgelegd wat de lengte en breedte van de scheur is. Van begroeiing wordt aangegeven of deze houtvormend is, bij riet wordt het oppervlak aangegeven. Van gaten moet duidelijk worden aangegeven of deze open of gevuld zijn. Een voorbeeld van een schadeformulier is gegeven in Figuur 7-4.

Dijknaam:															Projectnr.:												
Datum:															Bekleding:	waterbouwafalbeton											
Inspecteurs:																											
RD-coördinaten	afstand tot dijkpaal	metreering dijkpaal	afstand t.o.v. beginpunt	breedte bekleding	Locatie in het profiel			foto nummer	naad	scheur	aangetast opp.	opbollingen	gat	riet	begroeiing	houtv. gewassen	lengte	breedte scheur [mm]				breedte aantasting	opmerkingen				
					onder	berm	boven											[m]	0	<3	3-10			>10			
####	####	paal	13,6	0	17			155																		Dijkpaal begin meetv	
####	####	paal	13,7		102																					Dijkpaal	
####	####	33			134				156	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									boorkern gevuld	
####	####	69			171				157	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								1		
####	####	73			175				158	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									boorkern gevuld	
####	####	paal	13,8		207																					Dijkpaal	
####	####	paal	13,9		306																					Dijkpaal	
####	####	1			308				159	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
####	####	paal	14		409				160																		Dijkpaal
####	####	20			429				161	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										Dijkpaal
####	####	paal	14,1		503																						Dijkpaal
####	####	paal	14,2		609				162																		Dijkpaal
####	####	72			680				163	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										Dijkpaal
####	####	paal	14,3		713																						Dijkpaal
####	####	16			729					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>									2	

Figuur 7-4: Voorbeeldformulier visuele inspectie

Ook voor het beoordelingsspoor golfklappen moet een visuele inspectie worden uitgevoerd. Hiervoor moeten de schadebeelden aangetast oppervlak en opbollingen worden geregistreerd

(zie §4.4.1). Doorgaans worden de schadebeelden van beide beoordelingssporen tijdens dezelfde visuele inspectie vastgelegd.

Nadat de schades en de omvang van de schades tijdens de visuele inspectie zijn vastgelegd, wordt per schade de ernst beoordeeld.

Nadat de inspectie is uitgevoerd, zijn de gegevens geanalyseerd waarna een klasse-indeling volgens het VTV is gegeven. In Tabel 7-3 is een voorbeeld van de klasse-indeling voor de ernst van scheuren en naden gegeven.

Tabel 7-3: De 10 aangetroffen schades geclassificeerd naar omvang (scheurlengte) en de ernst (scheurbreedte en/of zanddicht) van de schade

Lengte	Licht	Matig	Ernstig
$l \leq 3 \text{ m}$	3	5	1
$3 < l < 6 \text{ m}$	0	1	0
$l \geq 6 \text{ m}$	0	0	0

Afhankelijk van de omvang en de ernst wordt de score 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende' gegeven [71]. Bij een score 'twijfelachtig' moet met een geavanceerd onderzoek worden nagegaan of er uittreding van de ondergrond mogelijk is. In de praktijk wordt op basis van onderbouwde overweging zoals een kosten-baten analyse gekozen om schades te repareren in plaats van het uitvoeren van een geavanceerd onderzoek.

#### 7.4.3 *Beoordeling ernstige schade (AES)*

Stap 1: Beoordeling ernstige schade

De beoordeling ernstige schade wordt uitgevoerd op het deel van de bekleding dat zich in de golfoploopzone bevindt. Ook bij deze beoordeling wordt getoetst of er scheuren, naden, gaten of begroeiing aanwezig zijn. Het verschil met de toetsing op materiaaltransport is dat de eisen ten aanzien van de schades minder streng zijn.

Bij grote schades wordt de score 'twijfelachtig' gegeven. Voor deze schades is geavanceerd onderzoek nodig om vast te stellen of uittreding van materiaal uit de onderlaag mogelijk is. Is een geotextiel of zandasfalt als onderlaag aanwezig, dan is geen uittreding mogelijk en is de score 'goed'. Uitzondering hierop is de aanwezigheid van houtvormende gewassen. In de praktijk worden ook hier de schades gerepareerd in plaats van dat geavanceerd onderzoek uitgevoerd wordt.

#### 7.4.4 *Toetsing op golfklappen (AGK)*

Stap 1: Beoordeling aangetast oppervlak

De zone waarin golfklappen plaatsvinden, wordt naast een toetsing op materiaaltransport beoordeeld op sterkte. De eenvoudige methode van de toetsing op golfklappen mag worden toegepast op voorwaarde dat de hoeveelheid aangetast oppervlak gering is. Aangetast oppervlak duidt op een afname van de sterkte. Als dit over grote oppervlakten plaatsvindt, moet er gedetailleerd worden getoetst. De beoordeling wordt uitgevoerd per 100 meter van de dijk.

Aangetast oppervlak is het verdwijnen van steentjes en asfalmortel uit de bekleding. Als enkele steentjes uit de bekleding verdwenen zijn, wordt de schade als licht geclassificeerd. Als één of meer steenlagen uit de bekleding verdwenen zijn of als er grote delen van de oppervlakbehandeling verdwenen zijn, wordt de klasse 'matig' toegekend.



Afhankelijk van het aantal vierkante meters waarover aangetast oppervlak is geconstateerd, wordt bepaald of de gedetailleerde toetsing op golfklappen moet worden uitgevoerd.



Figuur 7-5: Voorbeeld aangetast oppervlak

Indien wordt bijvoorbeeld 2 m<sup>2</sup> aangetast oppervlak met als ernst 'matig' geconstateerd. Omdat deze combinatie van omvang en ernst niet 'gering' is, moet een gedetailleerde toetsing worden uitgevoerd. De eenvoudige methode mag dan niet worden toegepast voor deze 100 meter bekleding.

#### Stap 2: Toepasbaarheidsvoorwaarden eenvoudige methode

Als geen of slechts geringe aantasting van het oppervlak is aangetroffen, moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan om de eenvoudige methode toe te kunnen passen. De voorwaarden hebben betrekking op:

- Type asfaltbekleding;
- Gemiddelde mengselsamenstelling;
- Veroudering.

Uit de besteksgegevens moet blijken wat de gemiddelde mengselsamenstelling is en wat de leeftijd van de bekleding is.

Van dijkvak 1 (km 0-2,4) is de leeftijd van de bekleding 56 jaar. Tijdens het archiefonderzoek zijn bij het bestek opleveringscontroles gevonden. Hierbij is de mengselsamenstelling van het asfalt gegeven. In Tabel 7-4 zijn deze samengevat.

Tabel 7-4: Samenvatting standaardonderzoek

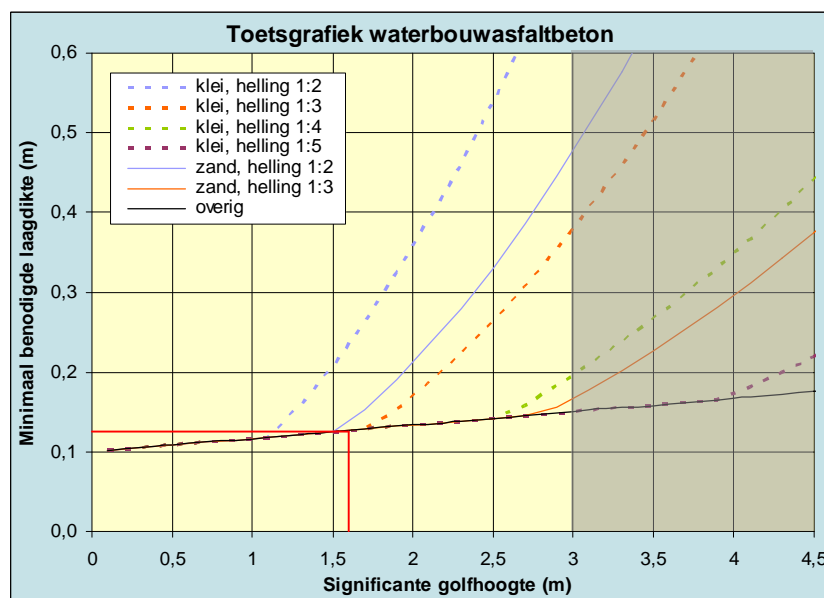
	Ondertalud (13 st.)		Berm en boventalud (25 st.)	
	Gem.	St. afw.	Gem.	St. afw.
Laagdikte [mm]	238	15	208	14
HR % (V/V)	3,9	0,4	3,8	0,6
Bitumen	6,5	0,2	6,3	0,2
>2 mm % (m/m)	51,0	1,2	51,2	1,3
2 mm – 63 µm % (m/m)	41,4	1,2	41,3	1,4
<63 µm % (m/m)	7,6	0,3	7,5	0,3

De mengselsamenstelling voldoet voor de toepassing van de eenvoudige methode. De bekleding is echter ouder dan 30 jaar zodat in ieder geval een gedetailleerde toetsing uitgevoerd wordt.

Van dijkvak 2 (km 2,4-3,2) zijn geen opleveringscontroles gevonden. De mengselsamenstelling is daardoor niet bekend. Omdat ook van dit deel de leeftijd ouder dan 30 jaar is, wordt een gedetailleerde toetsing uitgevoerd. De mengselsamenstelling wordt tijdens de laboratoriumwerkzaamheden bepaald.

### Stap 3: Eenvoudige methode

Omdat de bekleding ouder is dan 30 jaar wordt er volgens het VTV2006 geen beoordeling volgens de eenvoudige toets uitgevoerd. Ter illustratie wordt het feit dat de bekleding niet aan deze toepassingsvoorwaarde voldoet genegeerd en wordt deze toch behandeld.



Figuur 7-6: Voorbeeld toetsing volgens de eenvoudige methode

Met de eenvoudige methode wordt getoetst of de laagdikte van de bekleding voldoende is. Afhankelijk van de golfhoogte en de taludhelling is een minimale laagdikte nodig om voldoende weerstand tegen golfbelasting te hebben. De laagdikte waarmee gerekend wordt, is 80% van de bestekslaagdikte. Of als er waarnemingen beschikbaar zijn de 5%-waarde van de cumulatieve verdeling van de laagdikte waarnemingen.



In Figuur 7-6 is de minimaal benodigde laagdikte weergegeven voor de bekleding van bestek 79/1956 waarbij een significante golfhoogte van 1,6 meter is aangehouden.

Uit een toetsing volgens de eenvoudige methode blijkt dat een minimale laagdikte van 13 centimeter nodig is. Aangezien de bekleding van de ondertafel van dijkvak 1 een dikte van  $d_{5\%} = 21$  centimeter heeft, voldoet deze bekleding ruim aan de eis.

De beoogde laagdikte van dijkvak 2 was volgens bestek 240 mm. De laagdikte waarmee gerekend mag worden (80% van 240), is 192 mm zodat ook dit deel van de bekleding voldoet aan de eis van de eenvoudige methode.

*N.B.*

In Figuur 7-6 is een deel van de grafiek grijs gearceerd. Dit geeft aan dat bij golven hoger dan drie meter altijd een geavanceerde toetsing uitgevoerd moet worden. Dit omdat mogelijk ook andere faalmechanismen zoals verweking van de ondergrond van toepassing zijn.

#### Stap 4: Gedetailleerde methode

In de gedetailleerde methode wordt de sterkte van de asfaltbekleding bepaald. De sterkte van de bekleding wordt bepaald met veldmetingen en laboratoriumonderzoek. De gedetailleerde methode is uitgebreid beschreven in de werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde toetsing op golfklappen [66].

Verondersteld wordt dat de asfaltbekleding op deze dijkstrekking nooit eerder is getoetst.

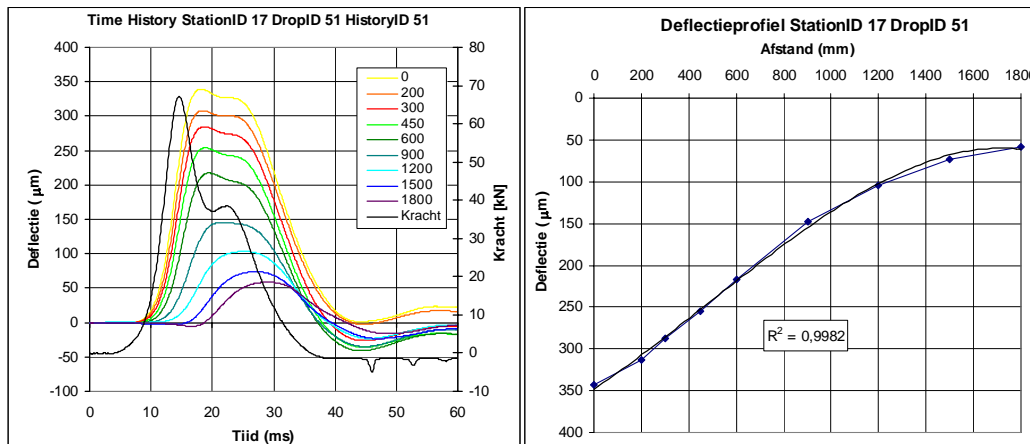
Ook voor de gedetailleerde methode is het noodzakelijk basisinformatie te verzamelen. Als dit in de eerste fase van de toetsing nog niet is uitgevoerd, is het van belang om deze informatie alsnog te verzamelen (zie §7.3).

Vervolgens wordt een meetplan opgesteld waarin beschreven is welke metingen uitgevoerd moeten worden, wat de locatie is waar gemeten moet worden, en wat de contactgegevens zijn van de beheerder en degene die de meting uitvoert. De metingen die worden uitgevoerd zijn valgewicht-deflectiemetingen en radarmetingen.

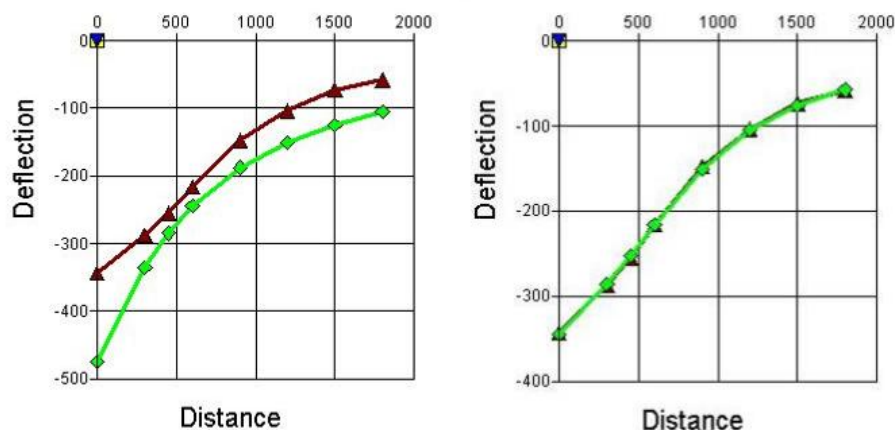
#### Valgewicht-deflectiemetingen

Het doel van het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen is het bepalen van de stijfheid van de bekleding en de ondergrond onder belasting van een gewicht. Door de verplaatsing van het asfalt onder de belasting te meten kan de stijfheid van de asfaltlaag en de ondergrond worden bepaald. De meting wordt uitgevoerd over een meetraai met een afstand van 25 meter tussen de meetpunten. Een voorbeeld van gemeten verplaatsingen op verschillende afstanden van het lastcentrum en de gemeten kracht is gegeven in Figuur 7-7.

Het deflectieprofiel uit Figuur 7-7 wordt benaderd met een theoretisch deflectieprofiel waar de stijfheden van bekend zijn. Dit gebeurt middels een iteratief proces dat is uitgebeeld in Figuur 7-8.



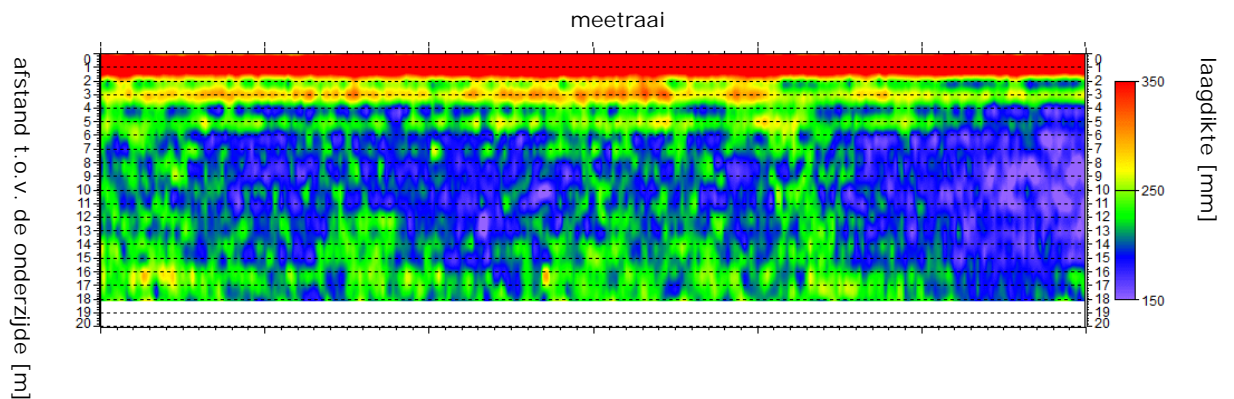
Figuur 7-7: Links: gemeten kracht en verplaatsing in de tijd. Rechts: maximale verplaatsing op verschillende afstanden van het lastcentrum



Figuur 7-8: Links: startpositie iteratie; rechts: optimale benadering

Het resultaat is een stijfheid van de asfaltlaag en de ondergrond onder het asfalt. De stijfheid van de ondergrond wordt omgerekend naar een beddingsconstante. Omdat de stijfheid van het asfalt temperatuursafhankelijk is, wordt de temperatuur van elk meetpunt opgeslagen. Deze temperatuur wordt gebruikt om de stijfheid bij 5°C te berekenen. Er wordt een stijfheid berekend bij 5°C omdat het asfalt gemiddeld deze temperatuur heeft tijdens het stormseizoen. Omdat de procedure van de temperatuurscorrectie ook zijn beperkingen heeft, dient de asfalttemperatuur tijdens de metingen bij voorkeur niet boven de 15°C te liggen.

Het uit valgewicht-deflectiemetingen terugrekenen van stijfheden is alleen mogelijk als de laagdikte in elk meetpunt bekend is. De laagdikten worden met radarmetingen bepaald. De valgewichtmeetpunten worden gemarkeerd met een verfstip zodat tijdens de radarmeting het valgewichtmeetpunt getraceerd kan worden. Beide metingen worden op een zogenaamde meetraai evenwijdig met de onderzijde van de bekleding uitgevoerd. Deze meetraai ligt op ten minste drie meter van de onderzijde van het asfalt. In Figuur 7-9 is te zien waarom deze afstand wordt aangehouden. In veel gevallen bevindt zich een verdikking aan de onderzijde van de bekleding. Een meting op dit deel zou niet representatief zijn voor de hele bekleding.

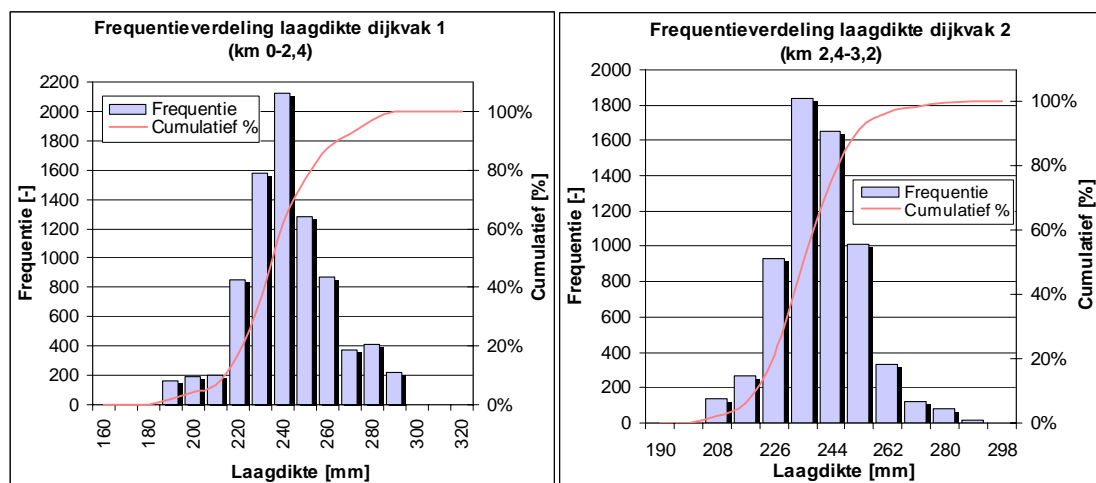


Figuur 7-9: Variatie van de laagdikte over het talud

### Radarmetingen

De radarmeting levert enerzijds de laagdikte per valgewicht-deflectie meetpunt en anderzijds een vrijwel continue registratie van de laagdikte over de meetraai op. Van deze laatste kan een frequentieverdeling worden bepaald. Hieruit wordt de karakteristieke laagdikte ( $d_{5\%}$ ) vastgesteld die wordt gebruikt voor de gedetailleerde toets.

De frequentieverdelingen voor de dijkvakken zijn weergegeven in Figuur 7-10. De berekende karakteristieke laagdikte voor dijkvak 1 (km 0-2,4) is 204 mm. De karakteristieke laagdikte voor dijkvak 2 (km 2,4-3,2) is 215 mm.



Figuur 7-10: Frequentieverdelingen van de gemeten laagdikte

Tabel 7-15: Karakteristieke waarden laagdikte, E-modulus en beddingsconstante

Karakteristieke waarde	dijkvak 1: km 0-2,4	dijkvak 2: km 2,4-3,2
Laagdikte ( $d_{5\%}$ ) [mm]	204	215
E-modulus ( $E_{95\%}$ ) [MPa]	8067	9765
Beddingconstante ( $c_{5\%}$ ) [MPa/m]	52	61

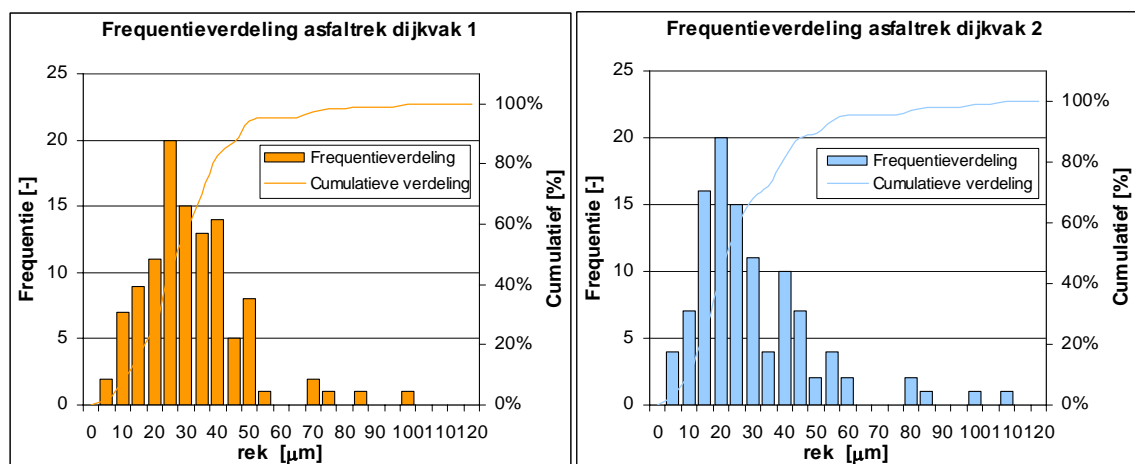
De laagdikte, berekend volgens deze methode, wordt gebruikt in het programma GOLFKLAP om te bepalen of de bekleding de golfaanval tijdens maatgevende condities kan weerstaan.

Deze en de overige uit de valgewicht-deflectiemetingen teruggerekende karakteristieke waarden zijn gegeven in Tabel 7-15.

Bepalen boorlocaties op basis van de rek

Een volgende stap in de gedetailleerde toetsing is het bepalen van de sterkte-eigenschappen in het laboratorium. Hiervoor moeten kernen worden geboord uit de bekleding waaruit in het laboratorium proefstukken worden vervaardigd. Per dijkvak worden 12 kernen geboord. Hiervan wordt op acht kernen proeven uitgevoerd en dienen vier kernen als reserve. De resultaten van de acht kernen moeten een goed beeld geven van de hele bekleding, dus van de goede, gemiddelde en slechte locaties. Om inzicht te krijgen waar zich goede en slechte locaties bevinden, wordt de rek aan de onderzijde van de bekleding berekend uit de valgewicht-deflectiemetingen. De doorbuiging van de bekleding onder het valgewicht veroorzaakt een rek aan de onderzijde van het asfalt. Deze uitrekking wordt berekend voor elke locatie van de valgewichtmeting. Hoe groter de rek is, hoe slechter het asfalt. Om een representatief beeld van de bekleding te krijgen, wordt uit de verdeling van de rekken het rekniveau behorende bij vier percentiepunten (5%, 35%, 65% en 95%) bepaald. Per rekniveau worden drie meetpunten geselecteerd met rekken die daar het dichtst bij lagen. Op de betreffende twaalf meetpunten wordt een extra markering aangebracht zodat voor het boorbedrijf duidelijk is waar geboord moet worden. De kernen worden elk uniek gemarkeerd met een code en afgeleverd in het laboratorium.

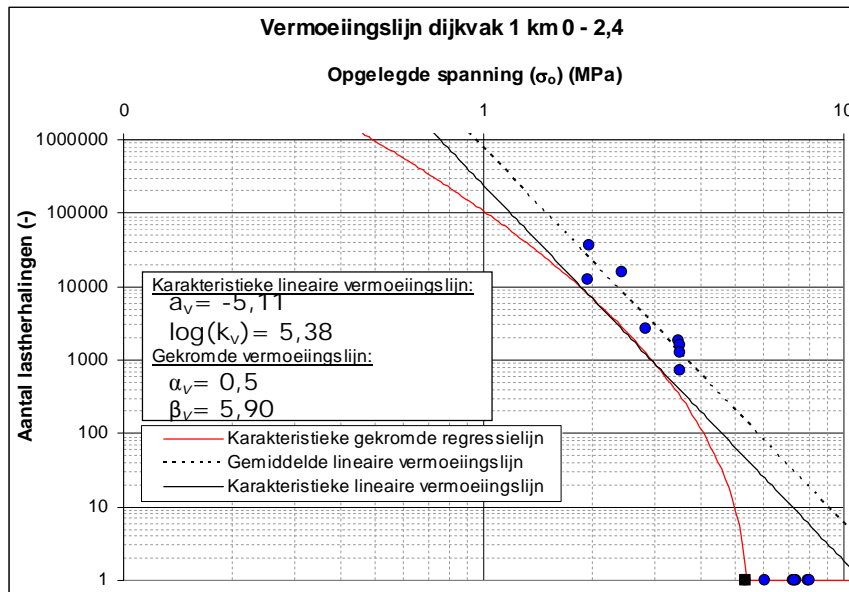
Voorbeelden van gemeten rekken zijn gegeven in Figuur 7-11. Er is een aantal locaties waar hoge rek gemeten wordt.



Figuur 7-11: Frequentieverdelingen van de gemeten rekken

#### Laboratoriumonderzoek

Laboratoriumonderzoek wordt uitgevoerd om de vermoeiingseigenschappen van het asfalt vast te stellen. Asfalt is vermoeiingsgevoelig. Dat wil zeggen dat het een eindig aantal belastingen kan weerstaan. Bij lage belastingen kan het asfalt heel vaak worden belast, bij hoge belasting slechts enkele keren tot het bezwijkt. Dit gedrag wordt in de vermoeiingslijn beschreven. De lijn wordt vastgesteld door proefstukken vervaardigd uit de boorkernen te beproeven, waarbij lage en hoge belastingen en het aantal keer van belasten tot bezwijken worden geteld. Dit levert een vermoeiingslijn op zoals weergegeven in Figuur 7-12.



Figuur 7-12: Vermoeiingslijn dijkvak 1 (km 0-2,4)

De vermoeiingslijn kan in het programma GOLFKLAP worden ingevoerd met de parameters  $a_v$  en  $\log(k_v)$  of  $\alpha_v$  en  $\beta_v$ . In Figuur 7-12 zijn twee groepen van data (blauwe punten) te zien. De eerste groep ligt op de x-as. Deze datapunten zijn verkregen bij één lastherhaling, de zogenaamde breuksterkteproeven. De andere dataset is het resultaat van de vermoeiingsproeven. Van de breuksterkteproeven wordt de karakteristieke waarde bepaald, deze wordt ook ingevoerd in het programma GOLFKLAP. Voor meer details wordt verwezen naar de werkwijzebeschrijving voor de gedetailleerde toetsing op golfklappen [66]. Van de bekleding van dijkvak 1 (km 0-2,4) zijn de vermoeiingsparameters gegeven in Figuur 7-12. De karakteristieke breuksterkte is 5,32 MPa. Voor dijkvak 2 (km 2,4-3,2) zijn de volgende parameters van toepassing:  $\alpha_v = 0,42$ ,  $\beta_v = 4,70$  en  $\sigma_{b5\%} = 4,50$  MPa.

#### Berekening Minersom met het programma GOLFKLAP

Het resultaat van de gedetailleerde toetsing is een toetsoordeel op basis van de Minersom, die berekend wordt met het programma GOLFKLAP. De Minersom geeft de verhouding weer tussen het maximaal toelaatbare aantal lastherhalingen en het optredende aantal lastherhalingen. Bij een Minersom van 1 is het maximaal toelaatbare aantal lastherhalingen bereikt. Er zal bij meer lastherhalingen schade aan de bekleding optreden. Het programma GOLFKLAP berekent op welke locatie op het talud de Minersom het hoogst is en geeft deze Minersom als resultaat van de berekening. De invoerparameters en het resultaat zijn gegeven in Tabel 7-16.

De volgende scores worden gegeven op basis van de Minersom:

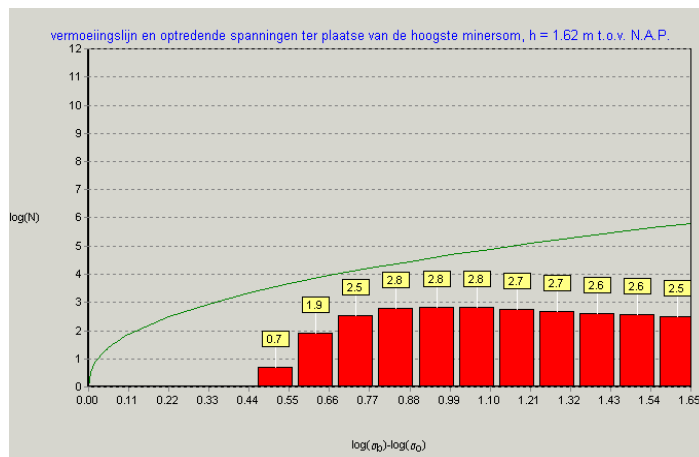
- de score is 'goed' bij: Minersom < 1;
- de score is 'twijfelachtig' bij:  $1 \leq \text{Minersom} \leq 10$ ;
- de score is 'onvoldoende' bij: Minersom > 10.

Beide delen van de bekleding krijgen de score 'goed' op basis van de gedetailleerde beoordeling op golfklappen. In Figuur 7-13 is een resultaat van de berekening met het programma GOLFKLAP gegeven. De groene lijn geeft de vermoeiingslijn weer. De rode blokken geven het aantal keer dat een spanning is opgetreden weer. De verhouding tussen

het aantal keren dat een spanning is opgetreden en het maximum aantal keren dat een spanning mag optreden, voor alle spanningen bij elkaar opgeteld, bepaalt de Minersom.

Tabel 7-16: Invoerparameters en resultaat programma GOLFKLAP

Parameter	dijkvak 1 km 0-2,4	dijkvak 2 km 2,4-3,2
Stormopzet	Noordzee en Westerschelde	Noordzee en Westerschelde
Toetspeil [m+NAP]	4,5	4,5
GWS [m+NAP]	0,03	0,03
GGA [m]	0,73	0,73
T <sub>tij</sub> [u]	12,4	12,4
Δ <sub>fase</sub> [u]	0,0	0,0
T <sub>q</sub> [s]	3,54	3,54
H <sub>s</sub> [m]	1,6	1,6
Stappen SWL [-]	30	30
Vermoeiing α <sub>v</sub> [-]	0,50	0,42
Vermoeiing β <sub>v</sub> [-]	5,90	4,70
Breuksterkte (σ <sub>b5%</sub> ) [MPa]	5,32	4,50
Laagdikte (h <sub>5%</sub> ) [m]	0,204	0,215
E-modulus (E <sub>95%</sub> ) [MPa]	10067	11765
ν [-]	0,35	0,35
Beddingconstante (c <sub>5%</sub> ) [MPa/m]	52	61
Aantal rekenpunten [-]	50	50
Berekende Minersom [-]	0,008	0,112



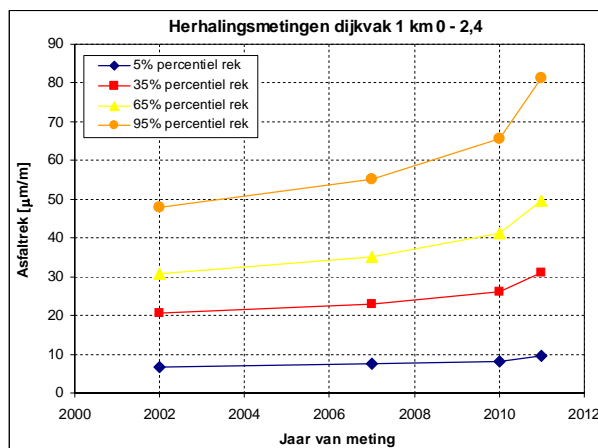
Figuur 7-13: Resultaat GOLFKLAP berekening dijkvak 2

Met deze score is de gedetailleerde beoordeling op golfklappen afgerond. Het volgende onderdeel van de toetsing is de toetsing op wateroverdrukken.

#### Uitvoeren herhalingsmetingen

In het begin van deze paragraaf is verondersteld dat de asfaltbekleding op de betreffende dijkstrekking nooit eerder is beproefd. Maar omdat de bekledingen 51 en 56 jaar oud zijn, moeten er bij voorafgaande toetsingen al metingen uitgevoerd zijn op dit traject.

Er kan daarom gebruikgemaakt worden van die eerdere metingen om te toetsen of de rekken toenemen. Dit wordt de procedure van de herhalingsmetingen genoemd. De methode is opgezet om de sterkte van de bekleding (tussentijds) te kunnen monitoren. Een voorbeeld is gegeven in Figuur 7-14.



Figuur 7-14: Herhalingsmetingen dijkvak 1 (km 0-2,4)

Als een gedetailleerde toetsing eenmaal is uitgevoerd, kan in de daaropvolgende toetsronden worden volstaan met een herhalingsmeting als de rekken niet teveel toenemen. Neemt de rek toe met meer dan 25% ten opzichte van de vorige meting dan moet in ieder geval opnieuw gedetailleerd getoetst worden. Afhankelijk van de Minersom berekend in de eerder uitgevoerde gedetailleerde toetsing moet bij een kleinere toename ook opnieuw getoetst worden. Voor meer informatie wordt verwezen naar de werkwijzebeschrijving voor de gedetailleerde toetsing op golfklappen (zie [66]).

#### 7.4.5 Toetsing op wateroverdrukken (AWO)

De toetsing op wateroverdrukken wordt uitgevoerd om vast te stellen of de asfaltbekleding kan worden opgedrukt door water dat zich in de dijk bevindt. Tijdens een storm wordt de dijk verzadigd met water. Na de storm neemt de buitenwaterstand af waardoor het water in de dijk tegen de dichte asfaltbekleding drukt.

De toetsing bestaat uit drie stappen. De voorselectie in stap 1 bepaalt of de bekleding getoetst moet worden voor wateroverdrukken en of een eenvoudige of geavanceerde methode noodzakelijk is. In stap 2 is de eenvoudige toetsing beschreven. Stap 3 geeft handvatten voor het uitvoeren van een geavanceerde toetsing.

##### Stap 1: Voorselectie

Als de asfaltbekleding is aangelegd op een kleikern is de score van de toetsing op wateroverdrukken 'goed'. Is de bekleding op zand aangelegd of bevindt zich een zandlaag onder de kleilaag onder het asfalt dan kan de eenvoudige methode worden toegepast.

De asfaltbekleding in de dijkvakken 1 en 2 is direct op het zand aangebracht. De eenvoudige methode is dus van toepassing.

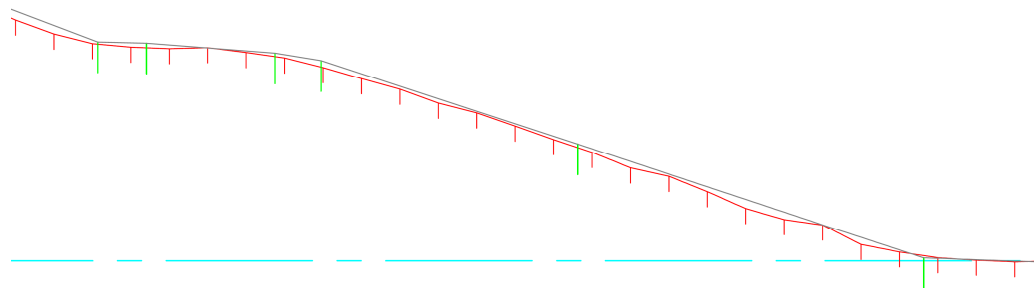
##### Stap 2: Eenvoudige toetsing wateroverdruk

De eerste toets die wordt uitgevoerd is of de maatgevende grondwaterstand boven de onderzijde van de bekleding ligt.

In §7.4.1 is berekend dat de maatgevende grondwaterstand op NAP +2,45 meter ligt. De onderzijde van de bekleding op dijkvak 1 ligt op NAP +1,50 meter. Op dijkvak 2 ligt de onderzijde op NAP +1,45 meter. De onderzijde van de bekleding ligt onder de maatgevende grondwaterstand zodat er een kans is op wateroverdrukken.

In het volgende deel van stap 2 wordt getoetst of de waterdruk groter is dan het gewicht van de bekleding en eventuele kleilagen. Voor deze stap moet bekend zijn wat de laagdikte en de dichtheid van de bekleding is en wat de taludhelling is. Daarnaast moet de aanwezigheid van een waterdichte teenconstructie bekend zijn en de eigenschappen hiervan. Berekend wordt welke laagdikte nodig is om wateroverdrukken te voorkomen.

Voor de bekleding van dijkvak 1 is de gemiddelde laagdikte van het ondertalud 237 mm (op basis van de radarmetingen). De dichtheid van de bekleding is bepaald via de proefstukken gebruikt in de gedetailleerde toetsing op golfklappen. Deze is 2358 kg/m<sup>3</sup>. De taludhelling is 1:4 zodat de factor  $Q_n = 1$  (met  $Q_n = 0,96 / \cos(\alpha) 1/4$ ). Omdat er op het talud een open bekleding aanwezig is onder het asfalt, is (a+v) gelijk aan de afstand tussen MGWS en de onderzijde van de bekleding. Deze afstand is 0,95 meter.



Figuur 7-15: Bepaling (a+v)-waarde

De dichtheid van zout water is 1025 kg/m<sup>3</sup>. De benodigde laagdikte wordt berekend met onderstaande formule:

$$d_{\max} = 0,21 \cdot Q_n \cdot (a+v) \cdot \frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} = 0,21 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot \frac{1025}{2358 - 1025} = 0,153$$

De benodigde laagdikte is 153 mm. Aangezien de bekleding een dikte van 237 mm heeft, is de score voor het toetsspoor wateroverdrukken 'goed'.

De bekleding van dijkvak 2 heeft een gemiddelde dikte van 235 mm. De dichtheid van de proefstukken is 2320 kg/m<sup>3</sup>. De taludhelling is 1:4 zodat de factor  $Q_n = 1,0$ . Het verschil MGWS en de onderzijde van de bekleding is 1 meter. De minimaal benodigde laagdikte is 166 mm. Ook dit deel van de bekleding voldoet aan de minimaal benodigde laagdikte, zodat de toetsscore 'goed' kan worden gegeven.

In het voorschrift toetsen op veiligheid (VTV2006) [71] worden nog twee deelstappen behandeld voor het geval de dikte van de bekleding niet voldoende is.

In de derde deelstap wordt het geval behandeld waarbij de onderzijde van de gesloten bekleding ver onder de gemiddelde waterstand ligt. Omdat het niveau van de theoretisch



maatgevende buitenwaterstand bepaald wordt door de locatie van deze onderzijde van de gesloten bekleding, kan het voorkomen dat de maatgevende buitenwaterstand onder de gemiddelde waterstand uitkomt. Aangezien het zeer onwaarschijnlijk is dat deze waterstand voorkomt direct na het optreden van een maatgevend hoogwater, mag een reductiefactor toegevoegd worden in de formule.

De vierde deelstap behandelt de situatie waarbij de laagdikte van de bekleding verloopt. Het kan zijn dat, door rekening te houden met deze verlopende laagdikte, de bekleding toch kan worden goedgekeurd.

Kan de score 'goed' niet worden gegeven op basis van de toetsregels van stap 2, dan wordt overgegeven op stap 3, de geavanceerde toetsing op wateroverdrukken.

#### Stap 3: Geavanceerde toetsing wateroverdrukken

In een geavanceerde toetsing wordt met niet-stationaire grondwaterstromingsberekeningen bepaald of de druk aan de onderzijde van de asfaltbekleding te hoog is. Als de eigenschappen van de ondergrond niet exact bekend zijn, worden verschillende berekeningen uitgevoerd waarbij de eigenschappen gevarieerd worden binnen de bekende grenzen. Zo kan inzicht verkregen worden in het risico op falen door wateroverdrukken.

#### 7.4.6 *Toetsing bezwijken onderlaag (ABO)*

De toetsing op bezwijken van de onderlaag wordt uitgevoerd als blijkt dat voor de toetsing op golfklappen de score 'onvoldoende' is gegeven. De onderlaag kan worden getoetst als deze uit klei of zandasfalt bestaat. Voor de toetsing van een klei-onderlaag wordt verwezen naar het deelspoor erosie bij de toetsing van steenzettingen. Daar waar een zandasfaltonderlaag aanwezig is en deze niet is meegenomen in de toetsing op golfklappen kunnen de eigenschappen van het zandasfalt worden bepaald om daarmee een toetsing op golfklappen uit te voeren.

Onder de asfaltbekleding van de dijkvakken 1 en 2 is een zandondergrond aanwezig. Als de asfaltbekleding de score 'onvoldoende' gekregen zou hebben, zou dit de eindscore voor de bekleding zijn.

#### 7.4.7 *Toetsing overgangsconstructies*

##### Stap 1: Eenvoudige toetsing overgangsconstructies bij asfaltbekledingen

De eenvoudige toetsing op overgangsconstructies wordt uitgevoerd op basis van een visuele inspectie. Er wordt getoetst of materiaaltransport uit de onderlaag mogelijk is of dat dit in het verleden voorgekomen is. Tijdens de visuele inspectie worden overgangen geïnspecteerd waarbij de schade qua locatie, ernst en omvang beschrijvend wordt vastgelegd. Hierbij worden foto's van de overgang genomen. Als er schadebeelden van een openstaande overgangsconstructie, ingezakte overgangsconstructie of aangetaste overgangsconstructie worden geconstateerd, wordt per locatie gekeken of zanduittrekking plaatsvindt of niet. Bij geen zanduittrekking is het toetsresultaat 'twijfelachtig'. Bij zanduittrekking is het toetsresultaat 'onvoldoende'. Bij de score 'twijfelachtig' is een geavanceerde toetsing noodzakelijk.

##### Stap 2: Geavanceerde toetsing overgangsconstructies bij asfaltbekledingen

De geavanceerde toetsing is gericht op het vaststellen van de functie van de constructieovergang en het beoordelen van het nog kunnen vervullen van deze functie. De

zwaktes en risico's van de overgangsconstructie moeten worden vastgesteld in het onderzoek.

## KATERN III: UITVOERING, INSPECTIE, BEHEER EN ONDERHOUD

### 8 Uitvoering

#### 8.1 Inleiding

De kwaliteit van een asfaltbekleding hangt nauw samen met de manier waarop het ontwerp tot stand is gekomen. Naast een uitgekiend ontwerp moet de ontwerper daarbij nagaan of de beoogde constructie op een optimale manier is te realiseren. Wordt daar onvoldoende op gelet, dan is het gevaar groot dat tijdens de uitvoering problemen optreden. Het is dus van belang dat de ontwerper voldoende kennis heeft over de uitvoering van werken.

In dit hoofdstuk worden de uitvoeringsaspecten behandeld. Deze betreffen het opstellen van bestekken, het uitvoeren van vooronderzoek, het aanbrengen op het dijklichaam en het bereiden en verwerken van asfalt. Daarnaast wordt apart ingegaan op het aspect kwaliteitszorg dat bij alle onderdelen van de uitvoering van doorslaggevend belang is. Ook komen aspecten als overgangsconstructies, wapening in asfalt en hergebruik van asfalt aan bod.

#### 8.2 Bestekken

De uitvoering van werken wordt geregeld in bestekken. In een bestek staat beschreven welke prestatie moet worden geleverd en welke voorwaarden van toepassing zijn. De meeste bestekken worden (nog) opgesteld volgens de RAW-systematiek [9]. RAW staat voor Rationalisatie en Automatisering in de Grond-, Weg- en Waterbouw en wordt uitgegeven door de stichting CROW in Ede. In de CROW wordt door alle marktpartijen (overheid en bedrijfsleven) in paritair verband gewerkt aan de standaardisatie van bestekken voor de GWW-sector.

Een RAW-bestek is opgebouwd uit de volgende elementen:

- Het Algemeen Besteksbestand (ABB) RAW waarin standaardbepalingen staan, die projectafhankelijk in het bestek kunnen worden opgenomen. Deze bepalingen vormen een aanvulling op de Standaard;
- De Standaard RAW bepalingen (afgekort als de Standaard) die bestaat uit een bundel eenduidige (technische) standaardbepalingen. Deze hebben onder andere betrekking op eisen aan bouwstoffen en mengsels, vooronderzoeken, onderzoeksmethoden, uitvoering, kwaliteitscontrole en verrekening van bouwstoffen.

De bepalingen zijn per werkcategorie ingedeeld, waarbij waterbouwasfalt onder Kust- en oeverwerken is ondergebracht ([9], hoofdstuk 52). De Standaard bevat veel verwijzingen naar elders gestandaardiseerde normen:

- De RAW-Catalogus met projectgerichte standaardteksten voor de beschrijving van het werk. Deze zogenaamde resultaatsbeschrijvingen worden uit de catalogus overgenomen in het bestek;
- De RAW-Handleiding waarin per werkcategorie het gebruik van de verschillende onderdelen wordt toegelicht. Hierin is achtergrondinformatie opgenomen voor het opstellen van het bestek en voor het uitvoeren van het werk.

In een RAW-bestek zijn de verantwoordelijkheden, rechten en plichten van de contractpartners (opdrachtgever en aannemer) eenduidig geregeld.

In het algemeen is de opdrachtgever verantwoordelijk voor het ontwerp en de opdrachtnemer voor de uitvoering. De directie oefent namens de opdrachtgever toezicht uit op de werkzaamheden en heeft ook de taak om de kwaliteit te controleren.

### 8.3 Het dijklichaam

#### Uitvoering/ verdichting

De dichtheid van de ondergrond bepaalt de draagkracht. Het is dus van belang de ondergrond goed te verdichten. Dit betreft zowel de mate (voor de draagkracht) als de gelijkmatigheid van de verdichting (om ongelijke zetting te voorkomen). Meer informatie over grondconstructies is opgenomen in [13] en [52].



Figuur 8-1: Profileren van het zandbed - Sjoukeshoek – 1983

Zand kans via twee methoden worden aangebracht:

*In den droge:* Het zand wordt met vrachtauto's aangevoerd en met bulldozers in lagen van 0,5 meter dikte gespreid. Vervolgens wordt het verdicht met een trilrol (Figuur 8-2). Hierbij is naast de gradering van het zand het vochtgehalte van groot belang. Elke zandsoort heeft een bepaald vochtgehalte waarbij de verdichting een optimaal resultaat geeft. Dit gehalte kan vooraf in het laboratorium worden bepaald met zogenaamde proctorproeven. Van belang is dus dat het zand met een bij benadering optimaal vochtgehalte wordt aangebracht. Als het zand te droog is, kan een betere verdichting worden verkregen door het zand met water te besproeien. Als het te nat is, zal het zand enige tijd moeten ontwateren.

*In den natte:* Zand wordt ook aangebracht door het als mengsel met water tussen perskaden te spuiten. Vervolgens wordt het zoveel mogelijk ontwaterd en met grondverzetmaterieel onder profiel gebracht.

Klei is moeilijk verdichtbaar. Bij het verdichten van klei is het de bedoeling de grote poriën en holten tussen de brokken klei zoveel mogelijk dicht te drukken. De klei wordt in lagen van maximaal 0,40 meter aangebracht. Veelal wordt met een bulldozer verdicht. Ook kan een schapenpootwals of een trilrol worden ingezet. Als de aangebrachte lagen groter zijn dan 0,40 meter heeft verdichting nauwelijks nog effect. Het vochtgehalte van de klei is net als bij zand van grote invloed op de verwerkbaarheid. Het probleem is echter dat het vochtgehalte

van klei slecht te sturen is. Het optimale vochtgehalte kan vooraf in het laboratorium worden bepaald (het moet bij voorkeur liggen tussen de zogenaamde "uitrolgrens" en de "vloei-grens"). Voor meer informatie over klei wordt verwezen naar het Technisch Rapport Klei voor dijken [48].



Figuur 8-2: Verdichten van het zandbed met een trillrol

De ondergrond voor een bekleding moet worden verdicht en daarna egaal en vlak worden afgewerkt. Sporen van werkverkeer die zijn ontstaan na afwerken, moeten worden bijgewerkt. Bij de inzet van zwaar materieel voor het aanbrengen van de bekleding kunnen schotten of rijplaten worden gebruikt. Bij klei moeten sporen in de al afgewerkte ondergrond worden voorkomen.

#### Eisen

In de Standaard worden eisen gesteld aan de verdichting van het dijklichaam in hoofdstuk 22 "Grondwerken".

Voor zand zijn eisen voor de verdichtingsgraad opgenomen voor aanvullingen en ophogingen van (weg-)constructies. Hier wordt voor de diepere ondergrond (meer dan 1,0 meter onder de constructie) een minimale verdichting van 93% en een gemiddelde verdichting van 98% van de proctordichtheid geëist. Voor de directe ondergrond (1,0 meter) zijn deze eisen 95% en 100%; deze worden voor een dijklichaam tamelijk streng geacht.

Voor klei als ophoogmateriaal wordt slechts één eis aan de verdichtingsgraad gesteld die bovendien nog zwaarder is dan die voor zand: ten minste 97%.

#### *N.B.*

Bij het opstellen van bestekken is het aan te bevelen om na te gaan welke verdichtingseisen in de gegeven omstandigheden realistisch en haalbaar zijn.

#### Controle van de verdichtingsgraad

Om de verdichtingsgraad te controleren, zijn de maximum proctordichtheid en de in situ dichtheid nodig. De maximum proctordichtheid van een monster wordt in het laboratorium bepaald met de proctorproef. De in situ dichtheid kan op verschillende manieren worden bepaald. De steekringmethode (Figuur 8-3) is een veelgebruikte methode. De verdichtingsgraad van één monster is het quotiënt van de dichtheid van het monster en de maximum proctordichtheid, vermenigvuldigd met 100%. De genoemde proeven zijn beschreven in de Standaard. Een alternatief is om de verdichtingsgraad te bepalen is met

straling. Naast nucleaire straling kan ook elektro-magnetische straling worden ingezet voor dichtheidsbepalingen.



Figuur 8-3: Dichtheidscontrole van het zandbed met handsondeerapparaat en steekring – Sjoukeshoek, 1983

#### 8.4 Filterlagen

Filterlagen worden alleen toegepast als de bekleding bestaat uit een zanddoorlatend materiaal. Zanddichte filters bestaan uit granulair materiaal, geotextielen ([15] en [14]) of zandasfalt. Granulaire filters worden onder open asfaltbekledingen nauwelijks toegepast. Zandasfalt wordt als zanddicht filter gebruikt, omdat het ondanks de open structuur geen zand doorlaat.

Filterlagen mogen geen zandlekken vertonen. Geotextielen moeten daarom met voldoende overlap worden aangebracht. Lagen granulair materiaal en zandasfalt moeten zonder onderbrekingen en voldoende dik worden aangebracht.

Aan geotextielen wordt formeel geen constructieve bijdrage toegekend voor de reststerkte in tegenstelling tot zandasfalt en granulaire filters. In de praktijk blijkt wel dat de ondergrond door geotextielen bijeen wordt gehouden indien de bekleding is bezwaken.

Bij verwerken van een asfaltmengsel op een geotextiel mag de hoge temperatuur van het asfalt geen schade aan het filter veroorzaken. Voor de verwerkingstemperatuur van asfaltmengsels op polypropeendoek geldt daarvoor een maximum van 140°C. Worden andere kunststoffen gebruikt, dan is het zaak na te gaan welke maximale temperatuur toelaatbaar is.

In CUR-publicatie 174 [15] wordt ingegaan op het gebruik van geotextielen. In het algemeen is het raadzaam om bij gebruik van geotextielen advies in te winnen bij de fabrikant voor de wijze waarop deze materialen het best kunnen worden toegepast.

#### 8.5 Vooronderzoek asfaltmengsels

Er worden eisen in de Standaard gesteld aan asfaltmengsels en bouwstoffen voor bekledingen. Het ontwerp van een asfaltmengsel is gebaseerd op een juiste keuze van de bouwstoffen en mengverhoudingen die wordt bepaald tijdens een vooronderzoek. In dit

onderzoek wordt allereerst vastgesteld of de te gebruiken bouwstoffen aan de eisen voldoen en dus geschikt zijn voor de bereiding van asfalt. De hechting tussen steen en bitumen moet daarbij worden onderzocht, zie §8.5.1. De mengselsamenstelling en mengseleigenschappen moeten binnen de voorgeschreven grenzen van het gewenste mengsel vallen. Binnen die grenzen wordt gestreefd naar stabiele en duurzame mengsels waarbij het bitumengehalte wordt afgestemd op de gradering, of naar een gewenste viscositeit voor overvulde mengsels. Mengsels worden niet direct getoetst aan gebruikseigenschappen zoals sterkte en stijfheid.

In het kader van de Standaard 2010 is gestreefd naar een meer functionele benadering van het vooronderzoek van asfaltmengsels. Daarom is besloten om, in tegenstelling tot vroegere Standaards, weer voor elk mengsel een compleet vooronderzoek voor te schrijven. Dit betekent dat elk mengsel op laboratoriumschaal wordt vervaardigd waarna relevante eigenschappen worden bepaald. Een mengsel dat voldoet aan de eisen voor deze eigenschappen (het zogenaamde "ontwerpmengsel") wordt bij aanvang van het werk onderworpen aan een geschiktheidsonderzoek. In dit onderzoek wordt een proefdagproductie asfalt bereid en verwerkt op de door de aannemer voorgestelde werkwijze. Volgens de RAW-standaard [9] moet de proefproductie 16 ton open steenasfalt of 40 ton waterbouwafalftbeton bedragen. Indien na onderzoek blijkt dat met dit ontwerpmengsel en de wijze van verwerken van de aannemer het gewenste resultaat (constructie) wordt bereikt, dan wordt het mengsel (én de methode van verwerken) vastgelegd als het referentiemengsel. Het werk moet dan dienovereenkomstig worden uitgevoerd.

Dit geschiktheidsonderzoek wordt als een belangrijk middel gezien om problemen tijdens de uitvoering of bij controle achteraf te voorkomen. Van belang is wel dat partijen voldoende aandacht aan dit onderzoek schenken.

#### 8.5.1 *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 onderzoekmethode 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-bitumencombinatie 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 geclassificeerd naar de mate van stripping: klasse 0, geen stripping (< 10 %), klasse 1, gedeeltelijk gestript (10-90 %) en klasse 2, volledig gestript (> 90 %). Door voor alle steentjes de klasseringen op te tellen en te delen door 100% wordt mate van stripping berekend. Als eis wordt een maximumpercentage stripping van 25% gehanteerd. Voordeel van deze methode is, naast het onderscheidend vermogen, de mogelijkheid om het in het werk te gebruiken bitumen mee te testen. Daarnaast kan bij gebleken hoge stripping ook worden vastgesteld wat het effect is van hechtverbetersaars (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.

8.6

Asfaltbereiding

Asfalt wordt bereid in een asfaltmenginstallatie [55]. In een asfaltmenginstallatie (Figuur 8-4) worden de minerale bouwstoffen (steenslag, grind, zand) voorgedoseerd. In de droogtrommel worden deze gedroogd en verhit, waarbij het eigen stof wordt afgezogen. Vervolgens kan het mineraal aggregaat worden gezeefd en warm opgeslagen in silo's. Daarnaast zijn er silo's waarin de vulstof koud is opgeslagen en verwarmde tanks voor het bitumen. Hierin wordt het bindmiddel verwarmd tot het dunvloeibaar is en kan worden verpompt. In het doseergedeelte worden de minerale bouwstoffen (inclusief de vulstof) afgewogen en wordt de bitumen volumetrisch gedoseerd. In het menggedeelte worden de minerale bouwstoffen met vulstof en verwarmde bitumen gemengd waarna het warme asfalt wordt opgeslagen in een geïsoleerde bunker.

De hierboven beschreven methode is de meest gangbare in Nederland. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van een zogenaamde continue menger of van een chargemenger (Figuur 8-5).

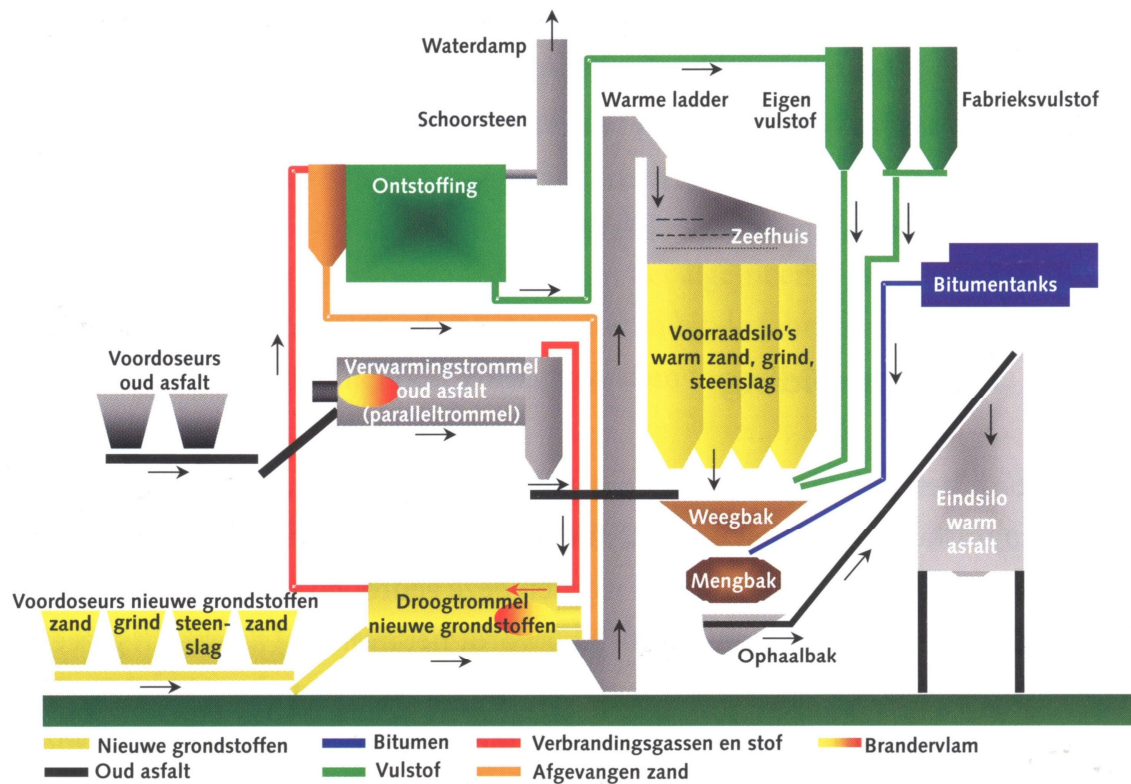


Figuur 8-4: Asfaltinstallatie (foto VBW-Asfalt)

Voor de bereiding van open steenasfalt werd in het verleden een afwijkende mengprocedure toegepast. Eerst werd de asfaltmestiek bereid, waarna in een tweede fase de verwarmde (kalk-)steen werd toegevoegd en gemengd. De bedoeling hiervan was om een homogene asfaltmestiek te maken, waarmee de steenkorrels gelijkmatig worden omhuld. De huidige asfaltinstallaties, die voornamelijk voor de wegenbouw produceren, zijn niet ingericht om een dergelijk tweefasenproces aan te kunnen sturen. Daarom wordt open steenasfalt tegenwoordig in één procesgang bereid. Hierbij is gebleken dat er geen kwaliteitsverschillen zijn te constateren bij een op volumegegewicht aangepaste productie.

Langdurige tussenopslag van warm asfaltmengsels mag alleen in goed geïsoleerde en/of verwarmde, luchtdichte silo's, zodat afkoeling en overmatige oxidatie wordt voorkomen.





Figuur 8-5: Schema van de werking van een chargemenger (afbeelding VWB-Asfalt)

Bij de productie van gietasfalt en asfaltmestiek wordt vaak gebruik gemaakt van een zogenaamde opmenger (Figuur 8-6 en 8-7). Deze bestaat uit een kleine mengeenheid waarin "halfabricaat" wordt opgewerkt met bitumen. Het halfabricaat, dat wordt betrokken van een normale asfaltinstallatie, bestaat uit een asfaltmengsel waaraan maar een deel van de benodigde bitumen is toegevoegd. Op het werk worden de resterende bitumen toegevoegd en gemengd. Het voordeel van een dergelijke installatie is dat de kwaliteit van het mengsel op het werk kan worden bijgesteld. Indien halfabricaat en bitumen voor overvulde mengsels (als asfaltmestiek en gietasfalt) in roerketels wordt aangevoerd, kan het eindproduct in de roerketel worden bereid. De daarvoor benodigde roertijd moet dan wel proefondervindelijk worden vastgesteld.

Bij de bereiding van asfalt is het van groot belang dat een juist en constant product wordt gemaakt en dat de temperatuur van de bouwstoffen leidt tot een optimale mengseltemperatuur. Te lage temperaturen zorgen voor onvoldoende droging van het mineraal aggregaat en een matige omhulling; te hoge temperaturen resulteren in een grote veroudering van het bitumen. In de Standaard 2010 zijn geen bepalingen meer opgenomen voor de bereiding van wegenbouwafasfalt, omdat de kwaliteit hiervan wordt verzekerd door de invoering van de CE-markering.



Figuur 8-6: Opmenginstallatie voor gietasfalt en asfaltmastiek (foto Hydraphalt)



Figuur 8-7: Drijvende opmenginstallatie voor verwerking van asfalt onder water – Pontfuike TESO, Den Helder en Texel (foto Ooms Construction)

## 8.7 Asfalttransport

Vanuit de warme bunkers bij de asfaltmenginstallatie wordt het asfalt naar de plaats van bestemming vervoerd. Dit gebeurt vrijwel altijd over de weg.

Asfaltbeton, open steenasfalt en zandasfalt worden vervoerd in vrachtauto's met geïsoleerde laadbakken of in speciale mobiele containers. De laadbakken zijn aan de bovenzijde afgedicht met kleppen om inregelen en afkoelen te voorkomen. Op het werk worden inrijbakken (Figuur 8-8) gebruikt als tussenopslag. In deze bakken blijft het asfalt vrij van

verontreiniging. Vanuit de inrijbak wordt het mengsel met een hydraulische kraan of een laadschop op de plaats van bestemming aangebracht. Containers gelost van vrachtauto's kunnen ook als inrijbak worden gebruikt.



Figuur 8-8: Inrijbak als tussenopslag bij de verwerking van asfalt met een hydraulische kraan (foto Bitumarin)

Tussenopslag in open lucht zonder voorzieningen wordt alleen toegestaan bij zandasfalt, als dat in grote hoeveelheden wordt aangevoerd voor perskaden en golfbrekers. De verwerkingstemperatuur bij deze toepassing is veel lager dan de meng- en transporttemperatuur. In een open depot kan zandasfalt dan afkoelen tot de gewenste verwerkingstemperatuur.

Voor ontmengingsgevoelige mengsels zoals gietasfalt worden verwarmde roerketels gebruikt. Het is dan wel van belang dat het roerwerk in bedrijf is, zodat het mengsel homogeen blijft. Voor warme opslag van mengsels zijn verwarmde containers voor tussenopslag en transport ontwikkeld. Alle middelen voor transport en opslag moeten schoon zijn en mogen geen resten oud en hard geworden asfalt bevatten. Harde afgekoelde buitenlagen van zandasfalt in depot kunnen bij verwerking wel door de warme kern worden gemengd. Om het kleven van asfalt aan transportmiddelen te voorkomen kan zand (met mate) of een biologisch afbreekbaar anti-kleefmiddel worden gebruikt.

In de Standaard wordt de eis gesteld dat de temperatuurverschillen in een lading asfalt tijdens transport kleiner moeten zijn dan 25°C. Door deze eis moet de aannemer zorgen voor voldoende isolatie tijdens transport zodat afkoeling wordt voorkomen. Bovendien mag het asfalt tijdens transport niet of nauwelijks ontmengen. De transportafstanden worden daarom bij voorkeur zo klein mogelijk gehouden door asfalt van een nabijgelegen installatie te betrekken. Naast de geringere kosten levert dit het voordeel op dat het asfalt minder kans heeft op ontmengen en afkoelen.

Asfalt voor bekledingen wordt bij voorkeur op dezelfde dag bereid en verwerkt. De verwerking is gebaat bij een constante aanvoer van voldoende asfalt. Daarvoor moet voldoende buffervoorraad op het werk aanwezig zijn. Het asfalttransport is daarom gebaat bij een goede logistieke organisatie.

De transportmiddelen mogen op de plaats van verwerken geen schade of vervuiling toebrengen aan de ondergrond of de bekleding. Dit betekent dat auto's en roerketels niet mogen lekken en dat de belasting door zwaar materieel met rijplaten wordt gespreid.

Geprefabriceerde bekledingen, zoals open steenasfaltmatten, worden meestal nabij de plaats van aanbrengen gemaakt. Na afkoelen worden ze opgenomen om ze naar de plaats van bestemming te brengen. Hiervoor worden matten van een wapening voorzien zodat ze zonder beschadiging kunnen worden opgenomen en vervoerd.

## 8.8 Asfaltverwerking

### 8.8.1 *Algemeen*

#### Locatie

Asfaltmengsels worden meestal in den droge en in sommige gevallen onder water aangebracht. Verwerking boven water is beter te beheersen. De verwerkingstechnieken hangen in hoofdzaak af van het te verwerken asfaltmengsel en de verwerkingsplaats (onder of boven water, op een steil of flauw talud, moeilijk van land af bereikbaar of niet, enzovoort). Bij het ontwerp van een constructie moet rekening worden gehouden met de mogelijke verwerkingsmethoden. Het is dus van belang dat ontwerpers kennis hebben van uitvoeringsmethoden.

Een asfaltmengsel moet op een stabiel talud worden aangebracht. Als er water uit het talud treedt, dan kan dat bezwaarlijk zijn bij mengsels die moeten worden verdicht, zoals waterbouw-asfaltbeton: de draagkracht van de ondergrond moet voldoende zijn voor het verdichten van het asfalt.

#### Viscositeit

De verwerkbaarheid van een asfaltmengsel hangt nauw samen met de viscositeit van het bindmiddel. Bij de bereiding van mengsels wordt het bitumen verwarmd tot de viscositeit zo laag is dat het met mineraal kan worden gemengd. Bitumen kan ook vloeibaar gemaakt worden met een oplosmiddel (vloeibitumen) of door het te emulgeren in water (asfaltbitumenemulsie).

Door de lage viscositeit van het bindmiddel is het asfalt bij verwerken niet erg stabiel. De stabiliteit neemt toe naarmate de viscositeit hoger wordt. Dat gebeurt bij afkoelen van warm asfalt, door verdamping van het oplosmiddel bij vloeibitumen of door het breken van de bitumenemulsie en het verdampen van het water.

Koud asfalt op basis van vloeibitumen en bitumenemulsie wordt enkel toegepast bij oppervlakbehandelingen en (reparatie-)werk van geringe omvang.

Een juiste mengseltemperatuur en snelheid van de afkoeling is bij het aanbrengen van warm asfalt van belang voor de aanleg en de optimale verdichting van (juist gevulde) asfaltmengsels. Voor de afkoelsnelheid zijn laagdikte en weersomstandigheden van belang.

#### Temperatuur

Aan de asfalttemperatuur op het moment van verwerken worden de in Tabel 8-1 opgenomen eisen gesteld. Deze zijn slechts voor een deel in de nieuwe Standaard 2010 opgenomen, omdat deze bepalingen zich beperken tot de gebruikelijke toepassingen. Voor de volledigheid zijn ook de minder gebruikelijke toepassingen in Tabel 8-1 opgenomen.



Tabel 8-1: Eisen aan de temperaturen van een asfaltmengsel voor verwerking

asfaltmengsel en toepassing (RAW-2000)	ten minste [°C]	ten hoogste [°C]
waterbouwasfaltbeton	130	190
gietasfalt	100	190
open steenasfalt	110	160
open steenasfalt op filterdoek van polypropreen	110	140
asfaltmastiek onder water	100	170
asfaltmastiek boven water	100	190
asfaltmengsel en toepassing (niet-RAW)	ten minste [°C]	ten hoogste [°C]
zandasfalt voor bekleding	100	190
zandasfalt voor filterlaag	90	190
zandasfalt voor kade onder water en in de tijzone	80	110
zandasfalt voor kade boven gemiddeld hoog water	80	190

*Toelichting:*

De maximumtemperatuur van alle mengsels wordt begrensd door de waarde van 190°C die in de Standaard is voorgeschreven. In asfalt met een hogere temperatuur verouderd het bindmiddel onacceptabel snel. Daarnaast betekent het een onnodig hoog energieverbruik.

Waterbouwasfaltbeton

Bij waterbouwasfaltbeton met een lagere temperatuur dan 130°C is het niet goed mogelijk het mengsel handmatig goed onder profiel te brengen en met relatief lichte walsen voor te verdichten. Het oppervlak kan niet voldoende dicht worden gemaakt en de resulterende holle ruimte zal te groot zijn.

Wordt het waterbouwasfaltbeton met een correcte temperatuur aangebracht, maar koelt deze te snel af door regen, dan geeft dit een te grote temperatuurgradiënt over de asfaltlaag. Dit leidt tot walsscheuren. De vereiste verdichting wordt over het algemeen wel gehaald, maar de walsscheuren moeten worden behandeld.

Asfaltmastiek

Om asfaltmastiek voldoende vloeibaar (en verwerkbaar) te maken mag de temperatuur niet lager worden dan 100°C. Afhankelijk van het mengselontwerp kan een hogere waarde nodig zijn. Onder water geeft een temperatuur hoger dan 170°C zeker problemen met stoomvorming en uiteenvallen van het asfalt. De voorkeur gaat daarom uit naar een maximum temperatuur van 150°C. Boven water zal de temperatuur in het algemeen worden beperkt tot ten hoogste 170°C, omdat het mengsel anders te dunvloeibaar wordt.

Gietasfalt

Onder water verwerken van gietasfalt werk voor specialisten: het stelt hoge eisen aan het mengselontwerp en vereist speciale werktuigen om een goede penetratie te realiseren. Boven water gaat de voorkeur uit naar een minimale temperatuur van 130°C, omdat bij lagere temperaturen het penetrerend vermogen sterk afneemt.



Figuur 8-9: Stortkoker voor de verwerking van asfalt onder water – Sluis Gorinchem (Foto Hydraphalt)

#### Open steenasfalt

Open steenasfalt kan alleen boven water worden verwerkt omdat het mengsel onder water door de open structuur direct afkoelt en uiteenvalt. Om voldoende hechting tussen de omhulde steenkorrels te verkrijgen is een minimumtemperatuur van 110°C nodig. De maximumtemperatuur wordt beperkt tot 160°C om te voorkomen dat het mengsel uitzakt (ontmengt). Het is daarom goed de mengtemperatuur te beperken tot 140-160°C.

#### Zandasfalt

Zandasfalt is door het ontbreken van vulstof een gemakkelijk verdichtbaar mengsel. Het kan bij de toepassing als bekleding bij lagere temperaturen nog goed worden verdicht, omdat de verdichtingsweerstand gering is. Bij filterlagen, die in het algemeen nauwelijks worden verdicht, geldt een nog lagere minimumtemperatuur.

Als het materiaal voor de kern van een dam wordt gebruikt, moet de temperatuur onder water sterk worden beperkt om stripping te voorkomen. Het materiaal kan tot lage temperaturen worden verwerkt. Boven water moet de temperatuur bij voorkeur veel lager dan 190°C worden gehouden, omdat het anders door de lage stabiliteit onberijdbaar is voor verwerkingsmaterieel.

#### *N.B.*

In de Standaard 2010 is bij aanvang van een werk een zogenaamd geschiktheidsonderzoek opgenomen. Dit betekent dat met het ontwerpmengsel uit het vooronderzoek bij aanvang van het werk wordt nagegaan, of de aannemer met zijn verwerkingsmethode het beoogde resultaat bereikt. Hierbij wordt dan tevens meer duidelijkheid verschaft over de gewenste verwerkingstemperaturen.

#### Aansluitingen

Bij een asfaltbekleding kunnen verschillende aansluitingen worden onderscheiden:

- Op een bestaande laag asfalt (overlaging);
- Tegen een nieuwe laag asfalt (daglassen);
- Tegen een andere constructie (overgangsconstructie).

In bekledingen worden bij voorkeur geen langsnaden toegepast, omdat deze potentiële zwakke plekken na aanbrengen van de bekleding een risico vormen bij hydraulische belastingen en bij zettingen in de ondergrond. Het aantal dwarsnaden wordt bovendien zo veel mogelijk beperkt.

Algemeen geldt dat aansluitingen schoon en droog moeten zijn om hechting te verzekeren.

Elke aansluiting wordt met een kleefmiddel behandeld om een duurzame hechting mogelijk te maken. Een kleefmiddel bestaat uit asfaltbitumenemulsie of vloeibitumen (zie §11.2.2). Pure bitumen wordt niet gebruikt omdat de geringe hoeveelheid te snel afkoelt, waardoor hechting niet plaats vindt (alleen gebruik van grote massa's heet asfalt kan bij bitumen als kleefmiddel zorgen voor voldoende warmteoverdracht en hechting).

Kleefmiddelen worden dun en gelijkmatig verdeeld aangebracht. Een kleeflaag wordt niet aangebracht op natte oppervlakken. Als de buitentemperatuur lager is dan 0°C mag geen bitumenemulsie meer als kleeflaag toegepast worden, omdat het water in de emulsie bevroest. In dat geval worden vloeibitumina op basis van laagviskeuze oplosmiddelen toegepast, dit noemt men ook wel primer.

#### 8.8.2

##### *Verwerking asfaltbeton*

Asfaltbeton wordt toegepast als dichte bekleding met een lage holle ruimte en moet daarom mechanisch worden verdicht. Het wordt alleen boven hoogwater aangebracht. De laagdikte bedraagt veelal 0,15 tot 0,30 meter. De ondergrond voor dit relatief stijve mengsel moet voldoende verdicht en vlak zijn. Hoewel de aannemer zelf bepaalt hoe de asfaltbeton wordt verwerkt, zijn er twee hoofdmethoden te onderscheiden om asfaltbeton te verwerken:



Figuur 8-9: Profileren van waterbouwasfaltbeton met een hydraulische kraan

##### a. Hydraulische kraan

Het mengsel wordt van onder naar boven op het talud aangebracht met een hydraulische kraan. Een shovel is niet aan te bevelen, omdat de kans bestaat dat het verdichte en afgewerkte zandprofiel wordt losgereden.

Het mengsel mag niet in los van elkaar liggende hopen worden aangebracht. Dit moet zoveel mogelijk aaneengesloten gebeuren. Daarmee wordt voorkomen dat de hopen zelf een zekere voorverdichting krijgen en de ruimte tussen de hopen na vlaktrekken ervan

niet. Dit geeft een onvlak profiel na verdichten. Daarna wordt het direct en met zo min mogelijk bewerkingen met de bak van de kraan op de juiste dikte geprofileerd (Figuur 8-9). Het is van belang dat het asfalt met de benodigde overdikte wordt aangebracht (in verband met het verdichten).

b. Spreidmachine

Asfaltbeton kan in bijzondere situaties ook worden aangebracht met een asfaltspreidmachine. Bij een werk met een lang en constant dwarsprofiel kan het de moeite lonen het talud te bekleden met een speciale spreidmachine die in langsrichting werkt (Figuur 8-10).



Figuur 8-10: Taludmachine (totaalprofiel) (foto [39])

Als het talud in dwarsrichting wordt bekleed, kunnen conventionele spreidmachines uit de wegenbouw worden ingezet (Figuur 8-11). Deze moeten dan worden bevestigd aan lieren die bovenaan het talud zijn opgesteld. Het asfalt kan met karretjes aan lieren, met een kubel of met een hydraulische kraan worden aangevoerd.



Figuur 8-11: Wegenbouwspreidmachine - Emmapolder – 1982

Een bijzondere toepassing is de inzet van een slipformpaver ingezet bij de Onrustpolder en aan de Westkapelse zeedijk (Figuur 8-12). Deze slipformpaver was speciaal ontworpen voor waterbouwasfaltbeton en nooit gebruikt voor cementbetonverhardingen.



Het voordeel van het inzetten van spreidmachines is de grote nauwkeurigheid waarmee de laagdikte wordt aangebracht. Bovendien geven deze machines tijdens spreiden al een zekere voorverdichting.



Figuur 8-12: Slipformpaver - Westkapelle – 1988

#### Verdichten

Voor het verdichten worden walsen ingezet. Asphaltbeton is direct na spreiden zeer los gepakt en heeft mede door de hoge temperatuur een lage aanvangsstabiliteit. Daarom moet het worden voorverdicht met een lichte rol of statische wals om de stabiliteit te verhogen. Hiermee wordt tevens het oppervlak dichtgewalst, zodat afkoeling en een grote temperatuurgradiënt worden voorkomen.

Voor een goede verdichting moet het walsen beginnen bij een zo hoog mogelijke temperatuur. Als wals wordt een lichte tandemtrilwals aanbevolen. De te bereiken verdichting is afhankelijk van een groot aantal factoren:

- De wals (type, massa, snelheid, aantal walsovergangen);
- De laag asfalt (temperatuurverloop, laagdikte, samenstelling);
- De ondergrond (soort, dichtheid, vlakheid, taludhelling);
- De aanlegcondities (weersgesteldheid en de verwerkingsmethode).

Bij aanvang van elk werk wordt het walsschema proefondervindelijk vastgesteld aan de hand van het geschiktheidsonderzoek.

Een veel gebruikt walsschema voor asphaltbeton is:

*Voorverdichting:* haaks op de dijkas voorrollen met een lichte statische wals of rol bij 150 tot 160°C (Figuur 8-13).

*Hoofdverdichting:* haaks op de dijkas verdichten met vijf tot zes overgangen van een tandemtrilwals van 600-1000 kg bij 120 tot 150°C (Figuur 8-14).

*Naverdichting:* in langsrichting naverdichten met vier tot vijf overgangen van een tandemtrilwals bij 90 tot 120°C (Figuur 8-15).

Het nawalsen heeft vooral effect op de vlakheid die na de hoofdverdichting soms te wensen over laat. Een opmerkelijke toename van de dichtheid wordt er niet mee bereikt.

Bij hellingen steiler dan 1:4 worden walsen aan lieren bevestigd die op de kruin zijn opgesteld. Hiermee wordt voorkomen dat zelfrijdende walsen zich in het asfalt graven en de bekleding vernielen.



Figuur 8-13: Verdichten van waterbouwasfaltbeton - voorverdichting – Brugaanzet Neeltje Jans



Figuur 8-14: Verdichten van waterbouwasfaltbeton met afgelieerde tandem trilwals – Veerhaven Texel (foto Ooms Construction)

Bij asfaltspreidmachines wordt de voorverdichting in het algemeen geleverd door het trillen van de spreidbalk.

Verdichten heeft alleen zin als het asfalt voldoende warm is. Als het asfalt te veel is afgekoeld moet worden gestopt met verdichten, omdat anders scheuren in de stijve bekleding worden geïnitieerd.

De bekleding kan ook gaan “golven” onder de wals en/of het asfalt kan “wegdrijven” naar de onderkant van het talud. Deze verschijnselen doen zich voor bij dikke lagen als het hart van de laag asfalt onder de afgekoelde bovenkant nog vrij warm is. Het nog warme bitumen in combinatie met ingesloten hete luchtballen geeft dan een plaatselijke overvulling en dat veroorzaakt de instabiliteit (vloei) van het asfalt. Treedt dit op, dan moet worden gewacht tot het mengsel enigszins is afgekoeld, de viscositeit van het asfalt is dan hoger en de druk in de luchtinsluitingen lager.



Figuur 8-15: Tandem-, trilwals voor de naverdichting – Paviljoenpolder (foto Bitumarin)

#### Naden

Bij beëindiging van een dagproductie (of langdurige stagnatie) wordt de bekleding recht afgewerkt met een las. Dit wordt uitgevoerd als rechte (Figuur 8-16) of schuine liplas (Figuur 8-17). Bij twee lagen worden rechte lassen gemaakt, die ten minste 0,5 meter uit elkaar moeten liggen. Bij voorkeur wordt een las verzwaard uitgevoerd. Eerst wordt de verzwaring gespreid en verdicht waarna de normale dikte wordt aangebracht.

Bij aansluiting op een daglas wordt de las eerst goed schoongemaakt en gekleefd en wordt vervolgens het warme asfalt met overhoogte tegen de koude las aangebracht. Vervolgens worden de grove minerale delen uit het asfalt geharkt en wordt de naad verdicht tot het oppervlak vet en dicht is. Daarmee wordt bereikt dat dit gedeelte wat bitumenrijker is en daardoor een duurzame aansluiting vormt.



Figuur 8-16: Daglas in waterbouwasfaltbeton uitgevoerd als rechte liplas

Omdat lassen in beginsel zwakke plekken in een bekleding vormen vergt het maken van de lassen bijzondere aandacht. Het type, de wijze van uitvoering en het resultaat kan ook onderdeel uitmaken van het geschiktheidsonderzoek.

Asfaltbetonbekledingen worden standaard voorzien van een oppervlakbehandeling, die bestaat uit een dichtingslaag (als daar reden voor is) en een slijtlaag, zie §8.10.



Figuur 8-17: Daglas in waterbouwasfaltbeton uitgevoerd als schuine liplas  
- Texel – 1998 (foto NPC)

### 8.8.3 *Verwerking asfaltmestiek en gietasfalt*

Asfaltmestiek en gietasfalt zijn mengsels die bij verwerkingstemperatuur vloeibaar zijn. De methoden van verwerken zijn daarom totaal anders dan bij stabiele mengsels als asfaltbeton.

#### Asfaltmestiek

Asfaltmestiek wordt opgeslagen en op een werk aangevoerd in een roerketel. Opslag korter dan een uur kan plaatsvinden in een transportmiddel zonder roerwerk. Het materiaal wordt boven water toegepast voor het penetreren van fijne sorteringen breuksteen of het dichteren van voegen bij steenbekledingen. Daarnaast wordt het als een flexibele teenbescherming in de vorm van een slab toegepast. Onder water wordt het eveneens toegepast als penetratiemateriaal en als bodembescherming.

Asfaltmestiek wordt boven water aangebracht met de bak van een hydraulische kraan of met een kubel. Onder water wordt een speciale kubel gebruikt die dicht en geïsoleerd is. Hiermee wordt voorkomen dat er water bij het asfalt komt en het te snel afkoelt. Ook het gebruik van een pijp is een mogelijkheid. Dit vereist wel speciale apparatuur (zie figuur 8-9 en figuur 8-25) en deskundigheid van de aannemer.

Asfaltmestiek als slab kan door de aard van het materiaal (dikvloeibaar) slechts op hellingen van maximaal 1:7 onder water en 1:10 boven water worden aangebracht. Boven water moet dan een bekisting worden gebruikt om zijdelings wegvloeien te voorkomen. De helling kan iets steiler zijn als de stabiliteit (viscositeit) van het mengsel wordt verhoogd. Overgangen van dagproducties (daglassen) moeten schoon zijn en zandvrij. Door middel van



bekistingsschotjes of balken kunnen rechte einden worden gemaakt. De hechting komt tot stand door versmelting van de randen van het bestaande en nieuwe gedeelte. Onder water moeten voldoende grote massa's worden aangebracht om de onnauwkeurigheid van werken te compenseren en hechting door warmteoverdracht te verzekeren. Bij toepassing als slab is een minimale dikte van 0,15 meter (circa 300 kg/m<sup>2</sup>) vereist. Voor een constante laagdikte is een vlakke ondergrond gewenst, vooral bij de aansluitingen. Het mengsel moet warm genoeg zijn om onder water uit te vloeien en aan het al aanwezige asfalt te kunnen hechten, om zo een aaneengesloten bekleding te vormen.

Bij verwerking met een pijp moeten mengsel, pijp en te realiseren constructie op elkaar zijn afgestemd. Asfaltmastiek wordt onder water aangebracht met een geïsoleerde kubel met kleppen aan de onderzijde. De kubel wordt boven water gevuld en op circa 1 meter boven de bodem onder water gelost. De charges mastiek worden dakpansgewijs geplaatst. Ook bij deze methode moet de uitvoering met het mengsel en het materieel op het resultaat worden afgestemd.

#### Gietasfalt

Gietasfalt wordt eveneens aangevoerd in geïsoleerde roerketels. Hiermee kan het materiaal op de gewenste temperatuur worden gehouden en wordt ontmenging voorkomen. Bij korte afstanden is het mogelijk gietasfalt in open bakken zonder voorzieningen te vervoeren. Kort namengen met de bak van een kraan is dan wel nodig.

Bij bijzondere toepassingen kan het mineraal aggregaat zo grof zijn dat roerketels niet meer kunnen worden gebruikt. Dan wordt gietasfalt vervoerd in bakken of containers. Het mengsel moet dan voor de verwerking nog wel met de bak van een hydraulische kraan worden gemengd.



Figuur 8-18: Patroonpenetratie van gietasfalt met een kubel - Meggetdam in Schotland (foto Bitumarin)

Gietasfalt wordt voornamelijk gebruikt om lichte sorteringen breuksteen te penetreren en teenconstructies te voorzien van een flexibele slab. Onder water verwerken van gietasfalt is werk voor een gespecialiseerd bedrijf wat daarvoor specifieke werktuigen in huis heeft.



Figuur 8-19: Penetreren van een breuksteenoverlaging met gietasfalt met de bak van een hydraulische kraan – West-Kappelse zeedijk – 2006

#### Penetratie

De kwaliteit van een gepenetreerde laag breuksteen hangt voor een groot deel af van de kwaliteit van de breuksteen. Het is dus van belang daar veel aandacht aan te besteden. Aan de breuksteen worden aparte eisen gesteld die in de Standaard en in NEN 5180 zijn opgenomen. De te penetreren breuksteen wordt aangeduid met het kleinste en het grootste steengewicht in de sortering (zie Tabel 8-2).

De meest voorkomende problemen met de kwaliteit van breuksteen zijn:

- Een onregelmatige gradering, zodat grote holtes ontstaan die veel gietasfalt vergen.
- Veel ondermaatse steen die de penetratie beperken.
- Veel vervuiling die de penetratie beperkt.
- Onzorgvuldig aanbrengen van de steen, zodat grote holtes ontstaan die veel gietasfalt vergen.

Meer informatie over breuksteen is opgenomen in [19], [80] en [88].

Het penetreren van de lagen breuksteen wordt uitgevoerd met behulp de bak van een hydraulische kraan of met kubels. Een kubel en een bak van een hydraulische kraan worden het meest gebruikt, omdat daarmee een grote productie mogelijk is. Gebruik van een bak heeft wel het bezwaar dat de dosering niet zo nauwkeurig is als bij een kubel. Zeker bij bijzondere penetraties als "patroon" verdient de kubel de voorkeur. Penetratie direct uit een roerketel levert het gevaar op van een ongecontroleerde stroming die de afzonderlijke breukstenen mee kan voeren. Dit geldt ook als het gietasfalt met andere middelen van bovenaf wordt aangebracht. Bij voorkeur wordt het dus vanaf de onderzijde, eventueel in twee fasen, gepenetreerd. Hierbij moet de dosering zo nauwkeurig zijn, dat het asfalt bij navloeien niet uit de bekleding loopt. Ervaring en vakkennis zijn dus nodig om een goede penetratie uit te voeren.

Tabel 8-2: Massaverdelingen van de lichte steensorteringen volgens NEN 5180

massa in kg gelijk aan of groter dan	cumulatieve fractie % [m/m]					
	5-40 kg		10-60 kg		40-200 kg	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
450	-	-	-	-	-	-
300	-	-	-	-	0	3
200	-	-	-	-	0	30
120	-	-	0	3	-	-
80	0	3	-	-	-	-
60	-	-	0	30	-	-
40	0	30	-	-	90	100
30	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	98	100
10	-	-	90	100	-	-
5	90	100	-	-	-	-
2	-	-	98	100	-	-
1,5	98	100	-	-	-	-
	gemiddelde massa exclusief de scherven [kg]					
	10	20	20	35	80	120



Figuur 8-20: Penetratie van gietasfalt - "volledige penetratie"

Of de steenlaag tot op de ondergrond wordt gepenetreerd, moet goed worden nagegaan, vooral bij een teenconstructie net onder water.

De hoogte tot waar de penetratie de steenlaag vult, dient voor de gebruikelijke "vol en zat"-penetratie zodanig te zijn dat de bovenste stenen van de steenlaag tot de helft in de mastiek liggen. Omdat de bekleding dan lastig begaanbare is, wordt soms gekozen voor een volledige penetratie van de steenlaag, zie Figuur 8-20.

De benodigde hoeveelheden gietasfalt worden bij aanvang van het werk vastgesteld aan de hand van het geschiktheidsonderzoek. Deze benodigde hoeveelheden zijn sterk afhankelijk van de te penetreren steensortering. Een 0,5 meter dikke laag breuksteen 10-60 kg met 40% HR die "vol en zat" wordt gepenetreerd, vraagt ongeveer 400 kg/m<sup>2</sup> gietasfalt en een 0,3 meter dikke laag ongeveer 250 kg/m<sup>2</sup>. De steilste te penetreren helling is 1:1,5.

Een "volledige" penetratie vergroot de begaanbaarheid en de levensduur van de bekleding, maar het is nadelig voor de natuurfunctie. Bovendien is het duurder. "Vol en zat"-penetratie is beter uit het oogpunt van natuurwaarden. Als daarbij steedelen niet met asfalt bedekt zijn, kunnen deze beschutting bieden voor de vestiging van dierlijke en plantaardige organismen. Voor een dergelijke zorgvuldige penetratie is het van belang om met kubels te werken om het bekledingsoppervlak zo veel mogelijk uit steen te laten bestaan. Gestreefd wordt naar 70 à 80% kale steen aan het oppervlak. In plaats van kubels kan ook met de bak van een kraan zorgvuldig worden gedoseerd, indien deze wordt voorzien van een trechtervormig opzetstuk. Alternatieven voor een dergelijke werkwijze zijn het nathouden van de toplaagstenen waarna het gietasfalt gemakkelijk is af te pellen, of het penetreren op plekken waar de bovenste stenen tijdelijk zijn weggenomen.

Bij een daglas wordt de productie beëindigd met voldoende lengte ongepenetreerde breuksteen om te voorkomen dat het gietasfalt uit de laag wegvloeit. Bij hervatten van de verwerking wordt eerst het ongepenetreerde gedeelte "vol en zat" gegoten. Gebruik van kleefmiddelen is bij de toepassing van gietasfalt niet nodig, omdat dit mengsel een overmaat aan bitumen heeft en door de warmtecapaciteit versmelt met de al aanwezige gietasfalt.

Bij een gezette steenbekleding wordt direct onder de overgangsconstructie vaak asfaltmestiek toegepast. De bovenste rijen zuilen liggen vaak iets losser dan de lageregelegen zuilen en zijn dus een zwakke plek in de bekleding. Daarom worden ze vastgelegd. Het toepassen van asfaltmestiek heeft de voorkeur omdat het penetrerend vermogen van asfaltmestiek groter is dan dat van gietasfalt, zeker als de bekleding is ingewassen met steenslag.

#### 8.8.4 *Verwerking open steenasfalt*

##### *Aanvoer*

Open steenasfalt is een materiaal dat bijzondere aandacht vraagt bij verwerking. Door de aard van het mengsel is het gevoelig voor ontmenging en de open structuur maakt het gevoelig voor afkoelen. In het vooronderzoek moet daarom met zorg een optimaal mengsel worden ontworpen dat bij het geschiktheidsonderzoek op zijn praktische bruikbaarheid wordt getoetst.

Open steenasfalt kan bij hogere temperaturen ontmengen als de mestiek (door een lage viscositeit) uitzakt. Daarom moet de transportafstand vanaf de asfaltinstallatie bij voorkeur zo klein mogelijk zijn en moet het asfalt direct worden verwerkt. Er kan gebruik worden gemaakt van tussenopslag in een inrijbak.

Als het steenasfalt bij het lossen in de inrijbak ontmengd blijkt te zijn, is homogeniseren eigenlijk niet meer goed mogelijk en moet het materiaal worden afgekeurd. Het is dus van belang om hier voldoende aandacht aan te schenken.

##### *In situ verwerken*

Het asfalt wordt in één laag aangebracht met een hydraulische kraan, in profiel en vlak afgewerkt en bij voorkeur licht afgerold of aangedrukt met de vlakke zijde van de bak van de hydraulische kraan, om losliggend materiaal te voorkomen. Alle verdere bewerkingen daarna moeten worden vermeden, zoals het mengsel naverdichten of het profiel bijwerken. In het afkoelende en stijver wordende open steenasfalt zullen anders losse delen ontstaan die niet meer hechten.



Open steenasfalt wordt in situ verwerkt met een laagdikte van ten minste viermaal de grootste nominale korrelafmeting (bij een steengradering van 11/16 dus: 0,07 meter). De maximale taludhelling bedraagt 1:1,5. Onder het mengsel wordt altijd een zanddicht filter (zandasfalt of een geotextiel) toegepast. Het filter mag niet beschadigd raken bij verwerking van het mengsel. Bij toepassing van een geotextiel moet de ondergrond vlak zijn afgewerkt en vrij zijn van scherpe voorwerpen.



Figuur 8-21: Aanbrengen van open steenasfalt in situ - Eemmeer – 1993



Figuur 8-22: Links: aanbrengen van een daglas van open steenasfalt op een filter van zandasfalt (foto Bitumarin); rechts: daglas in OSA na meer dan 20 jaar (foto Hydraphalt)

Naden in open steenasfalt worden uitgevoerd als rechte las. Hiervoor wordt bij beëindiging van een dagproductie (of bij langdurige stagnatie) een balk of schot geplaatst (zie Figuur 8-22). Ook kan de productie worden beëindigd door het materiaal schuin af te werken. Met een folie kan de rand van de las worden schoongehouden tegen inzanden. Bij vervolg van het werk wordt de rand zo nodig schoongemaakt en opgewarmd of met kleefmiddel gehecht aan het nieuwe asfalt. Bij hervatten van de productie wordt de punt van de schuine beëindiging afgehakt en wordt de las gekleefd of verwarmd (soms wordt open steenasfalt met overhoogte aangebracht om meer warmte aan de las over te dragen, waarna het wordt geëgaliseerd).

Het zanddichte filter moet onder een las doorlopen en mag niet worden beschadigd. Geotextielen moeten met overlap gelegd worden. Het onderliggende filter moet met voldoende lengte voorblijven op de asfaltverwerking. Als een geotextiel wordt gebruikt, moeten de afzonderlijke filterdoeken elkaar ten minste 0,5 meter overlappen.

#### Steenasfaltmatten

Open steenasfalt kan niet onder water worden verwerkt, omdat het mengsel dan door de open structuur direct afkoelt en de samenhang verloren gaat. Open steenasfalt kan wel als geprefabriceerde mat onder water worden aangebracht.

Een open steenasfaltmat wordt meestal in één laag (en bij voorkeur zonder onderbreking) in een bekisting met een vlakke bodem gemaakt. Eerst worden kabels of banden over de bodem gelegd, waarover een zanddicht geotextiel wordt aangebracht. Over het strakgetrokken geotextiel wordt de open steenasfalt gespreid met een hydraulische kraan. Meestal wordt een wapening ingebracht om trekspanningen bij het opnemen, vervoer en afzinken op te vangen. Wordt een lage wapening met grote mazen toegepast, dan wordt het asfalt in één laag aangebracht. In de andere gevallen verdient het aanbrengen in twee lagen de voorkeur.

Een mat kan worden verplaatst door het met kabels of banden op te hangen aan een hijsframe (Figuur 8-23).



Figuur 8-23: Plaatsen van een mat van open steenasfalt met behulp van een hijsframe - Kanaal van Steenenhoek - 1982 (foto Bitumarin)

Grote matten worden aan een stijf hijsframe (Figuur 8-24) gehangen of vanaf een (drijvende) rol in één lange strook afgezonken. Grote matten worden alleen in uitzonderlijke situaties toegepast. Bij het plaatsen van de mat, onder of boven water, moet de mat zorgvuldig en goed aanliggend worden neergelegd. Een slecht op de ondergrond aansluitende mat zal bij stroombelasting gaan klapperen (tij, schroefstralen), waardoor ontgronding kan plaatsvinden en de mat kan scheuren. De ondergrond onder een mat moet daarom vlak zijn.

Matten kunnen op een taludhelling van 1:1 worden aangelegd als de ondergrond (grondmechanisch) stabiel is en de matten worden verankerd. Dit verankeren kan door het filterdoek over voldoende lengte in te graven of door het doek op te rollen en met palen (piketten, pennen) in de grond te bevestigen.





Figuur 8-24: Plaatsen van een grote mat van open steenasfalt met een hijsframe – Vulcaanhaven (foto Hydraphalt)

Bij de naden tussen de matten moet het geotextiel met overlap worden gelegd (circa 0,5 meter overlap). Voegen tussen onder water gelegde matten worden afgegoten met asfaltmastiek. Bij grote matten die in de golfzone als kraagstuk worden toegepast, wordt breuksteen in de voeg aangebracht en vervolgens gepenetreerd.



Figuur 8-25: Gesloten stortkoker voor aangieten van naden onder water – Vulcaanhaven (foto Hydraphalt)

#### 8.8.5 Verwerking zandasfalt

##### Filterlagen en bekleding

Zandasfalt voor filterlagen of (tijdelijke) taludbekleding moet met zorg worden behandeld en moet daarom schoon worden opgeslagen in (geïsoleerde) bunkers of een inrijbak.

Bekledingen worden alleen boven hoogwater aangebracht, filterlagen worden boven gemiddeld laagwater toegepast. Voor de verwerking wordt meestal een hydraulische kraan gebruikt. Het materiaal wordt in één laag over de volle benodigde dikte aangebracht.

Zandasfalt voor filters wordt meestal niet verdicht. Alleen een lichte verdichting door aandrukken met de bak van de kraan is aan te bevelen. De kans op scheuren en ongelijke vervormingen als gevolg van naverdichting door golfklappen wordt hiermee voorkomen. Zandasfalt voor bekledingen moet direct na profilering worden verdicht met lichte statische rollen en lichte trilwalsen. Het verdichten mag niet te lang worden voortgezet, omdat het afgekoelde zandasfalt gevoelig is voor het ontstaan van scheuren.

De levensduur van zandasfalt kan aanzienlijk worden verhoogd door vulstof aan het mengsel toe te voegen. Dit gaat echter wel ten koste van de flexibiliteit, verdichtbaarheid en de doorlatendheid van het asfalt.

#### Kernen en perskaden

Aan zandasfalt dat wordt toegepast als kernmateriaal en perskade worden minder strenge eisen gesteld voor transport en opslag dan aan andere asfaltmengsels. Dit heeft te maken met de minder hoogwaardige en tijdelijke erosiebestendige toepassing van het materiaal.

Het zandasfalt kan in bulk worden opgeslagen. Bij grote depots kan de afgekoelde schil met onderliggend warmer materiaal worden gemengd. Het moment van verwerken is ook niet kritisch. Materiaal in depot blijft nog een à twee weken verwerkbaar door het lage warmtegeleidingsvermogen. Zandasfalt wordt ook in depot gezet om tot een gewenste verwerkingstemperatuur af te koelen. Het bitumen in zandasfalt verouderd wel sneller dan in andere mengsels. Dit wordt veroorzaakt door de dunne bitumenfilm om de zandkorrels en de open structuur van het mengsel. Zowel de warmte als de oxidatie aan de lucht hebben daardoor meer invloed. Het zandasfalt wordt gestort uit het transportmiddel en verwerkt met een bulldozer of een hydraulische kraan. Door het verwerken in bulkhoeveelheden kan het asfalt in de tijzone worden aangebracht; het moet wel bijeenblijven om afkoelen en verbreken te voorkomen.

Voor zover er sprake is van (gewenste) verdichting, wordt deze alleen bereikt door de bulldozer en het effect van de eigen massa.



Figuur 8-25: Uitrijden van zandasfalt voor de bouw van een dam - Zeebrugge in België (foto Bitumarin)

Na afkoelen van het oppervlak moeten verdere bewerkingen worden vermeden, zoals het mengsel verdichten of het profiel bijwerken. In het afkoelende brosser wordende mengsel

zullen anders scheuren worden geïnitieerd, waardoor delen van de bekleding los kunnen raken.

Bij toepassing volledig onder water worden bij voorkeur grote massa's (1000 kg) direct gelost en wordt enige overmaat aan asfalt gebruikt. De grote massa's voorkomen sterke afkoeling en uiteenvallen bij het storten en de overmaat is nodig om enig verlies aan materiaal op te vangen. Voor de maximale vrije stortdiepte onder water wordt 3 meter aangehouden. Grotere hoogten doen het materiaal teveel spreiden en daarmee afkoelen voor het de bodem bereikt. Storten onder water kan ook met een stortpijp tot dieptes van 20 meter. Hierbij wordt de pijp op 1 tot 3 meter afstand van de bodem gehouden.



Figuur 8-26: Profileren van een zandasfaltdam - Zeebrugge in België (foto Bitumarin)



Figuur 8-27: Perskade van zandasfalt (foto Bitumarin)

De temperatuur van het asfalt mag niet hoger zijn dan 100°C om stoomvorming en het omhoog drukken van het asfalt in de pijp te voorkomen. De snelheid van het storten moet zo groot zijn dat de instroom van water in de pijp wordt voorkomen. Een kubel kan ook gebruikt worden voor het aanbrengen, evenals een kabelbaan of een transportband. Zandasfalt in gaas verpakt, kan met onderlossers in grote hoeveelheden worden gestort. Bij verwacht materiaalverlies worden kernen en perskaden overbemeten. Onder water wordt een minimale laagdikte van 0,50 tot 0,70 meter aangehouden.

Daglassen in zandasfalt voor bekleding en filter worden uitgevoerd als rechte las. De hechting wordt bereikt door de al aanwezige zandasfalt te verwarmen of met een kleefmiddel te bestrijken. Daglassen van zandasfalt in bulk aangebracht, hoeven alleen schoon te zijn.

#### 8.9 Uitvoering overgangsconstructies

Voor de uitvoering van overgangsconstructies zijn nauwelijks algemeen geldende regels te geven. Een overgangsconstructie moet met grote zorgvuldigheid worden gemaakt. Door het ontwerp van de overgangsconstructie nader te analyseren kunnen aandachtspunten voor de uitvoering worden bepaald.

Algemeen gelden voor overgangsconstructies de volgende uitvoeringsbeginselen:

- Een nauwkeurige maatvoering is van groot belang;
- De ondergrond moet zo min mogelijk worden verstoord;
- De overgang tussen aanliggende bekledingen met verschillende laagdiktes moet vloeiend verlopen;
- De bovenzijde van de overgang moet vlak aansluiten op de aanliggende bekledingen;
- De overgang moet goed hechten aan de aanliggende bekledingen;
- De constructie moet eenvoudig zijn uit te voeren;
- Het resultaat moet goed te controleren zijn.

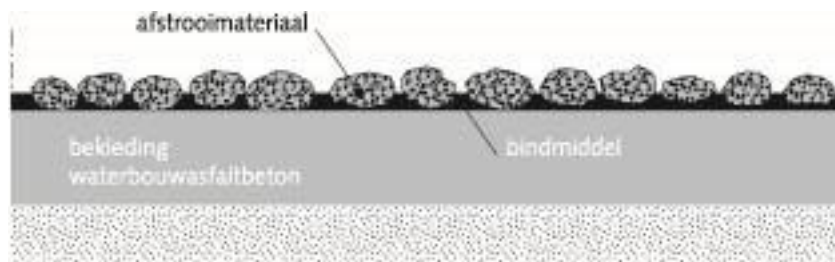
Per beschouwde overgangsconstructie moet worden nagegaan welke aspecten bij de uitvoering nadere aandacht verdienen. Hierbij kan het Rapport Overgangsconstructies in dijkbekledingen [45] een goed hulpmiddel zijn. Hierin wordt een groot aantal overgangsconstructies in detail behandeld.

#### 8.10 Aanbrengen oppervlakbehandeling

Op bekledingen van asfaltbeton worden in het algemeen oppervlakbehandelingen aangebracht. Een oppervlakbehandeling voorkomt aantasting van de bekleding, omdat het oppervlak wordt geconserveerd met een dunne laag bindmiddel. Een oppervlakbehandeling bestaat in beginsel uit een dichtingslaag en een slijtlaag.

Een dichtingslaag kan worden toegepast als het oppervlak van de bekleding niet voldoende dicht is. Als blijkt dat de bekleding direct na verdichten een open textuur (door de aard van het mengsel) of walsscheurtjes vertoont, dan wordt het oppervlak dicht gespoten met een bitumenemulsie; de dichtingslaag bestaat dus alleen uit bindmiddel.

Een slijtlaag wordt altijd toegepast (Figuur 8-28) en bestaat uit een laag gelijkmatig verdeeld bindmiddel, dat wordt afgestrooid met fijn grind of steenslag. Een slijtlaag heeft naast een conserverende werking vooral een esthetische functie. Het afstrooimateriaal kan de zwarte asfaltbetonbekleding een andere gewenste kleur geven, een aspect dat bij landschappelijke beschouwingen steeds zwaarder weegt.



Figuur 8-28: Slijtlaag



Een dichtingslaag wordt meestal direct na aanleg van de bekleding aangebracht. De slijtlaag kan later (bijvoorbeeld een seizoen later) worden aangebracht. De keuze hangt af van de verwachte mate van vervuiling en de mogelijkheden van het schoonmaken van de bekleding. Als eerst een dichtingslaag is aangebracht, dan verdient het de voorkeur deze niet te laten vervuilen maar zo snel mogelijk te voorzien van een slijtlaag.

Voor het aanbrengen van een dichtingslaag wordt het oppervlak schoongemaakt met een rolbezem en bij grote verontreinigingen met een hogedrukspuit. Om een gelijkmatige verdeling te krijgen, wordt het bindmiddel bij voorkeur aangebracht met een sproeiauto (mechanisch). In Figuur 8-29 is dit weergegeven. Bij taluds steiler dan 1:3 kan een sproeiauto niet worden ingezet, dan wordt een bitumineuze sealing toegepast waarbij het bindmiddel bestaat uit een warme- of een emulsiebitumen.



Figuur 8-29: Machinaal sproeien van bindmiddel voor het aanbrengen van een oppervlakbehandeling (foto ESHA)

Als bindmiddel van zowel dichtings- als slijtlaag wordt om milieuhygiënische redenen de voorkeur gegeven aan een bitumenemulsie; hieruit kan alleen water verdampen. Warm gesproeiende bitumen met uitfluxende oplosmiddelen of vloeibitumen worden ook toegepast. Het voordeel van hoog viskeuze vloeibitumen is dat het beter verwerkbaar is op steile taluds. Polymeergemodificeerd bitumen wordt niet gebruikt, omdat het geen hogere weerstand tegen zout water heeft dan conventioneel bitumen; bovendien zijn de kosten veel hoger. De oppervlakbehandeling wordt bij voorkeur in horizontale banen van boven naar beneden aangebracht om te voorkomen dat naar beneden lopende bitumenemulsie over een al aangebrachte baan loopt.

Bij de verwerking van deze bindmiddelen zijn de weersomstandigheden van belang. Bij toepassing van emulsie moet het droog weer zijn met een geringe luchtvochtigheid. De bekleding mag licht vochtig zijn, maar plassen water zijn niet toegestaan. Bij te grote windsnelheden (boven windkracht 6) wordt het gelijkmatig sproeien problematisch, zeker bij handmatig aanbrengen. Indien de temperatuur onder het vriespunt komt, kan emulsie niet meer worden gebruikt omdat het materiaal bevriest. In dat geval is vloeibitumen een alternatief.

Het bindmiddel van de slijtlaag wordt met een splitstrooier afgestrooid met steenslag 2/6 of 4/8. Deze afstrooimaterialen moeten stofarm zijn en vrij van verontreinigingen zoals klei en

leem om de hechting met het bindmiddel niet te verstoren; bij emulsie mag het afstrooimateriaal vochtig zijn, bij vloeibitumen is droog materiaal vereist. Wordt de bekleding ook als fietspad gebruikt dan verdient fijn (2/6) parelgrind als afstrooimiddel de voorkeur (minder letsel bij valpartijen en minder kans op lekke banden). De steenslag wordt indien mogelijk ingewalst met een bandenwals. De overmaat aan steenslag wordt opgeveegd en hergebruikt.



Figuur 8-30: Afstrooien met split voor het aanbrengen van een oppervlakbehandeling (foto ESHA)

Tabel 8-3: Toe te passen hoeveelheden bij aanbrengen van een slijtlaag

bindmiddel	hoeveelheid bindmiddel	sortering steenslag/grind	hoeveelheid steenslag/grind
bitumenemulsie	1,0 - 1,5 kg/m <sup>2</sup>	2/6	7 - 9 kg/m <sup>2</sup>
bitumenemulsie	1,4 - 1,8 kg/m <sup>2</sup>	4/8	8 - 14 kg/m <sup>2</sup>
vloeibitumen	0,6 - 1,0 kg/m <sup>2</sup>	2/6	7 - 9 kg/m <sup>2</sup>
vloeibitumen	1,0 - 1,2 kg/m <sup>2</sup>	4/8	8 - 14 kg/m <sup>2</sup>

#### Hoeveelheden

De hoeveelheden te gebruiken materiaal hangen mede af van de conditie van het oppervlak van de bekleding en worden in overleg tussen opdrachtgever en aannemer bij aanvang van het aanbrengen van de oppervlakbehandeling vastgesteld. Voor het aanbrengen van een dichtingslaag wordt meestal niet meer dan 1,0 kg/m<sup>2</sup> gebruikt. Voor het aanbrengen van een slijtlaag kan worden uitgegaan van de hoeveelheden zoals aangegeven in Tabel 8-3.

#### 8.11

##### Aanbrengen van wapening

Voor de uitvoering van wapening in asfaltbekledingen zijn nauwelijks regels te geven omdat de ervaringen zo beperkt zijn. Bij het ontwerp, of het nu een kwalitatieve beschouwing of een numerieke modellering is, moet zorgvuldig worden nagegaan welke elementen bij de uitvoering van belang zijn om een goed en langdurig functionerende wapening te verkrijgen. Hierbij kan de deskundigheid van producenten en leveranciers worden ingeschakeld.



Enkele belangrijke aspecten zijn:

- Tijdens transport is het van belang beschadigingen aan de wapening te voorkomen. De laag asfalt waar de wapening op wordt aangebracht, mag hierdoor niet worden beschadigd;
- De wapening moet vlak worden aangebracht op de asfaltlaag;
- De wapening moet op de asfaltlaag worden vastgezet, zodat de positie niet verandert tijdens het aanbrengen van de volgende laag asfalt;
- De wapening moet worden beschermd tegen te hoge temperaturen (bijvoorbeeld met polyethyleen of non-woven (nylon) doek).

#### 8.12 Hergebruik asfalt

In het kader van het milieubeleid (zie §11.6) is een zuinig gebruik van grondstoffen van groot belang. Daarbij hoort het opnieuw gebruiken van vrijkomende materialen bij de sloop van bouwwerken. Oud asfalt in de vorm van asfaltgranulaat is een van de meest hergebruikte materialen [12].

In §11.6.6 wordt verder op het hergebruik ingegaan.



Figuur 8-31: Depot asfalttschollen voor hergebruik in bekleding van waterbouwasfaltbeton - Onrustpolder – 1985

#### 8.13 Kwaliteitszorg

##### 8.13.1 Algemeen

Kwaliteitszorg kan worden gedefinieerd als het geheel aan regels en activiteiten (methodiek), dat gericht is op het leveren van een prestatie met een gewenste kwaliteit. Deze regels en activiteiten zijn van oudsher vastgelegd in de RAW-systematiek en meer recent door de contracten onder UAV-GC.

##### RAW

In de RAW-systematiek speelt de opdrachtgever een grote rol in de kwaliteitszorg. De opdrachtgever verzorgt het ontwerp, stelt het bestek op, houdt toezicht bij de uitvoering en controleert het bereikte resultaat. De aannemer heeft de taak om bij aanbesteding aan te tonen dat hij in staat is de gevraagde prestatie te leveren en bij de uitvoering door middel van bedrijfscontrole aan te tonen dat alle handelingen leiden tot het gewenste resultaat.

Deze bedrijfscontrole is echter niet bepalend bij het vaststellen van de geleverde kwaliteit. Daarbij geldt nog steeds dat de opleveringscontrole door of namens de directie doorslaggevend is.

#### UAV-GC bij RWS

De afgelopen decennia is steeds meer het besef ontstaan dat de opdrachtnemer een grotere rol in de kwaliteitszorg moet vervullen. Immers in vele takken van industrie regelt het bedrijfsleven de kwaliteitszorg en speelt de consument (opdrachtgever) een ondergeschikte rol.

Rijkswaterstaat streeft sinds 1992 naar vernieuwde werkverhoudingen met marktpartijen. Kwaliteitsmanagement speelt hierin een belangrijke rol. Het uitgangspunt was en is dat opdrachtnemers zelf verantwoordelijk zijn voor de kwaliteit van het werk dat zij hebben aangenomen. Het gevolg hiervan is dat de opdrachtnemer tijdens en na de uitvoering van het werk moet kunnen aantonen dat hij voldoet aan de kwaliteitseisen.

Beheersing van de geïntegreerde contractvormen op de traditionele wijze (= de eigen waarneming door de toezichthouder) past niet langer in de contractbeheersing door de opdrachtgever. Daarom is de methodiek van systeemgerichte contractbeheersing (SCB) ontwikkeld. Een wijze van contractbeheersing waarbij risicogestuurd gebruik wordt gemaakt van de gegevens die voortkomen uit het (ISO) gecertificeerde kwaliteitsmanagementsysteem van de opdrachtnemer.

SCB wordt anno 2009 toegepast op alle contractvormen (D&C, prestatiecontracten, planstudies) bij RWS.

#### CE-markering

Sinds 1 maart 2008 moeten asfaltmengsels in de wegenbouw 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 bijvoorbeeld mechanische sterkte en stabiliteit, brandveiligheid en geluidshinder. 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 waterbouwasfaltmengsels wordt (nog) niet geëist dat deze een CE-markering hebben. In normen als NEN-EN 13108 (Bitumineuze mengsels - Materiaalspecificaties -Deel 1: Asfaltbeton', juni 2006) 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.

### 8.13.2 *Waterbouwasfalt*

#### RAW

Bij de toepassing van waterbouwasfalt volgens de RAW-systematiek zijn de volgende specifieke zaken van belang:

- De opdrachtgever formuleert de eisen en de resultaatsbeschrijvingen. Voor zover de eisen afwijken van die in de Standaard worden deze in het bestek opgenomen;
- De aannemer verricht met de te gebruiken bouwstoffen een vooronderzoek, waarmee wordt aangetoond dat met de bouwstoffen het gewenste mengsel kan worden gemaakt en waarmee bij verwerking de juiste bekleding kan worden aangelegd;
- Vervolgens laat de aannemer bij aanvang van het werk met een geschiktheidsonderzoek zien dat de bereiding, het transport en de wijze van verwerking leidt tot het gewenste resultaat. Daarbij is het van belang dat snel inzicht in het resultaat wordt verkregen, omdat stagnatie niet gewenst is. In die zin is de aanvang van het werk te beschouwen als het sluitstuk van het geschiktheidsonderzoek en zal, bij acceptatie van het resultaat, de werkwijze vastliggen.

Het is dus de taak van de opdrachtgever om vooronderzoek, geschiktheidsonderzoek en aanvang van het werk zeer kritisch te volgen. Alle bevindingen en nadere afspraken kunnen een hoop kwaliteitsproblemen bij de verdere uitvoering van het werk voorkomen. Hierbij speelt de bijzondere situatie van waterkeringen een rol. Controle achteraf, zoals in de wegenbouw gebruikelijk, is niet wenselijk bij waterkeringen omdat de veiligheid tegen overstromen in het geding is. Controle tijdens de bouw is dus geboden en de Standaard voorziet hierin.

- Tijdens de uitvoering toont de aannemer door middel van onderzoek aan, dat de resultaatsverplichting wordt gehaald en dat de bekledingen aan de eisen voldoen. Dit betreft aspecten als laagdikte, samenstelling (korrelverdeling en bitumengehalte) en holle ruimte vanuit de eisen in hoofdstuk 52.52 uit de Standaard. Daarnaast wordt met leveringsbonnen en productcertificaten de hoeveelheid en het gebruik van de juiste bouwstoffen aangetoond.

Bij de asfaltinstallatie waarvan het asfalt wordt betrokken, is een laboratorium aanwezig waarin het benodigde kwaliteitsonderzoek door de producent kan worden uitgevoerd. Dit betreft de controle van bouwstoffen en asfaltmengsels. Het vooronderzoek, dat ten hoogste eenmaal per jaar wordt uitgevoerd, wordt meestal in het centrale laboratorium van de aannemer of bij de asfaltinstallatie uitgevoerd.

Hoe beter de aannemer door middel van de eigen kwaliteitszorg (bedrijfscontrole) aantoont dat zijn wijze van werken leidt tot het gewenste resultaat, des te minder verrassingen worden bij de opleveringscontrole door de opdrachtgever gevonden.

Een probleem bij kwaliteitszorg is de vraag, wat te doen als niet aan bepaalde eisen wordt voldaan. In dat geval moet de aannemer volgens de huidige regels het gedeelte dat niet voldoet "verbeteren of vernieuwen". Nergens is echter geregeld, wanneer moet worden verbeterd (of vernieuwd) en hoe dit moet gebeuren. Dit wordt in onderling overleg tussen aannemer en opdrachtgever vastgesteld.

In de Standaard 2010 [9] is een kortingssysteem opgenomen, (zie tabellen in hoofdstuk 52.52 en artikelen 52.54.06 t/m 52.54.08 van [9]) Veel waterkeringbeheerders vinden dit niet toereikend omdat de korting niet in verhouding staat tot de mate van afwijken, die leidt tot verminderde levensduur c.q. risico voor de waterkering.

#### SCB

Bij de uitvoering van werken volgens de systeemgerichte contractbeheersing (SCB) van RWS is het van belang dat de opdrachtgever duidelijk formuleert welke prestatie van de opdrachtnemer wordt verlangd. Deze prestatie bestaat niet meer uit zeer gedetailleerde eisen (zoals in de RAW-systematiek), maar uit eisen die meer de beoogde functies van het te realiseren object beschrijven. Deze beschrijving wordt afgeleid uit het systeem van functioneel

specificeren van asfaltdijkbekledingen dat in ontwikkeling is. Hierbij wordt vanuit de maatschappelijke (en nogal abstracte) functies van de waterkering in steeds gedetailleerder niveau afgeleid welke eisen relevant zijn. Het hangt van de opdrachtgever af tot welk niveau eisen worden geformuleerd, om de opdrachtnemer zijn prestatie te laten vervullen.

Tot nu toe zijn de ervaringen met SCB bij de aanleg van asfaltdijkbekledingen niet erg bemoedigend. Het blijkt moeilijk om op een minder gedetailleerd niveau de prestatie te beschrijven waardoor de bekleding de gewenste functies kan vervullen. Veelal wordt voor de beschrijving toch verwezen naar de inhoud van de Standaard RAW-Bepalingen.

### 8.13.3 *Integrale kwaliteitszorg*

#### Inleiding

Kwaliteitszorg is een begrip dat vooral wordt geassocieerd met de aanleg van werken. Hierbij wordt met behulp van een uitgebreid stelsel van bestekbepalingen voorgeschreven hoe de aannemer de vereiste kwaliteit van het eindproduct moet realiseren. Er wordt hierbij gebruikgemaakt van de RAW-systematiek of de SCB-systematiek. Bij de SCB is van belang dat de opdrachtgever goed formuleert welke prestatie geleverd moet worden. Deze zogenaamde functionele eisen zijn de basis voor een prestatiebestek.

#### Functionele eisen

Functionele eisen worden afgeleid van de primaire en secundaire functies die een object, in dit geval een asfaltbekleding, moet vervullen. Voor nadere informatie wordt verwezen naar §3.8.

In hoofdstuk 3 is weergegeven welke functies relevant zijn en welke technische eisen hieruit zijn af te leiden. Daarnaast kan gekozen worden om de eisen af te leiden met de systematiek van de "Piramide van eisen" (zie Deel 1: Algemeen [86] van deze Handreiking; Bijlage II). 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:

In 2011 is een studie gestart naar de volledige invulling van het functioneel specificeren van asfaltdijkbekledingen in relatie tot Systems Engineering (SE). Mogelijk geeft deze studie de oplossing voor de problemen die momenteel worden ondervonden bij de SCB-contracten van RWS.

Tabel 8-4: Primaire eisen asfaltbekleding

Soort eis	Eis voor asfaltbekleding
Gebruikers-eisen (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

#### Integrale kwaliteitszorg

De functionele eis (prestatie) is niet alleen van belang bij de aanleg van het werk, maar ook gedurende de gehele levensduur, dus van ontwerp, aanleg, beheer, 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 rest van deze paragraaf wordt aangegeven hoe kwaliteitszorg kan worden geïntegreerd in de levensduurfasen.

#### 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 (zie Deel 1: Algemeen [86] van deze Handreiking; Bijlage II). Omdat deze systematische aanpak nog nooit is gebruikt, loont het de moeite om dit zowel voor RAW-bestekken (Standaard RAW Bepalingen 2010 [9]) 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.

#### Kwaliteitszorg bij Aanleg

Voor de aanleg van werken is de kwaliteitszorg beschreven in de RAW-systematiek. Ook voor prestatiebestekken kan de kwaliteitszorg volgens de RAW worden gehanteerd.

In opdracht van Rijkswaterstaat (Projectbureau Zeeweringen) is een stelsel besteksbepalingen voor open steenasfaltbekledingen [65] 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 §4.4.3) en het bepaling van de hechting tussen steen en bindmiddel (zie § 8.5.1). Ook het gebruik van vezels en hechtverbeteraars is in deze besteksbepalingen voorzien.

Voor waterbouw-asfaltbeton en gepenetreerde breuksteen zijn nog geen besteksbepalingen opgesteld die geschikt zijn om in prestatiebestekken te gebruiken.

Bij patroongepenetreerde breuksteen verdient de kwaliteitszorg extra aandacht. Penetratiemortel is relatief duur, dus de aanbesteding van een werk met alleen de prijs als criterium, kan leiden tot te spaarzaam mortelgebruik. Wat leidt tot relatief veel ongebonden steen in de bekleding die daardoor relatief schadegevoeliger zal zijn.

#### Kwaliteitszorg bij Beheer en Onderhoud

Hoe het beheer en onderhoud van asfaltdijkbekledingen 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 een systematische (rationele) beheermethode ontwikkeld, zoals in de wegenbouw.

De behoefte daaraan wordt echter steeds groter. Vooral door de toegenomen ouderdom van de bekledingen wordt de kans op schade immers groter. Daarom is in 2009 begonnen met het 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 het 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 en dergelijke);
  - Laboratoriumonderzoek aan boorkernen (standaard en mechanisch);
- Toetsgegevens (gebruikte data, beoordelingsresultaten en dergelijke);
- Reparatiegegevens.

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

#### 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 kan worden hergebruikt. Daarnaast kan worden bekeken of materialen geheel of gedeeltelijk kunnen worden hergebruikt. Verder is van belang of een zo economisch mogelijke constructie wordt ontworpen of een constructie met zo lang mogelijke levensduur.

## 9 Schadebeelden en inspectie

### 9.1 Inleiding

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 die door STOWA en RWS ontwikkeld is (digispectie [73]), 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 veiligheid zijn vastgelegd in het wettelijk toetsinstrumentarium [71].

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 kan een directe vergelijking met beeldmateriaal ter plaatse gemaakt tijdens eerdere inspecties. Voor de relatie tussen de schadebeelden en de toetsing/faalmechanismen wordt verwezen naar de Handreiking inspecties Technisch deel [76].

### 9.2 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 is, zijn schades die deze primaire functie aantasten van belang.



### Scheuren

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 vaak is belangrijker 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. Ook vervormingen van de ondergrond kunnen tot zeer ernstige scheuren leiden. Daarbij zullen delen van het talud zich loodrecht op het oppervlak hebben verplaatst. Ook bijzondere belastingen kunnen tot (lokale) scheuren leiden.

Recent onderzoek heeft aangetoond dat openstaande scheuren in de golfaanvalszone al snel tot materiaaltransport vanonder de bekleding leidt wat tot falen van de bekleding leidt. Dat maakt dat van scheuren die aan het bekledingsoppervlak worden waargenomen moet worden vastgesteld of zij over de volle bekledingsdikte doorlopen. Omdat stormbelasting in het algemeen optreedt in het winterseizoen, kunnen scheuren op het maatgevende moment door afkoeling verder zijn doorgescheurd en/of verder open staan dan op het moment van inspectie. Als de asfaltbekleding niet op een erosieremmende onderlaag ligt (geotextiel, laag zandasfalt, kleilaag) dan is direct repareren de beste oplossing in geval van twijfel over waargenomen diepe scheuren.



Figuur 9-1: Links: temperatuurscheuren waarbij zand van onder de bekleding is gekomen als gevolg van activiteit van mieren. Rechts: walscheuren

Scheuren die duidelijk minder bedreigend zijn, zijn walscheuren. Dit zijn scheuren die op korte afstand min of meer parallel aan elkaar lopen. Deze scheuren, ontstaan bij aanleg in het al afgekoelde oppervlak, terwijl de kern van de bekleding nog viskeus is. Deze scheuren 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

Naden die bij aanleg van de bekleding onvermijdelijk moeten worden aangebracht, zijn plaatsen waar de kwaliteit, onder andere 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 9-3) hoeft een openstaande



naad nog niet te betekenen dat de zanddichtheid in gevaar is, maar het risico dat de lip ter plaatse van de wijkende naad ook afscheurt, is uiteraard aanzienlijk in vergelijking met de toelaatbare faalkans van de bekleding. Als ter plaatse van de naad geen erosieremmende onderlaag aanwezig is, is spoedig repareren noodzakelijk om de veiligheid van de bekleding tijdens het stormseizoen te waarborgen.



Figuur 9-2: 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 vergeelde begroeiing in de scheur van de afgebroken lip (= situatie van Figuur 9-3 rechtsonder)



Figuur 9-3: Een aantal denkbare varianten van openstaande naden in geval van een liplas



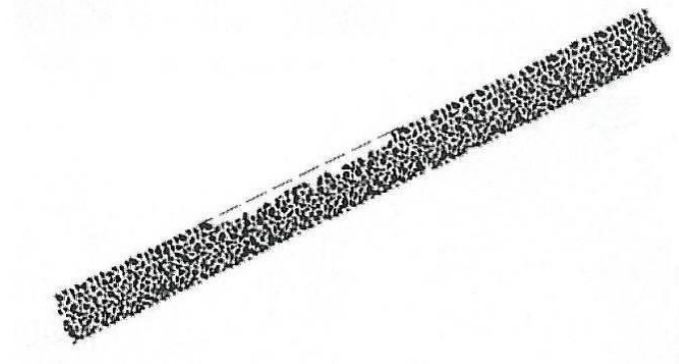
Figuur 9-4: Links: lokaal vervangen bekleding na schade door uitspoelen van zand bij een slecht uitgevoerde aansluiting op de betonnen constructie links. Rechts: gat na het instorten van de toplaag na ondermijning als gevolg van het bezwijken van de aangrenzende steenzetting

### Gaten

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 bezweken 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.

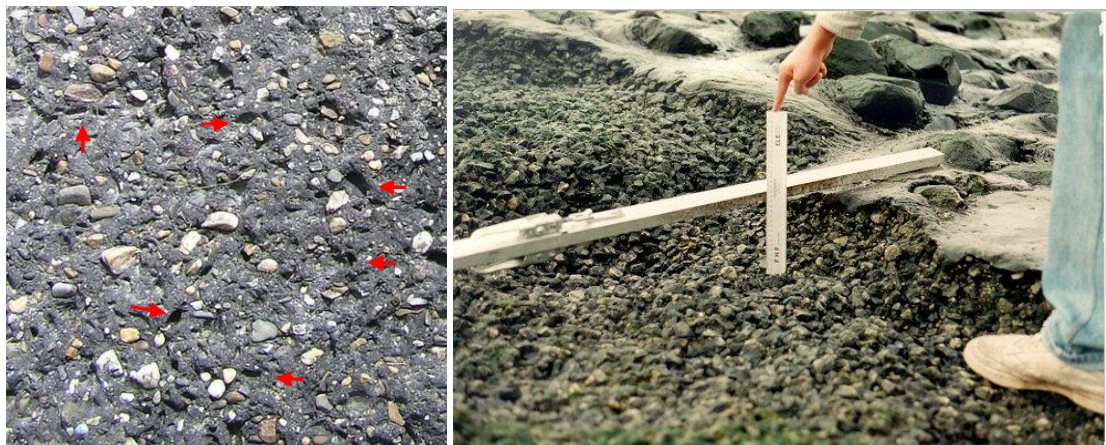
### Aangetast oppervlak

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



Figuur 9-5: Aangetast oppervlak: stenen uit het oppervlak verdwenen

Figuur 9-6 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.



Figuur 9-6: Aangetast oppervlak. Links: grindasfalt aangetast door stripping, bij de pijltjes afdrukken van grindbiggels die zijn losgekomen. Rechts: open steenasfalt aangetast door erosie (mechanische belasting)

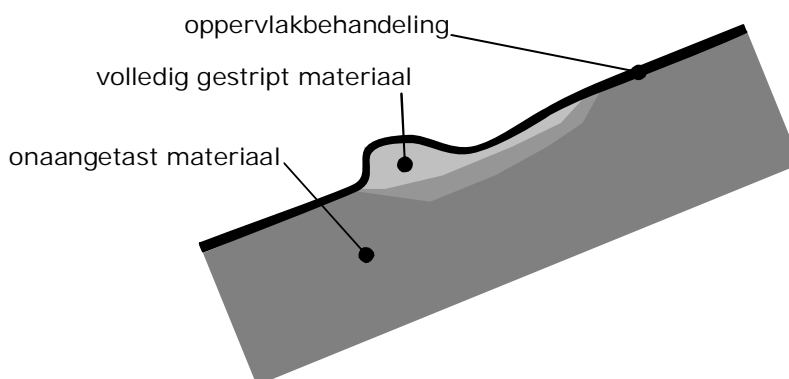
Erosie kan bij asfaltmengsels met minder samenhang zoals open steenasfalt of zandasfalt ook leiden tot substantiële aantasting van het oppervlak. Als deze materialen als bekleding

worden toegepast in een zone waar langdurig losse stenen over de bekleding heen en weer bewegen als gevolg van golfaanval, zal dit zelfs tot volledig doorslijten van de toplaag leiden.

#### Opbollingen

Opbollingen zijn als ze heel lokaal zijn een uitingsvorm 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. Dit treedt op als onder invloed van vocht de hechting tussen steenfractie en bitumen verloren gaat. In principe is een oppervlakbehandeling bedoeld om de asfaltlaag tegen weersinvloeden te beschermen, waaronder vocht. 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 9-7). De afmetingen van een opbolling ten gevolge van stripping zijn veelal 10 tot 50 centimeter in diameter, maar soms nog groter.



Figuur 9-7: 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.

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.

Als een opbolling en erboven aangrenzend een verzakking wordt geconstateerd met een afmeting tegen het talud groter dan 1 meter, 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 afbeeldingen.





Figuur 9-8: Links: enkele zeer prominente opbollingen; rechts: open gebroken opbolling toont lokaal volledig uiteengevallen grindasfalt



Figuur 9-9: Enkele strookvormige opbollingen



Figuur 9-10: Voorbeelden van instabiliteit van ondergrond

### Verzakking

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, 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.



Figuur 9-11: 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

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.



Figuur 9-12: 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.





Figuur 9-13: 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 asfaltlaag gaan en de groene delen boven het asfalt uitgroeien. Begroeiing door het asfalt betekent dat het asfalt is doorboord door een stengel of stam, die bij afsterven en verrotting een gat achterlaat. De zanddichtheid is dan 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 in grote oppervlakten bekleding kunnen doorgroeien en deze uiteen kunnen drukken.

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



Figuur 9-14: Doorgroeiing met riet



Figuur 9-15: 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 aanwezig.

Begroeiing door (zee-)dieren, zoals 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.



Figuur 9-16: Aantasting door zeepokken

#### Hechtingsproblemen

Hechtingsproblemen kunnen optreden op de plek waar nieuw werk met een las aansluit op oud werk. Bij een daglas is het "oude werk" eigenlijk ook nog nieuw. Er is ook sprake van een las bij een inkassing voor een overlaging of bij een reparatieplek in de vorm van een inlay ter plaatse van een lokaal weggefreeste aangetaste toplaag. Zoals 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.

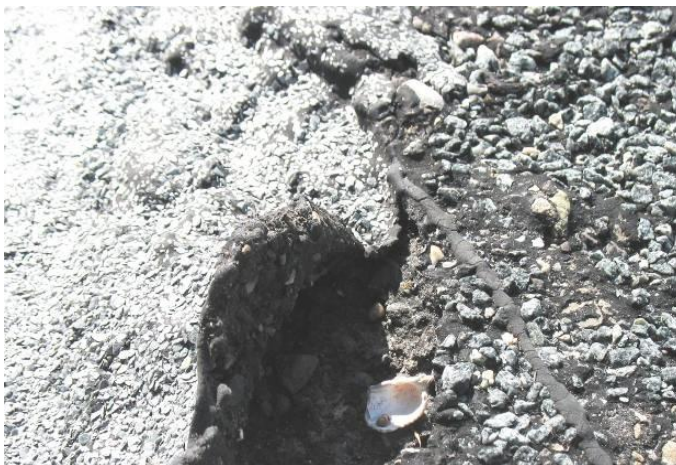
De hechtingsproblemen zullen over het algemeen kunnen worden teruggevoerd op een onvoldoende kleeflaag, een onvoldoende schoon oppervlak waarop overlaagd is of een door stripping aangetast oppervlak waarop overlaagd is. In de laatste gevallen is er dus sprake van een falende binding onder de aangebrachte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





Figuur 9-17: Schade door loskomen later aangebrachte toplaag met onvoldoende hechting

Op kleine schaal wordt ook waargenomen dat een oppervlakbehandeling verdwijnt die is aangebracht op aangetast oppervlak als gevolg van onvoldoende hechting. 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.



Figuur 9-18: Onvoldoende hechting: opgekrulde rand van lokale oppervlakbehandeling aangebracht op aangetast oppervlak

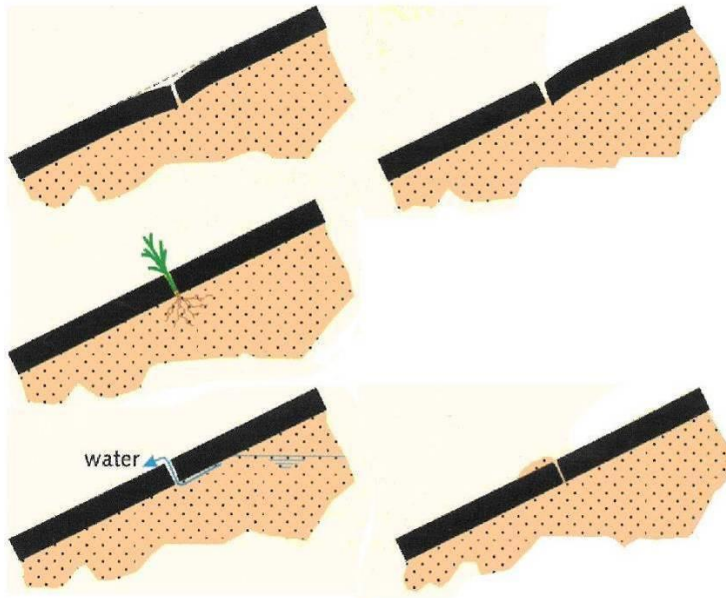
### 9.3 Zanddichtheid

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 9-19.

Verzakkingen grenzend aan een scheur, naad of klein gat geven aan dat er al materiaal onder de bekleding is verdwenen. Substantiële begroeiing is een goede indicator voor een doorgaande schade, omdat een dergelijke begroeiing alleen mogelijk is op een waterbouwasfaltbekleding 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 9-19: Combinatie van visuele kenmerken die wijzen op het niet zanddicht zijn van een aan het oppervlak zichtbare schade

#### 9.4 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. 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.



## 10 Beheer en onderhoud

### 10.1 Inleiding

Beheerders krijgen steeds meer aandacht voor beheer en onderhoud, naast het ontwerp en de toetsing van de waterkering. Beheer en onderhoud bestaat uit het pakket aan maatregelen, waarmee de kwaliteit van de kering over de gewenste levensduur op een bepaald niveau wordt gehouden. Dit kan jaarlijks onderhoud betekenen of incidenteel groot onderhoud. Om de kwaliteit tegen zo gering mogelijke kosten op peil te houden, wordt steeds meer aandacht besteed aan rationele beheersystemen. Met dergelijke modellen kan worden bepaald met welke interval onderhoud moet worden uitgevoerd en wanneer een bekleding moet worden gerepareerd of vervangen. Voor (asfalt-)bekledingen staan dergelijke beheersystemen nog in de kinderschoenen.

Beheer en onderhoud heeft betrekking op alle functies die door de waterkering worden vervuld. Op dit moment heeft echter de veiligheid de grootste aandacht.

In dit hoofdstuk zijn niet-destructief onderzoek van de asfaltkwaliteit en de reparatiemethoden van asfalt beschreven.

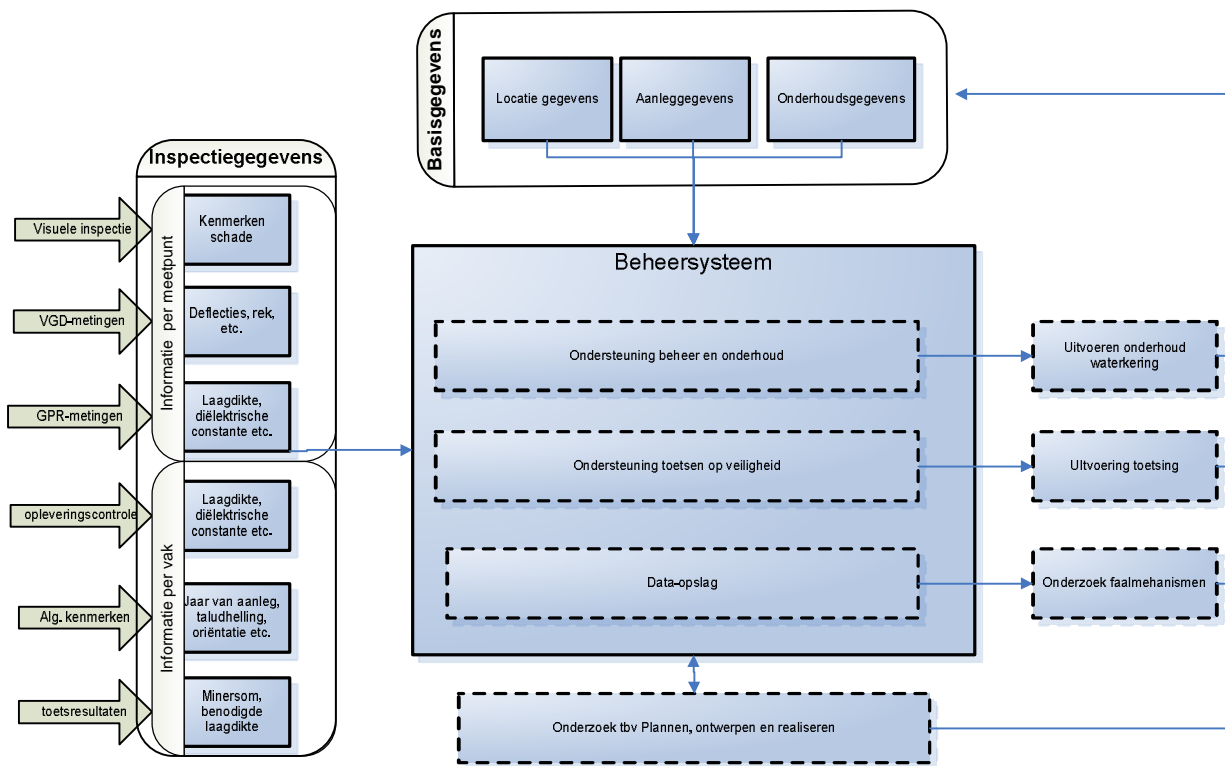
### 10.2 Beheersysteem

Veel asfaltdijkbekledingen in Nederland hebben inmiddels een hoge leeftijd bereikt. Hierdoor neemt het onderhoud aan de bekledingen toe. Daarnaast is voor het toetsen van een asfaltdijkbekleding veel informatie nodig en komt er veel informatie beschikbaar. Door deze ontwikkelingen is bij dijkbeheerders de behoefte ontstaan naar een beheersysteem voor asfaltdijkbekledingen. Deze moet bruikbaar zijn bij de volgende processen:

- Ondersteuning van de instandhouding van waterkeringen;
- Het in stand houden van waterkeringen wordt gerealiseerd door het uitvoeren van onderhoud. Inspectiegegevens worden gebruikt om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van de toestand in de loop van de tijd om zo het onderhoudsmoment en de maatregelen te bepalen;
- Ondersteuning van de toetsing op veiligheid;  
Voor de toetsing op veiligheid zijn visuele inspectiegegevens nodig. Daarnaast worden meetgegevens gebruikt voor het genereren van een oordeel. De toetsstappen zijn in de beheermethode ingevoerd en geven op eenvoudige wijze inzicht in de toetsresultaten;
- Advisering ten aanzien van plannen, ontwerpen en realiseren van waterkeringen;  
Op termijn kan een analyse van diverse schadebeelden ondersteuning bieden bij de keuze van de toepassing van bepaald materiaal bij de realisatie van een waterkering.

In de komende jaren wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een beheersysteem voor asfaltdijkbekledingen. Een schema van de beoogde methode is gegeven in Figuur 10-1.

Een belangrijke functionaliteit is het opstellen van meerjarenplanningen voor de begroting. Om dit goed te kunnen doen, moet de restlevensduur van een bekleding met voldoende nauwkeurigheid worden voorspeld. Daarom wordt gewerkt aan het ontwikkelen van restlevensduurmodellen als onderdeel van het beheersysteem.



Figuur 10-1: Schema van de beheermethode

## 10.3 Niet-destructief onderzoek van de asfaltkwaliteit

### 10.3.1 Inleiding

Om de laagdikte en de kwaliteit van een asfaltbekleding te onderzoeken wordt meestal een destructief onderzoek uitgevoerd. Er worden kernen uit een bekleding geboord waarvan nauwkeurig de laagdikte, samenstelling, dichtheid en eventueel bitumeneigenschappen worden bepaald. Daarnaast kunnen er proefstukken uit de kern worden gezaagd waarop mechanische proeven worden uitgevoerd om de sterkte en stijfheid van het materiaal te bepalen. Aan deze wijze van onderzoek kleven echter enkele nadelen. Het betreft altijd een meting op één punt en om een goed beeld te krijgen van de laagdikte en de kwaliteit van de bekleding zijn veel meetpunten nodig. Daarnaast wordt de bekleding door het onderzoek beschadigd.

Niet-destructieve onderzoeksmethoden hebben het voordeel dat direct aan de constructie wordt gemeten en de constructie daarbij niet wordt beschadigd. Vaak zijn niet-destructieve onderzoeksmethoden snel uitvoerbaar en daarmee kosteneffectief. Doordat niet-destructieve onderzoeksmethoden steeds op precies dezelfde locaties herhaalbaar zijn, kan het verloop van de kwaliteit in de tijd worden vastgesteld. In vergelijking met destructief onderzoek worden veel meer meetdata verzameld, waardoor een beter beeld wordt verkregen van de variatie in de laagdikte en de kwaliteit van de bekleding.

In de tachtiger jaren is onderzoek uitgevoerd naar meetmethoden voor een diagnosesysteem voor asfaltbekledingen van zeedijken [28]. Daarin is de bruikbaarheid van een aantal niet-destructieve onderzoeksmethoden onderzocht. De beschouwde technieken meten bijvoorbeeld de respons op radargolven, nucleaire bronnen, elektrische velden, seismische golven of een mechanisch valgewicht. Uit de respons kunnen eigenschappen worden afgeleid

zoals het vochtgehalte, de dichtheid of de stijfheid van een materiaal. Deze grootheden hebben een relatie met de kwaliteit en duurzaamheid. De technieken kunnen ook inzicht geven in de kwaliteit van de directe ondergrond onder het asfalt. Verder kunnen zwakke plekken zoals niet zichtbare scheuren of andere discontinuïteiten worden gelokaliseerd.

Op dit moment zijn de drie meest relevante niet-destructieve onderzoeksmethoden:

- Met een nucleaire bron de dichtheid van de bekleding bepalen;
- Met radargolven de laagdikte van de bekleding bepalen;
- Met een valgewicht-deflectiemeter het draagvermogen van de bekleding en de directe ondergrond bepalen.

De bovenstaande niet-destructieve onderzoeksmethoden worden in de onderstaande paragrafen behandeld.



Figuur 10-2: Nucleaire dichtheidsmeter op een asfaltverharding (foto NPC)

### 10.3.2 *Nucleaire dichtheidsmeter*

De nucleaire dichtheidsmeter is een handzaam instrument dat op het asfalt wordt gezet of aan een voertuig wordt bevestigd. Met deze snel uitvoerbare puntmeting kan een dichtheid worden bepaald. De dichtheid is een goede maat voor de kwaliteit van een bekleding van asfaltbeton. Een hoge dichtheid duidt op een lage holle ruimte en dus een goede kwaliteit. Daarnaast is de dichtheid van de bekleding een invoerparameter bij de beoordeling op wateroverdrukken.

Een nucleaire dichtheidsmeter bestaat uit drie onderdelen:

- Een stralingsbron;
- Een detector die de hoeveelheid straling per tijdseenheid opvangt;
- Apparatuur die het opgevangen signaal omzet in de gewenste vorm (dichtheid, vochtgehalte).

De methode wordt in de wegenbouw veelvuldig gebruikt om asfalt, funderingen en ondergrond te beoordelen. In het CROW-rapport *Dichtheid steenfunderingen nucleair meten* [8] wordt hier uitgebreid op ingegaan. In funderingen en de ondergrond kunnen met een nucleaire dichtheidsmeter ook vochtgehalten worden gemeten. Op de foto in Figuur 10-2 is een nucleaire dichtheidsmeter op een asfaltverharding te zien.

De nucleaire dichtheidsmeter is ontwikkeld voor de wegenbouw, waar het asfalt in dunne lagen wordt aangelegd. Voor de waterbouw, waar dikke lagen bitumenrijk asfalt vrij gebruikelijk zijn, is de meting minder betrouwbaar, omdat het dieptebereik van de dichtheidsmeter beperkt is.

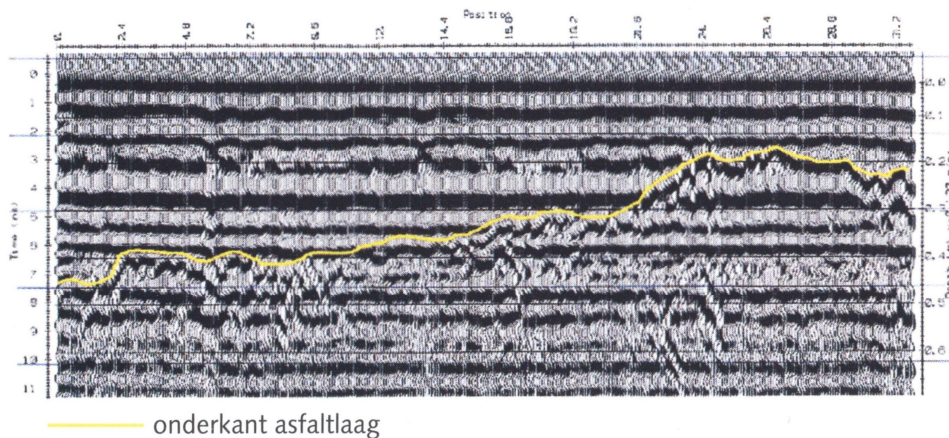


Figuur 10-3: Radarmetingen op de asfaltbetonbekleding van Texel - 1999 (foto NPC)

### 10.3.3

#### Grondradar

De grondradar (Figuur 10-3) wordt over het asfalt bewogen waarbij over een zekere lengte continu wordt gemeten. Met behulp van een referentiedikte als ijkpunt kan uit de metingen de laagdikte van de bekleding in de gemeten raai worden bepaald. De methode is ontwikkeld voor bodemanalyse, maar is in de wegenbouw in opkomst om de laagdikte te meten [54].



Figuur 10-4: Meting van de laagdikte met behulp van radarmeting

Het principe van de grondradar is als volgt: door een zendantenne wordt een hoogfrequente radiogolf (900 tot 1500 MHz) vanaf het maaiveld uitgezonden. De golf plant zich voort in de ondergrond en bij een discontinuïteit (bijvoorbeeld het grensvlak tussen bekleding en ondergrond) wordt een deel van het signaal gereflecteerd richting maaiveld. De tijd die verstrijkt tussen het uitzenden en ontvangen van de gereflecteerde radargolf wordt geregistreerd door de ontvangstantenne. Met behulp van referentieboorkernen kan hieruit de laagdikte van de bekleding worden afgeleid. In een onderzoeksproject was de geconstateerde maximale onnauwkeurigheid van de radar 20 mm [74]. Grotere nauwkeurigheden zijn haalbaar. Het streven naar nauwkeurigheden kleiner dan 10 mm wordt niet zinvol geacht. In Figuur 10-4 het resultaat van een meting van de laagdikte met behulp van grondradar te zien.

Inzet van grondradar voor het lokaliseren van door vocht aangetast asfalt  
Aantasting door vocht is een belangrijke bron van schade voor bekledingen van waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt. Indien uit de visuele inspectie van de asfaltdijkbekleding blijkt dat aantasting door vocht een rol speelt, is het raadzaam niet-destructieve meettechnieken in te zetten als aanvulling op de visuele inspectie. Aantasting door vocht is voor waterbouwasfaltbeton te herkennen aan de schadebeelden opbollingen, loslaten van oppervlakbehandeling en diverse type van begroeiing. Niet zichtbare schade onder de oppervlakbehandeling kan met niet-destructieve meettechnieken 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 waterbouwasfaltbeton de beste meettechniek is ([81] en [72]). Radarwaarnemingen op open steenasfalt waren minder succesvol. Er zijn diverse in grondradar gespecialiseerde bedrijven. Detectie van door vocht aangetast asfalt vereist echter wel specifieke kennis.

Er zijn de laatste jaren diverse meetsessies geweest op een Friese Waddenzeedijk, de Hellegatsdam en de Eemshavendijk. Op deze laatste dijk is een meetvak van 500 meter 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. Dit werd visueel vaak niet herkend.

Inzet van grondradar voor het verkrijgen van meer informatie over samenstelling en conditie  
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.

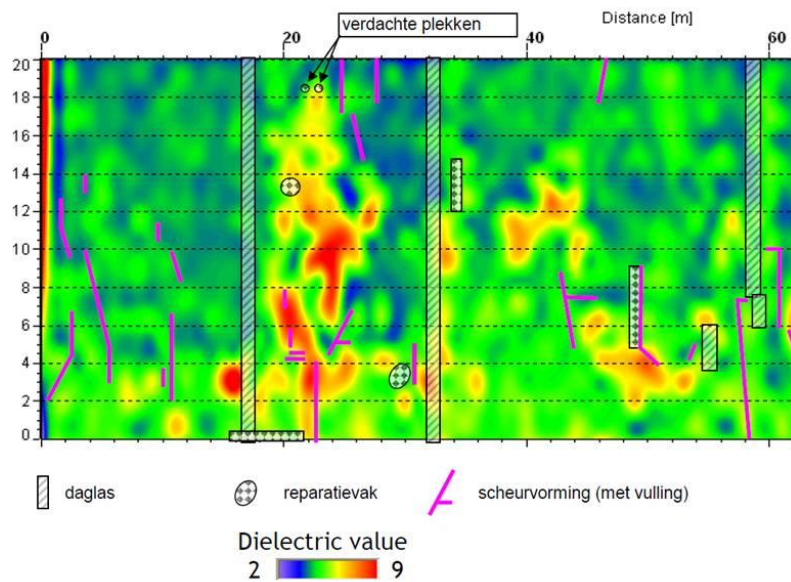
De voor radar relevante materiaaleigenschappen zijn de diëlektrische constante (permittiviteit) en de elektrische geleidbaarheid. Deze grootheden tonen variaties die veroorzaakt worden door het type aggregaat, het type bitumen, de aanwezigheid van geleidbare mineralen, de aanwezigheid van poriën en scheuren,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

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

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 10-5.





Figuur 10-5: De diëlektrische constante van de bovenste 3 centimeter van de bekleding uit radarmetingen op de Eemshavendijk. Hoge waarden duiden op door vocht aangetast asfalt

#### 10.3.4 Valgewicht-deflectiemeter

Een valgewicht-deflectiemeter wordt gebruikt om de stijfheid van de bekleding en de ondergrond te bepalen. De metingen werken als volgt: een valgewicht wordt vanaf een vaste hoogte boven de bekleding losgelaten. Als deze het talud treft, zal de bekleding doorbuigen. De doorbuigingen worden gemeten met elektronische versnellingsopnemers (gefoons) die op een meetbalk zijn bevestigd. Het door de gefoons gemeten signaal wordt door integratie omgerekend naar een verplaatsing. Door de verplaatsing uit te zetten tegen de afstand wordt het deflectieprofiel verkregen. Als de laagdikte ter plaatse van de meting bekend is, kan de stijfheid van het asfalt en de ondergrond met een lineair-elastisch rekenmodel worden teruggerekend. Eén meting duurt ongeveer een minuut.



Figuur 10-6: Valgewicht-deflectiemeter op een dijktalud (foto NPC)



Figuur 10-7: Valgewicht-deflectiemeter: meetbalk met geofoons (foto NPC)

Valgewicht-deflectiemeters worden wereldwijd op grote schaal gebruikt bij bepaling van de kwaliteit van verhardingen, fundering en ondergrond van wegen en vliegvelden [6]. Het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen is mogelijk op taludhellingen van 1:3 en flauwer. In Figuur 10-6 en Figuur 10-7 zijn valgewicht-deflectiemetingen te zien.

#### 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 vooral 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 [74] is een systematische afwijking bij een taludhelling van 1:3 van 5 tot 10  $\mu\text{m}$  vastgesteld ten opzichte van een centrumdeflectie van 305  $\mu\text{m}$ . Uit testen 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 tweemaal onderzocht [74] en [75]. In beide onderzoeken zijn metingen op verschillende tijdstippen op exact dezelfde locaties uitgevoerd. In het jaar 2000 zijn op Texel acht metingen in een periode van een half uur op exact dezelfde locatie uitgevoerd. De standaardafwijking van de centrumdeflectie was minder dan 5  $\mu\text{m}$ . In 2009 zijn bij de Eemshaven metingen op exact dezelfde locatie uitgevoerd op twee verschillende dagen. Dit veroorzaakt iets 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.



Figuur 10-8: Valgewicht-deflectiemeting op een talud op een bekleding van open steenasfalt

#### 10.3.5 Toepasbaarheid niet-destructieve onderzoeksmethoden

Bij het toetsen op veiligheid zijn niet-destructieve onderzoeksmethoden al enkele malen toegepast. In de volgende gevallen is het zinvol om deze onderzoeksmethoden toe te passen:

- Bij het ontbreken van gegevens over de laagdikte is de grondradar geschikt om inzicht te krijgen in de laagdikte en verschillen in laagdikte. Ook bijzonderheden zoals een verzwaarde overgangsconstructie kunnen hiermee worden opgespoord;
- Valgewicht-deflectiemetingen zijn geschikt om de stijfheid van de bekleding en de ondergrond te bepalen. Daarnaast kan een indicatie van de sterkte worden verkregen. Deze parameters zijn benodigd om een gedetailleerde beoordeling op golfbelastingen uit te kunnen voeren;
- Het komt voor dat de aanleggegevens van een werk verloren zijn gegaan. In dit geval is een combinatie van destructief en niet-destructief onderzoek een goede methode om inzicht te krijgen in de laagdikte en de kwaliteit van de bekleding;
- Met een combinatie van grondradar en een valgewicht-deflectiemeter kunnen zwakke plekken in de bekleding worden opgespoord. Dit kunnen locaties met een kleine dikte of een slechte asfaltkwaliteit betreffen.

### 10.4 Reparatiemethoden

#### 10.4.1 Inleiding

Er zijn verschillende redenen om asfaltbekledingen te repareren. In de eerste plaats omdat een bekleding niet voldoet aan de veiligheidseisen. Daarnaast is reparatie in het kader van preventief onderhoud mogelijk. Hiermee wordt bereikt dat structureel onderhoud kan worden uitgesteld, omdat schadevorming wordt geremd. Ook kan reparatie om esthetische redenen worden uitgevoerd. Het is aan te bevelen om van iedere bekleding een bestand van reparatiegegevens bij te houden, als informatiebron bij het rationeel beheren van de bekledingen. Reparatie van een asfaltbekleding is meestal het gevolg van waargenomen schade. Dit betreft dan schadebeelden als scheuren, openstaande naden, gaten (ook van boorkernen), aangetast oppervlak, extreme zettingen (onvlakheid), aangetaste

overgangsconstructies en beschadigde filterlagen. De reparatiemethoden voor asfaltbekledingen zijn in beginsel dezelfde als die in de asfaltwegenbouw worden gebruikt. In de waterbouw is daar nog maar weinig ervaring mee opgedaan, omdat schade over het algemeen weinig voorkomt.

De keuze van een reparatiemethode voor asfaltbekledingen hangt af van de volgende randvoorwaarden:

- Type en aard van de aanwezige bekleding;
- Aard en omvang van de schade;
- Bereikbaarheid;
- Uitvoeringsmogelijkheid;
- Kosten.

Drie aspecten zijn relevant voor de techniek van de reparatiemethode:

- Aansluiting met de aanliggende constructie;
- Aard van het reparatiemiddel;
- Uitvoeringstechniek.

#### 10.4.2 *De aansluiting met de aanliggende constructie*

Randen van scheuren, openstaande naden, beschadigde plekken, te repareren vlakken en overgangsconstructies moeten goed hechten aan het reparatiemiddel. Daarom moeten de randen en reparatievlakken gaaf en vrij van vuil zijn, moeten randen een geschikte vorm hebben (met rechte hoeken zijn afgewerkt, inkassing) en moet het reparatiemiddel voldoende hechtvermogen hebben.

Gerafelde of loszittende delen van de randen en reparatievlakken worden verwijderd tot aan het nog gave gedeelte van de constructie. Dit kan met een asfaltfrees (V-vormig, vinger-, schijf- of lamellenfrees), met een luchthamer (jekkeren), of met een hogedrukspuit. Bij een open steenasfaltbekleding moet er voor worden gewaakt dat de onderliggende filterconstructie niet wordt beschadigd. De randen worden hoekig bijgewerkt. Randen en reparatievlakken worden gereinigd met water onder hoge druk. Hechting aan het reparatiemiddel wordt bereikt door verwarming van de asfaltrand vlak voor het aanbrengen van het reparatiemiddel en door het toepassen van asfaltkleefmiddel op de reparatievlakken. Het verdient de voorkeur om horizontale vlakken te behandelen met bitumenemulsie.

#### 10.4.3 *De aard van het reparatiemiddel*

Waterbouwasfaltbeton

Bij voorkeur wordt een bekleding gerepareerd met eenzelfde (visco-elastisch) bekledingsmateriaal. Scheuren en naden worden gedicht met bitumen, bitumineuze voegvullingsmassa, gietasfalt of het oorspronkelijke materiaal. Hoe groter de scheurwijdte, hoe groter de maximale korrel van het aggregaat in het reparatiemiddel kan zijn.

Aangetast oppervlak wordt afhankelijk van de ernst van de aantasting gerepareerd met een oppervlakbehandeling, een opvulmiddel, een uitvullaag of een overlaging. Het te gebruiken middel moet een mengsel zijn dat overeenkomt met het te repareren materiaal, zodat de eigenschappen van de gerepareerde plek niet afwijken van de rest van de bekleding.

De diepte van een uitvullaag moet enige malen de maximale korrelafmeting van het vulmiddel bedragen. Door toepassing van vulmiddelen met kleinere maximale korrelafmetingen kunnen ook geringe diktes worden uitgevuld. Reparatiemiddelen op steile

hellingen moeten zo hoogvisceus zijn dat ze niet afstromen. Als reparatiemiddel wordt bij voorkeur geen koudasfalt gebruikt, omdat dit in het algemeen een lagere levensduur heeft.

#### Open steenasfalt

Bij voorkeur wordt een bekleding van open steenasfalt gerepareerd met hetzelfde open materiaal. Niet alleen om de bekleding doorlatend te houden, maar ook om esthetische redenen. Als gradering van de steenslag in open steenasfalt voor reparaties kan 8/16, 11/16, 16/22 of 20/40 worden gebruikt.

Bij toepassing van open steenasfalt als reparatiemiddel is afkoeling een bijzonder aandachtspunt. Bij reparaties worden kleinere hoeveelheden asfalt met lagere snelheden verwerkt, waardoor het materiaal sneller afkoelt en de hechting wordt belemmerd. Om dit probleem op te lossen, kan open steenasfalt in verwarmde mobiele containers worden bewaard, die dicht bij de plaats van verwerking zijn opgesteld. In deze containers wordt het asfalt niet gemengd. Bij een dergelijke opslag is er gevaar voor uitzakking van de mastiek (ontmenging). Om ontmenging te voorkomen worden daarom soms vezels aan de mastiek toegevoegd (circa 0,3% organische of circa 0,6% anorganische vezels op 100% mineraal-aggregaat).

Indien wordt aangetoond dat er geen bezwaar is tegen een (plaatselijk) ondoorlatende bekleding, kan een dicht materiaal zoals asfaltmastiek of gietasfalt worden toegepast. Bij overgangsconstructies naar een dichte bekleding is toepassing van gietasfalt geen probleem. Op andere plaatsen wordt uitgegaan van reparaties met open materialen. Reparaties worden in elk geval met een bitumineus (visco-elastisch) materiaal uitgevoerd, dat in eigenschappen en gedrag zoveel mogelijk overeenkomt met het omliggende materiaal.

Aangetast oppervlak en gaten worden afhankelijk van de omvang en diepte met een uitvullaag of een overlaging gerepareerd. De dikte van de uitvullaag of overlaging moet minimaal driemaal de grootste korrelafmeting van het vulmiddel bedragen. Door toepassing van een kleine gradering kan de minimaal aan te brengen dikte worden beperkt.

#### 10.4.4 *Uitvoeringstechniek*

De uitvoeringstechniek wordt afgestemd op de aard en omvang van de schade en het te gebruiken reparatiemiddel. Van belang daarbij zijn de omvang van de reparatie, de bereikbaarheid, de uitvoerbaarheid en de kosten. De reparatietechnieken worden in de volgende paragrafen behandeld.

Aan de verwerkingsomstandigheden bij repareren worden eisen gesteld die in de Standaard zijn opgenomen (Standaard [9], hoofdstuk 52). Daarvan kan worden afgeweken als door verhitting van te repareren gedeelten vocht en kou kunnen worden bestreden. In scheuren condenseert vocht direct na het verhitten. Dit is na ongeveer een half uur weer verdwenen. Bij minder gunstige weersomstandigheden kan worden doorgewerkt als er speciale voorzieningen worden getroffen (zoals het overkappen van de reparatieplek).

In de volgende paragrafen worden de technieken (globaal) beschreven voor het repareren van:

- Scheuren en openstaande naden;
- Boorkerngaten;
- Aangetaste oppervlakken en gaten;
- Te herprofilering oppervlakken;
- Filterlagen;
- Overgangsconstructies.



In tal van documenten uit de asfaltwegenbouw is in detail beschreven welke technieken bruikbaar zijn. In dit verband wordt aanbevolen de volgende publicaties te raadplegen:

- Asfalt Onderhoudstechnieken [54];
- Catalogus Reparatietechnieken in de asfaltwegenbouw [5];
- Asfalt in de Wegen- en Waterbouw [55];
- Handleiding reparatietechnieken [91].

#### 10.4.5 *Vullen van scheuren en naden*

Scheuren en openstaande naden komen in het algemeen alleen voor bij bekledingen van waterbouwasfaltbeton en zandasfalt. Als voorbereiding voor het vullen, worden kleine (< 5 mm) scheuren (naden) gereinigd door vuil en losse delen te verwijderen met een luchtcompressor. Scheuren van grotere omvang (5-20 mm) worden gereinigd door vuil en losse delen met een hete lucht lans te verwijderen. Door de hitte van de lans wordt de scheur bovendien gedroogd en verwarmd. Dit komt de hechting aan het vulmiddel ten goede. Bij grote (> 20 mm) en diepe scheuren wordt de scheur open gefreesd om het vulmiddel diep in de scheur te kunnen laten vloeien en over een groot oppervlak contact te laten maken met de bekleding. Ook kan de (bijgewerkte) rand worden voorzien van een primer (een kleefmiddel).

De aard van het vulmiddel is afhankelijk van de scheurbreedte. Hoe breder de scheur, hoe groter de maximum korrelgrootte van het aggregaat kan zijn. De volgende middelen worden gebruikt waarbij de breedte van de scheur indicatief is:

- Bitumenemulsie (scheurbreedte tot 5 mm);
- Bitumenpasta op basis van oplosmiddel (scheurbreedte tot 20 mm);
- Voegvullingsmassa (scheurbreedte 5-20 mm);
- Asfaltmastiek (scheurbreedte 20-50 mm)
- Gietasfalt (scheurbreedte 50-100 mm);
- Oorspronkelijk bekledingsmateriaal (open gefreesde scheurbreedte > 100 mm).



Figuur 10-9: Vullen van scheur met bindmiddel - Roggeplaat – 1986

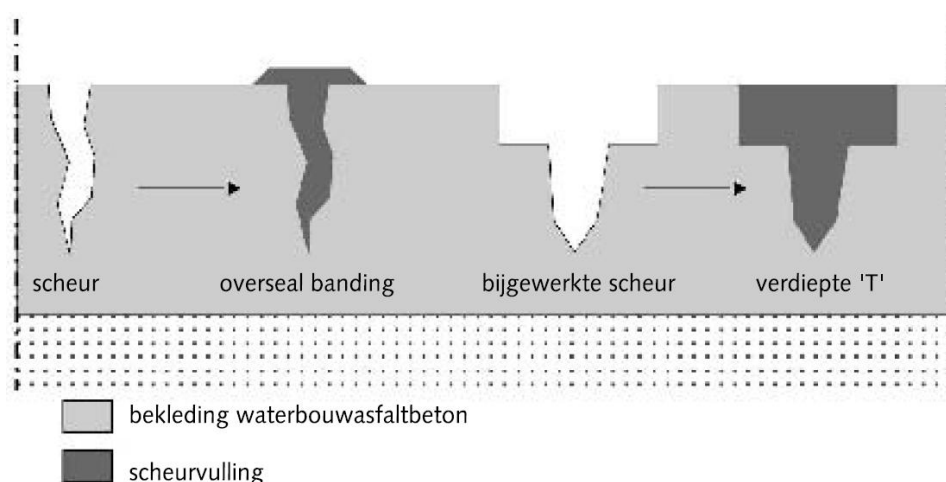
Het vulmiddel wordt aangebracht met een gieter en zwabber, een trekbak of een lans. De scheurreparatie kan op gelijke hoogte met het oppervlak worden afgewerkt, met enige overhoogte (overseal-banding) of als verdiepte "T".

In zeer brede of werkende scheuren kan een membraan van wapeningsmateriaal (glas-, kunststof- of staalwapening), of een SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer, een

scheurremmende tussenlaag) worden aangebracht. Voordat tot een dergelijke behandeling wordt overgegaan moet de noodzaak van deze oplossing worden vastgesteld en moet het effect van deze maatregel in de flexibele constructie worden nagegaan.

De gevulde scheur of naad wordt afgestrooid met zand of steenslag 1/3 of 2/6, gevolgd door het licht aanrollen met een handwals. Naderhand wordt overtollig afstrooimiddel weggeveegd. De hoeveelheden materiaal zijn sterk afhankelijk van de breedte van de scheur.

Een voorbeeld van een scheurvulling wordt gegeven in Figuur 10-10.



Figuur 10-10: Scheurvulling

#### 10.4.6 Vullen boorkerngaten

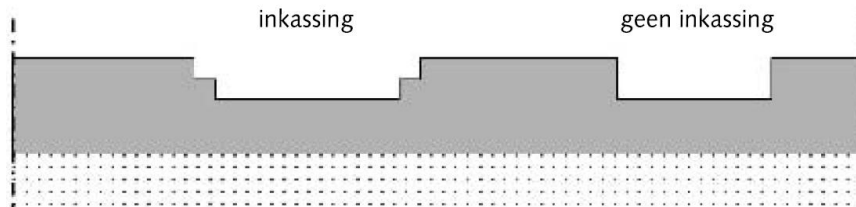
Na het boren van een kern uit de bekleding wordt los materiaal en water uit het boorgat verwijderd. Op de schacht van het boorgat wordt een kleefmiddel aangebracht. Het gat wordt bij voorkeur gevuld met een warm (giet-)asfaltmengsel, of als dat niet kan met een koud asfaltmengsel. Een verdichtbaar mengsel wordt in lagen van circa 100 mm aangebracht en met een handstamper verdicht. In boorgaten bij steile taluds is het in profiel afwerken van een vulling met gietasfalt een probleem. Het gietasfalt vloeit horizontaal in het boorgat en blijft niet in het vlak van het talud liggen. Het profiel kan in dat geval met warm asfaltbeton worden afgewerkt, maar ook een boorkern in het gat stellen en aangieten met mastiek is mogelijk.

#### 10.4.7 Uitvullen

Uitvullen van de bekleding wordt toegepast bij gaten, aangetaste maar verder nog gave oppervlakken en aangebrachte inkassingen. Bij gaten en diepe aantastingen (vanaf enkele millimeters) wordt de reparatieplek uitgefreesd, en worden de randen recht afgewerkt. De inkassing dient minimaal 1 meter breed te zijn. Gefreesd wordt tot aan het gave gedeelte van de bekleding. Een indicatie voor het bereiken van het gave gedeelte is dat de steen bij frezen in het materiaal breekt.

Bij diepere uitvullingen (circa 100 mm) worden de randen als inkassing uitgevoerd (Figuur 10-11) om een verbeterde aansluiting te realiseren.





Figuur 10-11: Inkassing

#### Waterbouwasfaltbeton

Na het schoonmaken van de uit te vullen plek met een hogedrukspuit wordt een kleeflaag aangebracht (Figuur 10-12). Vervolgens wordt het uitvulmateriaal aangebracht (Figuur 10-13). Het uitvulmateriaal kan variëren van gietasfalt tot asfaltbeton. Bij voorkeur wordt asfaltbeton gebruikt dat wel moet worden verdicht. Hierbij moet de breedte van de wals worden afgestemd op de breedte van de te verdichten plek. Over de reparatie kan een oppervlakbehandeling worden aangebracht.

Minder esthetisch, maar in voorkomende gevallen wel geoorloofd als noodmaatregel, is het uitvullen van grote gaten met gepenetreerde breuksteen. De maximum steenmaat van de uitvulmaterialen moet bij voorkeur 1/3 van de aan te brengen laagdikte bedragen. De dikte van de uit te vullen laag bepaalt dus de sortering. In de praktijk echter zal de beschikbaarheid van breuksteen meestal de sortering bepalen.

Bij de toepassing van gietasfalt moet rekening worden gehouden met de steilheid van de bekleding.

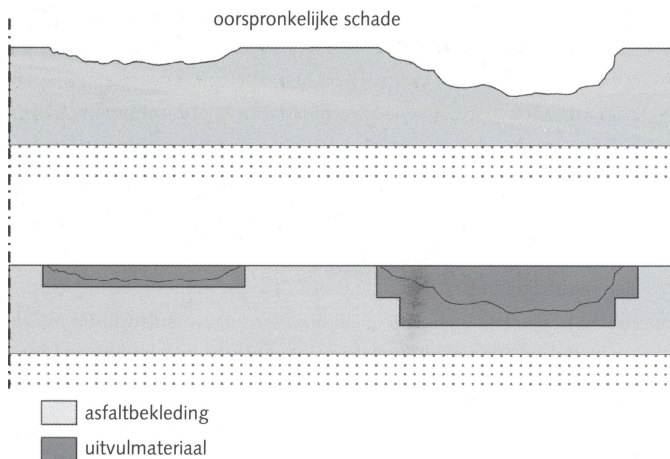
In Figuur 10-14 zijn voorbeelden van uitvullingen gegeven.



Figuur 10-12: Plaatselijk gefreesde bekleding - voor het uitvullen voorzien van een kleefmiddel - Roggeplaat – 1986



Figuur 10-13: Uitvullen van een gefreesde bekleding met waterbuwasfaltbeton – Roggeplaat – 1986



Figuur 10-14: Uitvulling

#### Open steenasfalt

Als noodmaatregel kunnen beschadigde plekken worden uitgevuld met gietasfalt, al dan niet in combinatie met breuksteen. Plaatselijk wordt de waterdoorlatendheid hierdoor teniet gedaan. De schadeplekken worden schoongespoten en van losse delen ontdaan met een hogedrukspuit. Zo nodig wordt een breuksteenlaag aangebracht. De plek wordt gepenetreerd met warm gietasfalt met een korrelgradering die ook gemakkelijk in de open steenasfalt poriën dringt. Bij onderliggende kunststoffilters mag de temperatuur van het penetratiemiddel niet hoger zijn dan 140°C. De penetratielaag wordt zo vlak mogelijk afgewerkt in het profiel van, en aansluitend aan, de omliggende constructie.

Als een inkassing wordt gemaakt, is de keuze voor gietasfaltpenetratie als noodmaatregel niet meer relevant en kan de uitvulling met open steenasfalt worden uitgevoerd. Wel moeten de te repareren oppervlakken worden schoongespoten en van een kleeflaag worden voorzien.

#### 10.4.8 Herprofileren

Bij extreme zetting of uitspoelen van de ondergrond kan het nodig zijn om de bekleding te herprofileren. Na het verwijderen van de bekleding wordt de ondergrond met behulp van een hydraulische graafmachine onder het oorspronkelijke profiel teruggebracht. Aandacht dient te worden besteed aan voldoende verdichting van de ondergrond met walsen of stampers.

Bij een bekleding van open steenasfalt moet hierbij ook het filter worden vervangen. Bekleding en filter worden gesloopt met een luchthamer en/of een hydraulische graafmachine. De ondergrond wordt met behulp van een hydraulische graafmachine onder het oorspronkelijke profiel teruggebracht. Veelal zal materiaal moeten worden aangevoerd voor aanvulling. Aandacht dient te worden besteed aan voldoende verdichting van het grondwerk, met walsen of stampers. Vervolgens wordt het filter vervangen, zoals dat bij de herstelling van een filter (§10.4.9) beschreven is, en wordt het gat in de bekleding uitgevuld.

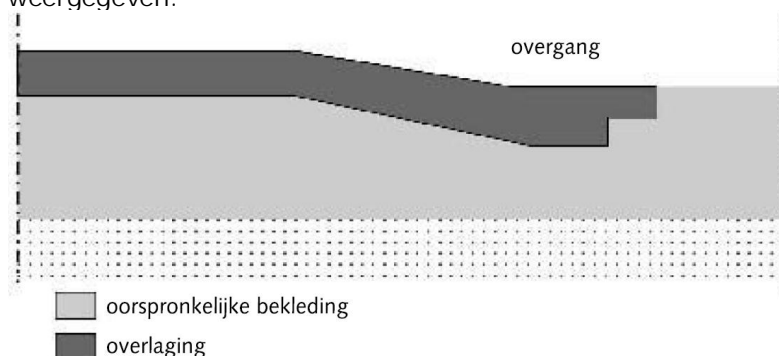
#### 10.4.9 Herstellen van het filter

Blijkt het filter onder de open steenasfaltbekleding lokaal beschadigd te zijn en is de omvang beperkt, dan kan een filter worden hersteld. Het is overigens niet eenvoudig de plaats en omvang van een beschadigd filter vast te stellen. Alleen extreme zettingen wijzen op schade aan een filter door lekkage van de ondergrond.

Voor het herstellen van een filter wordt de bekleding met een luchthamer of een zaagmachine gesloopt tot aan het filter. Hierbij mag het filter dat nog intact is niet worden beschadigd. Een meter rond de schade in het filter wordt het open steenasfalt verwijderd. Een filter van geotextiel wordt hersteld door textiel met circa 1 meter overlap over de beschadigde plaats aan te brengen en op enkele punten vast te zetten. Een zandasfaltfilter wordt hersteld door het materiaal te vervangen. Bij het herstellen van filters dient in veel gevallen ook de ondergrond opnieuw geprofileerd te worden. Na het herstellen van het filter wordt het gat in de bekleding uitgevuld.

#### 10.4.10 Overlagen

Een bekleding wordt overlaagd als blijkt dat de aanwezige laagdikte onvoldoende is. Voor de overlaging geldt praktisch hetzelfde als bij uitvullingen. Het verschil met uitvullingen is dat er een oplossing moet worden ontworpen voor de randen van de overlaging. Deze moeten geleidelijk in dikte verlopen naar de omliggende bekleding. Een voorbeeld is in Figuur 10-15 weergegeven.



Figuur 10-15: Randoplossing overlaging

Bij open steenasfalt moet de maximum korrelgrootte worden afgestemd op de dikte van de overlaging. Heeft de benodigde overlaging een heel geringe dikte, dan kan deze worden

vergroot door een deel van de aanwezige laagdikte weg te frezen. Hiermee wordt voorkomen dat te dunne lagen worden aangebracht die slecht hechten en schadegevoelig zijn.

#### 10.4.11 *Uitvoeringstechniek reparatie overgangsconstructies*

##### Waterbouwasfaltbeton

Bij overgangsconstructies worden naden gevuld als beschreven in §10.4.5. Brede naden (> 100 mm) en aantastingen worden bij voorkeur met asfaltbeton gerepareerd. Hiervoor kunnen inkassingen nodig zijn (voorbeelden Figuur 10-11).

##### Open steenasfalt

Naden tussen de open steenasfaltbekleding en een dichte bekleding tot circa 100 mm breed worden hersteld met gietasfalt. Begonnen wordt met het grof schoonmaken van de naad met een hogedrukspuit. Met een heteluchtlan wordt de naad verder schoongemaakt en opgewarmd tot het bindmiddel uit de rand vloeibaar wordt. De naad wordt dichtgegoten met gietasfalt. Hierbij wordt de open steenasfaltrand ook enigszins gepenetreerd. Naden wijder dan 100 mm worden uitgevuld met open steenasfalt zoals eerder beschreven. Naden kleiner dan 100 mm tussen twee open steenasfaltbekledingen worden wijder gemaakt en uitgevuld met open steenasfalt.

## KATERN IV: ALGEMENE INFORMATIE

### 11 Asfalt

#### 11.1 Kennismaking

Hoewel asfalt in de volksmond synoniem is met waterbouwasfaltbeton, wordt het in deze Handreiking gebruikt als verzamelnaam voor alle asfaltproducten. Asfalt is een verzamelnaam voor mengsels die zijn opgebouwd uit korrelvormige minerale bouwstoffen (mineraal aggregaat) die door een bitumineus bindmiddel zijn omhuld en gebonden. De minerale bouwstoffen bestaan uit steenslag, grind, zand en vulstof. Als bindmiddel wordt bitumen gebruikt. Uit de beoogde toepassing van het asfalt volgen eisen die aan de eigenschappen van het mengsel worden gesteld. Deze eigenschappen worden bepaald door de samenstelling en door de wijze van verwerking van het asfalt. Door de keuze van het bindmiddel, de aard en gradering van de minerale bouwstoffen, de mengverhouding en de methode van verwerken, kunnen mengsels met een grote variatie aan gewenste eigenschappen worden gemaakt.

In de Standaard RAW Bepalingen, afgekort als de "Standaard" zijn in hoofdstuk 52 "Kust- en Oeverwerken" eisen voor bouwstoffen en asfaltmengsels opgenomen [9]. In deze Standaard wordt veelal verwezen naar Nederlandse normen (NEN), Europese normen (NEN-EN) en internationale normen (NEN-EN-ISO). In de digitale versie van de RAW-systematiek (toegankelijk via [www.CROW.nl](http://www.CROW.nl)) is bij hoofdstuk 01 "Algemeen en administratief" een bijlage toegevoegd, waarin alle in de Standaard genoemde publicaties zijn vermeld. Dit betreft niet alleen de hiervoor genoemde normen, maar ook buitenlandse normen en CROW- en CUR-publicaties. De RAW-Bepalingen worden elke 5 jaar geactualiseerd.

#### 11.2 Bouwstoffen

##### 11.2.1 *Mineraal aggregaat*

Mineraal aggregaat bestaat uit korrelvormige minerale bouwstoffen van verschillende aard en afmetingen zoals steenslag, grind, zand en vulstof.

##### Steenslag

Steenslag is mineraal aggregaat met korrels groter dan 2 mm waarvan het korreloppervlak grotendeels uit breukvlakken bestaat. Het wordt in een steenbrekerij vervaardigd door natuursteen (groeve) of kunstmatig bereide steen (fosforslakken) met brekers te verkleinen en de gewenste gradering met een zeefinstallatie samen te stellen.

In Nederland wordt voor waterbouwasfalt overwegend kiezelslag (gebroken Maas- of Rijngrind) en kalksteen gebruikt. In de Standaard 2010 [9] is ook de toepassing van fosforslakken toegestaan.

##### Grind

Grind is mineraal aggregaat met korrels groter dan 2 mm waarvan het korreloppervlak grotendeels bestaat uit natuurlijk oppervlak (géén breukvlakken). Het wordt in de Maas (Nederland en België) en de Bovenrijn (Duitsland) gewonnen met baggerschepen en aan boord afgezeefd tot de gewenste gradering.

### Zand

Zand is mineraal aggregaat met een korrelafmeting overwegend tussen 2 mm en 63  $\mu\text{m}$ . Het wordt op locatie gewonnen (natuurlijk zand) of het komt vrij bij het breekproces van steenslag (brekerzand).

In Nederland worden voor waterbouwasfalt alleen natuurlijke zanden gebruikt. Bekende soorten zijn plaatszand (Zeeland), wadzand (Waddenzee) en rivierzand (Maas en Rijn). Door menging van zandsoorten kan een goed gegradeerd zand worden verkregen. Brekerzand wordt niet gebruikt omdat voor bekledingen geen hoogstabiele mengsels zoals in de wegenbouw nodig zijn.

### Vulstof

Vulstof is mineraal aggregaat dat overwegend bestaat uit korrels die kleiner zijn dan 63  $\mu\text{m}$ . Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

- Fabrieksvulstof, speciaal geproduceerd voor toepassing in asfalt;
- Het eigen stof, de fractie < 63  $\mu\text{m}$  dat in zand en grind/steenslag aanwezig is.

Om de kwaliteit van asfaltmengsels te beheersen wordt het eigen stof in bouwstoffen beperkt en wordt grotendeels met fabrieksvulstof gewerkt. Fabrieksvulstof bestaat in het algemeen uit steenmeel (gemalen steen) en vlieg-as van steenkolen centrales. Voor waterbouwasfalt wordt alleen gemalen kalksteen toegepast.

### Eisen

In de Standaard [9] zijn in hoofdstuk 52 "Kust- en oeverwerken", §52.56 "Bouwstoffen" eisen opgenomen voor de te gebruiken bouwstoffen:

- Steenslag;
- Grind;
- Fosforslak;
- Zand;
- Vulstof;
- Asfaltgranulaat.

Voor de eisen aan deze bouwstoffen wordt in deze paragraaf verwezen naar:

- Tabellen bij deelhoofdstuk 52.5 "Gebonden bekledingsconstructies" van de Standaard [9].
- De Europese norm NEN-EN 13043 "Toeslagmaterialen voor asfalt en oppervlakbehandeling voor wegen, vliegvelden en andere verkeersgebieden".
- De Nederlandse norm NEN-6240; dit is de Nederlandse invulling van de Europese norm NEN-EN 13043.

In NEN-EN 13043 en NEN 6240 zijn alle eisen gebundeld voor de toeslagmaterialen voor asfalt. Dit betreft grof toeslagmateriaal (> 2 mm), fijn toeslagmateriaal (< 2 mm) en vulstof. In genoemde normen is geen direct onderscheid meer gemaakt tussen steenslag en grind; dit onderscheid wordt bepaald door eisen te stellen aan de korrelvorm en aan het percentage rond oppervlak. In de tabellen van de Standaard wordt aangegeven welke eisen uit NEN-EN 13043 en NEN 6240 specifiek van toepassing zijn voor asfaltmengsels voor Kust- en oeverwerken.

De kwaliteit van vulstof wordt gewaarborgd met een productcertificaat, waarvan de eisen uitgaan boven genoemde normen [35].

### 11.2.2 *Bindmiddelen*

Bitumineuze bindmiddelen in asfalt zijn bitumen of daarvan afgeleide producten. Normaliter wordt in asfalt gebruik gemaakt van bitumen. Daarnaast wordt bij oppervlakbehandelingen en het kleven van asfalt bitumenemulsie en vloeibitumen toegepast.

#### Bitumen

Bitumen is het feitelijke bindmiddel in asfalt. Het is gedefinieerd als "een zeer viskeuze vloeistof of vaste stof, in hoofdzaak bestaande uit koolwaterstoffen of hun derivaten, die vrijwel geheel oplosbaar is in zwavelkoolstof" (NEN-EN 12 597 Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Terminologie). De stof is bestand tegen de meeste chemicaliën (inert), behalve lichte koolwaterstoffen (zoals olieproducten).

Bitumen komt voor in natuurlijke afzettingen (Trinidad) maar wordt voornamelijk fabrieksmatig bereid door de raffinage van aardolie; het is de zwaarste fractie van de olie na afdestilleren van de lichtere fracties.

Om bitumen te kunnen mengen met mineraal aggregaat moet het worden verhit tot een laagviskeuze vloeistof. Voor waterbouwasfaltmengsels wordt in het algemeen alleen bitumen 70/100 toegepast (voorheen 80/100). (Dit is een standaardbitumen die wordt getypeerd door de penetratie. Eisen die aan het bindmiddel worden gesteld zijn opgenomen in 'NEN-EN 12591 Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Specificaties voor penetratiebitumen'. Deze betreffen onder andere eigenschappen als penetratie en verwekingspunt, die een afgeleide maat zijn voor de viscositeit.

#### Bitumenemulsie

Een andere manier om de viscositeit van bitumen te verlagen is door het emulgeren in water. Een bitumenemulsie is een systeem waarbij zeer kleine bitumendeeltjes (1 tot 10 µm) in water zijn verdeeld. Een emulgator voorkomt dat de bitumendeeltjes samenklonteren.

Eisen voor bitumenemulsies zijn opgenomen in 'NEN-EN 13808 Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Raamwerk voor de specificatie van kationische bitumenemulsies'.

Bitumenemulsie wordt vooral toegepast bij het aanbrengen van oppervlakbehandelingen.

#### Vloeibitumen

Vloeibitumen is een laagviskeuze oplossing van bitumen in een verdunningsmiddel, dat kan bestaan uit kerosine, gasolie of terpentijn. In dit laatste geval wordt gesproken over asfaltkleefmiddel. Eisen die aan vloeibitumina worden gesteld zijn opgenomen in 'NEN-EN 15322: Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Raamwerk voor de specificatie van vloeibitumen'.

Vloeibitumina worden vooral gebruikt om asfaltlagen en aansluitingen te kleven.

### 11.2.3 *Hulpstoffen*

Hulpstoffen is de verzamelnaam voor stoffen die aan asfaltmengsels worden toegevoegd om de eigenschappen van bitumen en asfalt te verbeteren. Dit betreft hechtverbeteraars, die de hechting tussen bitumen en mineraal aggregaat verbeteren en afdruiptremmers, die de viscositeit van het bitumen verhogen. Het effect van deze stoffen is vooral het vergroten van de levensduur.

Asfalt voor dijkbekledingen bevat in het algemeen geen hulpstoffen. In open steenasfalt worden soms vezels aan het bindmiddel toegevoegd om een zo dik mogelijke



bindmiddelomhulling te kunnen toepassen die door de vezels niet afdruipt van het mineraal aggregaat.

### 11.3 Mengselaspecten

#### 11.3.1 *Algemeen*

Een asfaltmengsel bestaat uit mineraal aggregaat dat wordt gemengd met bitumen. Het bindmiddel omhult het mineraal aggregaat, bindt de korrels aan elkaar en vult de holle ruimte tussen de korrels in een bepaalde mate.

Het mineraal aggregaat moet in het mengsel goed hechten aan het bitumen. Een ruw oppervlak, de chemische eigenschappen van de steen (zoals het basische kalksteen) en een laag vochtgehalte dragen daaraan bij.

Een asfaltmengsel kan qua samenstelling worden onderverdeeld in twee componenten:

- Materialen die het skelet vormen;
- Materialen die de holle ruimte in het skelet vullen.

Afhankelijk van het soort asfalt wordt het skelet gevormd door steenslag, grind of zand (of een combinatie daarvan). Het skelet zorgt voor draagvermogen. De holle ruimte wordt gevuld door bitumen, al dan niet in combinatie met vulstof en/of zand.

#### 11.3.2 *Holle ruimte in het korrel skelet*

De holle ruimte in een skelet van mineraal aggregaat hangt sterk af van het feit of de korrelverdeling regelmatig (continu) is of onregelmatig (discontinu). Bij een regelmatige korrelverdeling, zoals bij waterbouwasfaltbeton, zijn alle fracties aanwezig waardoor de kleine korrels de ruimte tussen de grote korrels vullen en de holle ruimte in het korrelskelet wordt beperkt. Hierdoor kan met relatief weinig vulstof en bitumen een dicht mengsel worden verkregen.

Bij een onregelmatige korrelverdeling, zoals bij open steenasfalt wordt de holle ruimte door het ontbreken van kleine fracties minder gevuld. Hierdoor kan bij een beperkte vulling van het korrelskelet een poreus asfalt worden verkregen.

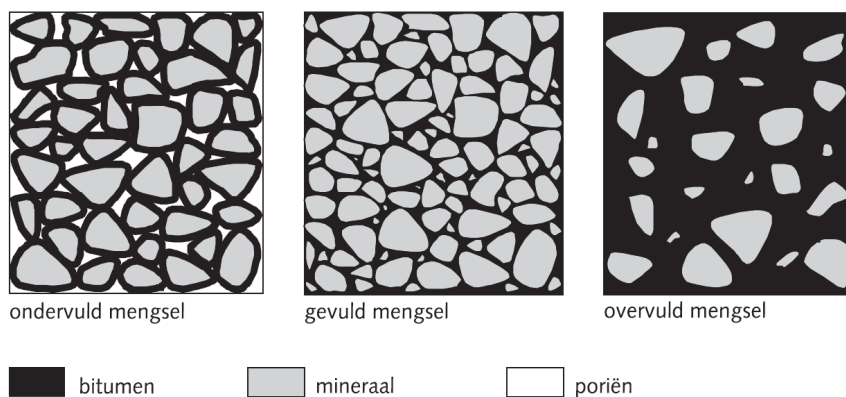
#### 11.3.3 *Vulling van de holle ruimte*

De mate van vulling van de holle ruimte in het korrelskelet heeft een grote invloed op de eigenschappen van het mengsel. Naarmate de holle ruimte meer wordt gevuld zullen de eigenschappen van het asfalt meer gaan afhangen van de eigenschappen van de vulling en zal de invloed van het korrelskelet afnemen.

In de mate van vulling worden 3 niveaus onderscheiden (Figuur 11-1):

- *Ondervuld*: De holle ruimte in het skelet is maar gedeeltelijk gevuld. Voorbeelden zijn zandasfalt, waarin het zandskelet beperkt is gevuld met bitumen, en open steenasfalt, waarin het steenskelet beperkt is gevuld met asfaltmestiek.
- *Gevuld*: De holle ruimte in het skelet is bij benadering gevuld. Een voorbeeld is waterbouwasfaltbeton, waarin het skelet van steenslag en zand net gevuld is met bitumen en vulstof.
- *Overvuld*: De holle ruimte is meer dan gevuld, zodat het korrelskelet wordt verbroken. Een voorbeeld is gietasfalt, waarin het skelet van grind is overvuld met asfaltmestiek.

De kwaliteit van de vulling hangt sterk af van de componenten die tot die vulling worden gerekend.



Figuur 11-1: Vulling van het korrelskelet met bitumen (of asfaltmastiek)

#### 11.3.4 *Holle ruimte in het mengsel*

De hoeveelheid onge vulde ruimte in het mineraalskelet van asfaltmengsels wordt holle ruimte (HR) genoemd. De holle ruimte is het volumepercentage met lucht gevulde poriën in een mengsel. De holle ruimte is van groot belang voor eigenschappen als doorlatendheid en levensduur.

Mengsels met hoge en onderling verbonden holle ruimte zijn doorlatend voor water (bijvoorbeeld zandasfalt met 25% holle ruimte) of zelfs doorlatend voor zand (bijvoorbeeld open steenasfalt met 25% holle ruimte). Mengsels met lage en onderling niet verbonden holle ruimten zijn ondoorlatend voor water en zand (bijvoorbeeld waterbouwasfaltbeton met 3% holle ruimte). Mengsels met een lage holle ruimte zijn duurzamer dan die met een hoge holle ruimte omdat invloeden zoals lucht en water nauwelijks in het mengsel kunnen dringen (zie §11.4.3).

#### 11.4 Eigenschappen

De keuze van een asfaltmengsel is gebaseerd op de gewenste eigenschappen die worden bepaald door de functie van de bekleding. Deze eigenschappen kunnen worden verkregen door een juiste keuze in samenstelling en de aard van de bouwstoffen. De verwerking speelt hier uiteraard ook een rol bij. Deze keuze wordt volgens de Standaard 2010 bepaald door het uitvoeren van een vooronderzoek en een geschiktheidsonderzoek.

De belangrijkste eigenschappen van het asfalt zijn:

- Doorlatendheid;
- Mechanische eigenschappen;
- Levensduur;
- Verwerkbaarheid (de verwerkbaarheid wordt in hoofdstuk 8 behandeld).

##### 11.4.1 *Doorlatendheid*

De mate van doorlatendheid wordt bepaald door de hoeveelheid holle ruimte en de onderlinge verbinding van de poriën. Bekledingen van waterkeringen moeten altijd grond dicht (of zand dicht) zijn, en soms waterdicht. Als een grond doorlatend asfaltmengsel zoals open steenasfalt wordt toegepast, dan moet een grond dicht filter worden aangebracht.

Waterbouwasfaltbeton en met gietasfalt gepenetreerde breuksteen zijn onder normale omstandigheden gronddichte en waterdichte bekledingen. Open steenasfalt is doorlatend voor grond en water; zandasfalt is alleen waterdoorlatend. Normaliter wordt de doorlatendheid niet beproefd. Voor het vooronderzoek zijn (besteks)bepalingen opgesteld (zie §8.13.3, Kwaliteitszorg bij Ontwerp).

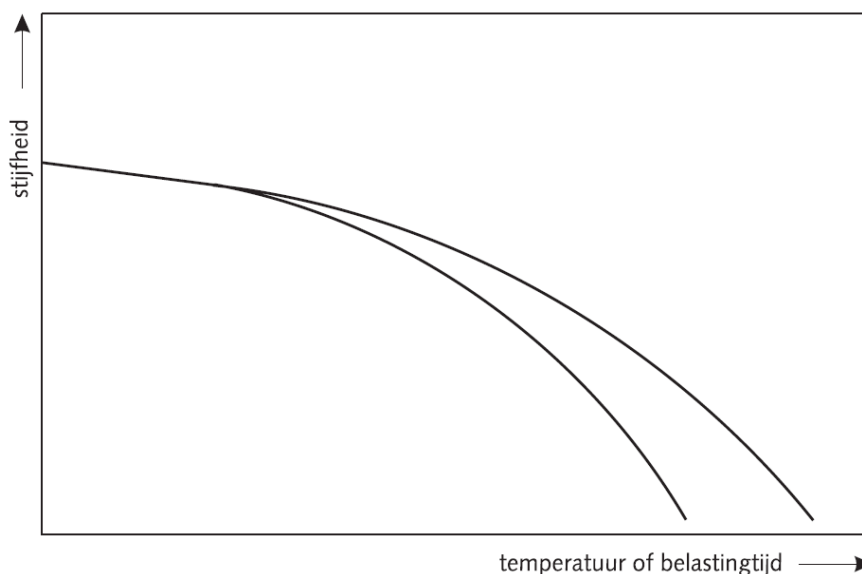
#### 11.4.2 *Mechanische eigenschappen*

Bij asfalt zijn net als bij vele andere materialen twee mechanische eigenschappen van belang:

- Stijfheid;
- Sterkte.

Deze mechanische eigenschappen zijn geen vaste waarden, maar vertonen net als bitumen een gedrag dat afhankelijk is van temperatuur en belastingtijd. Bij waterbouwkundige toepassingen van asfalt kunnen temperatuur en belastingtijd sterk variëren.

De temperatuur van een asfaltbekleding kan variëren van enige graden Celsius onder nul tot boven de vijftig graden bij zonbestraling. De belasting kan variëren van 0,1 seconde bij golfklappen tot jaren bij zettingen van de ondergrond. Onder kortdurende belastingen zoals golfklappen en lage temperatuur gedraagt asfalt zich stijf (elastisch) en sterk. Onder langdurige belastingen zoals zettingen en een hogere temperatuur gedraagt het materiaal zich flexibel (viskeus) en is de sterkte gering (daardoor kunnen plantenwortels door een asfaltlaag groeien). Dit temperatuur- en tijdsafhankelijk materiaalgedrag wordt visco-elastisch gedrag genoemd.



Figuur 11-2: Stijfheid als functie van temperatuur en tijd

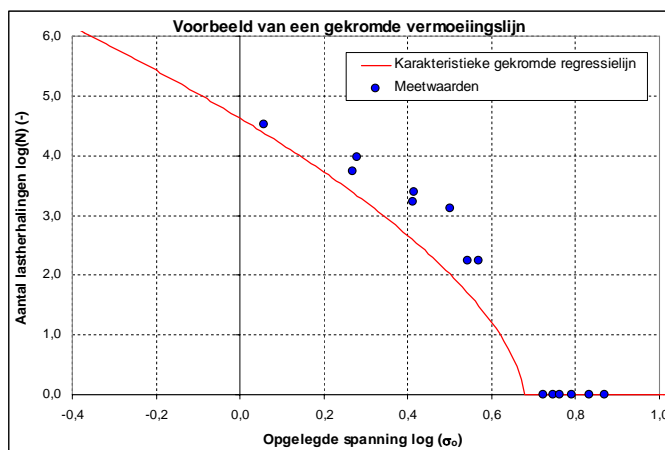
De *stijfheid* is een maat voor de vervorming onder invloed van een belasting en is gedefinieerd als het quotiënt tussen spanning en relatieve vervorming. In ontwerpberekeningen is de stijfheid van asfaltbekledingen een belangrijke parameter.

De stijfheid van een asfaltmengsel is naast temperatuur en tijd, (Figuur 11-2: Stijfheid als functie van temperatuur en tijd) in hoofdzaak afhankelijk van de stijfheid van het bitumen, de holle ruimte en de hoeveelheid mineraal aggregaat.

De stijfheid en sterkte van het asfalt beïnvloeden de gedragseigenschappen van de bekleding zoals stabiliteit en flexibiliteit.

De *sterkte* is een maat die bepaalt welke maximale belasting leidt tot bezwijken. Er kan onderscheid worden gemaakt in verschillende vormen van sterkte, zoals treksterkte, druksterkte, buigsterkte en dergelijke. Voor asfaltbekledingen is de buigsterkte de belangrijkste, dit is een maat voor de weerstand tegen belasting op buiging als gevolg van golfklappen. Daarnaast zijn de scheursterkte en schuifsterkte van belang als maat voor de weerstand tegen scheurdoorgroei en weerstand tegen erosie (rafeling).

Een breuk in asfaltmengsels treedt op als een bepaalde (trek)spanning wordt overschreden. Omdat asfaltmengsels vermoeiingsgedrag vertonen, is de toelaatbare spanning kleiner naarmate het materiaal vaker wordt belast. Het aantal golfklappen is dus van belang. De toelaatbare spanning wordt vastgelegd in een relatie tussen de aangebrachte spanning en het aantal lastherhalingen (Figuur 11-3). Deze relatie kan met proeven worden bepaald, of in nomogrammen worden afgelezen.



Figuur 11-3: Relatie tussen de opgelegde spanning ( $\sigma_0$ ) en het aantal lastherhalingen waarbij bezwijken optreedt ( $N_v$ ) van een bepaald asfaltbetonmengsel

Stabiliteit is het vermogen om blijvende vervorming onder invloed van een constante belasting te voorkomen. Dit is van belang bij bekledingen op een helling, die onder invloed van het eigen gewicht geen doorgaande vervormingen mogen vertonen. De ervaring leert dat de huidige mengsels geen stabiliteitsproblemen kennen als ze worden verwerkt op hellingen die niet steiler zijn dan in tabel 3-4 is aangegeven. Bovendien wordt bij aanvang van het werk met een geschiktheidsonderzoek nagegaan of het materiaal voldoende stabiel is.

Flexibiliteit is het vermogen om vervormingen te kunnen ondergaan waarbij de bekleding intact blijft. Dit is van belang bij zettingen en ontgrondingen. Bij deze geringe maar langdurige belasting moet het asfalt zo veel kunnen vervormen dat het op de ondergrond blijft aanliggen zonder dat scheuren ontstaan. Van de huidige mengsels blijkt de flexibiliteit in de praktijk voldoende te zijn. Alleen in extreme situaties, zoals grote zettingsverschillen bij caissons in het dijklichaam of grote ontgrondingen aan de rand van slabben, blijken de

asfaltmengsels niet toereikend. Mogelijk is de toepassing van wapening in die situaties een oplossing (zie §4.11).

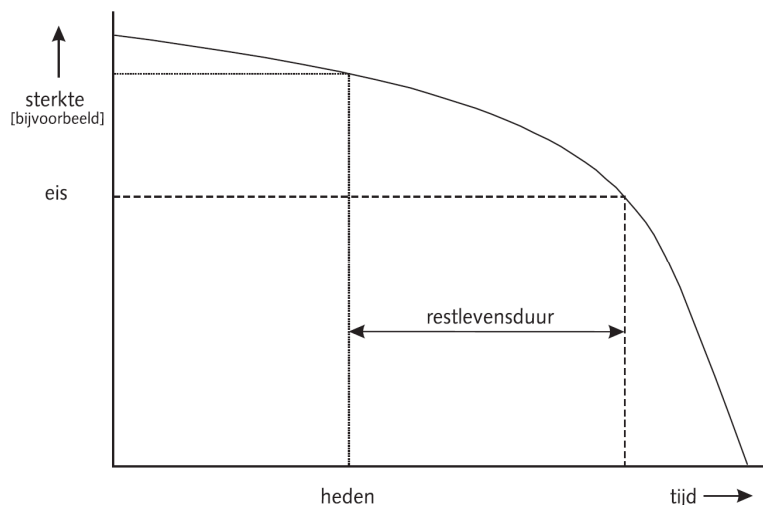
### 11.4.3 Levensduur

#### Algemeen

Een asfaltbekleding moet tijdens de verwachte levensduur zijn functie kunnen blijven vervullen. De kenmerkende fysische en mechanische eigenschappen mogen dus niet te snel achteruitgaan. De levensduur is de mate waarin de relevante eigenschappen op het gewenste niveau blijven.

Door blootstelling aan externe (weers)invloeden verouderd asfalt. Hierdoor kunnen eigenschappen zoals stijfheid en vermoeiingsgedrag veranderen. Hoe groter en toegankelijker de holle ruimte in het asfalt is, hoe meer veroudering kan optreden. In Figuur 11-4 wordt geïllustreerd hoe een eigenschap in de tijd kan veranderen. Dichte ontoegankelijke mengsels worden nagenoeg niet beïnvloed door externe factoren.

Er zijn in de loop der jaren goede ervaringen opgedaan met de levensduur van asfalt bij waterkeringen. Schade aan asfaltbekledingen komt sporadisch voor en onderhoud is meestal zeer beperkt. Een zorgvuldige uitvoering en een goede kwaliteitszorg bij de aanleg van werken heeft daar zeker toe bijgedragen.



Figuur 11-4: Verandering van een eigenschap in de tijd

De eigenschappen van het asfalt worden beïnvloed door veel externe factoren. Dit zijn factoren als de hydraulische belasting (golfklappen en stroming), het weer (warmte, vorst en regen), de omgeving (water, zuurstof en levende organismen) en de aanleg (hitte). Op grond van deze factoren zijn de volgende levensduur aspecten van asfalt te onderscheiden:

#### Verharding (veroudering)

Bitumen in asfaltmengsels verhardt in de loop van de tijd, dat wil zeggen dat het bindmiddel in de loop der tijd stijver en brosser wordt, zodat het asfalt minder flexibel wordt.

De verharding wordt vooral veroorzaakt door hoge temperatuur, waardoor vluchtige bestanddelen uitwijken, en door oxidatie. Licht in de vorm van ultraviolette straling

bevordert bovendien de oxidatiesnelheid. Een belangrijke verharding treedt op tijdens productie en verwerking van het asfalt, omdat de temperatuur dan extreem hoog is. Verharding in de gebruiksfase kan worden beperkt door een lage holle ruimte en een hoog bitumengehalte in het mengsel. Een goede verdichting van waterbouwasfaltbeton is daarom noodzakelijk.

#### Watergevoeligheid (stripping)

Asfaltmengsels reageren op water omdat het mineraal aggregaat een grotere affiniteit voor water heeft dan voor bitumen. Water heeft daardoor het vermogen om bitumen te verdringen waardoor de samenhang van het asfalt verloren gaat en eigenschappen als stijfheid en sterkte afnemen. Dit verschijnsel wordt "stripping" genoemd. Bij dichte mengsels levert de aanwezigheid van water geen probleem op. Open mengsels waarin de minerale delen met een dunne bitumenfilm zijn omhuld, zoals zandasfalt, zijn wel gevoelig voor water. Bestaat de omhulling echter uit een laagje asfaltmastiek, zoals bij open steenasfalt, dan vormt deze een duurzame omhulling.

#### Erosiebestendigheid

Asfaltmengsels zijn in meer of mindere mate gevoelig voor erosie onder invloed van water, wind en meegevoerd materiaal zoals zand, stenen, kruierend ijs en drijfhout. Dit geldt nauwelijks voor dichte mengsels, zoals waterbouwasfaltbeton en gietasfalt, die alleen enige erosie op microschaal vertonen. Open mengsels als open steenasfalt en zandasfalt zijn wel gevoelig voor erosie.

#### Vermoeiing

Asfalt is een vermoeiingsgevoelig materiaal, dat wil zeggen dat de mechanische kwaliteit afneemt naarmate het materiaal vaker wordt belast. Dit aspect is alleen relevant bij stijve mengsels die voortdurend worden belast. Asfaltbekledingen worden in de praktijk alleen onder extreme (storm) condities herhaaldelijk maar ook slechts tijdelijk belast. In de zomerperiode zal het effect van vermoeiing weer grotendeels verdwijnen, omdat hogere temperaturen een helend effect hebben op asfalt; door vermoeiing ontstane haarscheurtjes vloeien weer dicht. Naarmate het asfalt meer verouderd en brosser wordt zal vermoeiing een meer blijvende verandering veroorzaken en zal het helen minder effect hebben.

#### Vorstbestendigheid

Asfaltmengsels zijn in het algemeen niet gevoelig voor aantasting door vorst. Zelfs mengsels die water kunnen bevatten zoals open steenasfalt en zandasfalt vertonen in Nederlandse omstandigheden geen schade.

#### Biologische aantasting

Asfalt wordt beïnvloed door de aanwezigheid van levende organismen. Het viskeuze gedrag van asfalt stelt organismen in staat om het materiaal heel geleidelijk te vervormen. Zo kunnen plantenwortels of zeepokken (Figuur 11-5) zich in oppervlakteporiën nestelen en deze vergroten. Bij open steenasfalt vormt begroeiing in het algemeen geen probleem. Excessieve begroeiing kan wel tot problemen leiden. In §3.8.9 wordt nader ingegaan op de groeibaarheid van asfaltsoorten.



Figuur 11-5: Biologische aantasting van open steenasfalt door zeepokken - Neeltje Jans – 1989 (foto Oranjewoud)

#### Chemische aantasting

Bitumen is voor de meeste chemicaliën inert, dat wil zeggen dat het goed bestand is tegen de inwerking van chemicaliën, zeker als de belastingsduur kort is.

Bitumen is echter wel volledig oplosbaar in lichte koolwaterstoffen zoals terpentijn en dieselolie. Indien deze stoffen in het oppervlaktewater voorkomen kan het asfaltoppervlak worden aangetast. Omdat deze aantasting bij dichte bekledingen beperkt blijft tot het oppervlak, levert dit geen gevaar op voor de sterkte. De concentraties en de temperaturen blijven in de waterbouw meestal beperkt in vergelijking met de wegenbouw. Indien de bekleding zware chemische belastingen te verduren krijgt, bijvoorbeeld in een olieoverslaghaven, dan dient hier extra aandacht aan gegeven te worden. Alleen bij calamiteiten kan de aantasting zo groot zijn dat de sterkte in gevaar komt.

Tabel 11-1: Bestendigheid van de asfaltsoorten

	waterbouw- asfaltbeton	asfalt- mastiek	gepenetreerde breuksteen	open steenasfalt	zandasfalt
veroudering/stripping	+	++	++	0	0
erosiebestendigheid	+	++	++	0	-
vermoeiing	++	++ <sup>1)</sup>	++ <sup>1)</sup>	+	0
vorstbestendigheid	++	++	++	+	+
biologische aantastingen					
planten	+	++	++	+	-
algen/wieren	2)	++	++	0	0
schaaldieren	2)	+	++	0 <sup>3)</sup>	0
chemische aantastingen	+	+	++	0	-

<sup>1)</sup> Asfaltmastiek en gietasfalt zijn niet gevoelig voor vermoeiing

<sup>2)</sup> Waterbouw-asfaltbeton wordt niet in de tijzone toegepast

<sup>3)</sup> Open steenasfalt scoort '0' indien één extra steenlaag wordt aangebracht, anders scoort open steenasfalt '-'

In Tabel 11-1 wordt alles nog eens op een rijtje gezet, waarbij '++' betekent dat de bekleding zeer goed bestand is tegen het optredende fenomeen. Een '+' geeft een goede



weerstand weer, een '0' een redelijke weerstand en een '-' geeft aan dat de bekleding niet bestand is tegen de genoemde vorm van aantasting.

De mate waarin asfaltbekledingen bestendig of duurzaam zijn, bepaalt hoe groot de levensduur is. Over de feitelijke levensduur van asfaltbekledingen is alleen in globale zin iets te zeggen, omdat deze van zoveel factoren afhangt. De ervaring leert dat dichte bekledingen ten minste 50 jaar meegaan en waarschijnlijk wel 100 jaar. Open mengsels zijn gevoeliger voor externe invloeden en hebben een levensduur die naar verwachting de helft is van dichte bekledingen. In Tabel 11-2 is een ruwe schatting gemaakt voor de levensduur van de verschillende asfaltbekledingen, waarbij op grond van de belasting onderscheid is gemaakt tussen zee-, meer- en rivierdijken.

Tabel 11-2: Levensduurverwachting van asfaltbekledingen (in jaren)

	waterbouw- asfaltbeton	open steenafalt	gepenetreerde breuksteen	zandafalt	afalt- mastiek
zeedijk	50-75	15-30	50-100	nvt	50-100
meerdijk	50-75	20-40	50-100	15-30	nvt
rivierdijk	50-75	25-50	50-100	20-40	nvt

#### *Toelichting*

De ondergrens geldt voor een matige aanlegkwaliteit van asfalt, de bovengrens voor een goede kwaliteit. Onder goede kwaliteit wordt asfalt verstaan dat aan alle eisen voldoet. Een duurzame hechting tussen mineraalaggregaat en bitumen is daarbij van groot belang. Daarnaast beïnvloeden omgevingsfactoren de levensduur van een asfaltbekleding.

Voorbeelden hiervan zijn:

- Aanwezigheid van water, in het bijzonder bij open mengsels;
- Voorkomen van regelmatige zware golfaanval;
- Aanwezigheid van drijvend vuil en lichte breuksteen die over de bekleding gaan rollen en in het bijzonder bij open steenafalt schade veroorzaken.

De hechting tussen mineraalaggregaat en bitumen wordt bepaald door:

- Hoeveelheid bitumen;
- Bitumeneigenschappen;
- Type vulstof;
- Verhouding vulstof-bitumen (= mortelviscositeit);
- Gebruik van kalkhydroxide en hechtverbeteraars;
- Oppervlakeigenschappen van het mineraalaggregaat.

De hechting is één van de aspecten die in het vooronderzoek moet worden vastgesteld, zie §8.5.

Naarmate een asfaltbekleding meer toegankelijk is voor externe factoren door een relatief hoog percentage holle ruimte is de hechting tussen mineraalaggregaat en bitumen van groter belang.

Waterbouwafaltbeton 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 waterbouwafaltbeton nooit een 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, maar 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 kalksteen voorgeschreven als basis 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.

Gebitumineerd zand (mineraal < 2 mm, zonder vulstof) kan bij alle dijktypen goed als filter- of funderingslaag worden toegepast, waarbij de asfalttoplaagdikte dan geringer kan zijn.

#### 11.4.4

##### *Ingieting toplaag*

Zoals besproken in het deel Steenzettingen [87] van deze Handreiking worden “vol en zat” gepenetreerde (ingegoten) steenzettingen getoetst op afschuiving, materiaaltransport en oplichten van de toplaag, terwijl oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) steenzettingen én overgoten steenzettingen in slechte staat daarnaast op toplaaginstabiliteit worden getoetst. Voor de toetsing zijn 3 punten van belang: de mate van penetratie (tot meer of minder dan de helft van de toplaag), de samenhang in de toplaag (te meten met een valgewicht-deflectiemeting) en de staat van de penetratie. Verdergaande informatie, zoals materiaalparameters van de ingieting of de invloed op de doorlatendheid, zijn normaal gesproken niet nodig, maar wellicht wel voor geavanceerde toetsing. De penetratiediepte en de resultaten van de valgewicht-deflectiemetingen worden ingevuld in Steentoets.

##### Rol

Toplaaginstabiliteit onder golfaanval: de mate van penetratie (“vol en zat” of oppervlakkig) én de kwaliteit van de penetratie bepalen de sterkte van een gepenetreerde steenzetting.

##### Wijze van bepaling

Uit contractgegevens of beheerinformatie kan volgen dat een steenzetting slechts is overgoten. In dat geval is duidelijk dat de gepenetreerde bekleding ook op toplaaginstabiliteit moet worden getoetst.

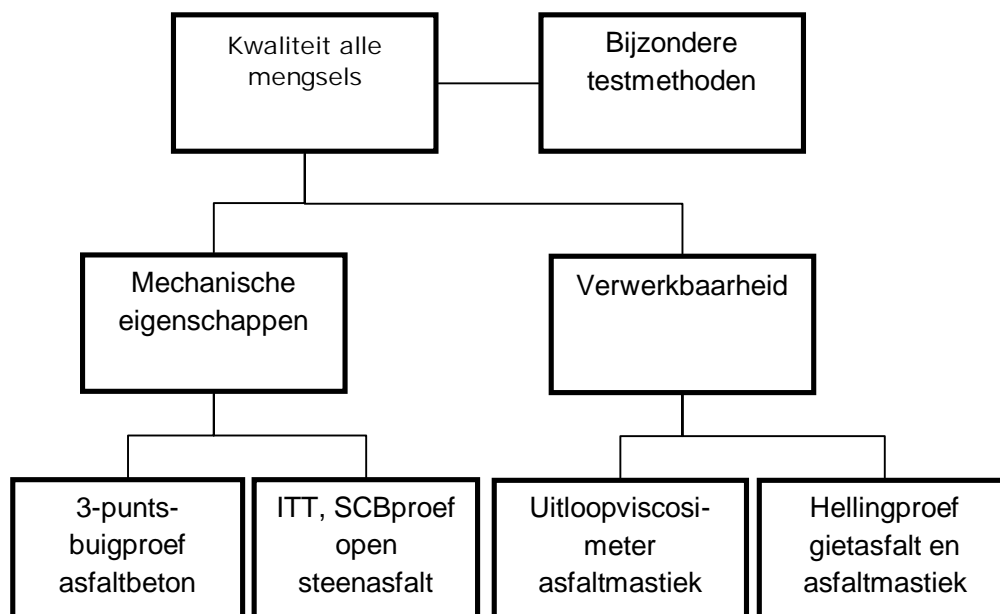
Een steenzetting mag alleen als “vol en zat” gepenetreerd/ingegoten worden getoetst als er goede aanhechting is tussen toplaagelementen en penetratiemateriaal. Vooral bij betonpenetratie is deze hechting meestal slecht. Als uit oppervlakkige visuele controle al blijkt dat de aanhechting niet goed is, kan worden aangenomen dat sprake is van een oppervlakkig gepenetreerde steenzetting. Bij met gietasfalt ingegoten steenzettingen is doorgaans de aanhechting voldoende.

11.5 Testmethoden

Om de eigenschappen van asfaltmengsels en van de daarvoor gebruikte bouwstoffen te bepalen is een groot aantal testen mogelijk. In deze paragraaf wordt globaal aangegeven welke onderzoeksmethoden worden gebruikt bij asfalt voor waterkeringen. Er zijn op grond van het onderzoeksdoel vier soorten testmethoden te onderscheiden:

- Testen voor kwaliteitsbewaking (bij de aanleg van werken);
- Testen voor bepaling van mechanische eigenschappen (bij onderzoek);
- Testen om de verwerkbaarheid vast te stellen (bij de aanleg van werken);
- Bijzondere testen.

Dit is schematisch weergegeven in Figuur 11-6.



Figuur 11-6: Schematisch overzicht testmethoden

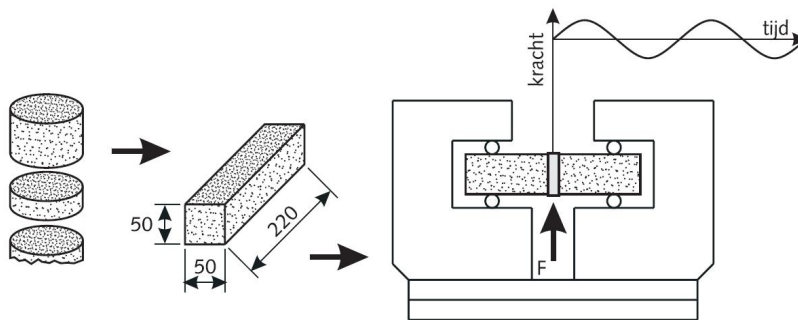
11.5.1 Testen voor kwaliteitsbewaking

De voor kwaliteitsbewaking gebruikelijke proeven worden in de Standaard beschreven. Deze proeven zijn onder te verdelen in:

- Methoden om de kwaliteit van de bouwstoffen te bepalen;
- Methoden om asfaltmengsels te ontwerpen (vooronderzoek/geschiktheidsonderzoek);
- Methoden om de kwaliteit van bereid en verwerkt asfalt te bepalen.

11.5.2 Testen voor mechanische eigenschappen

Naast de gestandaardiseerde testen voor de kwaliteitscontrole zijn voor enkele mengsels testmethoden ontwikkeld waarmee relevante mechanische eigenschappen kunnen worden bepaald. Dit betreft eigenschappen als stijfheid en vermoeiingsgedrag, die worden bepaald met dynamische proeven. Voor waterbouwasfaltbeton is een driepunts-buigproef ontwikkeld (Figuur 11-7) en voor open steenasfalt werd een schuifproef ontwikkeld. Deze bleek echter te omslachtig en foutgevoelig. Tegenwoordig wordt voor open steenasfalt de stijfheid bepaald met de indirecte trekproef (ITT) en de buigtreksterkte met de semi-circular bending proef (SCB), zie §6.2.2. Voor waterbouwasfaltbeton wordt de driepuntsbuigproef gebruikt voor zowel de breuksterkte als de vermoeiing.



Figuur 11-7: Dynamische driepunts-buigproef

De resultaten van deze proeven worden gebruikt bij het toetsen van bekledingen op veiligheid. Met deze dynamische proeven kan inzicht worden verkregen in de eigenschappen die het mechanisch gedrag, de levensduur en de (rest-)levensduur bepalen. De proeven worden uitgevoerd onder geconditioneerde omstandigheden. In Figuur 11-8 is de geconditioneerde testbank afgebeeld.



Figuur 11-8: Testbank met klimaatkast voor het uitvoeren van dynamische proeven (foto NPC)

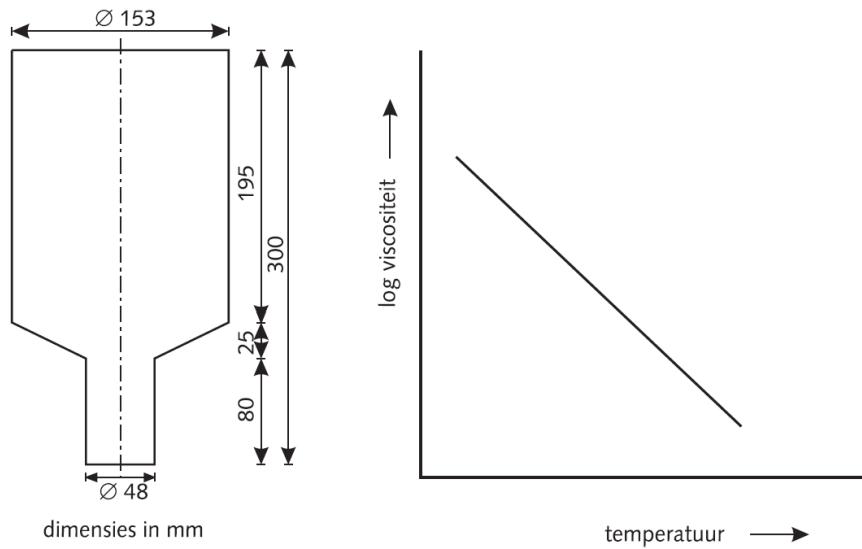
### 11.5.3 Testen om de verwerkbaarheid vast te stellen

Asfaltmestiek en gietasfalt zijn mengsels die bij verwerking vloeibaar zijn. De mate van vloeibaarheid (viscositeit) bepaalt het gedrag van deze mengsels bij verwerken. Voor het meten van de viscositeit van asfaltmestiek is de uitloopviscosimeter van Kerkhoven [31] ontwikkeld. Hiermee wordt de tijd gemeten waarin een bepaald volume asfalt uit het vat (Figuur 11-9) stroomt. Dit is een maat voor de viscositeit.

Omdat dit vat zich niet leent om gietasfalt (met grind) te meten is een hellingproef ontwikkeld. In deze proef vloeit een bepaald volume gietasfalt onder gestandaardiseerde omstandigheden over een helling (Figuur 11-10). De tijd die nodig is voor een bepaalde vloeiafstand is een maat voor de viscositeit. De hellingproef wordt ook gebruikt voor asfaltmestiek.

In de Standaard 2010 is de hellingproef opgenomen voor asfaltmastiek en gietasfalt. Niet alleen om de verwerkbaarheid vast te stellen, maar ook om de mengsels bij het vooronderzoek te ontwerpen.

Bovengenoemde proeven moeten vooral worden gezien als indicatieve testmethoden waarmee slecht verwerkbare mengsels worden voorkomen.



Figuur 11-9: Uitloopviscosimeter



Figuur 11-10: Hellingproef voor het bepalen van de viscositeit

#### 11.5.4 *Bijzondere testen*

Naast bovengenoemde gestandaardiseerde onderzoeksmethoden kunnen in bijzondere situaties nog andere (minder gestandaardiseerde) methoden worden gebruikt. Dit betreft methoden als:

- Bepaling waterdoorlatendheid;
- Bepaling waterdichtheid;
- Bepaling stabiliteit op een helling;
- Bepaling flexibiliteit.

Tot nu toe worden ten aanzien van de doorlatendheid nauwelijks proeven uitgevoerd. De grootte van de doorlatendheid van open mengsels wordt als bekend en voldoende aangenomen. Dichte mengsels zijn voldoende waterdicht als ze voldoen aan de eisen voor de holle ruimten.

Daar waar vanwege de specifieke toepassing strenge eisen voor de doorlatendheid gelden (stuwdammen, spaarbekkens en bodembeschermingen), zijn speciale onderzoeksmethoden beschikbaar. Deze zijn in de publicatie van Van Asbeck [1] en in het Shell Bitumen Hydraulic Engineering Handbook [39] beschreven. Daarnaast is in het kader van het Plan Bodembeschermende Voorzieningen recent een CUR-aanbeveling verschenen om de vloeistofdichtheid van bitumineuze mengsels te bepalen [18].

Ook de stabiliteit en de flexibiliteit zijn eigenschappen die normaliter geen problemen geven. In bijzondere situaties kunnen de methoden worden gebruikt, zoals die door Van Asbeck zijn beschreven [1]. In die gevallen moet hulp worden ingeroepen van onderzoeksinstituten die gespecialiseerd zijn in toegepast materiaalonderzoek.

### 11.6 Milieu

#### 11.6.1 *Algemeen*

Bij het selecteren van materialen voor een bekleding zijn naast de technische aspecten ook de effecten die het materiaal op de omgeving heeft van belang. De doelstellingen uit het Nederlands Milieubeleid zijn enerzijds vertaald in wet- en regelgeving en anderzijds beschreven in het beleid voor Duurzaam bouwen.

In het algemene deel van deze Handreiking [86] is beschreven welke wettelijke bepalingen van toepassing zijn. Dit betreft in het bijzonder de Waterwet en de Wet op de Bodembescherming. Daarnaast wordt het overheidsbeleid voor Duurzaam bouwen vorm gegeven in het kader van "Duurzaam inkopen". Hierbij geeft RWS bij de aanbesteding van werken voorrang aan aanbieders die aantoonbaar rekening houden met het milieu en de omgeving. Hierbij wordt gebruikgemaakt van "DuBocalc". Dit is een programma dat milieueffecten berekent. Ook wordt gebruikgemaakt van de MilieuKostenIndicator (MKI). Deze geeft weer hoe groot de impact van een project is op het milieu.

#### 11.6.2 *Besluit bodemkwaliteit*

Belangrijk voor de opdrachtgever is het Besluit bodemkwaliteit [42] (de opvolger van het Bouwstoffenbesluit), waarin eisen aan de samenstelling en uitloging van steenachtige bouwstoffen worden gesteld met als doel het voorkomen van verontreiniging van bodem en grondwater.

Het mineraal aggregaat voor waterbouwasfalt komt van nature voor in de bodem en bevat in principe geen vreemde stoffen of verontreinigingen. Daarnaast wordt uitloging van eventuele verontreinigingen verhinderd door het immobiliserend vermogen van bitumen. Bitumen

bevat nauwelijks schadelijke verbindingen zodat asfalt zonder belemmeringen mag worden toegepast in de waterbouw.

11.6.3 *BRL 9320*

Op grond van het Besluit bodemkwaliteit moet bij de verwerking van bouwstoffen worden aangetoond dat deze milieuhygiënisch verantwoord kunnen worden toegepast. Om te voorkomen dat bij elke levering van bouwstoffen partijkeuringen moeten worden verricht, is een certificatiesysteem ontwikkeld met als grondslag de nationale beoordelingsrichtlijn BRL 9320 [10]. In deze BRL zijn alle relevante eisen opgenomen die voor de milieuhygiënische certificatie van asfalt van belang zijn, zowel voor de wegebouw als voor kust- en oeverwerken.

11.6.4 *PAK*

Voor 1991 werd soms teer, een product van de distillatie van steenkool of hout met hoge concentraties Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) in asfalt toegepast. Sommige Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen kunnen in hoge concentraties en bij langdurige blootstelling milieubedreigend en schadelijk voor de gezondheid zijn. Omdat teer niet meer mag worden toegepast, moet vrijkomend asfalt volgens een protocol beschreven in CROW-publicatie 210 worden getoetst op de aanwezigheid van teer. Indien er teer wordt aangetroffen, dat wil zeggen indien het PAK(10)-gehalte in het asphalt hoger is dan 75 mg/kg.d.s., moet dit worden afgevoerd naar een vergunde installatie.

11.6.5 *Gezondheid*

Een grootschalig internationaal epidemiologisch onderzoek, uitgevoerd tussen 1994 en 2001 [30], heeft aangetoond dat bij de moderne productie- en verwerkingstechnieken geen risico bestaat voor de gezondheid van de werknemers in de asfaltindustrie in relatie tot het omgaan met bitumen.

11.6.6 *Hergebruik van asfalt*

In het kader van het milieubeleid is een zuinig gebruik van grondstoffen van groot belang. Hergebruik van asfalt is een 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 waterbouw. Zo heeft waterbouwwasfaltbeton een bitumengehalte van ongeveer 6,5% op gewichtsbasis. Omdat asfaltdijkbekledingen met waterbouwwasfaltbeton gemiddeld al 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 waterbouwwasfaltbetongranulaat is dat het afkomstig is van dichte mengsels (holle ruimte lager dan 9%) en het gebruikte bitumen altijd een 80/100 Pen bitumen is. Uit recent onderzoek is gebleken dat het verouderde bitumen zelfs na 30 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 waterbouwwasfaltbeton 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.

#### 11.6.7 LNC

Aandacht voor het milieu betekent ook aandacht voor de landschappelijke inpassing in relatie tot natuur- en cultuurwaarden. Asphaltconstructies kunnen vaak aan hieruit voortvloeiende eisen voldoen, mede door de verschillende verschijningsvormen van het materiaal. Enerzijds past de bouwstof in het beeld van een robuuste zeewering (waterbouwasfaltbeton en “vol en zat” met gietasfalt gepenetreerde breuksteen), anderzijds leent het zich voor kleinschalige toepassingen met ontwikkelingsmogelijkheden voor flora en fauna (open steenasfalt en met gietasfalt gepenetreerde breuksteen). Recent zijn ervaringen opgedaan met de bouw van zogenaamde “Ecopoelen” in het kader van het project “RijkeDijk”.

In §3.8.9 wordt nader ingegaan op de begroeiingsmogelijkheden van de verschillende asfaltsoorten.

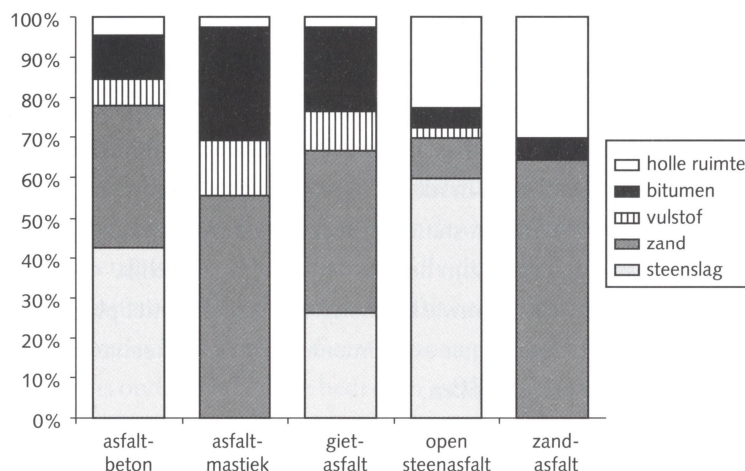
### 11.7 Mengsels

#### 11.7.1 Algemeen

Voor het bekleden van waterkeringen worden de volgende asfaltmengsels toegepast:

- Waterbouwasfaltbeton;
- Asfaltmastiek;
- Gietasfalt;
- Open steenasfalt;
- Zandasfalt.

Figuur 11-11 geeft een indicatie van de volumebestanddelen aan lucht (holle ruimte), bitumen, steenslag (grind), zand en vulstof in de verschillende asfaltmengsels.



Figuur 11-11: Volumepercentages componenten in asfaltmengsels

In de volgende paragrafen worden enkele mengselspecifieke eigenschappen, de meest gebruikte samenstellingen en toepassingen per asfaltmengsel beschreven.

### 11.7.2 Asfaltbeton

Waterbouwasfaltbeton is een continu gegradeerd mengsel van steenslag (of grind), zand en vulstof, waarvan de poriën (holle ruimte) nagenoeg gevuld zijn met bitumen. Het mengsel bestaat doorgaans uit steenslag of grind (50% m/m), zand (42% m/m), vulstof (8% m/m) en bitumen (6,5% m/m "op"). Tabel 11-3 geeft de grenzen voor de samenstelling van waterbouwasfaltbeton.

Door het hoge steengehalte is het mengsel stabiel en de lage holle ruimte (3-6%) resulteert in een water- en zanddicht mengsel dat daardoor ook erg duurzaam is. Het is daarom uitermate geschikt om als bekleding op dijktafuds te worden toegepast. Hiertoe wordt het in één laag (ook bij grote dikte) op de ondergrond aangebracht en mechanisch verdicht. Asfaltbeton wordt alleen boven water aangebracht.

Tabel 11-3: Samenstellingseisen waterbouwasfaltbeton

\* Voor bitumen zijn de massapercentages ten opzichte van 100% materiaal aggregaat (op).

Materiaal	Fractie	Massapercentage	
		minimaal	maximaal
Steenslag/grind	> 2 mm	40	55
Zand	< 2 mm en > 63 µm	35	50
Vulstof	< 63 µm	6	10
Totaal aggregaat		100	
Bitumen*	-	6	8

Na aanbrengen vormt asfaltbeton een stijve plaat die bijzonder goed bestand is tegen hydraulische belastingen als golfklappen. Door het hoge gehalte aan bitumen is de plaat toch voldoende flexibel om enige zetting van de ondergrond te kunnen volgen. Een asfaltbetonbekleding kan worden bereden door verkeer en recreanten. Het is gebruikelijk om een oppervlakbehandeling van bitumenemulsie en split aan te brengen als conserveringsmiddel.



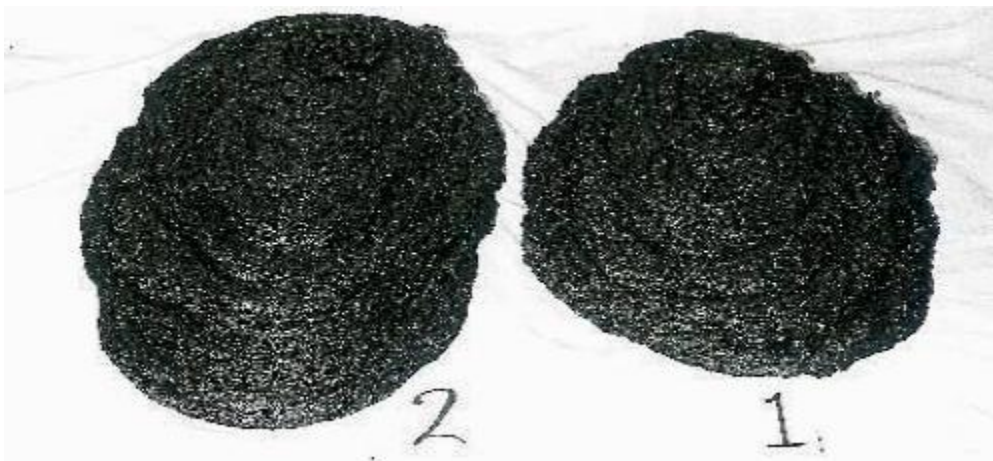
Figuur 11-12: Boorkern uit een bekleding van waterbouwasfaltbeton - Damaanzet Noordland - 1991 (foto NPC)

### 11.7.3 Asfaltmestiek

Asfaltmestiek is een continu gegradeerd mengsel van zand en vulstof met een overmaat aan bitumen. Het mengsel bestaat doorgaans uit zand (66,5% m/m), vulstof (16,5% m/m) en bitumen (17,0% m/m "in"). Door de overmaat aan bitumen is het bij verwerkingstemperatuur (100-190 °C) een vloeibaar en dicht mengsel dat niet wordt

verdicht (en ook niet kan worden verdicht). Na afkoelen is het een stabiel, flexibel en dicht mengsel waardoor het bijzonder duurzaam is.

Asfaltmastiek wordt gebruikt als flexibele bodem- en teenbescherming (slab) en als penetratiemateriaal, zowel boven als onder water. Het wordt ook gebruikt om overgangsconstructies van steenzettingen vast te gieten, als reparatiemiddel en als afdichtingsmiddel. In het verleden is asfaltmastiek ook gebruikt om niet stabiele steenbekledingen vast te leggen.



Figuur 11-13: Plak uitgevloeiende asfaltmastiek

#### 11.7.4

##### *Gietasfalt*

Gietasfalt is een mengsel van grind en een overmaat aan asfaltmastiek. Het mengsel bestaat doorgaans uit 30% m/m grind 4/16 en 70% m/m asfaltmastiek.

Door de overmaat aan asfaltmastiek is het bij verwerkingstemperatuur (100-190 °C) een vloeibaar en dicht mengsel dat niet wordt verdicht (en ook niet kan worden verdicht). Na afkoelen is het een stabiel, flexibel en dicht mengsel waardoor het bijzonder duurzaam is. Gietasfalt wordt gebruikt als penetratiemateriaal voor breuksteenbekledingen (alleen boven water), als flexibele bodem- en teenbescherming (slab) en als reparatiemiddel bij schade aan bekledingen.



Figuur 11-14: Boorkern uit een bekleding van "vol en zat" gepenetreerde breuksteen - Westkapelse zeedijk - 1988

Bij calamiteiten is het uitermate geschikt om grote beschadigingen bij harde bekledingen (ook onder extreme omstandigheden) tijdelijk te herstellen.

Gietasfalt moet na afkoelen zo stabiel zijn dat het niet nazakt of ontmengt. De hoeveelheid grind dient als opvulmiddel, om uit- en nazakken te voorkomen en soms om de penetratiediepte te beperken.

Een laag breuksteen kan op verschillende manieren met gietasfalt worden gepenetreerd, namelijk "vol en zat" penetratie (Figuur 11-14), "patroonpenetratie" en penetratie "vastleggen van steen" (of oppervlaktepenetratie).

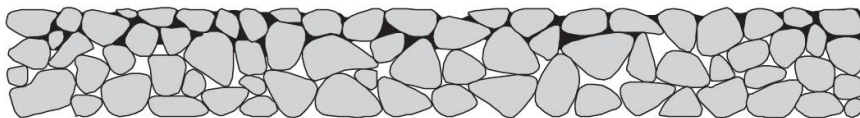
In Figuur 11-15 zijn de verschillende penetratiemethoden schematisch weergegeven.



'vol en zat' penetratie



patroonpenetratie



penetratie 'vastleggen van steen'

Figuur 11-15: Penetratiemethoden van een breuksteenbekleding

Bij "vol en zat" penetratie wordt alle holle ruimte in de laag breuksteen gevuld met gietasfalt. Bij "patroonpenetratie" wordt de laag breuksteen met een bepaalde systematiek gedeeltelijk gepenetreerd. Van patroonpenetratie zijn verschillende varianten: random, patroon-stippen, patroon-raster en patroon-stroken. Bij de methode "vastleggen van steen" wordt een hoog viskeus gietasfalt gebruikt waarmee alleen het bovenste deel van de laag breuksteen wordt gepenetreerd. Vastleggen van steen wordt in het algemeen afgeraden, omdat de ervaringen met deze penetratiemethode niet goed zijn. Er wordt een vrijwel gesloten bekleding aangelegd waardoor er ten gevolge van wateroverdrukken onder de bekleding schade kan ontstaan.

De variant "random" van de patroonpenetratie is een variatie op "vastleggen van steen", waarbij een groter volume penetratiemortel wordt aangebracht. De verwerking geschiedt door middel van een kubel die door de asfaltwerker wordt geopend en gesloten. Op plekken waar veel fijn materiaal ligt wordt relatief veel penetratiemortel gebruikt, daar waar de grofste fractie uit de sortering ligt niets. Bij dimensionering voor deze vorm van penetratie worden dan niet de eigenschappen van de steensortering, bijvoorbeeld 10-60 kg aangehouden, maar die van 60 kg.



11.7.5 *Open steenasfalt*

Open steenasfalt is een mengsel van grof en eenzijdig gegradeerde steenslag die wordt omhuld met asfaltmastiek, ook wel mortel genoemd. Doorgaans bestaat het mengsel uit 80% m/m steenslag en 20% m/m asfaltmastiek. Tabel 11-4 geeft de grenzen voor de samenstelling van open steenasfalt.

Tabel 11-4: Samenstellingseisen open steenasfalt

\* Voor bitumen zijn de massapercentages binnen de 100% mortel.

Materiaal		Fractie	Massapercentage	
			minimaal	maximaal
Mengsel	Steenslag/grind	> 2 mm	75	85
	Mortel	< 2 mm	15	25
Mortel	Zand	< 2 mm en > 63 µm	60	75
	Vulstof	< 63 µm	10	25
	Bitumen*	-	16	20

Door het hoge gehalte aan steenslag heeft het asfalt een hoge holle ruimte en is daardoor doorlatend, zowel voor water als voor grond. Onder een open steenasfaltbekleding moet daarom een grond dicht filter (geotextiel, granulair filter of zandasfalt) worden aangebracht. Omdat het asfalt zo toegankelijk is voor lucht en water moet de asfaltmastiek zorgen voor een duurzame omhulling.

Open steenasfalt wordt toegepast als open bekleding op dijkwaluds en oevers. Door het hoge steengehalte is de stabiliteit erg groot, zodat het op steile hellingen kan worden aangebracht.

In Figuur 11-16 zijn boorkernen van open steenasfalt weergegeven.



Figuur 11-16: Boorkernen uit een begroeide bekleding van open steenasfalt - Tholen – 1995 (foto Oranjewoud)

Op bekledingen van open steenasfalt kan vegetatie zich ontwikkelen, omdat het materiaal een groot gehalte aan doorgaande poriën heeft. Dit is ook gunstig voor de vestiging van dierlijke organismen zoals zeepokken, mossels en oesters. Hierdoor kan de waterkerende functie gecombineerd worden met functies als natuur en landschap.

Open steenasfalt wordt in situ of als geprefabriceerde mat aangebracht. In de tijzone wordt het alleen in situ toegepast, met bij voorkeur een laag zandasfalt als filter.

Voor de levensduur van open steenasfalt moet de steen met een dikke en bitumenrijke asfaltmastiek worden omhuld.

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

In de jaren '90 is een volumetrisch ontwerp ingevoerd voor het ontwerpen van de mengsamenstelling. Hierbij wordt berekend hoeveel mastiek nodig is, uitgaande van de gradering van de steen en een gewenste laagdikte van de mastiekomhulling. Deze berekening is in een spreadsheet ondergebracht en in 2009 door Rijkswaterstaat (Projectbureau Zeeweringen) als ontwerpmethodode voor open steenasfalt geaccepteerd. Met dit rekenmiddel kan bij de kwaliteitscontrole ook worden berekend wat de gemiddelde omhullingsdikte van de mastiek is die bij de aanleg is gerealiseerd. Hiervoor wordt de door meting bepaalde gradering van de steen en het gemeten gehalte aan mastiek 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 asfaltmastiek in het mengsel leidt tot een geringere omhullingsdikte en dus een geringere levensduur. Een overmaat aan asfaltmastiek is echter ook niet goed. Dit leidt namelijk tot afdruipe van de asfaltmastiek waardoor de omhullingsdikte per saldo lager zal zijn dan gewenst. Een nauwkeurige bepaling van de hoeveelheid mastiek 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.

Als hulpmiddel om te komen tot een extra dikke bitumenrijke omhulling van de stenen worden aan de asfaltmastiek soms afdruipepremende stoffen toegevoegd. Hierdoor kan een dikkere omhulling worden toegepast terwijl de asfaltmastiek tijdens transport en verwerken toch niet van de steen afdruipe. Een bekende afdruipepremer is cellulose (een organische vezel), dat met een gehalte van circa 0,3% (op 100% m/m mineraal aggregaat) wordt toegepast. Ook anorganische vezels als glas- en steenwol kunnen worden gebruikt, echter met een hoger gehalte van ongeveer 0,6%.

#### 11.7.6 *Zandasfalt*

Zandasfalt (gebitumineerd zand) is een mengsel van zand en een geringe hoeveelheid bitumen. Doorgaans wordt ter plaatse gewonnen zand gebruikt, dat met 3 tot 5% m/m bitumen wordt omhuld. De geringe hoeveelheid bitumen vult de holle ruimte nauwelijks, zodat het materiaal zeer poreus en waterdoorlatend is. De holle ruimte van dit sterk ondervulde asfalt bedraagt 30 tot 40%.

Door het hoge zandgehalte is de stabiliteit van zandasfalt vergelijkbaar met die van het gebruikte zand; dit geldt echter alleen bij langzame belasting. Bij snelle belasting is

zandasfalt veel stabielere dan zand door de bijdrage van het bitumen. Zandasfalt is door de open structuur en de geringe hoeveelheid bitumen minder duurzaam dan mengsels zoals asfaltbeton en gietasfalt. Het bitumen omhult het zand slechts met een uiterst dun laagje en is daarbij geconcentreerd op de korrelraakpunten.

Zandasfalt wordt onder en boven water in bulk toegepast als kernmateriaal voor perskaden en golfbrekers. Het is als materiaal in een perskade aantrekkelijk vanwege de blijvende samenhang.

Daarnaast wordt het toegepast als filterlaag en soms als een (tijdelijke) bekleding. Zandasfalt wordt in het algemeen niet verdicht, dit heeft alleen zin bij de toepassing als bekleding. Niet verdicht zandasfalt is doorgaans even doorlatend als het zand waarvan het is gemaakt. Toevoeging van vulstof aan het mengsel en verdichten heeft een gunstig effect op de levensduur maar vermindert de doorlatendheid. Vulstof wordt niet toegepast in zandasfaltfilters, -kades en tijdelijke werken, maar wel bij duurzame constructies.



Figuur 11-17: Balkje uit een bekleding van zandasfalt - 1998 (foto NPC)

#### 11.7.7 *Overige mengsels*

Dicht steenasfalt en asfaltmembranen worden niet behandeld, omdat deze naar verhouding erg weinig worden toegepast. Hiervoor wordt verwezen naar de Leidraad asfalt [44].



## 12 Faalmechanismen asfaltbekledingen

### 12.1 Inleiding

Bewijkmechanismen van asfaltbekledingen zijn fysische verschijnselen waarbij de bekleding onder invloed van een belasting een ontoelaatbare vervorming ondergaat zodat de samenhang van de bekleding verloren gaat. Dit kan ertoe leiden dat de asfaltbekleding geen bescherming meer biedt tegen erosie van het dijklichaam. In dat geval is het bezwijkmechanisme tevens faalmechanisme.

In dit hoofdstuk worden vier mechanismen besproken voor alle toepassingen van asfalt op waterkeringen, waarbij de nadruk ligt op talusbekledingen. Dit betreft:

- Golfklappen;
- Wateroverdrukken;
- Materiaaltransport vanonder de bekleding;
- Erosie bekledingsoppervlak.

Daarnaast worden twee mechanismen behandeld die specifiek van toepassing zijn voor een teenbescherming. Dit betreft:

- Opdrukken door golfbeweging;
- Ontgronding van de vooroever.

### 12.2 Bezwijken ten gevolge van golfklappen

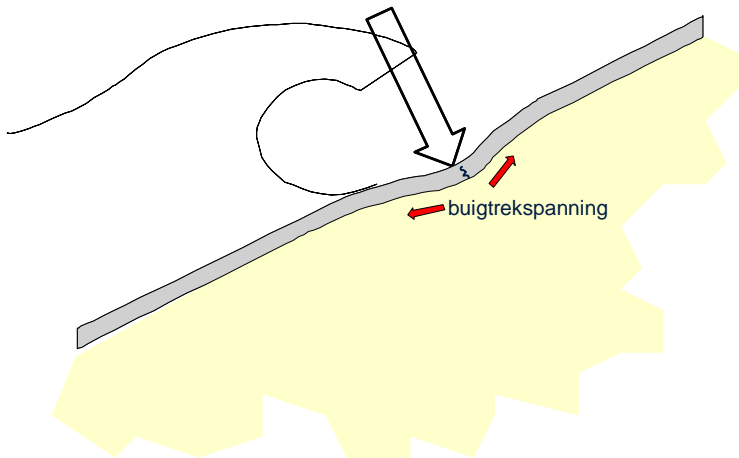
Een asfaltbekleding moet een aaneengesloten geheel blijven vormen om weerstand te bieden aan de optredende hydraulische belastingen teneinde erosie van de ondergrond te voorkomen. Een golf die het talud treft, veroorzaakt een drukstoot op de bekleding. De bekleding moet hiertegen voldoende weerstand bieden en mag niet bezwijken onder de golfbelasting. Dit mechanisme wordt in de volgende paragraaf behandeld per deelmechanisme:

- Overschrijding van de buigtreksterkte door golfklappen;
- Afschuiving in de bekleding door golfklappen;
- Bezwijken van de ondergrond door golfklappen.

#### 12.2.1 *Overschrijding van de buigtreksterkte door golfklappen*

Onder invloed van een golfklap zal een asfaltbekleding doorbuigen. Hierdoor ontstaan buigspanningen in de bekleding; trekspanningen aan de onderzijde en drukspanningen aan de bovenzijde. Als deze trekspanningen de sterkte van het materiaal overschrijden, zal de bekleding gaan scheuren: de bekleding bezwijkt. Over de volledige dikte van de bekleding doorgaande scheuren in het asfalt kunnen leiden tot uitspoelen van de ondergrond. De bekleding raakt ondermijnd en uiteindelijk faalt de bekleding volledig als er een grote plaat van de bekleding afscheurt.

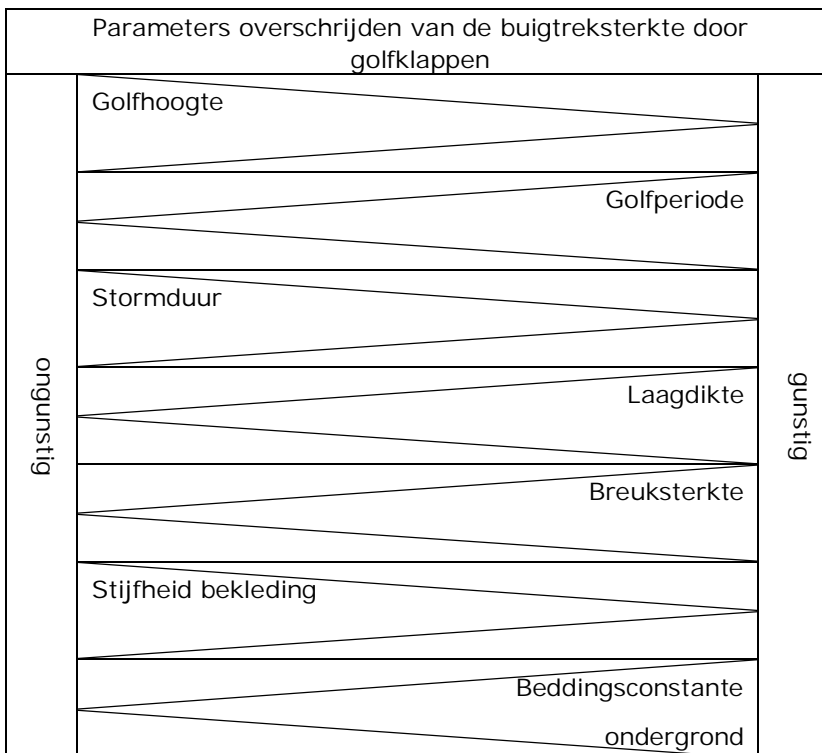
De bekleding kan bezwijken onder één extreme golfklap of door herhaalde golfbelasting tijdens een storm. Hierdoor is het nodig om zowel de breuksterkte van het materiaal bij één lastherhaling als ook de vermoeiingseigenschappen te kennen (zie §6.2.2). De sterkte van asfalt neemt af in de tijd. Daarom is het van belang om van oudere bekledingen regelmatig te controleren of de sterkte nog voldoende is om de maatgevende belastingen te weerstaan.



Figuur 12-1: Mechanisme overschrijden van de buigtreksterkte door golfklappen

*Parameters*

De belasting op de bekleding bestaat uit de golfhoogte, golfperiode en stormduur. De weerstand tegen golfklappen wordt bepaald door de laagdikte, breuksterkte en vermoeiingseigenschappen, stijfheid van de bekleding en beddingsconstante van de ondergrond. In Figuur 12-2 is de invloed van de relevante parameters op het bezwijkmechanisme weergegeven. Bijvoorbeeld: voor de significante golfhoogte  $H_s$  is een grote waarde ongunstig (dus de balk is dik aan de linkerkant) en is een kleine waarde gunstig (dus de balk is dun rechts in de afbeelding).



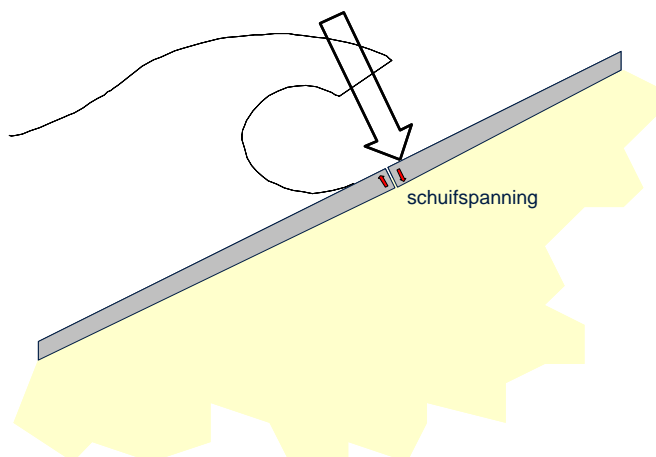
Figuur 12-2: Invloed van de parameters op het mechanisme golfklappen

- *Golfhoogte  $H_s$* . De significante golfhoogte bepaald de grootte van de drukstoot die op de bekleding wordt uitgeoefend. Hogere golven leiden tot grotere drukstoten.
- *Golfperiode  $T_m$* . Een kortere gemiddelde golfperiode leidt tot meer golfklappen tijdens een storm en is dus voor de vermoeiingslevensduur van het asfalt ongunstig.
- *Stormduur*. Een langere stormduur leidt tot meer golfklappen tijdens een storm en is dus voor de vermoeiingslevensduur van het asfalt ongunstig.
- *Laagdikte  $d$* . Een grotere laagdikte zorgt voor lagere buigspanningen in het asfalt en dus voor een grotere weerstand tegen golfklappen.
- *Breuksterkte  $\sigma_b$* . Een hogere breuksterkte betekent dat de maximaal toelaatbare spanningen in het asfalt hoger zijn en leidt dus tot een grotere weerstand tegen golfklappen.
- *Stijfheid*. Een hogere stijfheid van de bekleding zorgt voor hogere spanningen in het asfalt en leidt tot een kleinere weerstand tegen golfklappen. Overigens zijn de stijfheid en de sterkte van de bekleding sterk gecorreleerd en betekent een hogere stijfheid in het algemeen ook een hogere sterkte.
- *Beddingsconstante  $c$* . Een hogere beddingsconstante van de ondergrond zorgt voor een geringere doorbuiging van de asfaltbekleding en dus lagere spanningen in het asfalt.

De vermoeiingsparameter ( $\alpha_v$  en  $\beta_v$ ) zijn niet in de afbeelding opgenomen omdat de invloed van deze parameters elkaar beïnvloeden en afhankelijk zijn van het niveau van de optredende spanningen. Het is dus niet vooraf aan te geven of een hogere waarde voor  $\alpha_v$  en  $\beta_v$  leidt tot een hogere of een lagere weerstand tegen golfklappen.

### 12.2.2 Afschuiving in de asfaltbekleding

Als een (geconcentreerde) belasting op een asfaltbekleding wordt uitgeoefend, zullen direct naast de belasting schuifspanningen in de bekleding ontstaan ten gevolge van de optredende dwarskrachten. Deze schuifspanningen mogen de kritieke schuifsterkte van de bekleding niet overschrijden.



Figuur 12-3: Mechanisme afschuiving door golfklappen

Als een asfaltbekleding met een geringe laagdikte wordt aangelegd ( $d < 10$  cm), kan dit mechanisme optreden. In de Nederlandse praktijk is dit mechanisme nooit maatgevend vanwege het feit dat een bekleding altijd met een laagdikte van ten minste 15 cm wordt aangelegd. Hierdoor is het mechanisme van het overschrijden van de buigtreksterkte altijd maatgevend. Ook in het programma GOLFKLAP is een veiligheid ingebouwd om te

voorkomen dat ontwerpen met GOLFKLAP leidt tot laagdikten waarbij afschuiving zou kunnen optreden.

### 12.2.3 *Bezwijken van de ondergrond door golfklappen*

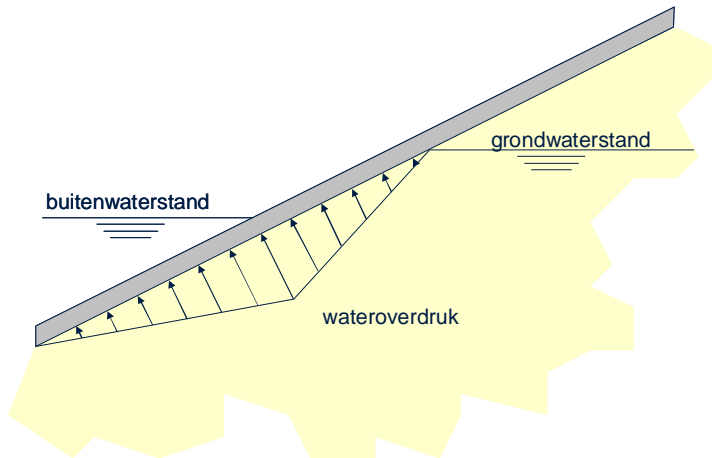
Bij zware golfaanval, dat wil zeggen een ontwerpwaarde voor de significante golfhoogte van 3 meter of meer, kunnen mechanismen optreden die kunnen leiden tot bezwijken van de ondergrond en daardoor ook de asfaltbekleding. Mechanismen die mogelijk kunnen optreden zijn:

- *Verweking van de ondergrond door golfaanval.* Verweking van de ondergrond ontstaat als een (plotselinge) belastingsverhoging op een verzadigde grond leidt tot een situatie waarbij het korrelskelet de optredende spanningen niet meer kan dragen, daardoor gaat vervormen en een dichtere pakking aanneemt. Hierdoor wordt de belasting volledig gedragen door het poriënwater en zullen er grote vervormingen in de ondergrond optreden die leiden tot het bezwijken van de constructie. Voorwaarde voor het ontstaan van verweking is dat de ondergrond met water is verzadigd. Daarnaast neemt de kans op verweking toe naarmate de verdichtingsgraad van het zand lager is en naarmate de golfbelasting hoger is.
- *Afschuiving van de bekleding.* Als de constructie bezwijkt door beweging in de langsrichting van het talud, wordt dit afschuiving van de bekleding genoemd. Afschuiving kan worden veroorzaakt door waterdruk onder de bekleding, golfaanval op de bekleding of een combinatie van beide. Als een bekleding is gedimensioneerd op wateroverdrukken volgens de geldige richtlijnen, zal afschuiven van de bekleding door waterdruk onder de bekleding alleen niet voorkomen.
- *Vorming van een S-profiel.* Door langdurige golfaanval in dezelfde zone kan er vervorming van de ondergrond optreden die leidt tot een S-profiel. Doordat de bekleding niet alleen inveert onder golfaanval maar ook enigszins opbolt hoger en lager op het talud, kan afstromend grondwater gronddeeltjes onder de bekleding verplaatsen. Als dit proces zich herhaald doorzet, kan een S-profiel ontstaan. Te grote vervorming in de ondergrond leidt tot bezwijken van de bekleding.
- *Bezwijken van de ondergrond.* Als de spanningen die een golfbelasting veroorzaakt te hoog zijn, kan dit leiden tot bezwijken van de ondergrond. Overschrijding van de kritieke schuifspanning leidt in dit geval 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.

### 12.3 *Bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken*

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

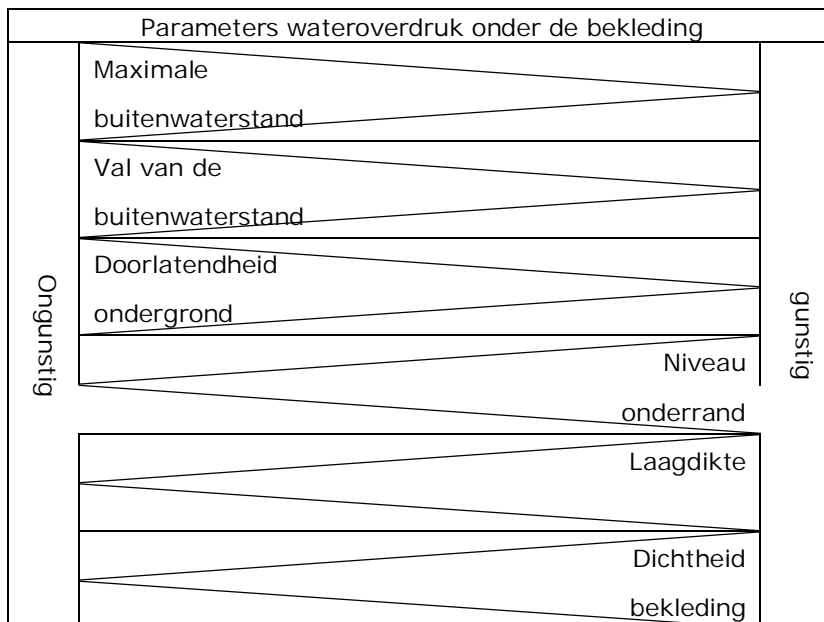
In de beschreven situatie mag de opwaartse druk van het water niet groter zijn dan de component loodrecht op het talud van het eigen gewicht van de bekleding per m<sup>2</sup>. Als de opwaartse druk wel groter wordt, zal de bekleding plaatselijk worden opgelicht. In de ruimte die tussen de bekleding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



Figuur 12-4: Mechanisme wateroverdruk onder de bekleding

*Parameters*

De belasting bestaat uit het verschil tussen de grondwaterstand en de buitenwaterstand. Dit verschil wordt beïnvloed door de maximale buitenwaterstand, de snelheid waarmee de buitenwaterstand daalt na optreden van het hoogwater en de doorlatendheid van de ondergrond. Ook de afstroommogelijkheden naar het achterland, de openheid van de teenconstructie en de ligging van de onderzijde van de gesloten bekleding beïnvloeden de maximaal optredende wateroverdruk onder de bekleding. De weerstand tegen de optredende wateroverdruk wordt geleverd door de laagdikte en de dichtheid van de bekleding. In Figuur 12-5 is de invloed van de relevante parameters op het mechanisme weergegeven.



Figuur 12-5: Invloed van de parameters op het mechanisme wateroverdrukken

- *Maximale buitenwaterstand MGW*. Een hogere maximale buitenwaterstand leidt tot een groter stijghoogteverschil waardoor het grondlichaam zich sneller zal vullen met water.

- *Val van de buitenwaterstand.* Een snellere val van de buitenwaterstand zorgt voor een groter verschil tussen de grondwaterstand en de buitenwaterstand en dus voor een hogere wateroverdruk onder de bekleding.
- *Doorlatendheid ondergrond  $K$ .* Bij een kortdurende maatgevende periode zoals een storm op zee leidt een lagere doorlatendheid van de ondergrond tot een geringere wateroverdruk onder de bekleding omdat de freatische lijn in het grondlichaam minder hoog zal komen. Bij een langerdurende maatgevende periode zoals een hoogwatergolf in het riviereengebied kan deze situatie anders zijn. Omdat hier nauwelijks tot geen gesloten bekledingen op zand voorkomen, wordt hier niet nader op ingegaan.
- *Niveau onderrand van gesloten bekleding.* Een laag niveau van de onderrand van de gesloten bekleding maakt dat de wateroverdruk bij een vallende buitenwaterstand hoog oploopt, gegeven een hoog opgelopen grondwaterstand.
- *Laagdikte  $d$ .* Een grotere laagdikte biedt een grotere weerstand tegen de optredende wateroverdruk.
- *Dichtheid bekleding  $\rho_a$ .* Een hogere dichtheid van de bekleding vergroot het gewicht van de bekleding en biedt dus een grotere weerstand tegen de optredende wateroverdruk.

#### 12.4 Materiaaltransport vanonder de bekleding

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

- Door veroudering verhardt de bitumen en wordt het scheurgevoeliger. Thermische spanningen door temperatuurverschillen kunnen leiden tot scheuren en openstaande naden in de bekleding. Een grotere laagdikte verkleint de kans op scheuren ten gevolge van thermische spanningen.
- De inwerking van vocht veroorzaakt degradatie van het asfalt. Dit verschijnsel wordt stripping genoemd. Dit reduceert de sterkte van het asfalt, waardoor het oppervlak kan worden aangetast en er scheuren kunnen optreden.
- Door bijzondere belastingen kunnen scheuren of gaten in de bekleding ontstaan. Voorbeelden hiervan zijn: scheepsaanvaringen, kruierend ijs en zwaar onderhoudsmaterieel.
- Ten gevolge van constructiefouten, door zetting van het dijklichaam of door grondmechanische instabiliteit kan een overgangs- of aansluitingsconstructie open gaan staan waardoor materiaaltransport mogelijk wordt.

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

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

De genoemde schades treden op tijdens de gebruiksfase. Dit betekent dat een beheerder doorgaans voldoende tijd heeft om optredende schade te herstellen. Falen van inspectie en falen van onderhoud zijn dus voorwaarden voor het optreden van dit faalmechanisme.

12.5 Erosie bekledingsoppervlak

Dit mechanisme kan relevant zijn voor open steenasfalt.

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

De sterkte van de asfaltmastiek, die de stenen bij dit asfalttype omhult en aan elkaar hecht, bepaalt de weerstand tegen erosie. Een grotere dikte van de omhulling verhoogt de weerstand tegen erosie. Daarnaast is het van belang dat er een combinatie van steen en bitumen wordt gekozen die een goede affiniteit met elkaar hebben om een goede hechting tussen steen en bitumen te realiseren. Zie ook §8.5.1.

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

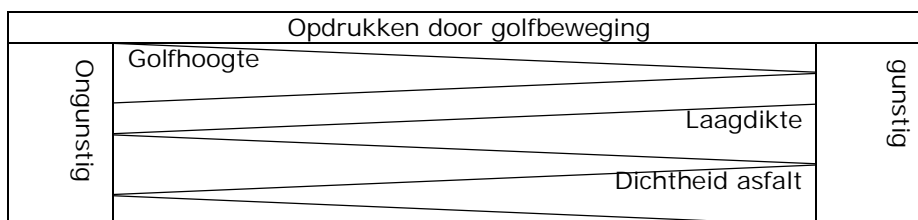
Erosie van open steenasfalt treedt bij bekledingen gelegen in de getijzone op tijdens de gebruiksfase. Dit betekent dat een beheerder in die gevallen doorgaans voldoende tijd heeft om optredende schade te herstellen. Falen van inspectie en falen van onderhoud zijn dus voorwaarden voor het falen van de bekleding ten gevolge van dit mechanisme.

12.6 Opdrukken door golfbeweging

Een ondoorlatende teenbescherming op een zandondergrond kan worden belast door drukverschillen ten gevolge van golfbeweging tussen de onder- en bovenzijde van de slab. De golfbewegingen veroorzaken grondwaterbewegingen en variaties in stijghoogte in de zandondergrond. Deze drukken variëren echter niet in fase met de golfbeweging waardoor er drukverschillen kunnen ontstaan.

*Parameters*

Het gewicht van de slab moet voldoende weerstand bieden om oplichten te voorkomen. Het mechanisme zal doorgaans alleen optreden als de golflengte groter is dan de lengte van de teenbescherming. In Figuur 12-6 is de invloed van de relevante parameters op het mechanisme weergegeven.



Figuur 12-6: Invloed van de parameters op het mechanisme opdrukken door golfbeweging

- *Golfhoogte  $H_s$* . Hogere golven leiden tot grotere drukverschillen en dus een hogere belasting.
- *Laagdikte  $d$* . Een grotere laagdikte vergroot het gewicht van de bekleding en verhoogt de weerstand tegen overdrukken.



- *Dichtheid asfalt*  $\rho_a$ . Een grotere dichtheid van het asfalt vergroot het gewicht van de bekleding en verhoogt de weerstand tegen opdrukken.

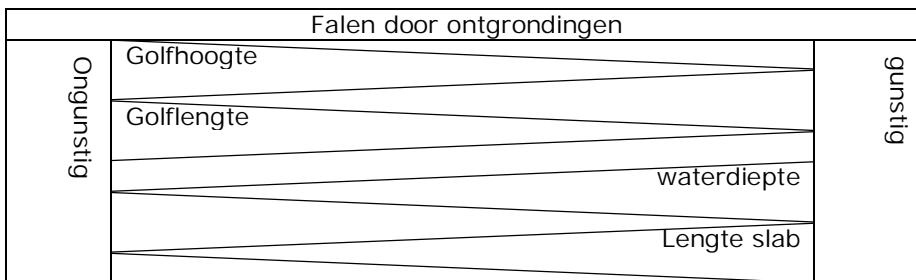
12.7

Falen ten gevolge van ontgronding van de vooroever

Een teenbescherming in de vorm van een asfaltslab wordt aangelegd om een waterkering te beschermen tegen ontgrondingen. Ontgrondingskuilen ontstaan geleidelijk ten gevolge van langsstroming of plotseling tijdens een zware storm door een combinatie van golfaanval en langsstroming. Door langsstroming wordt zand van de vooroever naar een andere locatie getransporteerd. Een teenbescherming moet zo zijn aangelegd dat de rand van de slab tot de bodem van de ontgrondingskuil reikt op het moment dat de ontgronding haar evenwichtsdiepte heeft bereikt. Scheuren van de slab moet worden voorkomen, omdat scheurvorming tot gevolg heeft dat de ontgronding zich ter plaatse van de scheur weer kan voortzetten. Daarom is het noodzakelijk dat de slab een grote flexibiliteit bezit. Een teenbescherming in asfalt wordt daarom meestal van asfaltmastiek gemaakt. Een teenbescherming van open steenasfalt komt ook wel voor.

*Parameters*

De lengte van de slab moet groot genoeg zijn om de ontgronding te stabiliseren voordat deze de teen van de dijk heeft bereikt. De mate van ontgronding is afhankelijk van de golfhoogte, de golflengte en de waterdiepte. In Figuur 12-7 is de invloed van de relevante parameters op het mechanisme weergegeven.



Figuur 12-7: Invloed van de parameters op het mechanisme ontgrondingen

- *Golfhoogte*  $H_s$ . Hogere golven leiden tot meer turbulentie en erosie
- *Golflengte*  $L$ . Een grotere golflengte kan leiden tot een grotere zone waarbinnen erosie van de vooroever plaatsvindt, afhankelijk van de overige omstandigheden.
- *Waterdiepte*  $h$ . Een geringere waterdiepte zorgt voor lagere stroomsnelheden op de bodem en minder erosie.
- *Lengte slab*  $l_s$ . Een langere teenbescherming zorgt ervoor dat de evenwichtsdiepte van de ontgrondingskuil verder bij de teen van de dijk vandaan wordt bereikt.

## 13 Toepassingen van asfalt bij waterkeringen

### 13.1 Algemeen

In Nederland is asfalt op grote schaal toegepast als taludbekleding op zeedijken en dammen tijdens het uitvoeren van de Deltawerken. Daarnaast is asfalt op minder grote schaal in andere constructies of constructieonderdelen verwerkt. In deze Handreiking worden de volgende toepassingen behandeld:

- Dijkbekleding;
- Teenbescherming;
- Duinvoetverdediging;
- Vooroeververdediging;
- Filterconstructie.

Deze toepassingen worden in de onderstaande paragrafen nader beschreven.

Voor asfalt zijn meer waterbouwkundige toepassingen denkbaar die echter buiten het kader van deze Handreiking vallen. De volgende toepassingen worden buiten beschouwing gelaten:

- Waterbouwkundige toepassingen die geen directe relatie hebben met waterkeringen. Voorbeelden hiervan zijn een bodembescherming ter plaatse van een kunstwerk, zoals een spuisluis of gemaal, een tunnelbescherming en een waterafsluitende bekleding van een drinkwaterreservoir.
- Mogelijke bijzondere toepassingen bij waterkeringen waar weinig ervaring mee is opgedaan. Een waterafsluitend kwelscherm in de kern of de teen van een dijk is hiervan een voorbeeld.

### 13.2 Dijkbekleding

Dijkbekledingen worden aangebracht om het onderliggende kernmateriaal te beschermen tegen erosie. Harde dijkbekledingen zoals asfalt worden voornamelijk op het buitentalud aangelegd om bescherming te bieden tegen golfbelastingen en stroming. Als er veel golfoverslag over de kruin van de dijk plaatsvindt, kan ook op het binnentalud een harde bekleding worden aangelegd om erosie te voorkomen. Om als dijkbekleding te worden toegepast moet het dijkbekledingsmateriaal sterk genoeg zijn om de hydraulische belastingen te weerstaan en flexibel genoeg om zettingsverschillen in de bekleding te overbruggen. Daarnaast moet de stabiliteit van het materiaal voldoende zijn op de bij waterkeringen gebruikelijke taludhellingen. Waterbouwasfaltbeton, met gietasfalt gepenetreerde breuksteen en open steenasfalt voldoen aan deze criteria en zijn geschikt om als dijkbekleding toe te passen.

Op zeedijken is waterbouwasfaltbeton de meest toegepaste asfaltsoort. In mindere mate komen ook met gietasfalt gepenetreerde breuksteen en open steenasfalt voor als dijkbekleding. Gepenetreerde breuksteen en waterbouwasfaltbeton worden vooral toegepast vanwege de hoge sterkte en levensduur. Hierdoor zijn beide asfaltsoorten zeer geschikt als taludbekleding op dijken met een zware golfaanval. Vanwege de lage aanlegkosten zijn in het bijzonder waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt goed toepasbare bekledingen bij dijken met een minder zware golfaanval. Vanwege de plaatwerking is de benodigde laagdikte van asfaltbekledingen meestal aanzienlijk geringer dan van elementenbekledingen.

Open steenasfalt is ook goed begroeibaar. Als breuksteen zodanig wordt gepenetreerd met gietasfalt dat er holten in de bekleding aanwezig blijven en dat het oppervlak van de bekleding zoveel mogelijk vrij van gietasfalt blijft, biedt ook deze bekleding in de tijzone mogelijkheden voor vestiging van flora en fauna. Waterbouwasfaltbeton biedt door de gesloten structuur en het gladde oppervlak geen mogelijkheden voor ontwikkeling van flora en fauna. Als open steenasfalt op

rivierdijken en binnenwateren wordt aangelegd is dit doorgaans vanwege de begroeiingsmogelijkheden. Figuur 13-1 geeft een voorbeeld van een zeedijk met een bekleding van waterbouwasfaltbeton.



Figuur 13-1: Zeedijk met een bekleding van waterbouwasfaltbeton - Ouwerkerk – 1996 (foto Oranjewoud)

### 13.3

#### Teenbescherming

Een teenbescherming wordt aangebracht op de vooroever van de waterkering en sluit aan op de teenconstructie. De teenbescherming dient om erosie van de vooroever in de buurt van de teen te voorkomen of zodanig te beperken dat de standzekerheid van de teenconstructie niet in gevaar komt.



Figuur 13-2: Teenbescherming van gietasfalt - Veersedam - 1991 (foto Oranjewoud)

Ontgroning van de vooroever ontstaat door langsstroming, golfaanval of een combinatie van beide. Het is vaak een tamelijk snel verlopend proces. Het toegepaste materiaal moet in staat zijn om de ontstane ontgrondingskuil te volgen. Hiervoor moet de vervormingscapaciteit van het materiaal groot zijn. Daarnaast is het vaak noodzakelijk dat het materiaal onder water kan worden aangebracht. Asfaltmastiek of gietasfalt en open steenasfalt voldoen aan de bovengenoemde criteria en zijn beide vaak toegepast als materiaal voor een teenbescherming. Asfaltmastiek en gietasfalt hebben een zeer hoge vervormingscapaciteit. Daarnaast kan asfaltmastiek in situ onder water worden aangebracht. Een voorwaarde bij het toepassen van asfaltmastiek en gietasfalt is dat de helling van de vooroever niet te steil is. Door het hoge percentage bitumen zal het materiaal bij steile taluds langzaam als een vloeistof naar beneden lopen. Hoewel de vervormingscapaciteit van open steenasfalt minder is dan die van asfaltmastiek en gietasfalt, is deze doorgaans voldoende groot. Een teenbescherming van open

steenafalt wordt, als deze onder water moet worden aangelegd, als mat geprefabriceerd en vervolgens met een kraan op de gewenste plaats gelegd. Op deze wijze kan het open steenafalt ook op steile onderwatertaluds worden aangelegd. Open steenafalt is door de open structuur van het materiaal een goede vestigingsplaats voor flora en fauna. Afaltmastiek en gietafalt resulteren in een dichte bekleding met een glad oppervlak en bieden geen mogelijkheden voor de ontwikkeling van flora en fauna. In Figuur 13-2 is een voorbeeld van een teenbescherming van gietafalt gegeven.

#### 13.4

##### Duinvoetverdediging

Duinvoetverdedigingen zijn aangelegd met als doel de achterliggende duinen te beschermen tegen erosie door golfaanval. Met een duinvoetverdediging wordt beoogd duinafslag te reduceren of te voorkomen. Duinvoetverdedigingen worden aangelegd omdat de aanwezige duinen zelf onvoldoende veiligheid bieden of omdat het toelaten van een dynamisch kustgedrag teveel onzekerheden geeft voor nabijgelegen bebouwing of recreatiegebieden. Normaal gesproken worden duinvoetverdedigingen alleen belast bij zware stormvloed en niet bij dagelijkse omstandigheden.

Een bijzondere vorm van een duinvoetverdediging is een verborgen kering; deze wordt achter de eerste duinregel aangelegd. Bij een zware stormvloed zal eerst de voorgelegen duinenrij worden weggeslagen waardoor de kering pas in een later stadium wordt belast. Omdat de functie van een duinvoetverdediging gelijk is aan die van een dijkbekleding (namelijk het grondlichaam beschermen tegen erosie) worden aan het materiaal dezelfde eisen gesteld. Het materiaal moet dus voldoende sterk zijn om de optredende hydraulische belastingen te weerstaan en voldoende flexibel om de optredende zettingen in de ondergrond te volgen. Als bekledingsmateriaal voor een duinvoetverdediging zijn waterbouwasfaltbeton en gepenetreerde breuksteen toegepast.



Figuur 13-3: Duinvoetverdediging op Eijerland - Texel - 1998 (foto Oranjewoud)

Als de golfaanval niet te zwaar is, is open steenafalt ook geschikt als bekledingsmateriaal voor een duinvoetverdediging. Als de duinvoetverdediging verborgen is onder het zand hebben waterbouwasfaltbeton en "vol en zat" gepenetreerde breuksteen de voorkeur als materiaal. Deze afaltsoorten zijn dicht en de sterkte wordt hierdoor slechts in geringe mate beïnvloed door de werking van vocht. Een kwalitatief goede en dichte bekleding is in dit geval extra belangrijk omdat het inspecteren van de bekleding niet mogelijk is zonder het zand te verwijderen. Dit betekent in de praktijk dat de bekledingen niet of nauwelijks zullen worden geïnspecteerd. Een bekleding van waterbouwasfaltbeton kan extra worden beschermd tegen de werking van vocht door deze te voorzien van een

oppervlakbehandeling. In Figuur 13-3 is een voorbeeld gegeven van een duinvoetverdediging.

Het is mogelijk dat duinvoetverdedigingen geheel of gedeeltelijk ondersteunen waardoor er begroeiingsmogelijkheden ontstaan. Dit kan worden bevorderd door het aanbrengen van een zandsuppletie. In de Leidraad Zandige Kust [46] en het bijbehorende basisrapport [47] wordt uitgebreid ingegaan op het toepassen van een duinvoetverdediging als kustverdedigingsmaatregel.

### 13.5 Vooroeververdediging

Vooroeververdedigingen zijn verdedigingsconstructies die zijn aangebracht op enige afstand van de vaste oever of kustlijn. Toepassing is zowel mogelijk bij oevers van meren en rivieren als aan de kust. In Nederland is vooral ervaring opgedaan met de eerste variant.

In deze handreiking wordt met een vooroeververdediging geen beschermingsconstructie van een hooggelegen voorland voor de waterkering bedoeld.

Bij *meren en rivieren* kan een vooroeververdediging worden toegepast om sterke erosie van de oever tegen te gaan. Voor het aanleggen van een vooroeververdediging is de aanwezigheid van een ondiepe vooroever noodzakelijk. De vooroeververdediging kan zowel onder als boven water worden aangelegd. In het laatste geval is het noodzakelijk openingen in de vooroeververdediging te creëren om verversing van water mogelijk te maken. Als bijkomend voordeel zorgen deze openingen ervoor dat de luwte achter de verdediging gebruikt kan worden als leefgebied voor vissen en amfibieën. Ook waterplanten kunnen zich in deze luwte (verder) ontwikkelen [26]. Omdat vooroeververdedigingen bij meren en rivieren meestal worden aangelegd om natuurontwikkeling te bevorderen, is het noodzakelijk dat de toegepaste oeverbeschermingsmaterialen een open structuur hebben. Daarnaast moeten de materialen in veel gevallen onder water kunnen worden aangebracht. Open steenasfalt en gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen zijn in principe geschikte asfaltsoorten.

Bij aanleg van een vooroeververdediging aan de kust kunnen twee hoofdvormen worden onderscheiden:

- Een in de langsrichting doorgaande dam die onder het laagwaterniveau ligt;
- Een in de langsrichting onderbroken dam die zowel boven als onder het laagwaterniveau kan liggen.

Het toegepaste materiaal moet voldoende sterk zijn om de optredende hydraulische belastingen te weerstaan. Daarnaast moeten de materialen in veel gevallen onder water kunnen worden aangebracht.

Er zijn verschillende manieren waarop asfalt gebruikt kan worden bij de aanleg van een vooroeververdediging:

- Bij een breuksteendam wordt gietasfalt gebruikt om de stenen vast te leggen, in het bijzonder wanneer de dam zwaar belast wordt door golven en stroming. Voorbeelden hiervan zijn de kop van een onderbroken dam of de in- en uitstroomopeningen in een dergelijke dam. In Figuur 13-4 is hiervan een voorbeeld gegeven;
- Een zanddam kan worden bekleed met open steenasfaltmatten of met gietasfalt gepenetreerde breuksteen;
- Een dam van zandasfalt, al dan niet bekleed.

In Figuur 13-4 en Figuur 13-5 zijn voorbeelden van een in asfalt (open steenasfalt en met gietasfalt vastgelegde breuksteen) aangelegde vooroeververdediging



opgenomen. Figuur 13-4 laat een vooroeververdediging zien direct na aanleg en Figuur 13-5 toont een vooroeververdediging zoals deze er na enige tijd uitziet.



Figuur 13-4: Vooroeververdediging direct na aanleg - Zeekanaal Brussel-Schelde in België (foto Bitumarin)



Figuur 13-5: Begroeide vooroeververdediging - Zeekanaal Brussel-Schelde in België (foto Bitumarin)

### 13.6

#### Filterconstructie

In dijkbekledingen wordt onder een open toplaag, bijvoorbeeld open steenasfalt of gezette steenbekledingen, vaak gebruikgemaakt van filterconstructies. De belangrijkste functies van de filters die gebruikt worden in de waterbouw zijn:

- Het tegengaan van erosie (filterfunctie), en;
  - Het mogelijk maken van afvoer van overtollig (grond)water (drainagefunctie).
- Bij gebruik van filters in dijkbekledingen speelt vooral de eerste functie een grote rol.

#### Filterfunctie

Erosie van het basismateriaal treedt op onder de volgende condities:

- De korrels van het basismateriaal moeten door de openingen van het filtermateriaal heen kunnen;
- Er moet een voldoende grote belasting op de korrels werken, zodat ze in beweging komen.

Als één van beide condities niet optreedt, zal geen erosie van het basismateriaal plaatsvinden.

### Drainagefunctie

Met het toepassen van filters ten behoeve van de drainage worden twee doelen beoogd:

- Het tegengaan van een te hoge waterdruk onder de toplaag;
- Het zorgen voor voldoende afwatering van het grondpakket.

Dit kan gerealiseerd worden door de juiste doorlatendheid van het filter te kiezen [14].

Zandasfalt wordt veel toegepast als filter onder open steenasfalt en incidenteel onder gezette steenbekledingen. De open structuur van het zand blijft behouden; zandasfalt heeft een doorlatendheid die vergelijkbaar is met het zand in het mengsel.

Ten opzichte van een granulair filter heeft zandasfalt de volgende voordelen:

- Na het bezwijken van de toplaag blijft een filterlaag aanwezig met enige reststerkte;
- Doordat de doorlatendheid van zandasfalt geringer is dan de doorlatendheid van granulaire filters is de maximale belasting op de toplaag (door de waterdruk onder de bekleding) geringer.

De hogere kosten per m<sup>3</sup> van zandasfalt ten opzichte van een granulair filter worden grotendeels gecompenseerd doordat zandasfalt nauwkeurig in dunne lagen kan worden aangelegd. In Figuur 13-6 is een voorbeeld gegeven van een filter van zandasfalt.



Figuur 13-6: Filter van zandasfalt waarop open steenasfalt wordt aangebracht – Hartelkanaal (foto Bitumarin)



## Literatuur

- [1] *Bitumen in hydraulic engineering, a book of reference, volume 1*, Baron W.F. van Asbeck. Shell, London, 1959.
- [2] *Ecologisch advies voor de toepassing van asfaltconstructies in de getijdzone, gerelateerd aan dijkbekledingen van natuursteen en beton*. A.M. van Berchum, A.J.M. Meijer. Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/AB/2000.814x, Middelburg, 2000.
- [3] *Bouwstoffenbesluit Bodem- en Oppervlaktewaterbescherming*. Ministerie van VROM, Staatsblad 567, 1995.
- [4] *Uitlooggedrag van (waterbouw-)asfalt, een literatuuronderzoek*. M.H.M. Coppens. Netherlands Pavement Consultants i.o.v. Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, W-DWW-96-084, Delft, september 1996.
- [5] *Catalogus Reparatietechnieken in de asfaltwegbouw*. CROW-publicatie 36, CROW, Ede, 1990.
- [6] *Deflectieprofiel geen valkuil meer*. CROW-publicatie 92, CROW, Ede, augustus 1995.
- [7] *Modelkwaliteitsplan voor de GWW*. CROWpublicatie 117, CROW, Ede, juli 1997.
- [8] *Dichtheid steenfunderingen nucleair meten*. CROWpublicatie 128, CROW, Ede, 1998.136, CROW, Ede, 1999.
- [9] *Standaard RAW Bepalingen*. CROW, Ede, januari 2011.
- [10] *Nationale beoordelingsrichtlijn voor het NL BSB productcertificaat voor bitumineus gebonden mengsels*. BRL 9320, VBW asfalt, april 2009.
- [11] *Technisch Rapport Steenzettingen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, In 3 delen: Ontwerp, Toetsing en Achtergronden, (ISBN 90-369-5551-3), RWS-DWW-2003-097, december 2003
- [12] *Toepassing van alternatieve materialen in de waterbouw, literatuurstudie*. CUR-rapport 89-1, CUR, Gouda, 1989.
- [13] *Construeren met grond, Grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond*. CUR-rapport 162, CUR, Gouda, november 1992.
- [14] *Filters in de waterbouw*. CUR-rapport 161, CUR, Gouda, juni 1993.
- [15] *Geotextielen in de waterbouw*. CUR-rapport 174, CUR, Gouda, 1995.
- [16] *Toepassing van asfalt bij binnenwateren*. CUR-rapport 179, CUR, Gouda, oktober 1995.
- [17] *Kansen in de civiele techniek, deel 1: probabilistisch ontwerpen in theorie*. CUR-rapport 190, CUR, Gouda, 1997.
- [18] *Bepaling van de vloeistofdichtheid van bitumineuze materialen*. Aanbeveling 52, CUR, Gouda, 1998.
- [19] *Breuksteen in de praktijk, deel 1: productie, verwerking en kwaliteitszorg*. CUR-rapport 192, CUR, Gouda, 1998.
- [20] *Handleiding Wegenbouw Ontwerp Verhardingen*. Rijkswaterstaat dienst weg- en waterbouwkunde, 500-11-87/BB, november 1987.
- [21] *Ontwerpinstrumentarium asfaltverhardingen (OIA)*. CROW, CROW-rapport D11-05, januari 2012.
- [22] *Reinforcement of pavements with steel meshes and geosynthetics, Work Package 4: Selection of Design Models and Design Procedures*. A.H. De Bondt. COST ACTION 348, januari 2006.
- [23] *Asfaltwapening zin of onzin?* Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek, Ede, februari 1993.

- [24] *Carbon en glasvezels gaan scheurgroei in asfalt tegen*. P.C. Hopman, M. van Beek. Land + Water 8-2006 pag. 26-27, augustus 2006.
- [25] *Toepassing van asfaltwapeningen en scheurremmende lagen*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Wegen en Verkeer, wettelijk depotnummer D/1999/3241/190, 1999
- [26] *Natuurvriendelijke oevers* (6 delen). CUR-rapporten 200 t/m 205. CUR, Gouda, 1999.
- [27] *Begroeiing van open steenasfalt (fixtone), als oever- en dijkbekleding*. L. Fliervoet. Landbouwuniversiteit Wageningen, adviesgroep Vegetatie-beheer, Wageningen, 1991.
- [28] *Samenvatting onderzoek naar een diagnosesysteem voor asfaltbekleding, onderzoek 1984-1988*. G. Greeuw. Rapport CO-30170/7, Grondmechanica Delft, Delft, februari 1989.
- [29] *Scour Manual*. G.J.C.M. Hoffmans, H.J. Verheij. Balkema, Rotterdam, 1997.
- [30] *Epidemiological study of cancer mortality among European asphalt workers*. International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, June 2001.
- [31] *Recent developments in asphalt techniques for hydraulic applications in the Netherlands*. R.E., Kerkhoven. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, volume 34, Pennsylvania, 1965.
- [32] *Dimensioneren van een gesloten dijkbekleding op wateroverdrukken*. A.K. de Looff. Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, mei 1996.
- [33] *Steenasfalt dijkbekledingen*. Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, 15 juli 1996.
- [34] *Dimensioneren op wateroverdrukken, presentatie en interpretatie resultaten grondwaterstromingsberekeningen*. A.K. de Looff. Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, januari 1999.
- [35] *Jaarlijkse brochure over activiteiten, certificatie en erkende vulstofmerken*. Nederlandse vereniging van fabrikanten en importeurs van vulstof voor bitumineuze werken, (Nevul), Heemstede, 2010.
- [36] *Duurzaam bouwen bij Rijkswaterstaat*. Rijkswaterstaat, juni 1997.
- [37] *Notitie over de effecten van Schone koppen op wierbegroeiingen*. R. Jentink. Rijkswaterstaat Meetinformatiedienst Zeeland, 2005.
- [38] *Shell Pavement Design Manual*. Shell International Petroleum Company Ltd., London, 1978. Research BV, Amsterdam, 1990.
- [39] *The Shell Bitumen Hydraulic Engineering Handbook*. Shell International Petroleum Company Ltd., London, 1999.
- [40] *Shore Protection Manual*. 4th edition, US Army corps of engineers, Coastal engineering research center, US Government printing office, Washington DC, 1984.
- [41] *Begroeiing van asfaltbekledingen*. J.T.C.M. Sprangers, J.Y. Frissel. Landbouwuniversiteit Wageningen, Wageningen, november 1997.
- [42] *Staatsblad 1997 469, houdende regels in zake kwaliteit van de bodem (besluit bodemkwaliteit)*. STB 11333, ISSN 0920- 2064.
- [43] *Multifunctioneel ontwerp van asfaltbekledingen voor waterkeringen*. R. Stuurman. Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, juli 1997.
- [44] *Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen/Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1984.
- [45] *Overgangsconstructies in dijkbekledingen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, 1992.
- [46] *Leidraad Zandige Kust*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, juli 1995.

- [47] *Basisrapport Zandige Kust (behorende bij de Leidraad Zandige Kust)*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, juli 1995.
- [48] *Technisch Rapport Klei voor Dijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, mei 1996.
- [49] *Grondslagen voor Waterkeren*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Uitgeverij A.A. Balkema, Rotterdam, januari 1998.
- [50] *Technisch Rapport Golfloop en Golfoverslag bij Dijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, juli 1998.
- [51] *Leidraad Zee- en Meerdijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, december 1999.
- [52] *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Den Haag, juni 2001.
- [53] *Wapening van asfaltbekledingen*. A. Versluis. Netherlands Pavement Consultants, Utrecht, augustus 1998.
- [54] *Asfalt Onderhoudstechnieken*. VBW-uitgave nr. 14, Breukelen, 1997.
- [55] *Asfalt in de Wegen en Waterbouw*. CROW, Ede, augustus 2010.
- [56] *Downstream slope protection with open stone asphalt*. A. Bieberstein, N. Leguit, J. Queisser, R. Smith. British dam society 13th Biennial Conference, 22-26 June 2004, University of Kent, Canterbury, UK.
- [57] *Überströmbare Dämme und Dammscharten*. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, ISSN 1436-7882 (Bd.90, 2004), Karlsruhe, 2004.
- [58] *Doorbraakvrije dijken, Opzet doorbraakvrije zeedijken en voorlopige conclusies sterkte binnentaluds bij golfoverslag*. J.W. van der Meer. Van der Meer consulting, projectnummer vdm08302, versie 3.1, Heerenveen, 21 mei 2008.
- [59] *Onderzoek dijkvegetatie (in opdracht van het waterschap Tholen)*. L.A. Willemse. Landbouwniversiteit Wageningen, Wageningen, september 1991.
- [60] *Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, november 2002.
- [61] *Waterwet* [http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/geldigheidsdatum\\_01-10-2013](http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/geldigheidsdatum_01-10-2013).
- [62] *Slijtage Onderzoek Steenasfalt*. M.L.P. van Campen. RWS-Deltadienst afdeling ONW, Rapport ONW-R-76015, Burghsluis, december 1976.
- [63] *Richtlijn Functionele eisen wegfunderingen*. CROW-publicatie 205, Ede, november 2004.
- [64] *Criteria voor de toepassing van bekledingen op waterkeringen, hulpmiddel voor ontwikkeling van innovatieve dijkbekledingen*. Witteveen+Bos, concept februari 2010.
- [65] *Bestekbepalingen open steenasfalt prestatiebestek*. M.F.C. Van de Ven, C.C. Montauban, N. Leguit. TU-Delft, Delft, mei 2009.
- [66] *Werkwijzebeschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde toetsing op golfklappen op een bekleding van waterbouwasfaltbeton*. Rijkswaterstaat Waterdienst, Lelystad, april 2009.
- [67] *Bitumineuze mengsels - Materiaalspecificaties - Deel 1: Asfaltbeton*. NEN-EN 13108, juni 2006.
- [68] *Handleiding ontwerpen dijkbekledingen inclusief bijlagen en achtergrondrapport, documentversie 11*. Projectbureau Zeeweringen, Middelburg, 19 december 2006.
- [69] *Coastal protection*. K.W. Pilarczyk. Balkema, Rotterdam, 1990.
- [70] *Ontwerp en uitvoering van bitumineuze oeverbeschermingen, cursus oeverbescherming 1976-1977*. A.J. Woestenenk. Stichting postdoctoraal onderwijs in de civiele techniek, Delft, 1977.

- [71] *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen*. (VTV2006) Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, september 2007, of recentere uitgaven voor recentere toetsrondes.
- [72] *Relatie tussen sterkte en stijfheid in de context van de inspectiemethode meerjarig onderzoek asfaltdijkbekledingen*. KOAC·NPC rapport e0700170-2, 4 februari 2008.
- [73] [www.inspectiewaterkeringen.nl](http://www.inspectiewaterkeringen.nl).
- [74] *Methodiekontwikkeling toetsing asfaltbekledingen (Texel)*. Netherlands pavement consultants, A. Versluis, A.K. de Looff. Netherlands Pavement Consultants, projectnummer 998205, Utrecht, december 1999.
- [75] *Onderzoek heterogeniteit asfaltdijkbekledingen*. KOAC·NPC, rapport e0902633, september 2009.
- [76] *Technische informatie uitvoering inspecties*. STOWA, 2012, rapport 14.
- [77] *Opstellen ontwerp- en toetsgrafieken*. KOAC·NPC, rapport e1000057-5, Nieuwegein, juli 2010.
- [78] *Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, september 2007.
- [79] *Proefvoorschrift driepuntsbuigonderzoek waterbouw-asfaltbeton*. KOAC·NPC, projectnummer 100057, Nieuwegein, augustus 2010.
- [80] *Breksteen in de praktijk, deel 2: dimensioneren van constructies in binnenwateren*. CUR rapport 192, Gouda, 1998.
- [81] *Report on ground-penetrating radar techniques for seawall asphalt pavement investigations*. E.C. Slob. TU Delft, oktober 2007.
- [82] *State of the art asfaltdijkbekledingen*. M.P. Davidse, R. 't Hart, A.K. de Looff, C.C. Montauban, F.C. van de Ven, B.G.H.M. Wichman. STOWA, rapportnummer 2010-W06, Amersfoort, 2010.
- [83] *The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering (2<sup>nd</sup> edition)*. Ciria, CUR, CETMEF, C683 CIRIA, London, 2007.
- [84] *Stability and transmission at low-crested structures*. J.W. van der Meer. Delft Hydraulics, Publication 453, Delft, 1991.
- [85] *Toetsen Grasbekledingen op Dijken*. J.W. van der Meer, H.J. Verheij, G.J.C.M. Hoffmans, M.P.C.P. Paulissen, G.J. Steendam, A. van Hoven. Deltares, Delft, mei 2012.
- [86] *Handreiking Dijkbekledingen, Deel 1: Algemeen*. RWS-WVL, Lelystad, januari 2015.
- [87] *Handreiking Dijkbekledingen, Deel 2: Steenzettingen*. RWS-WVL, Lelystad, januari 2015.
- [88] *Handreiking Dijkbekledingen, Deel 4: Breuksteenbekledingen*. RWS-WVL, Lelystad, januari 2015.
- [89] *Handreiking Dijkbekledingen, Deel 5: Grasbekledingen*. RWS-WVL, Lelystad, januari 2015.
- [90] *Documentatie Steentoets2014, Excel-programma voor het berekenen van de stabiliteit van steenzettingen*. M. Klein Breteler. Deltares Rapport 1208045-009, juli 2014.
- [91] *Handleiding reparatietechnieken in de asfaltwegbouw*. CROW, publicatie 55, Ede, 1991.
- [92] *Golfklap a model to determine the impact of waves on dike structures with an asphaltic concrete layer*. A.K. de Looff, R. 't Hart, C.C. Montauban, M.F.C. van de Ven. Proceeding ICCE 2006, San Diego, 2006.
- [93] *State of the art rapport open steenasfalt*. M.P. Davidse, J. Heesbeen, A.K. de Looff, C.C. Montauban. KOAC·NPC, Rapport e120122001, november 2014.

- [94] *Probabilistische benadering van golfklapschade aan de bekleding op de Waddenzeedijken Noord-Holland*. M. Hurman. TUD, rapport 7-05-133-3, Delft, oktober 2005.
- [95] *Calibration of Safety Factors for wave impact on Hydraulic Asphalt Concrete Revetments*. WTI Cluster C, W.J. Klerk, W. Kanning. Deltares, rapport 12009431-010-ZWS-0002, Delft, December 2014.
- [96] *Standaard asfaltconstructie voor bermen en havenplateaus op Waterkeringen*. M.F.C. van de Ven en C.C. Montauban. TUDelft, rapport - 7-11-133-11, Delft, oktober 2011.
- [97] *Use of asphalt in breakwater construction*. A.J. d'Angremond, e.a., Coastal engineering conference, Washington D.C., 1970.

## COLOFON

Opdrachtgever Informatie	Rijkswaterstaat WVL en Projectbureau Zeeweringen Helpdesk Water T 0800-NLWATER (0800-6592837) <a href="mailto:contact@helpdeskwater.nl">contact@helpdeskwater.nl</a> <a href="http://www.helpdeskwater.nl">www.helpdeskwater.nl</a>
Datum	Januari 2015