

Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren



Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren

november 2002



VOORWOORD	9
SAMENVATTING	11
SYMBOLENLIJST	13
LIJST MET GEBRUIKTE AFKORTINGEN	15
VERKLARENDE WOORDENLIJST	17
1 INLEIDING	25
1.1 ACHTERGROND	25
1.2 DOEL VAN HET TECHNISCH RAPPORT	25
1.3 PLAATS VAN HET TECHNISCH RAPPORT IN DE TAW-PUBLICATIES	26
1.4 ASFALTOEPASSINGEN IN DE WATERBOUW	27
1.5 ORGANISATIE	28
1.6 LEESWIJZER	29
2 ASFALT	31
2.1 KENNISMAKING	31
2.2 BOUWSTOFFEN	31
2.2.1 <i>Mineraal aggregaat</i>	31
2.2.2 <i>Bindmiddelen</i>	33
2.2.3 <i>Hulpstoffen</i>	34
2.3 MENGSELASPECTEN	34
2.3.1 <i>Algemeen</i>	34
2.3.2 <i>Holle ruimte in het mineraal aggregaat</i>	34
2.3.3 <i>Vulling van de holle ruimte</i>	35
2.3.4 <i>Holle ruimte in het mengsel</i>	36
2.4 EIGENSCHAPPEN	36
2.4.1 <i>Doorlatendheid</i>	36
2.4.2 <i>Mechanische eigenschappen</i>	37
2.4.3 <i>Duurzaamheid</i>	40
2.5 TESTMETHODEN	44
2.5.1 <i>Testen voor kwaliteitsbewaking</i>	45
2.5.2 <i>Testen voor mechanische eigenschappen</i>	45
2.5.3 <i>Testen om de verwerkbaarheid vast te stellen</i>	47
2.5.4 <i>Bijzondere testen</i>	49

2.6	MILIEU	49
2.7	MENGSELS.....	52
2.7.1	Algemeen	52
2.7.2	Asfaltbeton	53
2.7.3	Asfaltmastiek.....	54
2.7.4	Gietasfalt	54
2.7.5	Open steenasfalt	56
2.7.6	Zandasfalt	58
2.7.7	Overige mengsels.....	59
3	TOEPASSINGEN VAN ASFALT BIJ WATERKERINGEN	61
3.1	ALGEMEEN	61
3.2	DIJKBEKLEDING	61
3.3	TEENBESCHERMING	63
3.4	DUINVOETVERDEDIGING.....	64
3.5	VOOROEVERVERDEDIGING	65
3.6	FILTERCONSTRUCTIE	67
4	OPZET ONTWERPPROCEDURE	71
4.1	ALGEMEEN	71
4.2	RELATIE MET DUURZAAM BOUWEN	73
5	FUNCTIES VAN DE BEKLEDING	77
5.1	INLEIDING	77
5.2	WATERKEREN	77
5.2.1	Erosiebescherming.....	77
5.2.2	Waterafsluiting.....	78
5.3	VERKEER	78
5.4	LANDSCHAP EN ECOLOGIE.....	79
5.5	RECREATIE	79
5.6	INDELING IN ZONES	80
5.6.1	Rivierdijken	80
5.6.2	Meerdijken	82
5.6.3	Zeedijken	82
5.7	EERSTE SELECTIE.....	84

6	FUNCTIONELE EISEN	87
6.1	ALGEMEEN	87
6.2	WEERSTAND TEGEN HYDRAULISCHE BELASTINGEN	87
6.3	VOLGEN VAN ZETTINGEN EN ONTGRONDINGEN	89
6.4	WEERSTAND TEGEN BELASTINGEN DOOR IJS EN DRIJVENDE OBJECTEN	90
6.5	WATERDICHTHEID EN GRONDDICHTHEID	92
6.6	BEGAANBAARHEID	93
6.7	DRAAGVERMOGEN	95
6.8	AANZICHT/ESTHETICA	95
6.9	BEGROEIBAARHEID	96
6.9.1	<i>Constructiegebonden factoren</i>	97
6.9.2	<i>Locatiegebonden criteria</i>	99
6.9.3	<i>Maatregelen om de begroeibaarheid te bevorderen</i>	101
6.10	BESTENDIGHEID TEGEN VANDALISME	103
7	DIMENSIONERING	105
7.1	ONTWERPFILOSOFIE	105
7.2	ONTWERPASPECTEN CONSTRUCTIES	105
7.2.1	<i>Algemeen</i>	105
7.2.2	<i>Ontwerpaspecten taludbekleding</i>	107
7.2.3	<i>Ontwerpaspecten teenbescherming</i>	111
7.2.4	<i>Ontwerpaspecten vooroververdediging</i>	112
7.2.5	<i>Ontwerpaspecten filterconstructie</i>	114
7.3	DIMENSIONEREN OP WATEROVERDRUKKEN	116
7.3.1	<i>Algemeen</i>	116
7.3.2	<i>Doorlatendheid van de ondergrond</i>	117
7.3.3	<i>Bepaling van de maatgevende waterstanden</i>	117
7.3.4	<i>Bepaling van de benodigde laagdikte</i>	120
7.3.5	<i>Invloed van de teenconstructie</i>	123
7.4	DIMENSIONEREN OP GOLFKLAPPEN	124
7.4.1	<i>Inleiding</i>	124
7.4.2	<i>Plaatbekleding</i>	124
7.4.3	<i>Gedeeltelijk gepenetreerde breuksteenbekledingen</i>	128
7.5	DIMENSIONEREN OP STROMING	130
7.5.1	<i>Weerstand tegen stroming</i>	130
7.5.2	<i>Golfoploop</i>	132
7.6	DIMENSIONEREN OP OVERDRUKKEN DOOR GOLFBEWEGING	133
7.7	DIMENSIONEREN OP ONTGRONDINGEN	134

7.8	DIMENSIONEREN OP KRUIEND IJS.....	137
7.9	DIMENSIONEREN OP VERKEERSBELASTING.....	138
7.10	ONTWERP VAN AANSLUITINGS- EN OVERGANGSCONSTRUCTIES.....	139
7.10.1	Overgang op hetzelfde materiaal.....	140
7.10.2	Overgang op andere bekledingen.....	143
7.10.3	Aansluitingen op kunstwerken.....	148
7.10.4	Teenconstructies.....	149
7.11	WAPENEN VAN ASFALTBEKLEDINGEN.....	151
8	UITVOERING.....	155
8.1	INLEIDING.....	155
8.2	BESTEKKEN.....	155
8.3	HET DIJKLICHAAM.....	156
8.4	FILTERLAGEN.....	160
8.5	VOORONDERZOEK ASFALTMENGSELS.....	160
8.6	ASFALTBEREIDING.....	161
8.7	ASFALTTRANSPORT.....	164
8.8	ASFALTVERWERKING.....	166
8.8.1	Algemeen.....	166
8.8.2	Verwerking asfaltbeton.....	170
8.8.3	Verwerking asfaltmestiek en gietasfalt.....	178
8.8.4	Verwerking open steenasfalt.....	183
8.8.5	Verwerking zandafasfalt.....	187
8.9	UITVOERING OVERGANGSCONSTRUCTIES.....	190
8.10	AANBRENGEN OPPERVLAKBEHANDELING.....	191
8.11	AANBRENGEN VAN WAPENING.....	194
8.12	HERGEBRUIK ASFALT.....	195
8.13	KWALITEITZORG.....	196
8.13.1	Algemeen.....	196
8.13.2	Waterbouwasfalt.....	199
9	BEHEER EN ONDERHOUD.....	201
9.1	INLEIDING.....	201
9.2	TOETSEN OP VEILIGHEID.....	201
9.2.1	Principe van de veiligheidsbeoordeling.....	201
9.2.2	Eenvoudige beoordeling van de sterkte van de bovenlaag.....	203
9.2.3	Gedetailleerde beoordeling van de sterkte van de bovenlaag.....	206
9.2.4	Visuele inspectie.....	207

9.2.5	<i>Nadere beoordeling van de schade</i>	210
9.2.6	<i>Sterktebeoordeling van de onderlaag</i>	210
9.3	NIET-DESTRUCTIEF ONDERZOEK VAN DE ASFALTKWALITEIT	210
9.3.1	<i>Inleiding</i>	210
9.3.2	<i>Nucleaire dichtheidsmeter</i>	212
9.3.3	<i>Grondradar</i>	213
9.3.4	<i>Valgewicht-deflectiemeter</i>	214
9.3.5	<i>Toepasbaarheid niet-destructieve onderzoeksmethoden</i>	215
9.4	REPARATIEMETHODEN	216
9.4.1	<i>Inleiding</i>	216
9.4.2	<i>Aansluiting met de aanliggende constructie</i>	217
9.4.3	<i>Aard van het reparatiemiddel</i>	217
9.4.4	<i>Uitvoeringstechniek</i>	219
9.4.4.1	<i>Vullen van scheuren en naden</i>	219
9.4.4.2	<i>Vullen boorkerngaten</i>	221
9.4.4.3	<i>Uitvullen</i>	221
9.4.4.4	<i>Herprofileren</i>	224
9.4.4.5	<i>Herstellen van het filter</i>	225
9.4.4.6	<i>Overlagen</i>	225
9.4.4.7	<i>Reparatie overgangsconstructies</i>	226
	REFERENTIELIJST	227
	BIJLAGEN	237
Bijlage 1	ASFALTTECHNOLOGIE	239
Bijlage 2	ASFALTMENGSELS.....	275
Bijlage 3	TESTMETHODEN EN NORMEN	281
Bijlage 4	ACHTERGRONDEN BIJ DE REKENREGELS VOOR HET DIMENSIONEREN OP WATEROVERDRUKKEN.....	307
Bijlage 5	REKENVOORBEELDEN BIJ HET DIMENSIONEREN OP WATEROVERDRUKKEN.....	315
Bijlage 6	ACHTERGRONDEN BIJ DE GRAFIEKEN VOOR HET DIMENSIONEREN OP GOLFKLAPPEN.....	321
Bijlage 7	PATROONPENETRATIE VAN BREUKSTEENBEKLEDINGEN	331
Bijlage 8	STATISTISCHE VERWERKING VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN	337

In Nederland wordt asfalt al ruim 50 jaar op grote schaal in de waterbouw gebruikt, met name bij taludversteving van zeedijken. Ging het in het begin nog aarzelend, na de stormvloed van 1953 en de geboorte van het Deltaplan nam de toepassing een grote vlucht. Bij het herstel van de stormvloedschade was de onbeperkte beschikbaarheid van asfalt en de gemechaniseerde wijze van aanbrengen dé oplossing voor het tekort aan benodigde menskracht en materialen voor de traditionele wijze van dijkherstel. De gunstige ervaringen en de toegenomen kennis vormden de basis voor de grootschalige toepassing van asfalt bij het opsterkte brengen van de zeedijken volgens de Deltawet.

De verkregen ervaringskennis is in 2 basisdocumenten vastgelegd:

In 1961 verscheen het "Voorlopig Rapport 1961" van RWS, waarin ervaringen opgedaan bij het herstel van de stormvloedschade werd gebundeld en waarin een eerste aanzet werd gegeven voor het dimensioneren van plaatvormige asfaltbekledingen op golfklappen en wateroverdrukken.

In 1984 verscheen onder auspiciën van de TAW de "Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw" waarin de kennis en ervaringen opgedaan bij de Deltawerken was opgenomen. Daarbij werden op uitgebreide schaal dimensioneringsmethoden voor asfaltconstructies in beschouwing genomen, niet alleen voor belasting op golfklappen maar ook op stroming en wateroverdrukken.

In 1994 is door de TAW voorgesteld om de Leidraad te herzien door het uitbrengen van een eenvoudig handboek met een uitgebreid achtergrondrapport. Een enquête onder gebruikers en betrokkenen wees uit dat er vooral behoefte was aan een eenvoudig en handzaam boek waarin de actuele kennis voor ontwerpers en beheerders toegankelijk wordt gemaakt. Opmerkelijk daarbij was dat aspecten als dimensionering, uitvoering, beheer en veiligheidsbeoordeling beter scoorden dan onderwerpen als besteksvoorwaarden en risicoanalyse. Een uitgebreid technisch achtergrondrapport werd niet nodig geacht. Wel werd aanbevolen om aandacht te besteden aan multifunctionele gebruiksmogelijkheden van asfaltconstructies. Dit in het licht van de grotere maatschappelijke waardering van andere functies dan alleen de veiligheid.

In 1997 is met inachtneming van deze bevinding begonnen aan het realiseren van het voorstel van de TAW. Om publicatietechnische redenen wordt het niet als Handboek maar als Technisch Rapport van de TAW uitgebracht.

Bij het verschijnen van de leidraad *Toetsen op Veiligheid* (LTV) in 1999 is de noodzaak onderkend om separaat een speciaal rapport uit te brengen over

de wijze waarop asfaltbekledingen worden getoetst. Dit aspect heeft daardoor in dit Technisch Rapport beperkte aandacht gekregen. Wel wordt ruime aandacht geschonken aan reparatietechnieken.

In het rapport wordt de huidige kennis over alle relevante aspecten belicht met betrekking tot ontwerp, uitvoering en beheer van asfaltbekledingen. Naast de in de bijlagen opgenomen beschrijving van enkele technisch-wetenschappelijke achtergronden wordt tevens ingegaan op het multifunctionele gebruik en de milieukundige aspecten van asfaltconstructies in de waterbouw. Vermeende milieuproblemen van asfaltbekledingen hebben in de jaren '90 geleid tot een beperkte inzet van asfalt voor bekledingen.

De studie, waarvan de organisatie in handen was van de DWW, is uitgevoerd door Netherlands Pavement Consultants en begeleid door een breed samengestelde redactiecommissie. Het rapport is getoetst door een tiental onafhankelijke deskundigen en door een vanuit TAW-Techniek aangestelde mentor en op 9 november 2001 besproken in de TAW-werkgroep Techniek en is daarna afgerond.

De TAW acht het Technisch Rapport *Asfalt voor Waterkeren* een waardevol document en een handzaam compendium op het gebied van asfaltdijkbekledingen en verwacht dat het ruimschoots aan de behoefte van de gebruikers zal voldoen.

Den Haag, november 2002

ir. W. van der Kleij

voorzitter Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen

Deze publicatie beschrijft de huidige kennis op het gebied van asfalttoepassingen bij waterkeringen. Het boek is bedoeld voor beheerders en ontwerpers van waterkeringen.

Allereerst worden de eigenschappen van de verschillende asfaltmengsels behandeld. Hierbij is ervoor gekozen in de hoofdtekst niet uitgebreid in te gaan op asfalttechnologie, maar alleen die aspecten te behandelen die relevant zijn bij het beheer en ontwerp van een asfaltbekleding.

Bij de gepresenteerde ontwerpmethodes zijn alle mogelijke functies die een waterkering kan vervullen betrokken. Met deze methode kan bij het ontwerp derhalve al rekening worden gehouden met de functies die de waterkering vervult naast waterkeren, zoals bijvoorbeeld recreatie. Uit de functies die de bekleding vervult volgen functionele eisen. Op basis hiervan worden uiteindelijk de meest geschikte bekledingstypen geselecteerd.

Nadat bepaald is door welke mechanismen de bekleding wordt belast, kan de benodigde laagdikte worden bepaald met de gegeven ontwerpregels. Tenslotte wordt het ontwerp van aansluitings- en overgangsconstructies behandeld.

Bij de uitvoering zijn met name de verwerkingsmethodes van de verschillende asfaltmengsels relevant. Tevens wordt ingegaan op het uitvoeren van aansluitingen en overgangen en het afwerken van de bekleding.

Aangezien de meeste dijken reeds zijn versterkt, is het beheer en onderhoud van de bekleding een belangrijk onderwerp. Het toetsen op veiligheid komt ook aan de orde. Hierin wordt nagegaan of de bekleding zoals deze volgens het ontwerp is aangelegd in staat is om de optredende belastingen zoals golven en wateroverdrukken te weerstaan. Daarnaast is aangegeven hoe moet worden beoordeeld welke invloed schade aan de bekleding heeft op de veiligheid. Tenslotte worden aanbevelingen gedaan voor reparatiemethoden.

In de bijlagen is achtergrondinformatie opgenomen over onder andere asfalttechnologie en het ontwerpen van bekledingen.

a	de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand [m]
a_f	vermoeiingsparameter [-]
b	parameter die afhankelijk is van de interactie tussen golven en het bekledingstype [-]
c	beddingsconstante [MPa/m]
d	benodigde laagdikte [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_p	dichtheid proefstuk [kg/m ³]
D_m	dichtheid mengsel [kg/m ³]
D_{50}	zeefdiameter die door 50% van de steen wordt overschreden [m]
D_{n50}	nominale steendiameter van het bekledingsmateriaal met een massa gelijk aan de M_{50} [m]
D_{max}	grootste steendiameter in het aggregaat [m]
g	versnelling van de zwaartekracht [m/s ²]
h_t	waterdiepte ter plaatse van de teenconstructie [m]
h	waterdiepte [m]
H	golfhoogte [m]
H_m	maatgevend stijghoogteverschil [m]
H_s	significante golfhoogte [m]
i	verhang [m/m]
k	waterdoorlatendheid [m/s]
k_f	vermoeiingsparameter [MPa ⁻¹]
k^*	doorlatendheidsfactor [m/s]
K_D	stabiliteitsfactor [m]
l_s	lengte slab [m]
l_b	lengte van de bodembescherming in de golfrichting [m]
L	golflengte [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_{50}	massa van de steen die door 50% van de steen wordt overschreden [kg]
n	turbulentiecoëfficiënt [-]
N_f	aantal lastherhalingen bij bezwijken [-]
p(H)	kans van optreden golfhoogte H [-]
p(q)	kans van optreden stootfactor q [-]
P_{max}	maximale drukstoot [MPa]

Symbolenlijst

q	stootfactor [-]
q_α	stootfactor bij hellingshoek α [-]
Q_n	factor, afhankelijk van de taludhelling [-]
R_w	reductiefactor in verband met ligging buitenwaterstand [-]
S	stijfheidsmodulus asfalt [MPa]
t	(belastings)tijd [s]
T	temperatuur [°C]
T_g	gemiddelde golfperiode [s]
T_p	golfperiode bij de piek van het spectrum [s]
$T_{r\&k}$	verwekingspunt [°C]
v	stroomsnelheid of filtersnelheid [m/s]
v	de verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand [m]
y	de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot het beschouwde punt [m]
$Y_{m,e}$	evenwichtsdiepte ontgronding [m]
z	halve breedte driehoeksbelasting [m]
$z_{2\%, \text{glad}}$	verticaal gemeten golfploophoogte op een glad talud die door 2 procent van de golven wordt overschreden [m]
α	taludhelling [°]
γ_f	reductiefactor voor de golfploop in verband met de ruwheid van het talud [-]
Δ_m	relatieve dichtheid van het bekledingsmateriaal [-]
η	viscositeit [Pa.s]
ν	constante van Poisson [-]
ρ_a	dichtheid van de bekleding [kg/m ³]
ρ_s	dichtheid van de breuksteen [kg/m ³]
ρ_w	dichtheid van water [kg/m ³]
ξ_m	brekerparameter [-]
ξ_{op}	brekerparameter op basis van piekperiode van onregelmatige golven [-]
σ	optredende trekspanning [MPa]
σ_q	parameter kansdichtheid stootfactor [-]
σ_{max}	maximale buigspanning van het asfalt [MPa]
φ	hoek van inwendige wrijving van de ondergrond [°]
Φ_b	hoek van inwendige wrijving van de bekleding [°]
ψ_u	(empirische) upgradingfactor voor stabiliteit, afhankelijk van bekledingstype [-]
Φ_{sw}	stabiliteitsfactor voor breuksteen, afhankelijk van toelaatbare schade [-]

Lijst met gebruikte afkortingen

BRL	beoordelingsrichtlijn de Waterkeringen
BSB	Bouwstoffenbesluit Bodem- en oppervlaktewaterenbescherming
CROW	Kenniscentrum voor verkeer, vervoer en infrastructuur
CUR	Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving
DWW	Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat
GD	Grondmechanica Delft
GHW	gemiddelde hoogwaterstand (t.o.v. NAP)
GLW	gemiddelde laagwaterstand (t.o.v. NAP)
GWS	gemiddelde waterstand (m t.o.v. NAP)
HDPE	hoge dichtheid polyetheen
HR	holle ruimte (% v/v)
IARC	International Agency for Research on Cancer
ISO	International Organization for Standardization
LCA	levenscyclusanalyse
LGM	Laboratorium voor Grondmechanica (thans GD)
LNC	landschap, natuur en cultuurhistorie
LTV	Leidraad Toetsen op Veiligheid
MGWS	maatgevende grondwaterstand (t.o.v. NAP)
MHW	maatgevende hoogwaterstand (t.o.v. NAP)
NABIT	Nederlands Adviesbureau voor Bitumentoepassingen
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NEN	Nederlandse Norm
NEN-EN	Europese Norm
NEVUL	Nederlandse Vereniging van Fabrikanten en Importeurs van Vulstof voor Bitumineuze Werken
NPC	Netherlands Pavement Consultants
PAK	polycyclische aromatische koolwaterstoffen
PI	penetratie-index (-)
RAW	Rationalisatie en Automatisering Wegenbouw (thans CROW)
AMI	stress-absorbing membrane interlayer
TAW	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
VBW-Asfalt	Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt
VEAB	Vereniging van Emulsie Asfaltbeton
VNFB	Vereniging van Nederlandse Fabrikanten van Bitumenemulsies

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 dunvloeibaar mengsel van bitumen en een vluchtig oplosmiddel

asfaltmastiek

warm bereid asfalt met een continue 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

bitumengetal

de plasticiteit van een vulstof/watermengsel, uitgedrukt in een getal

bovenrivierengebied

een gebied waar de waterstand op de rivier alleen wordt bepaald door de rivierafvoer

daglas

een naad in een asfaltbekleding tussen twee dagproducties

dichtingslaag

een dunne laag vloeibitumen of bitumenemulsie die wordt aangebracht op een asfaltbetonbekleding en die bedoeld is om kleine scheurtjes en open textuur aan het oppervlak van de bekleding te dichten

dijkringgebied

een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij een hoge stormvloed, bij hoogwater van één van de grote rivieren, bij hoogwater van het IJsselmeer of het Markermeer, of een combinatie daarvan

duinvoetverdediging

een constructie die de achter- en hogergelegen duinen tijdens een stormvloed beschermt tegen afslag

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

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

golfoploop

de hoogte boven de waterstand tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt

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 Wet op de Waterkering

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

ontgroning

erosie van de vooroever ten gevolge van stroming en/of golfaanval

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 éénderde 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)

uitlogen

het proces waarbij water in een materiaal dringt en bepaalde stoffen oplost waardoor deze in de omgeving terecht komen

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 3902) en een aardoliedestillaat

volumieke massa van droge korrels

de massa per volume van het droge toeslagmateriaal met poriën

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

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 continue 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

zettingen

volumeverkleining van samendrukbare lagen in de ondergrond, hoofdzakelijk ten gevolge van een bovenbelasting, de eigen massa en/of het uittreden van water

1.1 Achtergrond

In 1984 verscheen de TAW-Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw [TAW, 1984]. Sinds die tijd is door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen veel onderzoek met betrekking tot waterbouwasfalt gedaan. Dit heeft nieuwe kennis en inzichten op allerlei gebied opgeleverd [TAW, 1985], [TAW, 1987], [TAW, 1989], [TAW, 1990].

Daarnaast is een groeiende aandacht ontstaan voor landschaps-, natuur- en cultuurhistorische waarden van dijken en de functies die een dijk kan vervullen naast die van waterkering. Dit leidt ertoe dat de ontwerper bij het constructieve ontwerp rekening moet houden met alle functies die de bekleding vervult. Voor het maken van een multifunctioneel ontwerp bood de oude leidraad geen handreiking.

Tenslotte is er sinds 1984 een verschuiving van aandacht waarneembaar van ontwerp naar beheer en onderhoud van bekledingen. Nagenoeg alle waterkeringen zijn in de afgelopen decennia volgens de in de Deltawet genoemde normen op voldoende hoogte en sterkte gebracht. Hiermee zijn de meeste grote werken uitgevoerd en is het accent komen te liggen op een goed beheer van de waterkeringen en de daarbij behorende onderhoudsmaatregelen.

De bovengenoemde ontwikkelingen hebben de inhoud van dit Technisch Rapport grotendeels bepaald.

1.2 Doel van het Technisch Rapport

In dit Technisch Rapport wordt beknopt en op praktische wijze de huidige kennis op het gebied van waterbouwkundige asfaltbekledingen gepresenteerd. Het rapport is vooral bedoeld voor ontwerpers en beheerders van waterkeringen. Dit rapport behandelt alleen de toepassing van asfalt bij waterkeringen. Andere waterbouwkundige toepassingsgebieden zoals kanalen en drinkwaterbekkens vallen buiten het kader van dit Technisch Rapport.

Toetsen op veiligheid komt aan bod. Daarnaast wordt de nodige aandacht besteed aan milieuhygiëne en multifunctioneel ontwerp. Met de gegeven ontwerpmethode kunnen verschillende asfaltbekledingen worden ontworpen die voldoen aan de gestelde functionele eisen. Vervolgens moet een keuze van het ontwerp worden gemaakt. Dit kan met behulp van het Keuzemodel Kust- en Oeverwerken zoals deze door Rijkswaterstaat is ontwikkeld [DWW, 2001].

De afwegingsmethodiek wordt niet in dit Technisch Rapport behandeld. De in dit rapport opgenomen ontwerpmethoden zijn primair opgesteld voor Nederlandse klimatologische omstandigheden.

1.3 Plaats van het Technisch Rapport in de TAW-publicaties

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) geeft een samenhangend geheel aan publicaties uit, waarin drie typen zijn te onderscheiden:

- 1 Integrale Leidraden. Deze geven algemene regels aan voor alle typen waterkeringen:
 - Grondslagen voor Waterkeren;
 - Leidraad Toetsen op Veiligheid.
- 2 Leidraden per type waterkering. Deze geven ieder een integraal beeld van een specifiek type waterkering:
 - Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies;
 - Leidraad Zee- en Meerdijken;
 - Leidraad Zandige Kust;
 - Leidraad Boezemkaden (nog niet uitgebracht);
 - Leidraad Rivierdijken (nog niet uitgebracht).
- 3 Technische rapporten waarin afzonderlijke aspecten worden behandeld:
 - Technisch Rapport Eisen Klei voor Dijken;
 - Technisch Rapport Geotechnische Classificatie van Veen;
 - Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag;
 - Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen;
 - Technisch Rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding;
 - Technisch Rapport Kistdammen;
 - Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies;
 - Technisch Rapport Steenbekledingen (nog niet uitgebracht);
 - Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren (het voorliggende rapport);
 - Hydraulische Randvoorwaarden voor Primaire Waterkeringen.

In Grondslagen voor Waterkeren [TAW, 1998-a] zijn de achtergronden en uitgangspunten van de veiligheidsproblematiek rond waterkeringen vastgelegd. Hierin wordt de relatie beschreven tussen de geldende wetten en beleidsnota's enerzijds en de TAW-Leidraden en publicaties anderzijds.

In de Wet op de Waterkering [Staatsblad, 1996] is vastgelegd aan welke eisen de primaire waterkeringen in Nederland moeten voldoen. Om de veiligheid blijvend te garanderen moeten de waterkeringen iedere vijf jaar worden getoetst aan de gestelde norm. Als praktisch handvat voor de toetsing is de Leidraad Toetsen op Veiligheid [TAW, 1999-a] opgesteld. In hoofdstuk 9 van dit Technisch Rapport wordt ingegaan op toetsen op veiligheid.

De leidraden per waterkeringstype geven de beheerders van waterkeringen instrumenten om hun beheertaak uit te voeren. Hierin worden methoden voor ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud gegeven. Deelaspecten zoals materialen en achtergronden zijn in aparte Technische Rapporten of basisrapporten opgenomen. Dit rapport is een Technisch Rapport waarin informatie is opgenomen over het toepassen van het materiaal asfalt. Voor meer algemene aspecten over ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud wordt verwezen naar met name de Leidraad Zee- en Meerdijken [TAW, 1999-b].

1.4 Asfalttoepassingen in de waterbouw

De meest gebruikte bekledingsmaterialen op waterkeringen in Nederland zijn gras op klei, gezette steenbekledingen, breuksteen en asfalt. Asfalt is een mengsel van bitumen en mineraal aggregaat (steen, zand en vulstof). Afhankelijk van de verhouding waarin deze worden toegepast, worden verschillende mengsels verkregen. Deze mengsels hebben elk hun specifieke eigenschappen en daardoor hun eigen toepassingen. In dit Technisch Rapport worden de volgende asfaltsoorten behandeld:

- asfaltbeton;
- asfaltmastiek;
- gietasfalt;
- open steenasfalt;
- zandasfalt.

Asfalt heeft een aantal kenmerkende eigenschappen die het geschikt maakt als bekledingsmateriaal:

- bij kortdurende belastingen zoals golfklappen reageert asfalt stijf en bij langdurige belastingen zoals zettingen reageert asfalt flexibel
- asfaltconstructies beperken de benodigde laagdikte van een bekleding door de plaatvormige samenhang en zijn tegelijkertijd in staat vervormingen in de onderliggende constructie te volgen

- asfaltconstructies zijn snel mechanisch aan te leggen
- asfaltconstructies hebben in de praktijk bewezen duurzaam te zijn en weinig onderhoud te vergen.

Asfalt is in Nederland in de waterbouw voor het eerst grootschalig toegepast rond 1935. Een gedeelte van het Julianakanaal is in die tijd bekleed met een dicht asfaltmengsel om wegstromen van het water uit het kanaal naar lager gelegen gebieden te voorkomen. In diezelfde tijd zijn in Zuid Holland aan de Noordzeekust op enkele strandhoofden de bekledingen van breuksteen en basalt vastgelegd met gietasfalt.

Na de stormvloedramp in 1953 is asfalt op grote schaal op de dijken langs de Nederlandse kust toegepast als taludbekleding. De Deltawerken hebben een stimulans gegeven voor een meer deskundige benadering. Asfalt werd met name toegepast omdat het onbeperkt en in constante kwaliteit leverbaar en snel mechanisch verwerkbaar is zodat hiermee grootschalige werken kunnen worden gerealiseerd. Ook op rivier- en meerdijken is asfalt toegepast, zij het in mindere mate.

In het Technisch Rapport wordt ruime aandacht geschonken aan de toepassing van asfalt als taludbekleding van dijken en dammen. Daarnaast worden de toepassingen vooroeververdediging, teenbescherming, duinvoetverdediging en filterconstructie belicht. Dit zijn constructies die direct bij waterkeringen worden toegepast. Overige toepassingen die geen directe relatie met waterkeren hebben worden in dit Technisch Rapport niet behandeld.

1.5 Organisatie

Het Technisch Rapport is geschreven in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde op aanbeveling van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Ing. C.C. Montauban fungeerde als projectleider van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde. Een redactiecommissie heeft het schrijven van het Technisch Rapport begeleid. Hierin hadden de volgende personen zitting:

- ing. C.C. Montauban (voorzitter) Dienst Weg- en Waterbouwkunde
- ir. J.A. van Herpen Netherlands Pavement
Consultants
- ir. J. Lindenberg (tot 1 mei 2000) Dienst Weg- en Waterbouwkunde
- ing. L.A. Philipse voorheen Waterschap Friesland
- ir. H. Roos VBW Asfalt

Het Technisch Rapport is ter toetsing voorgelegd aan de volgende deskundigen op het gebied van asfalt dijkbekledingen:

- Prof. dr. ir. J.F. Agema emeritus hoogleraar Technische Universiteit Delft
- Ing. A. J. Boon Bitumarin
- Ing. R.A. Joosten Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in het Hollands Noorderkwartier
- Ing. N. Leguit Hesselberg Hydro
- J. van der Meulen Bouwdienst Rijkswaterstaat
- Ir. D. Poppe Bitumar
- Ing. M. Stroh Waterschap Zeeuws-Vlaanderen
- Prof. ir. M.F.C. van de Ven Universiteit van Stellenbosch/
Technische Universiteit Delft
- Ing. A.S. Wierda Rijkswaterstaat Directie Noord Nederland

Het Technisch Rapport is geschreven door ing. A.K. de Loeff, ing. A. Versluis (beiden Netherlands Pavement Consultants) en ing. C.C. Montauban (Dienst Weg- en Waterbouwkunde).

1.6 Leeswijzer

Bij het opzetten van het Technisch Rapport is ernaar gestreefd de lezer na een korte kennismaking met het materiaal stap voor stap door het ontwerpproces te leiden. Vervolgens wordt nader ingegaan op de uitvoering en beheer en onderhoud van de asfaltbekleding.

In hoofdstuk 2 worden in het kort de materiaaltechnologische aspecten beschouwd. Vervolgens worden de verschillende asfaltmengsels behandeld. Hierbij wordt nader ingegaan op de specifieke eigenschappen van de verschillende mengsels. Ook komen de milieuaspecten die bij asfalt een rol spelen aan de orde. In hoofdstuk 3 worden de verschillende toepassingen die in dit Technisch Rapport aan bod komen behandeld.

In hoofdstuk 4 wordt de ontwerpprocedure beschreven. Dit hoofdstuk vormt de basis voor het ontwerp.

In hoofdstuk 5 worden voor elk van de toepassingsgebieden, te weten: zee-, meer- en rivierdijken, de mogelijke functies van de bekleding behandeld.

Uit de functies van de bekleding volgen de functionele eisen.

In hoofdstuk 6 wordt nader ingegaan op de eisen die aan een bekleding gesteld kunnen worden op basis van de functies die deze vervult.

Hoofdstuk 7 behandelt het dimensioneren van een asfaltbekleding op de belastingen die resulteren in eisen aan de dikte of lengte van de asfaltconstructie. Vervolgens wordt het ontwerp van aansluitingen en overgangsconstructies behandeld.

In hoofdstuk 8 wordt de uitvoering van asfaltwerken belicht. Hierbij wordt kort ingegaan op de verschillende verwerkingsmethoden. Daarnaast worden de kwaliteitssystemen bij uitvoering omschreven.

In hoofdstuk 9 komt het beheer en onderhoud van de bekleding aan bod.

Dit gebeurt aan de hand van de inspectiemethode die in opdracht van de TAW is ontwikkeld. Deze dient als handreiking voor het toetsen van de bekleding op veiligheid. In dit hoofdstuk wordt tevens aandacht geschonken aan onderhoudsmaatregelen.

De meeste van de gebruikte termen zijn vermeld in de verklarende woordenlijst voor in het rapport.

2.1 Kennismaking

Hoewel asfalt in de volksmond synoniem is met waterbouwasfaltbeton, wordt in dit Technisch Rapport asfalt 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”, hoofdstuk 52 “Kust- en Oeverwerken” zijn eisen voor bouwstoffen en asfaltmengsels opgenomen [CROW, 2000-a]. Hierin wordt veelal verwezen naar NEN-normen. De RAW-bepalingen worden elke 5 jaar geactualiseerd.

2.2 Bouwstoffen

2.2.1 Mineraal aggregaat

Mineraal aggregaat bestaat uit korrelvormige minerale bouwstoffen van verschillende aard en afmetingen zoals steenslag, grind, zand en vulstof.

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 (slakken) met brekers te verkleinen en de gewenste gradering met een zeefinstallatie af te zeven. In NEN-6240 zijn eisen voor steenslag opgenomen. Hierin wordt voor verschillende eigenschappen aangegeven waar de steenslag aan moet voldoen: korrelverdeling, korrelvorm, sterkte en bestendigheid. De eisen zijn verdeeld in klassen, die in de Standaard voor elk asfaltmengsel zijn benoemd.

In Nederland wordt voor waterbouwasfalt overwegend kiezelslag (gebroken Maas- of Rijngrind) en kalksteen gebruikt. In de Standaard 2000 is ook de toepassing van fosforslakken toegestaan.

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. De eisen voor grind zijn niet in een NEN-norm opgenomen maar worden apart in de Standaard vermeld.

Zand is mineraal aggregaat met een korrelafmeting overwegend tussen 2 mm en 63 µm. 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 wegebouw nodig zijn.

In de Standaard zijn eisen voor zand opgenomen: korrelverdeling en vreemde bestanddelen.

Vulstof is mineraal aggregaat dat overwegend bestaat uit korrels die kleiner zijn dan 63 µm. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

- fabrieksvulstof, speciaal geproduceerd voor toepassing in asfalt;
- het eigen stof, de fractie < 63 µm 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 vliegas van steenkolen centrales. Voor waterbouwasfalt wordt alleen gemalen kalksteen toegepast.

In de Standaard wordt voor de te stellen eisen aan vulstof verwezen naar ontwerpnorm NEN 3975. Deze norm bevat o.a. eisen voor de korrelverdeling, het bitumengetal, de dichtheid en de watergevoeligheid.

De kwaliteit van vulstof wordt gewaarborgd met een certificeringssysteem.

Voorheen werd dit verzorgd door de “Stichting Vulstof Certificatie”, vanaf 1995 wordt door de KOMO een productcertificaat uitgegeven [Nevul, 2001].

Opmerking:

De in deze en onderstaande paragraaf genoemde Nederlandse (NEN) normen zijn of zullen op termijn door Europese (EN) normen worden vervangen (zie bijlage 3: Testmethoden en Normen).

2.2.2 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 3901). 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, zie bijlage 1, paragraaf 1.6). Eisen die aan het bindmiddel worden gesteld zijn opgenomen in NEN 3902. Deze betreffen o.a. eigenschappen als penetratie en verwekingspunt, welke 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 3904. 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 3905 en 3906.

Vloeibitumina worden vooral gebruikt om asfaltlagen en aansluitingen te kleven.

2.2.3 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 afdruipremmers, die de viscositeit van het bitumen verhogen. Het effect van deze stoffen is met name het vergroten van de duurzaamheid.

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.

2.3 Mengelaspecten

2.3.1 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.

2.3.2 Holle ruimte in het mineraal aggregaat

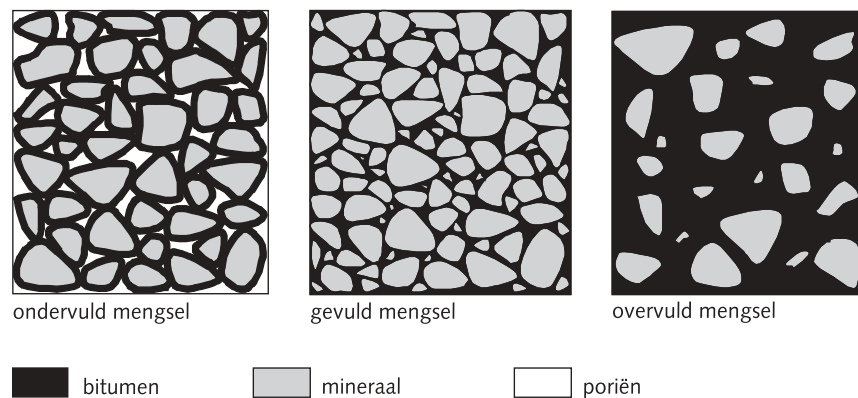
De holle ruimte in een skelet van mineraal aggregaat hangt sterk af van het feit of de korrelverdeling regelmatig (continue) is of onregelmatig (discontinue).

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.

2.3.3 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.



Figuur 2.1 Vulling van het korrelskelet met bitumen (of asfaltmestiek)

In de mate van vulling worden 3 niveaus onderscheiden (figuur 2.1):

- **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 skelet wordt verbroken. Een voorbeeld is gietasfalt, waarin het skelet van grind is overvuld met asfaltmestiek.

De kwaliteit van de vulling hangt sterk af de componenten die tot die vulling worden gerekend (zie bijlage 1, paragraaf 2.3).

2.3.4 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 duurzaamheid.

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 paragraaf 2.4.3).

2.4 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 2000 bepaald door het uitvoeren van een vooronderzoek en een geschiktheidsonderzoek (zie paragraaf 8.5).

De belangrijkste eigenschappen van het asfalt zijn:

- doorlatendheid;
- mechanische eigenschappen;
- duurzaamheid;
- verwerkbaarheid (de verwerkbaarheid wordt in hoofdstuk 8 “Uitvoering” behandeld).

2.4.1 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 zanddicht) 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. Alleen bij het vooronderzoek van open steenasfalt volgens de Standaard 2000 wordt de doorlatendheid indicatief bepaald. Voor doorlatendheidsmetingen aan bekledingen in situ zijn geen standaardmethoden beschikbaar.

2.4.2 Mechanische eigenschappen

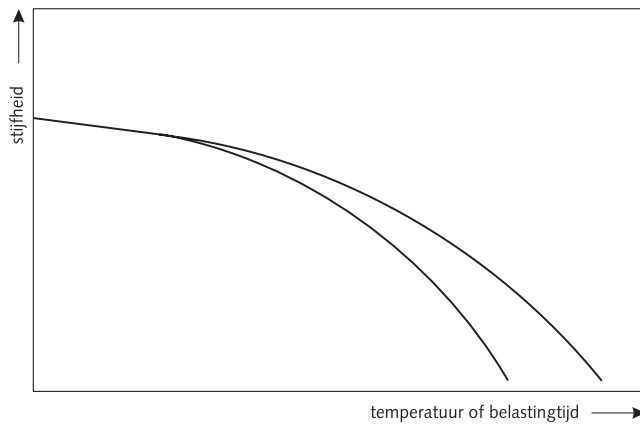
Bij asfalt zijn net als bij vele andere materialen twee mechanische eigenschappen van belang:

- 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 bij lage temperatuur gedraagt asfalt zich stijf (elastisch) en sterk. Onder langdurige belastingen zoals bij zettingen en bij 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.

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 ontwerp-berekeningen is de stijfheid van asfaltbekledingen een belangrijke parameter. De stijfheid van een asfalmengsel is (naast temperatuur en tijd, figuur 2.2) in hoofdzaak afhankelijk van de stijfheid van het bitumen, de holle ruimte en de hoeveelheid mineraal aggregaat.



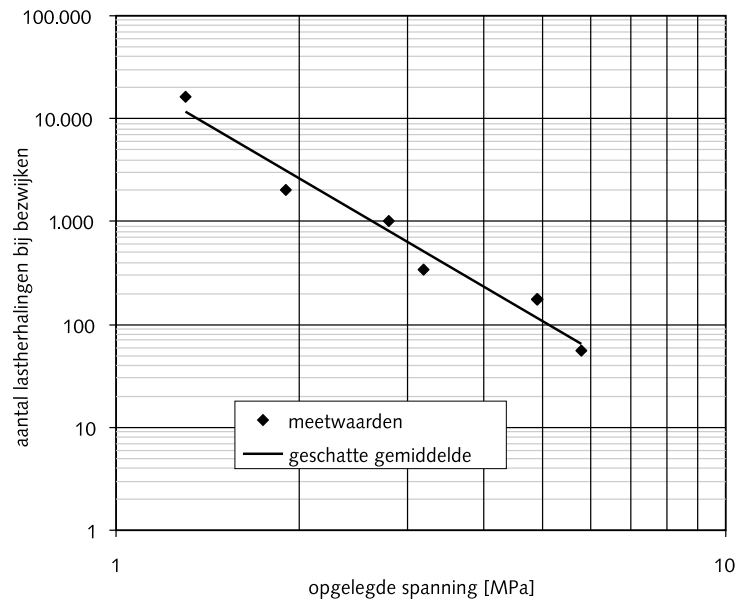
Figuur 2.2 *Stijfheid als functie van temperatuur en tijd*

De stijfheid en sterkte van het asfalt beïnvloeden de gedragseigenschappen van de bekleding zoals stabiliteit en de 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 e.d.

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).

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 2.3). Deze relatie kan met proeven worden bepaald, of in nomogrammen worden afgelezen (zie bijlage 1).



Figuur 2.3 Relatie tussen de opgelegde spanning (σ) en het aantal lastherhalingen waarbij bezwijken optreedt (N_f) 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 5.2 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 het ontstaan van scheuren. 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 paragraaf 7.11).

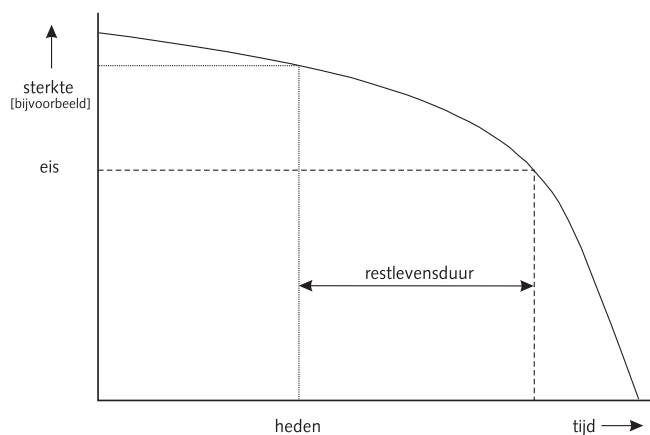
2.4.3 Duurzaamheid

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 duurzaamheid is de mate waarin de relevante eigenschappen op het gewenste niveau blijven.

Door blootstelling aan externe (weers)invloeden veroudert 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 2.4 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 duurzaamheid 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 2.4 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 (golflappen 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 duurzaamheidsaspecten 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 ontwijken 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 waterbouw-asfaltbeton 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 asfaltmestiek 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, kruiend ijs en drijf-hout. Dit geldt nauwelijks voor dichte mengsels, zoals waterbouw-asfaltbeton 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 asphalt; door vermoeiing ontstane haarscheurtjes vloeien weer dicht.

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 asphalt stelt organismen in staat om het materiaal heel geleidelijk te vervormen. Zo kunnen plantenwortels of zeepokken (figuur 2.5) 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 paragraaf 6.9 wordt nader ingegaan op de begroeibaarheid van asphaltsoorten.



*Figuur 2.5 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 terpentine en dieselolie. Indien deze stoffen in het oppervlaktewater voorkomen kan het asfaltoppervlak worden aangetast. Aangezien deze aantasting bij dichte bekledingen beperkt blijft tot het oppervlak, levert dit geen gevaar op voor de sterkte. Indien de bekleding zware chemische belastingen te verduren krijgt, bijvoorbeeld in een olie-overslaghaven, dan dient hier extra aandacht aan gegeven te worden. Alleen bij calamiteiten kan de aantasting zo groot zijn dat de sterkte in gevaar komt.

In tabel 2.1 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.

Tabel 2.1 Bestendigheid van de asfaltsoorten

	waterbouw- asfaltbeton	asfalt- mastiek	gepenetreerde breuksteen	open steenasfalt	zandasfalt
veroudering/stripping	+	++	++	0	0
erosiebestendigheid	+	++	++	0	-
vermoeiing	++	++ ¹⁾	++ ¹⁾	+	0
vorstbestendigheid	++	++	++	+	+
biologische planten	+	++	++	+	-
aantastingen algen/wieren	2)	++	++	0	0
schaaldieren	2)	+	++	0 ³⁾	0
chemische aantastingen	+	+	++	0	-

¹⁾ Asfaltmastiek en gietasfalt zijn niet gevoelig voor vermoeiing

²⁾ Waterbouw-asfaltbeton wordt niet in de tijzone toegepast

³⁾ Open steenasfalt scoort '0' indien één extra steenlaag wordt aangebracht, anders scoort open steenasfalt '-'

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 2.2

is een ruwe schatting gemaakt voor de levensduur van de verschillende asfaltbekledingen, waarbij onderscheid in belasting is gemaakt tussen zee-, meer- en rivierdijken:

Tabel 2.2 Levensduurverwachting van asfaltbekledingen (in jaren)

	waterbouw- asfaltbeton	open steenafalt	gepenetreerde breuksteen	zandasfalt	asfalt- 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 asfalt, de bovengrens voor een goede kwaliteit. Onder goede kwaliteit wordt asfalt verstaan dat aan alle eisen voldoet. Daarnaast beïnvloeden omgevingsfactoren de levensduur van een asfaltbekleding. Voorbeelden hiervan zijn:

- aanwezigheid van water, met name bij open mengsels;
- voorkomen van regelmatige zware golfaanval;
- aanwezigheid van drijvend vuil en lichte breuksteen die over de bekleding gaan rollen en met name bij open steenasfalt schade veroorzaken.

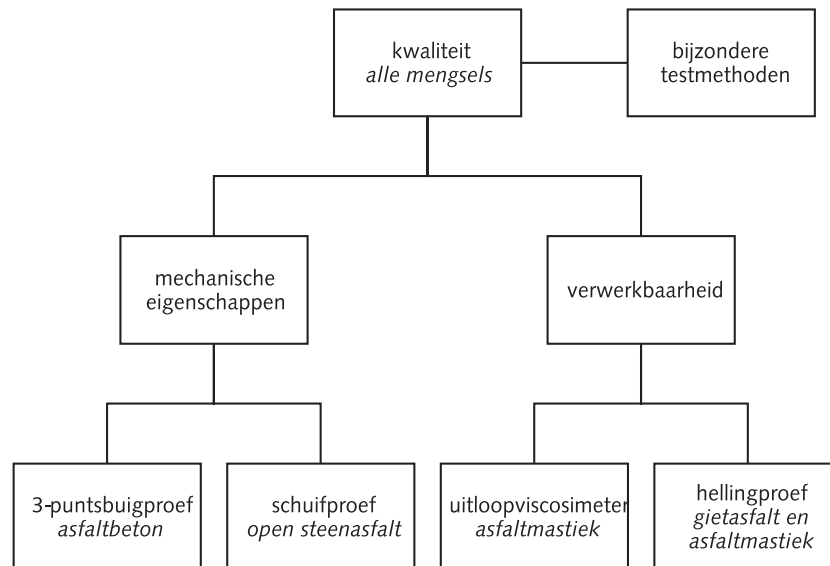
2.5 Testmethoden

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. In bijlage 3 “Testmethoden en Normen” worden overzichten gegeven van productnormen en beproevingsmethoden. Ook worden de methoden meer in detail beschreven.

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 2.6.



Figuur 2.6 Schematisch overzicht testmethoden

2.5.1 Testen voor kwaliteitsbewaking

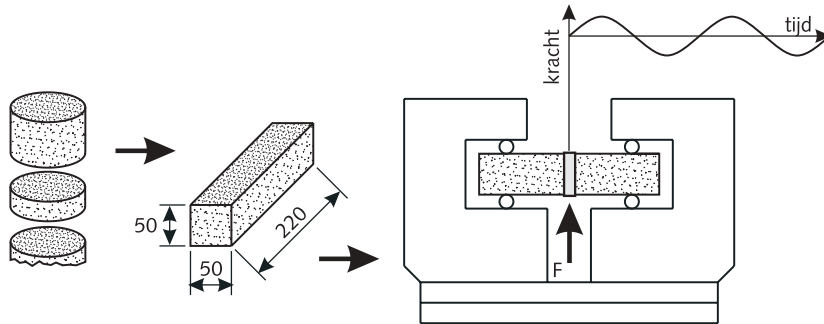
De voor kwaliteitsbewaking gebruikelijke proeven worden in de Standaard beschreven. Deze proeven zijn onder te verdelen in:

- methoden om de kwaliteit van de bouwstoffen te bepalen
- methoden om asfaltmengsels te ontwerpen (vooronderzoek)
- methoden om de kwaliteit van bereid en verwerkt asfalt te bepalen

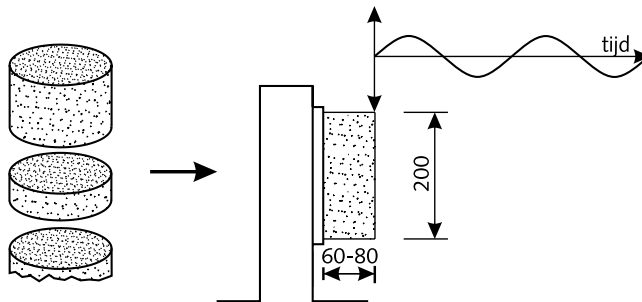
2.5.2 Testen voor mechanische eigenschappen

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 driepuntsbuigproef ontwikkeld (figuur 2.7) en voor open steenasfalt een schuifproef (figuur 2.8).



Figuur 2.7 Dynamische driepunts-buigproef



Figuur 2.8 Dynamische schuifproef

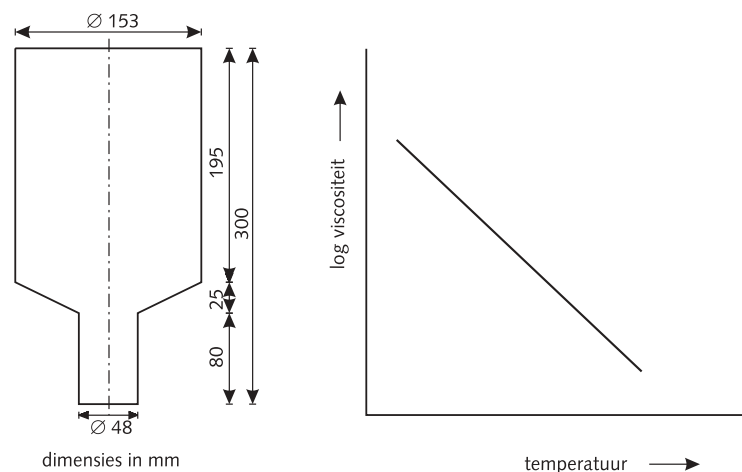
De resultaten van deze proeven worden gebruikt bij ontwerpberekeningen en bij het toetsen van bekledingen op veiligheid. Met deze dynamische proeven kan inzicht worden verkregen in de eigenschappen die het mechanisch gedrag, de duurzaamheid en de (rest-)levensduur bepalen. De proeven worden uitgevoerd onder geconditioneerde omstandigheden. In figuur 2.9 is de geconditioneerde testbank afgebeeld.



Figuur 2.9 Testbank met klimaatkast voor het uitvoeren van dynamische proeven
(Foto: NPC)

2.5.3 Testen om de verwerkbaarheid vast te stellen

Asfaltmastiek 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 asfaltmastiek is de uitloopviscosimeter van Kerkhoven [Kerkhoven, 1965] ontwikkeld. Hiermee wordt de tijd gemeten waarin een bepaald volume asfalt uit het vat (figuur 2.10) stroomt, wat een maat is voor de viscositeit.



Figuur 2.10 Uitloopviscosimeter

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 2.11). De tijd die nodig is voor een bepaalde vloei afstand is een maat voor de viscositeit. De hellingproef wordt ook gebruikt voor asfaltmastiek.

In de Standaard 2000 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 2.11 *Hellingproef voor het bepalen van de viscositeit*

2.5.4 Bijzondere testen

Naast bovengenoemde gestandaardiseerde onderzoekmethoden 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 onderzoekmethoden beschikbaar. Deze zijn in de publicatie van Van Asbeck [Van Asbeck, 1959] en in het Shell Bitumen Hydraulic Engineering Handbook [Shell, 1999] beschreven. Daarnaast is in het kader van het Plan Bodembeschermende Voorzieningen recent een CUR aanbeveling verschenen om de vloeistofdichtheid van bitumineuze mengsels te bepalen [CUR, 1998-a].

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 [Van Asbeck, 1959]. In die gevallen moet hulp worden ingeroepen van onderzoeksinstituten die gespecialiseerd zijn in toegepast materiaalonderzoek.

2.6 Milieu

Algemeen

Bij het selecteren van materialen voor een bekleding zijn naast de technische aspecten ook de effecten die het materiaal op zijn omgeving heeft van belang. Bij de afweging spelen alle levensfasen met betrekking tot het milieu een rol: van het gebruik van grondstoffen, de gebruiksfase van de bekleding, tot en met hergebruik van materialen aan het einde van de technische of economische levensduur.

Diverse doelstellingen uit het Nederlands Milieubeleid zijn vertaald in wet- en

regelgeving. De Wet Milieubeheer vormt hierbij het kader, waarbinnen zowel voor de opdrachtgever als voor de aannemer en producent regels zijn vastgelegd. Het begrip Duurzaam Bouwen (zie ook paragraaf 4.2) vindt ook in de GWW-sector meer ingang.

Bouwstoffenbesluit

Belangrijk voor de opdrachtgever is het Bouwstoffenbesluit [Bsb, 1995] waarin eisen aan de samenstelling en uitloging van steenachtige bouwstoffen worden gesteld met als doel verontreiniging van de bodem en het grondwater te voorkomen.

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 zelf zeer geringe hoeveelheden schadelijke verbindingen zoals PAK. Deze blijken uit onderzoek in het kader van het Bouwstoffenbesluit zo gering dat asfalt, wat betreft samenstelling en uitloging, aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit voldoet voor categorie 1 bouwstoffen. Dit betekent dat asfalt zonder belemmeringen mag worden toegepast in de waterbouw.

BRL

Op grond van het Bouwstoffenbesluit 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 [CROW, 2000-b]. In deze BRL zijn alle relevante eisen opgenomen die voor de milieuhygiënische certificatie van asfalt van belang zijn. Voor asfalt, zowel voor de wegenbouw als voor kust- en oeverwerken, is naast de certificering van individuele producenten ook een zogenaamd “clustercertificaat” beschreven. Dit betekent dat een groep van bedrijven alle onder hetzelfde certificaat kunnen produceren en leveren. Dit is gedaan omdat is onderkend dat de bedrijven asfalt produceren met dezelfde milieuhygiënische kwaliteit en deze ruimschoots aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit voldoen.

Bij levering van asfalt volgens de BRL 9320 wordt een kwaliteitsverklaring afgegeven die wordt aangeduid als KOMO-atteest-met-productcertificaat.

PAK

Sommige Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) kunnen in hoge concentraties en bij hoge blootstelling milieubedreigend en schadelijk voor de gezondheid zijn. De lage concentratie aan PAK in bitumen, en dus ook in asfalt, vormt geen probleem, noch tijdens de productie en verwerking noch in de gebruiksfase van het asfalt [Coppens, 1996].

Anders is dit met teer. Het is goed om in dit verband te wijzen op het verschil tussen teer en bitumen. Anders dan bitumen (een aardoliedistillaat) is teer een product van de distillatie van steenkool of hout, met hoge concentraties PAK. Deze zijn een factor 1.000 tot 10.000 hoger dan in bitumen. Het is om die reden dat teer sinds 1991 - conform de Bouw-CAO - niet meer wordt toegepast.

Gezondheid

Dat asfalt en bitumen geen nadelige effecten hebben op milieu en gezondheid wordt nog eens bevestigd door de wereldwijde toepassing van asfalt als waterdichte bekleding van drinkwaterreservoirs, irrigatiekanalen en waterwin-gebieden. Hieruit blijkt dat het milieu door de toepassing van asfalt niet meetbaar wordt belast [Coppens, 1996].

Grootschalig Europees onderzoek, uitgevoerd tussen 1994 en 2001 [IARC, 2001], heeft daarnaast aangetoond dat bij de moderne productie- en verwerkingstechnieken geen risico bestaat voor de gezondheid van de werknemers in de asfalt-industrie in relatie tot het omgaan met bitumen.

Hergebruik

In de waterbouw is tot nu toe alleen beperkte ervaring met hergebruik van asfaltbeton opgedaan. Deze en de grote ervaring uit de wegenbouw leren dat hergebruik van oud asfaltbeton in nieuw waterbouwasfaltbeton goed mogelijk is in percentages tot 50%, indien standaardtechnieken worden toegepast.

In bijzondere omstandigheden zijn hogere percentages mogelijk.

Hergebruik van andere waterbouwasfaltmengsels heeft nog niet plaatsgevonden. Wel is het bedrijfsleven gestart met experimenten om open steenasfalt op een hoogwaardige wijze te hergebruiken.

LNC

Aandacht voor het milieu betekent ook aandacht voor de landschappelijke inpassing in relatie tot natuur- en cultuurwaarden. Asfaltconstructies 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 zewering (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). In paragraaf 6.9 wordt nader ingegaan op de begroeiingsmogelijkheden van de verschillende asfaltsoorten.

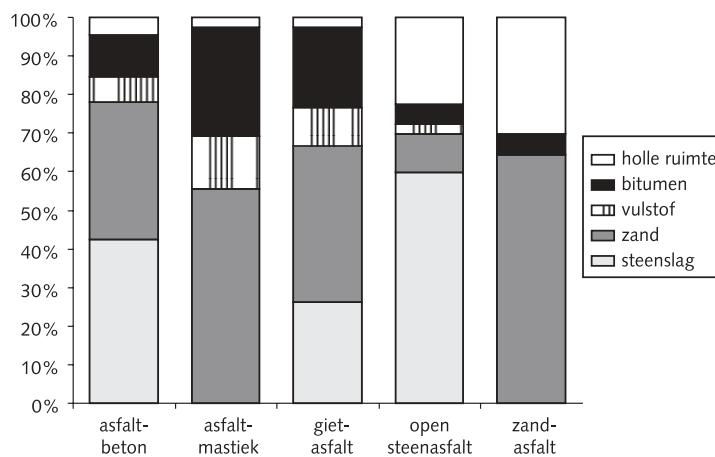
2.7 Mengsels

2.7.1 Algemeen

Voor het bekleden van waterkeringen worden de volgende asfaltmengsels toegepast:

- waterbouwasfaltbeton;
- asfaltmastiek;
- gietasfalt;
- open steenasfalt;
- zandasfalt.

Figuur 2.12 geeft een indicatie van de volumebestanddelen aan lucht (holle ruimte), bitumen, steenslag (grind), zand en vulstof in de verschillende asfaltmengsels.



Figuur 2.12 Volumepercentages componenten in asfaltmengsels

In de volgende paragrafen worden enkele mengselspecifieke eigenschappen, de meest gebruikte samenstellingen en toepassingen per asfaltmengsel beschreven.

In bijlage 2 is een overzicht gegeven van de mengselbeschrijvingen, zoals deze in de verschillende RAW-Standaards zijn opgenomen. Omdat de methode van mengselbeschrijving vaak is gewijzigd is daarbij ook enige toelichting opgenomen.

2.7.2 Asfaltbeton

Waterbouwasfaltbeton is een continue 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”). (Zie bijlage 2). 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 dijktafsluitingen 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.

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 bereiden door verkeer en recreanten. Het is gebruikelijk om een oppervlakbehandeling van bitumenemulsie en split aan te brengen als conserveringsmiddel.



Figuur 2.13 Boorkern uit een bekleding van waterbouwasfaltbeton - Damaanzet Noordland - 1991 (Foto: NPC)

2.7.3 Asphaltmastiek

Asfaltmastiek is een continue 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”). (Zie bijlage 2).

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 2.14 Plak uitgevloeide asfaltmastiek

2.7.4 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.

Bij calamiteiten is het uitermate geschikt om grote beschadigingen bij harde bekledingen (ook onder extreme omstandigheden) tijdelijk te herstellen.

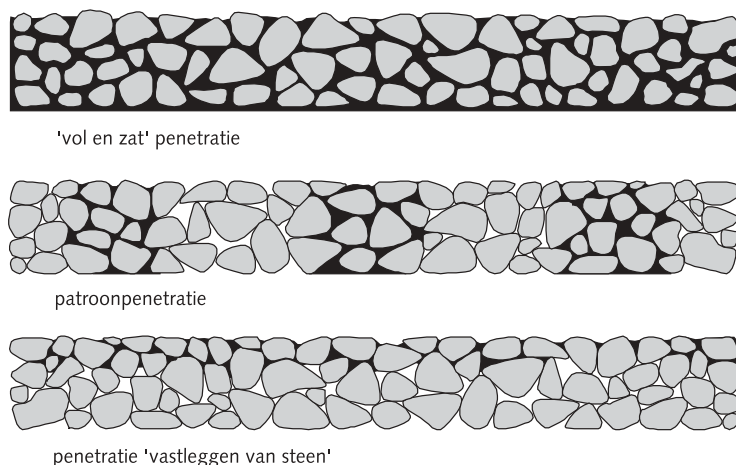
Gietasfalt moet na afkoelen zo stabiel zijn dat het niet nazakt of ontmengt. De hoeveelheid grind dient als opvulmiddel, om uit- en nazakken te voorkomen en soms om de penetratiediepte te beperken.



Figuur 2.15 Boorkern uit een bekleding van vol en zat gepenetreerde breuksteen - Westkapelse zeedijk - 1988

Een laag breuksteen kan op verschillende manieren met gietasfalt worden gepenetreerd, namelijk “vol-en-zat-penetratie” (figuur 2.15), “patroon-penetratie” en “vastleggen van steen” (of oppervlaktepenetratie).

In figuur 2.16 zijn de verschillende penetratiemethoden weergegeven.



Figuur 2.16 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; dit kan in stroken of met plots worden uitgevoerd. Bij de methode “vastleggen van steen” wordt een hoog viskeuze 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.

2.7.5 Open steenasfalt

Open steenasfalt is een mengsel van grof en eenzijdig gegradeerde steenslag die wordt omhuld met asfaltmestiek. Doorgaans bestaat het mengsel uit 80% m/m steenslag en 20% m/m asfaltmestiek.

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 asfaltmestiek zorgen voor een duurzame omhulling.

Open steenasfalt wordt toegepast als open bekleding op dijktaluds en oevers. Door het hoge steengehalte is de stabiliteit erg groot, zodat het op steile hellingen kan worden aangebracht.

In figuur 2.17 zijn boorkernen van open steenasfalt weergegeven.



Figuur 2.17 Boorkernen uit een begroeide bekleding van open steenasfalt - Tholen - 1995 (Foto: Oranjewoud)

Voor de duurzaamheid van open steenasfalt moet de steen met een dikke en bitumenrijke asfaltmastiek worden omhuld. Aan de asfaltmastiek worden daarom soms afdruiptremmende stoffen toegevoegd. Hierdoor kan een dickere omhulling worden toegepast terwijl de asfaltmastiek tijdens transport en verwerken toch niet van de steen afdruipt. Een bekende afdruiptremmer 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%

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 tijdzone wordt het alleen in situ toegepast, met bij voorkeur een laag zandasfalt als filter.

2.7.6 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 stabiel 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 duurzaamheid maar vermindert de doorlatendheid. Vulstof wordt niet toegepast in zandasfaltfilters, -kades en tijdelijke werken, maar wel bij duurzame constructies.



Figuur 2.18 Balkje uit een bekleding van zandasfalt - 1998 (Foto: NPC)

2.7.7 Overige mengsels

Dicht steenasfalt en asfaltmembranen worden niet behandeld, omdat deze naar verhouding erg weinig worden toegepast. Hiervoor wordt verwezen naar de Leidraad asfalt [TAW, 1984].

3 TOEPASSINGEN VAN ASFALT BIJ WATERKERINGEN

3.1 Algemeen

In Nederland is asfalt met name 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 dit Technisch Rapport 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 dit Technisch Rapport 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.

3.2 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 duurzaamheid. Hierdoor zijn beide asfaltsoorten zeer geschikt als talusbekleding op dijken met een zware golfaanval. Vanwege de lage aanlegkosten zijn met name waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt goed toepasbare bekledingen bij dijken met een minder zware golfaanval. Vanwege de plaatwerking is de benodigde laagdikte van asfaltbekledingen in het algemeen aanzienlijk geringer dan van elementenbekledingen.

Open steenasfalt is tevens 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 met name 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 3.1 geeft een voorbeeld van een zeedijk met een bekleding van waterbouwasfaltbeton.



Figuur 3.1 Zeedijk met een bekleding van waterbouwasfaltbeton - Ouwerkerk - 1996
(Foto: Oranjewoud)

3.3 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.

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 steenasfalt 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 steenasfalt ook op steile onderwatertaluds worden aangelegd. Open steenasfalt is door de open structuur van het materiaal een goede vestigingsplaats voor flora en fauna. Asfaltmastiek en gietasfalt resulteren in een dichte bekleding met een glad oppervlak en bieden geen mogelijkheden voor de ontwikkeling van flora en fauna. In figuur 3.2 is een voorbeeld van een teenbescherming van gietasfalt gegeven.



Figuur 3.2 Teenbescherming van gietasfalt - Veersedam - 1991 (Foto: Oranjewoud)

3.4 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 waterbouwasfalt-beton en gepenetreerde breuksteen toegepast.

Als de golfaanval niet te zwaar is, is open steenasfalt ook geschikt als bekledingsmateriaal voor een duinvoetverdediging.

Als de duinvoetverdediging verborgen is onder het zand hebben waterbouw-asfaltbeton en vol en zat gepenetreerde breuksteen de voorkeur als materiaal. Deze asfaltsoorten 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 3.3 is een voorbeeld gegeven van een duinvoetverdediging.

Het is mogelijk dat duinvoetverdedigingen geheel of gedeeltelijk onderstuiven waardoor er begroeiingsmogelijkheden ontstaan. Dit kan worden bevorderd door het aanbrengen van een zandsuppletie. In de Leidraad Zandige Kust [TAW, 1995-a] en het bijbehorende basisrapport [TAW, 1995-b] wordt uitgebreid

ingegaan op het toepassen van een duinvoetverdediging als kustverdedigingsmaatregel.



Figuur 3.3 Duinvoetverdediging op Eijerland - Texel - 1998 (Foto: Oranjewoud)

3.5 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 dit rapport wordt met een vooroeververdediging niet bedoeld een beschermingsconstructie van een hooggelegen voorland voor de waterkering.

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 [CUR, 1999]. Omdat vooroeververdedigin-

gen 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, met name 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 3.4 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 de figuren 3.4 en 3.5 zijn voorbeelden van een in asfalt (open steenasfalt en met gietasfalt vastgelegde breuksteen) aangelegde vooroeververdediging opgenomen, figuur 3.4 direct na aanleg en figuur 3.5 na enige tijd.



Figuur 3.4 Vooroeververdediging direct na aanleg - Zeekanaal Brussel-Schelde in België (Foto: Bitumarin)



Figuur 3.5 Begroeide vooroeververdediging - Zeekanaal Brussel-Schelde in België (Foto: Bitumarin)

3.6 Filterconstructie

In dijkbekledingen wordt onder een open toplaag, bijvoorbeeld open steenasfalt of gezette steenbekledingen, vaak gebruik gemaakt 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 met name de eerste functie een grote rol.

Filterfunctie

Erosie van het basismateriaal treedt op onder de volgende condities:

- 1 de korrels van het basismateriaal moeten door de openingen van het filtermateriaal heen kunnen;
- 2 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 [CUR, 1993].

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 m³ van zandasfalt ten opzichte van een granulair filter worden grotendeels gecompenseerd doordat zandasfalt nauwkeurig in dunne lagen kan worden aangelegd. In figuur 3.6 is een voorbeeld gegeven van een filter van zandasfalt.



Figuur 3.6 Filter van zandasfalt waarop open steenasfalt wordt aangebracht - Hartelkanaal (Foto: Bitumarin)

4.1 Algemeen

Er worden steeds meer eisen gesteld aan de waterkering en aan 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.

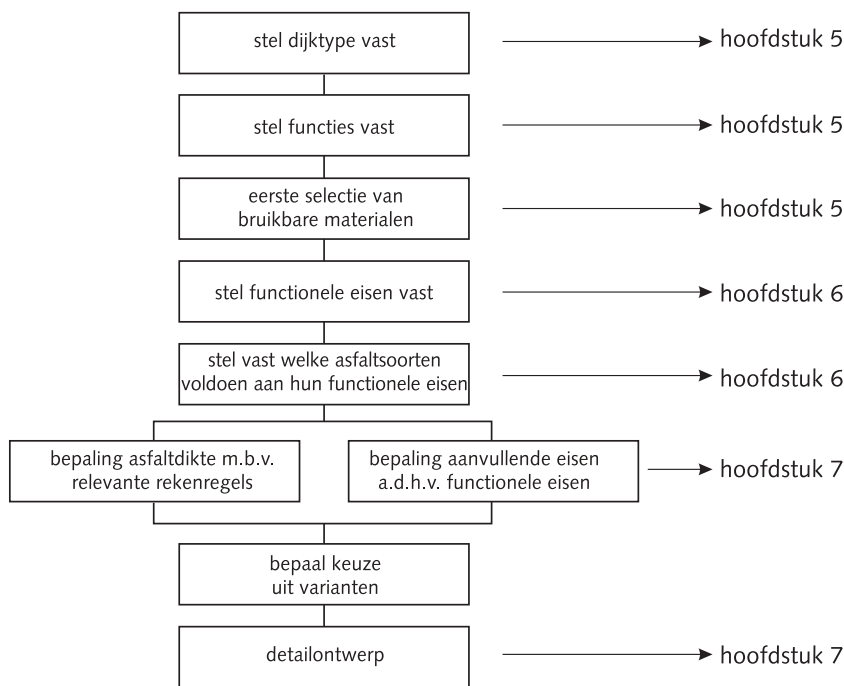
In het rapport Multifunctioneel ontwerp van Asfaltbekledingen voor Waterkeringen [Stuurman, 1997] is een aanzet voor een multifunctionele ontwerpprocedure gepresenteerd. Deze ontwerpprocedure wordt in hoofdlijnen weergegeven in figuur 4.1. Deze figuur geeft aan hoe de ontwerper stap voor stap de procedure moet doorlopen.

Zoals in het stroomschema van de ontwerpprocedure is aangegeven, dient eerst het dijkttype te worden vastgesteld. Dit kan een rivierdijk, een meerdijk of een zeedijk zijn. Vervolgens worden de functies vastgesteld die de asfaltbekleding vervult. In *hoofdstuk 5* wordt een overzicht van de mogelijke functies gegeven. Het dijksprofiel 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. 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. De hydraulische randvoorwaarden (ontwerpwaterstanden en golven) van de waterkeringen in Nederland zijn opgenomen in het Randvoorwaardenboek [TCRAND, 1996].

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 6* 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 die een benodigde laagdikte vereisen.

In *hoofdstuk 7* zijn op basis van de belastingen en de eigenschappen van de bekleding de dimensioneringsregels gegeven die volgen uit de functionele eisen.



Figuur 4.1 Schema van de ontwerpprocedure

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.

4.2 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 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" [RWS, 1997].

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 [CROW, 1999-a]. Aan Rijkswaterstaat is hierbij zowel een voorbeeldfunctie als de trekkersrol toegekend. Uitvoering is gebundeld in het Programmabureau Duurzaam Bouwen in de GWW-sector, waarin de Bouwdienst en Dienst Weg-Waterbouwkunde samenwerken.

De essentie van Duurzaam Bouwen is dat alle effecten van het bouwproces op de omgeving (milieu) in kaart worden gebracht, zodat rationele keuzen met minimale effecten kunnen worden gemaakt. Deze effecten zijn gekoppeld aan 4 thema's:

- grondstoffen;
- afval;
- energie;
- vormgeving en ruimte.

Voor elk thema zijn in tabel 4.1 zogenaamde "duurzaam bouwen doelstellingen" geformuleerd.

Tabel 4.1 Thema's en doelstellingen van duurzaam bouwen

thema's duurzaam bouwen	doelstellingen duurzaam bouwen
grondstoffen	- besparing op gebruik van primaire grondstoffen - gebruik van secundaire grondstoffen - gebruik van minder milieuschadelijke materialen - gebruik van vernieuwbare, niet-eindige grondstoffen
afval	- preventie van afvalstoffen - selectief slopen - verantwoord afvoeren van afvalstoffen - hergebruik van bouw- en sloopafval
energie	- energiezuinig ontwerpen - energiebesparing bij realisatie infrastructuur - energiebeheer bij bestaande installaties - energie-extensivering van grondstoffen
vormgeving en ruimte	- beperking van het ruimtegebruik - landschappelijke inpassing - behouden van toekomstpotentie - beperken van effecten op de omgeving - natuurvriendelijk ontwerpen

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 fosforlakken, asfaltgranulaat enz.). In de Standaard 2000 wordt het gebruik van secundaire grondstoffen in waterbouwasfalt vormgegeven;
- Milieuschadelijke stoffen als teer mogen niet meer worden gebruikt.

Thema afval:

- Het gebruik van bouw- en sloopafval moet worden gestimuleerd. Dit betreft hergebruik van asfaltgranulaat (zie paragraaf 2.6 en 8.12)

Thema energie:

- Energiebesparing moet zo veel 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 het landelijk beleid als randvoorwaarde geldt dat Duurzaam Bouwen iets meer mag kosten. 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, levenscyclus-analyses. Met deze methode worden de duurzaamheids- en milieu-effecten van alle levensfasen van de verwerkte onderdelen beoordeeld.

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

Duurzaam Bouwen mag niet worden verward met duurzaamheid (zie paragraaf 2.4.3). Deze (technische) duurzaamheid of levensduur is een op zich zelf staand begrip. Het is overigens wel een feit, dat een lange (technische) levensduur ook gunstige gevolgen voor Duurzaam Bouwen-aspecten kan hebben, zoals een geringer verbruik van grondstoffen en energie en minder afval.

5.1 Inleiding

De eerste stap in het ontwerpproces is het vaststellen van de functies die de bekleding moet vervullen. De volgende functies worden onderscheiden:

- waterkeren
- verkeer
- landschap / ecologie
- recreatie

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.

5.2 Waterkeren

5.2.1 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 garanderen.



Figuur 5.1 Bekleding van gepenetreerde breuksteen (onder) en waterbouwasfaltbeton (boven) om erosie van het zandlichaam te voorkomen - Veersedam (Foto: NPC)

Een teenbescherming moet de waterkering beschermen tegen de gevolgen van ontgronding. Doorgaande ontgronding kan de stabiliteit van de waterkering in gevaar brengen.

Een duinvoetverdediging moet het grensprofiel voldoende lang beschermen tegen duinafslag.

5.2.2 Waterafsluiting

Het kan wenselijk zijn dat de asfaltbekleding het dijklichaam waterdicht afsluit. Hiervoor zijn verschillende redenen denkbaar 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 toegepast verontreinigde materialen moet worden voorkomen.

5.3 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 5.2). Hiervoor worden specifieke eisen aan de stabiliteit van het mengsel gesteld. Als de bekleding fungeert als verkeersdrager moet deze tevens goed begaanbaar zijn.



Figuur 5.2 Zwaar verkeer op de Brouwersdam (Foto: NPC)

5.4 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 5.3 Begroeide bekleding van open steenasfalt aan de Waal bij Dodewaard (Foto: Oranjewoud)

5.5 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.

5.6 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 voor o.a. de dimensionering. Daarom worden de te beschouwen dijktypen onderverdeeld in hydraulische zones waarbij de hydraulische belastingen typerend zijn voor die zone. Deze hydraulische zoneverdeling wordt ook aangehouden voor de andere functies. In de volgende paragrafen worden de indelingen per dijktype gemaakt.

5.6.1 Rivierdijken

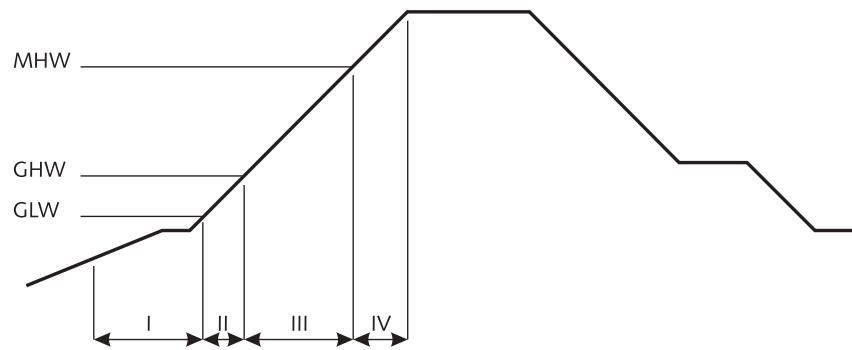
Asfalt vindt bij rivierdijken voornamelijk zijn toepassing als bekleding van het buitenbeloop op plaatsen waar de gebruikelijke grasmat onvoldoende bescherming biedt tegen erosie van het dijklichaam. Een harde bekleding kan vanuit landschappelijk oogpunt gewenst zijn, bijvoorbeeld in een stedelijk gebied.

Rivierdijken kunnen ingedeeld worden in rivierdijken met een laag en een hoog voorland [CUR, 1995-d].

De volgende hydraulische belastingzones worden bij een rivierdijk met laag voorland onderscheiden (zie figuur 5.4):

- | | |
|----------|--|
| Zone I | de zone die zich in het algemeen 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.

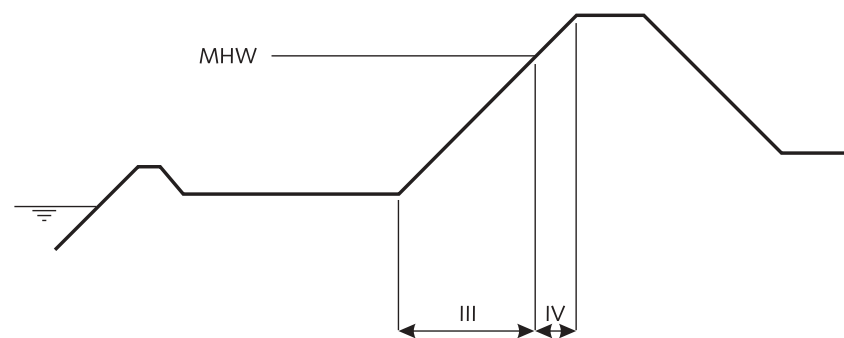


Figuur 5.4 Rivierdijk met laag voorland (in het benedenrivierengebied)

Bij een rivierdijk met hoog voorland worden de volgende hydraulische belasting-zones onderscheiden (zie figuur 5.5):

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.

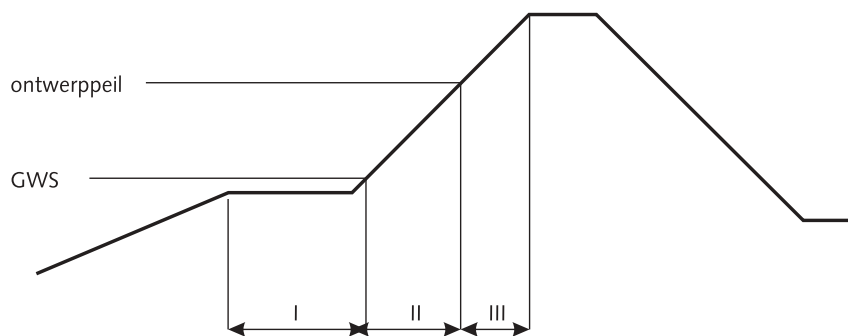


Figuur 5.5 Rivierdijk met hoog voorland

5.6.2 Meerdijken

Meerdijken worden belast door een vrij constante waterstand. Alleen gedurende een storm kan de waterstand ten gevolge van opwaaiing hoger zijn. In figuur 5.6 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 plaatse 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 c.q. 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.



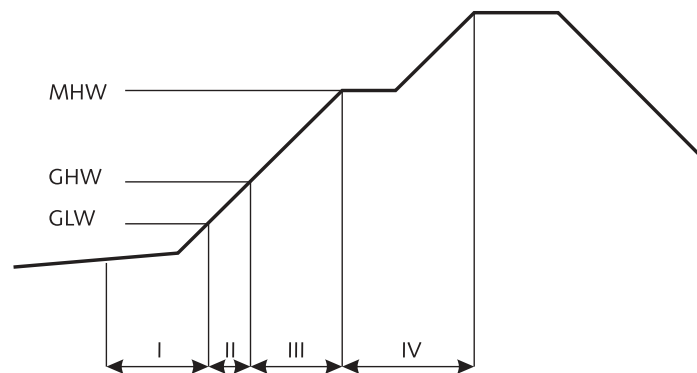
Figuur 5.6 Meerdijk

5.6.3 Zeedijken

Langs de Nederlandse kust komen dijken met en zonder voorland voor. Figuur 5.7 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 5.8. 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 ontgraving van de vooroever plaatsvindt kan deze worden beschermd door een teenbescherming. Tevens dient rekening te worden gehouden 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.

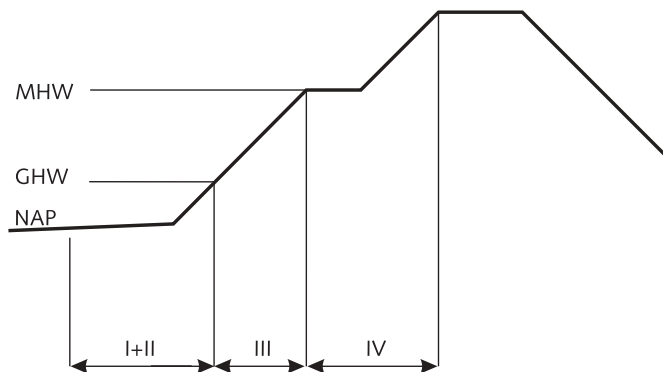


Figuur 5.7 Zeedijk zonder voorland

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.



Figuur 5.8 Zeedijk met hoog voorland

5.7 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 5.1 is aangegeven of de asfalttypen op uitvoeringstechnische gronden toepasbaar zijn in de eerder aangegeven hydraulische zones. Daarnaast wordt er een voorkeur aangegeven, gebaseerd op praktische ervaringen in relatie tot de functie waterkeren. Er is in de tabel een 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.

In deze tabel betekent 'o' dat het betreffende asfalttype toepasbaar is vanuit het oogpunt van uitvoerbaarheid. Daarbij betekent '+' dat het asfalttype gebruikelijk in deze zones wordt toegepast.

Tabel 5.1 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.

Opmerkingen bij tabel 5.1:

- Bij het afwijzen van asfaltmastiek in de hogere zones is er op voorhand vanuit gegaan dat het talud te steil is.
- Gepenetreerde breuksteen is niet geschikt om als flexibele teenbescherming tegen ontgroningen 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.

Een andere uitvoeringsafhankelijke variabele is de taludhelling. Bij het ontwerp van de taludbekleding wordt er van uitgegaan dat de taludhelling een bekend gegeven is. Deze volgt normaal gesproken uit het grondmechanisch ontwerp van de waterkering.

Niet iedere asfaltsoort kan op een talud worden aangelegd. Sommige asfaltsoorten hebben hiervoor een te lage viscositeit (asfaltmestiek). Bij waterbouwasfaltbeton, dat moet worden verdicht, wordt de maximale taludhelling begrensd door de inzetbaarheid van zwaar materieel op het talud. In tabel 5.2 is de maximale steilheid van de taludhelling aangegeven [CUR, 1995-d].

Tabel 5.2 Mogelijke taludhellingen

asfaltsoort	maximale steilheid taludhelling	
asfaltbeton	1:1,7; in wateroverdrukzone maximaal 1:3 ¹⁾	
gepenetreeerde breuksteen	onder water	1:1,7; in wateroverdrukzone maximaal 1:3 ^{1) 2)}
	boven water	1:3, 1:1,5 mogelijk na aanpassingen van mengsel en verwerkingstechniek ³⁾
asfaltmestiek	onder water	1:7
	boven water	1:10
open steenasfalt	in situ	1:1,5
	mat	1:1, bovenzijde mat verankeren bij taluds van 1:2 en steiler ⁴⁾
zandasfalt	ca. 1:2,5 als weinig vervormingen toelaatbaar zijn	
	ca. 1:1,5 als vervormingen niet relevant zijn	

¹⁾ 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.

²⁾ Onder water wordt als penetratiemortel alleen asfaltmestiek toegepast.

³⁾ 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.

⁴⁾ 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 van 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 dienen in de volgende fase de functionele eisen waaraan de asfaltbekleding moet voldoen, te worden vastgesteld. Deze functionele eisen dient de ontwerper zelf vast te stellen aan de hand van hoofdstuk 6.

6.1 Algemeen

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 6.1 opgenomen.

Tabel 6.1 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
	- waterafsluiting	gronddichtheid waterdichtheid
secundair	verkeer	begaanbaarheid draagvermogen
	landschap/ecologie	aanzicht/esthetica begroeikbaarheid
	recreatie	begaanbaarheid bestendigheid tegen vandalisme

* Ook duurzaamheid is een relevante functionele eis. Om elk van de genoemde functies te kunnen vervullen is een bepaalde duurzaamheid vereist.

De opzet van dit hoofdstuk is als volgt: de ontwerper stelt vast welke functionele eisen voor het betreffende ontwerp van belang zijn. In de volgende paragrafen wordt per functionele eis behandeld welke eisen aan de bekleding worden gesteld. Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten functionele eisen, namelijk eisen die resulteren in een voorkeur 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 7 behandeld.

Aan de hand van dit hoofdstuk wordt, samen met de in paragraaf 5.7 uitgevoerde eerste selectie, vastgesteld voor welke asfaltsoorten dimensioneringsberekeningen moeten worden gemaakt.

6.2 Weerstand tegen hydraulische belastingen

Een bekleding kan worden belast door de volgende hydraulische belastingen:

- *wateroverdrukken onder de bekleding*. Deze worden bij taludbekledingen ver-

oorzaakt door waterstandsverschillen in en buiten het grondlichaam. Gesloten dijkbekledingen moeten worden gedimensioneerd op wateroverdruk als er een hoge grondwaterstand in het dijklichaam en een lage buitenwaterstand gelijktijdig kunnen optreden. Deze situatie treedt op als de buitenwaterstand direct na het optreden van een hoogwater snel daalt. Dimensionering op wateroverdrukken wordt behandeld in paragraaf 7.3.

- *golfbelastingen op de bekleding.* Deze golven worden veroorzaakt door wind en schepen. Een bekleding moet bestand zijn tegen de drukstoot die een golf kan veroorzaken. Dimensioneringsregels worden behandeld in paragraaf 7.4.
- *stroming langs de bekleding.* Stroming van water langs de bekleding kan erosie aan het oppervlak veroorzaken. In paragraaf 7.5 wordt dimensionering op stroming behandeld.
- *stroming door golfoploop.* Door golfoploop kan het oppervlak eveneens worden aangetast. Zie verder paragraaf 7.5.
- *overdrukken door golfbeweging.* Bij een teenbescherming kunnen drukverschillen optreden door stroming en golfbewegingen. Dimensionering op deze mechanismen wordt behandeld in paragraaf 7.6.

In tabel 6.2 is per dijktipe en per asfalttype aangegeven in welke zone en op welke belasting moet worden gedimensioneerd.

Tabel 6.2 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)		

¹⁾ De belasting treedt wel op, er wordt echter niet op gedimensioneerd.

6.3 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 6.1 Zetting van het dijklichaam op de plaats waar deze een oude sloot kruist - Schelde-Rijnkanaal - 1981

Ontgroningen 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, asfaltmastiek, gietasfalt en open steenasfalt(matten) zijn hiervoor geschikte materialen omdat deze materialen erg flexibel zijn en daardoor ontgroningen goed kunnen volgen.

6.4 Weerstand tegen belastingen door ijs en drijvende objecten

Incidenteel kan een bekleding worden belast door mechanische belastingen zoals scheepaanvaringen, drijvend vuil of kruiend ijs. Bekledingen worden gewoon-

lijk niet gedimensioneerd op mechanische belastingen, mede door de geringe kans op voorkomen.

Drijvend vuil levert in het algemeen geen problemen op bij waterbouwasfalt-beton 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 inundatie 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 paragraaf 7.8 wordt ingegaan op het dimensioneren van bekledingen op ijsbelastingen.



Figuur 6.2 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 bevriest, 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.

6.5 Waterdichtheid en gronddichtheid

Een bekleding moet voldoende dicht zijn om uitspoeling van de ondergrond te voorkomen. Is de bekleding waterdicht, dan is de gronddichtheid 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 waterbouw-asfaltbeton en in mindere mate bij gepenetreerde breuksteen. Zaden 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. 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 granulair filter onder de bekleding kan de totale constructie gronddicht worden gemaakt.

In tabel 6.3 is een overzicht gegeven van de water- en gronddichtheid van de verschillende asfaltsoorten.

Tabel 6.3 Water- en gronddichtheid van de asfaltsoorten

	waterbouw- asfaltbeton	asfalt- mastiek	"vol en zat" gepenetreerde breuksteen	gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen	open steen-asfalt	zandasfalt
waterdicht	ja	ja	ja ¹⁾	nee	nee	nee
grond dicht	ja	ja	ja	nee	nee	ja

¹⁾ Op volledige waterdichtheid mag niet worden gerekend. De bekleding dient wel te worden gedimensioneerd op wateroverdrukken, maar is echter niet geschikt als bekleding waarbij waterdichtheid een eis is.

6.6 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. Waterbouwasfaltbeton 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.

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 het water stappen. Voor dieren bestaan hiervoor zogenaamde fauna-uitstapplaatsen, (zie figuur 6.3).



Figuur 6.3 Fauna-uitstapplaats, met de zijkanten uitgevoerd in asfalt (Foto: Bitumarin)

In tabel 6.4 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.

6 Functionele eisen

Tabel 6.4 Begaanbaarheid

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

¹⁾ Het oppervlak dient voor de diverse doelgroepen voldoende stroef te zijn. De stroefheid van asfaltbeton wordt vergroot door het aanbrengen van een bitumenemulsie of vloeibitumen en dit af te strooien met steenslag, grind of schelpengruis. 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. Asfaltmastiek wordt daarom niet voorzien van een oppervlakbehandeling.

²⁾ Voor het reguliere verkeer dient het talud niet te steil (maximaal circa 1:10) te zijn, voor voertuigen van beheerders e.d. kan een grotere steilheid worden geaccepteerd.

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

⁴⁾ De score is 'slecht' voor regulier verkeer.

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



Figuur 6.4 Begaanbaarheid van een bekleding van open steenasfalt als oeverbescherming van een recreatieplaats (Foto: VBW-Asfalt)

6.7 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 paragraaf 7.9 is aangegeven hoe een asfaltbekleding kan worden gedimensioneerd op verkeersbelastingen.

6.8 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 steen omdat het bovenste laagje bitumen afslijt.

Soms is het gewenst dat een deel van de bekleding een contrasterende kleur heeft, bijvoorbeeld om de ligging van een fietspad of de rijweg te benadrukken (figuur 6.5). 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 6.5 Gekleurd asfalt op de Brouwersdam om de ligging van de rijweg te accentueren (Foto: NPC)

6.9 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 meer mogelijkheden bieden voor het vestigen van planten en dieren.

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 veel meer waarde krijgt als functie moet worden nagegaan in welke mate functies als veiligheid, duurzaamheid en ecologie zijn te verenigen. Immers als begroeiing de samenhang van doorgaande plaatconstructies verstoort, dan 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 gepetreeerde breuksteen en open steenasfalt hebben door hun ruwe oppervlak of grote poriën wel de potentie voor het vestigen van 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 getijdzone hebben aangetoond dat deze taluds na enkele jaren spontaan geheel of grotendeels begroeid zijn geraakt [Willemse, 1991] en [Fliervoet, 1991].

In een verkennend onderzoek [Sprangers, 1997] 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” gepetreeerde bekledingen waarbij de koppen van de steen zijn bedekt met gietasfalt blijken geen begroeiing te vertonen.

Van Berchum en Meijer hebben de natuurwaarde van gepetreeerde breuk- en zetsteenbekledingen in de tijzone onderzocht [Van Berchum, 2000]. 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 paragraaf 6.9.1.) en locatiegebonden factoren (zie paragraaf 6.9.2.) [Sprangers, 1997]. De samenstelling en de kwaliteit van de vegetatie hangen nauw samen met deze criteria. Bij constructiegebonden factoren spelen type asfaltbekleding en 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.

6.9.1 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.

In tabel 6.5 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 6.5 Begroeibaarheid van de asfaltsoorten

	waterbouw- asfaltbeton 1, 2, 3)	asfalt- mastiek	"vol en zat" gepenetreerde breuksteen ⁴⁾	gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen	zandasfalt ²⁾	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

¹⁾ In scheuren en spleten komt in het algemeen wel begroeiing voor.

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

³⁾ Waterbouwwasfaltbeton wordt niet onder gemiddeld hoogwater toegepast.

⁴⁾ 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 voor 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 een 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 mate van ruwheid, watervasthoudend vermogen, 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.



Figuur 6.6 Zeeseem en Lamsoor tussen Strandweeek op een bekleding van open steenafalt te Tholen (Foto: WS-Tholen)

6.9.2 Locatiegebonden criteria

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 expositie, 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 expositie 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.

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.

Bij zeedijken in de nabijheid van strand en duinen leidt sedimentatie door wind tot de vorming van (mini-)duinen, die over het algemeen spontaan begroeid raken.

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.

Onder de tijzone (permanent natte zone)

In deze zone zijn zout, brak of zoet water, bodemsamenstelling, stroming, zand-transport 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 expositie 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 spelen de volgende 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 sediment afzetting 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 6.7 Begroeide oever met open steenasfalt langs de Maas bij Bokhoven- 1995
(Foto: Oranjewoud)

6.9.3 Maatregelen om de begroeibaarheid te bevorderen

Het is soms mogelijk om het aanzicht en de begroeiing van de 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 6.8). 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.



Figuur 6.8 Zandsuppletie met helm beplant op het binnentalud van de Veersedam - 2000 (Foto: NPC)

Instrooien van een 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 plantenwortels kunnen door de open structuur van het open steenasfalt tot in de bekleding doordringen en zich als het ware verankeren in de bekleding.

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 [Van Berchum, 2000] is gebleken dat vegetatie beter aan de stenen hecht dan aan het gietasfalt (figuur 6.9). Door de breuksteen zodanig te penetreren dat de koppen schoon blijven ontstaat een bekleding met betere begroeiingsmogelijkheden.

Door de taludhelling 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 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.



Figuur 6.9 Oude gietasfaltpenetratie met begroeiing - Grevelingendam - 1996

6.10 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 gegoooid 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.

7.1 **Ontwerphilosofie**

In de ontwikkeling die de TAW heeft gekozen is een overgang voorzien van een deterministische naar een probabilistische ontwerpbenadering. Doel hiervan is om te komen tot een uniforme beoordelingswijze voor alle waterkeringen in Nederland. Bij de deterministische ontwerpbenadering wordt elk dijkvak van een waterkering zodanig ontworpen dat deze de ontwerpbelastingen kan weerstaan. Het is echter niet nauwkeurig aan te geven hoe groot de kans op inundatie is. Bij een probabilistische ontwerpbenadering dient te worden bepaald hoe groot de kans is dat de waterkering ergens in de dijkkring faalt of bezwijkt. Deze inundatierisicobenadering is vanuit maatschappelijk oogpunt gewenst omdat dit de enige manier is om aan te geven welke risico's mensen en goederen lopen in verband met overstromingsgevaar.

Een inundatierisicobenadering vraagt heel andere rekentechnieken dan de technieken die tot nu toe werden gebruikt. Er moet inzicht zijn in de kans op bezwijken van elk onderdeel van de constructie en de invloed die de constructieonderdelen op elkaar hebben. Voor meer informatie wordt verwezen naar Grondslagen voor Waterkeren [TAW, 1998-a] en de Leidraad Zee- en Meerdijken [TAW, 1999-b].

Probabilistische ontwerpmethoden zijn nog in ontwikkeling. In de dagelijks ontwerppraktijk wordt meestal gebruik gemaakt van deterministische ontwerpmethoden. In onder andere Kansen in de Civiele Techniek [CUR, 1997] is aangegeven op welke wijze probabilistische rekentechnieken in het ontwerpproces kunnen worden ingezet. In dit hoofdstuk zijn alleen deterministische ontwerpmethoden opgenomen.

7.2 **Ontwerpaspecten constructies**

7.2.1 **Algemeen**

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.

Met de ontwerpregels zoals aangegeven in de paragrafen 7.3 tot en met 7.9 wordt de laagdikte bepaald die nodig is om de optredende belastingen te weerstaan.

De belangrijkste optredende hydraulische belastingen zijn:

- *Wateroverdrukken onder een dichte bekleding.*

Als de grondwaterstand in een dijklichaam hoger is dan de buitenwaterstand, is er sprake van een wateroverdruk onder de bekleding. Dit ontstaat als de buitenwaterstand direct na het optreden van een hoogwater snel daalt en de grondwaterstand vertraagd volgt.

- *Golfklappen.*

Een golf die op het talud breekt veroorzaakt een golfklap. Door de golfklap buigt de bekleding en ontstaan er trekspanningen onderin het asfalt.

- *Stroming.*

Ten gevolge van stroming kunnen schuifspanningen in de bekleding ontstaan. Een stromingsbelasting kan worden veroorzaakt door langsstroming, golfloop en -terugloop en lokaal bij bijzondere constructies zoals uitwaterings-sluizen en lozingspijpen.

Daarnaast kunnen andere relevante mechanismen optreden zoals ontgrondingen, ijsbelasting en verkeer.

In tabel 7.1 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. Zie hiervoor tabel 6.2.

Tabel 7.1 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

Naast de laagdikte zijn bij het ontwerp andere aspecten van belang zoals de taludhelling en het niveau van de boven- en onderbeëindiging van de bekleding. Hier wordt in de paragrafen 7.2.2 tot en met 7.2.5 nader ingegaan. In paragraaf 7.2.2 worden de ontwerpaspecten met betrekking tot taludbekledingen zoals dijkbekledingen en duinvoetverdedigingen behandeld. In de paragrafen 7.2.3 tot en met 7.2.5 komen de ontwerpaspecten van respectievelijk teenbeschermingen, vooroeververdedigingen en filterconstructies aan bod.

In paragraaf 7.10 wordt ingegaan op het ontwerp van aansluitings- en overgangsconstructies. In paragraaf 7.11 wordt het wapenen van asfaltbekledingen behandeld.

7.2.2 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. Dit is afhankelijk van de zones waarin de bekleding zich bevindt (zie paragraaf 5.6). 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 asfaltmengsel. In tabel 7.2 zijn de minimale laagdikten voor verschillende asfaltsoorten gegeven die als taludbekleding kunnen worden toegepast.

Tabel 7.2 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.

Toelichting:

De minimale aanlegdikte is met name afhankelijk van de toegepaste steendiameter in het asfaltmengsel en de ondergrond waarop de bekleding wordt aangelegd. Om een homogene laag te verkrijgen dient de bekleding minimaal enkele steenlagen dik te zijn. Op een ondergrond van zand kan een bekleding worden aangelegd met minder variatie in de laagdikte dan op klei. Hierdoor kan de minimale laagdikte van een bekleding op zand minder zijn.

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 stormvloed 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 [TAW, 1995-b] wordt nader ingegaan op het ontwerpen van een onderbeëindiging van een duinvoetverdediging. Het ontwerp van een teenconstructie wordt in paragraaf 7.10 behandeld. Door middel van een teenbescherming kan eveneens worden voorkomen dat een ontgrondingskuil de teen van de constructie bereikt. Zie hiervoor paragraaf 7.2.3.

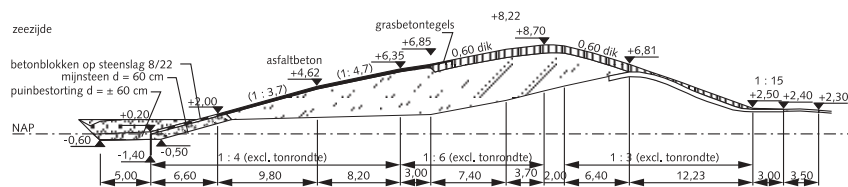
Een bekleding van waterbouwasfaltbeton wordt alleen boven gemiddeld hoogwater aangelegd omdat verwerking in de tijzone problematisch is. Daarom zal een asfaltbetonbekleding normaal gesproken aan de onderzijde op een andere bekleding aansluiten zoals open steenasfalt, (gepenetreerde) breuksteen of een 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 paragraaf 7.10 en het Handboek voor de dimensionering van gezette taludbekledingen [CUR, 1992-a].

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_g. 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 figuur 7.1 is de doorsnede weergegeven van de taludbekleding van de Emmapolder zeedijk.



Figuur 7.1 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 ontgroningen af. In het Basisrapport Zandige kust [TAW, 1995-b] 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 publicatie 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 tabel 5.2 in paragraaf 5.7 (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

Waterbouw-asfaltbeton 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 waterbouw-asfaltbeton 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 dijkmateriaal 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 aangelegd.
- 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 op een asfaltbekleding reduceert. De grootte van de golfklap is namelijk afhankelijk van de taludhelling. Een stormvloedberm kan tevens worden benut als onderhoudsweg.

Meer informatie is opgenomen in de Leidraad Zee- en Meerdijken [TAW, 1999-b] en in het Technisch rapport Golfoploop en Golfoverslag [TAW, 1998-b].

7.2.3 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 paragraaf 7.3.
- Overdrukken door stromend water. Dit mechanisme wordt behandeld in paragraaf 7.5.
- Overdrukken door golfbeweging. Dit mechanisme wordt behandeld in paragraaf 7.6.

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

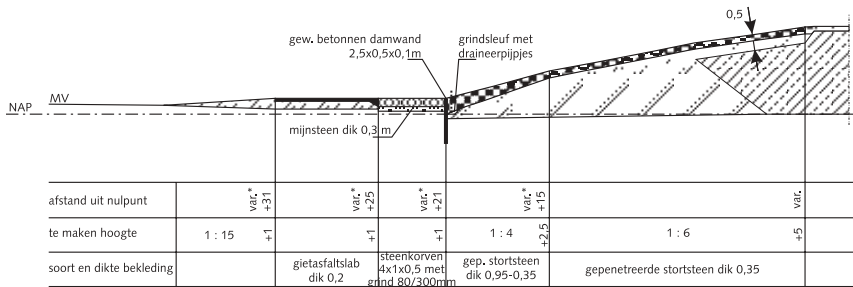
Lengte van de teenbescherming

De lengte van de teenbescherming bepaalt de weerstand van de constructie tegen ontgrondingen. In paragraaf 7.7 is aangegeven hoe de benodigde lengte van de teenbescherming wordt bepaald.

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 tabel 5.2 in paragraaf 5.7).

In figuur 7.2 is de teenbescherming van de Brouwersdam weergegeven.



Figuur 7.2 Teenbescherming van de Brouwersdam

7.2.4 Ontwerpaspecten vooroeverdediging

Bij het ontwerp van een vooroeverdediging moet onderscheid worden gemaakt tussen de toepassing bij rivieren en meren enerzijds en de toepassing langs de

zeekust (offshore golfbrekers) anderzijds. Het doel en de functies van de vooroeververdediging zijn bij rivieren en meren anders dan bij de zeekust. Dit beïnvloedt het ontwerp (Zie hiervoor paragraaf 3.5).

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 [Van der Meer, 1991] 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 er voor worden gezorgd dat de golfreductie ter plaatse van deze verlaging of opening niet te klein wordt.

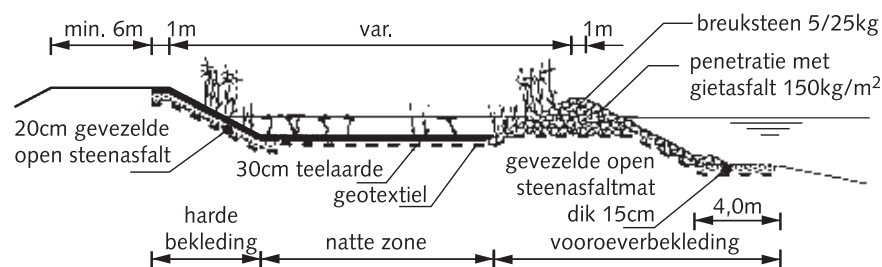
In het CUR-rapport *Natuurvriendelijke Oevers* [CUR, 1999] wordt nader ingegaan op het ontwerp van een vooroeververdediging bij rivieren en meren.

Voor het ontwerp van een vooroeververdediging langs de *zeekust* 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 van belang:

- 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 [TAW, 1995-b] wordt dieper ingegaan op ontwerp van een vooroeververdediging langs de zandige kust.

Als voorbeeld is in figuur 7.3 een doorsnede weergegeven van een vooroeververdediging.



Figuur 7.3 Voorbeeld van een vooroeververdediging (CUR, 1995-d)

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 wat als voordeel heeft dat het erosiebestendiger is dan de genoemde materialen. Indien nodig kan zandasfalt worden bekleed met bijvoorbeeld open steenasfalt.

7.2.5 Ontwerpaspecten filterconstructie

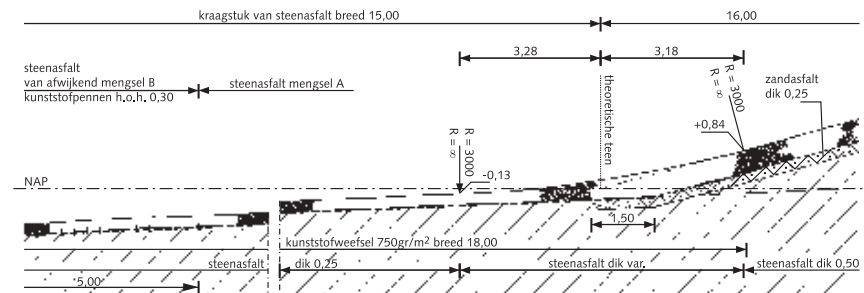
Een filter van zandasfalt kan worden aangelegd onder een open bekleding zoals open steenasfalt en een gezette steenbekleding. Onder een gezette steenbekleding wordt zandasfalt zelden toegepast vanwege de hoge kosten ten opzichte van een granulair filter. Als er geen klei in het beloop aanwezig is, kan 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. De stabiliteit van de steenbekleding kan worden bepaald met figuur 104 (ingeklemde stenen op zand) of figuur 109 (geschakelde stenen op zand) uit het Handboek voor de dimensionering van gezette taludbekledingen [CUR, 1992-a].

Als de filterconstructie een bepaalde (rest)sterkte moet hebben kan deze als volgt worden gedimensioneerd: met driepunts-buigproeven worden de vermoeiingsparameters (zie figuur 2.7) 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 7.14. Geadviseerd wordt zandasfalt in een laagdikte van minimaal 0,10 meter aan te leggen.

In figuur 7.4 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 7.4 Detail van de filterconstructie van de Havendam bij Bouwput Schaar

7.3 Dimensioneren op wateroverdrukken

7.3.1 Algemeen

Wateroverdrukken onder een gesloten bekleding kunnen ontstaan ten gevolge van:

- 1) golven en deining
- 2) langdurige waterstandsverschillen in en buiten het grondlichaam.

Ad. 1) 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 asfalt hierop niet te worden gedimensioneerd.

Ad. 2) Wel relevant zijn de wateroverdrukken ten gevolge van waterstandsverschillen. Als de grondwaterstand in een dijklichaam onder een gesloten bekleding de buitenwaterstand niet volgen kan 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. Een gesloten bekleding moet zodanig zijn ontworpen dat deze niet zal bezwijken ten gevolge van wateroverdrukken. De te hanteren dimensioneringsregels uit de rapporten Dimensioneren van een gesloten dijkbekleding op wateroverdrukken [De Loeff, 1996-a] en Dimensioneren op wateroverdrukken [De Loeff, 1999-a] zijn in de onderstaande paragrafen opgenomen. In bijlage 4 zijn enkele achtergronden bij de rekenregels 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.

7.3.2 Doorlatendheid van de ondergrond

De hier opgenomen ontwerpmethode levert veilige laagdikten op bij doorlatendheden van het dijklichaam en de 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 [De Loeff, 1999-a].

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.

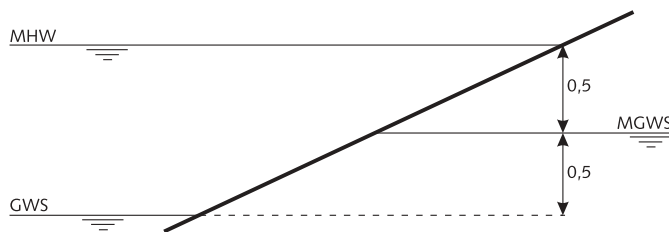
Bij hogere doorlatendheden, bijvoorbeeld ten gevolge van een doorlatende mijnsteenkade onder de bekleding, kan de optredende wateroverdruk groter zijn. In dit geval dient de maximale overdruk onder de bekleding te worden bepaald met een niet-stationair grondwaterstromingsprogramma. Hierbij moet tevens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

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.

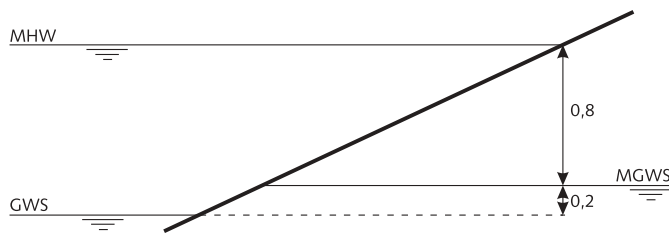
7.3.3 Bepaling van de maatgevende waterstanden

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

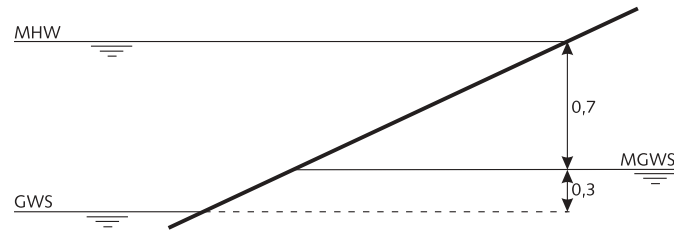
er een wateroverdruk onder de bekleding. De grootte van de wateroverdruk is onder meer afhankelijk van het waterstandsverloop, de doorlatendheid van het dijklichaam en de ondergrond en de mate waarin het grondwater kan afstromen. Hoe groter het verschil is tussen de grondwaterstand en de buitenwaterstand, 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 grondwaterstand wordt voor zee-, rivier- en meerdijken anders ingeschat omdat het verloop van het hoogwater bij elk van de dijktypen anders is. Een veilige inschatting van de grondwaterstand in het dijklichaam kan worden gemaakt zoals aangegeven in de figuren 7.5 tot en met 7.7.



Figuur 7.5 Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij zeedijken



Figuur 7.6 Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij meerdijken



Figuur 7.7 Niveau van de maatgevende grondwaterstand bij rivierdijken

In de figuren is:

GWS gemiddelde waterstand. Voor zeedijken is de gemiddelde waterstand bij benadering 0 m + NAP, voor rivierdijken wordt het winterpeil aangehouden en voor meerdijken het winterstreefpeil.

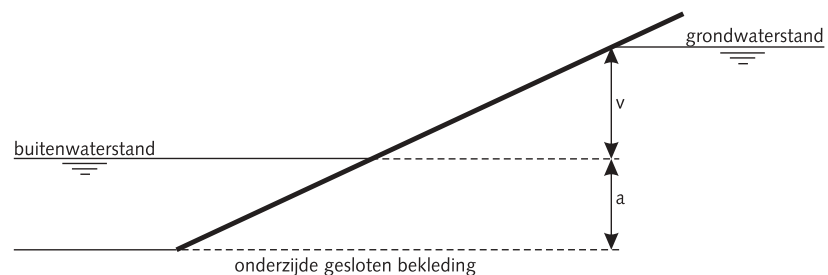
MGWS maatgevende grondwaterstand

MHW maatgevend hoogwater

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 7.8.

Als de bekleding aansluit op een gesloten teenbescherming of een damwand moet de invloed hiervan worden verdisconteerd zoals aangegeven in paragraaf 7.3.5.



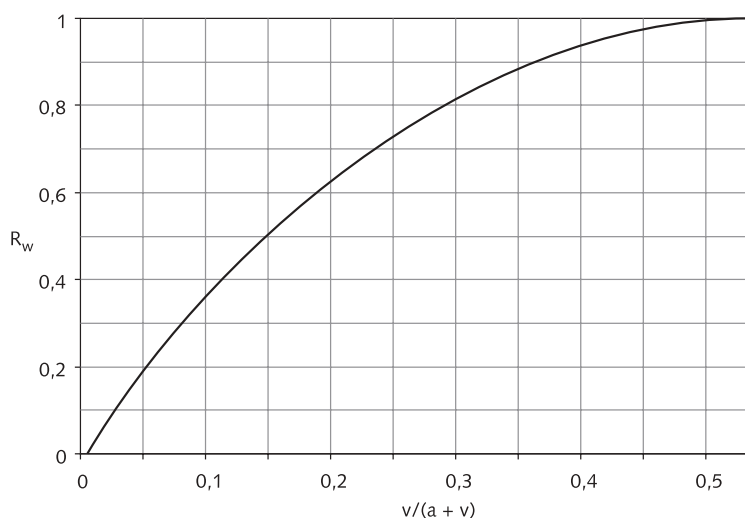
Figuur 7.8 Relevante parameters voor het bepalen van de maatgevende buitenwaterstand

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]

Theoretisch treedt de grootste wateroverdruk op in de situatie waarbij $a = 47\%$ en $v = 53\%$ van $(a + v)$. Op dit niveau wordt de maatgevende buitenwaterstand vastgelegd.

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 7.9.



Figuur 7.9 De reductiefactor R_w

7.3.4 Bepaling van de benodigde laagdikte

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

$$d = 0,21 \cdot Q_n \cdot (a + v) \cdot \left[\frac{\rho_w}{\rho_a \cdot \rho_w} \right] \cdot R_w \quad (1)$$

Hierin is:

- d benodigde laagdikte [m]
- Q_n factor, afhankelijk van de taludhelling [-]
- ρ_w dichtheid water [kg/m³]
- ρ_a dichtheid bekleding [kg/m³]
- R_w reductiefactor in verband met de ligging van de buitenwaterstand, zie paragraaf 7.3.3 [-]

De dichtheden van de verschillende waterdichte asfaltsoorten zijn opgenomen in tabel 7.3.

Tabel 7.3 Dichtheden van de verschillende asfaltsoorten

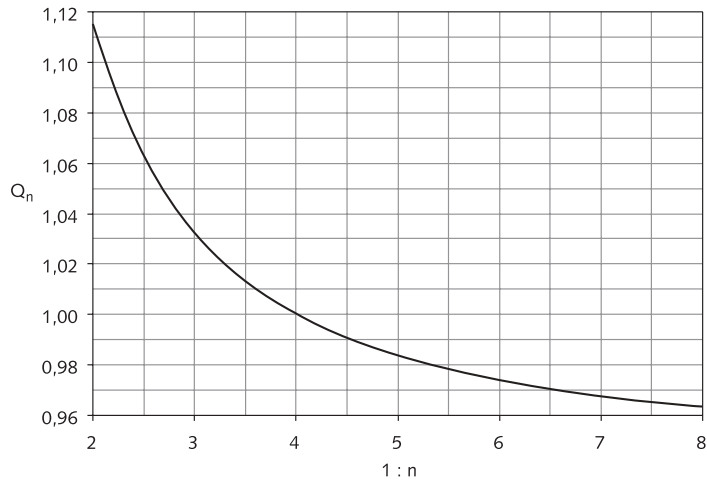
asfaltsoort	dichtheid bekleding [kg/m ³]
waterbouwasfaltbeton	2300
gietasfalt	2150
asfaltmastiek	2000
vol en zat geopenetreerde breuksteen	2450

Toelichting:

De genoemde dichtheden van de asfaltsoorten zijn (veilige) gemiddelde waarden voor mengsels uit de Standaard 2000. Een hoger bitumenpercentage of een hogere holle ruimte resulteert in een lagere dichtheid. In bijlage 1, paragraaf 2.4 is meer informatie opgenomen over de dichtheid van de verschillende asfaltsoorten.

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 .

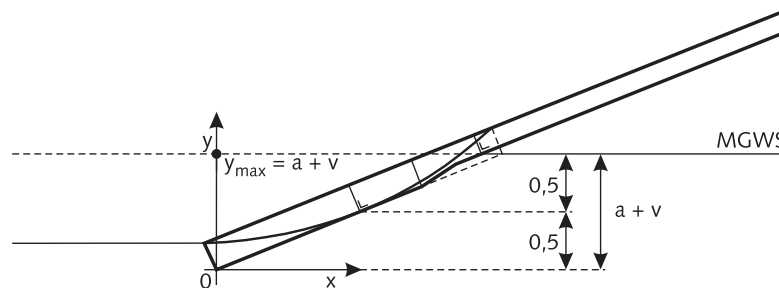
Voor het bepalen van de factor Q_n kan figuur 7.10 worden gebruikt:



Figuur 7.10 De factor Q_n

De zone waarin wateroverdrukken kunnen optreden is de zone tussen de maatgevende grondwaterstand in het dijklichaam en de onderkant van de gesloten bekleding. De wateroverdruk onder de bekleding is maximaal ter plaatse van de buitenwaterstand. Het is niet noodzakelijk dat deze asfaltdikte in de hele zone aanwezig is. Aan de onderkant 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.

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 onderkant van de asfaltbekleding, waarbij het maximum $a + v$ ligt ter hoogte van de maatgevende grondwaterstand. Dit is weergegeven in figuur 7.11.



Figuur 7.11 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 onderkant van de bekleding, in plaats van $0,47 \cdot (a + v)$.

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

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

Hierin is:

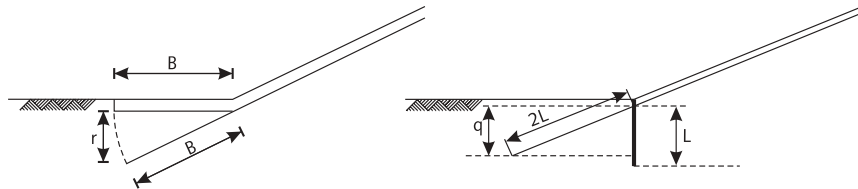
- $d(y)$ de benodigde laagdikte op y meter van de onderkant van de gesloten bekleding [m]
- d_{\max} de maximaal benodigde laagdikte zoals bepaald in paragraaf 7.3.4 [m]
- y de verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot het beschouwde punt [m]
- a de verticaal gemeten afstand 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]

In bijlage 5 zijn enkele rekenvoorbeelden over het dimensioneren en toetsen op wateroverdrukken opgenomen.

7.3.5 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 teenbescherming of een damwand het afstromen bemoeilijkt. Als er een gesloten teenbescherming of damwand aanwezig is moet de invloed hiervan worden meegenomen bij het bepalen van de benodigde laagdikte. Hiervoor wordt $(a + v)$ in formule (1) en (2) herschreven tot $(a + r + v)$

danwel ($a + q + v$). Voor een gesloten teenbescherming wordt gerekend met de waarde r en voor een damwand met de waarde q zoals aangegeven in figuur 7.12.



Figuur 7.12 Invloed van een gesloten teenbescherming en van een damwand

De aanwezigheid van een damwand of een gesloten teenbescherming beïnvloedt ook de ligging van de maatgevende buitenwaterstand omdat de fictieve onderkant van de bekleding op een ander niveau komt te liggen. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.3.3.

7.4 Dimensioneren op golfklappen

7.4.1 Inleiding

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 iedere plaats gelijk. Alleen het gedeelte dat werkelijk wordt belast door golfklappen moet hierop worden gedimensioneerd.

7.4.2 Plaatbekleding

De asfalttypen waterbouwasfaltbeton, open steenasfalt en “vol en zat” gepene- treerde breuksteen kunnen worden beschouwd als een 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.

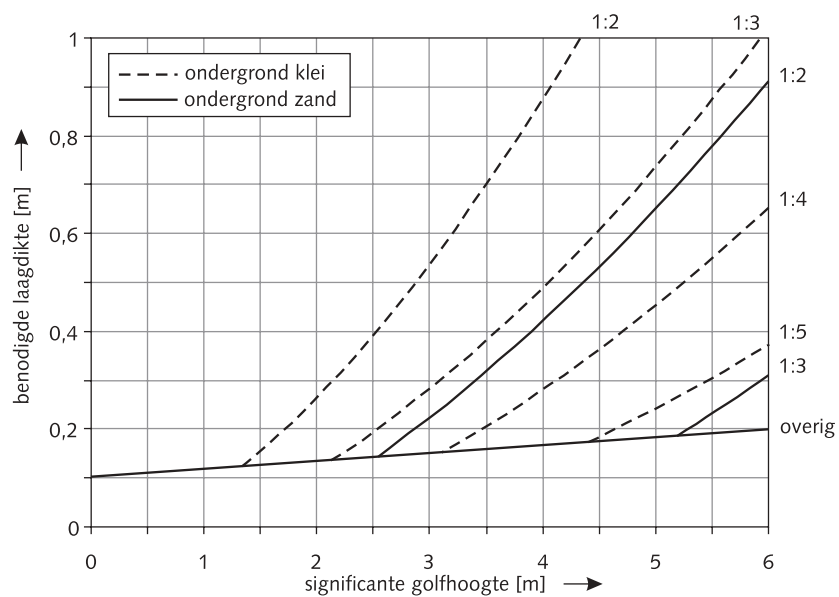
De benodigde laagdikte bij dimensioneren op golfklappen wordt bepaald met de grafiek uit figuren 7.13 (waterbouwasfaltbeton), 7.14 (open steenasfalt) en 7.15 (vol-en-zat gepenetreerde breuksteen). De grafieken zijn opgesteld op grond van berekeningen met het computermodel GOLFKLAP (zie bijlage 6). De grafieken zijn opgesteld op basis van veilige aannamen.

In de grafiek wordt onderscheid gemaakt tussen een ondergrond van klei en een

ondergrond van zand. Voor zand is bij het opstellen van de grafiek een beddingsconstante gehanteerd van 100 MPa/m. Deze waarde is geldig voor een goed verdicht zandpakket met een verdichtingsgraad van circa 95% van de maximum proctordichtheid. Voor klei is een beddingsconstante van 30 MPa/m aangehouden. In verreweg de meeste gevallen zal dit een veilige aanname zijn.

Bij het opstellen van de grafieken in figuur 7.13, 7.14 en 7.15 is ervan uitgegaan dat de verblijftijd van de stilwaterlijn 17 uur is over een strook van 0,5 m. De aangenomen gemiddelde golfperiode is $T_g = 3,5H_s^{1/2}$. Dit zijn veilige aannames voor het ontwerp. Achtergronden van het gehanteerde model en uitgangspunten bij het opstellen van de grafieken zijn opgenomen in bijlage 6.

waterbouwasfaltbeton

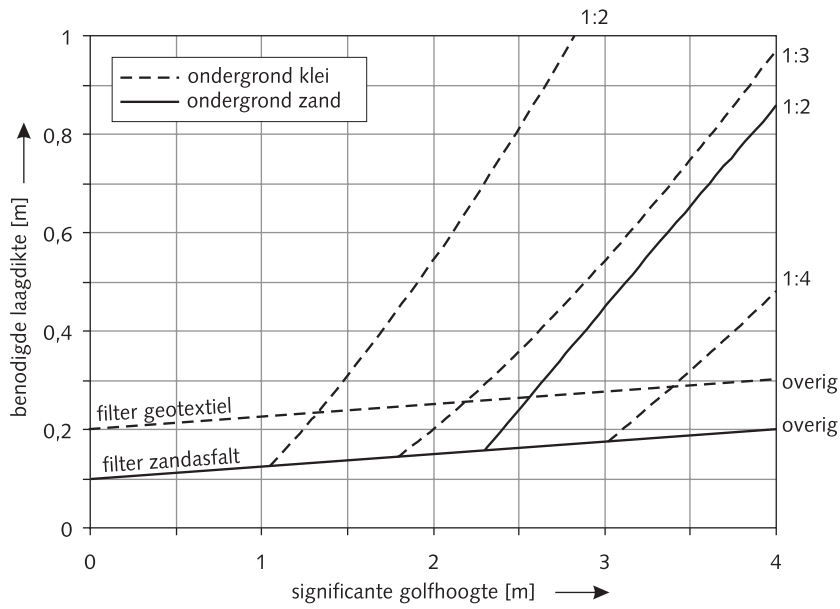


Figuur 7.13 Grafiek voor het ontwerpen van een waterbouwasfaltbeton bekleding op golfklappen

De gehanteerde parameters van het waterbouwasfaltbeton zijn:

E-modulus 10.000 MPa en vermoeiingsparameters $a = 4,2$ en $\log(k) = 4,9$.

open steenasfalt

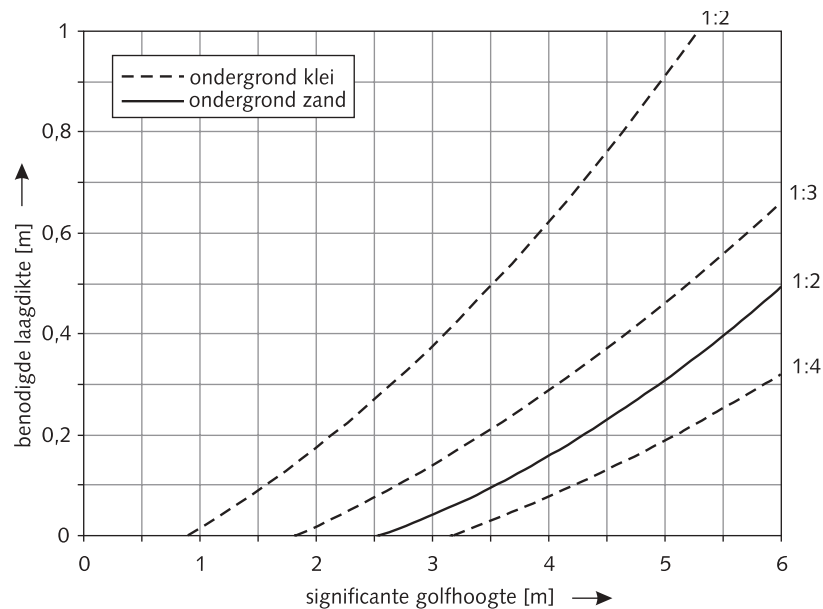


Figuur 7.14 Grafiek voor het ontwerpen van een open steenasfalt bekleding op golfklappen

De gehanteerde parameters van het open steenasfalt zijn:

E-modulus 1.000 MPa en vermoeiingsparameters $a = 2,5$ en $\log(k) = 2,8$.

vol en zat gepenetreerde breuksteen



Figuur 7.15 Grafiek voor het ontwerpen van een vol en zat gepenetreerde breuksteenbekleding op golfklappen

De gehanteerde parameters van vol-en-zat gepenetreerde breuksteen zijn: E-modulus 7.000 MPa en vermoeiingsparameters $a = 4,2$ en $\log(k) = 5,15$.

De minimaal benodigde laagdikte in de golfklapzone wordt daarnaast 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 deze bekledingssoort is de steensortering 5-40 kg voldoende zwaar.

Eventueel kan een steensortering 10-60 kg worden toegepast. De laagdikte wordt ongeveer (uitgaande van een soortelijk gewicht van 2650 kg/m^3):

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

Het toepassen van een steensortering groter dan 10-60 kg leidt ertoe dat het gietasfalt zonder mengselaanpassingen door de bekleding wegvloeit doordat de holle ruimten tussen de stenen te groot zijn. Dit kan worden beperkt 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 als penetratiemortel worden toegepast in plaats van gietasfalt.

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.

7.4.3 Gedeeltelijk gepenetreerde breuksteenbekledingen

Voor gedeeltelijk gepenetreerde breuksteen wordt in de praktijk de dimensioneringsmethode voor losse breuksteen gebruikt, echter in dit geval met een reductiefactor al naar gelang de mate van penetratie. De laagdikte wordt bepaald door de afmetingen van de breuksteen.

De volgende formule is de basis om de benodigde steendiameter uit te rekenen voor losse breuksteen [Pilarczyk, 1995]:

$$\frac{H_s}{\Delta_m D_{n50}} \leq \Psi_u \Phi_{sw} \frac{\cos(\alpha)}{\xi_{op}^b} \quad (3)$$

Hierin is

H_s significante golfhoogte [m]

Δ_m relatieve dichtheid stenen = $[\rho_s - \rho_w]/\rho_w$ [-]

ρ_s dichtheid stenen [kg/m³]

ρ_w dichtheid water [kg/m³]

D_{n50} nominale gemiddelde diameter van het bekledingsmateriaal = $[M_{50}/\rho_s]^{1/3}$ [m]

M_{50} massa van de steen die door 50% van de steen wordt overschreden [kg]

Ψ_u opwaarderingsfactor [-]

Φ_{sw} stabiliteitsparameter [-]

α hellingshoek van het talud [°]

ξ_{op} brekerparameter op basis van de piekperiode van de onregelmatige golven [-]

- b parameter die afhankelijk is van de interactie tussen golven en het bekledingstype [-]

met

$$\xi_{op} = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{L_{op}}}} \quad (4)$$

en

$$L_{op} = \frac{g T_p^2}{2 \pi} \quad (5)$$

waarin:

- L_{op} de golflengte op diep water op basis van de piekperiode [m]
 g de versnelling van de zwaartekracht [m/s²]

De formule is geldig voor taluds met een helling van 1:2 en flauwer en een brekerparameter kleiner of gelijk aan 3. Als de brekerparameter groter is dan 3 kunnen de afmetingen van de bekledingselementen worden bepaald door $\xi_{op} = 3$ aan te houden.

Voor de opwaarderingsfactor ψ_u kunnen de volgende waarden worden gehanteerd:
vastleggen van steen: $\psi_u = 1,05$ bij vulling van de holle ruimte van de bekleding van circa 30%.

patroonpenetratie: $\psi_u = 1,5$ bij een vulling van de holle ruimte van circa 60%.
 Bij een smalle (homogene) sortering van de breuksteen en een goed toezicht bij de uitvoering kan $\psi_u = 2,0$ worden toegepast.

Een gebruikelijke waarde voor de stabiliteitsparameter Φ_{sw} is 2,25 voor een breuksteenbekleding op een relatief ondoorlatende ondergrond (zand of klei). Afhankelijk van het aantal golven en de vereiste veiligheid kunnen voor Φ_{sw} hogere of lagere waarden worden aangehouden. Hiervoor wordt verwezen naar bijlage 7.

De parameter b is afhankelijk van de interactie tussen golven en het bekledingstype. Voor doorlatende bekledingen met een open structuur zoals losse breuksteen en breuksteen met patroonpenetratie geldt $b = 0,5$. Voor gladde en minder doorlatende bekledingen zoals een gezette steenbekleding geldt bij benadering $b = 1$. Voor een breuksteenbekleding met oppervlaktepenetratie is $b = 2/3$ een gebruikelijke waarde.



Figuur 7.16 Breuksteenbekleding met patroonpenetratie van gietasfalt - Megget Dam in Schotland (Foto: Bitumarin)

Met in patroon gepenetreerde bekledingen zijn goede ervaringen opgedaan bij een significante golfhoogte tot 3 à 4 m. [Woestenenk, 1977].

In bijlage 7 wordt nader ingegaan op het dimensioneren van gedeeltelijk gepenetreerde breuksteenbekledingen.

7.5 Dimensioneren op stroming

7.5.1 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 bijvoorbeeld de *Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering* [CUR, 1995-a].

Open steenasfalt

Open steenasfalt is goed bestand tegen stroomsnelheden tot 6 m/s [TAW, 1984]. 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 laten dat tijdens een storm op het talud kan terecht 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 mastieklaag 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, dan kan stromend water de niet aansluitende laag optillen en zelfs doen opbreken.

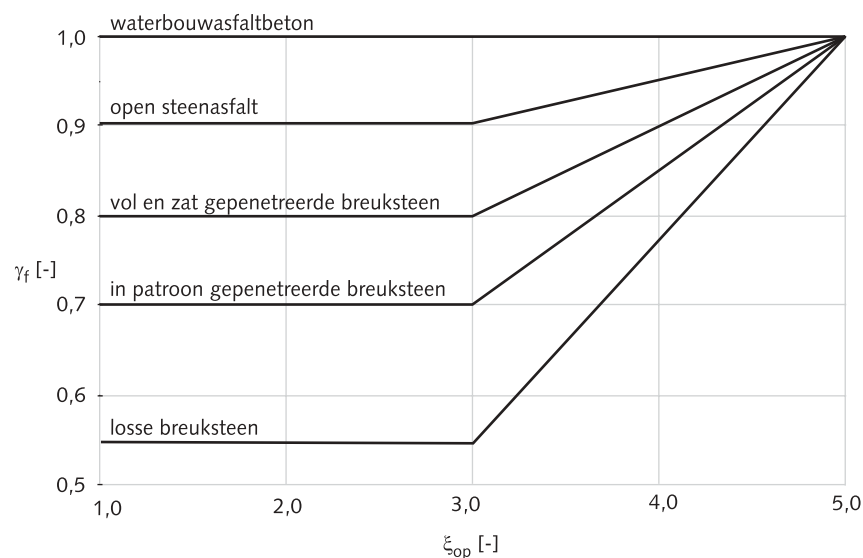
Zandasfalt

Indicatieve stromingsproeven hebben aangetoond dat zandasfalt bestand is

tegen langdurig optredende stroming tot 3 m/s [TAW, 1984]. 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.

7.5.2 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 [TAW, 1998-b] 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 7.17 kan de reductiefactor (γ_f) voor de verschillende asfalt dijkbekledingen worden bepaald afhankelijk van de brekerparameter (ξ_{op}).



Figuur 7.17 Reductiefactoren γ_f voor verschillende bekledingen

De genoemde reductiefactoren zijn geldig als de bekleding tenminste in het gebied tussen $0,25 z_{2\%}$, glad onder en $0,5 z_{2\%}$, glad boven de stilwaterlijn aanwezig is. Hierbij is $z_{2\%}$, glad de golfoploop op een glad talud. Voor meer informatie wordt verwezen naar het Technisch Rapport Golfoploop en golfoverslag [TAW, 1998-b].

7.6 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 [TAW, 1984]:

$$d \leq \frac{\rho_w}{\rho_a} \frac{H}{2} \quad (l_b < L) \quad (6)$$

In deze formule is:

- d dikte van de bodembescherming [m]
- ρ_w dichtheid van water [kg/m³]
- ρ_a dichtheid van het bodembeschermingsmateriaal [kg/m³]
- 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 [TAW, 1984] 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 [TAW, 1984] uitgewerkte rekenvoorbeeld is te zien dat het dempend effect van de grondwaterbeweging zeer groot is.

7.7 Dimensioneren op ontgrondingen

Indien een ontgroning van de vooroever de teen van de dijk bereikt dan zal dit tot aanzienlijke schade of zelfs bezwijken van de dijk kunnen leiden. Daarom worden vaak teenbeschermingen aangelegd, bijvoorbeeld een asfaltslab.

Asfalt kan, door zijn viskeus gedrag, tot op zekere hoogte ontgrondingen goed volgen. Het materiaal wordt dan ook vaak toegepast in bodembeschermingen. Geschikte asfaltsoorten hiervoor zijn asfaltmastiek 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 [TAW, 1984].

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 paragraaf 7.11).

Ook is er wel bezwijken geconstateerd bij een slab liggende 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 7.18 Asfaltmastiexslab als bescherming van de teen van de dijk tegen ontgronding - Veersedam

Scheurvorming kan tot gevolg hebben dat er zand van onder de slab verdwijnt, zodat de ontgronding 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:

$$l_s = y_{m,e} (4 + \cotg \alpha) \quad \text{waarbij} \rightarrow l_s > \frac{1}{3} L_p \quad (7)$$

waarin:

- l_s lengte slab [m]
- $y_{m,e}$ evenwichtsdiepte ontgronding [m]
- α hellingshoek van het dijktalud [°]
- L_p golflengte op basis van T_p bij heersende waterdiepte [m]

De golflengte L_p kan als volgt worden benaderd:

$$L_p = \frac{g \cdot T_p^2}{2\pi} \sqrt{\tanh \left[\frac{4\pi^2 \cdot h}{g \cdot T_p^2} \right]} \quad (8)$$

waarin:

- g versnelling van de zwaartekracht [9,8 m/s²]
- T_p golfperiode bij de piek van het spectrum [s]
- h waterdiepte [m]

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (9)$$

Ontgrondingen 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 [SPM, 1984] 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 [Hoffmans, 1997] kan de maximale ontgrondingsdiepte voor een verticale kustverdediging als volgt worden bepaald:

$$y_{m,e} = H_s \sqrt{\frac{22,75h_t}{L} + 0,25} \quad (10)$$

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 ontgrondingen wordt verwezen naar de Scour Manual [Hoffmans, 1997].

Een praktische minimale dikte van een asfaltmastiexlab is 0,10 tot 0,15 m. Voor open steenasfalt is dit 3 maal de maximale steendiameter.

7.8 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, 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.

In figuur 7.19 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.



Figuur 7.19 Schade aan een asfaltbekleding door kruierend ijs - Houtribdijk

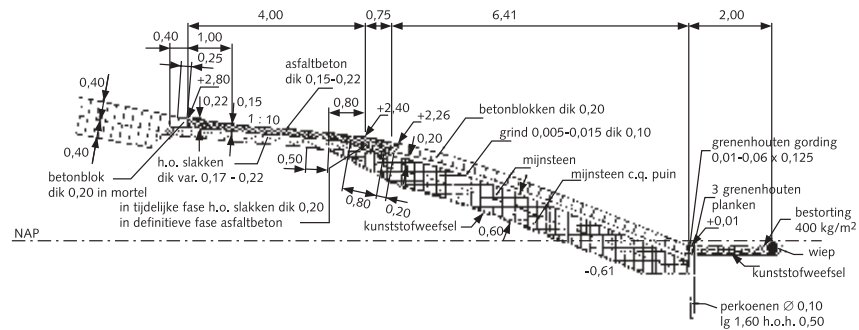
7.9 Dimensioneren op verkeersbelasting

Voor het bepalen van de laagdikte bij licht of incidenteel verkeer bestaan geen rekenmodellen. Alleen bij normale verkeersbelasting, zoals bij wegen, worden rekenmodellen uit de wegenbouw toegepast. Afhankelijk van de verkeersbelasting kunnen de volgende waarden worden aangehouden:

- Als de bekleding alleen wordt belast door voetgangers en fietsers bieden de in tabel 7.2 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 kunnen de volgende waarden worden aangehouden:
 - ondergrond zand: minimaal 0,15 m waterbouwasfaltbeton
 - ondergrond klei: minimaal 0,20 m waterbouwasfaltbeton
 - bij gebruik van open steenasfalt en zandasfalt worden 0,05 m dikkere lagen aanbevolen
- Als de bekleding fungeert als openbare weg en dus regelmatig wordt belast kan de benodigde laagdikte worden bepaald volgens de dimensioneringsmethoden voor asfaltwegen. Dit zijn de methoden op basis van de *Shell Pavement Design Manual (SPDM)* [Shell, 1978]. Ook zijn hier computerprogramma's voor.

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. 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.

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.



Figuur 7.20 Onderhoudsweg op de berm van een dijk op Ameland



Figuur 7.21 Aanleg onderhoudsweg op berm - Ameland - 1987

7.10 Ontwerp 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 in het algemeen zo min mogelijk worden toegepast. 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.

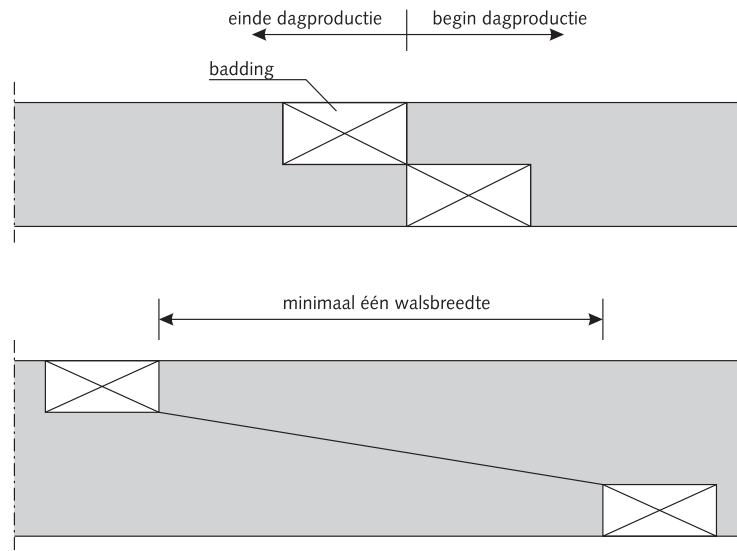
- *Sterkte*: De overgang moet ten minste even sterk zijn als de aanliggende bekledingen. Van belang hierbij is dat de overgang een degelijke hechting vormt.
- *Waterdoorlatendheid*: De waterdoorlatendheid van de toplaag ter plaatse van de overgang moet ten minste even groot zijn als de meest doorlatende 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 doorgaande verticale naden te voorkomen.
- *Flexibiliteit*: De overgang moet ten minste 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 dit geen aangrijpingspunt is voor kruiend ijs, drijvend vuil of golfaanval.
- *Duurzaamheid*: 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 moet worden 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.

7.10.1 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 7.22 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 aangestroken met asfaltkleefmiddel. Als de bekleding uit twee lagen is opgebouwd mogen de lassen niet boven elkaar liggen.



Figuur 7.22 Enkele mogelijke daglassen bij waterbouwasfaltbeton

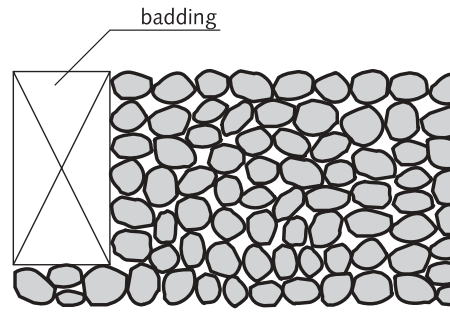
De baddingen worden toegepast om een goede verdichting te verkrijgen aan de randen. Bij aanvang van de nieuwe dagproductie worden de baddingen verwijderd.

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 7.23. Hier wordt de las verwarmd, aangestroken met asfaltkleefmiddel en geëgaliseerd. Een onderliggend filterdoek wordt met een overlap van minimaal 0,5 meter aangesloten op aanliggende filters.



Figuur 7.23 *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 7.24 *Met asfaltmastiek afgegoten duurzame aansluiting bij open steenasfalt*
(Foto: Bitumarin)

7.10.2 Overgang op andere bekledingen

Bij het aansluiten van een asfaltbekleding op een andere bekleding kunnen gemakkelijk spleten ter plaatse 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 ter plaatse 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.

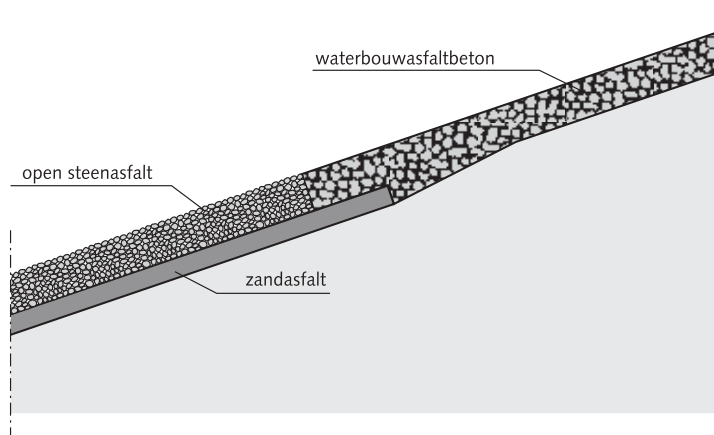
Aanbevolen wordt bij een overgang op een andere bekleding een verzwaring van de asfaltbekleding toe te passen zodat het verschil in dikte van de twee bekledingen glooiend met elkaar wordt verbonden. Bij het toepassen van een verzwaring moet extra aandacht worden besteed aan de verdichting van het asfalt.

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

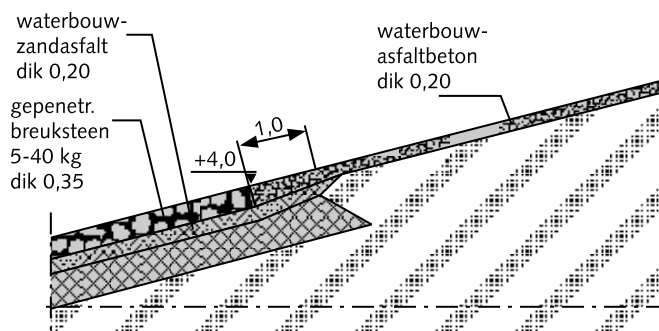
Een aansluiting van twee verschillende soorten asfaltbekleding wordt voorverwarmd of voorbereid met asfaltkleefmiddel om een goede hechting tussen de twee bekledingen te verkrijgen.

In figuur 7.25 is een voorbeeld gegeven van een overgang van een open steen-asfaltbekleding op waterbouwasfaltbeton. De onderlaag van zandasfalt wordt tot onder het asfaltbeton doorgetrokken zodat een doorgaande verticale naad wordt vermeden. De asfaltbetonbekleding is ter plaatse van de overgang verzwaard om het verschil in dikte glooiend op te vangen.



Figuur 7.25 Voorbeeld van een overgang tussen twee asfaltbekledingen

In figuur 7.26 is een detail van de overgangsconstructie gegeven van de bekleding van de Damaanzet Schouwen.

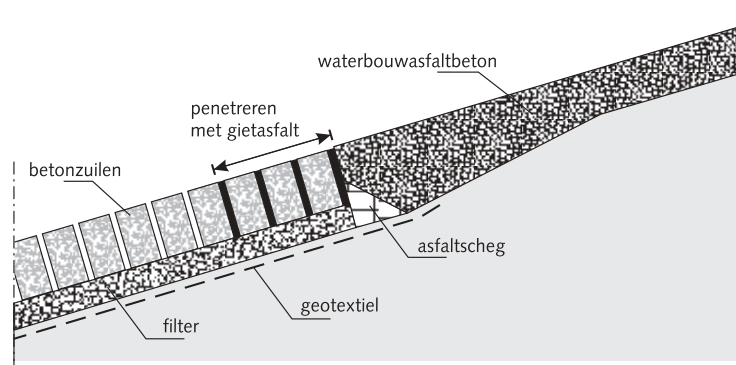


Figuur 7.26 Detail van de overgangsconstructie van vol-en-zat gepenetreerde breuksteen op asfaltbeton (Damaanzet Schouwen)

Overgang op een gezette steenbekleding

Bij een overgang van asfaltbeton op een zuilenbekleding is het aan te bevelen de bovenste rijen te penetreren met gietasfalt. In de bovenste zone van een gezette steenbekleding komen vaak losse elementen voor. De elementen worden daarom vastgelegd met de gietasfaltpenetratie. 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 verzaamd uitgevoerd. Direct na het plaatsen van de gezette steen-

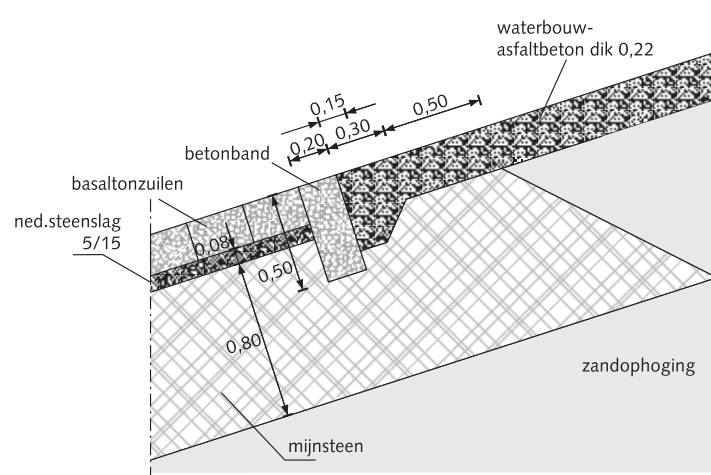
bekleding kan een asfaltscheg worden aangelegd om de bovenste rij elementen vast te leggen.



Figuur 7.27 Overgang van een asfaltbekleding naar een zuilenbekleding

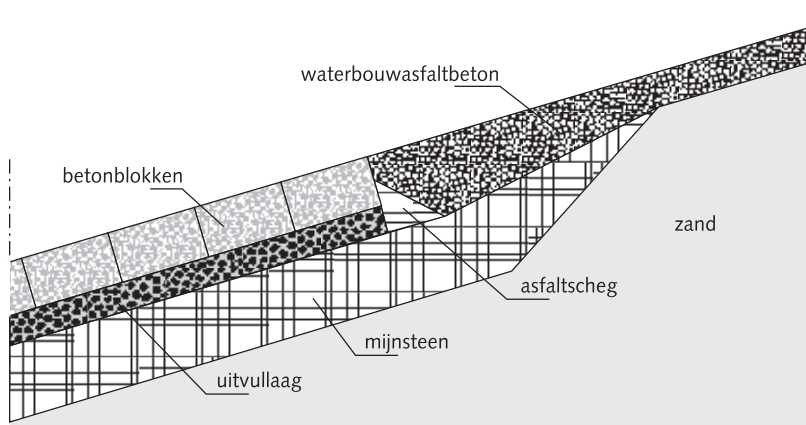
Bij een blokkenbekleding kunnen de bovenste rijen niet worden gepenetreerd met gietasfalt omdat de naden hiervoor niet breed genoeg zijn. Hierdoor kunnen veel losse blokken voorkomen. Om dit te voorkomen kunnen bovenin tapse blokken worden toegepast. Hiervan zijn de naden wel goed te penetreren. Ook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

In figuur 7.28 is een voorbeeld gegeven van een overgang van een asfaltbekleding op een gezette steenbekleding (Ommelanderzeedijk).

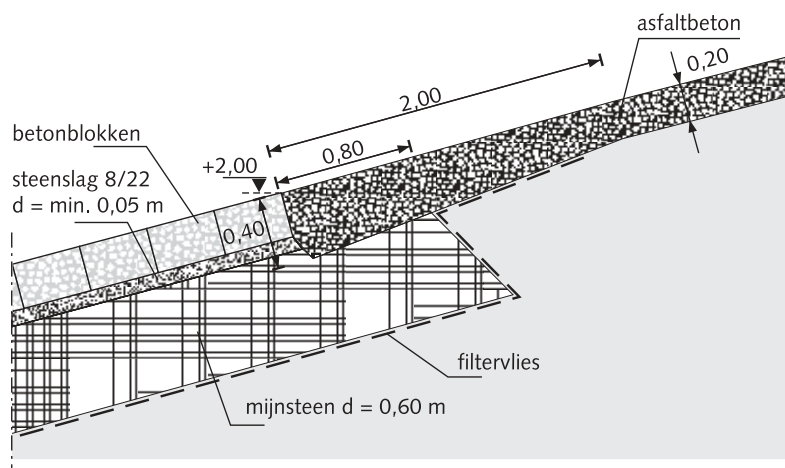


Figuur 7.28 Overgang van asfaltbekleding op gezette steenbekleding van de Ommelanderzeedijk

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 7.29 en 7.30. In figuur 7.29 is de mijnsteenlaag tot onder het asfaltbeton doorgetrokken om te voorkomen dat het onderliggende zand via de uitvullaag kan uitspoelen. In figuur 7.30 is een detail weergegeven van de aansluiting van asfalt op een blokkenbekleding bij de Emmapolder zeedijk.



Figuur 7.29 Voorbeeld van een overgang van een asfaltbetonbekleding naar een blokkenbekleding

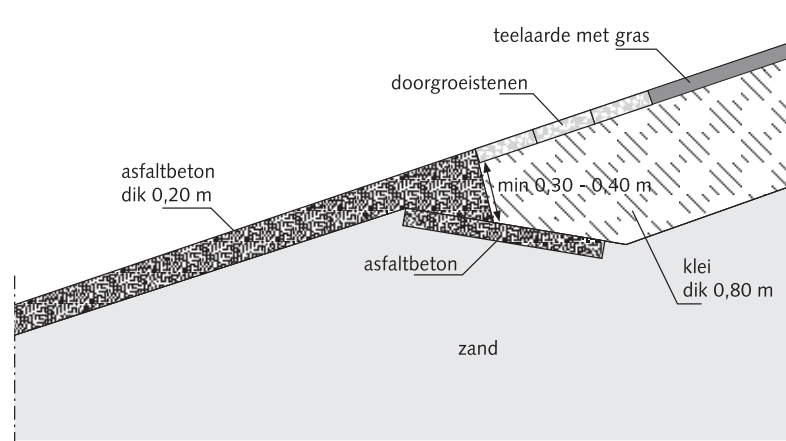


Figuur 7.30 Overgang van de asfaltbekleding op de blokkenbekleding van de Emmapolder zeedijk

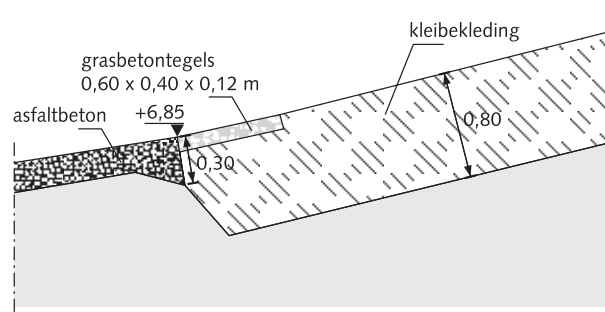
Overgang op een grasbekleding

Een aansluiting van een asfaltbekleding op klei kan worden uitgevoerd zoals aangegeven in figuur 7.31 en 7.32. In figuur 7.31 is een voorbeeld weergegeven (zeedijk te Texel). In figuur 7.32 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 cm.

Ter plaatse van de overgang kunnen doorgroeiblokken of een driedimensionale structuurmat zoals Enkamat worden toegepast om de grotere hydraulische belastingen te kunnen 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.



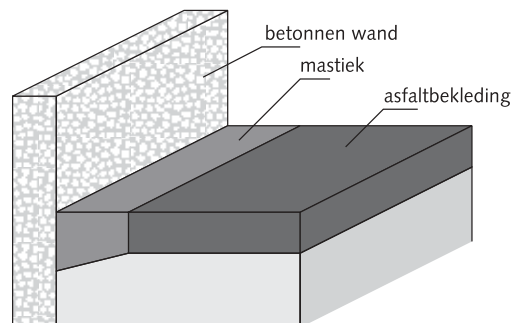
Figuur 7.31 Overgang van een asfaltbekleding op een grasbekleding



Figuur 7.32 Overgang van de asfaltbekleding op de grasbekleding van de Emmapolder zeedijk

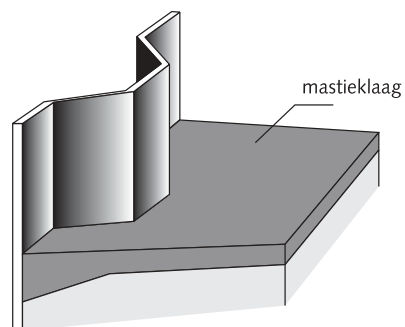
7.10.3 Aansluitingen op kunstwerken

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 het uitvoeren van een flexibele aansluiting wordt schade ten gevolge van zettingsverschillen voorkomen. Een voorbeeld van een flexibele aansluiting is weergegeven in figuur 7.33.



Figuur 7.33 Voorbeeld van een flexibele aansluiting

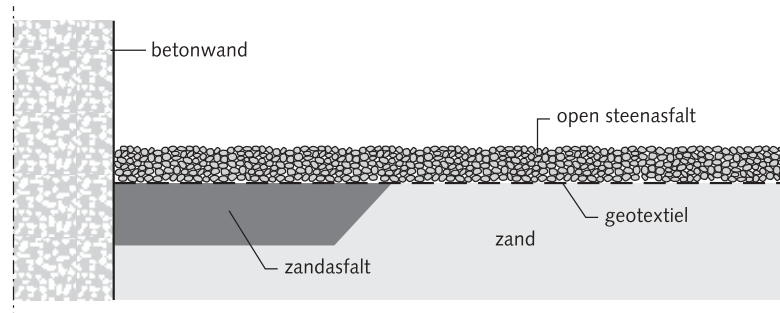
Een aansluiting van een asfaltmestieklaag op een constructie wordt verzaamd uitgevoerd. Dit is weergegeven in figuur 7.34.



Figuur 7.34 Aansluiting van een laag asfaltmestiek op een constructie

Een aansluiting van open steenasfalt op een constructie wordt verzaamd door een koffer van zandasfalt aan te brengen ter plaatse van de aansluiting.

De constructie wordt voorbehandeld met asfaltkleefmiddel. In figuur 7.35 is een voorbeeld gegeven.

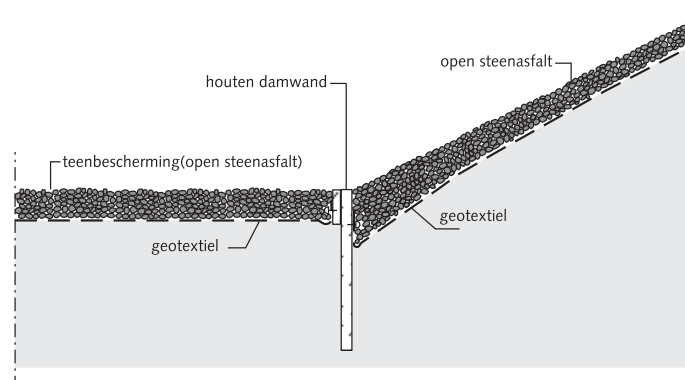


Figuur 7.35 Aansluiting van open steenasfalt op een constructie

7.10.4 Teenconstructies

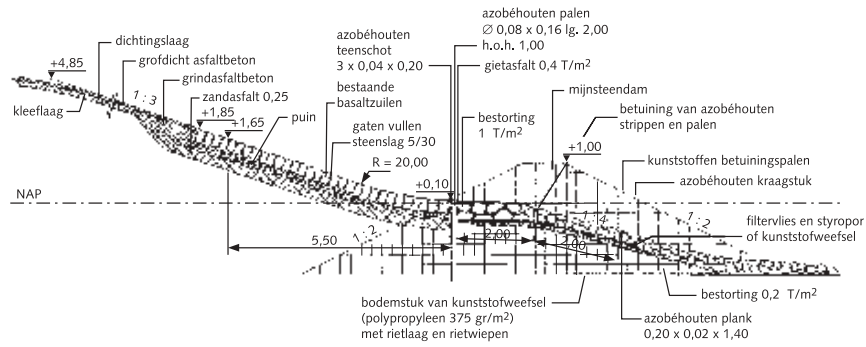
Een teenconstructie vormt doorgaans de overgang tussen de vooroever en de taludbekleding. Als de vooroever onder laagwater ligt wordt de teenconstructie doorgaans met een berm uitgevoerd.

Een teenconstructie kan star of flexibel en open of gesloten worden uitgevoerd. Een starre teenconstructie wordt verkregen door toepassen 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. 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 7.36 en 7.37 is een starre constructie weergegeven.



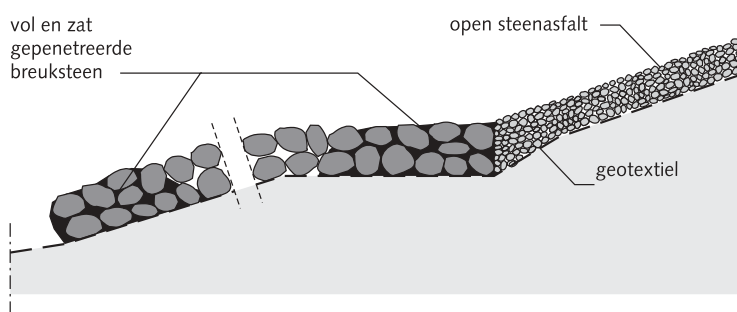
Figuur 7.36 Voorbeeld van een starre teenconstructie

7 Dimensionering

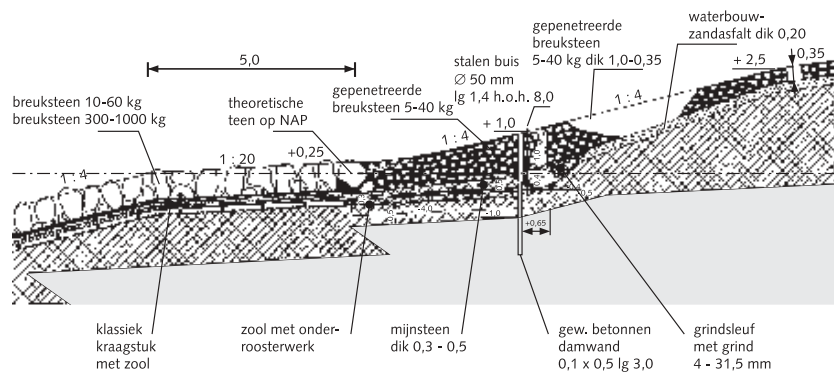


Figuur 7.37 Starre teenconstructie bij de Zeedijk Texel

Een flexibele constructie is goed in staat zettingsverschillen op te vangen. In figuur 7.38 en 7.39 is een voorbeeld van een flexibele teenconstructie weergegeven.

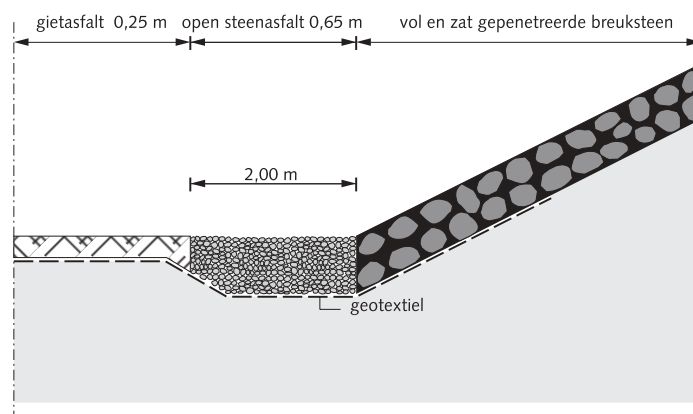


Figuur 7.38 Voorbeeld van een flexibele teenconstructie



Figuur 7.39 Flexibele teenconstructie bij Damaanzet Schouwen

Een open teenconstructie wordt aangelegd om de wateroverdrukken onder de bekleding en oeverbescherming te verminderen. Een gesloten teenconstructie wordt vaak verzwaard uitgevoerd om de grotere wateroverdruk onder de bekleding te kunnen weerstaan. In figuur 7.40 is een voorbeeld van een open teenconstructie weergegeven.



Figuur 7.40 Voorbeeld van een open teenconstructie

7.11 Wapenen van asfaltbekledingen

Inleiding

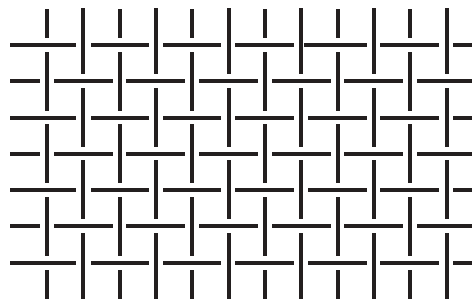
Asfalt is een materiaal dat een beperkt vermogen heeft om trekspanningen op te nemen. Te grote trekspanningen kunnen alleen tijdelijk worden opgenomen als de viskeuze vervorming van het asfalt deze spanningen voldoende snel doet afnemen. Is dit niet het geval dan zullen scheuren ontstaan en kan wapening van asfalt een uitkomst bieden.

In de waterbouw wordt over het algemeen geen wapening toegepast met uitzondering van transportwapening bij open steenasfalt. In de wegenbouw is wel de nodige ervaring opgedaan. De kennis uit deze sector kan worden gebruikt voor de toepassing bij waterkeringen.

Soorten wapening

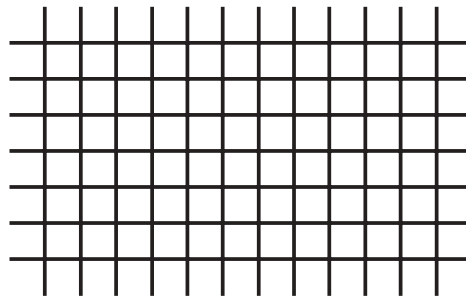
Er zijn verschillende soorten wapening te onderscheiden: weefsels, netten en roosters

- *Weefsels* (figuur 7.41) zijn vlechtwerken van draden, dradenbundels of banden. De eigenschappen kunnen sterk variëren, ook in beide hoofdrichtingen. Weefsels worden gemaakt van kunststoffen, metalen, glasvezel en van natuurlijke materialen als jutte, sisal, vlas en wol.



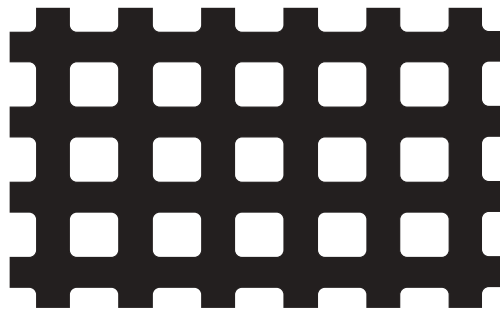
Figuur 7.41 Weefsel

- *Netten* (figuur 7.42) zijn vergelijkbaar met weefsels maar hebben vaste knooppunten die niet kunnen schuiven.



Figuur 7.42 Net

- *Roosters*, ook wel *geogrids* genoemd (figuur 7.43), zijn niet gevlochten maar vormen één geheel. De knopen zijn vast en vormvast. Roosters worden als één geheel gemaakt uit kunststof, voornamelijk uit HDPE.



Figuur 7.43 Rooster

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 de krachten in het asfalt direct worden overgedragen op de wapening;
- de stijfheid van de wapening moet hoger zijn dan de stijfheid van het asfalt zodat de krachten direct op de wapening worden overgedragen.

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.

Invloedsfactoren

Het functioneren van de wapening wordt door een groot aantal factoren beïnvloed:

- de vormgeving van de wapening (zoals knopen, ribben en mazen);
- de eigenschappen van de wapening (zoals stijfheid, sterkte, kruipgedrag en weerstand tegen beschadiging);

- de stijfheid van het asfaltmengsel;
- de steengrootte en steenvorm in het asfaltmengsel (nodig voor de verankering van de wapening in het asfalt);
- de belastingen op de constructie;
- de plaats van de wapening in de constructie;
- de manier van verwerking bij de uitvoering.

Mogelijke toepassingen

Situaties waarin asfaltwapening kan worden toegepast zijn:

- slab-constructies (waaronder ontgroning van de vooroever kan optreden);
- prefab-matten (die vervoerd moeten worden);
- afhanginge kraagstukken;
- knikken in een bekleding;
- plaatsen in de bekleding waar sterke lokale zettingsverschillen van de ondergrond worden verwacht;
- reparaties van scheuren en openstaande naden.



Figuur 7.44 Aanbrengen van wapening in een mat van open steenasfalt (Foto: Bitumarin)

In het rapport Wapening van Asfaltbekledingen voor Waterkeringen [Versluis, 1998-c] wordt uitgebreid ingegaan op het toepassen van wapening in asfaltbekledingen.

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 van het dijklichaam en het bereiden en verwerken van asfalt. Met name de verwerking is sterk afhankelijk van het type 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 vaak geregeld in bestekken. In een bestek staat beschreven welke prestatie moet worden geleverd en welke voorwaarden van toepassing zijn.

De bestekken worden tegenwoordig opgesteld volgens de RAW-systematiek [CROW, 2000-a]. RAW staat voor Rationalisatie en Automatisering in de Grond-, Weg- en Waterbouw en is onderdeel van 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 RAW (ABB)* 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 o.a. betrekking op eisen aan bouwstoffen en mengsels, vooronderzoeken, onderzoeksmethoden, uitvoering, kwaliteitscontrole en verrekening van bouwstoffen. De bepalingen zijn per werkcategorie ingedeeld, waarbij waterbouwasfalt

onder hoofdstuk 52 Kust- en oeverwerken is ondergebracht. De Standaard bevat veel verwijzingen naar elders gestandaardiseerde teksten zoals de normen van het NNI. Voor het toepassen van asfalt bij waterkeringen zijn de relevante normen en bijbehorende documenten verzameld in bijlage 3. Hierin is tevens opgenomen welke normen worden vervangen door Europese 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.

Deze kwaliteitstaak zal in de toekomst meer door de aannemer worden overgenomen in het kader van gecertificeerde kwaliteitssystemen (zie paragraaf 8.13.)

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 [CUR, 1992-b] en [TAW, 2001].



Figuur 8.1 Profileren van het zandbed - Sjoukeshoek - 1983

Zand wordt in het algemeen met 2 methoden 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 het vochtgehalte van het zand van belang. Elke zandsort 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.



Figuur 8.2 Verdichten van het zandbed met een trilrol

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 “vloiegrens”.) Voor meer informatie over klei wordt verwezen naar het Technisch Rapport Klei voor dijken [TAW, 1996].)

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 bij 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 m) zijn deze eisen respectievelijk 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.



Figuur 8.3 Dichtheidscontrole van het zandbed met handsondeerapparaat en steekring - Sjoukeshoek - 1983

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 met een nucleair meetapparaat.

8.4 Filterlagen

Filterlagen worden alleen toegepast als de bekleding bestaat uit een zanddoorlatend materiaal.

Zanddichte filters bestaan uit granulair materiaal, geotextielen [CUR, 1995-b] en [CUR, 1993] 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 206 Geokunststoffen op de bouwplaats [CUR, 2001] 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

Aan asfaltmengsels en bouwstoffen voor bekledingen worden in de Standaard eisen gesteld.

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 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 2000 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 proefproductie van 16 of 40 ton asfalt bereid en verwerkt op de door de aannemer voorgestelde werkwijze. 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.

In bijlage 3: Testmethoden en normen is aangegeven welke specificaties en onderzoekmethoden zijn voorgeschreven.

8.6 Asfaltbereiding

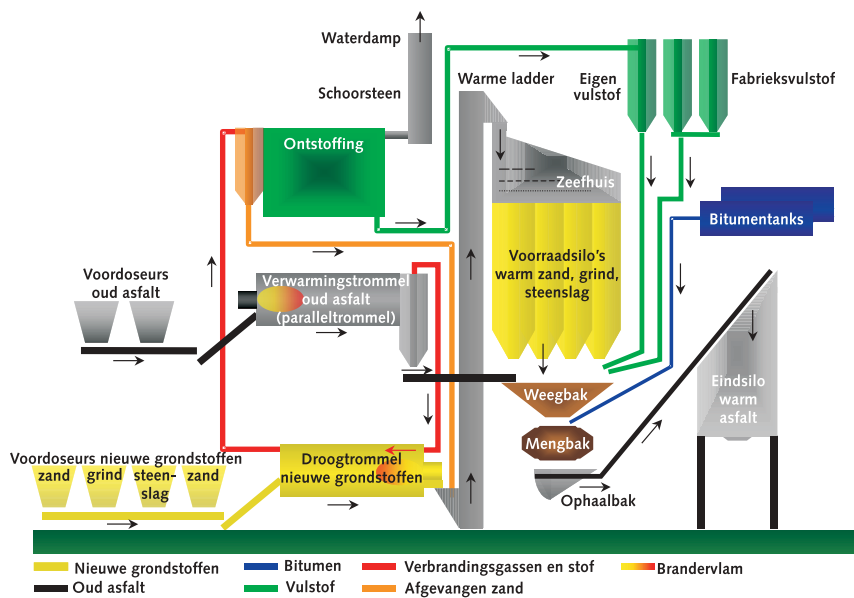
Asfalt wordt bereid in een asfaltmenginstallatie [VBW-Asfalt, 2000-a]. In een asfaltmenginstallatie worden de minerale bouwstoffen (steenslag, grind, zand) voorgedoseerd. In de droogtrommel worden deze gedroogd en verhit, waarbij het eigen stof wordt afgezogen. Vervolgens wordt het mineraal aggregaat gezeefd en warm opgeslagen in silo's. Daarnaast zijn silo's waarin de vulstof koud is opgeslagen en verwarmde tanks voor de bitumen. Hierin wordt het bindmiddel verwarmd tot ongeveer 200°C, zodat 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.



Figuur 8.4 Asfaltinstallatie (Foto: VBW-Asfalt)

De hierboven beschreven methode is de meest gangbare in Nederland: het zogenaamde discontinue systeem met een chargemenger.



Figuur 8.5 Schema van de werking van een chargemenger (VWB-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 te kunnen aansturen. Daarom wordt open steenasfalt tegenwoordig in één procesgang bereid. Hierbij is gebleken dat er geen kwaliteitsverschillen zijn te constateren.

Voor de bereiding van zandasfalt is het van belang dat het zand een bepaalde minimale hoeveelheid grof materiaal (10-15% steenfractie) bevat. Ontbreekt dit dan wordt de doorvoersnelheid in de droogtrommel beperkt en stagneert de productie. De steenfractie wordt na het drogen weer afgezeefd.

Langdurige tussenopslag van warm asfalt mengsels mag alleen in goed geïsoleerde en/of verwarmde, luchtdichte silo's, zodat afkoeling en overmatige oxidatie wordt voorkomen.

Bij kleinschalige werken wordt soms met een zogenaamde “opwerkinstallatie” gewerkt (figuur 8.6). Deze bestaat uit een kleine mengeenheid waarin “halffabrikaat” wordt opgewerkt met bitumen. Het halffabrikaat, dat wordt betrokken van



Figuur 8.6 Mobiele opwerkinstallatie - 1999 (Foto: Bitumarin)

een normale asfaltinstallatie, bestaat uit een asfaltmengsel waaraan maar een deel van de benodigde bitumen is toegevoegd. Op het werk wordt de resterende bitumen toegevoegd en gemengd. Het voordeel van een dergelijke installatie is dat de kwaliteit van het mengsel op het werk kan worden bijgestuurd.

Indien halffabrikaat voor overvulde mengsels (als asfaltmestiek en gietasfalt) in roerketels wordt aangevoerd kan het eindproduct in de roerketel worden bereid door er bitumen aan toe te voegen. 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 leiden 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.

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 wordt vervoerd in vrachtauto's met geïsoleerde stalen laadbakken of in speciale mobiele containers. De laadbakken zijn aan de bovenzijde afgedicht met kleppen om inregenen en afkoelen te voorkomen.

Op het werk worden inrijbakken (figuur 8.7) 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 8.7 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 (met olie) verwarmde containers voor tussenopslag en transport ontwikkeld.

Alle middelen voor transport en opslag moeten schoon zijn en mogen dus geen resten oud en hard geworden asfalt bevatten. Harde afgekoelde buitenlagen van zandasfalt in depot kunnen bij verwerken wel door de warme kern worden gemengd. Om 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 verwerkings-technieken 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. Ook mag er geen water uit het talud treden, omdat dan de draagkracht van de ondergrond onvoldoende is voor het verdichten van het asfalt. Bovendien komt dan de

samenhang van het asfalt door stripping in gevaar. Dichte mengsels lopen daarnaast nog het gevaar dat grote hoeveelheden water in het dijklichaam leiden tot wateroverdrukken en opdrukken van de bekleding.

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 (tot maximaal 190°C). 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.

Koudasfalt op basis van vloeibitumen en bitumenemulsie worden 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 2000 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
asfaltmestiek onder water	100	170
asfaltmestiek 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 zodat het oppervlak niet voldoende dicht wordt gemaakt. Door de versnelde afkoeling van het asfalt wordt de hoofdverdichting met trilwalsen problematisch, omdat de temperatuur te laag en de gradiënt te groot wordt. Dit leidt tot walsscheuren en een te hoge holle ruimte.

Asfaltmestiek

Om asfaltmestiek 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

Gietasfalt kan (in tegenstelling tot asfaltmastiek) niet goed onder water worden verwerkt omdat het grind in het mengsel bij afkoelen onder water als rem werkt. Hierdoor wordt het penetrerend vermogen sterk afgeremd. Boven water gaat de voorkeur uit naar een minimale temperatuur van 130°C omdat bij lagere temperaturen het penetrerend vermogen sterk afneemt.

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 makkelijk 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 2000 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 een risico vormen bij hydraulische belastingen en bij zettingen in de ondergrond na aanbrengen van de bekleding. 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 paragraaf 2.2.2). 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 kleeftlaag wordt niet aangebracht op natte oppervlakken. Als de buitentemperatuur lager is dan 0°C dan mag geen bitumenemulsie meer als kleeftlaag toegepast worden, omdat het water in de emulsie bevriest. In dat geval worden vloeibitumina op basis van laagviskeuze oplosmiddelen toegepast.

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 m. De ondergrond voor dit relatief stijve mengsel moet voldoende verdicht en vlak zijn. Alhoewel de aannemer zelf bepaalt hoe de asfaltbeton wordt verwerkt zijn er twee hoofdmethoden te onderscheiden om asfaltbeton te verwerken:

a. Hydraulische kraan

Het mengsel wordt van onder naar boven op het talud aangebracht met een hydraulische kraan of shovel (figuur 8.8). Dit laatste 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 (i.v.m. het verdichten).



Figuur 8.8 Verwerken van waterbouwasfaltbeton met een shovel



Figuur 8.9 Profileren van waterbouwasfaltbeton met een hydraulische kraan

b. Spreidmachine

Asfaltbeton kan in bijzondere situaties ook worden aangebracht met een asfalt-spreidmachine. Bij een werk met een lang en constant dwarsprofiel kan het de moeite lonen het talud te bekleden met een speciale spreidmachine die in langsricting werkt (figuur 8.10).



Figuur 8.10 Taludmachine (totaalprofiel) (Foto: Shell, 1999)

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 (normaal gebruikt voor cementbetonverhardingen) die in Westkapelle is gebruikt (figuur 8.12). 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 losgepakt en heeft mede door de hoge temperatuur een lage aanvangsstabieleit. 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 5 tot 6 overgangen van een tandemtrilwals van 600-1000 kg bij 120 tot 150°C. (figuur 8.14)

Naverdichting: in langsrichting naverdichten met 4 tot 5 overgangen van een tandemtrilwals bij 90 tot 120°C. (figuur 8.15)



Figuur 8.13 Verdichten van waterbouwasfaltbeton - voorverdichting - Brugaanzet
Neeltje Jans

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 8.14 Verdichten van waterbouwasfaltbeton - hoofdverdichting - Emmapolder - 1982

Bij asfaltspreidmachines wordt de voorverdichting in het algemeen geleverd door het trillen van de spreidbalk. Bij dikke lagen kan het voorkomen dat de balk gaat drijven in het asfalt. In dat geval is het mengsel te onstabiel en is het raadzaam de stabiliteit te verhogen door het mengsel aan te passen.

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. Dit verschijnsel doet zich voor bij dikke lagen als het hart van de laag asfalt onder de afgekoelde bovenkant nog vrij warm is. Het nog warme bitumen geeft dan een plaatselijke overvulling en veroorzaakt de instabiliteit (vloei) van het asfalt. Het wegdrijven van asfalt naar de onderkant van het talud moet ook worden voorkomen. Dit wordt veroorzaakt door overvulling in het mengsel met hete bitumen. Treedt dit op

dan moet worden gewacht tot het mengsel enigszins is afgekoeld, en moet het mengsel worden aangepast.



Figuur 8.15 Verdichten van waterbouwasfaltbeton - naverdichting - Emmapolder - 1982

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 2 lagen worden rechte lassen gemaakt, die ten minste 0,5 m uit elkaar moeten liggen. Bij voorkeur wordt een las verzwaard uitgevoerd. Eerst wordt de verzwaaring 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.

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.



Figuur 8.16 *Daglas in waterbouwasfaltbeton uitgevoerd als rechte liplas*



Figuur 8.17 *Daglas in waterbouwasfaltbeton uitgevoerd als schuine liplas - Texel - 1998*
(Foto: NPC)

Asfaltbetonbekledingen worden standaard voorzien van een oppervlakbehandeling, die bestaat uit een dichtingslaag (als daar reden voor is) en een slijtlaag, zie paragraaf 8.10.

8.8.3 Verwerking asfaltmastiek en gietasfalt

Asfaltmastiek en gietasfalt zijn mengsels die bij verwerkingstemperatuur vloeibaar zijn. De methoden van verwerken zijn daarom totaal anders dan bij stabiele mengsels als asfaltbeton.

Asfaltmastiek

Asfaltmastiek 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 dichten 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.

Asfaltmastiek wordt boven water aangebracht met een goot of een pijp, de bak van een hydraulische kraan of met een kubel. Onder water wordt een speciale kubel gebruikt, die dicht is en geïsoleerd. 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 en deskundigheid van de aannemer.

Asfaltmastiek 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 wegvloeiën 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 bekistingschotjes 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 m (ca. 300 kg/m²) 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 de reeds 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. Asfaltmestiek wordt onder water aangebracht met een geïsoleerde waterdichte kubel met kleppen aan de onderzijde. De kubel wordt boven water gevuld en op circa 1 m boven de bodem onder water gelost. De charges mestiek 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, waarmee het materiaal op de gewenste temperatuur kan worden gehouden en ontmenging wordt 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.

Gietasfalt wordt voornamelijk gebruikt om lichte sorteringen breuksteen te penetreren en teenconstructies te voorzien van een flexibele slab. Onder water wordt het materiaal niet meer toegepast omdat ervaringen hebben geleerd dat dan geen samenhangende laag is te verkrijgen; het gietasfalt spat als het ware door de snelle afkoeling uit elkaar.



*Figuur 8.18 Patroonpenetratie van gietasfalt met een kubel - Meggetdam in Schotland
(Foto: Bitumarin)*



Figuur 8.19 Penetratie van gietasfalt met een roerketel - vol en zat



Figuur 8.20 Penetratie van gietasfalt met de bak van een hydraulische kraan

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)

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

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 [CUR, 1998-b] en [CUR, 2000].

Het penetreren van de lagen breuksteen wordt uitgevoerd met behulp van goten, de bak van een hydraulische kraan, met kubels of direct uit de roerketel. 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.



Figuur 8.21 Penetratie van gietasfalt - "te vol en zat"

De diepte van een penetratie, vooral in een teenconstructie net onder water, moet goed worden nagegaan. De benodigde hoeveelheden gietasfalt worden bij aanvang het werk vastgesteld aan de hand van het geschiktheidsonderzoek.

Deze benodigde hoeveelheden zijn sterk afhankelijk van de te penetreren steensortering. Een 0,5 m dikke laag breuksteen 10-60 kg met 40% HR die vol en zat wordt gepenetreerd vraagt ongeveer 400 kg/m² gietasfalt en een 0,3 m dikke laag ongeveer 250 kg/m².

De steilste te penetreren helling is 1 : 1,5.

Bij "vol en zat" penetraties werden bekledingen vaak volledig dicht gegoten met gietasfalt. Dit is weliswaar goed voor de duurzaamheid van de bekleding, voor de natuurfunctie is dit echter nadelig. Bovendien is het onnodig duur.

Beter is het om de bovenste laag breuksteen maar voor de helft in het gietasfalt te verankeren. De niet met asfalt bedekte steenhelften kunnen dan 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 70-80% 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 makkelijk 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 de 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 reeds aanwezige gietasfalt.

Bij een overgang van een gezette steenbekleding wordt vaak gietasfalt of asfaltmastiek toegepast. De bovenste rijen zuilen liggen vaak iets lossers dan de lageregelegen zuilen en zijn dus een zwakke plek in de bekleding. Daarom worden ze vastgelegd. Het toepassen van asfaltmastiek heeft de voorkeur, zeker als de bekleding is ingewassen met steenslag, omdat het penetrerend vermogen van asfaltmastiek groter is dan dat van gietasfalt.

8.8.4 Verwerking open steenasfalt

Aanvoer

Open steenasfalt is een materiaal dat bijzondere aandacht vraagt bij verwerken. 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 mastiek (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. Gebruik kan worden gemaakt van tussenopslag in een inrijbak. Als het steenasfalt bij lossen in de inrijbak ontmengd blijkt te zijn is homogeneren 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 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 m). 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 8.22 Aanbrengen van open steenasfalt in situ - Eemmeer - 1993

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 8.23). 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).



Figuur 8.23 Aanbrengen van een daglas van open steenasfalt op een filter van zandasfalt (Foto: Bitumarin)

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 m 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 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 8.24).



*Figuur 8.24 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 8.25) 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 in de tijzone gaan klapperen, waardoor ontgroning 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 8.25 Plaatsen van een grote mat van open steenasfalt met een hijsframe - Rotterdam - 1998 (Foto: Bitumarin)

Bij de naden tussen de matten moet het geotextiel met overlap worden gelegd (ca. 0,5 m 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.

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. Ook moet het bij voorkeur direct na aanvoer worden verwerkt. 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, omdat een intensieve verdichting de waterdoorlatendheid nadelig beïnvloedt. Toch is een lichte verdichting aan te bevelen, omdat hiermee de sterkte en de duurzaamheid aanzienlijk toenemen, zonder de doorlatendheid opmerkelijk te verminderen.

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 duurzaamheid 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 1 à 2 weken nog verwerkbaar door het lage warmtegeleidingsvermogen. Zandasfalt wordt ook in depot gezet om tot een gewenste verwerkingstemperatuur af te koelen. Het bitumen in zandasfalt veroudert 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 tijdzone worden aangebracht; het moet wel bijeenblijven om afkoelen en verbrokkelen te voorkomen



*Figuur 8.26 Uitrijden van zandasfalt voor de bouw van een dam - Zeebrugge in België
(Foto: Bitumarin)*



Figuur 8.27 Profileren van een zandasfaltdam - Zeebrugge in België (Foto: Bitumarin)



Figuur 8.28 Perskade van zandasfalt (Foto: Bitumarin)

Voor zover er sprake is van (gewenste) verdichting dan wordt deze alleen bereikt door de bulldozer en het effect van de eigen massa.

Na afkoelen van het oppervlak moeten verdere bewerkingen, zoals het mengsel verdichten of het profiel bijwerken, worden vermeden. In het afkoelende brooswordende 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 m 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 m. Hierbij wordt de pijp op 1-3 m afstand van de bodem gehouden.

De temperatuur van het asfalt mag niet hoger zijn dan 100°C om stoomvorming en het omhoogdrukken 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 overbemet. Onder water wordt een minimale laagdikte van 0,50 tot 0,70 m aangehouden.

Daglassen in zandasfalt voor bekleding en filter worden uitgevoerd als rechte las. De hechting wordt bereikt door de reeds aanwezige zandasfalt te verwarmen of met een kleefmiddel te bestrijken. Daglassen van zandasfalt in bulk aangebracht behoeven 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 de 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

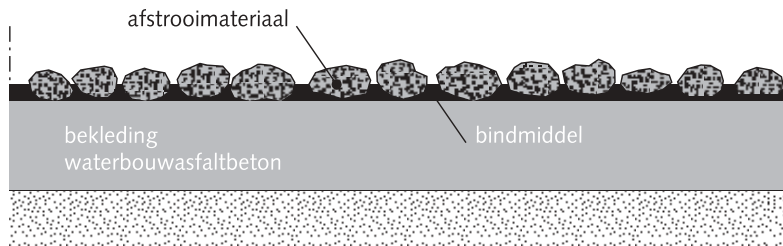
Per beschouwde overgangsconstructie moet worden nagegaan welke aspecten bij de uitvoering nadere aandacht verdienen. Hierbij kan het Rapport Overgangsconstructies in dijkbekledingen [TAW, 1992] een goed hulpmiddel zijn. Hierin wordt een groot aantal overgangsconstructies in detail behandeld.

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 walscheurtjes vertoont, dan wordt het oppervlak dicht gespoten met een bitumenemulsie; de dichtingslaag bestaat dus alleen uit bindmiddel.

Een *slijtlaag* wordt altijd toegepast (figuur 8.29) 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 8.29 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 8.30 is dit weergegeven. Bij taluds steiler dan 1:3 kan een sproeiauto niet worden ingezet en wordt het bindmiddel met een sproeiketel handmatig aangebracht.



Figuur 8.30 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 gesproeide bitumen met uitfluxende oplosmiddelen of vloeibitumen worden ook toegepast. Het voordeel van hoog viskeuze vloeibitumen is dat het beter verwerkbaar is. 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 8.31 Afstrooien met split voor het aanbrengen van een oppervlakbehandeling (Foto: ESHA)

Hoeveelheden

De hoeveelheden te gebruiken materiaal hangen mede af van de conditie van het oppervlak van de bekleding en worden in overleg tussen directie en aannemer bij aanvang van het aanbrengen van de oppervlakbehandeling vastgesteld. Voor het aanbrengen van een dichtingslaag wordt meestal niet meer dan $1,0 \text{ kg/m}^2$ gebruikt. Voor het aanbrengen van een slijtlaag kan worden uitgegaan van de hoeveelheden zoals deze zijn aangegeven in tabel 8.3.

Tabel 8.3 Toe te passen hoeveelheden bij aanbrengen van een slijtlaag

bindmiddel	hoeveelheid bindmiddel	sortering steenslag/grind	hoeveelheid steenslag/grind
bitumenemulsie	$1,0 - 1,5 \text{ kg/m}^2$	2/6	$7 - 9 \text{ kg/m}^2$
bitumenemulsie	$1,4 - 1,8 \text{ kg/m}^2$	4/8	$8 - 14 \text{ kg/m}^2$
vloeibitumen	$0,6 - 1,0 \text{ kg/m}^2$	2/6	$7 - 9 \text{ kg/m}^2$
vloeibitumen	$1,0 - 1,2 \text{ kg/m}^2$	4/8	$8 - 14 \text{ kg/m}^2$

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 kwali-

tatieve 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 (bijv. polypropeen doek).

8.12 Hergebruik asfalt

In het kader van het milieubeleid (zie paragraaf 2.6) 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 [CUR, 1989].

Ook in een aantal waterbouwasfaltmengsels kan asfaltgranulaat goed worden hergebruikt. Dit kan met name omdat aan deze mengsels in het algemeen minder strenge eisen worden gesteld dan aan wegebouwmengsels.

De meeste ervaring is opgedaan bij partiële recycling van waterbouwasfaltbeton. In dit mengsel is hergebruik van 20 tot 30 procent zonder meer mogelijk, indien voldoende aandacht wordt besteed aan aspecten als homogeniteit (goede depotvorming) en vocht (droog opslaan).

In gietasfalt is asfaltgranulaat ook goed te gebruiken, mits de viscositeit van het mengsel binnen aanvaardbare grenzen blijft. Bij gietasfalt kan de maximum korrelgrootte uit het granulaat een probleem zijn voor de vloeibaarheid of het penetreren van kleine openingen.

Voor mengsels als open steenasfalt en zandasfalt leent asfaltgranulaat zich minder. Alleen als door een uitvoerig (voor)onderzoek kan worden aangetoond dat er mogelijkheden zijn, is hergebruik een optie.

In de Standaard 2000 is opgenomen dat in waterbouwasfaltbeton ten hoogste

50% asfaltgranulaat mag worden toegepast. Voor de andere mengsels zijn (nog) geen standaardregels opgenomen.



Figuur 8.32 *Depot asfaltshollen voor hergebruik in bekleding van waterbouwasfaltbeton
- Onrustpolder - 1985*

8.13 Kwaliteitszorg

8.13.1 Algemeen

Kwaliteitszorg kan worden gedefinieerd als het geheel van regels en activiteiten (methodiek), die gericht is op het leveren van een prestatie met een gewenste kwaliteit. Deze regels en activiteiten zijn vastgelegd in het RAW-bestek, waarin talrijke verwijzingen staan naar andere van kracht zijnde documenten (Voorwaarden, NEN-normen).

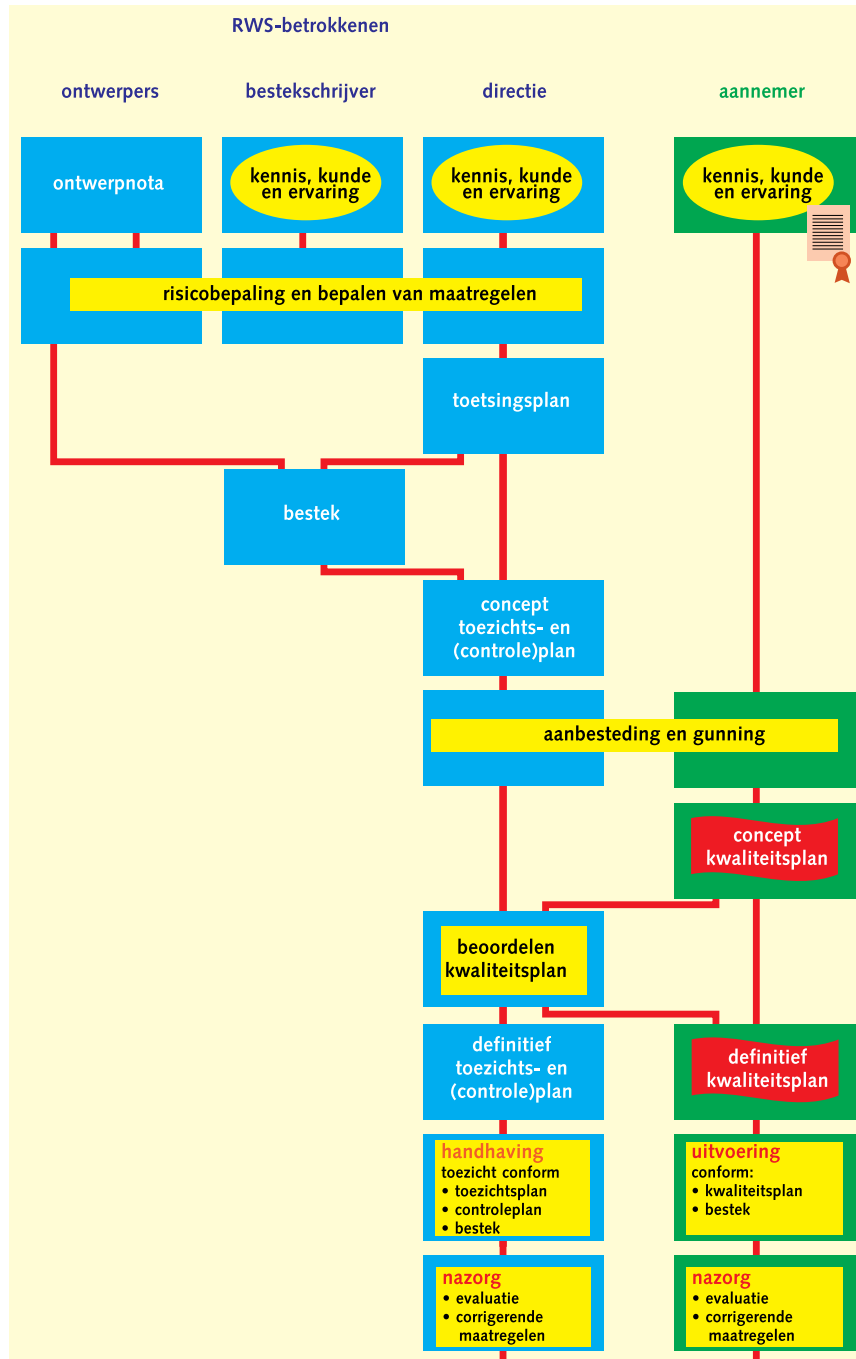
Tot nu toe speelt de opdrachtgever (of namens hem de directie) een grote rol in de kwaliteitszorg. De opdrachtgever verzorgt het ontwerp, stelt het bestek op, houdt toezicht bij de uitvoering en controleert het bereikte resultaat. De aannemer heeft met name de taak om bij aanbesteding aan te tonen dat 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.

De afgelopen 10 jaar 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.

In de GWW-sector zijn voorzichtige pogingen ondernomen om de aannemers ook deze kwaliteitstaak te laten verrichten. Met name in de wegenbouw zijn bij het onderdeel “Verhardingen” in de Standaard 2000 bepalingen opgenomen voor kwaliteitsborging. De bedoeling van dit systeem is dat de aannemer met een kwaliteitssysteem (volgens NEN-ISO-9001/9002) aantoont dat hij in staat is een gevraagde prestatie te leveren. Vervolgens moet de aannemer met een kwaliteitsplan aangeven welke specifieke praktijken, middelen en handelingen relevant en nodig zijn voor een bepaalde prestatie (product, project of contract).

Het kwaliteitsplan is dus een aanvulling op het kwaliteitssysteem van de aannemer. Dit betekent dat naarmate het kwaliteitsplan van de aannemer beter is en hij dus beter in staat is de kwaliteit te borgen, de directie minder toezicht en controle hoeft uit te voeren. Deze laatste activiteiten worden door de directie in een zogenaamd toezichts- en controleplan opgenomen.

Dit nieuwe systeem van kwaliteitszorg zal de komende jaren ook in de waterbouw worden ingevoerd, alhoewel niet bekend is in welk tempo. Voor een beter begrip van dit nieuwe kwaliteitssysteem kan het Modelkwaliteitsplan voor de GWW [CROW, 1997] worden geraadpleegd. Aan deze publicatie is ook figuur 8.33 “Stappenplan Rijkswaterstaat” ontleend.



Figuur 8.33 Stappenplan kwaliteitszorg Rijkswaterstaat [CROW, 1997]

8.13.2 Waterbouwasfalt

Bij de toepassing van waterbouwasfalt 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. De vooronderzoekprocedures zijn in de Standaard 2000 grondig gewijzigd en meer op functionele eisen gebaseerd.

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 vooronderzoek, en zal, bij acceptatie van het resultaat, de werkwijze vastliggen.

Het is dus de taak van de directie om vooronderzoek 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 (hoeveelheid), samenstelling, gebruik bouwstoffen en eindspecificaties (holle ruimte).

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 één maal 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 directie 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 wat niet voldoet “verbeteren of vernieuwen”. Nergens is echter geregeld, wanneer moet worden verbeterd (of vernieuwd) en hoe dit moet gebeuren. Het hangt dan vooral af van de deskundigheid van aannemer en directie (en van de bereidwilligheid) welke maatregelen worden genomen. Het is gewenst om daar in de komende jaren meer duidelijkheid over te geven. Voor een deel zijn bovengenoemde problemen opgelost door het invoeren van een kortingssysteem in de Standaard 2000. Dit systeem houdt in dat bij geringe afwijkingen van de eisen een boete wordt opgelegd die in verhouding staat tot de ernst van de afwijking. Indien de afwijking van een bepaalde eigenschap zo groot is dat (een deel van) het gemaakte werk zijn functie niet kan vervullen of de verwachte levensduur in gevaar komt, dan wordt het afgekeurd en moet het betreffende gedeelte worden verbeterd of vernieuwd.

9.1 Inleiding

Nu het uitvoeren van dijkverzwaringen in het kader van de Deltawet nagenoeg voltooid is verschuift de aandacht van beheerders van ontwerp en uitvoering naar beheer en onderhoud 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 beheerssystemen. Met dergelijke modellen kan worden bepaald met welk interval onderhoud moet worden uitgevoerd en wanneer een bekleding moet worden gerepareerd of vervangen. Voor (asfalt)bekledingen staan dergelijke beheerssystemen 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, omdat door het inwerkingtreden van de Wet op de Waterkering veiligheidseisen zijn vastgelegd waar een waterkering aan moet voldoen.

In dit hoofdstuk wordt met name ingegaan op het toetsen van asfaltbekledingen op de functie veiligheid. Daarnaast is aandacht besteed aan onderhoudsmaatregelen aan asfaltbekledingen.

9.2 Toetsen op veiligheid

9.2.1 Principe van de veiligheidsbeoordeling

De Wet op de Waterkering [Staatsblad, 1996] schrijft voor dat een waterkering iedere vijf jaar op veiligheid moet worden getoetst. De veiligheid van een waterkering is gegarandeerd als deze gedurende een periode van maatgevend hoog water in staat is het water te keren.

Bij de toetsing moet een uitspraak worden gedaan over de momentane veiligheid van de waterkering en de veiligheid van de waterkering in de komende 5 jaar. Momenteel is nog niet voldoende bekend over onderwerpen als schadegroei en reststerkte om een nauwkeurige uitspraak te doen over de veiligheid gedurende 5 jaar.

Er kan echter van uit worden gegaan dat een bekleding die met de methode als goed wordt beoordeeld, ook de eerstkomende 5 jaar veilig zal zijn. De ervaring leert dat de kwaliteit van een asfaltbekleding die op de juiste manier is ontworpen

en aangelegd niet in een termijn van 5 jaar opmerkelijk zal veranderen, behoudens calamiteiten.

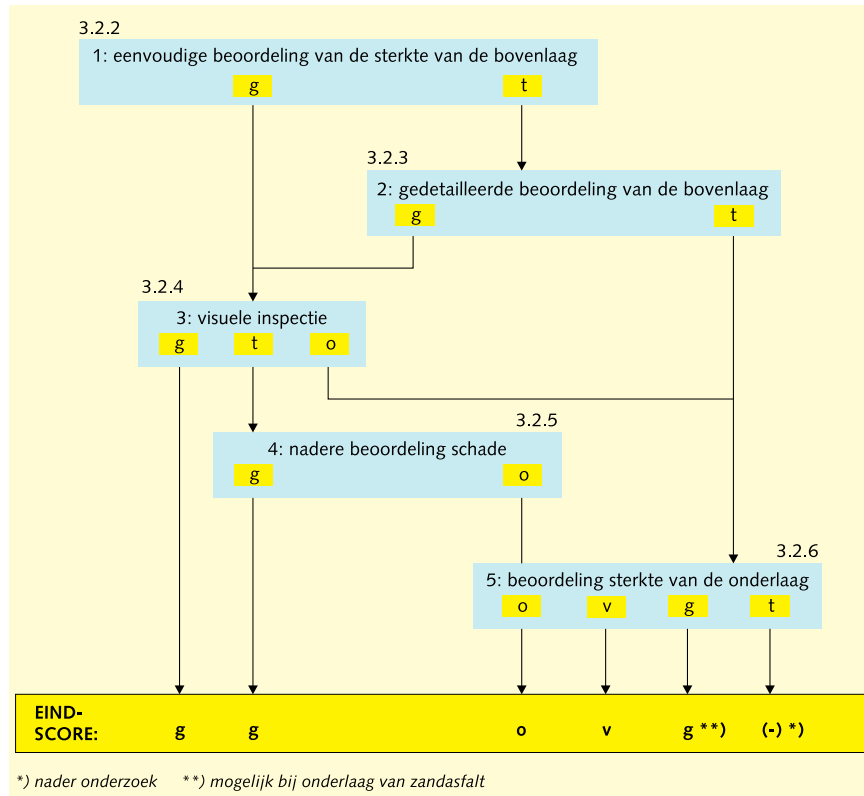
De veiligheidsbeoordeling is opgenomen in de Leidraad Toetsen op Veiligheid [TAW, 1999-a]. In het rapport Veiligheidsbeoordeling van Asfalt Dijkbekledingen [DWW-2003] wordt een uitgebreide toelichting gegeven op het toetsen van asfalt bekledingen op veiligheid.

De veiligheidsbeoordeling van asfaltbekledingen bestaat uit 5 stappen:

- Bij de *eenvoudige beoordeling van de sterkte van de bovenlaag* wordt met behulp van bekende gegevens en eenvoudige hulpmiddelen nagegaan of de laag in beginsel voldoende sterk is.
- Bij de *gedetailleerde beoordeling van de sterkte van de bovenlaag* wordt met behulp van materiaalonderzoek en bijzondere hulpmiddelen (rekenmodellen) nagegaan of de laag werkelijk voldoende sterk is.
- Bij de *visuele inspectie van de bekleding* wordt aan de hand van waargenomen schade nagegaan of de laag in beginsel voldoende sterk is.
- Bij de *nadere beoordeling van de schade* wordt met behulp van materiaalonderzoek en bijzondere hulpmiddelen (rekenmodellen) nagegaan of de laag werkelijk voldoende sterk is.
- Bij de *sterktebeoordeling van de onderlaag* wordt nagegaan of deze laag voldoende sterkte biedt na bezwijken van de toplaag.

In figuur 9.1 is het te hanteren beoordelingsschema uit de Leidraad Toetsen op Veiligheid [TAW, 1999-a] weergegeven, waarin ook de onderlinge samenhang is opgenomen.

N.B. In 2002 zal de nieuwe Leidraad Toetsen op Veiligheid verschijnen. Hierin zijn de toetschema's voor asfaltbekledingen gewijzigd.



Figuur 9.1 Toetsingsschema (g = goed, v = voldoende, t = twijfelachtig, o = onvoldoende) [TAW, 1999-a]

In de onderstaande paragrafen worden de verschillende stappen van de veiligheidsbeoordeling beknopt toegelicht.

9.2.2 Eenvoudige beoordeling van de sterkte van de bovenlaag

Bij de eenvoudige beoordeling wordt de bekleding met enkele ontwerpformules en grafieken getoetst op golfbelastingen. Gesloten bekledingen (waterbouwasfalt-beton en vol en zat gepenetreerde breuksteen) worden tevens getoetst op wateroverdrukken.

Om de beoordeling uit te kunnen voeren zijn de mengselsamenstelling, holle ruimte en leeftijd van de bekleding nodig. Deze gegevens kunnen uit de opleveringscontrole van de aanleg van het werk worden gehaald. Als onvoldoende aanleggegevens bekend zijn moet een beperkt onderzoek worden uitgevoerd om de bekleding te kunnen toetsen. Hierbij worden kernen geboord waarmee de laagdikte nauwkeurig wordt vastgesteld. Ook wordt in het laboratorium de samen-

stelling en de holle ruimte van het asfalt vastgesteld. Mogelijk kan het boorkern-onderzoek in de toekomst worden vervangen door niet-destructief onderzoek (radarmetingen voor bepaling van de laagdikte en valgewicht-deflectiemetingen voor bepaling van de mechanische eigenschappen). Zie hiervoor ook paragraaf 9.3.

In de volgende gevallen moet een gedetailleerde beoordeling van de bovenlaag worden uitgevoerd:

- *Afwijking van de mengselsamenstelling.* Als de mengselsamenstelling afwijkt van in de Leidraad Toetsen op Veiligheid gedefinieerde grenzen zullen de mechanische eigenschappen van het asfalt (stijfheid en sterkte) ook afwijken en zijn de grafieken voor het bepalen van de benodigde laagdikte wegens golfklappen niet geldig. De stijfheid en de sterkte van de bekleding moeten dan met dynamische proeven worden vastgesteld.
- *Afwijking van de kwaliteitsindicatoren.* Bij waterbouwasfaltbeton wordt de kwaliteit met name bepaald door de holle ruimte in het asfalt en de leeftijd van de bekleding; de eigenschappen van het asfalt veranderen langzaam in de tijd. Hoe hoger de holle ruimte, des te toegankelijker is het materiaal voor licht, lucht en water. Door de inwerking van licht, lucht en water loopt de kwaliteit van het asfalt langzaam terug.



Figuur 9.2 *Kwaliteitsindicator - Boorkern met slechte samenhang uit 40 jaar oude bekleding met hoge holle ruimte - Boulevard De Ruyter in Vlissingen (Foto: NPC)*

Bij open steenasfalt wordt de kwaliteit met name bepaald door de hoeveelheid asfaltmortel (bitumen, zand en vulstof) en de leeftijd. In de Leidraad Toetsen op Veiligheid zijn tabellen opgenomen waaruit kan worden afgelezen of op basis van de holle ruimte of de hoeveelheid asfaltmortel en de leeftijd van de bekleding een gedetailleerde beoordeling op golfbelastingen moet worden uitgevoerd. Op iedere asfaltbetonbekleding van 30 jaar en ouder en iedere open steenasfaltbekleding van 20 jaar en ouder wordt een gedetailleerde beoordeling op golfbelastingen uitgevoerd.

- Score “*twijfelachtig*” bij de eenvoudige beoordeling op golfbelastingen.
De bekleding wordt getoetst aan de grafieken voor het toetsen op golfklappen zoals opgenomen in het rapport Veiligheidsbeoordeling van Asfalt Dijkbekledingen [DWW-2003]. Blijkt de benodigde laagdikte groter dan de aanwezige, dan wordt een gedetailleerde beoordeling op golfbelastingen uitgevoerd.
- Score “*twijfelachtig*” bij de eenvoudige beoordeling op wateroverdrukken.
De benodigde laagdikte wordt bepaald zoals beschreven in paragraaf 7.3 van dit rapport. Hiermee wordt de aanwezige laagdikte getoetst. Als de aanwezige laagdikte kleiner is dan de benodigde laagdikte wordt een gedetailleerde beoordeling op wateroverdrukken uitgevoerd.

Bij de eerste veiligheidsbeoordeling dient de eenvoudige beoordeling altijd te worden uitgevoerd. Vervolgens hoeft deze niet iedere 5 jaar te worden herhaald. De uit te voeren berekening blijft namelijk in principe hetzelfde.

De toetsing hoeft pas weer te worden uitgevoerd als een van de volgende punten is gewijzigd:

- bekleding;
- geometrie;
- hydraulische randvoorwaarden;
- kennis of inzicht;
- asfaltparameters *).

*) Ten gevolge van vermoeiing en veroudering veranderen asfaltparameters in de tijd. Dit is een zeer geleidelijk proces. Verandering van de asfaltparameters kan zich manifesteren door toename van de schade aan de bekleding. Dit kan aanleiding zijn tot het opnieuw uitvoeren van de eenvoudige beoordeling. Om de actuele asfaltparameters te bepalen is dan een beperkt boorkernonderzoek noodzakelijk. De toetsing van de holle

ruimte (asfaltbeton) of hoeveelheid mortel (open steenasfalt) en de leeftijd van de bekleding geeft aan of de asfaltparameters zodanig zijn veranderd dat de toets opnieuw moet worden uitgevoerd.

9.2.3 Gedetailleerde beoordeling van de sterkte van de bovenlaag

Als de bekleding bij de eenvoudige beoordeling van de sterkte van de bovenlaag niet direct “goed” scoort, wordt een gedetailleerde beoordeling uitgevoerd. Dit kan een gedetailleerde beoordeling op golfbelastingen of op wateroverdrukken zijn.

Golfbelastingen

Bij een gedetailleerde beoordeling op golfbelastingen worden kernen met een diameter van 200 mm (open steenasfalt) of 250 mm (waterbouwasfaltbeton) uit de bekleding geboord.

Bij open steenasfalt worden schijven uit de kern gezaagd die worden beproefd met de dynamische schuifproef. Bij waterbouwasfaltbeton worden balkjes uit de onderzijde van de kern gezaagd en beproefd met de driepunts-buigproef. Van de proefstukken worden de elasticiteitsmodulus (stijfheid) en de relatie tussen de bezwijkspanning en het aantal lastherhalingen bij bezwijken (sterkte) bepaald. In paragraaf 2.4.2 wordt dieper ingegaan op de mechanische eigenschappen van asfalt, in paragraaf 2.5.2 worden de dynamische schuifproef en de driepunts-buigproef beschreven.

De verkregen parameters worden ingevoerd in het computerprogramma GOLF-KLAP. Hierna wordt nagegaan of de bekleding in staat is om de maatgevende golfbelasting te weerstaan.



Figuur 9.3 Voor een gedetailleerde beoordeling worden kernen uit een bekleding geboord (Foto: NPC)

Wateroverdrukken

Bij een gedetailleerde beoordeling op wateroverdrukken wordt gebruik gemaakt van een niet-stationair grondwaterstromingsprogramma. Hiermee wordt de maximaal optredende wateroverdruk onder de bekleding nauwkeuriger ingeschat. Als de benodigde laagdikte nog steeds groter is dan de aanwezige laagdikte, kan de gevonden maximale wateroverdruk worden ingevoerd in PLAXIS. Met PLAXIS kan de sterkte in rekening worden gebracht die de bekleding heeft door de plaatwerking van het materiaal. Voor het uitvoeren van een dergelijke berekening wordt verwezen naar CUR rapport 178, Achtergronden van numerieke modellering van geotechnische constructies [CUR, 1995-c].

Als de bekleding “onvoldoende” scoort bij de gedetailleerde beoordeling van de sterkte van de bovenlaag, wordt de sterktebeoordeling van de onderlaag uitgevoerd.

9.2.4 Visuele inspectie

Door verouderingsmechanismen veranderen de sterkte-eigenschappen van asfalt in de tijd. Door stripping en door verharding van het bitumen wordt het asfalt brosser en minder sterk waardoor de scheurgevoeligheid en de erosiegevoeligheid toe nemen. Vergaande afname van deze eigenschappen leidt na verloop van tijd tot schade. Met het periodiek uitvoeren van een visuele inspectie is de schade in de tijd vast te leggen.

In het algemeen wordt van schade gesproken als door één of andere oorzaak de kwaliteit van de constructie zichtbaar is afgenomen. De schade wordt vertaald naar duidelijk waarneembare schadebeelden. De schadebeelden moeten objectief meetbaar en objectief te beoordelen zijn. In de Schadecatalogus voor waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt dijkbekledingen [De Loeff, 1996-b] is fotomateriaal opgenomen van de hieronder genoemde schadebeelden.

Schade aan de bekleding

De volgende schadebeelden worden bij waterbouwasfaltbeton bekledingen onderscheiden:

- scheuren in de bekleding (figuur 9.4);
- openstaande naden. Naden kunnen zowel horizontaal als verticaal lopen (figuur 9.5);
- aangetast oppervlak: het verdwijnen van steentjes en mortel uit de bekleding (figuur 9.6). Bij doorgaande aantasting op plaatsen waar de asfaltkwaliteit slecht is, kunnen gaten in de bekleding ontstaan .

Bij open steenasfalt is aangetast oppervlak de enige vorm van schade aan de bekleding.



Figuur 9.4 *Scheur in een bekleding van waterbouwasfaltbeton - Boulevard De Ruyter in Vlissingen - 1991 (Foto: Oranjewoud)*



Figuur 9.5 *Openstaande naad in een bekleding van waterbouwasfaltbeton - Damaanzet Schouwen (Foto: Oranjewoud)*



Figuur 9.6 Aangetast oppervlak bij een bekleding van waterbouwasfaltbeton - Boulevard De Ruyter in Vlissingen - 1994 (Foto: Oranjewoud)

Vol en zat gepenetreerde breuksteen vertoont nauwelijks tot geen schade. Schade zou kunnen optreden door constructiefouten (waardoor bijvoorbeeld uitspoeling van de grond onder de bekleding optreedt) of bijzondere belastingen zoals scheepsaanvaringen. Bij de visuele inspectie dient bij deze bekledingssoort te worden nagegaan of de zanddichtheid van de bekleding bij schade nog gewaarborgd is.

Naast schade aan de bekleding wordt tijdens de inspectie ook schade aan de overgangsconstructies opgenomen. In het algemeen zijn overgangsconstructies schadegevoelige plaatsen.

Verwerking van de resultaten

De schade aan de bekleding wordt op inspectieformulieren vastgelegd. Vervolgens wordt aan de hand van de opgestelde normen voor de schadebeelden een beoordeling uitgevoerd. Deze normen zijn opgenomen in de Leidraad Toetsen op Veiligheid [TAW, 1999-a].

Als de bekleding bij de visuele inspectie de score “goed” krijgt, is de eindscore van de bekleding “goed”. Bij de score “twijfelachtig” kan een nadere beoordeling van de schade worden uitgevoerd. Bij een score “onvoldoende” wordt de sterktebeoordeling van de onderlaag uitgevoerd.

9.2.5 Nadere beoordeling schade

Als bij de beoordeling van de resultaten van de visuele inspectie ‘twijfelachtig’ wordt gescoord, wordt een nadere beoordeling van de schade uitgevoerd. Dit betreft een boorkernonderzoek ter plaatse van de schade. Op deze manier kan de ernst en de omvang van de schade (bijvoorbeeld de scheurdiepte) nauwkeuriger worden vastgesteld en kan worden nagegaan of de kwaliteit van het asfalt plaatselijk minder is.

Een alternatief voor het uitvoeren van onderzoek naar de ernst en de omvang van de schade is het direct repareren van de aangetroffen schade.

9.2.6 Sterktebeoordeling van de onderlaag

Als de bekleding bij een van de vorige beoordelingen de score ‘slecht’ heeft gekregen wordt de sterkte van de onderlaag beoordeeld. Bij de sterktebeoordeling van de onderlaag wordt getoetst of de onder de bekleding aanwezige laag in staat is om een maatgevende storm te weerstaan na bezwijken van de bekleding.

Bij asfaltbekledingen is vaak geen erosiebestendige onderlaag aanwezig. De volgende onderlagen kunnen onder een asfaltbeton bekleding worden aangetroffen:

- klei;
- loskorrelige materialen zoals mijnsteen of steenslag;
- keileem;
- zandasfalt.

In veel gevallen is direct onder de asfaltbekleding zand als kernmateriaal aanwezig. Er is dan geen sprake van een onderlaag; de score bij deze beoordeling is ‘slecht’.

Bij de sterktebeoordeling van de onderlaag wordt een vergelijking gemaakt tussen de maatgevende stormduur en de reststerkte van de onderlaag. De reststerkte van de onderlaag is de tijdsduur tussen het bezwijken van de toplaag en het bloot komen van de dijk kern. Als de reststerkte van de onderlaag groter is dan de maatgevende stormduur wordt de score “voldoende” toegekend. Zo niet, dan wordt de score “onvoldoende” toegekend en is de bekleding afgekeurd.

De volledige procedure is opgenomen in de Leidraad Toetsen op Veiligheid [TAW, 1999-a].

9.3 Niet-destructief onderzoek van de asfaltkwaliteit

9.3.1 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 [Greeuw, 1989]. 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 9.7 Nucleaire dichtheidsmeter op een asfaltverharding (Foto: NPC)

9.3.2 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* [CROW, 1998] wordt hier uitgebreid op ingegaan. In funderingen en de ondergrond kunnen met een nucleaire dichtheidsmeter ook vochtgehalten worden gemeten. Op de foto in figuur 9.7 is een nucleaire dichtheidsmeter op een asfaltverharding te zien.



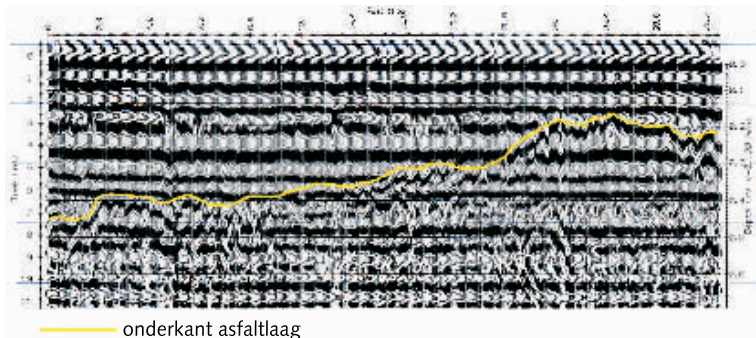
Figuur 9.8 Radarmetingen op de asfaltbetonbekleding van Texel - 1999 (Foto: NPC)

9.3.3 Grondradar

De grondradar (zie fig. 9.8) wordt over het asfalt bewogen waarbij over een zekere lengte continue 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 wegengbouw in opkomst om de laagdikte te meten [CROW, 2000-c].

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 recent uitgevoerd project was de geconstateerde maximale onnauwkeurigheid van de radar 20 mm [Versluis, 1999-b]. Grotere nauwkeurigheden zijn haalbaar. Het streven naar nauwkeurigheden kleiner dan 10 mm wordt niet zinvol geacht.

In figuur 9.9 is het resultaat van een meting van de laagdikte met behulp van grondradar te zien.



Figuur 9.9 Bepaling van de laagdikte met behulp van radarmeting

9.3.4 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 (geofoons) die op een meetbalk zijn bevestigd. Het door de geofoons 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.

Valgewicht-deflectiemeters worden wereldwijd op grote schaal gebruikt bij bepaling van de kwaliteit van verhardingen, fundering en ondergrond van wegen en vliegvelden [CROW, 1995]. Het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen is mogelijk op taludhellingen van 1:3 en flauwer. In de figuren 9.10 en 9.11 zijn valgewicht-deflectiemetingen te zien.



Figuur 9.10 Valgewicht-deflectiemeter op een dijktafud (Foto: NPC)



Figuur 9.11 Valgewicht-deflectiemeter: meetbalk met geofoons (Foto: NPC)

9.3.5 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 kan 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 voeren.
- Het komt voor dat de aanleggegevens van een werk verloren zijn gegaan. In dit geval is een combinatie van destructief en niet-destructief 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.

9.4 Reparatiemethoden

9.4.1 Inleiding

Er zijn verschillende redenen om asfaltbekledingen te repareren. In de eerste plaats als 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, open staande naden, gaten (ook van boorkernen), aangetast oppervlak, extreme zettingen (onvlakheid), aangetaste overgangsconstructies en beschadigde filterlagen.

Reparatiemethoden voor asfaltbekledingen zijn in beginsel dezelfde als die in de asfaltwegbouw 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:

- de aansluiting met de aanliggende constructie;
- de aard van het reparatiemiddel;
- de uitvoeringstechniek.

9.4.2 De aansluiting met de aanliggende constructie

Randen van scheuren, open staande 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.

9.4.3 De aard van het reparatiemiddel

Waterbouwasfaltbeton

Bij voorkeur wordt een bekleding gerepareerd met eenzelfde (visco-elastisch) bekledingsmateriaal. Scheuren en naden worden gedicht met bitumen, bitumeneuze 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 duurzaamheid heeft.

Open steenasfalt

Bij voorkeur wordt een bekleding van open steenasfalt gerepareerd met hetzelfde open materiaal, niet alleen om de bekleding doorlatend te laten blijven 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 (ca. 0,3% organische of ca. 0,6% anorganische vezels op 100% mineraal aggregaat).

Indien wordt aangetoond dat er geen bezwaar is tegen een (plaatselijke) 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 3 maal de grootste korrelafmeting van het vulmiddel bedragen. Door toepassing van een kleine gradering kan de minimaal aan te brengen dikte worden beperkt.

9.4.4 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, 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 open staande naden;
- boorkerngaten;
- aangetaste oppervlakken en gaten;
- te herprofilen 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 [VBW-Asfalt, 1997]
- Catalogus Reparatietechnieken in de asfaltwegenbouw. [CROW, 1990]
- Asfalt in de Wegen- en Waterbouw. [VBW-Asfalt, 2000-a]
- Handleiding reparatietechnieken [CROW, 1991]

9.4.4.1 Vullen van scheuren en naden

Scheuren en open staande 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, wat de hechting aan het vulmiddel ten goede komt.

Bij grote (> 20 mm) en diepe scheuren wordt de scheur opengefreesd 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);
- voegvullingsmassa (scheurbreedte 5-20 mm);
- asfaltmestiek (scheurbreedte 20-50 mm)
- gietasfalt (scheurbreedte 50-100 mm);
- oorspronkelijk bekledingsmateriaal (scheurbreedte > 100 mm).



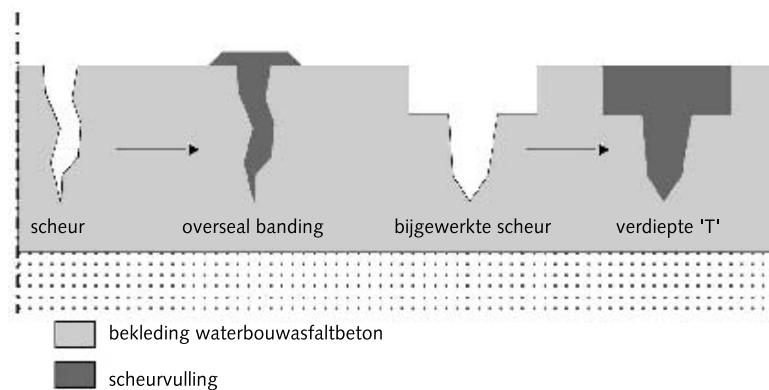
Figuur 9.12 Vullen van scheur met bindmiddel - Roggeplaat - 1986

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, of met enige overhoogte (overseal-banding), of als verdiepte "T".

In zeer brede of werkende scheuren kan een membraan van wapeningsmateriaal (glas- of 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 9.13.



Figuur 9.13 Scheurvulling

9.4.4.2 Vullen boorkerngaten

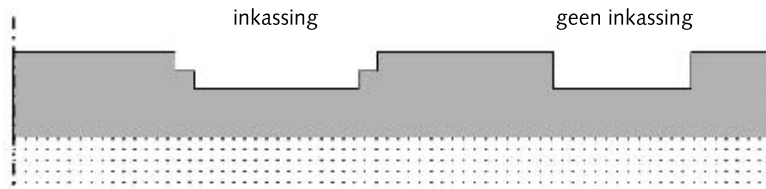
Na het boren van een kern uit de bekleding wordt los materiaal en water uit het boorgat verwijderd. Op de schacht van het boorgat wordt een kleefmiddel aangebracht. Het gat wordt bij voorkeur gevuld met een warm (giet-)asfaltmengsel, of als dat niet kan met een koudasfalt mengsel. Een verdichtbaar mengsel 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 beter met warm asfaltbeton worden afgewerkt.

9.4.4.3 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 9.14) om een verbeterde aansluiting te realiseren.



Figuur 9.14 Inkassing

Waterbouwasfaltbeton

Na het schoonmaken van de uit te vullen plek met een hogedrukspuit wordt een kleeflaag aangebracht (figuur 15). Vervolgens wordt het uitvulmateriaal aangebracht (figuur 16). 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.

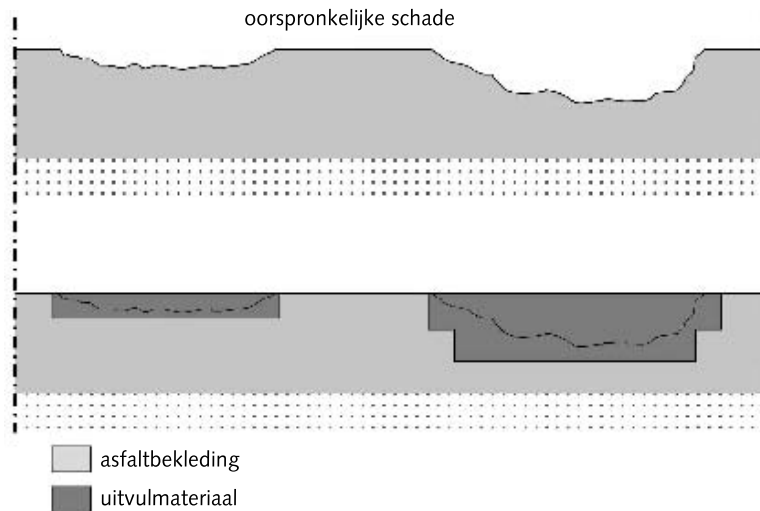


Figuur 9.15 Plaatselijk gefreesde bekleding - voor het uitvullen voorzien van een kleefmiddel - Roggeplaat - 1986



Figuur 9.16 Uitvullen van een gefreesde bekleding met waterbouwasfaltbeton - Roggeplaat - 1986

In figuur 9.17 zijn voorbeelden van uitvullingen gegeven.



Figuur 9.17 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. Zonodig wordt een breuksteenlaag aangebracht. De plek wordt gepenetreerd met warm gietasfalt met een korrelgradering die gemakkelijk ook 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.

Wordt een inkassing gemaakt, dan zal de keuze voor gietasfaltpenetratie als noodmaatregel niet meer relevant zijn, en kan de uitvulling met open steenasfalt worden uitgevoerd. Wel moeten de te repareren oppervlakken worden schoongespoten en van een kleeflaag worden voorzien.

9.4.4.4 Herprofileren

Bij extreme zetting of uitspoelen van de ondergrond kan het nodig zijn om de bekleding te herprofileren. Na 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 ook het filter hierbij 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 (paragraaf 9.4.4.5) beschreven is, en wordt het gat in de bekleding uitgevuld.

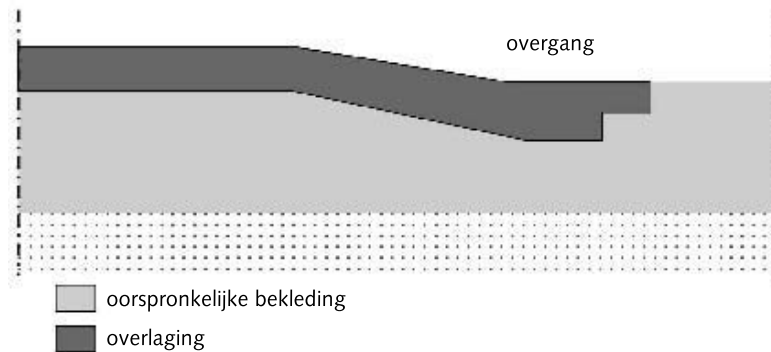
9.4.4.5 Herstellen van het filter

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. Eén meter rond de schade in het filter wordt het open steenasfalt verwijderd. Een filter van geotextiel wordt hersteld door textiel met ca. 1 meter overlap over de beschadigde plaats aan te brengen en op enkele punten vast te zetten. Een zandasfalt filter 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.

9.4.4.6 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 9.18 weergegeven.

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 vergoot 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.



Figuur 9.18 Randoplossing overlaging

9.4.4.7 Uitvoeringstechniek reparatie overgangsconstructies

Waterbouwasfaltbeton

Bij overgangsconstructies worden naden gevuld als beschreven in paragraaf “vullen scheuren en naden”. Brede naden (> 100 mm) en aantastingen worden bij voorkeur met asfaltbeton gerepareerd. Hiervoor kunnen inkassingen nodig zijn (voorbeelden figuur 9.14).

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.

- [d' Angremond, 1970] d'Angremond, A.J. e.a., Use of asphalt in breakwater construction, Coastal engineering conference, Washington D.C., 1970.
- [Van Asbeck, 1959] Van Asbeck, Baron W.F., Bitumen in hydraulic engineering, a book of reference, volume 1, Shell, London, 1959.
- [Van Berchum, 2000] Berchum, A.M. van e.a., Ecologisch advies voor de toepassing van asfaltconstructies in de getijdzone, gerelateerd aan dijkbekledingen van natuursteen en beton, Rijksinstituut voor Kust en Zee, werkdocument RIKZ/AB/2000.814x, Middelburg, 2000.
- [Best, 1992] Best, H., Overdrukken onder asfaltbekleding, CO-329570/10, Grondmechanica Delft, Delft, oktober 1992.
- [Bischoff van Heemskerk, 1959] Bischoff van Heemskerk, W.C., Voorlopige richtlijnen voor de dimensionering van waterdichte dijkbekledingen, voor zover deze volgt uit de te verwachten waterspanningen, Den Haag, maart 1959.
- [Bonnaure, 1977] Bonnaure., F. e.a. A new method of predicting the stiffness of asphalt paving mixtures, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, volume 46, San Antonio, februari 1977.
- [Bonnaure, 1980] Bonnaure., F. e.a. A new method for predicting the fatigue life of bituminous mixes, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, volume 49, Louisville, 1980.
- [Bowles, 1977] Bowles, J.E., Foundation Analysis and design, Mc Graw-Hill Book Co. Inc, New York, 1977.
- [Bsb, 1995] Bouwstoffenbesluit Bodem- en Oppervlaktewaterbescherming, Ministerie van VROM, Staatsblad 567, 1995.
- [Coppens, 1996] Coppens, M.H.M., Uitlooggedrag van (waterbouw-) asfalt, een literatuuronderzoek, Netherlands Pavement Consultants i.o.v. Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, W-DWW-96-084, Delft, september 1996.

Referentielijst

- [CROW, 1990] Catalogus Reparatietechnieken in de asfaltwegenbouw, CROW-publicatie 36, CROW, Ede, 1990.
- [CROW, 1991] Handleiding reparatietechnieken in de asfaltwegenbouw, CROW-publicatie 55, CROW, Ede, 1991.
- [CROW, 1995] Deflectieprofiel geen valkuil meer, CROW-publicatie 92, CROW, Ede, augustus 1995.
- [CROW, 1997] Modelkwaliteitsplan voor de GWW, CROW-publicatie 117, CROW, Ede, juli 1997.
- [CROW, 1998] Dichtheid steenfunderingen nucleair meten, CROW-publicatie 128, CROW, Ede, 1998.
- [CROW, 1999-a] Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen GWW, Nationaal DuBo Centrum, CROW, Ede, 1999.
- [CROW, 1999-b] Uniformering evaluatiemethodiek cementbetonverhardingen, CROW-publicatie 136, CROW, Ede, 1999.
- [CROW, 2000-a] Standaard RAW Bepalingen, CROW, Ede, oktober 2000.
- [CROW, 2000-b] Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-atteest-met-productcertificaat voor de prestaties en milieuhygiënische eigenschappen van bitumineus gebonden mengsels, BRL 9320, CROW, Ede, februari 2000.
- [CROW, 2000-c] Toepassing radartechniek in de wegenbouw, CROW-publicatie 149, Ede, september 2000.
- [CUR, 1989] Toepassing van alternatieve materialen in de waterbouw, literatuurstudie, CUR-rapport 89-1, CUR, Gouda, 1989.
- [CUR, 1992-a] Handboek voor de dimensionering van gezette taludbekledingen, CUR-rapport 155, CUR/TAW, Gouda, maart 1992.
- [CUR, 1992-b] Construeren met grond, Grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond, CUR-rapport 162, CUR, Gouda, november 1992.
- [CUR, 1993] Filters in de waterbouw, CUR-rapport 161, CUR, Gouda, juni 1993.
- [CUR, 1995-a] Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering, CUR/RWS publication 169, CUR, Gouda, The Netherlands, June 1995.

-
- [CUR, 1995-b] Geotextielen in de waterbouw, CUR-rapport 174, CUR, Gouda, 1995.
- [CUR, 1995-c] Achtergronden van numerieke modellering van geotechnische constructies, deel 1, CUR-rapport 178, CUR, Gouda, 1995.
- [CUR, 1995-d] Toepassing van asfalt bij binnenwateren, CUR-rapport 179, CUR, Gouda, oktober 1995.
- [CUR, 1997] Kansen in de civiele techniek, deel 1: probabilistisch ontwerpen in theorie, CUR-rapport 190, CUR, Gouda, 1997.
- [CUR, 1998-a] Bepaling van de vloeistofdichtheid van bitumineuze materialen, aanbeveling 52, CUR, Gouda, 1998.
- [CUR, 1998-b] Breuksteen in de praktijk, deel 1: productie, verwerking en kwaliteitszorg, CUR-rapport 192, CUR, Gouda, 1998.
- [CUR, 1999] Natuurvriendelijke oevers (6 delen), CUR-rapporten 200 t/m 205, CUR, Gouda, 1999.
- [CUR, 2000] Breuksteen in de praktijk, deel 2: dimensioneren van constructies in binnenwateren, CUR-rapport 197, CUR, Gouda, 2000.
- [CUR, 2001] Geokunststoffen op de bouwplaats, CUR-publicatie 206, CUR, Gouda, 2001.
- [DWW, 2001] Keuzemodel kust- en oeverwerken; een ontwerp-ondersteunend model voor de beoordeling van effecten op milieu-, LNC- en kostenaspecten, Rapportnr. DWW-2001-51, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, en NIBE-research, Naarden, 2001.
- [DWW, 2003] Veiligheidsbeoordeling van Asfalt Dijkbekledingen, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, 2003.
- [Fliervoet, 1991] Fliervoet, L., Begroeiing van open steenasfalt (fixtone), als oever- en dijkbekleding, Landbouwniversiteit Wageningen, adviesgroep Vegetatiebeheer, Wageningen, 1991.
- [Führböter, 1988] Führböter, A en Sparboom, U, Shock pressure interactions on prototype sea dykes caused by breaking waves, uit: Modeling Soil-Water-Structure Interactions, Kolkman et al. (eds), Balkema, Rotterdam, 1988.

Referentielijst

- [Gaarkeuken, 2000] Gaarkeuken, G., Het golfklapmodel, Netherlands Pavement Consultants, Utrecht, april 2000.
- [Greeuw, 1989] Greeuw, G., Samenvatting onderzoek naar een diagnosesysteem voor asfaltbekleding, onderzoek 1984-1988, CO-30170/7, Grondmechanica Delft, Delft, februari 1989.
- [’t Hart, 1995] ’t Hart, R., Notitie: Dimensioneren op het oprijfcriterium, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, maart 1995.
- [Den Heijer, 1996] Den Heijer, F, Globale indicatie van het waterstandsverloop onder maatgevende omstandigheden, W-DWW-96-014, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, februari 1996.
- [Heukelom, 1966] Heukelom, W., Observations on the rheology and fracture of bitumens and asphalt mixes, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, volume 35, Minneapolis, 1966.
- [Heukelom, 1973] Heukelom, W., An improved method of characterising asphaltic bitumens with the aid of their mechanical properties, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, volume 42, Houston, 1973.
- [Hoffmans, 1997] Hoffmans, G.J.C.M., Verheij, H.J., Scour Manual, Balkema, Rotterdam, 1997.
- [IARC, 2001] Epidemiological study of cancer mortality among European asphalt workers, International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, June 2001.
- [Kerkhoven, 1965] Kerkhoven, Recent developments in asphalt techniques for hydraulic applications in the Netherlands, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, volume 34, Pennsylvania, 1965.
- [LGM, 1986] Doorlatendheidsproeven op zandasfalt en open steenasfalt, rapport CO 279800/2, Laboratorium voor Grondmechanica, Delft, februari 1986.

- [De Looff, 1996-a] Looff, A.K. de, Dimensioneren van een gesloten dijkbekleding op wateroverdrukken, Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, mei 1996.
- [De Looff, 1996-b] Looff, A.K. de, Schadecatalogus voor waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt dijkbekledingen, Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, 15 juli 1996.
- [De Looff, 1999-a] Looff, A.K. de, Dimensioneren op wateroverdrukken, presentatie en interpretatie resultaten grondwaterstromingsberekeningen, Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, januari 1999.
- [De Looff, 1999-b] Looff, A.K. de, Notitie: Ontwerpcriteria bij dimensioneren op wateroverdrukken, Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, februari 1999.
- [Lubbers, 1985] Lubbers, H.E., Bitumen in de wegen- en waterbouw, NABIT, Gouda, april 1985.
- [Van der Meer, 1991] Meer, J.W. van der, Stability and transmission at low-crested structures, Delft Hydraulics, Publication 453, Delft, 1991.
- [Meijers, 1993] Meijers, P, Ontwerpmethodiek bepaling asfaltdikte taluds onder golfbelasting, fase 2, CO-337630/9, Grondmechanica Delft, Delft, mei 1993.
- [Meijers, 1998] Meijers, P, Aanpassingen programma GOLFKLAP (versie 7.0), CO-381730/8, Grondmechanica Delft, Delft, februari 1998.
- [Montauban, 1984] Montauban, C.C., Enige eigenschappen van Waterbouwasfaltbeton, (Paper voor Eurobitume Congres), Rapport MAW-P-84083, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, december 1984.
- [Montauban, 1986] Montauban, C.C., Onderzoek oeverbescherming van open steenasfalt op zandasfalt, rapport MAO-R-86073, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, november 1986.

Referentielijst

- [Montauban, 1993] Montauban, C.C. en Van de Ven, M.F.C., Determination of mechanical properties of hydraulic asphaltic concrete by means of a three point bending test, (Paper voor 5e Eurobitume Congres), Dienst Weg- en Waterbouwkunde/Netherlands Pavement Consultants, Delft/Utrecht, 1993.
- [Montauban, 1998] Montauban, C.C. en Versluis, A., Vermoeiing en veroudering van waterbouwasfaltbeton, Paper voor de Wegbouwkundige Werkdagen, Dienst Weg- en Waterbouwkunde/Netherlands Pavement Consultants, Delft/Utrecht, 1998.
- [Nevul, 2001] Jaarlijkse brochure over activiteiten, certificatie en erkende vulstofmerken, Nederlandse vereniging van fabrikanten en importeurs van vulstof voor bitumineuze werken, (Nevul), Heemstede, 2001.
- [NNI, 2000-a] Normalisatiecatalogus 2000, Nederlands Normalisatie-instituut, NNI, Delft, 2000.
- [NNI, 2000-b] Jaarboek bouwmaterialen, jaarlijkse uitgave van het Nederlands Normalisatie Instituut, NNI, Delft, 2000.
- [Pilarczyk, 1990] Pilarczyk, K.W. (editor), Coastal Protection, Balkema, Rotterdam, 1990.
- [Pilarczyk, 1995] Pilarczyk, K.W., Simplified unification of stability formulae for revetments under current and wave attack, uit: River, coastal and shoreline protection, John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK, 1995.
- [Van der Poel, 1954] Poel, C. van der, A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test data, Journal of applied chemistry volume 4 part 5, May 1954.
- [RWS, 1997] Duurzaam bouwen bij Rijkswaterstaat, Rijkswaterstaat, juni 1997.
- [Shell, 1978] Shell Pavement Design Manual, Shell International Petroleum Company Ltd., London, 1978.
- [Shell, 1990-a] The Shell Bitumen Handbook, Shell Bitumen UK, Chertsey, 1990.
- [Shell, 1990-b] BANDS-PC, Bitumen and Asphalt Nomograms Developed bij Shell, Shell Research BV, Amsterdam, 1990.

-
- [Shell, 1999] The Shell Bitumen Hydraulic Engineering Handbook, Shell International Petroleum Company Ltd., London, 1999.
- [SPM, 1984] Shore Protection Manual, 4th edition, US Army corps of engineers, Coastal engineering research center, US Government printing office, Washington DC, 1984.
- [Sprangers, 1997] Sprangers, J.T.C.M., en Frissel, J.Y, Begroeiing van asfaltbekledingen, Wageningen, november 1997.
- [Staatsblad, 1996] Wet op de Waterkering, Staatsblad 1996 8, ISSN 0920-2064, 9 januari 1996.
- [Stuurman, 1997] Stuurman, R., Multifunctioneel ontwerp van asfaltbekledingen voor waterkeringen, Ingenieursbureau Oranjewoud, Capelle a/d IJssel, juli 1997.
- [TAW, 1984] Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen/Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1984.
- [TAW, 1985] Open steenasfalt – kennis van de eigenschappen verzameld uit onderzoek uitgevoerd in de periode tot 1984, rapport S-85.029, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, juli 1985.
- [TAW, 1987] Waterbouwasfaltbeton, ontwerp en eigenschappen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, januari 1987.
- [TAW, 1989] Ontwerp en meting van overvulde waterbouwkundige asfaltmengsels voor bodembescherming en breuksteenpenetratie, rapport TAW-A4 89-07, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, december 1989.
- [TAW, 1990] Onderzoek naar het mechanisch gedrag van zandasfalt, Oranjewoud in opdracht van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Capelle a/d IJssel, januari 1990.
- [TAW, 1992] Overgangsconstructies in dijkbekledingen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, 1992.

Referentielijst

- [TAW, 1994] Handreiking constructief ontwerpen, onderzoek en berekening naar het constructief ontwerp van de dijkversterking, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, april 1994.
- [TAW, 1995-a] Leidraad Zandige Kust, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, juli 1995
- [TAW, 1995-b] Basisrapport Zandige Kust (behorende bij de Leidraad Zandige Kust), Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, juli 1995.
- [TAW, 1996] Technisch Rapport Klei voor Dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, mei 1996.
- [TAW, 1998-a] Grondslagen voor Waterkeren, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Uitgeverij A.A. Balkema, Rotterdam, januari 1998.
- [TAW, 1998-b] Technisch Rapport golfoploop en golfoverslag (concept), Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, juli 1998.
- [TAW, 1999-a] Leidraad Toetsen op Veiligheid, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, augustus 1999.
- [TAW, 1999-b] Leidraad Zee- en Meerdijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, december 1999.
- [TAW, 2001] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Den Haag, juni 2001.
- [TCRAND, 1996] Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, september 1996.
- [Timoshenko, 1940] Timoshenko, S, Theory of plates and shells, Mc Graw-Hill Book Co. Inc, New York, 1940.
- [Van der Veer, 1976] Veer, P van der, Calculation method for two-dimensional groundwater flow, Delft Progress Report, Geosciences, Delft, 1976.

- [Versluis, 1997] Versluis, A., Literatuurstudie: Beproeving van asfalt in afschuiving: Implicaties voor open steenasfalt, Netherlands Pavement Consultants, NPC-96460A, 21 juli 1997.
- [Versluis, 1998-a] Versluis, A., Proefvoorschrift driepuntsbuigonderzoek waterbouwasfaltbeton, Netherlands Pavement Consultants voor Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, W-DWW-98-040, 1998.
- [Versluis, 1998-b] Versluis, A., Bepaling vermoeiingskarakteristiek waterbouwasfaltbeton t.b.v. toetsing, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, maart 1998.
- [Versluis, 1998-c] Versluis, A., Wapening van asfaltbekledingen, Netherlands Pavement Consultants, Utrecht, augustus 1998.
- [Versluis, 1999-a] Versluis, A., Trekspanningen in asfalt bij afschuiven, Netherlands Pavement Consultants, Utrecht, augustus 1999.
- [Versluis, 1999-b] Versluis, A., Methodiekontwikkeling toetsing asfaltbekledingen (Texel), Netherlands Pavement Consultants, Utrecht, december 1999.
- [Versluis, 2000] Versluis, A., Vermoeiingseigenschappen open steenasfaltbekledingen, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, mei 2000.
- [VBW-Asfalt, 1997] Asfalt Onderhoudstechnieken, VBW-uitgave nr. 14, Breukelen, 1997.
- [VBW-Asfalt, 2000-a] Asfalt in de Wegen en Waterbouw, tiende druk 2000, Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt (VBW-Asfalt), Breukelen, november 2000.
- [VBW-Asfalt, 2000-b] Documentatiemap bitumenemulsie in de wegenbouw, VBW-Asfalt, Breukelen, VEAB, Oosterhout, VNFB, Leidschendam, 2000.
- [WGD, 1961] Werkgroep Gesloten Dijkbekledingen, Voorlopig rapport 1961, Staatsuitgeverij, Den Haag, 1961.
- [Willemse, 1991] Willemse, L.A., Onderzoek dijkvegetatie (in opdracht van het waterschap Tholen), Landbouwuniversiteit Wageningen, Wageningen, september 1991.
- [Woestenenk, 1977] Woestenenk, A.J., Bitumineuze oeverbekledingen, Cursus Oeverbekledingen, Stichting Postdoctoraal Onderwijs in de Civiele Techniek, Delft, 1977.

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

INHOUD BIJLAGEN

BIJLAGE 1	ASFALTECHNOLOGIE	239
	1 BOUWSTOFFEN	241
	2 MENGELASPECTEN	255
	3 EIGENSCHAPPEN	263
BIJLAGE 2	ASFALTMENGSELS	275
BIJLAGE 3	TESTMETHODEN EN NORMEN	281
	1 INLEIDING	283
	2 TESTMETHODEN	285
	3 NORMEN PER BOUWSTOF	297
	4 NORMEN	303
BIJLAGE 4	ACHTERGRONDEN BIJ DE REKENREGELS VOOR HET DIMENSIONEREN OP WATEROVERDRUKKEN	307
BIJLAGE 5	REKENVOORBEEDEN BIJ HET DIMENSIONEREN OP WATEROVERDRUKKEN	315
BIJLAGE 6	ACHTERGRONDEN BIJ DE GRAFIEKEN VOOR HET DIMENSIONEREN OP GOLFKLAPPEN	321
BIJLAGE 7	PATROONPENETRATIE VAN BREUKSTEENBEKLEDINGEN	331
BIJLAGE 8	STATISTISCHE VERWERKING VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN	337

INHOUD

1	BOUWSTOFFEN	241
1.1	KORRELVERDELING MINERAAL AGGREGAAT	241
1.2	STEENSLAG	242
1.3	GRIND	244
1.4	ZAND	244
1.5	VULSTOF	246
1.6	BITUMEN	247
1.6.1	<i>Viscositeit</i>	247
1.6.2	<i>Mechanische eigenschappen</i>	251
1.7	BITUMENEMULSIE	253
2	MENGSELASPECTEN	255
2.1	HOLLE RUIMTE IN HET MINERAAL AGGREGAAT (SKELET)	255
2.2	VULLING VAN DE HOLLE RUIMTE	256
2.3	KWALITEIT VAN DE VULLING	257
2.4	HOLLE RUIMTE IN HET MENGSEL	259
3	EIGENSCHAPPEN	263
3.1	DOORLATENDHEID	263
3.2	MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN	264
3.2.1	<i>Stijfheid</i>	264
3.2.2	<i>Stabiliteit</i>	266
3.2.3	<i>Flexibiliteit</i>	267
3.2.4	<i>Sterkte</i>	267
3.3	DUURZAAMHEID	268
3.3.1	<i>Verharding</i>	268
3.3.2	<i>Stripping</i>	271
3.3.3	<i>Vermoeiing</i>	271
3.3.4	<i>Biologische aantasting</i>	272

1.1 Korrelverdeling mineraal aggregaat

Bij mineraal aggregaat is de korrelverdeling een van de belangrijkste eigenschappen. De grootte van de korrels en de verdeling per grootte bepalen voor een belangrijk deel of het mineraal geschikt is om in asfaltmengsels te worden toegepast. De korrelverdeling wordt bepaald met de zeefproef (Standaard, proef 6.0) met zeven volgens NEN 2560:

C45-C31,5-C22,4-C16-C11,2-C8-C5,6-C4-2,8mm-2mm-500µm-180µm-63µm.

Een groep korrels met afmetingen tussen 2 opeenvolgende zeven wordt een zeef fractie genoemd. Met het begrip zeeffractie kan het verschil duidelijk worden gemaakt tussen de bouwstoffen (steenslag, zand en vulstof) en bouwstoffracties (steenfractie, zandfractie en vulstoffractie):

- alle materiaal groter dan 2 mm wordt "steenfractie" genoemd;
- alle materiaal tussen 2 mm en 63 µm wordt "zandfractie" genoemd;
- alle materiaal kleiner dan 63 µm wordt "vulstoffractie" genoemd.

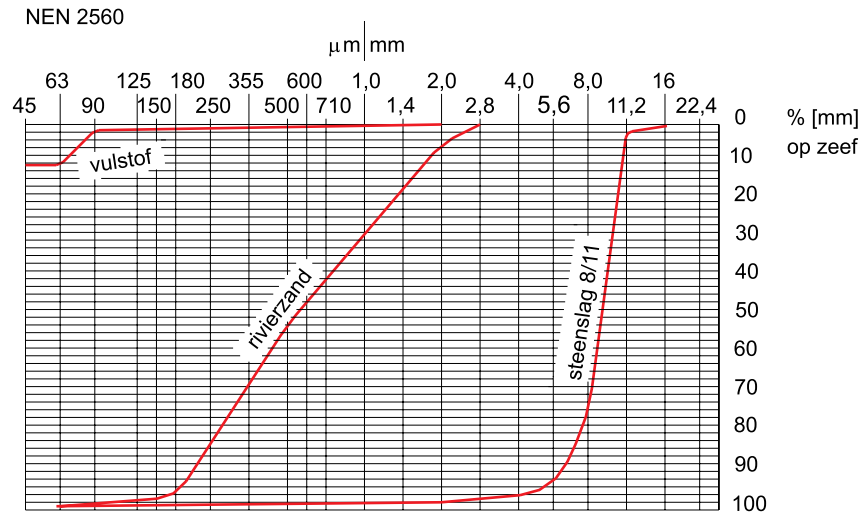
Bouwstoffen zijn dus ruimer gedefinieerd dan fracties: steenslag bijvoorbeeld bestaat hoofdzakelijk uit steenfractie maar bevat daarnaast ook een beperkte hoeveelheid zand- en vulstoffractie.

Voor mengselontwerp en kwaliteitscontrole is het noodzakelijk om onderscheid te maken tussen bouwstoffen en deze scherp omschreven fracties. In tabel B1.1 zijn enkele voorbeelden van graderingen gegeven.

Tabel B1.1 Voorbeelden van graderingen

zeefmaat (massa % op zeef)	steenslag 8/11	rivierzand	vulstof
C22,4	0,0		
C16	0,4		
C11,5	2,2		
C8	75,6		
C5,6	95,7		
C4			
2.8 mm		0,0	
2 mm	98,2	5,0	0,0
500 µm		52,1	
180 µm		96,6	
90 µm			1,4
63 µm	99,1	99,4	10,4
door 63 µm	0,9	0,6	89,6

Vaak worden korrelverdelingen ook grafisch weergegeven (figuur B1.1).



Figuur B1.1 Korrelverdeling van steenslag 8/11, rivierzand en vulstof

1.2 Steenslag

De vereiste korrelverdeling van steenslag is in NEN 6240 voorgeschreven. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen productiematen (8/11, 11/16, 16/22) en mengmaten (4/11, 8/16). Een productiemaat is een steenslag waarvan de korrels grotendeels liggen tussen 2 opeenvolgende zeefmaten: bijvoorbeeld steenslag 8/11 wordt begrensd door de zeven C8 en C11,2. Steenslag 8/16 is een mengmaat en omvat meerdere zeeffracties: C8-C11,2 en C11,2-C16.

Om productietechnische redenen mogen de steenslagmaten 10 tot 15% overmaat en ondermaat vertonen; dit is het aandeel groter dan de bovenzeef respectievelijk kleiner dan de onderzeef.

In de tabellen B1.2 en B1.3 zijn de productiematen en mengmaten volgens de NEN-norm opgenomen.

Tabel B1.2 Korrelverdeling van productiematen volgens NEN 6240

zeef volgens NEN2560	cumulatieve zeefrest % (m/m)					
	korrelgroep productiematen					
	0/2 (brekerzand)	2/6	4/8	8/11	11/16	16/22
C31,5	-	-	-	-	-	-
C22,4	-	-	-	-	0	0 t/m 10
C16	-	-	-	0	0 t/m 10	85 t/m 100
C11,2	-	-	0	0 t/m 10	85 t/m 100	95 t/m 100
C8	-	0	0 t/m 10	80 t/m 100	95 t/m 100	
C5,6	-	0 t/m 10	55 t/m 80	95 t/m 100		
C4	0	20 t/m 45	85 t/m 100			
2 mm	0 t/m 10	85 t/m 100	95 t/m 100			
1 mm	-	95 t/m 100				
500 µm	55 t/m 80					
180 µm	80 t/m 95					
63 µm	97 t/m 100					

Tabel B1.3 Korrelverdeling van de mengmaten volgens NEN 6240

zeef volgens NEN2560	cumulatieve zeefrest % (m/m)		
	korrelgroep mengmaten		
	2/8	4/11	8/16
C22,4	-	-	0
C16	-	0	0 t/m 10
C11,2	0	0 t/m 10	40 t/m 60
C8	0 t/m 10	40 t/m 60	90 t/m 100
C5,6	20 t/m 40	80 t/m 100	95 t/m 100
C4	50 t/m 70	90 t/m 100	
2 mm	90 t/m 100	95 t/m 100	
1 mm	95 t/m 100		

Naast de korrelverdeling worden ook eisen gesteld aan de korrelvorm. Dit betreft het percentage breukvlakken dat minimaal 90% moet zijn en het gehalte aan platte stukken dat niet meer dan 30% mag bedragen.

Schadelijke bestanddelen mogen niet in steenslag voorkomen. Dit betreft verontreinigingen (houtdeeltjes en klei) en het natuurlijk voorkomen van vuursteen. Dit laatste moet worden beperkt om de hechting met bitumen te waarborgen. Het gehalte aan eigen stof (< 63 µm) mag niet meer dan 1-3% bedragen, om te voorkomen dat deze de kwaliteit van de fabrieksvulstof teveel beïnvloedt.

Ook aan de sterkte worden eisen gesteld; per zeeffractie wordt een maximaal verbrijzelingspercentage toegestaan.

Tot slot worden in het kader van de duurzaamheid eisen gesteld aan de bestendigheid van de steenslag; dit betreft de inwerking van weer en omgeving. Hieruit zijn eisen afgeleid die onder andere te maken hebben met de weerstand tegen vorst en hitte.

1.3 Grind

In de Standaard is een beperkt aantal graderingen voor grind voorgeschreven: 4/16, 16/32 en 4/32. Hiervan wordt alleen de maat 4/16 voor waterbouwmengsels gebruikt. In de Standaard-1995 was ook de maat 20/40 beschreven voor dicht steenasfalt. Deze is bij het opstellen van de Standaard 2000 komen te vervallen omdat dicht steenasfalt niet meer als standaardmengsel wordt beschreven.

Voor grind wordt in de Standaard eenzelfde pakket eisen voorgeschreven als voor steenslag; verwezen wordt daarbij naar de norm voor steenslag: NEN 6240.

1.4 Zand

De korrelverdeling van zand wordt vastgelegd met de zeven: 2mm, 500 µm, 180 µm en 63 µm. In de Standaard zijn eisen voor de korrelverdeling opgenomen. Voor de boven- (> 2mm) en ondermaat (< 63µm) werden voor zandasfalt minder strenge eisen gesteld dan voor de overige mengsels. In de Standaard 2000 worden de strenge eisen alleen nog voorgeschreven voor open steenasfalt en asfaltmastiek. De eisen zijn opgenomen in tabel B1.4.

Tabel B1.4 Eisen voor zand in waterbouwkundige asfaltmengsels (Standaard 2000)

asfaltmengsel	fractie op zeef 2 mm, max.	fractie door zeef 63 µm van het materiaal door zeef 2 mm, max.
open steenasfalt en asfaltmastiek	5,0	3,0
waterbouwasfaltbeton en gietasfalt	15,0	5,0

Naast de korrelverdeling wordt zand ook gekarakteriseerd door het "zandpunt" van de zandfractie (2 mm - 63 µm): dit is de verhouding van de 3 zeeffracties

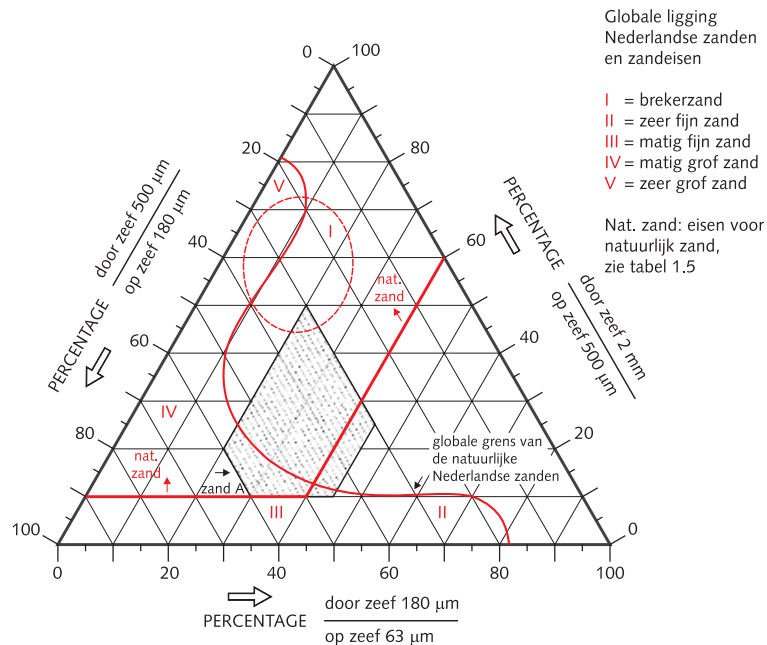
binnen de zandfractie. Een voorbeeld is weergegeven in tabel B1.5. waarin tevens de eisen uit de Standaard 1995 en 2000 zijn opgenomen.

Tabel B1.5 Het zandpunt van een rivierzand en de eisen voor zand in waterbouwasfaltbeton

fractie	rivierzand (voorbeeld)	eisen voor zand A (Standaard 1995)	eisen voor zand (Standaard 2000)
2 mm - 500 µm	49,9	10,0 - 50,0	10,0 - 100,0
500 µm - 180 µm	47,1	30,0 - 60,0	
180 µm - 63 µm	3,0	20,0 - 45,0	0,0 - 40,0

In de Standaard 2000 zijn de strenge eisen van zand A verlaten; naar analogie van de wegenbouw worden minder strenge eisen gesteld. Dit is acceptabel omdat de vooronderzoekprocedures zodanig zijn veranderd, dat ook met afwijkende zandgraderingen de juiste mengsels worden ontworpen.

Een andere presentatievorm is de zanddriehoek (figuur B1.2), waarin het zandpunt uit tabel B1.5 grafisch is weergegeven.



Figuur B1.2 Zanddriehoek [VBW-Asfalt, 2000-a]

In de zanddriehoek wordt ook een indruk gegeven van de gradering van verschillende in Nederland voorkomende zandsorten. Door menging van zandsorten kan een goed gegradeerd zand (zoals zand A) worden verkregen.

Aan eigenschappen als korrelvorm, sterkte en bestendigheid worden geen eisen gesteld, omdat deze eigenschappen geen probleem kunnen vormen. Immers bij de afzetting van natuurlijke zanden blijven alleen ronde, sterke en bestendige korrels over.

Wel wordt de eis gesteld dat zand geen vreemde bestanddelen mag bevatten, zoals organisch materiaal.

1.5 Vulstof

Om de kwaliteit van vulstof te beheersen worden eisen gesteld aan de korrelverdeling. Deze wordt bepaald met de zeven: 2 mm, 90 μm en 63 μm .

Naast de korrelverdeling is de zogenaamde sterkte van vulstof een belangrijke eigenschap. Deze bepaalt het bindend vermogen (of opneemvermogen) van vulstof t.o.v. bitumen en is afhankelijk van de korrelverdeling en de aard van het oppervlak van de vulstofkorrels. Deze eigenschap wordt op 2 manieren bepaald: door het bitumengetal (is de hoeveelheid water om een vulstof/watermengsel een bepaalde viscositeit te geven) en door de holle ruimte van een droog verdicht monster (Holle ruimte Rigden).

Vulstoffen met een laag opneemvermogen worden (zeer) zwak genoemd.

Deze worden in de waterbouw toegepast omdat zij met relatief weinig bitumen flexibele en duurzame mengsels opleveren. Daarnaast wordt in de waterbouw uit oogpunt van duurzaamheid alleen kalksteenvulstof voorgeschreven, zodat van alle erkende vulstoffen slechts enkele soorten toepasbaar zijn. Deze erkende vulstoffen worden jaarlijks gepubliceerd in de brochure van de NEVUL [Nevul, 2001], de vereniging van vulstofleveranciers.

In tabel B1.6 zijn de eisen voor vulstof gegeven.

Tabel B1.6 Eisen voor zeer zwakke en zwakke vulstof volgens NEN 3975

eigenschap	eenheid	zeer zwakke vulstof		zwakke vulstof		Beproevingen volgens
		min	max	min	max	
korrelverdeling op zeef volgens NEN 2560						NEN 3976
2 mm	%(m/m)	-	0	-	0	
90 µm	%(m/m)	-	15	-	15	
63 µm	%(m/m)	5	25	5	25	
bitumengetal	-	28	38	40	50	NEN 3977
holle ruimte	%(v/v)	28	-	36	-	NEN 3978
massaverlies bij 150°C	%(m/m)	-	1,5	-	1,5	NEN 3980
oplosbaarheid in water	%(m/m)	-	10	-	10	NEN 3981
watergevoeligheid, hoeveelheid afgescheiden vulstof	%(m/m)	-	10	-	10	NEN 3982
aanwezigheid sterk zwellende kleimineralen	g/kg*)	-	22,5	-	22,5	Ontw. NEN-EN 933-12

*) Deze eis wordt uitgedrukt in g geadsorbeerd methyleenblauw per kg vulstof

1.6 Bitumen

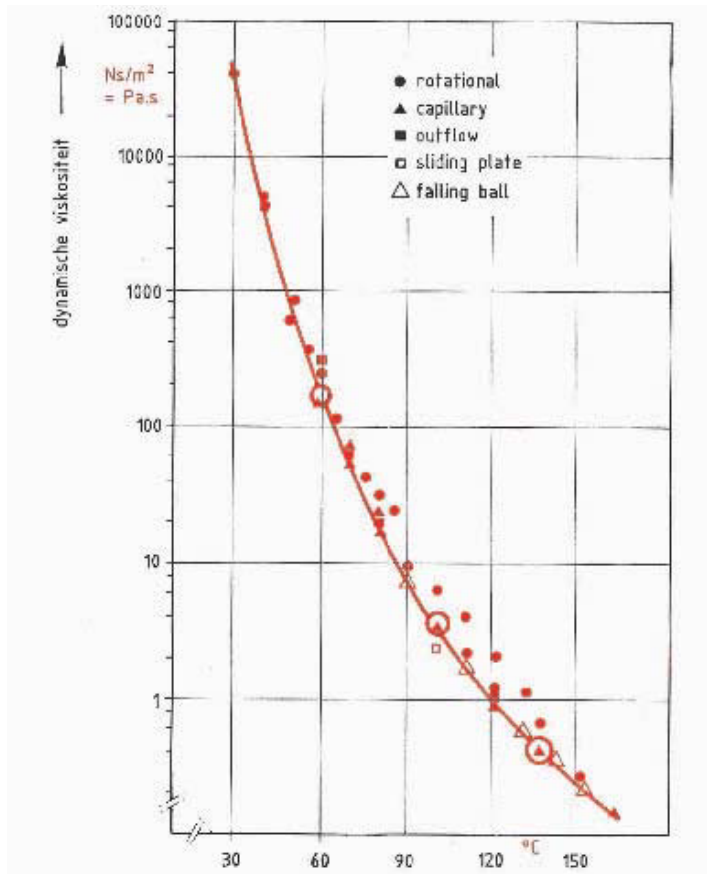
1.6.1 Viscositeit

Bitumen is bij kamertemperatuur (20°C) in het algemeen een vaste stof.

Bij hoge temperaturen is bitumen een vloeistof, terwijl het bij lage temperaturen hard en bros is. Dit temperatuursafhankelijke gedrag wordt vooral gekarakteriseerd door de viscositeit. De viscositeit is een maat voor de vloeibaarheid en geeft aan hoe een (vloei)stof vervormt onder invloed van een schuifspanning.

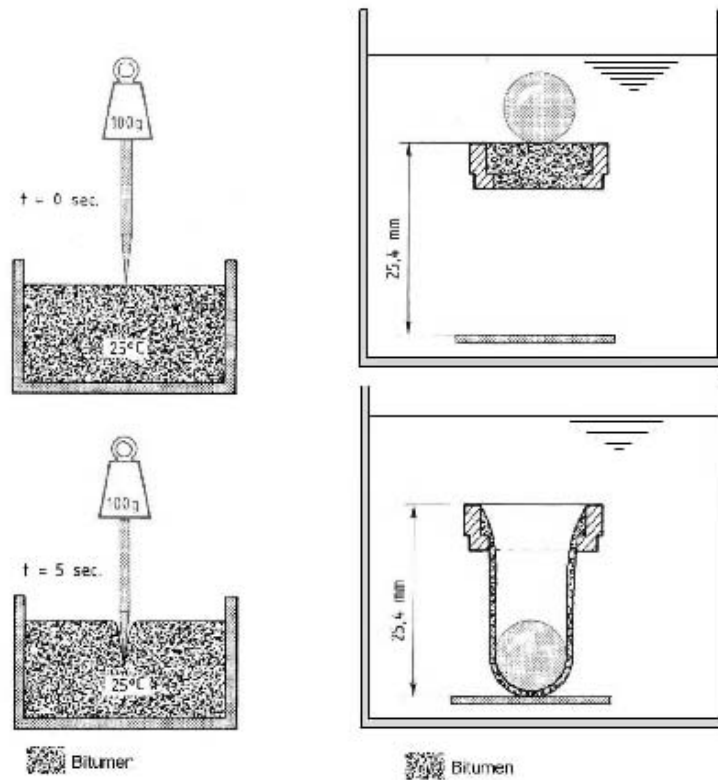
De viscositeit kan met een groot aantal testmethoden worden bepaald die in het algemeen tamelijk complex zijn. Ze leveren wel een eenduidig verband tussen viscositeit en temperatuur:

In figuur B1.3 is de viscositeit van bitumen uitgezet tegen de temperatuur. Uit de grafiek volgt dat de viscositeit van bitumen bij 150°C circa 0,62 Pa.s en bij 30°C circa 30.000 Pa.s bedraagt. Ter vergelijking: de dynamische viscositeit van water bij 20°C is $1 \cdot 10^{-3}$ Pa.s en van machineolie bij 10°C is ongeveer 0,68 Pa.s.



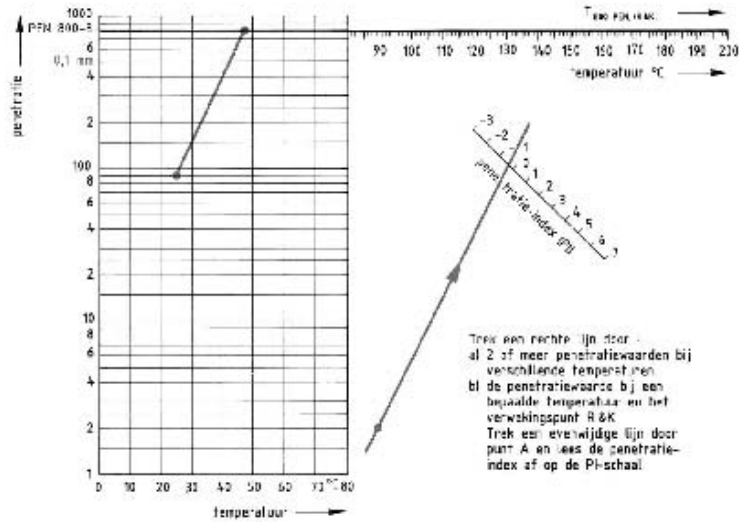
Figuur B1.3 Relatie viscositeit-temperatuur bepaald met diverse testmethoden [Lubbers, 1985]

In het algemeen wordt de viscositeit van bitumen niet rechtstreeks bepaald maar worden empirische parameters bepaald die een relatie met de viscositeit hebben. Deze parameters zijn de penetratie (pen), het verwekings-punt ($T_{r&k}$) en de penetratie-index (PI). De penetratie is de indringing van een gestandaardiseerde penetratiernaald in het bitumen onder gestandaardiseerde omstandigheden. Het verwekingspunt is de temperatuur waarbij het bitumen een bepaalde vervorming vertoont onder een voorgeschreven belasting. In feite zijn de verwekingspunten van verschillende bitumina de temperaturen, waarbij zij dezelfde viscositeit hebben. Een schematische weergave van de proeven voor het bepalen van de penetratie en het verwekingspunt is gegeven in figuur B1.4.



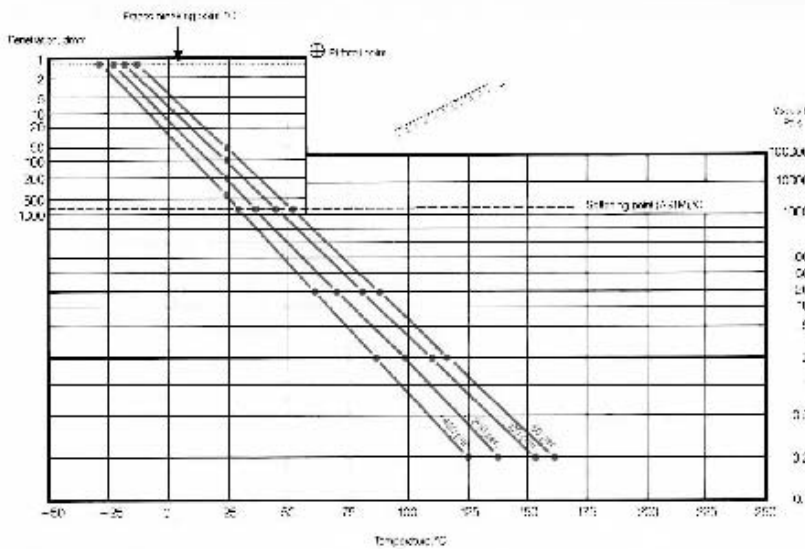
Figuur B1.4 Testmethode penetratie en verwekingspunt [Lubbers, 1985]

De penetratie-index wordt bepaald uit de penetratie en het verwekingspunt (figuur B1.5), en is een maat voor de temperatuurgevoeligheid. Een lage PI betekent dat het bitumen temperatuurgevoeliger is, d.w.z. dat de verschillen in viscositeit bij verschillende temperaturen groot zijn.



Figuur B1.5 Bepaling penetratie-index [Lubbers, 1985]

Het verband tussen deze empirische eigenschappen met de temperatuur en de viscositeit is door Heukelom weergegeven in figuur B1.6. Deze zogenaamde Bitumen Test Data Chart [Heukelom, 1973] maakt het mogelijk om met enkele eenvoudige proeven het verband tussen temperatuur en viscositeit in handen te krijgen.



Figuur B1.6 Voorbeeld van de viscositeit van verschillende bitumina als functie van de temperatuur, uit [Shell, 1990-a]

Bitumensoorten worden met penetratiegrenzen aangeduid (bijvoorbeeld bitumen 80/100 heeft een penetratie tussen de 8 en 10 mm in de penetratieproef).

Bitumen kan pas met het mineraal aggregaat worden gemengd als de viscositeit voldoende laag is; in het algemeen zal dit bij 160 tot 190°C het geval zijn. Het verwerken van asfalt vindt plaats bij een lagere temperatuur, afhankelijk van het asfaltmengsel en de toepassing ligt dit tussen 150 tot 100°C.

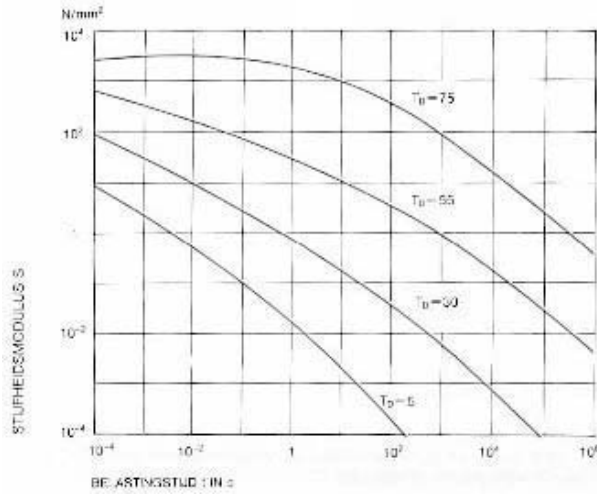
Bij bereiding en verwerking verhardt bitumen (de viscositeit neemt toe) door oxidatie en het verdwijnen van vluchtige bestanddelen. Ook verhardt bitumen in de loop van de tijd door blootstelling aan weersinvloeden (veroudering). De mate van veroudering is afhankelijk van de mate van contact met de lucht. Zo wordt in asfaltmengsels de veroudering in sterke mate bepaald door de holle ruimte.

1.6.2 Mechanische eigenschappen

Naast bovengenoemde viscositeits-eigenschappen is het mechanisch gedrag van bitumen heel specifiek. Bitumen is door de afhankelijkheid voor temperatuur en belastingssnelheid een zogenaamd visco-elastisch materiaal. Dit betekent dat materiaalparameters zoals stijfheid en sterkte geen constante waarden zijn maar ook afhangen van temperatuur en belastingssnelheid.

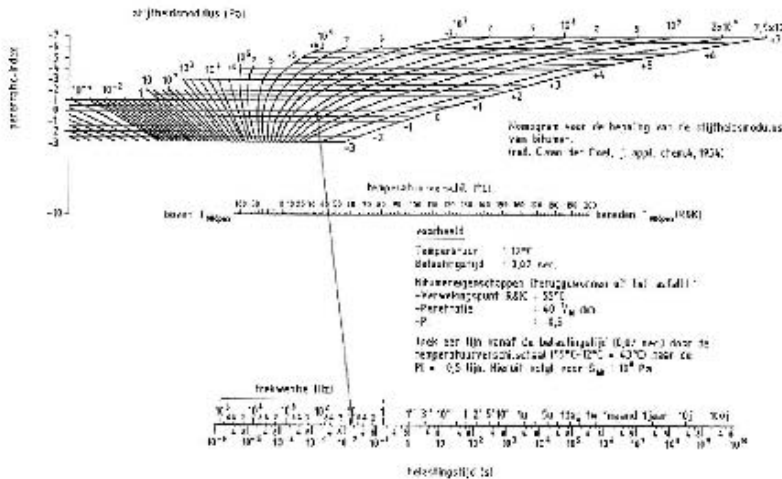
In figuur B1.7 is de stijfheidsmodulus van bitumen afhankelijk van de belastingstijd gegeven bij verschillende temperaturen. Hieruit blijkt dat de stijfheid bij lage temperatuur en korte belastingstijd bij benadering constant is, wat duidt op elastisch gedrag. Bij hoge temperatuur en lange belastingstijd gedraagt het zich vrijwel als een vloeistof. Daartussen gedraagt bitumen zich meer of minder als een vaste stof of vloeistof, afhankelijk van de condities.

In de figuur is T_D de temperatuur waarbij de proeven zijn uitgevoerd minus $T_{R\&K}$ (verwekingspunt).



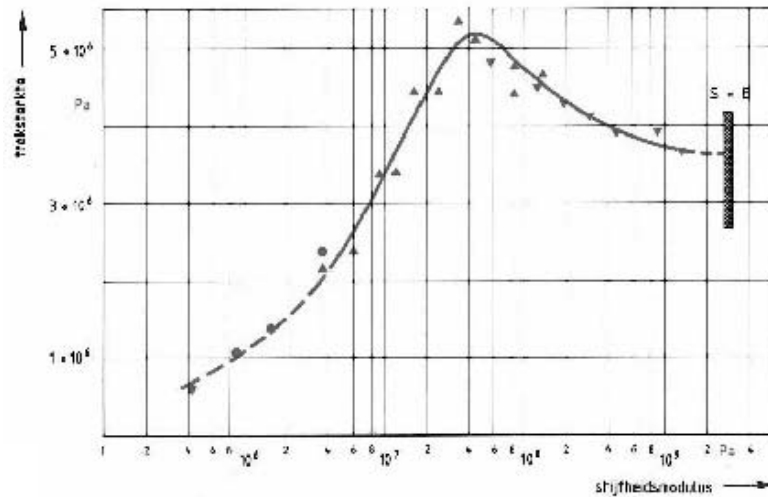
Figuur B1.7 Visco-elastisch gedrag van bitumen [VBW-asfalt, 2000-a (uitgave 1996)]

De stijfheid van bitumen kan rechtstreeks worden bepaald met proeven; dit is echter een tijdrovende en complexe inspanning. Daarvoor heeft Van de Poel in 1954 al een nomogram (figuur B1.8) vervaardigd. Hierin kan de bitumenstijfheid worden afgelezen als functie van belastingtijd en temperatuur en bitumen-eigenschappen als verwekingspunt en penetratie-index. Dit nomogram kan ook in de vorm van een grafische simulatie als computerprogramma worden gebruikt [Shell, 1990-b].



Figuur B1.8 Nomogram ter bepaling van de stijfheidsmodulus van bitumen [Van der Poel, 1954]

Ook een eigenschap als de sterkte is geen constante maar sterk afhankelijk van temperatuur en belastingstijd. In figuur B1.9 is aangegeven hoe deze relatie is, waarbij alle variabelen (T , t , Pen en PI) in de stijfheid van het bitumen zijn verdisconteerd.



Figuur B1.9 Treksterkte van bitumen als functie van de stijfheidsmodulus [Lubbers, 1985]

1.7 Bitumenemulsie

Bitumen is bij omgevingstemperatuur een vaste stof en daarom niet verwerkbaar. Een methode om bitumen toch te kunnen verwerken is het emulgeren in water. Hiertoe wordt warm bitumen als zeer kleine bolletjes (1-10 μm) verdeeld in water. Aan het mengsel wordt een emulgator toegevoegd, die zorgt dat de bitumendeeltjes een lading krijgen zodat ze elkaar afstoten. Daardoor blijven de deeltjes zweven zodat het systeem een stabiele vloeistof blijft. Hierdoor kan de emulsie worden opgeslagen en worden verwerkt bij omgevingstemperatuur.

De deeltjes kunnen een negatieve lading hebben wat een anionische emulsie wordt genoemd; bij positief geladen deeltjes wordt van een kationische emulsie gesproken.

Bij verwerken wordt de stabiliteit van de emulsie verbroken omdat het in contact komt met minerale deeltjes. Deze bezitten zelf een bepaalde lading, die negatief is bij kwartsmineralen (gebroken grind) en positief bij kalksteen. Hierdoor

wordt het chemisch evenwicht doorbroken en worden de 2 stoffen gescheiden. Dit wordt breken van de emulsie genoemd. De bitumendeeltjes zetten zich af op het mineraal aggregaat en vormen een bitumenfilm. Het water verdampt. Het breken van emulsie kan snel en minder snel verlopen. Snel brekende emulsies, die onstabiel (O) worden genoemd, worden vooral toegepast bij oppervlakbehandelingen. Bij emulsiebeton mag de emulsie niet snel breken en worden stabiele (S) emulsies gebruikt.

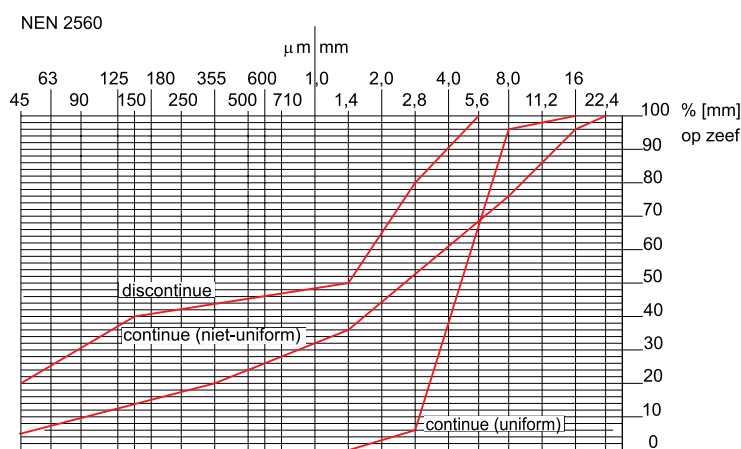
Meer informatie is te vinden in de documentatiemap, die door VBW-Asfalt, VEAB en VNFB is uitgegeven [VBW-Asfalt, 2000-b].

2.1 Holle ruimte in het mineraal aggregaat (skelet)

De holle ruimte in een skelet van mineraal aggregaat hangt sterk af van de korrelverdeling. Bij een regelmatige verdeling (continue gradering figuur B1.10) zijn alle fracties aanwezig waardoor de kleinere korrels de ruimte tussen de grotere korrels vullen, waarmee de holle ruimte wordt beperkt. Bij een onregelmatige verdeling (discontinue gradering figuur B1.10) ontbreken enkele fracties waardoor de ruimte tussen de grotere korrels minder worden gevuld en de holle ruimte in het korrelskelet hoog is.

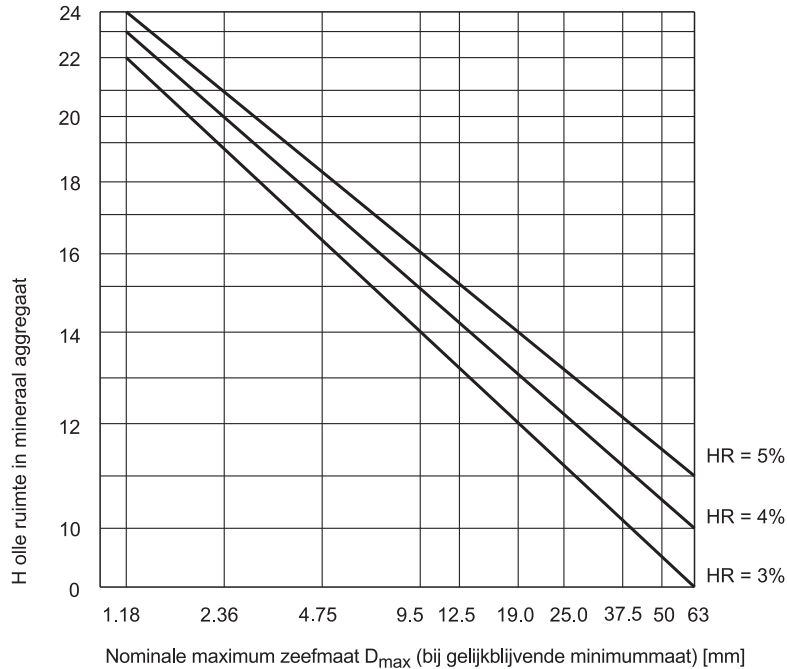
Voorbeeld van een continue gradering is het korrelskelet van asfaltbeton, dat bestaat uit een regelmatige opbouw van steenslag- en zandfracties. Hiermee wordt de holle ruimte geminimaliseerd.

Een typisch voorbeeld van een discontinue gradering is het korrelskelet van open steenasfalt, dat bestaat uit grove steenslag, waarbij het zand door de 'gap' niet tot het skelet wordt gerekend. Door de eenzijdige gradering van de steen wordt de holle ruimte extra verhoogd.



Figuur B1.10 Continue/discontinue gradering

Naast het type gradering hangt de holle ruimte in het mineraal aggregaat ook sterk af van de maximum korrelgrootte. Hoe groter deze is (bij gelijkblijvende minimum korrelgrootte) des te kleiner is de holle ruimte in het mineraal aggregaat. Dit wordt geïllustreerd in figuur B1.11 aan de hand van een continue gegradeerd asfaltbetonmengsel met 3, 4 en 5% holle ruimte in het verdichte asfalt.



Figuur B1.11 Holle ruimte van het mineraal aggregaat als functie van D_{max}

2.2 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 (zie figuur 2.1 in de hoofdtekst).

a Ondervulde mengsels

Is de holle ruimte in het korrelskelet niet volledig gevuld dan wordt gesproken over een ondervuld mengsel. Het gedrag van het mengsel wordt vooral bepaald door het korrelskelet met direct contact tussen de korrels. De eigenschappen van de vulling spelen een minder belangrijke rol. Voorbeelden van ondervulde mengsels zijn open steenasfalt en zandasfalt.

b Gevulde mengsels

Is de holle ruimte in het korrelskelet net gevuld dan vormt het grove mineraal aggregaat nog net een skelet. Het mengselgedrag wordt in dat geval zowel bepaald door het korrelskelet als door de eigenschappen van de vulling. Een voorbeeld van een gevuld mengsel is waterbouwasfaltbeton.

c *Overvulde mengsels*

Is de holle ruimte in het korrelskelet overvuld dan worden de skeletdelen uit elkaar gedrukt waardoor het directe contact tussen de korrels wordt verbroken. In dat geval wordt het gedrag in hoofdzaak bepaald door de kwaliteit van het vulmateriaal. Voorbeelden van overvulde mengsels zijn asfaltmastiek (overvulling met bitumen) en gietasfalt (overvulling met asfaltmastiek).

2.3 Kwaliteit van de vulling

De kwaliteit van de vulling hangt sterk af de componenten die tot die vulling worden gerekend.

Bitumen

Bij zandasfalt, waar de vulling alleen uit bitumen bestaat, zijn de eigenschappen van het bitumen bepalend. Hierdoor is de hoeveelheid bitumen in het mengsel erg belangrijk omdat het voor een groot deel het mechanisch gedrag van het zandasfalt bepaalt. Het bitumenpercentage dat nodig is voor de omhulling is afhankelijk van het specifiek oppervlak van de aggregaatdelen. Hoe kleiner de korrels, hoe groter het specifiek oppervlak (relatief). Het specifiek oppervlak kan uit de korrelverdeling worden afgeleid. Dit aspect wordt gebruikt bij het mengselontwerp van asfaltmastiek (Standaard 2000, proef 226.4)

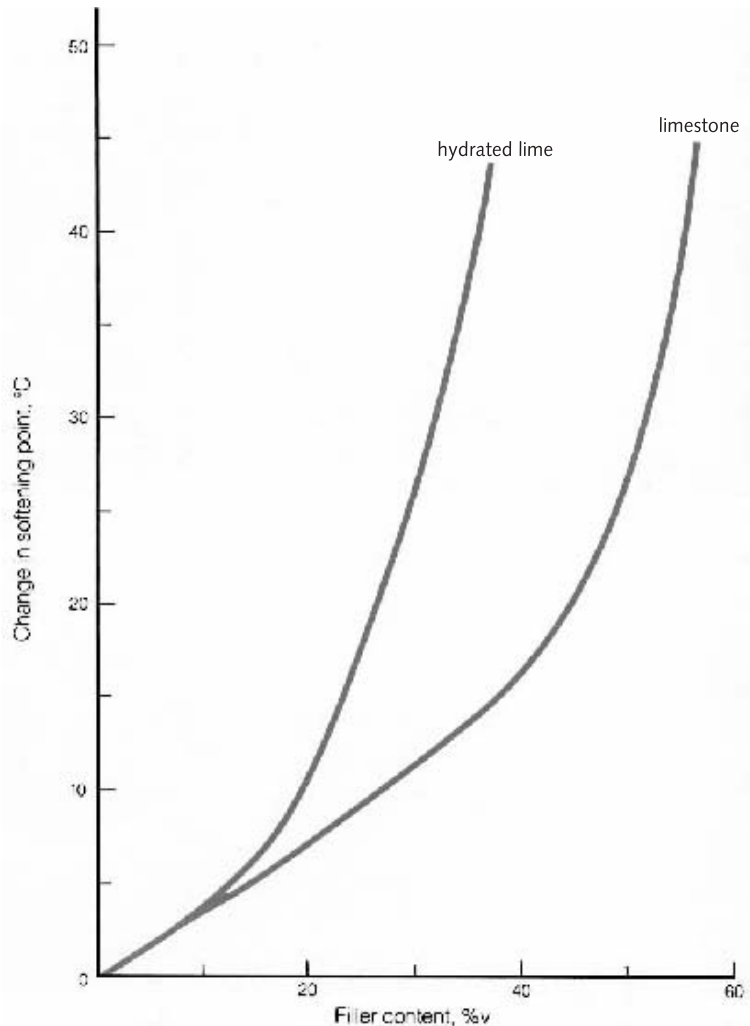
Bitumen en vulstof

Bij waterbouwasfaltbeton bestaat het skelet uit steenslag/grind en zand en wordt de vulling dus gevormd door bitumen en vulstof. Naast de kwaliteit van het bitumen speelt hier de vulstof een grote rol.

Vulstof heeft een verstijvende werking op het bindmiddel zodat de viscositeit (of het verwekingspunt) toeneemt (figuur B1.12). Dit is van belang als de stabiliteit van een mengsel voldoende groot moet zijn; het gaat echter wel ten koste van de flexibiliteit.

Bitumen waaraan vulstof is toegevoegd blijkt als bindmiddel beter aan het grove mineraal te hechten dan bitumen alleen.

Bij toevoeging van vulstof neemt ook de gevoeligheid van een mengsel voor ontmenging af.



Figuur B1.12 Bitumen en vulstof als functie van de viscositeit (verwekingspunt) [Shell, 1990-a]

De vrije ruimte in de vulstoffractie bepaalt in sterke mate de bitumenbehoefte van asfaltmengsels. "Zeer zwakke" en "zwakke" vulstoffen hebben een relatief lage vrije ruimte en daarmee een lage bitumenbehoefte. Omdat mengsels voor bekledingen over het algemeen flexibel moeten zijn (hoog bitumengehalte gewenst), en er naar een zo laag mogelijk bitumengehalte wordt gestreefd, worden vulstoffen van dit type toegepast. Omwille van de hechting van het bitumen aan de stenen worden bij voorkeur waterongevoelige en zwak-basische vulstoffen gebruikt, zoals kalksteen.

Bitumen, vulstof en zand (asfaltmastiek)

Bij open steenasfalt en gietasfalt bestaat het skelet uit steenslag of grind en wordt de vulling gevormd door asfaltmastiek (zand, vulstof en bitumen). Bij deze mengsels speelt de kwaliteit van de mastiek dus een rol. Deze wordt bepaald door de viscositeit. Bij gietasfalt, dat door het hoge gehalte aan mastiek in vloeibare vorm kan worden verwerkt, moet de viscositeit bij verwerkingstemperatuur voldoende laag zijn om het mengsel te laten vloeien. Na afkoelen moet de viscositeit zo hoog zijn dat het mengsel niet meer navloeit.

Bij open steenasfalt moet de viscositeit van de mastiek voldoende laag zijn om alle steenkorrels te kunnen omhullen en voldoende hoog om uitzakken te voorkomen. In de Standaard 2000 zijn procedures opgenomen waarmee de benodigde viscositeit van asfaltmastiek kan worden bepaald (vooronderzoek en geschiktheidsonderzoek).

In het vooronderzoek wordt het specifiek oppervlak van zand en vulstof uit de korrelverdeling afgeleid. In de Standaard 2000 (proef 226.4) is aangegeven hoe het specifiek oppervlak wordt berekend. Bij de aannahme van een bepaalde dikte van de bitumenfilm (1,5 µm) kan de benodigde hoeveelheid bitumen voor de omhulling worden berekend. Wordt hierbij de hoeveelheid bitumen opgeteld, die nodig is om de holle ruimte te vullen, dan is de totale hoeveelheid bitumen bekend.

2.4 Holle ruimte in het mengsel

De holle ruimte in een asfaltmengsel is dat deel van de poriën in het korrelskelet, dat niet wordt gevuld. Het wordt berekend uit de dichtheid proefstuk D_p (volumieke massa) en de dichtheid mengsel D_m (soortelijke massa) volgens:

$$HR = (D_m - D_p) / D_m * 100 \text{ (in volumepercenten)}$$

Voor een goed begrip van de holle ruimte is in tabel B1.7 het verband geïllustreerd tussen de samenstelling van waterbouwasfaltbeton in massadelen en in volumedelen.

Tabel B1.7 Verband tussen de samenstelling van waterbouwasfaltbeton in massadelen en in volumedelen (zie bijlage 2 voor het verschil tussen "op" en "in")

Component	Massa-percentage "in"	Massa-percentage "op"	Dichtheid bij 25°C [kg/m ³]	Volume- percentage
Lucht (holle ruimte)	-	-	-	4,0
Bitumen	6,1	6,5	1020	13,9
Vulstoffractie	7,4	8,0	2700	6,4
Zandfractie	39,5	42,0	2650	34,6
Steenfractie	47,0	50,0	2650	41,1
Totaal	100,0	106,5	2417	100,0

Voor het omrekenen van de massapercentages met bitumen "in" naar "op" het mengsel en vice versa wordt verwezen naar bijlage 2: Asfaltmengsels.

Dichtheid proefstuk

Over dichtheden van asfalt bestaat veel onduidelijkheid. Dit levert het gevaar op dat in ontwerpberekeningen dichtheden proefstuk (volumieke massa) worden gebruikt die minder juist zijn. Voor een correcte benadering is in tabel B1.8 aangegeven welke dichtheden van asfalt realistisch zijn. Zij zijn afgeleid van bekende bouwstofdichtheden, asfaltsamenstellingen en een aanname voor de holle ruimte.

Tabel B1.8 Dichtheden van de verschillende waterbouwkundige asfaltmengsels (bij T = 25 °C)

Asfaltsoort (Standaard 2000)	Holle ruimte [%]	Bitumen % "op"	Dichtheid proefstuk [kg/m ³]
Waterbouwasfaltbeton	3-5	6,5	2300-2350
Open steenasfalt	15-30	3,3-4,1	1800-2000
Gietasfalt	circa 2	11-16	2150-2250
Asfaltmestiek	circa 2	18-22	2000-2100
Zandasfalt	25-35	3-5	1600-1900

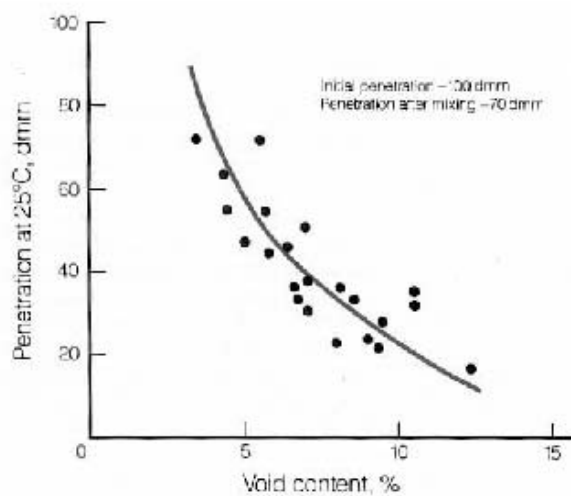
In tabel B1.9 is aangegeven welke dichtheden van de bouwstoffen van waterbouwkundige asfaltmengsel realistisch zijn.

Tabel B1.9 Dichtheden van de bouwstoffen (bij $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Bouwstof	Dichtheid [kg/m^3]
(gebroken) grind	2650
Kalksteen	2700
Zand	2650
Kalksteen-vulstof	2700
Bitumen	1020

De hoeveelheid holle ruimte en de grootte en onderlinge verbinding van de poriën bepalen in hoofdzaak eigenschappen als doorlatendheid en duurzaamheid.

Mengsels met een hoge holle ruimte zijn minder duurzaam. Uitwendige invloeden zoals lucht en water krijgen meer vat op het mengsel, omdat de toegankelijkheid groot is. Hierdoor verouderet het asfalt. Dit resulteert in een afname van de penetratie. Het effect van toenemende holle ruimte op de veroudering van asfalt is geïllustreerd in figuur B1.13.

Figuur B1.13 Veroudering als functie van de holle ruimte ($\text{dmm}=0,1\text{ mm}$) [Shell, 1990-a]

De belangrijkste eigenschappen van het asfalt zijn:

- doorlatendheid
- mechanische eigenschappen
- duurzaamheid
- verwerkbaarheid (de verwerkbaarheid wordt in hoofdstuk 8 "Uitvoering" behandeld).

3.1 Doorlatendheid

De doorlatendheid hangt af van de hoeveelheid holle ruimte en de onderlinge verbinding van de poriën. In het algemeen zijn mengsels met een HR < 10% waterondoorlatend; alleen bij grote waterdrukken zal enige doorlatendheid te meten zijn. Waterbouwasfaltbeton met een HR-eis < 6% zal altijd waterdicht zijn, zeker als bedacht wordt dat in de praktijk een holle ruimte wordt gehaald van 2-4%

Open mengsels als zandasfalt en open steenasfalt worden in het algemeen geacht voldoende doorlatend voor water te zijn. Daarom wordt aan dit aspect, zowel bij ontwerp als bij kwaliteitscontrole geen aandacht geschonken. In bijzondere gevallen kan het nodig zijn om de actuele doorlatendheid te onderzoeken. Het is dan van belang alert te zijn op het feit dat zandasfalt laminaire stroming vertoont en open steenasfalt, door de grove structuur vrijwel turbulente stroming heeft. Hierdoor kan bij zandasfalt een normale k-waarde worden bepaald ($k = v/i$), bij open steenasfalt wordt de doorlatendheid uitgedrukt in een doorlatendheidsfactor (k^*) en een turbulentiecoëfficiënt (n). Hieruit kan de doorlatendheid worden berekend als stroomsnelheid bij een bepaald verhang en een bepaalde laagdikte [Montauban, 1986]. De stroomsnelheid wordt als volgt bepaald: Hierin is:

$$v = (k^* i)^{\frac{1}{n}}$$

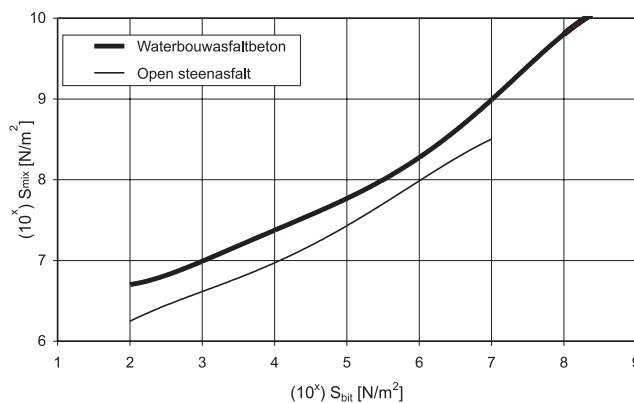
- v de stroomsnelheid of filtersnelheid [m/s]
k* de doorlatendheidsfactor [m/s]
i het verhang [m/m]
n de turbulentiecoëfficiënt [-]

3.2 Mechanische eigenschappen

3.2.1 Stijfheid

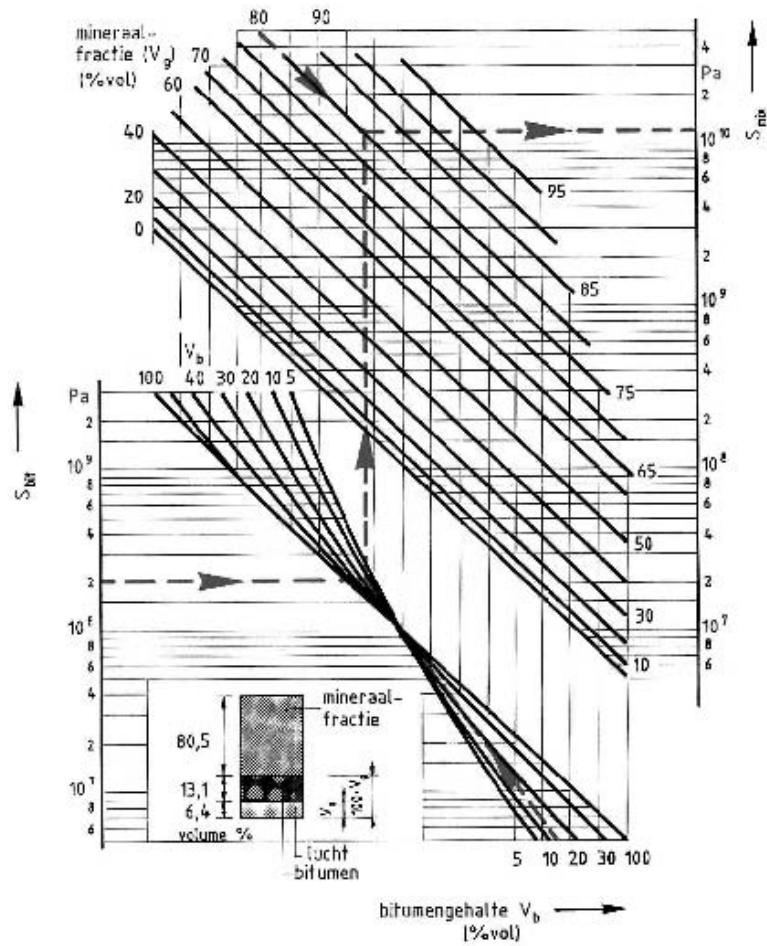
De stijfheid van asfalt is gedefinieerd als de verhouding tussen spanning en vervorming. Omdat de vervorming ook afhankelijk is van belastingstijd en temperatuur is de stijfheid geen constante waarde maar vertoont deze een zeer grote variatie. De stijfheid is met een groot aantal methoden te bepalen: destructieve methoden zoals trekproeven en buigproeven en niet-destructieve methoden zoals akoestische metingen en valgewichtmetingen.

Om een mengsel eenduidig te kunnen karakteriseren wordt een zogenaamde "mastercurve" gemaakt. Hierin wordt de mengselstijfheid uitgezet tegen de bitumenstijfheid, die eveneens afhankelijk is van tijd en temperatuur. De stijfheden worden uiteraard tegen elkaar uitgezet bij gelijke temperatuur en belastingstijd. Met deze methode blijken stijfheden van één mengsel, bepaald met verschillende methoden bij verschillende condities op één lijn te liggen. (Figuur B1.14)



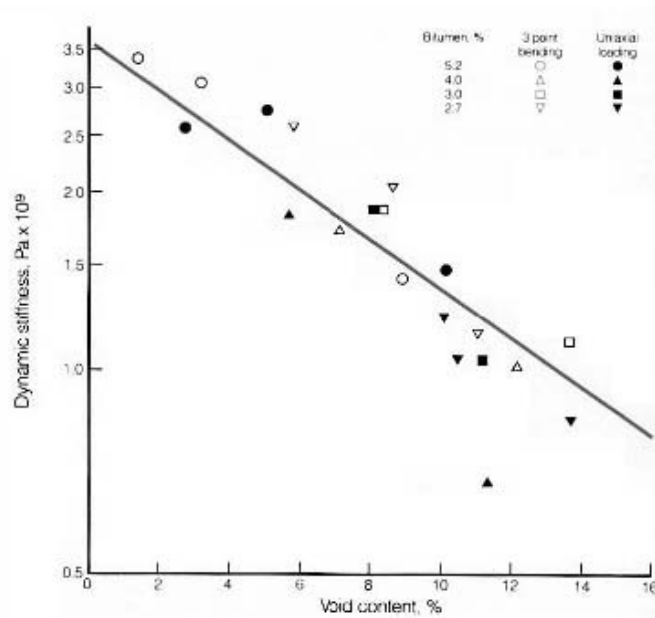
Figuur B1.14 De stijfheid $[N/m^2]$ van waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt als functie van bitumenstijfheid $[N/m^2]$ [$1 N/m^2 = 1 Pa$] [Montauban, 1984] en [TAW, 1984]

In plaats van het uitvoeren van tijdrovende en kostbare proeven kan de stijfheid ook worden geschat aan de hand van bekende mengselgegevens. Als de volumebestanddelen van een mengsel bekend zijn en de bitumenstijfheid is afgeleid uit penetratie en penetratie-index (P.I.) (met figuur B1.8), kan met het nomogram uit figuur B1.15 op simpele wijze worden afgeleid wat de mengselstijfheid is. Hiervoor zijn belastingstijd en snelheid verdisconteerd in de bitumenstijfheid. Het bezwaar van deze methode is wel dat de betrouwbaarheid zeer beperkt is (+/- 40%)



Figuur B1.15 Nomogram ter bepaling van de stijfheidsmodulus van een mengsel [Bonnaure, 1977]

De stijfheid is, behalve van de bitumeneigenschappen, ook sterk afhankelijk van de holle ruimte. In figuur B1.16 is deze relatie weergegeven voor een mengsel asfaltbeton.



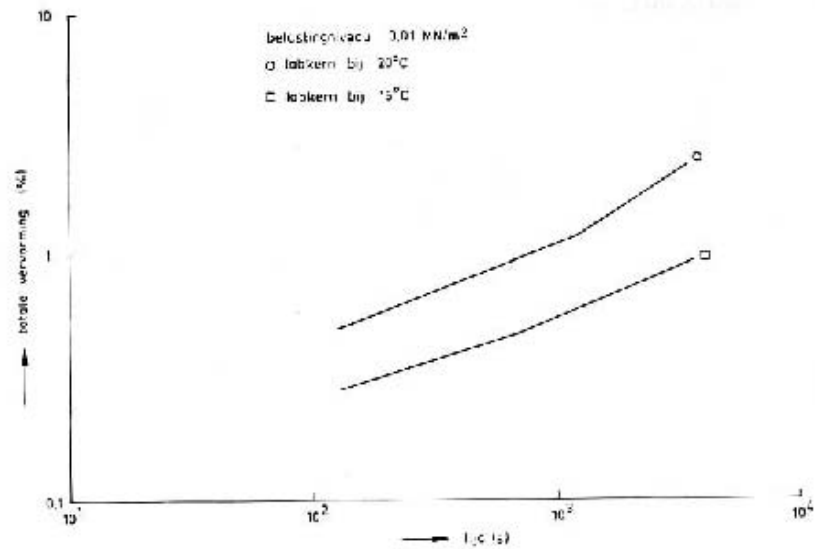
Figuur B1.16 Stijfheid als functie van de holle ruimte [Shell, 1990-a]

3.2.2 Stabiliteit

In asfaltbekledingen kunnen in de tijd blijvende vervormingen optreden als gevolg van kruip. Kruip is het verschijnsel dat bij een bepaalde belasting een doorgaande viskeuze vervorming ontstaat, die voor een deel blijvend kan zijn. Een ongewenst kruipeffect is het afvloeien van een bekleding van het talud. De stabiliteit van asfaltmengsels voorkomt dat het op hellingen blijvend vervormt. Deze stabiliteit zorgt ervoor dat de bekleding niet wegvloeit (kruipt). De hoeveelheid bitumen en het korrelskelet zijn hierbij van grote invloed. Een stabiel korrelskelet en een beperkte hoeveelheid bitumen resulteren in een stabiel asfaltmengsel.

De stabiliteit van een mineraal skelet wordt vooral bepaald door de gradering. Hoe eenzijdiger gegradeerd, des te stabielier het skelet is. De stabiliteit kan ook worden vergroot door hoekig mineraal aggregaat (steenslag, brekerzand) te gebruiken in plaats van rond materiaal (grind, natuurlijk zand).

De stabiliteit van mengsels kan worden bepaald met statische kruipproeven (figuur B1.17) of met triaxiaalproeven.



Figuur B1.17 Kruip van zandafalt als functie van temperatuur en tijd [TAW, 1984]

De stabiliteit is ook van belang indien de bekleding wordt belast door recreatie- en werkverkeer. In dat geval kunnen zwaardere eisen aan de stabiliteit nodig zijn.

3.2.3 Flexibiliteit

Een gewenste vorm van kruip is het blijvend doorbuigen van een bekleding zonder het optreden van scheuren. Daardoor kan een bekleding zettingen in de onderlaag of ontgronding volgen. Flexibiliteit is met name afhankelijk van een voldoende groot gehalte aan bitumen.

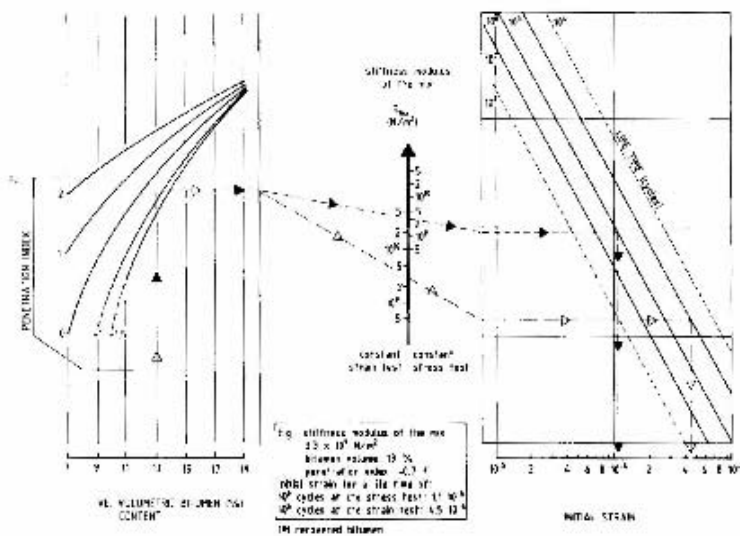
De flexibiliteit kan worden bepaald met statische buigproeven, waarvan de toelaatbare doorbuiging wordt gerelateerd aan de maximaal optredende ongelijke zetting of ontgronding.

3.2.4 Sterkte

De sterkte van asfalt is van belang om onder extreme condities het dijklichaam te beschermen. Bij deze condities wordt het materiaal op buiging belast door een groot aantal golfklappen en mag daarbij niet bezwijken. Het is dus van belang te weten hoe vaak het materiaal mag worden belast voordat het bezwijkt.

Omdat asfaltmengsels vermoeiingsgedrag vertonen, is de grootte van de toelaatbare spanning kleiner naarmate het materiaal vaker wordt belast (zie figuur 2.3 in de hoofdtekst). De toelaatbare spanning wordt onderzocht door het materiaal te belasten in een dynamische proef en te meten welk aantal lastherhalingen tot

bezijken leidt. Uit meerdere proeven wordt een relatie gevonden tussen de aan-gebrachte spanning en het aantal lastherhalingen. Deze relatie kan ook in een nomogram worden afgelezen (zie figuur B1.18) of met een computerprogramma worden berekend. Hiervoor zijn dan gegevens nodig over de mengselstijfheid, het volumepercentage bitumen en de Penetratie-Index van het bitumen. Het bezwaar van het uitvoeren van proeven is dat het erg kostbaar en tijdrovend is. Het bezwaar van gebruik van nomogram of computerprogramma is de grote onbetrouwbaarheid (+/- 100%).



Figuur B1.18 Nomogram ter bepaling van de vermoeidheidsbreukrek van asfalt [Bonnaure, 1980]

3.3 Duurzaamheid

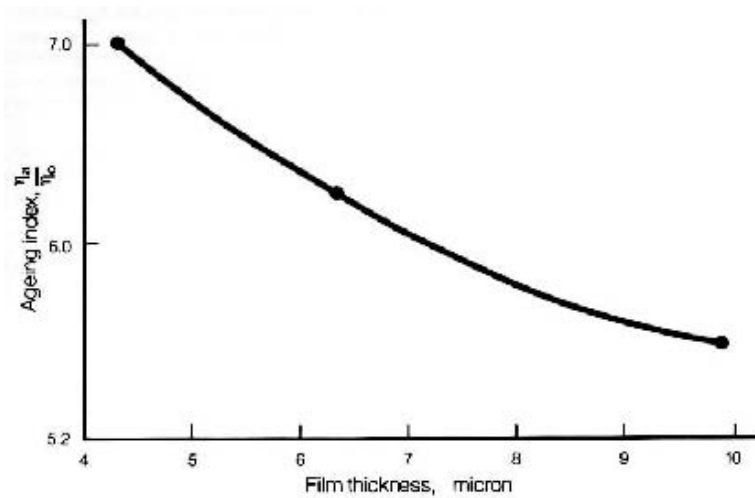
3.3.1 Verharding

Verharding van bitumen berust op 4 mechanismen:

- Oxidatie
- Verlies van vluchtige bestanddelen
- Fysische verharding
- Uitzweten

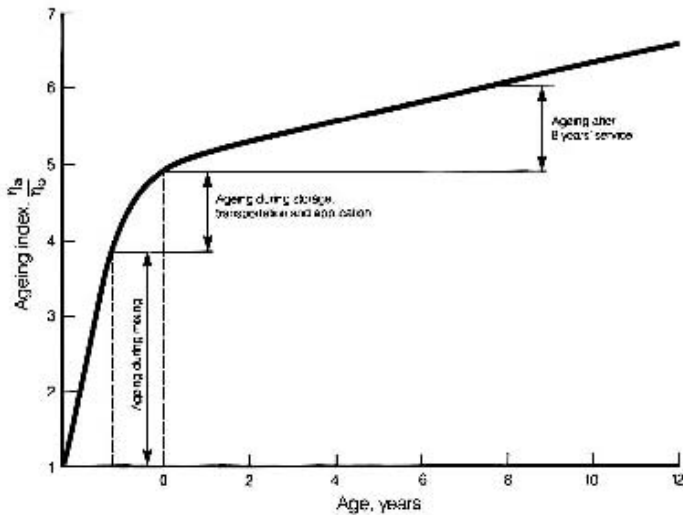
Oxidatie

De organische verbindingen in bitumen hebben de neiging in de loop der tijd te oxideren waardoor grotere moleculen worden gevormd. Deze doen de viscositeit toenemen. Oxidatie hangt vooral af van de bitumenfilmdikte en de temperatuur. De invloed van de filmdikte is geïllustreerd in figuur B1.19. Hierin is de verouderingsindex (de verhouding tussen de viscositeiten van verouderd en nieuw bitumen) uitgezet tegen de dikte van de bitumenfilm. Het is duidelijk dat een dunne laag meer (sneller) verouderd dan een dikkere laag.



Figuur B1.19 Effect van bitumenfilmdikte op veroudering van bitumen [Shell, 1990-a]

De invloed van de temperatuur is weergegeven in figuur B1.20. Hierin is de verouderingsindex uitgezet tegen de fasen: bereiding, verwerking en 8 jaar functioneren van het asfalt als verharding. Het blijkt dat de hoogste temperatuur (bereiding) de grootste veroudering tot gevolg heeft, lage temperaturen (in de verharding) hebben een veel kleiner effect.



Figuur B1.20 Relatie tussen de verouderingsindex en de ouderdom van het mengsel [Shell, 1990-a]

Vluchtige bestanddelen

Bitumen bevat nauwelijks laagmoleculaire verbindingen die gevoelig zijn voor verdampen tijdens de bereiding en verwerking van asfalt. Het verhardingseffect is daarom bij benadering te verwaarlozen.

Fysische verharding

Bitumen is gevoelig voor een zekere vorm van kristallisatie. Dit betekent dat de moleculen zich over een lange periode heroriënteren en de viscositeit doen toenemen. Verwarming van bitumen doet de kristallisatie te niet.

Uitzweten

Tijdens de bereiding van asfalt kunnen laagmoleculaire verbindingen uit bitumen in de poriën van minerale deeltjes dringen. Na afkoeling blijven deze in de deeltjes zitten, waardoor de viscositeit van het bitumen toeneemt.

De gevoeligheid voor en het effect van verhitting wordt op twee manieren onderzocht. Van bitumen wordt, voor het wordt toegepast, vastgesteld hoe gevoelig het is voor verhitting. Hiertoe wordt bitumen een bepaalde periode verhit, waarna wordt bepaald hoe sterk het is verouderd. Bij de productie van asfalt wordt de kwaliteit van het bitumen bewaakt door het bindmiddel terug te winnen en de eigenschappen te bepalen.

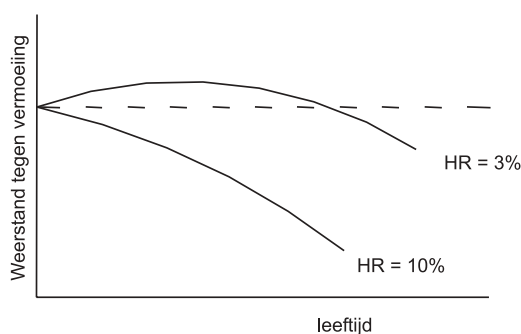
3.3.2 Stripping

Asfalt is gevoelig voor water omdat de minerale deeltjes een grotere affiniteit voor water hebben (hydrofiel) dan voor bitumen (oleofoob). Dit betekent dat de bitumenfilm op termijn door water wordt verdrongen, mits het asfalt toegankelijk is voor water. Het effect is dat de samenhang van het asfalt vermindert en eigenschappen als sterkte en stijfheid achteruit gaan.

De gevoeligheid voor water wordt niet standaard getest. Wel bestaan er veel methoden waarmee dit verschijnsel kan worden onderzocht. Het principe van deze methoden is het onder water opslaan van asfaltproefstukken en het bepalen van mechanische eigenschappen t.o.v. droog bewaarde proefstukken. Ook kan vooromhuld mineraal worden bewaard in water en worden nagegaan in hoeverre de omhulling is verdwenen.

3.3.3 Vermoeiing

Asfalt heeft een zekere weerstand tegen vermoeiing. Deze weerstand wordt sterk beïnvloed door verharding en stripping. Bij onderzoek aan 40 jaar oude asfaltbekledingen is gebleken dat asfaltbeton met een lage holle ruimte verhardt maar dat stripping nauwelijks optreedt [Montauban, 1998]. Het effect op de vermoeiingsweerstand is dat deze beter wordt. Asfaltbeton met een hoge holle ruimte vertoont naast verharding ook veel stripping. Het resultaat hiervan is dat de stripping meer negatief effect heeft dan de positieve bijdrage van de verharding, de vermoeiingsweerstand neemt af. Verharding en stripping hebben een zelfde effect op de stijfheid van asfalt als op de vermoeiingssterkte. Een en ander is weergegeven in figuur B1.21.



Figuur B1.21 Vermoeiing als functie van leeftijd en holle ruimte.

3.3.4 Biologische aantasting

Algen

Asfaltbekledingen in zones met wisselende waterstanden kunnen begroeid raken met algen. Als een algenlaag uitdroogt dan krimpt deze. Doordat de algen sterk aan de bekleding zijn gehecht worden schuifspanningen op het asfalt uitgeoefend. Hierdoor kunnen in waterbouwasfaltbeton oppervlaktescheuren ontstaan, die de sterkte van de bekleding echter niet aantasten. Het effect van algengroei op asfaltbeton kan worden bestreden door het aanbrengen van een dichtingslaag van emulsie of vloeibitumen. Deze nemen de krimp op door het grote vermogen van (viskeuze) vervorming.

Algengroei treedt voornamelijk op in de getijzone, waar gietasfalt en open steenasfalt worden toegepast, die nauwelijks gevoelig zijn voor krimp van algen.

Wieren

Wieren groeien vooral in het laagste deel van de tijzone waar ze nauwelijks kunnen uitdrogen. Uit waarnemingen blijkt dat wieren zich op of in het oppervlak van bekledingen vestigen en geen schade veroorzaken. Dikke lagen wier blijken daarentegen zelfs erosiebeschermend te werken bij open steenasfaltbekledingen.

Planten

Plantengroei op dichte asfaltbekledingen kan de sterkte en de waterdichtheid aantasten. Open steenasfalt is over het algemeen wel bestand tegen plantengroei. Alleen door houtachtige gewassen kunnen steentjes uit het asfalt worden losgedrukt. Dit hoeft echter niet direct tot vermindering van de sterkte te leiden.

Riet

Riet kan massaal vanuit de ondergrond door zandasfalt groeien en de samenhang verstoren. Zolang het riet niet afsterft vormt het daarentegen ook een wapening die het asfalt bijeenhoudt.

Zeepokken

Zeepokken kunnen zich hechten op de grove structuur van open steenasfalt met als gevolg dat deze de bekleding kunnen beschadigen. Aanbevolen wordt op plaatsen waar een sterke groei van zeepokken voorkomt een extra steenlaag aan te brengen (zie ook paragraaf 6.9.1).

Mosselen

Mosselen blijken zich vooral in de tijzone te vestigen op open steenasfalt.

.....

Ze dringen echter niet door de poriën in het asfalt zodat alleen enige oppervlakteschade ontstaat.

Oesters

Oesters vestigen zich met name op open steenasfalt en gietasfalt in de tijzone. Ze dringen niet in de poriën van het asfalt waardoor ze geen schade veroorzaken. Bij het onder hoge druk schoonspuiten van bekledingen blijken oesterschelpen vast aan het asfalt te zijn gehecht waardoor ze een erosiebeschermende laag vormen.

Inleiding

Van oudsher heeft de manier, waarop de samenstelling van asfaltmengsels wordt beschreven, geleid tot verwarring. Dat is veroorzaakt door het feit dat de samenstelling van een mengsel in massaprocenten [% m/m] op 4 manieren kan worden beschreven.

- **IN:**
De componenten steenfractie, zandfractie, vulstoffractie en bitumen bedragen samen 100%. Het bitumengehalte wordt uitgedrukt als % t.o.v. het hele mengsel; dit wordt % ("in") genoemd.
- **OP:**
De minerale componenten steenfractie, zandfractie en vulstoffractie bedragen samen 100% en het bitumengehalte wordt uitgedrukt als % t.o.v. 100% mineraal aggregaat; dit wordt % ("op") genoemd.
- **OP-CUM:**
De korrelverdeling van de minerale componenten steenfractie en zandfractie wordt cumulatief weergegeven als % t.o.v. 100 % mineraal aggregaat. Hierbij wordt de vulstoffractie niet expliciet vermeld, omdat dit het verschil is tussen 100% en het % op 63 µm. Het bitumengehalte wordt uitgedrukt als % t.o.v. 100% mineraal aggregaat; dit wordt % ("op") genoemd.
- **S-M:**
De zogenaamde "steen/mortel"-beschrijving. Hierin wordt asfalt beschouwd als een mengsel van steenfractie en mortel (mastië = zand, vulstof en bitumen) die samen 100% bedragen. De mortel wordt apart beschreven als mengsel van zandfractie, vulstoffractie en bitumen die samen 100% bedragen. Het bitumengehalte wordt dus uitgedrukt als % t.o.v. 100% mortel.

In tabel B2.1 is voor een mengsel open steenasfalt aangegeven hoe een dergelijke beschrijving er uit ziet. Tevens is aangegeven hoe de ene samenstelling kan worden omgerekend in een andere.

Tabel B2.1 Vergelijking van verschillende mengselbeschrijvingen van open steenasfalt

IN		OP		OP-CUM		S-M	
Component	% [m/m]	Component	% [m/m]	Component	% [m/m]	Component	% [m/m]
Steen: > 2 mm	80,0	Steen: > 2 mm	83,3	Steen: > 2 mm	83,3	Steen: > 2 mm	80,0
						Mortel: < 2 mm	20,0
Zand: 2 mm-63 µm	12,0	Zand: 2 mm-63 µm	12,5	Zand: op zeef 63 µm	95,8	Zand: 2 mm-63 µm	60,0
Vulstof: < 63 µm	4,0	Vulstof: < 63 µm	4,2			Vulstof: < 63 µm	20,0
Mineraal aggregaat	96,0	Mineraal aggregaat	100,0	Mineraal aggregaat	100,0		
Bitumen (in)	4,0	Bitumen (op)	4,2	Bitumen (op)	4,2	Bitumen (in mortel)	20,0
Totaal mortel	20,0	Totaal mortel	20,9	Totaal mortel	20,9	Totaal mortel	100,0
Totaal asfalt	100,0	Totaal asfalt	104,2	Totaal asfalt	104,2	Totaal asfalt	100,0

Het omrekenen van de ene samenstelling in de andere gaat het meest eenvoudig via de samenstelling "IN".

Van "OP" naar "IN"

$$\%(\text{IN}) = \%(\text{OP}) * \{(100)/(100 + \% \text{bit}(\text{OP}))\}$$

Voorbeeld (steenfractie): $83,3 * \{(100)/(100 + 4,2)\} = 80,0 \%$

Van "IN" naar "OP"

$$\%(\text{OP}) = \%(\text{IN}) * \{(100)/(100 - \% \text{bit}(\text{IN}))\}$$

Voorbeeld (steenfractie): $80,0 * \{(100)/(100 - 4,0)\} = 83,3 \%$

Van "S-M" naar "IN"

Steengehalte blijft hetzelfde (is al "in" 100% asfalt)

$$\%(\text{IN}) = \%(\text{in mortel}) * \{(100 - \% \text{steen})/(100)\}$$

Voorbeeld (vulstoffractie): $20 * \{(100 - 80)/100\} = 4,0 \%$

Van "IN" naar "S-M"

Steengehalte blijft hetzelfde (is al "in" 100% asfalt)

$$\%(\text{in mortel}) = \%(\text{IN}) * \{(100)/(100 - \% \text{steen})\}$$

Voorbeeld (bitumen): $4,0 * \{(100)/(100-80)\} = 20,0 \%$

In de tabellen B2.2 tot en met B2.8 zijn de samenstellingseisen opgenomen uit de Eisen Rijkswaterstaat 1978 tot en met de Standaard 2000.

Tabel B2.2 Samenstellingseisen Rijkswaterstaat 1978 (alleen waterbouw-asfaltbeton)

door zeef	op zeef	gewenst	massapercentage		tolerantie
			min.	max.	
C 22,4	2 mm	50	48	55	± 5
2 mm	63 µm	42	38	47	± 5
63 µm	-	8	7	10	± 1
bitumengehalte (op 100% mineraal aggregaat)		7,0	6,5	7,5	± 0,5

Tabel B2.3 Samenstellingseisen uit de Standaard RAW 1985

soort asfalt	materiaal	gewenst	massapercentage		tolerantie
			min.	max.	
zandasfalt	zand	96,0	95,0	97,0	-
	bitumen 80/100 (in)	4,0	3,0	5,0	± 0,5
asfaltbeton	op zeef 2 mm	50,0	48,0	55,0	-
	door zeef 2 mm, op zeef 63 µm	42,0	37,0	45,0	± 0,5
	door zeef 63 µm	8,0	7,0	10,0	± 1,0
	bitumengehalte, % op 100% mineraal aggregaat	6,5	6,0	7,0	± 0,5
asfaltmestiek	op zeef 63 µm	66,5	61,5	71,5	-
	door zeef 63 µm	16,5	11,5	21,5	± 1,5
	bitumen (in)	17,0	16,0	18,0	± 1,0
asfaltmortel	door zeef 2 mm, op zeef 63 µm	66,5	61,5	71,5	-
	door zeef 63 µm	16,5	11,5	21,5	± 1,5
	bitumen (in)	17,0	16,0	18,0	± 1,0
open steenasfalt	kalksteen: op zeef 2 mm	80,0	78,0	82,0	-
	asfaltmortel: door zeef 2 mm	20,0	18,0	22,0	± 2,0
dicht steenasfalt	steenslag/grind: op zeef 2 mm	60,0	55,0	65,0	-
	asfaltmortel: door zeef 2 mm	40,0	35,0	45,0	± 5,0
gietasfalt	grind: op zeef 2 mm	30,0	25,0	45,0	-
	asfaltmortel: door zeef 2 mm	70,0	55,0	75,0	± 5,0

Bijlage 2 Asfaltmengsels

Tabel B2.4 Samenstellingseisen uit de Standaard RAW 1990/1995

soort asfalt	materiaal	massapercentage
zandasfalt	zand	96,0
	bitumen (in)	4,0
waterbouwasfaltbeton	op zeef 2 mm	47,0
	door zeef 2 mm, op zeef 63 µm	39,5
	door zeef 63 µm	7,4
	bitumengehalte (in)	6,1
asfaltmestiek	op zeef 63 µm	66,5
	door zeef 63 µm	16,5
	bitumen (in)	17,0
asfaltmortel	door zeef 2 mm, op zeef 63 µm	66,5
	door zeef 63 µm	16,5
	bitumen (in)	17,0
open steenasfalt	kalksteen: op zeef 2 mm	80,0
	asfaltmortel: door zeef 2 mm	20,0
dicht steenasfalt	steenslag/grind: op zeef 2 mm	60,0
	asfaltmortel: door zeef 2 mm	40,0
gietasfalt	grind: op zeef 2 mm	30,0
	asfaltmortel: door zeef 2 mm	70,0

Tabel B2.5 Ontwerpsamenstelling van waterbouwasfaltbeton uit de Standaard RAW 2000

op zeef	waterbouwasfaltbeton 0/16			waterbouwasfaltbeton 0/22			waterbouwasfaltbeton 0/16, met grind		
	gewenst	min.	max.	gewenst	min.	max.	gewenst	min.	max.
C 22,4	-	-	-	-	0,0	5,0	-	-	-
C 16	-	0,0	5,0	-	-	-	-	0,0	5,0
C 11,2	-	-	-	-	15,0	40,0	-	-	-
C 8	-	25,0	40,0	-	-	-	-	30,0	45,0
2 mm	50,0	48,0	55,0	50,0	48,0	55,0	50,0	48,0	55,0
63 µm	92,0	-	-	92,0	-	-	92,0	-	-
bitumen 'op'	6,5	-	-	6,5	-	-	6,0	-	-

Tabel B2.6 Ontwerpsamenstelling van open steenasfalt uit de Standaard RAW 2000

op zeef	open steenasfalt 11/16			open steenasfalt 16/22		
	gewenst	min.	max.	gewenst	min.	max.
C 22,4	-	-	-	-	0,0	8,0
C 16	-	0,0	8,0	-	75,0	83,0
C 11,2	-	75,0	81,0	-	-	-
2 mm	82,0	80,0	84,0	83,0	81,0	85,0
63 µm	-	92,5	97,5	-	93,0	98,0
bitumen 'op'	-	3,3	4,1	-	3,0	3,7

Tabel B2.7 Ontwerpsamenstelling van gietasfalt uit de Standaard 2000

op zeef	gewenst	min.	max.
C 16	-	0,0	6,0
2 mm	35,0	30,0	40,0
63 µm	-	78,0	91,0
bitumen 'op'	-	11,0	16,0

Tabel B2.8 Ontwerpsamenstelling van asfaltmastiek uit de Standaard 2000

op zeef	gewenst	min.	max.
2 mm	-	0,0	4,0
63 µm	-	77,0	84,0
bitumen 'op'	-	18,0	22,0

INHOUD

1	INLEIDING	283
2	TESTMETHODEN	285
2.1	TESTEN VOOR KWALITEITSBEWAKING.....	285
2.1.1	<i>Kwaliteit van bouwstoffen</i>	285
2.1.2	<i>Ontwerpen van asfaltmengsels (vooronderzoek)</i>	285
2.1.3	<i>Kwaliteit van bereid en verwerkt asfalt</i>	285
2.2	TESTEN VOOR MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN	286
2.2.1	<i>Driepuntsbuigproef</i>	286
2.2.2	<i>Schuifproef</i>	289
2.3	TESTEN OM DE VERWERKBAARHEID VAST TE STELLEN	291
2.3.1	<i>Methode Kerkhoven</i>	291
2.3.2	<i>Hellingproef</i>	292
2.4	BIJZONDERE TESTEN	294
3	NORMEN PER BOUWSTOF	297
4	NORMEN	303

1 INLEIDING

Om de eigenschappen van asfaltmengsels en van de daarvoor gebruikte bouwstoffen te bepalen zijn testmethoden ontwikkeld. Daarnaast zijn eisen opgesteld voor eigenschappen waar asfaltmengsels en bouwstoffen aan moeten voldoen. Testmethoden en eisen zijn geformaliseerd in beschrijvingen, die in de Standaard zijn opgenomen of als NEN-norm zijn gepubliceerd.

In het kader van de harmonisatie binnen de EU worden normen voor de bouw als Europese norm ontwikkeld. Dit betekent dat op termijn alle nationale normen door Europese worden vervangen. Per 1 juli 2000 zijn de Nederlandse bitumennormen door Europese vervangen. Voor emulsie en andere bindmiddelen zal dit waarschijnlijk in 2002 het geval zijn. Voor minerale bouwstoffen worden naar verwachting pas in 2003 Europese normen ingevoerd.

Dit proces dat complex en tijdrovend is, is voor buitenstaanders moeilijk te volgen. Het heeft echter wel grote gevolgen voor de bouw in Nederland, dus ook voor de toepassing van asfalt bij waterkeren.

In deze bijlage is daarom getracht een integraal overzicht te geven van normen en voorschriften die voor waterbouwasfalt van toepassing zijn.

In paragraaf 2 zijn de beproevingsmethoden vermeld op grond van het onderzoeksdoel.

In paragraaf 3 is per bouwstof aangegeven welke normen van toepassing zijn. Dit betreft zowel de eisen (productnorm) als de proeven (beproevingsmethoden).

Ook is aangegeven welke Europese normen de Nederlandse gaan vervangen.

In paragraaf 4 is de complete lijst van normen met titels vermeld in een numerieke volgorde.

2 TESTMETHODEN

Er zijn 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

2.1 Testen voor kwaliteitsbewaking

2.1.1 Kwaliteit van bouwstoffen

In paragraaf 3 is per bouwstof en per eigenschap aangegeven welke methoden moeten worden gebruikt. Dit betreft de volgende bouwstoffen:

- Bindmiddelen (bitumen, bitumenemulsie, vloeibitumen, asfaltkleefmiddel)
- Mineraal aggregaat (vulstof, zand, steenslag, fosforslak, grind)
- Asfalt (asfalt, asfaltgranulaat)

2.1.2 Ontwerpen van asfaltmengsels (vooronderzoek)

In de Standaard 2000 is in proef 226 (0 t/m 4) aangegeven hoe het vooronderzoek en het geschiktheidsonderzoek van waterbouwasfalt moet worden uitgevoerd.

Dit betreft het bereiden van mengsels in het laboratorium, het bepalen van relevante eigenschappen, het in de praktijk aanbrengen van een hoeveelheid asfalt en de bepaling van de kwaliteit daarvan. Deze procedure is apart beschreven voor waterbouwasfaltbeton, open steenasfalt, gietasfalt en asfaltmastiek.

2.1.3 Kwaliteit van bereid en verwerkt asfalt

In de Standaard 2000 is in proef 225 beschreven hoe de kwaliteit van waterbouw-asfalt moet worden bepaald. Dit betreft de monsterneming, de samenstelling, de holle ruimte en de eigenschappen van het bindmiddel. Daarvoor worden de volgende proeven gebruikt:

- Bepaling van dichtheid mengsel, dichtheid proefstuk en holle ruimte. (RAW-67/68/69)
- Bepaling van het bitumengehalte (door extractie). (RAW-65.0)
- Bepaling van de korrelverdeling door middel van zeven. (RAW-6.0)
- Bepaling van de eigenschappen van het teruggewonnen bitumen. (RAW-110 en NEN 3971)
- Bepaling van het vloeigedrag, hellingproef. (RAW-227)

Deze procedure is apart beschreven voor de stabiele mengsels (waterbouwasfaltbeton en open steenasfalt) en voor de gietbare mengsels (gietasfalt en asfaltmastië). Van deze laatste worden alleen de samenstelling en het vloeigedrag bepaald.

2.2 Testen voor mechanische eigenschappen

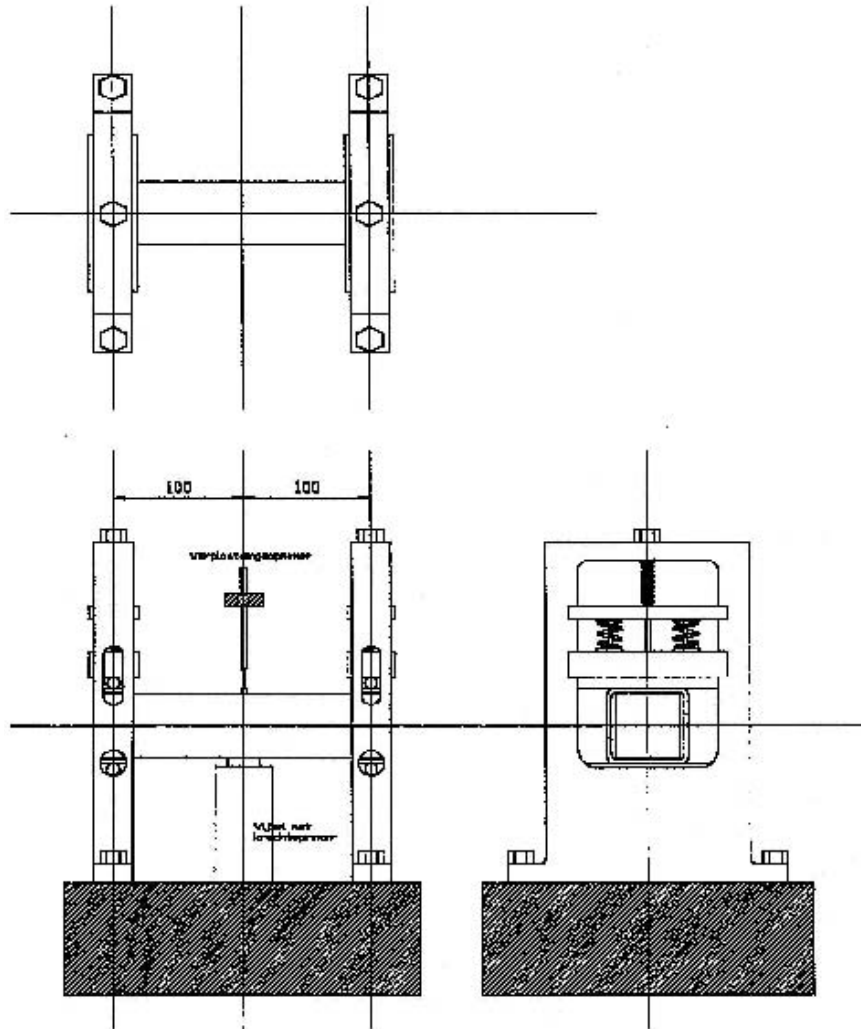
Voor het ontwerpen en toetsen van asfaltbekledingen op golfbelasting zijn eigenschappen als dynamische stijfheid en vermoeiingsgedrag belangrijke invoerparameters. Deze eigenschappen worden bepaald met behulp van dynamische proeven. Voor waterbouwasfaltbeton is een driepuntsbuigproef ontwikkeld [Montauban, 1993] (figuur 2.7 uit de hoofdtekst) en voor open steenasfalt een schuifproef [Versluis, 1997] (figuur 2.8 uit de hoofdtekst).

2.2.1 Driepuntsbuigproef

Voor het uitvoeren van driepuntsbuigproeven [Versluis, 1998-a] zijn balkvormige proefstukken nodig van $50 * 50 * 220 \text{ mm}^3 (= h * b * l)$. Deze worden verkregen door uit een bekleding van waterbouwasfaltbeton kernen te boren met een diameter van 250 mm en vervolgens de balken te zagen. In principe worden de balken uit het onderste deel van de kernen gezaagd omdat deze bij golfklappen het zwaarst op buiging wordt belast. De kwaliteit van de onderlaag is dus maatgevend.

De balk wordt in een driepuntsbuigopstelling geplaatst (figuur B3.1) en onderworpen aan een dynamische (wissel) belasting van een zekere grootte.

Bij aanvang van de proef wordt uit de opgelegde belasting en de gemeten vervorming berekend wat de dynamische E-modulus is. Hiervoor zijn m.b.v. de elasticiteitstheorie formules (tabel B3.1) afgeleid waarin het visco-elastisch gedrag van asfalt is verwerkt.

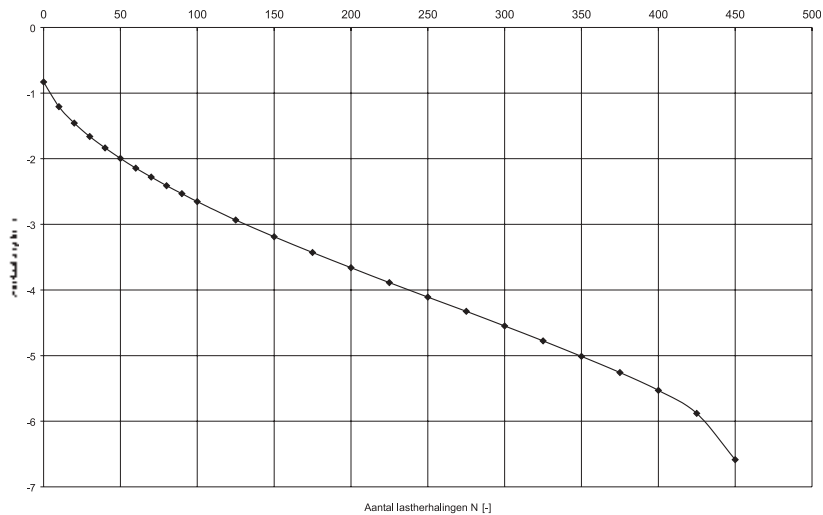
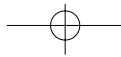


Figuur B3.1 Opstelling driepuntsbuigproef met sprongbelasting

Tabel B3.1 Formules voor de driepuntsbuigproef

Symbool	Begrip	Formule	Eenheid
h	hoogte proefstuk		[m]
b	breedte proefstuk		[m]
l	lengte proefstuk		[m]
C	geometrische parameter	$C = \frac{l^3}{4bh^3}$	[1/m]
L	opleglengte		[m]
F _{max}	krachtamplitude		[N]
V _{max}	verplaatsingsamplitude		[m]
σ _{max}	spanningsamplitude	$\sigma = \frac{M_{max}}{W}$ met $M_{max} = \frac{F \cdot l}{4}$ en $W = \frac{1}{6} b \cdot h^2$	[N/m ²]
E _{dyn}	complexe stijfheidsmodulus	$E_{Dyn,N} = \sqrt{E_{Re,N}^2 + E_{Im,N}^2}$	[N/m ²]
E _{re}	reëel deel van E _{dyn}	$E_{Re,N} = C \frac{F_N}{V_N} \cos(\varphi_{s,N})$	[N/m ²]
E _{im}	imaginair deel van E _{dyn}	$E_{Im,N} = C \frac{F_N}{V_N} \sin(\varphi_{s,N})$	[N/m ²]
φ	fasehoek tussen F en V	$\varphi_N = \arctan\left(\frac{E_{Im,N}}{E_{Re,N}}\right)$	[°]

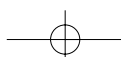
Bij doorgaande belasting blijkt de weerstand tegen vervorming af te nemen (= vermoeiing) en wordt de doorbuiging steeds groter (figuur B3.2). Dit proces wordt voortgezet tot de balk na een bepaald aantal lastherhalingen bezwijkt. Omdat asfalt vermoeiingsgevoelig is, hangt het aantal lastherhalingen bij bezwijken af van het belastingsniveau: een hogere belasting leidt eerder tot bezwijken. Daarom wordt de proef bij verschillende belastingen uitgevoerd zodat het verband tussen opgelegde spanning (σ) en aantal lastherhalingen (N) kan worden bepaald. Dit verband is: $N_f = k_f \cdot \sigma^{a_f}$ (of: $\log N_f = \log k_f + a_f \cdot \log \sigma$). Dit verband is op logaritmische schaal dus rechtlijnig en wordt d.m.v. lineaire regressie berekend (figuur 2.3 uit de hoofdttekst). De zogenaamde regressieconstanten *a* en *logk* zijn bepalend voor het vermoeiingsgedrag van een asfaltmengsel en worden als invoerparameter in golfklapberekeningen gebruikt (zie bijlage 6: Achtergronden bij de grafieken voor het dimensioneren op golfklappen).

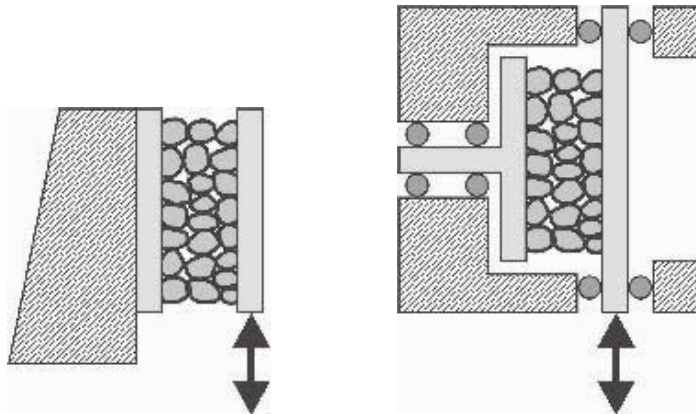


Figuur B3.2 Doorbuiging als functie van het aantal lastherhalingen

2.2.2 Schuifproef

Voor open steenasfalt is de driepuntsbuigproef niet bruikbaar omdat de afmetingen van de balk te klein zijn t.o.v. de maximale korrelgrootte in het asfalt (max. 45 mm). Daarom is een dynamische schuifproef ontwikkeld waarmee schijfvormige proefstukken op afschuiving worden belast. De proefstukken worden verkregen door kernen te boren met een diameter van 200 mm en hieruit schijven te zagen met een dikte van 60 tot 80 mm. Deze worden in een schuifopstelling geplaatst (figuur B3.3) en herhaaldelijk belast tot bezwijken. Uit de opgelegde belasting en de gemeten initiële vervorming wordt de glijdingsmodulus berekend waaruit de E-modulus is af te leiden (tabel B3.2). Uit de aantallen lastherhalingen bij bezwijken onder verschillende lastniveaus is op dezelfde manier als bij de driepuntsbuigproef de vermoeiingslijn te bepalen.





Figuur B3.3 Opstelling van de gewone schuifproef (links) en de gemodificeerde schuifproef (rechts)

Tabel B3.2 Formules voor de schuifproef

Symbol	Begrip	Formule	Eenheid
h	hoogte proefstuk		[m]
D	diameter proefstuk		[m]
F _{max}	krachtamplitude		[N]
V _{max}	verplaatsingsamplitude		[m]
τ _{max}	spanningsamplitude	$\tau = \eta \frac{F}{A} = \frac{32}{27} \frac{F}{\frac{1}{4} \pi D^2}$	[N/m ²]
γ	afschuifhoek	$\gamma = \frac{V}{h}$	[rad]
G _{dyn}	complexe glijdingsmodulus	$G_{imag} = \sqrt{G_{real}^2 + G_{imag}^2}$	[N/m ²]
G _{Re}	reëel deel van G _{dyn}	$G_{re} = \frac{\tau}{\gamma} \cos(\phi)$	[N/m ²]
G _{Im}	imaginair deel van G _{dyn}	$G_{im} = \frac{\tau}{\gamma} \sin(\phi)$	[N/m ²]
φ	fasehoek tussen F en V		[°]
E _{dyn}	complexe stijfheidsmodulus	$E_{dyn} = G_{dyn} 2(1 + \nu)$	[N/m ²]
ν	dwarscontractiecoëfficiënt		[-]

2.3 Testen om de verwerkbaarheid vast te stellen

Asfaltmastiek en gietasfalt zijn mengsels die in vloeibare vorm worden verwerkt. Hierdoor is de vloeibaarheid (of viscositeit) bij verwerken de meest relevante eigenschap. Deze viscositeit kan op veel manieren worden gemeten zoals met uitloop- en rotatieviscosimeters en met vloeiproeven.

2.3.1 Methode Kerkhoven

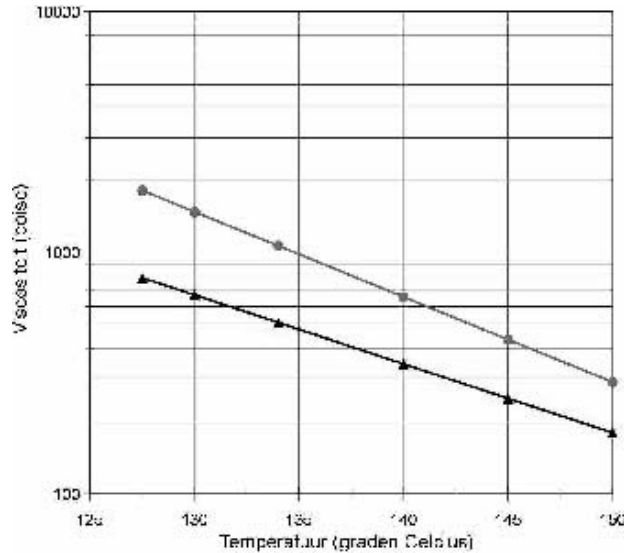
Voor asfaltmastiek is in de jaren '60 de zogenaamde methode van Kerkhoven ontwikkeld. Deze bestond naast een ontwerpmethode ook uit een testmethode, waarmee de uitstroomtijd van een liter asfaltmastiek uit een vat wordt gemeten (figuur 2.10 uit de hoofdttekst). Met deze tijd kan de viscositeit van de asfaltmastiek worden berekend volgens:

$$\eta = 43,5 * 10^{-5} * \rho g t$$

Hierin is:

- η viscositeit [poise]
- ρ dichtheid van het asfaltmastiek [kg/m^3]
- g versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]
- t tijd [s]

Als de metingen bij verschillende temperaturen worden uitgevoerd, wordt de relatie tussen η en T gevonden die bij logaritmische weergave van η een rechtlijnig verband oplevert. Dit verband wordt bepaald door de lineaire regressie te berekenen: $\text{Log}\eta = b * T + c$ (figuur B3.4)



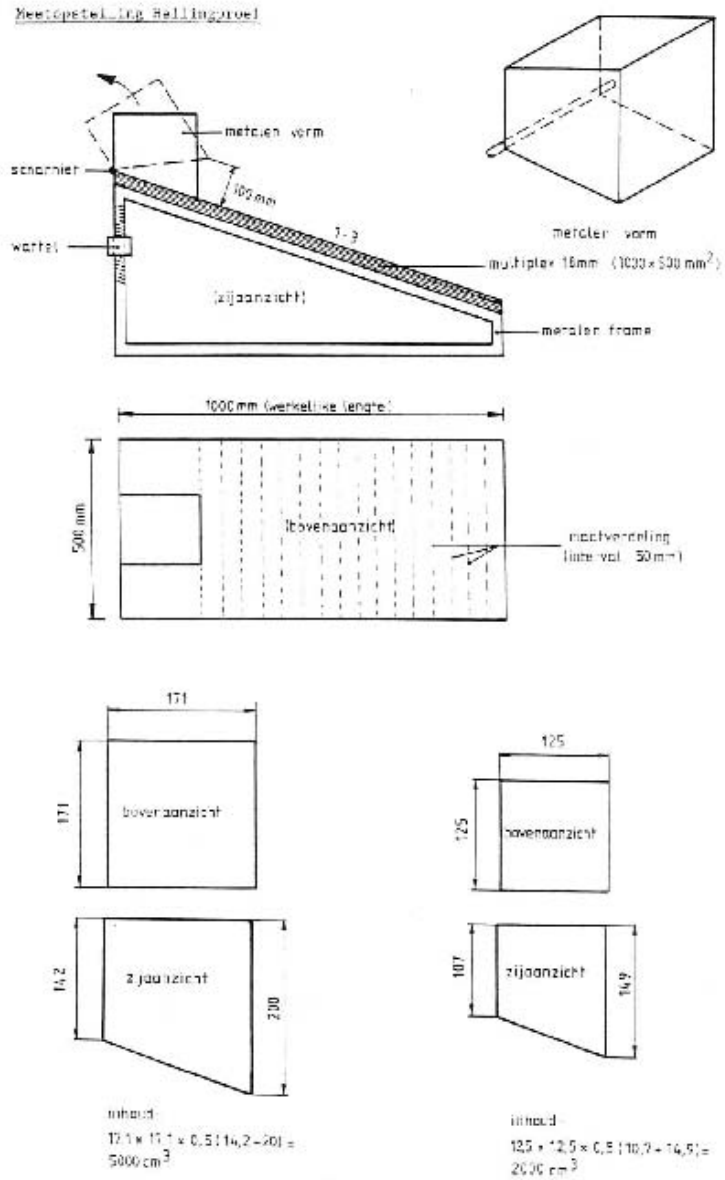
Figuur B3.4 Viscositeit als functie van de temperatuur (Methode Kerkhoven)

2.3.2 Hellingproef

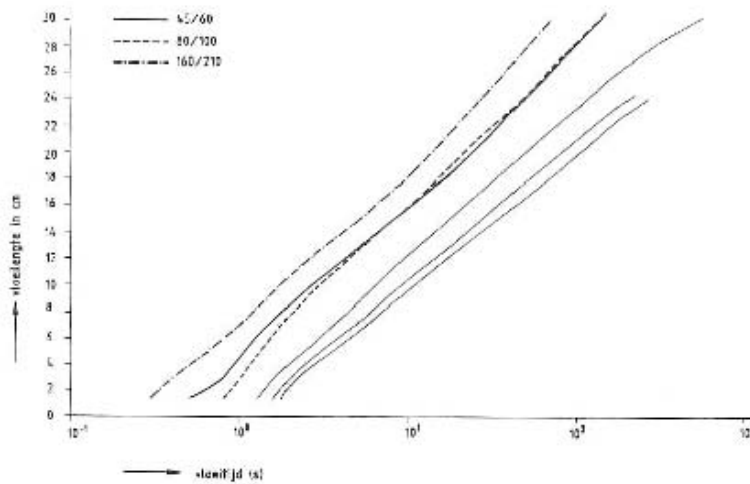
Voor gietasfalt (een mengsel van asfaltmastiek en grind) is de uitloopviscosimeter van Kerkhoven niet bruikbaar omdat het grind de opening van het vat verstopt.

Daarom is voor dit soort mengsels een hellingproef ontwikkeld waarin het asfalt uit een vorm vrij kan vloeien op een helling (figuur 2.11 uit de hoofdtekst en figuur B3.5). De vloeitijd als functie van de vloeilengte (bij een bepaalde temperatuur) is een maat voor de viscositeit (figuur B3.6). Hoe kleiner de vloeitijd is, des te lager is de viscositeit.

Het voordeel van deze proef is dat hij voor alle vloeibare mengsels kan worden gebruikt en bovendien ook op de plaats van verwerking kan worden ingezet. In de Standaard 2000 is deze proef daarom opgenomen (proef 227) voor asfaltmastiek en gietasfalt om te gebruiken bij zowel het vooronderzoek, het geschiktheidsonderzoek, als bij de bedrijfscontrole door de aannemer.



Figuur B3.5 Meetopstelling hellingproef [CROW, 2000-a]

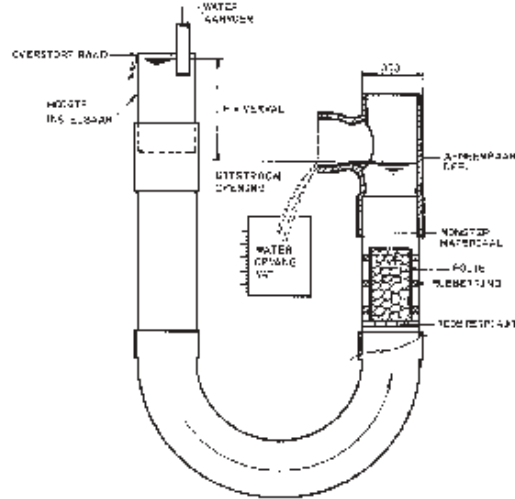


Figuur B3.6 Vloeilengte van asfaltmastiek als functie van de vloeitijd (Hellingproef)

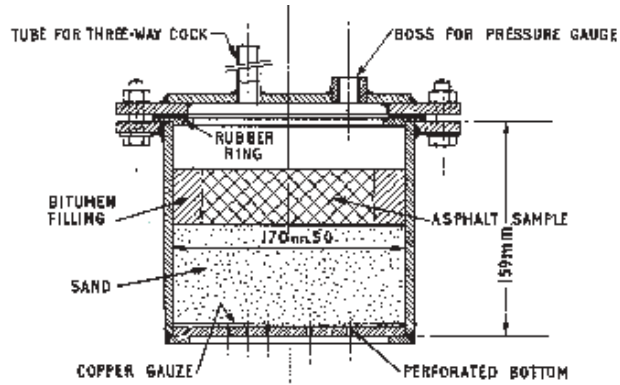
2.4 Bijzondere testen

Naast bovengenoemde gestandaardiseerde onderzoekmethoden kunnen in bijzondere situaties nog andere (minder gestandaardiseerde) methoden worden gebruikt. Dit betreft methoden als:

- bepaling waterdoorlatendheid (figuur B3.7)
- bepaling waterdichtheid (figuur B3.8)
- bepaling stabiliteit op een helling (figuur B3.9)
- bepaling flexibiliteit (figuur B3.10)

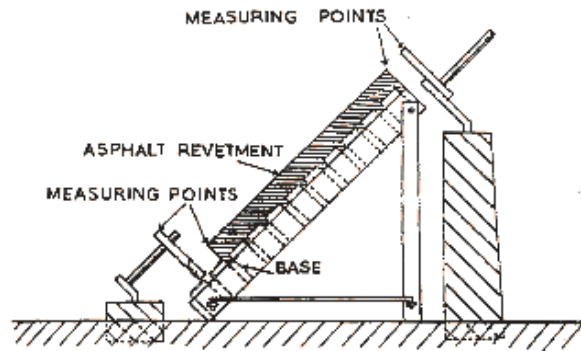


Figuur B3.7 Apparaat voor het bepalen van de doorlatendheid van open steenasfalt en zandasfalt [LGM, 1986]

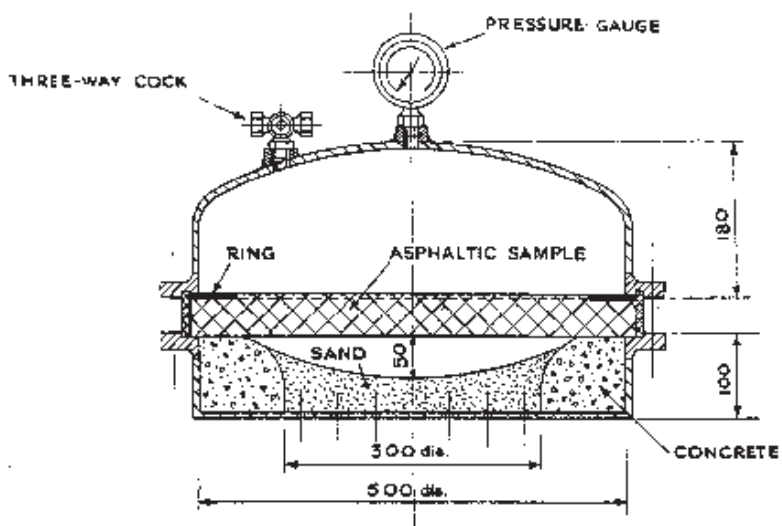


Figuur B3.8 Waterdichtheidsapparaat [Van Asbeck, 1959]

Deze methoden zijn met uitzondering van het doorlatendheidsapparaat beschreven in Bitumen in Hydraulic Engineering [Van Asbeck, 1959]. Naast deze (gedateerde) methoden is in de internationale literatuur een groot aantal methoden te vinden waarmee bovengenoemde eigenschappen kunnen worden bepaald. In voorkomende gevallen vormt een beperkte literatuurstudie door een gespecialiseerd instituut een goede voorbereiding voor het uitvoeren van onderzoek.



Figuur B3.9 Stabiliteitsproef op een helling [Van Asbeck, 1959]



Figuur B3.10 Flexibiliteitstest [Van Asbeck, 1959]

3 NORMEN PER BOUWSTOF

In de Standaard is aangegeven welke eisen aan bouwstoffen en mengsels worden gesteld. Naast de met name genoemde eisen zijn Nederlandse en internationale normen van kracht volgens artikel 01.01.01.-lid 02 van de Standaard. In het "Jaarboek Bouwmaterialen" en de Normalisatiecatalogus van het Nederlands Normalisatie-instituut [NNI, 2000-a] en [NNI, 2000-b] wordt elk jaar een geactualiseerd overzicht gegeven van alle bestaande normen. Hierin wordt tevens aangegeven welke normen zijn vervallen of vervangen door andere normen.

In de tabellen B3.1 tot en met B3.10 is aangegeven welke productnorm (eis) van toepassing is voor de eigenschappen van de bouwstoffen, zowel in de Standaard als in afzonderlijke normbladen. Tevens is aangegeven welke normen moeten worden gebruikt voor het bepalen van de eigenschappen. Voor beide soorten normen zijn zowel de Nederlandse (NEN of RAW) als de Europese (NEN-EN) versie vermeld. Ook zijn de ISO-normen vermeld.

Tabel B3.1 Van toepassing zijnde normen voor bitumen

BITUMEN				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingmethode	
	NEN	NEN-EN	NEN	NEN-EN
Verontreinigingen	3902: 4.1	12591	3941	12594
Viscositeit	3902: 4.2	12591	3945	12595/6
Dichtheid	3902: 4.4/tabel	12591	3943	ISO 3838
Penetratie	3902: 4.4/tabel	12591	3949	1426
Penetratie-Index	3902: 4.4/tabel	12591	3950	12591-Annex B
Verwekingspunt	-	12591	3948	1427
Vlampunt	3902: 4.4/tabel	12591	3954	22592
Onoplosbaar in toluen	3902: 4.4/tabel	12591	3962	12592
Invloed warmte/lucht	3902: 4.4/tabel	12591	3967	12607-1/2/3

Tabel B3.2 Van toepassing zijnde normen voor bitumenemulsie

BITUMENEMULSIE				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingmethode	
	NEN	NEN-EN	NEN	NEN-EN
Type emulsie	3904: 3/tabel 1		3959	1430
Soort emulsie	3904: 3/tabel 1		3957	13075-1/2 13675-1
Verontreinigingen	3904: 4.1		3941	
Viscositeit	3904: 4.1/tabel 2		3947	12846/13357
Gehalte aan water	3904: 4.2/tabel 3		3955	1428
Zeeffrest	3904: 4.2/tabel 3		3958	1429
Eigenschappen bitumen	3904: 4.2/tabel 3		3953/61	1431/13074

Tabel B3.3 Van toepassing zijnde normen voor vloeibitumen

VLOEIBITUMEN				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingmethode	
	NEN	NEN-EN	NEN	NEN-EN
Verontreinigingen	3905: 4.1		3941	
Viscositeit	3905: 4.2/tabel		3946	13357
Vlampunt	3905: 4.2/tabel		3954	
Gehalte water	3905: 4.2/tabel		3955	
Weerstand tegen verdringing	3905: 4.2/tabel		3960	13614-1/2
Destillatie	3905: 4.2/tabel		3951	13358
Eigenschappen residu	3905: 4.2/tabel		3949/62	

Tabel B3.4 Van toepassing zijnde normen voor asfaltkleefmiddel

ASFALTKLEEFMIDDEL				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingmethode	
	NEN	NEN-EN	NEN	NEN-EN
Verontreinigingen	3906: 3.1		3941	
Viscositeit	3906: 3.2/tabel		3947	
Gehalte aan water	3906: 3.2/tabel		3955	
Destillatie	3906: 3.2/tabel		3951	
Eigenschappen residu	3906: 3.2/tabel		3948/49/62	

Tabel B3.5 Van toepassing zijnde normen voor vulstof

VULSTOF				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingmethode	
	NEN	NEN-EN	NEN	NEN-EN
Korrelverdeling	3975: 6	13043: 5.1.1	3976	933-1/2/10
Bitumengetal	3975: 6.2	13043: 5.1.1	3977	13179-2
Holle ruimte	3975: 6.3 + 6.5	13043: 5.3.1	3978	1097-4
Dichtheid	3975: 6.4	13043: 5.5.3	3979	1097-7
Massaverlies	3975: 6	-	3980	1744-1
Oplosbaarheid (water)	3975: 6	13043: 5.4.2	3981	1744-1
Watergevoeligheid	3975: 6	13043: 5.4.1	3982	?
Zwel	3975: 6	-	?	933-12
Hydroxide	3975: 6.7	13043: 5.4.4	3237	459-2
Oplosbaarheid (zoutzuur)	3975: 6.6	-	3984	-
Monsterneming	3975: 7.1	13043: 6	3975: 7.1	
Interpretatie	3975: 7.2	13043: 6	3206/3901: 3.4	
Opm. -Bij vooronderzoek en bedrijfscontrole wordt NEN 3976 (luchtstraalzeving) niet gebruikt -3 ^e ontw NEN 3975 zal niet definitief worden gemaakt i.v.m. CEN-normering -3 ^e ontw NEN 3975, 6.7 is gewijzigd in februari 1997				

Tabel B3.6 Van toepassing zijnde normen voor zand

ZAND				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingmethode	
	NEN/RAW	NEN-EN	NEN/RAW	NEN-EN
Dichtheid	-	-	RAW 60.1	1097-6
Korrelverdeling	RAW-52.56.04-03 RAW-52.56.04-04	13043: 4.1.2	RAW 6.0	933-1/2
Gehalte < 63 µm	RAW-52.56.04-03	13043:4.1.3	RAW 6.0	933-1
Verontreinigingen	RAW-52.56.04-02	13043	RAW 6.0	-

Tabel B3.7 Van toepassing zijnde normen voor steenslag

STEENSLAG				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingmethode	
	NEN/RAW	NEN-EN	NEN/RAW	NEN-EN
Dichtheid	6240: 4.2/5.5 RAW-52.56.01-03	13043: 4.2.6/7	5926 RAW 60.1	1097-6
Korrelverdeling	6240: 5.1 RAW-52.56.01-07	13043: 4.1.2	RAW 6.0	933-1 / 933-2
Korrels > 90 % "rond"	6240: 5.2.1	13043: 4.1.6	RAW 52.1	933-5
Korrels "gebroken opp"	6240: 5.2.2 RAW-52.56.01-04	13043: 4.1.6	RAW 52.1	933-5
Platte stukken	6240: 5.2.3 RAW-52.56.01-05	13043: 4.1.5	RAW 52.2	933-3
Verontreinigingen	6240: 5.3.1	-	-	-
Gehalte vuursteen	6240: 5.3.2	-	6244	-
Gehalte < 63 µm	6240: 5.4	13043: 4.1.3	RAW 6.0	933-1
Verbrijzeling	6240: 5.6.2 RAW-52.56.01-06	13043: 4.2.2.2	6245	1097-2
Verwering	6240: 5.6.3.1	-	6247	1367-2
Vortsbestendigheid	6240: 5.6.3.2	13043: 4.3.1	?	1367-1
Volumevastheid	6240: 5.6.3.3	-	?	?
Bestandheid tegen hitte	6240:5.6.3.4	13043: 4.3.2	6251	1367-5
Keuring				932-1 / ISO 4259

Tabel B3.8 Van toepassing zijnde normen voor grind en fosforslakken

GRIND / FOSFORSLAKKEN				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingsmethode	
	NEN/RAW	NEN-EN	NEN/RAW	NEN-EN
Dichtheid	RAW-52.56.02-05 RAW-52.56.03-06	13043: 4.2.6/4.2.7	5926 RAW 60.1	1097-6
Korrelverdeling	RAW-52.56.02-03 RAW-52.56.03-04	13043: 4.1.2	RAW 6.0	933-1/2
Gehalte < 63 µm	RAW-52.56.02-04 RAW-52.56.03-05	13043: 4.1.3	RAW 6.0	933-1
Platte stukken	RAW-52.56.02-07 RAW-52.56.03-08	13043: 4.1.5	RAW 52.2	933-3
Verbrijzeling	RAW-52.56.02-08 RAW-52.56.03-09	13043: 4.2.2.2	6245	1097-2
Vreemde bestanddelen	6240: 5.3.1	-	-	-
Verwering	6240: 5.6.3.1	-	6247	1367-2
Vorstbestendigheid	6240: 5.6.3.2	13043: 4.3.1		1367-1
Volumevastheid	6240: 5.6.3.3	?		?
Bestandheid tegen hitte	6240: 5.6.3.4	13043: 4.3.2	6251	1367-5

Tabel B3.9 Van toepassing zijnde normen voor asfaltgranulaat

ASFALTGRANULAAT				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingsmethode	
	NEN/RAW	NEN-EN	NEN/RAW	NEN-EN
Korrelverdeling	RAW-52.56.01-02/03		RAW 6.0	
Bitumengehalte	-	-	RAW 65.0	1980
Vreemde bestanddelen	RAW-52.56.01-03/05/07	-	RAW 109	
Bitumenkwaliteit	RAW-52.56.01-04		3971/RAW 110	1951
Keuring	RAW-52.56.01-09		RAW-52.56.01-08	

Tabel B3.10 Van toepassing zijnde normen voor asfalt

ASFALT				
Eigenschap	Productnorm		Beproevingmethode	
	NEN/RAW	NEN-EN	NEN/RAW	NEN-EN
Temperatuur	RAW-52.52.03-03/04	-	RAW 155	1960 12697-13
Verdichting	-	-	RAW 57.1/2	12697-30/31
Dichtheid proefstuk	-	-	RAW 67.2	12697-6
Dichtheid mengsel	-	-	RAW 68	12697-5
Holle ruimte	RAW-52.52.01-01	-	RAW 69	12697-8
Bitumengehalte	RAW-52.52.01-02	-	RAW 65.0	12697-1
Korrelverdeling	RAW-52.52.01-04/05	-	RAW 6.0	12697-2
Bitumenkwaliteit	RAW-52.52.01-03	-	RAW 110 / 3971	12697-3
Laagdikte	RAW-52.52.01-06	-	RAW 201	-
Keuring		-	RAW-52.54.04-01 RAW 201	12697-27
Waterbouwasfaltbeton samenstelling	RAW-52.56.07-01/03	-	RAW 65.0/6.0	12697-1/2
Waterbouwasfaltbeton bitumenkwaliteit	RAW-52.56.07-02	-	RAW-202	12697-3
Open Steenasfalt samenstelling	RAW-52.56.08-01/02	-	RAW 65.0/6.0	12697-1/2
Gietasfalt samenstelling	RAW-52.56.09-01/03	-	RAW 65.0/6.0	12697-1/2
Gietasfalt vloeyedrag	RAW-52.56.09-02	-	RAW 203	-
Asfaltmestiek samenstelling	RAW-52.56.10-01	-	RAW 65.0/6.0	12697-1/2
Asfaltmestiek vloeyedrag	RAW-52.56.10-02	-	RAW 203	-

4 NORMEN

Norm	Nummer	Titel
Nederlandse normen		
NEN	1132	Benamingen te gebruiken bij het bemonsteren en keuren.
NEN	2560	Controlezeven. Draadzeven en plaatzeven met ronde en vierkante gaten.
NEN	3901	Bitumen- en teerproducten. Algemeen gedeelte: benamingen, definities en regels voor de keuring.
NEN	3902	Bitumen- en teerproducten. Penetratiebitumen.
NEN	3904	Bitumen- en teerproducten. Bitumenemulsies.
NEN	3905	Bitumen- en teerproducten. Vloeibitumen.
NEN	3906	Bitumen- en teerproducten. Asfaltkleefmiddel voor wegenbouwkundige toepassing.
NEN	3940	Bitumen- en teerproducten. Monsterneming.
NEN	3941	Bitumen- en teerproducten. Voorbereiding van monsters.
NEN	3943	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de dichtheid. Pyknometermethode.
NEN	3945	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de equiviscositeitstemperatuur (EVT).
NEN	3946	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de uitstroomtijd (STV).
NEN	3947	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de uitstroomtijd met de ISO- en DIN-uitstroombeker.
NEN	3948	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van het verwekingspunt ring en kogel.
NEN	3949	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de penetratie.
NEN	3950	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de penetratie-index (PI) van bitumen.
NEN	3951	Bitumen- en teerproducten. Destillatie van vloeibitumen, bitumenoplossingen en teerlak.
NEN	3953	Bitumen- en teerproducten. Destillatie van bitumenemulsie.
NEN	3954	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van het vlam- en ontbrandingspunt. Cleveland-open-kroesmethode.
NEN	3955	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van het gehalte aan water.
NEN	3957	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de stabiliteitssoort van bitumenemulsie door mengen met mineraal aggregaat.
NEN	3958	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de zeefrest van bitumenemulsie.
NEN	3959	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van het type van bitumenemulsie.
NEN	3960	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de weerstand tegen verdringing door water.
NEN	3961	Bitumen- en teerproducten. Afscheiding van bitumen uit bitumenemulsie.
NEN	3962	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van het gehalte aan onoplosbare bestanddelen.
NEN	3967	Bitumen- en teerproducten. Bepaling van de invloed van warmte en lucht op bitumen (Thin-Film Oven Test).
NEN	3971	Bitumen- en teerproducten. Terugwinning van bitumen uit asfalt ten behoeve van kwalitatief onderzoek.
NEN	3975	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Definitie, indeling, eisen en keuring
NEN	3976	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Bepaling van de korrelverdeling luchtstraalzeefanalyse.
NEN	3977	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Bepaling van het bitumengetal.
NEN	3978	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Bepaling van de holle ruimte
NEN	3979	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Bepaling van de dichtheid. Pyknometermethode.
NEN	3980	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Bepaling van het massaverlies na verwarming bij 150°C
NEN	3981	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Bepaling van de oplosbaarheid in water.
NEN	3982	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Bepaling van de watergevoeligheid.
NEN	3984	Vulstoffen voor bitumineuze mengsels. Bepaling van de oplosbaarheid in zoutzuur.
NEN	5926	Toeslagmaterialen voor beton. Bepaling van de volumieke massa van de droge korrels.
NVN	6240	Steenslag voor asfalt en oppervlakbehandelingen.
NEN	6242	Steenslag voor asfalt en oppervlakbehandelingen. Bepaling van het gehalte aan korrels met gebroken korreloppervlakken

Bijlage 3 Testmethoden en normen

Norm	Nummer	Titel
NEN	6244	Steenslag voor asfalt en oppervlakbehandelingen. Bepaling van het gehalte aan vuursteen in gebroken grind.
NEN	6245	Steenslag voor asfalt en oppervlakbehandelingen. Bepaling van de weerstand tegen verbrijzeling onder statische belasting.
NEN	6247	Steenslag voor asfalt en oppervlakbehandelingen. Bepaling van de bestandheid tegen vertering.
NEN	6251	Steenslag voor asfalt en oppervlakbehandelingen. Bepaling van de hittebestendigheid.
Europese normen		
NEN-EN	459-2	Bouwkalk. Deel 2: Beproevingmethoden.
NEN-EN	932-1	Beproevingmethoden voor algemene eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 1: Methoden voor monsterneming.
NEN-EN	933-1	Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 1: Bepaling van de korrelverdeling (zeefmethode).
NEN-EN	933-2	Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 2: Bepaling van de korrelverdeling - Controlezeven, nominale afmetingen van de openingen.
NEN-EN	933-3	Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 3: Bepaling van de korrelvorm - Gehalte aan platte stukken.
NEN-EN	933-5	Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 5: Bepaling van het percentage aan gebroken oppervlakken in grove toeslagmaterialen.
NEN-EN	933-9	Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 9: Bepaling van de aanwezigheid van fijn materiaal. Methyleenblauwtest.
NEN-EN	933-10	Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 10: Beoordeling van fijn materiaal - korrelverdeling van vulstoffen (zeven met luchtstralen).
NEN-EN	1097-2	Beproevingmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 2: Methoden voor de bepaling van de weerstand tegen verbrijzeling.
NEN-EN	1097-4	Beproevingmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 4: Bepaling van de holle ruimte in droog verdichte vulstof.
NEN-EN	1097-6	Beproevingmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 6: Bepaling van de dichtheid van de deeltjes en van de wateropname.
NEN-EN	1097-7	Beproevingmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 7: Bepaling van de dichtheid van vulstof - pyknometermethode.
NEN-EN	1367-1	Beproevingmethoden voor de thermische eigenschappen en vertering van toeslagmaterialen. Deel 1: Bepaling van de bestandheid tegen vriezen en dooien.
NEN-EN	1367-2	Beproevingmethoden voor de thermische eigenschappen en vertering van toeslagmaterialen. Deel 2: Magnesiumsulfaatproef
NEN-EN	1367-5	Beproevingmethoden voor de thermische eigenschappen en vertering van toeslagmaterialen. Deel 5: Bepaling van de weerstand tegen kortstondige verhitting
NEN-EN	1426	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de penetratie
NEN-EN	1427	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van het verwekingspunt - Ring- en kogelmethode
NEN-EN	1428	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van het gehalte aan water in bitumenemulsies
NEN-EN	1429	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de zeefrest van bitumenemulsies en bepaling van de opslagstabiliteit door zeven
NEN-EN	1430	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de deeltjespolariteit van bitumenemulsies
NEN-EN	1431	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de hoeveelheid residu en het oliedestillaat van bitumenemulsies door destillatie
NEN-EN	1744-1	Beproevingmethoden voor de chemische eigenschappen van toeslagmaterialen. Deel 1: Chemische analyse.
NEN-EN	1951	Bitumineuze mengsels - Beproevingmethoden voor warm asfalt - Terugwinning van het bindmiddel: Rotatieverdamper
NEN-EN	1952	Bitumineuze mengsels - Beproevingmethoden voor warm asfalt - Monsterneming
NEN-EN	1960	Bitumineuze mengsels - Beproevingmethoden voor warm asfalt - Temperatuurmetingen.

Norm	Nummer	Titel
NEN-EN	1962	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm asfalt - Voorbereiding van monsters voor de bepaling van het bindmiddelgehalte, het watergehalte en de korrelgrootte
NEN-EN	1980	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm asfalt - Bindmiddelgehalte
NEN-EN	12591	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Specificaties voor penetratiebitumen
NEN-EN	12592	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de oplosbaarheid
NEN-EN	12594	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Monstervoorbereiding
NEN-EN	12595	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de kinematische viscositeit
NEN-EN	12596	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de dynamische viscositeit met een vacuümcapillair
NEN-EN	12607 -1/2/3	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de weerstand tegen verharding onder de invloed van warmte en lucht - Deel 1, 2 en 3
NEN-EN	12697-1	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethode voor warm asfalt - Deel 1: Bindmiddelgehalte.
NEN-EN	12697-2	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm asfalt - Deel 2: Deeltjesgrootteverdeling.
NEN-EN	12697-3	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm asfalt - Deel 3 - teruggewinning van bitumen - vacuümrotatiemethode.
NEN-EN	12697-5	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm asfalt - Deel 5: Bepaling van de mengselvoudigheid.
NEN-EN	12697-6	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm asfalt - Deel 6: Bepaling van de proefstukdichtheid met de hydrostatische methode.
NEN-EN	12697-8	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm asfalt - Deel 8: Bepaling van het gehalte aan poriën in bitumineuze materialen.
NEN-EN	12697-13	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warm asfalt - Deel 13 - bepaling van de temperatuur.
NEN-EN	12697-34	Bitumineuze mengsels - Beproevingsmethoden voor warmbereid asfalt - Deel 34: Marshallproef.
NEN-EN	12846	Aardolieproducten - Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de uitstroomtijd van bitumenemulsies met een uitstroombeker.
NEN-EN	13043	Toeslagmaterialen voor asfalt en oppervlakbehandeling voor wegen, vliegvelden en andere verkeersgebieden
NEN-EN	13074	Aardolieproducten - Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Teruggewinning van bindmiddelen uit emulsies door verdamping.
NEN-EN	13075	Aardolieproducten - Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van het breekgedrag van kationische bitumenemulsies - deel 1 en 2.
NEN-EN	13179-2	Beproevingen van aggregaat als vuller in bitumineuze mengsels - Deel 2: Bitumengetal.
NEN-EN	13357	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de teruggewinning van vloeibitumenproducten.
NEN-EN	13358	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van de destillatiekromme van vloeibitumenproducten.
NEN-EN	13614	Bitumen en bitumineuze bindmiddelen - Bepaling van het hechtingsvermogen van bitumenemulsies door onderdompeling in water - Deel 1 en 2.
ISO normen		
NEN -ISO	3310-2	Controlezeven - Technische eisen en beproevingen - Deel 2: Geperforeerde plaatzeven.
NEN-EN -ISO	3838	Ruwe aardolie en vloeibare of vaste aardolieproducten - Bepaling van de dichtheid.
NEN-EN -ISO	4259	Aardolieproducten - Bepaling en toepassing van gegevens over nauwkeurigheid van bepoevingsmethoden.

BIJLAGE 4 ACHTERGRONDEN BIJ DE REKENREGELS VOOR HET DIMENSIONEREN OP WATEROVERDRUKKEN

Inleiding

Na de overstromingsramp in 1953 is men vooral uit economische overwegingen er toe overgegaan om dijken op te bouwen uit zand met aan de buitenkant een beschermende bekleding van bijvoorbeeld asfaltbeton. Voor het vaststellen van de laagdikte ging men uit van globale rekenregels om de optredende golfklap en wateroverdruk te kunnen weerstaan. In 1959 is door Bischoff van Heemskerk een begin gemaakt met het opstellen van de eerste rekenregels [Bischoff van Heemskerk, 1959] voor het dimensioneren op wateroverdrukken. Na het verschijnen van het Voorlopige Rapport 1961 van de werkgroep Gesloten Dijkbekledingen [WGD, 1961] hebben deze rekenregels een meer vaste vorm gekregen.

In de jaren '70 is door Van der Veer een nauwkeuriger methode ontwikkeld om bij een gegeven grondwaterstand en buitenwaterstand de optredende wateroverdruk onder een gesloten bekleding te bepalen [Van der Veer, 1976]. In de jaren '90 is met niet-stationaire grondwaterstromingsprogramma's onderzoek gedaan naar de optredende waterstanden en wateroverdrukken tijdens een maatgevende storm [Best, 1992] en [De Loeff, 1999-a]. Op basis van de bovengenoemde onderzoeken zijn enkele eenvoudige rekenregels opgesteld waarmee een gesloten bekleding kan worden ontworpen en getoetst op wateroverdrukken.

In deze bijlage wordt nader ingegaan op de volgende twee aspecten:

- de relevante bezwijkcriteria;
- achtergronden bij de in de hoofdtekst opgenomen ontwerpregels.

Bezwijkcriteria

Voor het ontwerpen van een dichte asfaltbekleding, zijn in het verleden drie criteria gehanteerd waaraan de constructie moet voldoen. Het betreft de volgende criteria:

- Afschuifcriterium. Bij frequent optredende belastingen (zoals springtij) dient te worden voorkomen dat de wrijving tussen de bekleding en de ondergrond ten gevolge van wateroverdrukken nul wordt zodat de bekleding de neiging krijgt af te schuiven.
- Opdrijf criterium. Bij extreme belastingen (maatgevend hoogwater) moet de component van het eigen gewicht van de bekleding loodrecht op het talud groter zijn dan de wateroverdruk onder de bekleding.

- Evenwichtscriterium. Het evenwicht van de gehele bekleding (en het talud) moet gewaarborgd zijn.

Deze criteria zijn afkomstig uit [WGD, 1961] en zijn ook in de Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw [TAW, 1984] opgenomen. Recent is nagegaan of elk van de genoemde criteria relevant is voor het ontwerp [De Looff, 1999-b]. Doel van deze beschouwing was na te gaan of het aantal criteria waarop moet worden gedimensioneerd kan worden beperkt. Uitgangspunt hierbij was dat het opdrijfcriterium in ieder geval een relevant mechanisme is omdat hierbij gedimensioneerd wordt op de meest extreme situatie.

Afschuifcriterium. Dit criterium impliceert dat de component van het eigen gewicht langs het talud niet groter mag worden dan de wrijvingsweerstand tussen de bekleding en de ondergrond. Als dit wel gebeurt zal de bekleding de neiging hebben af te schuiven. De bekleding zal gaan hangen aan het hoger gelegen gedeelte van de bekleding en steunen op het lager gelegen gedeelte dat nog wel genoeg wrijving ondervindt. Als wordt gedimensioneerd op het afschuifcriterium betekent dit dat er geen extra langskrachten in de bekleding ten gevolge van het wegvallen van de wrijving tussen bekleding en ondergrond worden geaccepteerd. Een asfaltbekleding is echter tot op zekere hoogte in staat om deze krachten op te nemen. Om te bepalen of bekledingen op afschuiven moeten worden gedimensioneerd is door Versluis [Versluis, 1999-a] nagegaan of de optredende spanningen in het asfalt bij afschuiven toelaatbaar zijn. De optredende trekspanning in het asfalt is vergeleken met een bezwijkspanning van het asfalt bij een belastingtijd van 10 uur volgens het nomogram van Heukelom [Heukelom, 1966]. De toelaatbare spanning bleek vele malen groter dan de optredende spanning. Op basis hiervan is besloten het afschuifcriterium niet op te nemen als ontwerpcriterium omdat de spanningen die in een asfaltbekleding optreden ten gevolge van afschuiven, niet zullen lijden tot bezwijken van de bekleding.

Opdrijfcriterium. Dit criterium impliceert dat de opwaartse kracht van het water niet groter mag zijn dan de component van het eigen gewicht van de bekleding loodrecht op het talud. Als de opwaartse kracht wel groter wordt, kan de bekleding worden opgelicht. In de ruimte die tussen de bekleding en de ondergrond ontstaat kan zich materiaal uit de ondergrond ophopen. Door dit materiaal kan de bekleding niet meer in zijn oude uitgangspositie terugkeren. Aan de onderkant van het talud zullen dan bulten ontstaan, terwijl er zich hoger op het talud holtes onder de bekleding ontwikkelen. Na verloop van tijd kunnen deze vervor-

mingen zodanig groot worden dat de bekleding bezwijkt. Op het opdrijfcriterium moet worden gedimensioneerd bij de maatgevende belastingomstandigheden.

Evenwichtscriterium. De bekleding en het talud moeten in zijn geheel in evenwicht zijn. In de Leidraad Asphalt [TAW, 1984] is een evenwichtvergelijking gegeven voor een grondmoot onder de bekleding. Gesteld wordt dat er evenwicht moet zijn tussen de stromingsdrukken, het eigen gewicht van een gronddeeltje en de door de grond geleverde schuifspanning. Voor een oneindig lang talud is een vergelijking gegeven waarmee de maximale taludhelling op basis van de bovengenoemde evenwichtsbeschouwing kan worden bepaald. Hoewel deze eis theoretisch correct is resulteert het praktisch omgaan met het criterium globaal in de volgende eis voor cohesieloze gronden: hellingshoek talud \leq inwendige wrijvingshoek ondergrond. Voor het bepalen van de helling van het buitentalud wordt geadviseerd de stabiliteit te bepalen met glijvlakberekeningen of een eindige elementenprogramma en het genoemde evenwichtscriterium buiten beschouwing te laten.

Achtergronden bij de ontwerpregels

In paragraaf 7.3.4 van de hoofdtekst is een eenvoudige formule opgenomen waarmee een gesloten dijkbekleding kan worden getoetst en ontworpen op wateroverdrukken. De formule is afkomstig uit het rapport Dimensioneren van een gesloten dijkbekleding op wateroverdrukken [De Loeff, 1996-a]. In de onderstaande tekst zijn de achtergronden bij de formule opgenomen.

Zoals blijkt uit de voorgaande tekst kan worden volstaan met het dimensioneren op het opdrijfcriterium. Dit betekent dat het gewicht van de bekleding zo groot moet zijn dat de wateroverdruk aan de onderzijde van de bekleding de bekleding niet kan oplichten. Als de plaatwerking van de bekleding buiten beschouwing wordt gelaten en de bekleding als losse blokken wordt verondersteld is de benodigde laagdikte:

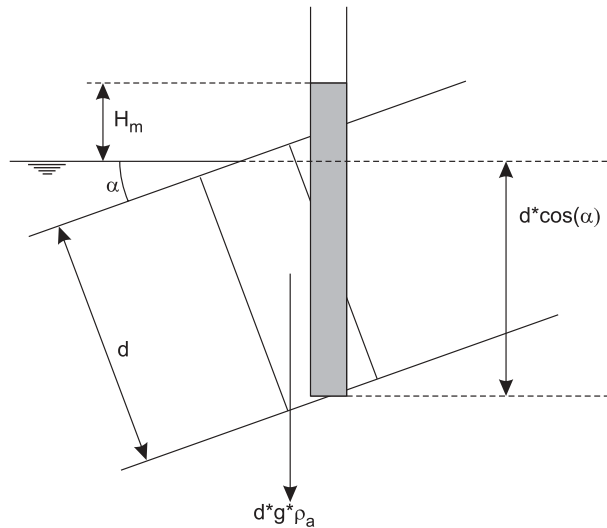
$$d \geq \frac{H_m}{\cos(\alpha)} \left[\frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \right] \quad (1)$$

Bijlage 4 Achtergronden bij de rekenregels
voor het dimensioneren op wateroverdrukken

Hierin is:

- d benodigde laagdikte [m]
- H_m maximale potentiaal- of stijghoogteverschil [m]
- ρ_w dichtheid water [kg/m³]
- ρ_a dichtheid asfalt [kg/m³]
- α taludhelling [°]

In figuur B4.1 is de evenwichtsbeschouwing op basis van het stijghoogteverschil grafisch weergegeven.



Figuur B4.1 Evenwichtsbeschouwing op basis van het stijghoogteverschil

Het maximale potentiaal- of stijghoogteverschil wordt, indien de ligging van de grondwaterstand, buitenwaterstand en onderzijde van de gesloten bekleding bekend zijn, bepaald volgens de methode van Van der Veer met de volgende formule:

$$H_m = \frac{v}{\pi} \arccos \left[2 \left[\frac{v}{a+v} \right]^{\frac{\pi}{\theta}} - 1 \right] \quad \text{met } \theta = \arctan(n) + \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

Hierin is:

- a de verticaal gemeten afstand van onderkant bekleding tot de buiten waterlijn [m]
- v de verticaal gemeten afstand van de buiten waterlijn tot het grondwaterniveau [m]
- 1:n taludhelling [-]

De formule is geldig in het geval van niet-stationaire grondwaterstroming in een homogene ondergrond. In de afleiding van de analytische oplossing is ervan uitgegaan dat de lengte van het talud groot is in vergelijking met de lengte van de bekleding. Daarnaast wordt verondersteld dat het verhang van de freatische lijn gering is en dat zich op korte afstand van de bekleding geen versturende invloeden voordoen. Het geldigheidsgebied van de genoemde formule is gegeven in de onderstaande vergelijking.

$$\frac{v}{a+v} < 0,80 \text{ a } 0,85 \quad (3)$$

In formule (2) is de invloed van de dikte van de bekleding op de grootte van het optredende stijghoogteverschil verwaarloosd. Door 't Hart [’t Hart, 1995] is de invloed van de bekledingsdikte op het maximaal optredende stijghoogteverschil als volgt verdisconteerd:

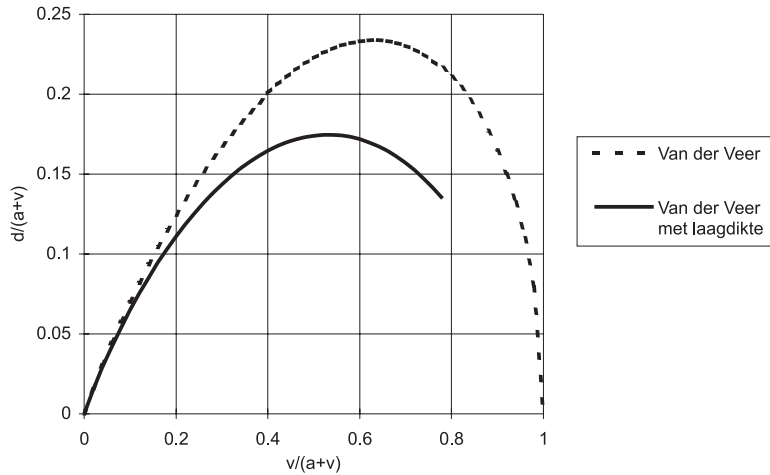
$$H_m = \frac{v}{\pi} \arccos \left[2 \left(\frac{v+d \cos(\alpha)}{a+v} \right)^{\frac{\pi}{\theta}} - 1 \right] \quad \text{met } \theta = \arctg(n) + \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

Hierin is d de bekledingsdikte en α de hellingshoek van het talud.

Door het in rekening brengen van de laagdikte bij het bepalen van het maximale stijghoogteverschil kan worden volstaan met een significant dunnere bekleding, zoals ook blijkt uit de grafiek in figuur B4.2.

In de figuur zijn de formules (2) en (4) gesubstitueerd in formule (1) en vervolgens omgewerkt. Voor α , ρ_w , en ρ_a zijn constanten aangenomen. De volgende waarden zijn aangehouden:

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= 0,25 \\ \rho_w &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_a &= 2100 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$



Figuur B4.2 Benodigde laagdikte met en zonder de invloed van de bekledingsdikte

Uit de grafiek in figuur B4.2 kan tevens worden afgeleid bij welke verhouding tussen de grondwaterstand, buitenwaterstand en onderkant van de gesloten bekleding de grootste wateroverdruk optreedt. Als de invloed van de bekledingsdikte wordt meegenomen is dit als $v = 53\%$ van $(a + v)$.

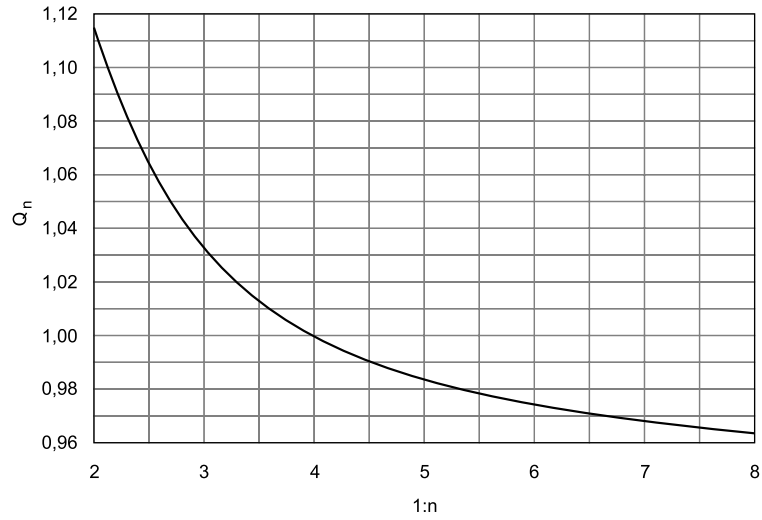
In deze situatie is de benodigde laagdikte (mits $\tan\alpha = 0,25$, $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho_a = 2100 \text{ kg/m}^3$)

$$d = 0,175^* (a + v) \quad (5)$$

Als in de formule de invloed van de eerder aangenomen constanten wordt meegenomen, kan formule (5) herschreven worden tot (mits $\tan\alpha = 0,25$):

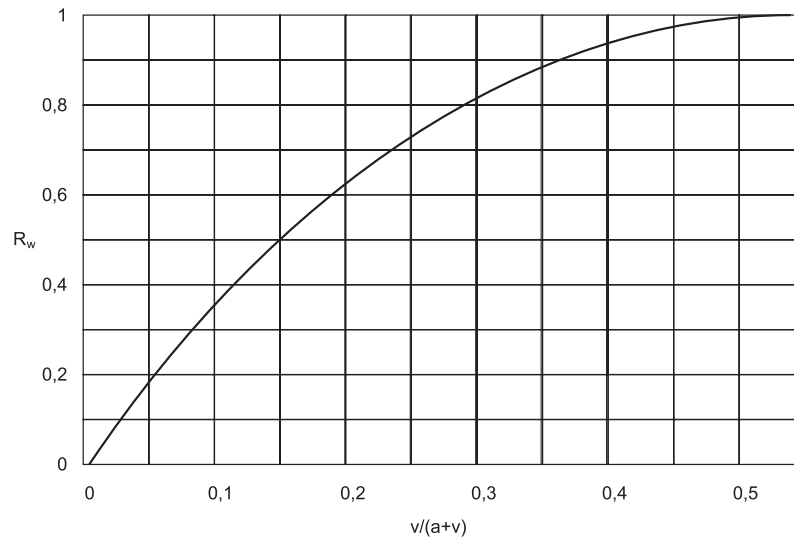
$$d = 0,21^* (a + v) \left[\frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \right] \quad (6)$$

De invloed van de taludhelling wordt verdisconteerd door de factor Q_n , die wordt bepaald uit de grafiek in figuur B4.3.



Figuur B4.3 De factor Q_n

Als de maatgevende buitenwaterstand lager ligt dan $0,53(a+v)$ zal de optredende wateroverdruk lager zijn. Dit kan worden verdisconteerd met de factor R_w die gegeven is in figuur B4.4.



Figuur B4.4 De factor R_w

De formule voor de bepaling van de benodigde laagdikte wordt dan:

$$d = 0,21 Q_n (a + v) \left[\frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \right] R_w \quad (7)$$

BIJLAGE 5 REKENVOORBEELDEN BIJ HET DIMENSIONEREN OP WATEROVERDRUKKEN

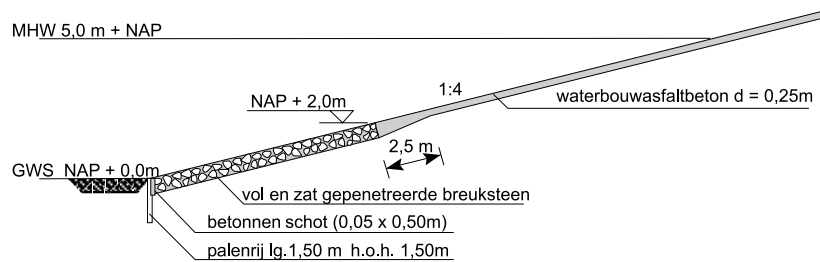
Inleiding

In deze bijlage worden twee rekenvoorbeelden gegeven van het dimensioneren van een gesloten dijkbekleding op wateroverdrukken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de methode zoals gegeven in hoofdstuk 7 van de hoofdtekst. De voorbeelden die nader worden uitgewerkt betreffen een zeedijk waarvan de ontwerplaagdikten moeten worden bepaald en een meerdijk waarvan de aanwezige laagdikte moet worden getoetst op wateroverdrukken.

Voorbeeld 1: Bepalen van de benodigde laagdikte bij een zeedijk

Gegeven

Het dwarsprofiel van de beschouwde dijk is gegeven in figuur B5.1.



Figuur B5.1 Dwarsprofiel van de beschouwde dijk

Dit voorbeeld betreft een zeedijk met een bekleding van waterbouwasfaltbeton en vol en zat gepenetreerde breuksteen. Het dijklichaam is van zand. De helling van het buitentalud is 1:4. Als teenconstructie is een betonnen palenrij (h.o.h. 1,50 m) met een betonnen schot (0,05 x 0,50) toegepast. Het maatgevend hoogwater (MHW) bevindt zich op NAP + 5,0 m, de gemiddelde waterstand (GWS) op NAP + 0 m. Omdat het gemiddeld hoogwater zich op ongeveer NAP + 1,9 m bevindt, wordt boven NAP + 2,0 m waterbouwasfaltbeton en daaronder vol en zat gepenetreerde breuksteen toegepast. De ontwerplaagdikte van het waterbouwasfaltbeton, bepaald bij het dimensioneren op wateroverdrukken, is 0,25 m. Ter plaatse van de overgang op de gepenetreerde breuksteen wordt het waterbouwasfaltbeton over 2,0 m verzwaard zoals aangegeven in figuur B5.1.

Gevraagd:

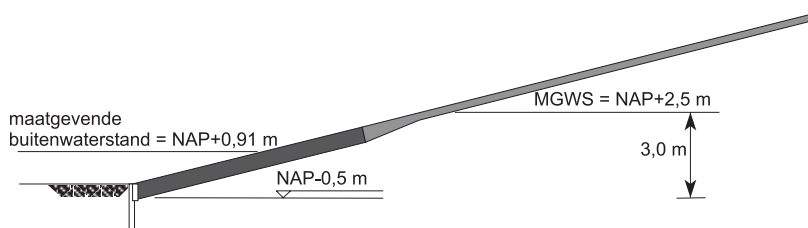
Bepaal de minimaal benodigde laagdikten in de zone waarin wateroverdrukken optreden.

Uitwerking:

In de eerste plaats worden de maatgevende waterstanden bepaald.

Maatgevende grondwaterstand (MGWS) = $0,5 \cdot (\text{MHW-GWS}) = \text{NAP} + 2,5 \text{ m}$
(zie figuur 7.5 in de hoofdttekst).

Voor het bepalen van de buitenwaterstand waarbij de grootste wateroverdruk optreedt moet de laagdikte bekend zijn omdat de onderkant van de gesloten bekleding bekend moet zijn. Deze wordt in eerste instantie ingeschat aan de hand van de toegepaste breuksteensortering en vervolgens wordt nagegaan of deze laagdikte voldoet. Toegepast wordt een breuksteen 10-60 kg met een dikte van $2D_{n50}$, waardoor de laagdikte ongeveer 0,50 m wordt. Hierdoor komt de onderzijde van de gesloten bekleding op ongeveer NAP – 0,5 m te liggen. Theoretisch treedt de grootste wateroverdruk op in de situatie waarbij $a = 47\%$ en $v = 53\%$. Dit betekent dat de afstand $a = 1,41 \text{ m}$ waarmee de maatgevende buitenwaterstand $\text{NAP} - 0,5 \text{ m} + 1,41 \text{ m} = \text{NAP} + 0,91 \text{ m}$ wordt vastgesteld. Dit levert de maatgevende waterstanden op zoals gegeven in figuur B5.2.



Figuur B5.2 Maatgevende waterstanden

De maximaal benodigde laagdikte wordt bepaald met formule 1 uit paragraaf 7.3.3. Aangezien geen teenconstructie is toegepast zal geen gebruik gemaakt worden van de formule uit paragraaf 7.3.5.

gepenetreerde breuksteen: $d = 0,21 \cdot 1,0 \cdot 3,0 \frac{1000}{2450 - 1000} = 0,43 \text{ m}$

waterbouwasfaltbeton: $d = 0,21 \cdot 1,0 \cdot 3,0 \frac{1000}{2300 - 1000} = 0,48 \text{ m}$

Hierin is gerekend met de volgende dichtheden:

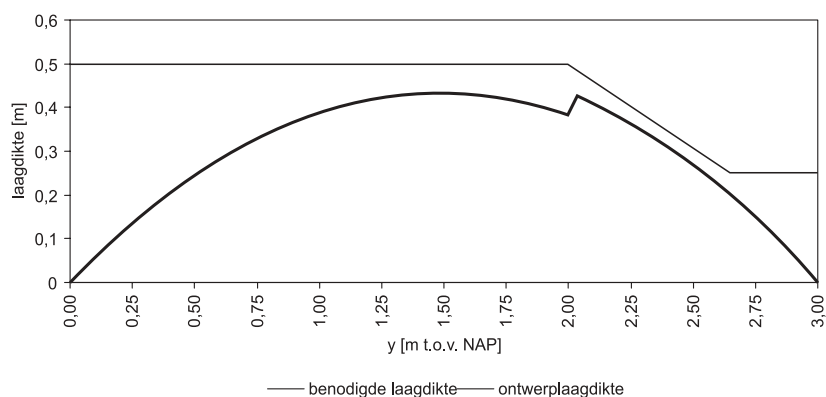
waterbouwasfaltbeton: $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$

vol en zat gepenetreerde breuksteen: $\rho_{\text{gietafalt}} = 2150 \text{ kg/m}^3$
 $\rho_{\text{breuksteen}} = 2650 \text{ kg/m}^3$

De breuksteen heeft circa 40% holle ruimte die volledig wordt gevuld met gietasfalt. Hierdoor wordt de soortelijke massa van de gepenetreerde breuksteenbekleding:

$$\rho = 0,6 * 2650 + 0,4 * 2150 = 2450 \text{ kg/m}^3$$

Beide bekledingen liggen in de zone waarin wateroverdrukken optreden (van NAP - 0,5 m tot NAP + 2,5m). De maximale wateroverdruk treedt ter plaatse van de maatgevende buitenwaterstand op. De ontwerplaagdikte van de vol en zat gepenetreerde breuksteen (0,50 m) is voldoende om de optredende wateroverdrukken te weerstaan. Van de waterbouwasfaltbetonbekleding moet dit nog nader worden beschouwd. Daarom wordt met formule (2) uit paragraaf 7.3.4 de benodigde laagdikte bepaald in de hele zone waarin wateroverdrukken optreden. Deze wordt vergeleken met de ontwerplaagdikten. Dit is weergegeven in figuur B5.3.



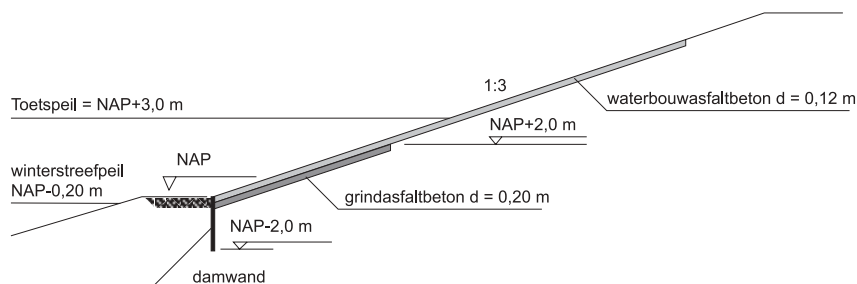
Figuur B5.3 Vergelijking van de ontwerplaagdikte met de benodigde laagdikte

Uit figuur B5.3 blijkt dat de ontwerplaagdikte overal groter is dan de benodigde laagdikte en dat deze dus voldoet. De sprong in de benodigde laagdikte wordt veroorzaakt door het verschil in soortelijke massa van de toegepaste bekledingsoorten.

Voorbeeld 2: Toetsen van de aanwezige laagdikte bij een meerdijk

Gegeven:

Het dwarsprofiel van de beschouwde dijk is gegeven in figuur B5.4.



Figuur B5.4 Dwarsprofiel van de beschouwde dijk

Dit voorbeeld betreft een meerdijk met een bekleding van waterbouwasfaltbeton met een dikte van 0,12 m. Van NAP + 0 m tot NAP + 2,0 m is de bekleding voorzien van een onderlaag van grindasfaltbeton met een dikte van 0,20 m.

De genoemde laagdikten zijn bestekslaagdikten. Het dijklichaam is van zand.

De helling van het buitentalud is 1:3 en eindigt op NAP. Als teenconstructie is

een gesloten damwand toegepast. De onderkant van de damwand bevindt zich

op NAP - 2,0 m. Het Toetspeil bevindt zich op NAP + 3,0 m, het winterstreefpeil

op NAP - 0,20 m.

Gevraagd:

Toets of de aanwezige laagdikte in de wateroverdrukkenzone voldoet.

Uitwerking:

In de eerste plaats worden de maatgevende waterstanden bepaald.

Maatgevende grondwaterstand (MGWS) = $0,8 * (\text{Toetspeil} - \text{GWS})$ onder

Toetspeil = $0,8 * (3,0 + 0,20) = \text{NAP} + 0,44 \text{ m}$ (zie figuur 7.6 in de hoofdttekst).

Voor het bepalen van de maatgevende buitenwaterstand moet het niveau van de onderkant van de gesloten bekleding bekend zijn. De invloed van de damwand wordt verdisconteerd zoals aangegeven in paragraaf 7.3.5.

De onderkant van de asfaltbekleding ligt op circa NAP - 0,20 m. De lengte van

de damwand is dus 1,80 m. De parameter q wordt vastgesteld op 1,14 m.,

waardoor de fictieve onderkant van de bekleding op NAP – 1,34 m komt te liggen. (a+q+v) wordt hierdoor 1,78 m.

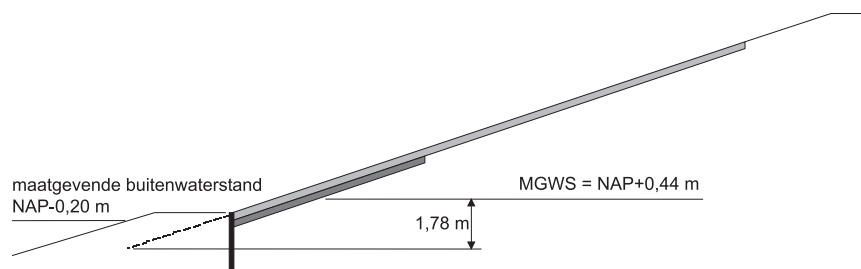
De buitenwaterstand ligt $0,53 * (a+q+v)$ onder de maatgevende grondwaterstand = $0,44 - (0,53 * 1,78) = \text{NAP} - 0,50 \text{ m}$. Dit is onder het winterstreefpeil waardoor als maatgevende buitenwaterstand het winterstreefpeil wordt aangehouden.

Hierdoor veranderen de verhoudingen tussen a en v. De afstand a is de gemeten afstand van onderzijde bekleding tot maatgevende buitenwaterstand, deze is 1,14m. De afstand v is de gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand, deze is 0,64 m.

De reductiefactor R_w moet worden toegepast. Als het winterstreefpeil als maatgevende buitenwaterstand wordt aangehouden wordt $v/(a+v) = 0,64/1,78 = 0,36$.

Met figuur 7.9 wordt bepaald dat $R_w = 0,89$.

Een en ander levert de situatie op zoals gegeven in figuur B5.5.



Figuur B5.5 Maatgevende waterstanden

Uit de gegevens van de opleveringscontrole zijn de gegevens bepaald zoals gegeven in tabel B5.1 (voor het bepalen van de karakteristieke laagdikte wordt verwezen naar bijlage 8):

Tabel B5.1 Gegevens asfaltbekledingen

Asfaltsoort	karakteristieke laagdikte h5% [m]	gemiddelde dichtheid [kg/m ³]
Waterbouwasfaltbeton	0,106	2295
Grindasfaltbeton	0,189	2154

Als er, zoals in dit geval, sprake is van meerdere lagen met verschillende dichtheden, kan het totaal van de twee laagdikten niet worden gebruikt om deze te toetsen aan de benodigde laagdikte. Hiervoor moet eerst een equivalente laagdikte worden bepaald met één dezelfde dichtheid. Voor het bepalen van de equivalente laagdikte moet het onderwatergewicht van de bekledingen worden gebruikt. Een laag met een dikte van 0,189 m en een dichtheid van 2154 kg/m³ heeft een zelfde gewicht als een laag van 2295 kg/m³ en een dikte van:

$$(1154/1295) \cdot 0,189 = 0,168 \text{ m}$$

Dit levert een equivalente laagdikte op met een dichtheid van 2295 van:

$$0,106 + 0,168 = 0,27 \text{ m}$$

De factor Q_n wordt bepaald met figuur 7.10. Hieruit volgt: $Q_n = 1,03$

De benodigde laagdikte wordt dan:

$$d = 0,21 \cdot 1,03 \cdot 1,78 \cdot \frac{1000}{2295 - 1000} \cdot 0,89 = 0,26 \text{ m}$$

De aanwezige laagdikte blijkt groter te zijn dan de benodigde laagdikte, dus deze voldoet.

BIJLAGE 6 ACHTERGRONDEN BIJ DE GRAFIEKEN VOOR HET DIMENSIONEREN OP GOLFKLAPPEN

De ontwerpgrafieken zijn opgesteld aan de hand van berekeningen met het computer-model GOLFKLAP 7.0. In deze notitie zijn de achtergronden van het computermodel en de uitgangspunten bij de berekeningen samengevat. Voor nadere achtergrondinformatie over GOLFKLAP wordt verwezen naar rapportages over het model [Meijers, 1993], [Meijers, 1998] en [Gaarkeuken, 2000].

Achtergronden GOLFKLAP 7.0

Inleiding

In de periode 1991-1993 is een programma ontwikkeld waarmee een plaatbekleding kan worden gedimensioneerd op golfklappen. Vervolgens is het programma in de periode 1994-1998 diverse malen aangepast. Het computermodel gaat uit van hetzelfde principe als de golfklapformule zoals vermeld in de Leidraad asfalt [TAW, 1984]. Op een aantal punten is het model echter gewijzigd. Het betreft met name:

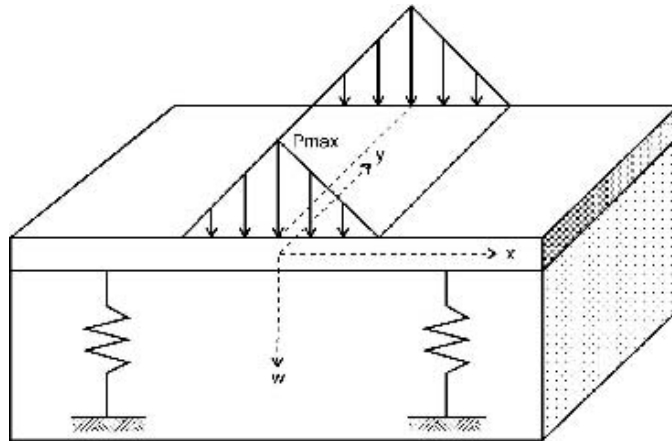
- Het schematiseren van een golf als een driehoeksbelasting in plaats van een puntlast
- Het rekenen met kansdichtheidsfuncties voor zowel de golfhoogte als de stootfactor in plaats van rekenen met één (significante) waarde.

Deze aanpassingen maken het model zo complex dat een analytische uitwerking niet mogelijk is. Daarom is een computermodel ontwikkeld. Met dit model zijn vervolgens grafieken opgesteld waarmee een benodigde laagdikte kan worden bepaald afhankelijk van de significante golfhoogte.

Daarnaast is sinds het verschijnen van de Leidraad asfalt meer inzicht verkregen in de grootte van bepaalde invoerparameters. Het betreft met name de stootfactoren en de asfalteigenschappen (elasticiteitsmodulus en vermoeiingsparameters).

Schematisatie mechanisch systeem

Uitgangspunt van dimensionering is dat golfklappen buiging in een plaat veroorzaken en dat de optredende spanning ten gevolge van het buigend moment de bezwijkspanning van de asfaltplaat niet mag overschrijden. De bekleding en ondergrond zijn geschematiseerd tot een elastisch ondersteunde ligger. De golfklap is geschematiseerd tot een driehoeksbelasting. Dit is weergegeven in figuur B6.1.



Figuur B6.1 Schematisatie van het systeem

De hierbij optredende maximale trekspanning aan de onderzijde van het asfalt bedraagt midden onder de belasting ($x = 0$):

$$\sigma = \frac{p_{\max}}{4 \beta^2 \beta z} [1 - e^{(-\beta z)} (\cos(\beta z) + \sin(\beta z))] \frac{6}{h^2} \quad (1)$$

met

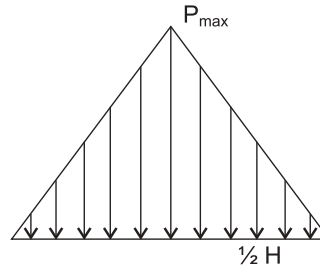
Hierin is:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3 c (1 - \nu^2)}{S h^3}} \quad (2)$$

- σ optredende trekspanning aan de onderzijde van de bekleding [MPa]
- p_{\max} maximale drukstoot [MPa]
- h laagdikte [m]
- z halve breedte driehoeksbelasting [=0,5H]
- c beddingsconstante van de ondergrond [MPa/m]
- S stijfheidsmodulus van het asfalt [MPa]
- ν constante van Poisson van het asfalt [-]

Golfbelasting

Golfklappen worden veroorzaakt doordat watermassa van overstortende golven met grote snelheid het talud treffen. Niet elke golf levert een golfklap en niet elke golfklap is even groot. Een golfklap is een drukstoot die over een zekere breedte werkt.



Figuur B6.2 Schematische belasting

De maximale drukstoot wordt als volgt gedefinieerd:

$$p_{max} = \rho_w g q H \quad (3)$$

hierin is:

- ρ_w dichtheid water [kg/m³]
- g versnelling van de zwaartekracht = 9,81 m/s²
- q stootfactor afhankelijk van de taludhelling [-]
- H golfhoogte [m]

De belastingbreedte is gesteld op H .

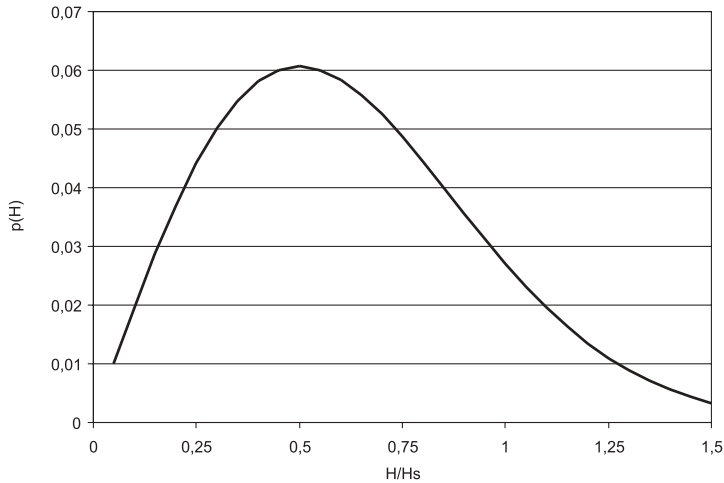
De maximale drukstoot wordt dus bepaald door de golfhoogte en de stootfactor. Beide parameters worden met kansdichtheidsfuncties beschreven. De golfhoogteverdeling wordt gekarakteriseerd door een Rayleigh-verdeling zoals beschreven met formule 4:

$$p(H) = 4 \frac{H}{H_s^2} e^{-2 \left[\frac{H}{H_s} \right]^2} \quad (4)$$

Hierin is:

- H De golfhoogte [m]
- $p(H)$ De kans op optreden van een golfhoogte H [-]
- H_s De significante golfhoogte [m]

In het model wordt een golfveld van 0,1 tot 1,5 H_s doorgerekend zoals weergegeven in figuur B6.3.



Figuur B6.3 Kansdichtheidsverdeling van golven in een golfveld

Uit vergelijkende berekeningen tussen een golfveld van 0,1 - 1,5 H_s en een golfveld van 0,1 - 3,5 H_s bleek het verschil in het berekeningsresultaat minder dan 1% te zijn. Grotere golven belasten tevens een groter oppervlak. Hierdoor zijn de buigspanningen onder in het asfalt bij extreem hoge golven niet extreem groot.

De golfhoogte wordt begrensd door het breker criterium. Dit betekent dat bij een gegeven waterdiepte golven hoger dan een bepaalde waarde zullen breken. In het model is het volgende breker criterium gehanteerd: $H_{\text{breek}} = 0,6 \cdot \text{waterdiepte}$. Hierin is H_{breek} de maximale golfhoogte bij de gegeven waterdiepte. In het programma worden golven groter dan H_{breek} gelijkgesteld aan H_{breek} . Dit is een conservatieve aanname omdat golven die breken voordat ze het talud treffen het grootste deel van hun energie verloren hebben en niet of nauwelijks golfklappen veroorzaken.

Het aantal golven dat werkelijk een golfklap veroorzaakt en de intensiteit van de golfklap hebben een zelfde kansdichtheidsfunctie. Indien beide kansdichtheidsfuncties worden samengevoegd kan deze volgens [Führböter, 1988] als volgt worden beschreven:

$$p(q) = \frac{1}{\sigma_q \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(q-q_{\text{gem}})^2}{2\sigma_q^2}\right]} \quad (5)$$

Hierin is:

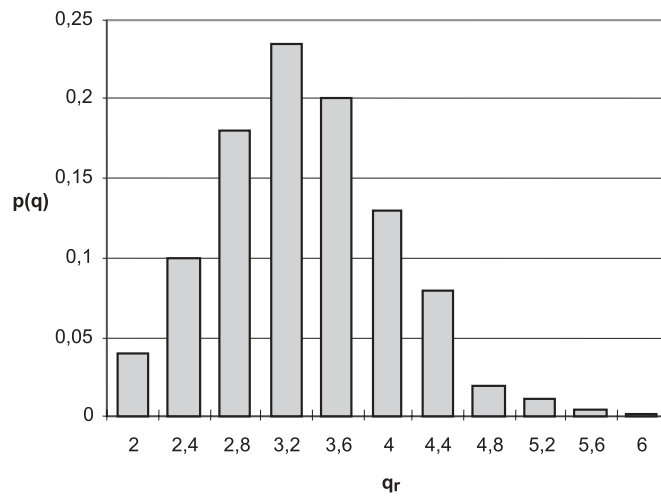
q de stootfactor [-]

$p(q)$ de kans op optreden van een stootfactor q [-]

σ_q parameter kansdichtheidsfunctie stootfactor [-]

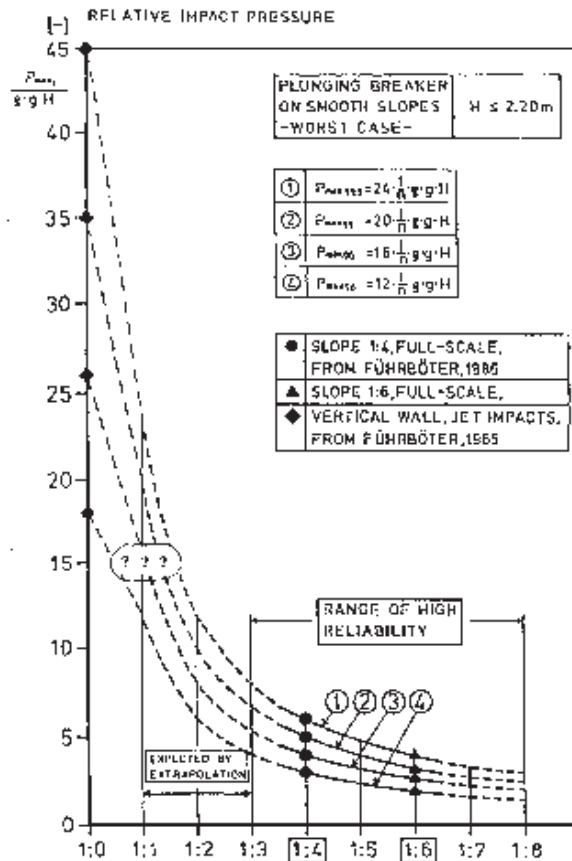
q_{gem} de gemiddelde stootfactor [-]

In figuur B6.4 is de kansdichtheidsfunctie van de stootfactor voor een talud met helling 1:4 weergegeven.



Figuur B6.4 Kansdichtheidsfunctie stootfactor voor een talud met helling 1:4

Figuur B6.4 is geldig voor een taludhelling 1:4. Over stootfactoren bij taluds steiler dan 1:4 zijn weinig gegevens bekend. In het model is de stootfactor bij andere taludhellingen op grond van figuur B6.5 [Führböter, 1988] recht evenredig aangenomen met de tangens van de taludhelling.



Figuur B6.5 Relatie tussen stootfactor en taludhelling [Führböter, 1988]

De stootfactor wordt in het model als volgt bepaald:

$$q_{\alpha} = \frac{\tan(\alpha)}{0,25} q_r \quad (6)$$

Hierin is:

q_{α} de stootfactor bij een talud met hellingshoek α [-]

$\tan(\alpha)$ de tangens van de taludhelling [-]

0,25 de tangens van een talud met helling 1:4 [-]

q_r de stootfactor bij een talud met helling 1:4 [-]

Voor steilere taluds wijkt deze benadering af van de Leidraad Asfalt [TAW, 1984] waar een maximum stootfactor bij een taludhelling 1:3 wordt gegeven die vervolgens bij steilere taluds weer afneemt. De nu gekozen benadering is naar

verwachting een veilige benadering. Onderzoek naar stootfactoren bij taluds steiler dan 1:4 is gewenst.

Vermoeiing

Asfalt is een vermoeiingsgevoelig materiaal, dat wil zeggen; de bezwijkspanning van asfalt is afhankelijk van het aantal keren dat de bekleding wordt belast. Het aantal lastherhalingen dat tot bezwijken leidt wordt bepaald met de volgende formule:

$$N_f = k_f \sigma^{-a_f} \quad (7)$$

Hierin is:

- N_f het aantal lastherhalingen met de grootte σ waarbij de asfaltbekleding bezwijkt [-]
 σ de trekspanning aan de onderzijde van de asfaltbekleding [MPa]
 k_f en a_f de vermoeiingsparameters van het asfalt [-]

De parameters k_f en a_f zijn materiaalafhankelijke constanten.

Bepaling laagdikte

De minimaal benodigde laagdikte is de laagdikte waarbij onder de opgelegde belasting juist geen bezwijken van de bekleding optreedt. Voor het bepalen van het belastingniveau waarop de bekleding bezwijkt wordt uitgegaan van de regel van Miner. Deze regel houdt in dat de bekleding bezwijkt als wordt voldaan aan de volgende voorwaarde:

$$\sum \frac{n_i}{N_{f,i}} \leq 1 \quad (8)$$

Hierin is:

- n_i het aantal lastherhalingen van de belasting i
 $N_{f,i}$ het aantal lastherhalingen van de bekleding i waarbij bezwijken optreedt

GOLFKLAP bepaalt bij een bepaalde laagdikte een Minersom. Is deze Minersom groter dan 1 dan wordt de berekening opnieuw uitgevoerd met een iets grotere laagdikte. Dit proces herhaalt zich totdat een Minersom wordt gevonden die kleiner is dan 1. De hierbij behorende laagdikte is de minimaal benodigde laagdikte.

Uitgangspunten bij de berekeningen

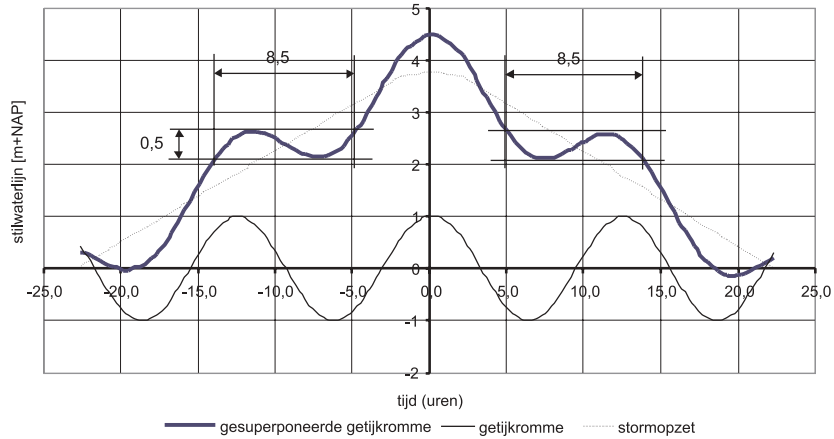
Voor het opstellen van de grafieken zijn bij het vaststellen van de invoerparameters de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Tijverschil en stormduur

Deze parameters zijn nodig om vast te stellen door hoeveel golfklappen de bekleding tijdens een maatgevende storm wordt belast. Voor het bepalen van deze parameters is het waterstandsverloop tijdens een ontwerpstorm geschematiseerd zoals aangegeven volgens Den Heijer [Den Heijer, 1996]. Voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust is een stormopzet op de getijkromme gesuperponeerd waardoor een indicatie wordt verkregen van het waterstandsverloop tijdens een ontwerpstorm. De getijkromme is hierbij geschematiseerd tot een sinusgolf. Er is onderscheid gemaakt tussen de Waddenzee (stormduur = 45 uur), de Noordzee en de Westerschelde (stormduur = 35 uur) en de Oosterschelde (andere stormopzet i.v.m. de Stormvloedkering in de Oosterschelde). De maatgevende situatie wordt bepaald door de combinatie van het waterstandsverschil en de tijdsduur waarin dit waterstandsverschil optreedt. Hierbij is een lange verblijftijd van de stilwaterlijn op een kleine strook ongunstig omdat dan veel golfklappen eenzelfde deel van het talud treffen. De volgende maatgevende situaties zijn gevonden:

- Waddenzee (Texel): een waterstandsverschil van 0,5 meter gedurende 17 uur. Dit wil zeggen dat de stilwaterlijn gedurende 17 uur op een verticaal gemeten taludstrook van 0,5 meter verblijft.
- Noordzee en Westerschelde (Den Helder): een waterstandsverschil van 0,5 meter gedurende 15,4 uur.
- Oosterschelde (Roompot binnen): een waterstandsverschil van 2,5 meter gedurende 35 uur.

In figuur B6.6 is een en ander voor de locatie Oudeschild te Texel weergegeven.



Figuur B6.6 Waterstandsverloop t.b.v. het vaststellen van de stormduur en het waterstandsverschil

Bij de berekeningen is een waterstandsverschil van 0,5 meter en een stormduur van 17 uur aangehouden.

Golfperiode

Voor het bepalen van het aantal lastherhalingen dat gedurende een storm optreedt is naast de stormduur de gemiddelde golfperiode nodig. De gemiddelde golfperiode is bepaald met de volgende relatie:

$$T_{gem} = 3,5 \sqrt{H_s} \quad (9)$$

Asfalteigenschappen

* Elasticiteitsmoduli:

De volgende elasticiteitsmoduli zijn gehanteerd voor de verschillende asfaltsoorten:

Waterbouwasfaltbeton: $E = 10.000 \text{ MPa}$

Open steenasfalt: $E = 1.000 \text{ MPa}$

Vol en zat gepenetreerde breuksteen: $E = 7.000 \text{ MPa}$

Een hogere elasticiteitsmodulus geeft een grotere benodigde laagdikte.

De genoemde waarden zijn representatieve bovengrenzen voor asfaltbekledingen met een goede asfaltkwaliteit.

* Dwarscontractiecoëfficiënt

Bij alle berekeningen is een dwarscontractiecoëfficiënt van 0,35 gebruikt.

* Vermoeiingsparameters

Op basis van driepunts-buigproeven op waterbouwasfaltbeton en schuifproeven op open steenasfalt proefstukken uit bekledingen zijn de vermoeiingskarakteristieken vastgesteld [Montauban, 1998], [Versluis, 1998-b] en [Versluis, 2000]. Voor waterbouwasfaltbeton betreft het proefstukken uit de bekledingen van de havendammen van Noordland en Bouwput Schaar. Voor het opstellen van de vermoeiingskarakteristieken van open steenasfalt is gebruik gemaakt van proefstukken uit bekledingen op Tholen, de Havendammen van Noordland en Flevoland. De waarden voor vol en zat gepentreerde breuksteen zijn theoretisch afgeleid uit die van waterbouwasfaltbeton.

De volgende vermoeiingskarakteristieken zijn gehanteerd:

Waterbouwasfaltbeton: $\log(k) = 4,9$ en $a = -4,2$

Open steenasfalt: $\log(k) = 2,8$ en $a = -2,5$

Vol en zat gepentreerde breuksteen: $\log(k) = 5,15$ en $a = -4,2$

Ondergrondeigenschappen

De eigenschappen van de ondergrond zijn gekarakteriseerd door de beddingsconstante. De volgende beddingsconstanten zijn aangehouden:

Zand: $c = 100$ MPa/m

Klei: $c = 30$ MPa/m

De beddingsconstante van zand is geldig voor een middelmatig tot goed verdicht zand met een relatieve dichtheid van 95% van de maximum proctordichtheid. De gegevens zijn afkomstig uit [Bowles, 1977] en [Timoshenko, 1940]. Gezien de invloed van de beddingsconstante op het berekeningsresultaat zijn nadere gegevens over de karakterisering van de ondergrond gewenst. In de tabel B6.1 zijn richtwaarden gegeven voor de beddingsconstante van verschillende grondsoorten.

Tabel B6.1 Richtwaarden voor de beddingsconstante van verschillende grondsoorten
[CROW, 1999-b]

Soort ondergrond	Conusweerstand q_c [MN/m ²]	Beddingsconstante c [MPa/m]	Elasticiteitsmodulus E_{dyn} [MPa]
Veen	0,1-0,3	10-20	10-35
Klei	0,2-2,5	20-40	15-60
Leem	1,0-3,0	30-60	50-100
Zand	3,0-25,0	40-100	70-200
Grind-zand	10,0-30,0	80-130	120-300

Inleiding

Een van de methoden om de stabiliteit van breuksteen te verbeteren is het toepassen van een patroonpenetratie met gietasfalt. Door het aanbrengen van een patroon van gietasfalt wordt, in tegenstelling tot een vol en zat penetratie, een open bekleding gecreëerd waaronder geen wateroverdrukken kunnen ontstaan. In het verleden (in de jaren '70) is deze methode een enkele keer toegepast in Nederland. De bekleding is vooral toegepast op zwaar aangevallen dammen met een zeer doorlatende kern van breuksteen. Ook in het buitenland is ervaring opgedaan met patroonpenetraties.

In Zeeland is ten gevolge van het renoveren van de dijkbekledingen in de Ooster- en Westerschelde, behoefte ontstaan om de kennis op het gebied van patroonpenetraties vast te leggen zodat hiervan gebruik kan worden gemaakt bij de renovaties. In deze bijlage wordt het ontwerp van een breuksteenbekleding die in patroon wordt gepenetreerd behandeld. Hier worden de verschillende penetratiemethoden behandeld en wordt ingegaan op dimensionering van de breuksteen voor wat betreft laagdikte en steendiameter.

Penetratiemethoden

Het uitgangspunt bij het in patroon penetreren van breuksteenbekledingen is dat er door het ingieten grotere elementen ontstaan waardoor de stabiliteit van de constructie wordt vergroot. Het patroon dient zodanig te zijn dat elke steen vast komt te liggen en dat de bekleding tevens open blijft. De vorm van het patroon en hoeveelheid gietasfalt die wordt toegepast zijn mede afhankelijk van de grootte van de breuksteensortering. Er zijn grofweg twee penetratiemethoden mogelijk, te weten:

- patroonpenetratie
- oppervlaktepenetratie

Bij patroonpenetratie wordt, afhankelijk van het patroon, onderscheid gemaakt tussen strokenpenetratie en stippenpenetratie.

Strokenpenetratie

Bij een strokenpenetratie wordt het gietasfalt in horizontale of verticale banen op de breuksteen aangebracht of in een combinatie van beide. Aanbrengen van verticale banen heeft de voorkeur boven horizontale banen omdat het gietasfalt dan minder breed uitvloeit. Een nadeel van zowel verticale als horizontale banen toepassen is dat er ter plaatse van de overlappen te veel gietasfalt wordt toegepast.

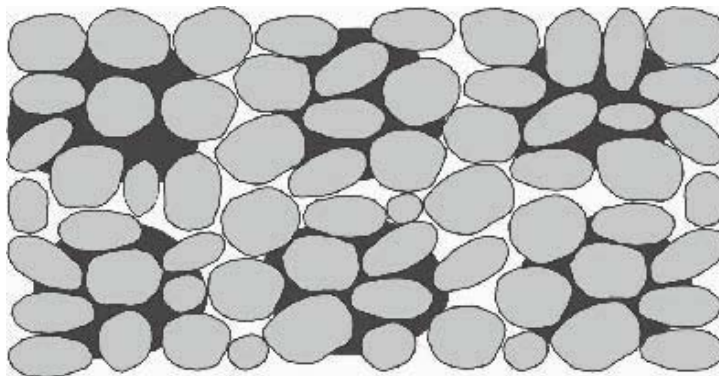
Een voorbeeld van een strokenpenetratie is gegeven in figuur B7.1.



Figuur B7.1 *Strokenpenetratie (Foto: Bitumarin)*

Stippenpenetratie

Bij een stippenpenetratie wordt de breuksteenbekleding in een vast patroon gepenetreerd met stippen of plots. Een schematisch voorbeeld hiervan is gegeven in figuur B7.2.



Figuur B7.2 *Voorbeeld van een stippenpenetratie (in bovenaanzicht)*

Welke van de twee penetratiemethoden moet worden toegepast is voornamelijk afhankelijk van de grootte van de toegepaste breuksteensortering. Als een kleine

steen (10-60 kg of kleiner) wordt toegepast resulteert een stippenpenetratie in kleine plots. Dit is in de uitvoering moeilijk te realiseren. Bij een grotere steen (groter dan 10-60 kg) kan door het toepassen van een stippenpenetratie in plaats van een strokenpenetratie de toe te passen hoeveelheid gietasfalt worden beperkt waardoor de kosten lager zijn.

Oppervlaktepenetratie

Oppervlaktepenetratie, ook wel aangeduid met de Duitse term Verklammerung, houdt in dat over het hele oppervlak van de breuksteenbekleding een geringe hoeveelheid gietasfalt wordt aangebracht. Het toegepaste gietasfalt is doorgaans hoog viskeus zodat alleen het bovenste deel van de bekleding wordt gepenetreerd. Hierdoor ontstaat een niet geheel gesloten bekleding. Het is van belang dat de bekleding voldoende open blijft tijdens het penetreren. Als de doorlatendheid van de bovenste laag te klein wordt, kan deze door wateroverdrukken ten gevolge van golfbewegingen of waterstandsverschillen bezwijken. De ervaring leert dat oppervlaktepenetratie meestal weinig effect heeft, of zelfs een tegenovergesteld effect in verband met de optredende wateroverdrukken onder de bekleding. Daarom wordt deze penetratiemethode afgeraden voor praktische toepassingen.

Dimensioneren van de breuksteensortering

Voor het dimensioneren van breuksteenbekledingen op stabiliteit onder golfaanval zijn verschillende formules beschikbaar. In de onderstaande paragrafen wordt een overzicht gegeven van deze formules. Daarnaast 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 breuksteen bekledingen is de formule van Hudson. De hier gegeven formule is afkomstig uit de Shore Protection Manual [SPM, 1984]. 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]
- ρ_s dichtheid stenen [kg/m³]
- ρ_w dichtheid water [kg/m³]
- g versnelling van de zwaartekracht [m/s²]

- H golfhoogte [m]
 Δ relatieve dichtheid van de stenen = $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ [-]
 α 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 [SPM, 1984] 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 [SPM, 1984] 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 [TAW, 1984] met een factor 1 tot 1,5 worden vermenigvuldigd.
- *Patroonpenetratie.* Volgens het rapport Use of asphalt in breakwater construction [d'Angremond, 1970] 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 [TAW, 1984] 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 grotere 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 [d'Angremond, 1970].

Gezien de problemen met omschaling van asfalt, en dus twijfels over de uitslag van het modelonderzoek wordt in de Leidraad Asfalt [TAW, 1984] 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 [CUR, 1995-a] kan de Hudson formule worden herschreven tot:

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

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 schaalearselen 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

Voor het bepalen van de stabiliteit van zowel losse breuksteen als enkele andere bekledingstypen (waaronder gedeeltelijk geopeneteerde breuksteenbekledingen) geeft Coastal Protection [Pilarczyk, 1990] de volgende formule:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = \Psi_u \Phi_{sw} \frac{\cos \alpha}{\xi_m^b}$$

Hierin is:

- H_s significante golfhoogte [m]
- Δ relatieve dichtheid van de stenen = $(\rho_s - \rho_w)/\rho_w$ [-]
- ρ_s dichtheid stenen [kg/m³]
- ρ_w dichtheid water [kg/m³]
- D karakteristieke maat of dikte van het bekledingselement [m]
- α hellingshoek van het talud [°]

ξ_m	brekerparameter behorend bij de gemiddelde golfperiode [-]
ψ_u	(empirische) upgrading factor voor de stabiliteit, afhankelijk van het bekledingstype [-]
Φ_{sw}	stabiliteitsfactor voor breuksteen, afhankelijk van de toelaatbare schade [-]
b	empirische factor, afhankelijk van de interactie tussen golven en de bekleding [-]

Voor het dimensioneren van een gedeeltelijk gepenetreerde breuksteenbekleding kunnen de volgende richtlijnen worden aangehouden:

De exponent b is gerelateerd aan het interactieproces tussen de golven en het type bekleding en is afhankelijk van onder meer de ruwheid en openheid van de bekleding. Voor patroonpenetratie geldt $b = 0,5$ en voor oppervlaktepenetratie geldt $b = 2/3$.

De formule is geldig tot $\xi_m = 3$. Als de brekerparameter groter is dan 3 kunnen de afmetingen van de bekledingselementen worden bepaald door $\xi_m = 3$ in de berekening aan te houden. De parameter D in de formule is in dit geval de D_{n50} van de toegepaste breuksteensortering.

Voor de parameter ψ_u kunnen de volgende waarden worden gehanteerd:

- *patroonpenetratie*: $\psi_u = 1,5$ bij een vulling van de holle ruimte van circa 60%. Bij een smalle (homogene) sortering van de breuksteen (geen scherven) en goed toezicht bij de uitvoering (goed verdeelde plots) kan $\psi_u = 2,0$ worden toegepast.

Als de bekleding gelegen is op een relatief ondoorlatende ondergrond van zand of klei zijn gebruikelijke waarden voor de stabiliteitsparameter Φ_{sw} :

- criterium: stabiele elementen, geen verplaatsingen: $\Phi_{sw} = 2,0$
- criterium: begin van bewegen van de elementen: $\Phi_{sw} = 2,25$
- criterium: maximaal toelaatbare schade: $\Phi_{sw} = 3,0$

De gegeven formule van Pilarczyk is opgesteld op basis van vele proeven met los gestorte breuksteen. Voor dit type bekleding is de stabiliteit in detail bepaald, resulterend in een formule met vele parameters. Deze formule is nu toepasbaar gemaakt voor gepenetreerde breuksteen door toevoeging van ψ_u . Er is echter vrijwel geen onderzoek gedaan om de juistheid ervan te verifiëren.

BIJLAGE 8 STATISTISCHE VERWERKING VAN DE ONDERZOEKSRISULTATEN

Bij het ontwerpen en toetsen van asfaltbekledingen zijn kenmerken van de bekleding benodigd zoals de laagdikte en de asfalteigenschappen. Om veilige resultaten te verkrijgen wordt gebruik gemaakt van karakteristieke waarden van de parameters. In deze bijlage wordt aangegeven hoe de betreffende parameters worden berekend.

Als algemene formulering voor de karakteristieke waarde van een parameter geldt:

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

Hierin is:

X_{kar} = karakteristieke waarde

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

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

t factor, afhankelijk van het aantal waarnemingen zoals aangegeven in tabel B8.1

n aantal waarnemingen

Tabel B8.1 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	2,2900	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

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.

Laagdikte

De aanwezige laagdikte die bij de toetsingen wordt gebruikt is een laagdikte zodanig dat de kans dat een kleinere laagdikte wordt aangetroffen gelijk is aan 5% ($h_{5\%}$). Deze wordt als volgt bepaald:

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

Hierin is:

- h_{gem} gemiddelde laagdikte
 t factor, afhankelijk van het aantal waarnemingen zoals aangegeven in tabel B8.1
 s standaardafwijking
 n aantal waarnemingen

Elasticiteitsmodulus

De elasticiteitsmodulus van het asfalt die bij de toetsingen wordt gebruikt is zodanig dat de kans dat er een kleinere elasticiteitsmodulus wordt aangetroffen gelijk is aan 95% ($E_{95\%}$). Deze wordt als volgt bepaald:

$$E_{95\%} = E_{gem} + t s \sqrt{\frac{1}{n} + 1}$$

Hierin is:

- E_{gem} gemiddelde elasticiteitsmodulus
 t factor, afhankelijk van het aantal waarnemingen zoals aangegeven in tabel B8.1
 s standaardafwijking
 n aantal waarnemingen

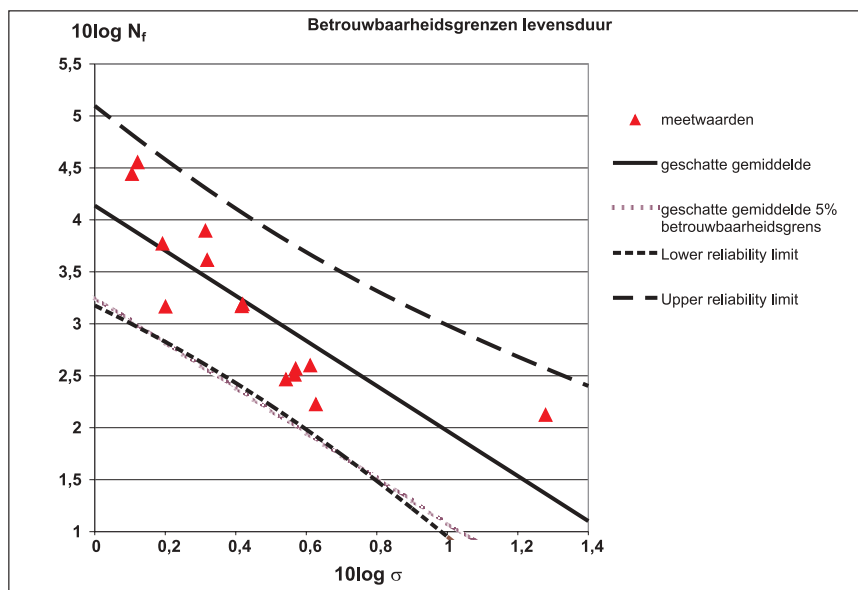
Bovenstaande methode mag strict genomen alleen worden gebruikt als de waarnemingen "normaal" verdeeld zijn. Dit is bij asfalteigenschappen veelal niet het geval. Een algemeen toepasbare methode is het gebruik maken van de cumulatieve frequentieverdeling volgens NEN 1047 "Receptbladen voor de statistische verwerking van waarnemingen". Uit deze verdeling is eenvoudig af te lezen bij welk niveau een bepaald percentage wordt over- of onderschreden.

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. Het vermoeiingsgedrag van asfalt wordt gekarakteriseerd door de vermoeiingsparameters $\log(k_f)$ en a_f . Hierbij is $\log(k_f)$ het snijpunt met de y-as (de intercept) en a_f de richtingscoëfficiënt van een lineaire vergelijking als beide assen logaritmisch worden gekozen. Deze worden bepaald uit de resultaten van het mechanisch onderzoek. Bij het mechanisch onderzoek worden proefstukken bij verschillende spanningsniveaus belast. De vermoeiingsparameters worden door lineaire regressie bepaald.

De karakteristieke waarden hiervan kunnen worden bepaald door met een statistisch rekenprogramma (als GENSTAT) de betrouwbaarheidsgrenzen uit te rekenen.

Omdat deze grenzen geen rechte lijnen vormen is door NPC in Utrecht een Excel-applicatie gemaakt waarmee de onderste betrouwbaarheidscurve wordt benaderd door een rechte lijn met constante $\log(k_f)$ en a_f . In figuur B8.1 is een voorbeeld gegeven van de wijze waarop de vermoeiingsparameters op basis van onderzoeksresultaten worden bepaald.



Figuur B8.1 Bepalen van karakteristieke waarden van de vermoeiingsparameters

"De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) is een onafhankelijke adviescommissie, die gevraagd en ongevraagd de minister van Verkeer en Waterstaat adviseert over alle technisch-wetenschappelijke aspecten van constructie en onderhoud van waterkeringen, met het oog op de veiligheidsfunctie van door deze waterkeringen beschermde gebieden. De TAW richt zich zowel op primaire- als secundaire waterkeringen en boezemkaden.

Ook andere overheden kunnen de minister verzoeken de TAW te laten adviseren over complexe en specifieke waterkeringsproblemen.

Hiermee levert de TAW een bijdrage aan het realiseren van maatschappelijk vastgestelde veiligheidsnormen. In de leidraden, technische rapporten en adviezen, die door de TAW worden aangereikt, wordt nadrukkelijk rekening gehouden met andere functies van de waterkering, zoals milieu, recreatie, verkeer, landschap en cultuurhistorie.

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van Rijkswaterstaat (RWS) voert de werkzaamheden van TAW uit. Hierbij treedt zij op als opdrachtgever, bereidt zij de TAW-producten voor en levert zij de TAW-coördinator. Ook is de DWW, via de helpdesk Waterkeren, beschikbaar voor alle betrokkenen bij de waterschapszorg: waterschappen, provincies en rijk.

Met vragen omtrent het werk van de TAW kan men zich wenden tot de DWW.
Postbus 5044
2600 GA Delft

telefoon 015 - 25 18 436
015 - 25 18 450 (helpdesk Waterkeren)
fax 015 - 25 18 568
internet <http://www.tawinfo.nl>
e-mail tawsecr@dww.rws.minvenw.nl

DWW-2002-121

ISBN 90-369-5519-X