

Wegbouwkundige
werkdagen
1998

 Rijkswaterstaat			
Dienst Weg- en Waterbouwkunde Delft			
archief Asfalt in de Waterbouw			
W	2	MONT	98

1

VERMOEIING EN VEROUDERING VAN WATERBOUWASFALTBETON

Ing. C.C. Montauban
Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Delft

en

Ing. A. Versluis
Netherlands Pavement Consultants BV
Utrecht

Samenvatting

Het blijkt dat de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton in de tijd veranderen. Ook de spreiding van deze eigenschappen van oude asfaltbekledingen is aanzienlijk. Bij ontwerp en toetsing van waterkeringen met asfaltbekledingen mag dus niet uit worden gegaan van initiële vermoeiingseigenschappen. Er zijn ontwerp- en toetsingmethodes in ontwikkeling die uit gaan van statistische grenswaarden van actuele vermoeiingseigenschappen. De stand van het onderzoek wordt besproken.

Summary

The fatigue properties from hydraulic-dense-asphalt revetments change by ageing. The spread of properties from old revetments is large. So, using initial properties as input in a design model is not correct. A design method has been developed in which statistical limits from fatigue parameters can be used. The experience of the method is given in the paper.

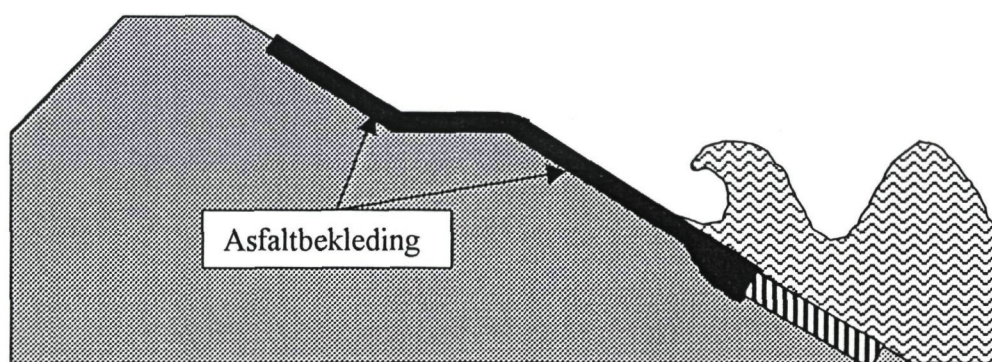
Inhoud:

- 1. Inleiding**
- 2. Ontwerp en toetsing**
- 3. Vermoeiing**
- 4. Resultaten**
- 5. Veroudering**
- 6. Spreiding**
- 7. Onderzoek**
- 8 Conclusies**
- 9. Tot besluit**
- 10. Stelling**

1. Inleiding

Waterkeringen langs de kust en andere grote wateren in Nederland zijn veelal voorzien van harde bekledingen, waaronder ook asfaltbekledingen. Een schematisch voorbeeld van een asfaltbekleding op een dijk wordt gegeven in figuur 1. De bekledingen beschermen het dijklichaam tegen de eroderende werking van zware golfaanval.

De hoofdfunctie van de waterkeringen is het beschermen van Nederland tegen overstroming (Inundatie). Deze functie moet onder normale omstandigheden worden vervuld maar in het bijzonder bij extreme omstandigheden: bij de "superstorm". Een superstorm langs de zee kust is gedefinieerd als de geëxtrapoleerde hydraulische belasting, die gemiddeld een kans van voorkomen heeft van 1 op de 4.000 (Zeeland, Friesland en Groningen) of 10.000 jaar (Noord en Zuid-Holland).



Figuur 1: Voorbeeld van een asfaltbekleding van een zeedijk.

Van waterkeringen wordt verwacht dat zij een levensduur hebben van ongeveer 100 jaar. De gebruiksduur van een bekleding wordt momenteel ingeschat tussen 50 en 100 jaar. Dit betekent dat een waterkering c.q. bekleding slechts een kleine kans heeft de extreme belasting te ondergaan.

Het is van belang te weten hoe de vermoeiingseigenschappen van waterbouwasfaltbeton in de tijd wijzigen. Als veranderingen in eigenschappen worden genegeerd kunnen onjuiste uitgangspunten bij het ontwerp worden gebruikt. Verder moet in een inundatie risico benadering duidelijk zijn wat de spreiding in eigenschappen is. Om risico's te kunnen benoemen moet ook duidelijk zijn welke veiligheid er in de gehanteerde methodes liggen opgesloten. In dit artikel wordt de stand van het onderzoek op dit gebied behandeld.

2. Ontwerp en toetsing

Bij het ontwerp van een asfaltbekleding wordt bepaald of deze bestand is tegen het aantal golfklappen in een superstormperiode. Het criterium daarbij is vermoeiing van de asfaltlaag tot scheurinitiatie. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit, dat asfalt in de tijd onder invloed van klimatologische omstandigheden verandert.

Bij het toetsen van waterkeringen, voorgeschreven in het kader van de Wet op de Waterkering, wordt nagegaan of de huidige kwaliteit van de bekleding nog voldoet. Hierbij gelden vergelijkbare randvoorwaarden als bij het ontwerp.

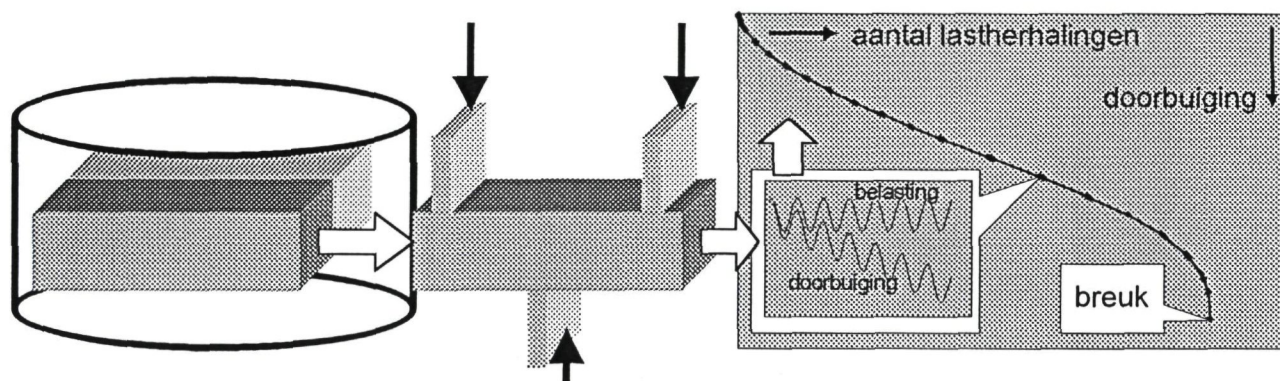
De weerstand tegen golfbelasting van een asfaltbekleding wordt bepaald met het rekenmodel GOLFKLAP. In dit door Grondmechanica Delft ontwikkelde model worden hydraulische randvoorwaarden (golfstatistiek), ondergrondgegevens en asfaltparameters ingevoerd. Uit het model volgt of de bekleding bestand is tegen de golfbelasting van een superstorm.

De in dit model benodigde asfaltparameters zijn: laagdikte, stijfheidsmodulus, Poissonmodulus en weerstand tegen vermoeiing (σ -N-relatie).

3. Vermoeiing

Voor het bepalen van de vermoeiingseigenschappen van asfaltbetonbekledingen is een driepuntsbuigproef ontwikkeld (figuur 2). Relatief korte proefstukken worden gezaagd uit ad random geboorde kernen (250 mm), waardoor een representatieve steekproef van een bekleding kan worden onderzocht.

In deze methode wordt een balk van $220 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ op buiging belast met een krachtgestuurde, sinusvormige sprongbelasting. De vermoeiingslevensduur is gedefinieerd als het aantal lastherhalingen tot breuk, waarbij aan de vorm en grootte van de buiging limieten zijn gesteld.



Figuur 2: Driepuntsbuigproef

Bij deze eenvoudige en snelle proef is het kruipaandeel groot. De totale doorbuiging op 90 % van de levensduur in een proef bij een temperatuur van 5°C en een frequentie van 1 Hz is circa 9 mm. De verplaatsingsamplitude is op dat moment circa 0.2 mm.

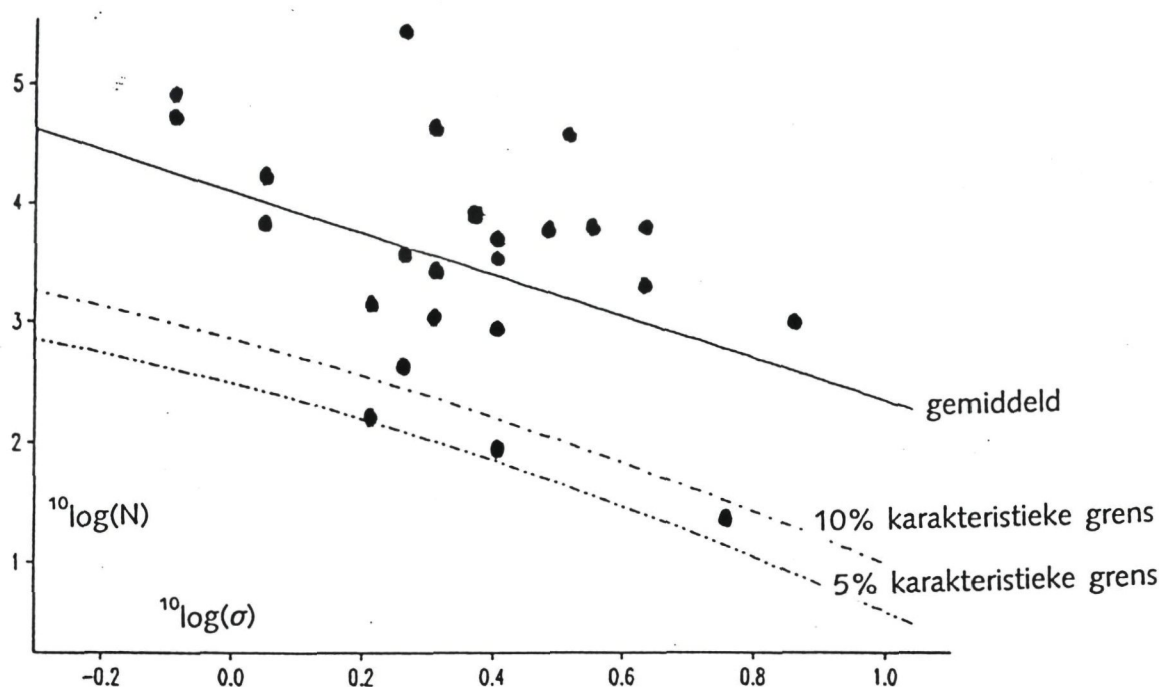
Ten opzichte van de praktijkbelasting geeft de proef veilige waarden; er wordt geen rekening gehouden met healing en de sprongbelasting leidt tot versneld bezwijken. Daardoor is tot voor kort gerekend met gemiddelde vermoeiingsdata bij berekeningen met GOLFKLAP.

4. Resultaten

Tot nu toe zijn voornamelijk vermoeiingsresultaten bepaald van bestaande bekledingen. Nieuwbouw komt nog maar weinig voor, het toetsen van bestaande bekledingen krijgt echter steeds meer aandacht.

De vermoeiingsresultaten zijn bij verschillende testcondities (temperatuur en frequentie) bepaald en met behulp van een regressieanalyse vertaald naar 5 °C en 1 Hz.

Het regressiemodel levert het verband tussen het aantal lastherhalingen tot vermoeiing (N) en de opgelegde spanning (σ) (figuur 3).



Figuur 3: Voorbeeld resultaat vermoeiingsonderzoek

De N- σ relatie wordt geschreven als: $\text{Log}(N) = \text{Log}(k) + a * \text{Log}(\sigma)$

De regressieconstanten a en $\text{log}(k)$ zijn dus bepalend voor het vermoeiingsgedrag van het asfalt.

Voor een aantal locaties zijn in tabel 1 de regressieconstanten verzameld. Bij deze resultaten zijn twee effecten van belang. Ten eerste is de spreiding in resultaten (standaard afwijking: s) bepalend voor de mate van betrouwbaarheid. Daarnaast speelt de leeftijd van de locatie een grote rol in het kader van veroudering van het asfalt. Daarom zijn deze cijfers ook in de tabel opgenomen.

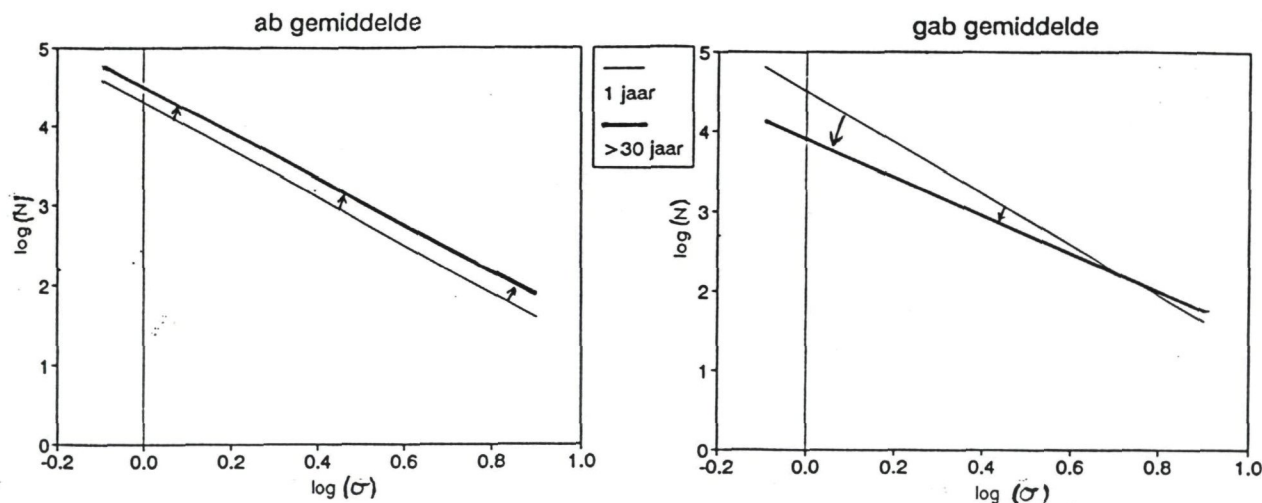
Locatie	Leeftijd bij beproeven [jaar]	gemiddelde waarde			5% karakteristieke ondergrens bij σ lager dan $\sigma_{\text{gemiddeld}}$	
		log(k)	-1*a	s	log(k)	-1*a
1. Deltagoot (ab)	<1	4.3	3.3	0.29	3.7	3.1
2. Parameterond.II (t, ab)	<1	4.3	3.0	0.08	4.1	2.9
3. Parameterond.II (o, gab)	<1	4.5	3.2	0.06	4.3	3.2
4. Noordland (t, ab)	6	5.4	4.3	0.28	4.5	3.6
5. Noordland (o, ab)	6	5.2	4.1	0.25	4.6	3.8
6. Bouwput Schaar (bu, ab)	17	5.5	4.1	0.36	4.7	3.8
7. Bouwput Schaar (bi, ab)	17	5.5	4.3	0.23	4.9	3.9
8. Vlissingen (t, ab)	>30	4.5	2.9	0.70	3.0	2.2
9. Vlissingen (o, gab)	>30	3.9	2.4	0.93	1.9	1.3
10. Veerse dam (bu, t, ab)	>30	4.1	1.7	0.88	2.4	1.3
11. Veerse dam (bu, o, gab)	>30	4.2	5.4	0.73	2.8	4.6
12. Veerse dam (bi, gab)	>30	5.6	4.0	0.63	4.1	3.3
13. Dijk bij Ouwkerk (ab)	>30	4.7	2.2	0.66	3.3	1.7
Algemeen: t=toplaag; o=onderlaag; bi=binnentalud; bu=buitentalud; ab=asfaltbeton; gab=grindasfaltbeton. Bij de omstandigheden 5°C; 1 Hz. $\text{Log}(N) = \text{Log}(k) + a * \text{Log}(\sigma)$ (N is aantal lastherhalingen tot breuk; σ is maximale opgelegde spanning)						

Tabel 1: Resultaten vermoeiingsonderzoek.

5. Veroudering

De regressieconstante log(k) varieert tussen 4 en 5.5 en vertoont geen relatie met de leeftijd van de bekleding. De hellingsconstante a daarentegen vertoont een neiging om met de leeftijd af te nemen.

Uit de geschatte standaardafwijking uit de regressieanalyses (s) blijkt een groot verschil in spreiding tussen oude en minder oude locaties. Dit heeft vooral te maken met het feit dat tot circa 1961 minder aandacht aan de kwaliteit werd besteed bij de uitvoering van werken. Dit heeft geleid tot minder goed verdichte bekledingen, die in de loop der tijd sneller in kwaliteit veranderen. Deze verandering in kwaliteit is niet altijd eenduidig. Uit een vergelijking tussen de bekledingslagen van Vlissingen en het op laboratoriumschaal geïmiteerde oorspronkelijke asfalt (Parameteronderzoek) blijken tegengestelde effecten, zie figuur 4.



Figuur 4: Effecten van veroudering.

De vermoeiingsresultaten van de onderlaag (gab) zijn achteruitgegaan door veroudering en stripping als gevolg van hoge holle ruimte percentages. De toplaag (ab) daarentegen opteert beter dan het oorspronkelijke asfalt. De mogelijke verklaring hiervoor is dat het asfalt van deze laag wel is verouderd (verhard) maar door de lage holle ruimte nauwelijks is gestript. Als er alleen verharding optreedt dan geeft dat in een krachtgestuurde vermoeiingsproef betere resultaten.

6. Spreiding

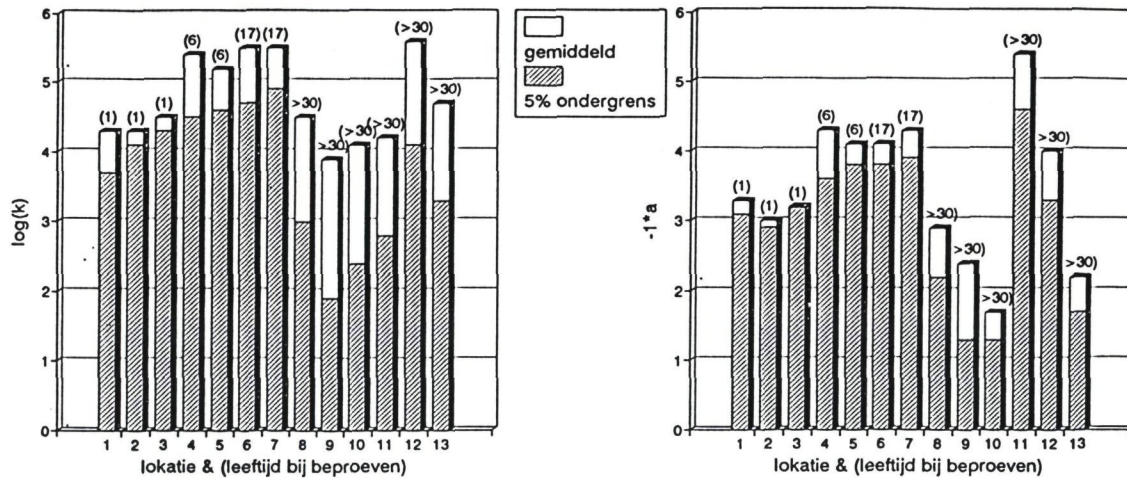
Bovengenoemde spreiding in resultaten, die bij oude werken fors kan zijn, heeft geleid tot een heroverweging in het gebruik van de data voor het Golfklapmodel.

In de waterbouw wordt meer en meer overgegaan tot het rekenen met parameters waaraan een zekere betrouwbaarheid wordt toegekend. Dit is nodig om in de nabije toekomst over te kunnen stappen naar een probabilistische toetsing van de veiligheid van waterkeringen, de zogenaamde Inundatierisicobenadering.

In plaats van met gemiddelde parameters wordt steeds vaker gerekend met zogenaamde "karakteristieke" waarden. Dit zijn statistische grenswaarden, die met een bepaalde waarschijnlijkheid niet worden overschreden.

In het geval van vermoeiingslijnen wordt met het statistisch programma GENSTAT berekend welke lijn de grens markeert, waaronder een kans van (bijvoorbeeld) 5% aanwezig is van het voorkomen van vermoeiingsdata. Dit betekent dat de kwaliteit van de bekleding met een kans van 95 % boven dit niveau ligt.

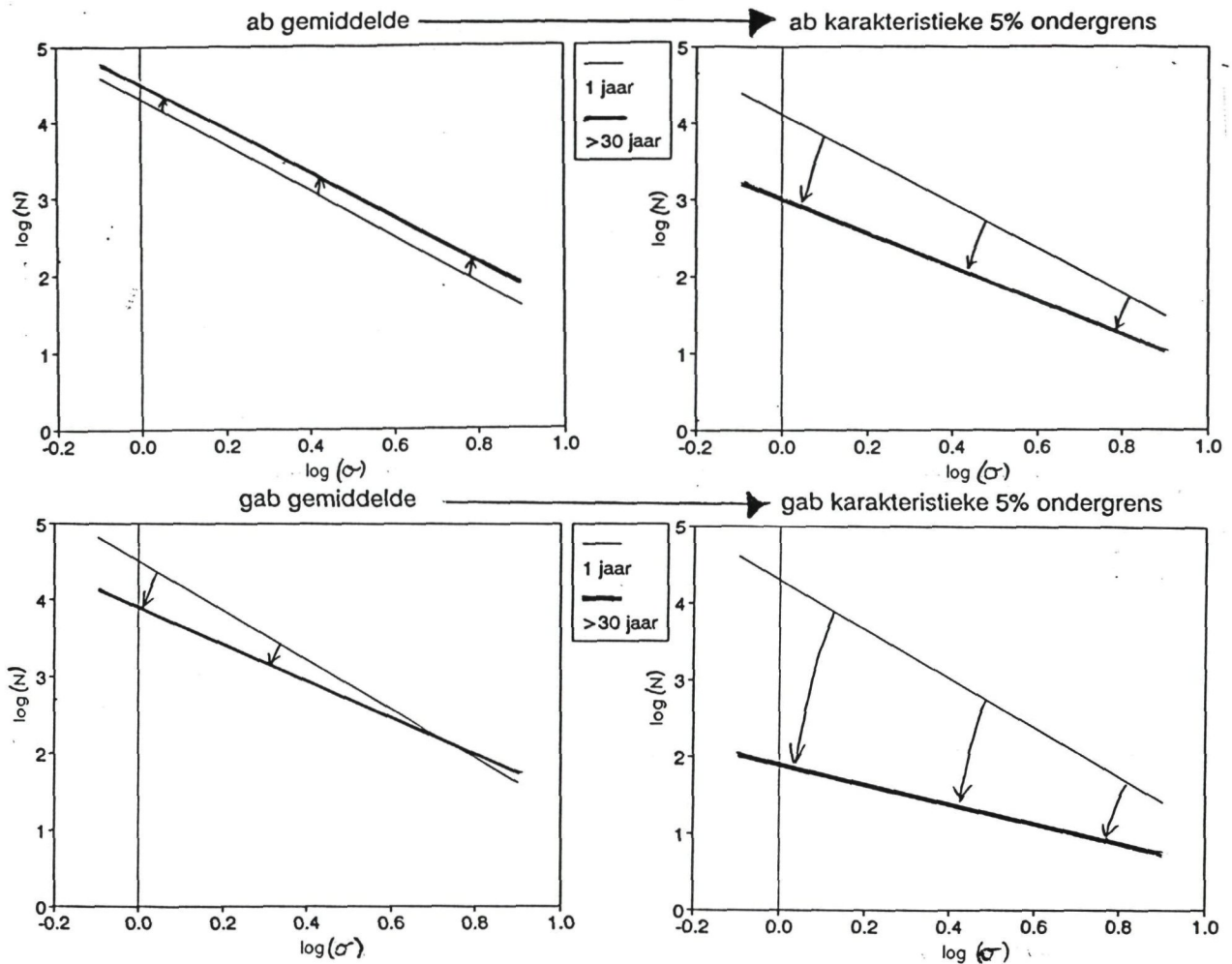
Een voorbeeld van de spreiding bij een oude bekleding is gegeven in figuur 3 (op pagina 5). De grote spreiding ($s = 0.88$) geeft aanzienlijk lagere niveaus voor de 5% respectievelijk 10% karakteristieke lijnen. In figuur 5 is aangegeven hoe de regressieconstanten a en $\log(k)$ veranderen als wordt overgestapt van gemiddelde naar karakteristieke waarden.



Figuur 5: Karakteristiek gemaakte vermoeiings parameters (cijfers uit tabel 1).

De gevolgen van deze karakteristieke waarden voor de vermoeiingslijnen zijn uitgebeeld in figuur 6. Hierin is van de oude bekleding in Vlissingen en het geïmiteerde oorspronkelijke materiaal (Parameteronderzoek) weergegeven wat het verschil in niveau is tussen gemiddelde en karakteristieke waarden. Hieruit blijkt hoe groot de invloed is van de grote spreiding in resultaten van de oude bekleding. Hoewel de toplaag (ab) gemiddeld iets beter is dan het vergelijkbare oorspronkelijke asfalt, geeft de grotere spreiding in het oude materiaal een veel lagere 5%-karakteristieke lijn.

(Bedacht moet worden dat de normale spreiding in een bekleding in het Parameteronderzoek ontbreekt ($s = 0.06$ en 0.08), omdat dit laboratorium-gemengde en verdichte platen zijn. Dit wil overigens ook zeggen dat de spreiding in de andere onderzoeken voor het overgrote deel voortkomt uit het materiaal en niet uit de proefmethode)



Figuur 6: Resultaten vermoeiingsonderzoek asfaltbeton (ab) en grindasfaltbeton (gab)

Bij toetsing op veiligheid blijkt de bekleding in Vlissingen bij gebruik van gemiddelde waarden te worden goedgekeurd; de grote spreiding bij deze bekleding leidt echter tot afkeuren als karakteristieke waarden worden gebruikt.

7. Onderzoek

Als voortaan met karakteristieke (dus veilige) waarden wordt gerekend, dan moet ook bekend zijn welke veiligheid in de vermoeiingsproef ligt opgesloten (zie 3). Anders wordt veiligheid op veiligheid gestapeld en worden bekledingen te dik gedimensioneerd of bij toetsing ten onrechte afgekeurd.

Vandaar dat onderzoek is opgestart naar de veiligheidsmarge in de driepuntsbuigproef. Dit betreft het aspect "healing" (invloed van rustpauze tussen opvolgende lastherhalingen) en het effect van verschil in proef- en praktijkbelasting.

Daarnaast wordt van de bekleding in Vlissingen bepaald hoe de ruimtelijke variatie in de kwaliteit van de bekleding is. Als blijkt dat de gevonden grote variatie overal op kleine afstand voorkomt, dan kan in beginsel met gemiddelde kwaliteit worden gerekend. De bekleding reageert dan ook "gemiddeld" op de golfklappen. Als blijkt dat de bekleding lokaal sterk varieert dan moeten "goede" en "slechte" gedeelten worden getraceerd en nader worden onderzocht. Uit deze variatie moet volgen welke procentuele grenswaarde het best geschikt is om als karakteristieke waarde te gebruiken.

Voor het uitvoeren van dit onderzoek worden radar- en valgewichtdeflectie-apparatuur ingezet.

8. Conclusies

Bij ontwerp en toetsing van asfaltbekledingen op basis van vermoeiingseigenschappen mag niet van een constante kwaliteit worden uitgegaan. Aanlegkwaliteit en leeftijd van de bekleding zijn bepalend voor de eigenschappen waarmee in modellen moet worden gerekend.

Bij het overstappen naar statistisch meer verantwoorde grenswaarden moet eerst worden vastgesteld, wat de driepuntsbuigproef aan veiligheid biedt. Vervolgens moet worden bepaald, welke grenswaarde voldoende zekerheid biedt in relatie tot de ruimtelijke variatie in de bekleding.

9. Tot besluit

Als met bovenstaande duidelijk wordt wanneer een bekleding aan het einde van zijn levensduur is (= initiatie vermoeiingsscheur), betekent het nog niet dat de waterkering is bezweken. Op dat moment is het van belang in welk tempo een vermoeiingsscheur door de bekleding groeit en welke veiligheid een gescheurde bekleding nog kan bieden ten aanzien van erosie.

Dit betekent dat het gedrag van gescheurde bekledingen gemodelleerd moet worden. Tot nu toe is dat niet gelukt. Voor de inundatierisicobenadering van waterkeringen is dat echter wel noodzakelijk.

10. Stelling

"In de wegenbouw wordt de invloed van de veroudering op de vermoeiingseigenschappen ten onrechte genegeerd."