

## Memo

**Aan**  
Klankbordgroep asfaltbekledingen

<b>Datum</b>	<b>Aantal pagina's</b>	
9 juni 2009	5	
<b>Van</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Robert 't Hart	(088) 33 57 256	robert.thart@deltares.nl

**Onderwerp**  
Materiaalkarakterisering op basis van vermoeiing en breuksterkte  
Achtergronden t.b.v. Golfklap en Werkwijzebeschrijving

---

### Inleiding

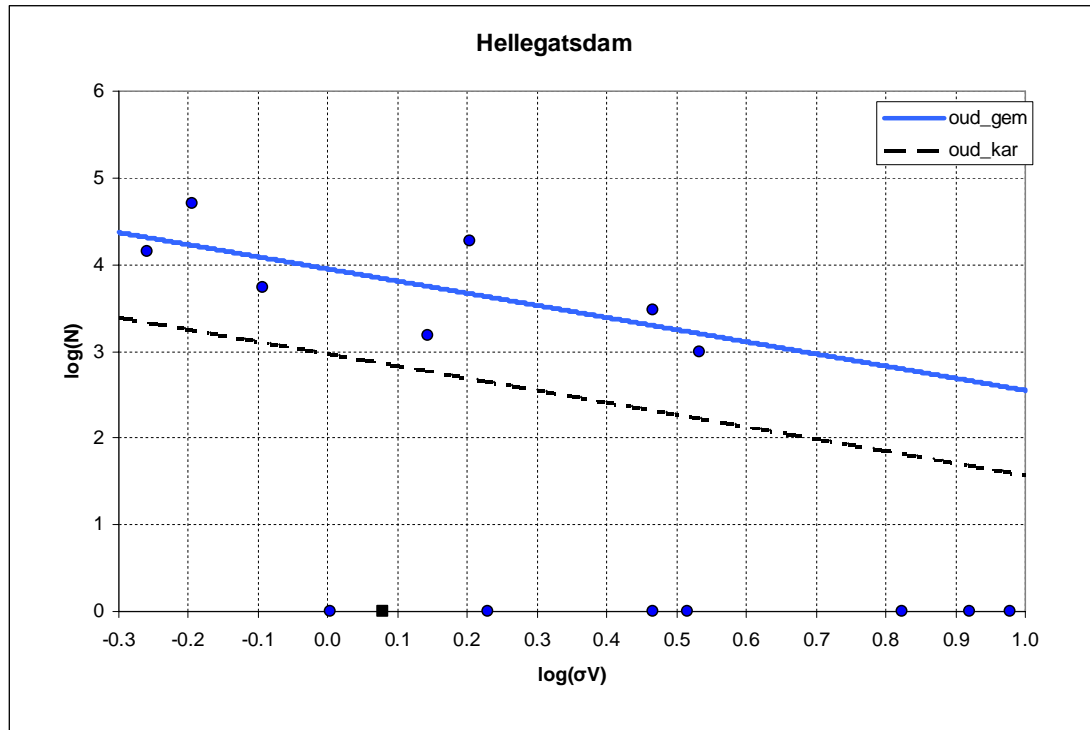
De gegevens die in de loop der jaren met betrekking tot verschillende asfaltbekledingen zijn verzameld hebben geleerd dat vooral voor oude bekledingen de vermoeiingslijn die op basis van de vermoeiingsproeven wordt gefit, zeer horizontaal komt te lopen. De werkwijze van het bepalen is conform de in de VTV genoemde werkwijzebeschrijving [2006].

Zo een vrij horizontaal verlopende vermoeiingslijn suggereert dat de breuksterkte van het materiaal (bezijken bij één lastherhaling) extreem hoog wordt. Dat is nu juist in tegenspraak met wat zou mogen worden verwacht, namelijk een lagere breuksterkte naarmate het materiaal verder degradeert.

Daarom is bij recente onderzoeken ook de breuksterkte vastgesteld en volgens verwachting bleek de breuksterkte veel lager dan op grond van de erg horizontale vermoeiingslijn werd gesuggereerd. Daarom is er de afgelopen jaren een nieuwe wijze van het bepalen van de vermoeiingskarakteristiek ontwikkeld die rekening houdt met gemeten breuksterktes. Deze methodiek is inmiddels opgenomen in de vernieuwde werkwijzebeschrijving [2009]. Door de introductie van de breuksterkte wordt de vermoeiingskarakteristiek met een andere set parameters beschreven, zodat aanpassing van GOLFKLAP op dit punt noodzakelijk was. Als achtergronddocument voor zowel het programma GOLFKLAP als voor de werkwijzebeschrijving geeft deze notitie een toelichting op de activiteiten die zijn uitgevoerd, de keuzes die zijn gemaakt en de documentatie die beschikbaar is.

### Materiaalmodel gebaseerd op Bayesiaanse statistiek

Uitgangspunt bij de ontwikkeling van een nieuwe materiaalkarakterisering was de constatering dat de vermoeiingslijn in een grafiek waarin het aantal lastherhalingen  $^{10}\log(N_f)$  is uitgezet als functie van de opgelegde spanning ( $^{10}\log(\sigma)$ ) niet lineair zou moeten zijn. Bij hogere spanningen zou de grafiek naar de horizontale as moeten afbuigen om bij de éénmalige belasting overeen te komen met de breuksterkte. Zie bijvoorbeeld figuur 1.



**Figuur 1.** Verwachte waarde en 95% ondergrens volgens het oude materiaal model (de meetpunten voor  $\log(N) = 0$  zijn de gemeten breuksterktes)

Aangezien uit de literatuur geen voorbeelden bekend zijn van een kromlijngige vermoeiingskarakteristiek is in overleg met een statisticus ingehuurd via TNO, in de persoon van Jan Telman, gekozen voor een nieuwe vermoeiingsrelatie, waarbij gebruik werd gemaakt van de Bayesiaanse statistiek, zie tekstblok. Deze Bayesiaanse aanpak leek theoretisch het beste resultaat op te moeten leveren.

Voor het duo van de 2 balkjes uit boorkern i veronderstellen we:

- voor de breuksterkte (balkje 1):  

$$\log B_i = \eta + e_{1i} \quad \text{met } e_{1i} \sim N(0, \sigma_B^2) \quad [1]$$
- voor de vermoeiingssterkte (balkje 2):  

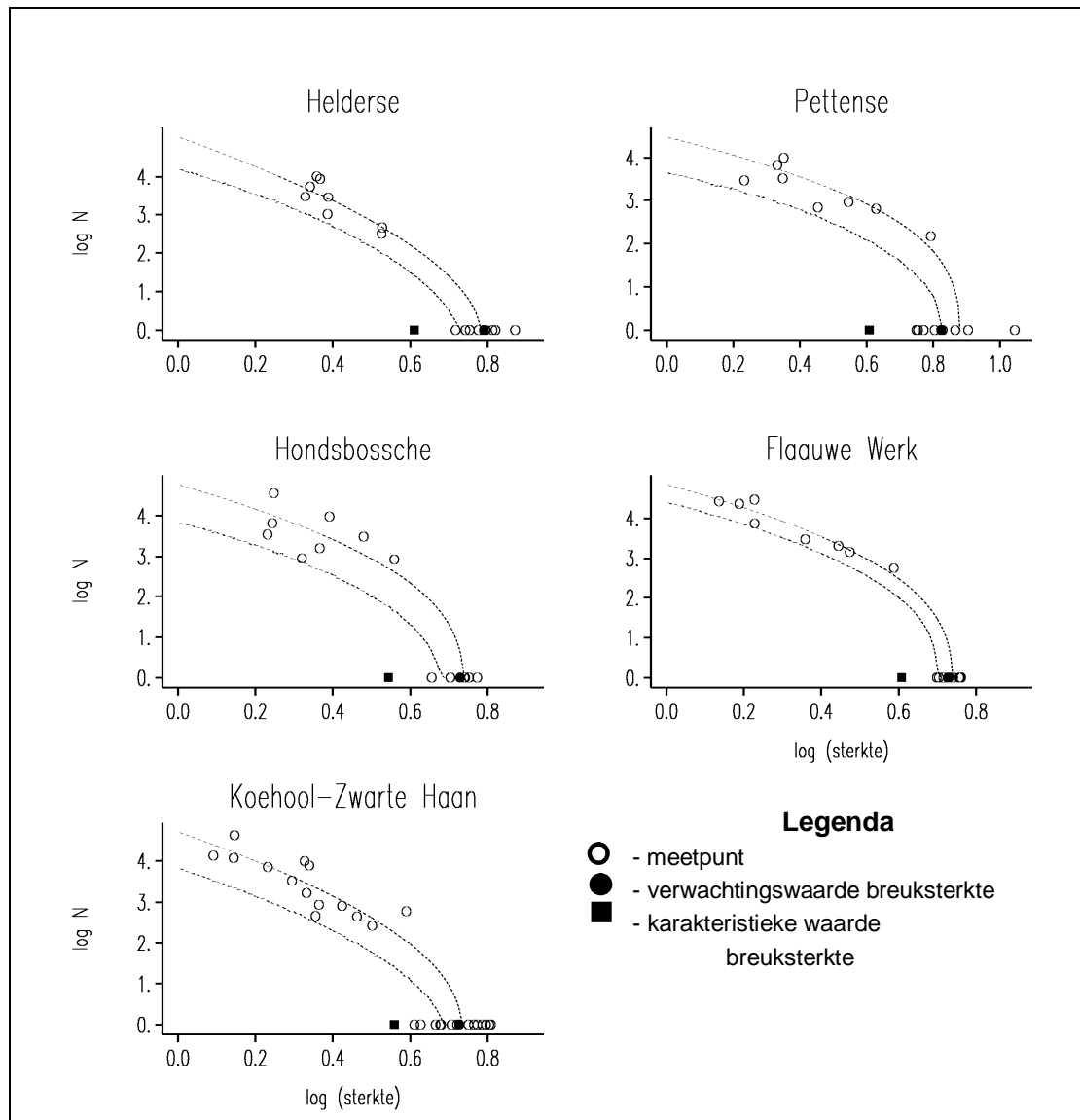
$$\log N_i = \mu_i + e_{2i} \quad \text{met } e_{2i} \sim N(0, \sigma_N^2) \quad [2]$$
- voor de curve:  

$$\mu_i = \beta (\eta - \log F_i)^Y \quad [3]$$
- verder is er een positieve correlatie  $\rho$  verondersteld tussen de gemeten breuksterkte van het ene balkje uit een kern en de gemeten vermoeiingssterkte van het andere balkje uit dezelfde kern

Voor de locaties waarvoor combinaties van vermoeiingsproeven en breuksterkteproeven beschikbaar waren is de fit gemaakt, zie figuur 2. Op grond van die exercitie zijn drie constatering gedaan die voor het vervolg bepalend waren.

Allereerst is gebleken dat de uitwerking van de Bayesiaanse aanpak speciale statistische rekenroutines vereiste die slechts in specifieke statistische pakketten voor handen zijn. Dat maakt implementatie in de waterbouwkundige praktijk niet tot een simpele zaak, omdat het programmeren van een speciaal voor onze doelgroep toegesneden programma een

aanzienlijke inspanning zou vergen. Een alternatief zou zijn dat altijd TNO zou worden ingeschakeld voor de regressie. Die afhankelijkheid van TNO is voor praktische toepassingen niet echt wenselijk.



**Figuur 2.** Verwachte waarde en 95% ondergrens volgens het Bayesiaanse model (de meetpunten voor  $\log(N) = 0$  zijn de gemeten breuksterktes)

Als tweede is geconstateerd dat de resultaten van de exercitie erop wijzen dat de verwerkte data, vermoeiingsproeven enerzijds en breuksterkteproeven anderzijds, in feite niet bij elkaar horen, wat in de Bayesiaanse aanpak wel het uitgangspunt moet zijn.

Als derde is geconstateerd dat deze Bayesiaanse aanpak met name voor de breuksterkte niet per se de veilige waarden lijkt op te leveren. Het "veilig" is hierbij beoordeeld op grond van de karakteristieke breuksterkte die aanzienlijk lager kan liggen dan de 95% ondergrens.

Kortom de conclusie is getrokken dat de Bayesiaanse aanpak mogelijk statistisch wel het best denkbare is, maar dat het in de praktijk toch niet zaligmakend blijkt. Het toepassen van de Bayesiaanse aanpak voor het onderhavig probleem was leerzaam, maar feitelijk nog te geavanceerd.

### Pragmatisch materiaalmodel

Daarom is voor de implementatie van de breuksterkte een simpeler, grofstoffelijker aanpak gevolgd. Door een lineaire regressie op basis van de meetdata te maken uitgaande van de onderstaande vergelijking kan een verwachtingswaarde voor de fitparameters  $\alpha$  en  $\beta$  worden gevonden.

$$\log(\log(N)) = \log(\beta) + \alpha \log(\log(\sigma_{breuk}) - \log(\sigma_v)) \quad a)$$

Waarin:

- $N$  = gemeten aantal lastherhalingen tot bezwijken in vermoeiingsproef
- $\sigma_v$  = opgelegde spanning (amplitude) in de vermoeiingsproef
- $\sigma_{breuk}$  = gemeten breukspanning in de bezwijkproef
- $\beta$  = fitfactor in lineaire regressie
- $\alpha$  = fitfactor in lineaire regressie.

De vermoeiingskarakteristiek weergegeven op  $\log(N)$ - $\log(\sigma)$ -schaal wordt dan:

$$\log(N) = \beta (\log(\sigma_{breuk}) - \log(\sigma_v))^\alpha \quad b)$$

Dit is statistisch gezien een minder fraaie oplossing omdat een gemeten parameter ( $N$ ) middels de lineaire regressie afhankelijk wordt gesteld van een combinatie van een opgelegde parameter ( $\sigma_v$ ) en een eveneens gemeten parameter ( $\sigma_{breuk}$ ). Deze aanpak is echter wel simpel te implementeren en bleek bij een vergelijking met de Bayesiaanse aanpak niet tot wezenlijk andere resultaten te leiden.

Als tussenstap heeft TNO op statistische gronden geëvalueerd of een niet-lineaire fit op log-log-schaal (directe bepaling vergelijking b) niet de voorkeur verdient boven de lineaire regressie op dubbele log-log-schaal (vergelijking a). Deze methoden bleken niet tot significant verschillende uitkomsten te leiden.

De verwachtingswaarde voor de materiaaleigenschappen is aldus eenvoudig met een lineaire regressie te realiseren. Om te komen tot een "karakteristieke voor de materiaalkarakteristiek" moest echter nog een keuze worden gemaakt. Op grond van de cases waarvoor zowel vermoeiingsproeven als breuksterktes beschikbaar waren, is gekozen om de trend van de lineaire regressie, te combineren met de karakteristieke breuksterkte. Statistisch is dit niet ideaal, het houdt niet expliciet rekening met de spreiding in de vermoeiingsproeven. De spreiding van uitsluitend de breuksterkteproeven vormen nu het uitgangspunt voor de onzekerheid in de materiaalkarakterisering.

Dit lijkt geen slechte keus als men bedenkt dat waarschijnlijk een gering aantal lastherhalingen bepalend is voor het begin van scheuren van de toplaag. En de ligging van de kromme die met materiaal karakteriseert wordt bij een gering aantal lastherhalingen in sterke mate bepaald door de breuksterkte van het asfalt.

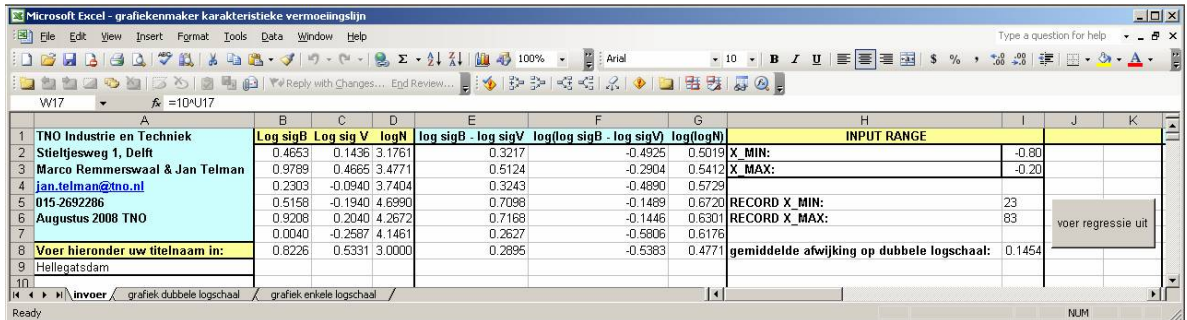
### Toepassing in de praktijk

Ten behoeve van implementatie van de nieuwe materiaalkarakterisering in de praktijk is door TNO een spreadsheet (EXCEL onder MS-Windows, zie figuur 3) ontwikkeld waarmee de fit kan worden uitgevoerd. Een handleiding bij deze rekenhulp [Remmerswaal 2008] geeft stap

Datum  
9 juni 2009

Pagina  
5/5

voor stap welke gegevens moeten worden ingevoerd. Ook geeft deze handleiding een toelichting op de berekeningsresultaten.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Log sig B	Log sig V	log N	log sig B - log sig V	log(log sig B - log sig V)	log(log N)	INPUT RANGE			
1										
2	0.4653	0.1436	3.1761	0.3217	-0.4925	0.5019	X MIN:		-0.80	
3	0.9789	0.4665	3.4771	0.5124	-0.2904	0.5412	X MAX:		-0.20	
4	0.2303	-0.0940	3.7404	0.3243	-0.4890	0.5729				
5	0.5158	-0.1940	4.6990	0.7098	-0.1489	0.6720	RECORD X_MIN:		23	
6	0.9208	0.2040	4.2672	0.7168	-0.1446	0.6301	RECORD X_MAX:		83	
7	0.0040	-0.2587	4.1461	0.2627	-0.5806	0.6176				
8	0.8226	0.5331	3.0000	0.2895	-0.5383	0.4771	gemiddelde afwijking op dubbele logschaal:		0.1454	voer regressie uit
9										
10										

Figuur 3. Screenshot Grafiekenmaker Vermoeiingskarakteristiek

## Betrokkenen

De werkzaamheden zijn uitgevoerd onder begeleiding van de volgende projectgroep: Cees Montauban, Martin van de Ven, Bernadette Wichman, Arjan de Looff, Robert 't Hart, Jan Telman (TNO, feitelijke uitwerking).

## Literatuur

- Looff 2006 Werkwijze beschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen op een bekleding van waterbouwasfaltbeton. Arjan de Looff, *KOAC-NPC, Utrecht, augustus 2006*
- Looff 2009 Werkwijze beschrijving voor het uitvoeren van een gedetailleerde beoordeling op golfklappen op een bekleding van waterbouwasfaltbeton. Arjan de Looff, *KOAC-NPC, Nieuwegein, ?? 2009*
- Remmerswaal 2008 Handleiding bij Grafiekenmaker Vermoeiingskarakteristiek. Marco Remmerswaal, Jan Telman, *TNO Industrie & Techniek, Delft, september 2008*