

# Vereenvoudigde procedure voor het vaststellen van 85% betrouwbare karakteristieke stijfheidsrelaties voor gebruik in de standaard ontwerpprogramma's

Jan Telman (TNO), Arthur van Dommelen (DVS), versie juni 2011

## 1 Inleiding

Bij de bepaling van de stijfheidsmodulus voor een gegeven mengselrecept kunnen de volgende bronnen van onzekerheid een rol spelen:

- systematische verschillen in de kwaliteit van de proefstukbereiding tussen laboratoria (reproduceerbaarheid van de bereiding),
- systematische verschillen in de meetkwaliteit (inclusief dataverwerking) tussen verschillende laboratoria (reproduceerbaarheid van de meting),
- toevallige variaties in de kwaliteit van de bereiding per laboratorium (herhaalbaarheid van de bereiding).
- toevallige variaties in de meetkwaliteit (inclusief dataverwerking) per laboratorium (herhaalbaarheid van de meting).
- de natuurlijke spreidingen tussen proefbalkjes, de toevallige proeffouten en het beperkt aantal proefbalkjes per laboratoriumonderzoek (in standaard met vermoeiingsonderzoek gecombineerd stijfheidsonderzoek 18 balkjes).

Een stijfheidsmodulus bepaald voor een gegeven mengselrecept heeft dus enige mate van onbetrouwbaarheid: als hetzelfde laboratorium het onderzoek nog eens doet op hetzelfde recept, of als een ander laboratorium hetzelfde recept onderzoekt, kan er een ander resultaat uit komen. Voorliggende procedure beschrijft hoe deze onzekerheden via een vereenvoudigde benadering kunnen worden verdisconteerd in een 85% betrouwbare waarde voor de gemiddelde stijfheidsmodulus<sup>1</sup> voor het mengselrecept. Deze vereenvoudigde benadering is afgeleid van een meer volledige statistische benadering die eveneens beschikbaar is. Verder beschrijft voorliggende procedure hoe deze karakteristieke stijfheidsmodulus kan worden omgewerkt naar een karakteristieke stijfheidsrelatie voor het ontwerp.

In deze benadering wordt gebruik gemaakt van informatie verkregen uit twee referentiemengsels, die beide door 4 laboratoria zijn onderzocht. Uit dit onderzoek zijn de volgende uitgangspunten voor bovengenoemde afwijkingen afgeleid:

- tussen-lab spreiding: de systematische verschillen in bereiding en meting tussen laboratoria worden gekarakteriseerd door de standaardafwijking  $s_{TL} = 683$  MPa in stijfheidsmodulus, met 3 vrijheidsgraden
- binnen-lab spreiding: de toevallige verschillen in bereiding en meting tussen onderzoeken binnen hetzelfde lab worden gekarakteriseerd door de standaardafwijking  $s_{BL} = 365$  MPa in stijfheidsmodulus, met 3 vrijheidsgraden
- binnen-mengsel spreiding: de natuurlijke spreiding tussen de proefbalken en de toevallige meetfout worden gekarakteriseerd door de standaardafwijking  $\sigma_{BM} = 619$  MPa in stijfheidsmodulus, met 140 vrijheidsgraden.

---

<sup>1</sup> De karakteristieke stijfheidsmodulus is dus geen 85% zekere voorspelling voor de stijfheid van individuele balkjes.

Bovengenoemde variatiebronnen worden als spreidingen en onzekerheden verdisconteerd in de afleiding van de 85% betrouwbare karakteristieke stijfheidsmodulus.

Opgemerkt wordt dat voorliggende procedure geen rekening houdt met mogelijke variaties in mengseleigenschappen door verschillen tussen laboratoriumbereiding van proefstukken en productie en verwerking van asfalt op praktijkschaal. Deze variaties speelden wel mee in de voormalige wijze van stijfheidsonderzoek (monsters genomen uit platen uit de weg) maar worden niet zichtbaar in de huidige methodiek op basis van laboratoriumbereide proefstukken

## 2 Vereenvoudigde procedure

1. Bepaal in het geval van een enkelvoudig stijfheidsonderzoek het gemiddelde en de spreiding van de gemeten waarden van de stijfheidsmodulus bij 20°C en 8 Hz.
2. Bepaal in het geval van meerdere stijfheidsonderzoeken op hetzelfde mengselrecept de gemiddelde stijfheid als het gemiddelde van de gemiddelde stijfheden per onderzoek, en bepaal de spreiding als

$$\sigma = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^k \sigma_i^2\right) \cdot (n-1)}{k \cdot n - 1}}$$

waarin

- $\sigma$  = gecombineerde spreiding (MPa)
- $\sigma_i$  = spreiding in stijfheidsonderzoek i (MPa)
- k = aantal stijfheidsonderzoeken i
- n = aantal beproevingen per stijfheidsonderzoek

Voorwaarde voor deze werkwijze is dat de te combineren onderzoeken alle uit hetzelfde aantal proefnemingen n bestaan.

3. Bepaal uit tabel 2.1 of tabel 2.2 de reductie  $\Delta E_{20^\circ\text{C},8\text{Hz}}$  van de stijfheidsmodulus. Bereken de karakteristieke stijfheidsmodulus als de gemiddelde stijfheidsmodulus  $E_{20^\circ\text{C},8\text{Hz}}$  verminderd met deze reductie  $\Delta E_{20^\circ\text{C},8\text{Hz}}$ .

## 3 Omwerken naar invoer voor standaard ontwerp-programma's

De voor het ontwerp te gebruiken karakteristieke stijfheidsrelaties (zie b.v. figuur 1) hebben de volgende vorm:

$$\ln(E_{\text{asf}}) = C_1 + C_2 \cdot T_{\text{fict}} + C_3 \cdot T_{\text{fict}}^2 + C_4 \cdot T_{\text{fict}}^3$$

waarin

$E_{\text{asf}}$  = stijfheidsmodulus asfalt (MPa)

$T_{\text{fict}}$  = fictieve temperatuur

$C_2$  = -0,018400189

$C_3$  = -0,001098345

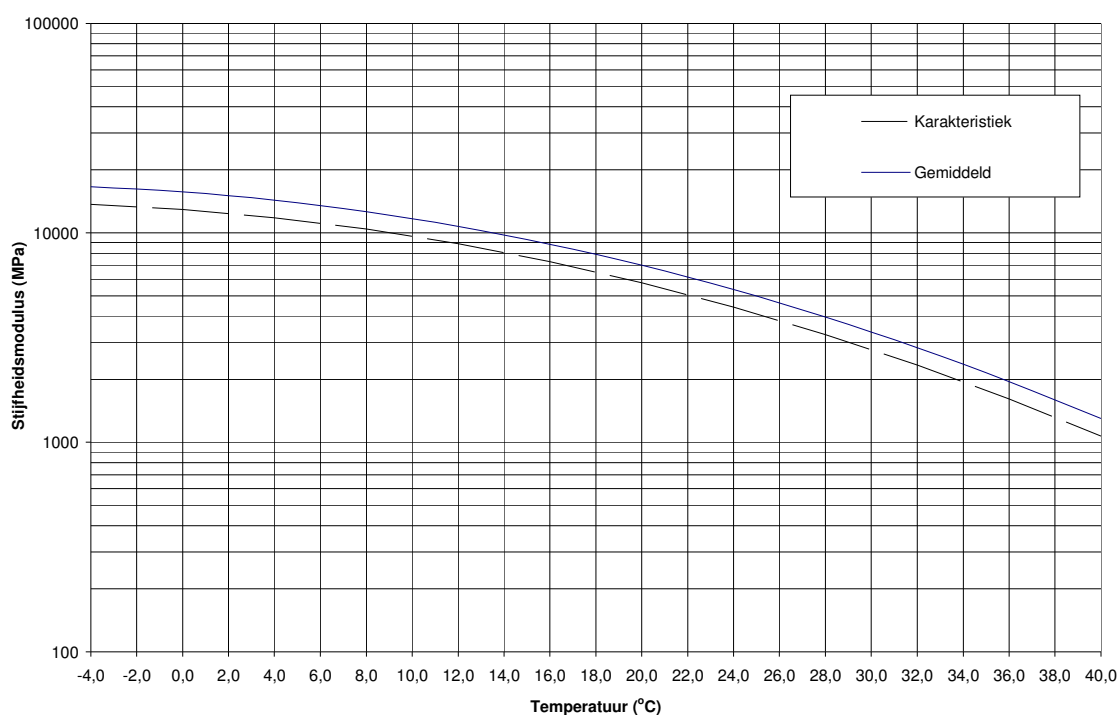
$C_4$  = 0

$C_1$  =  $\ln(E_{20^\circ\text{C},8\text{Hz}} - \Delta E_{20^\circ\text{C},8\text{Hz}}) - C_2 \cdot 20 - C_3 \cdot 20^2 - C_4 \cdot 20^3$

$E_{20^\circ\text{C},8\text{Hz}}$  = gemiddelde stijfheid uit type test onderzoek

$\Delta E_{20^\circ\text{C},8\text{Hz}}$  = stijfheidsreductie conform tabel 2.1 of tabel 2.2

De coëfficiënten  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  en die de temperatuursafhankelijkheid beschrijven kunnen uit een CE type tests niet meer worden bepaald. Hiervoor zijn derhalve standaard waarden aangehouden die zijn gevonden in het eerder genoemde referentie - onderzoek naar de eigenschappen van STAB.



Figuur 1 Voorbeeld van gemiddelde en karakteristieke stijfheidsrelatie

## 4 Karakteristieke relaties voor standaard materialen

In onderstaande tabel 1 zijn voor de standaard materialen uit de RAW 2010 de eigenschappen weergegeven. Uit de aangegeven  $S_{\text{min}}$  zijn tevens de coëfficiënten  $C_1$  t/m  $C_4$  voor de karakteristieke stijfheidsrelaties berekend en aangegeven. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- een gemiddelde spreiding van 619 MPa
- een mengsel wordt slechts een maal aan een stijfheidsonderzoek onderworpen, echter in combinatie met een vermoeiingsonderzoek (dus 18 balkjes)

Zoals te zien verschilt bij deze aannamen alleen de coëfficiënt  $C_1$  van de karakteristieke stijfheidsrelatie voor de vier te onderscheiden waarden van  $S_{\text{min}}$ .

**Tabel 1 Coëfficiënten karakteristieke ontwerprelaties per categorie mengseleigenschappen in RAW Standard Bepalingen 2010**

	TL-B	TL-C	TL-IB	OL-B	TLZ-IB	TLZ-B	TLZ-C	TDL-B	TDL-C	TDL-IB
$V_{min}$	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2
$V_{max}$	10	10	10	7	7	7	7	7	7	7
ITSR	60	70	70	70	80	80	80	80	80	80
$\epsilon_6$	70	80	80	80	80	80	80	90	90	90
$S_{min}$	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500
$S_{max}$	11000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
$f_{cmax}$	0,4	0,4	0,2	0,8	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2
$C_1$ kar. vermoeiingsrelatie	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630
$C_2$ kar. vermoeiingsrelatie	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445
$C_3$ kar. vermoeiingsrelatie	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248
$C_4$ kar. vermoeiingsrelatie	-0,561841970	-0,695373363	-0,695373363	-0,695373363	-0,695373363	-0,695373363	-0,695373363	-0,813156398	-0,813156398	-0,813156398
$C_5$ kar. vermoeiingsrelatie	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734
$C_1$ kar. stijfheidsrelatie	9,419845151	9,419845151	9,419845151	9,419845151	9,419845151	9,419845151	9,419845151	9,419845151	9,419845151	9,419845151
$C_2$ kar. stijfheidsrelatie	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189
$C_3$ kar. stijfheidsrelatie	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345
$C_4$ kar. stijfheidsrelatie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	OL-C	OL-IB	OL-A	DL-C	DL-IB	TL-A	DL-B	DL-A
$V_{min}$	2	2	2	2	2	2	2	2
$V_{max}$	7	7	7	6	6	7	6	4
ITSR	70	70	70	80	80	70	80	80
$\epsilon_6$	90	90	100	100	100	100	115	130
$S_{min}$	7000	7000	4500	5500	5500	5500	4500	3600
$S_{max}$	14000	14000	11000	11000	11000	11000	9000	7000
$f_{cmax}$	0,4	0,2	1,4	0,6	0,2	0,4	1,4	4
$C_1$ kar. vermoeiingsrelatie	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630	39,176619630
$C_2$ kar. vermoeiingsrelatie	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445	-0,064449445
$C_3$ kar. vermoeiingsrelatie	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248	1,404363248
$C_4$ kar. vermoeiingsrelatie	-0,873693749	-0,873693749	-0,862429574	-0,918516914	-0,918516914	-0,918516914	-1,002191516	-1,056330273
$C_5$ kar. vermoeiingsrelatie	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734	-0,212610734
$C_1$ kar. stijfheidsrelatie	9,661007208	9,661007208	9,219174456	9,419845151	9,419845151	9,419845151	9,219174456	8,996030904
$C_2$ kar. stijfheidsrelatie	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189	-0,018400189
$C_3$ kar. stijfheidsrelatie	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345	-0,001098345
$C_4$ kar. stijfheidsrelatie	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabel 2.1 Reductie stijfheidsmodulus bij 20°C en 8Hz afhankelijk van de spreiding en het aantal herhalingen k van het stijfheidsonderzoek, bij beproeving van 18 balkjes per onderzoek**

k	Spreiding (MPa)				
	< 300	300 - 500	500 - 700	700 - 900	> 900
1	1282	1286	1291	1301	1314
2	1259	1262	1267	1273	1281
3	1251	1254	1258	1264	1271
4	1247	1250	1254	1260	1267
5	1244	1247	1251	1257	1264

**Tabel 2.2 Reductie stijfheidsmodulus bij 20°C en 8Hz afhankelijk van de spreiding en het aantal herhalingen k van het stijfheidsonderzoek, bij beproeving van 6 balkjes per onderzoek**

k	Spreiding (MPa)				
	< 300	300 - 500	500 - 700	700 - 900	> 900
1	1285	1295	1318	1350	1395
2	1261	1270	1283	1306	1336
3	1253	1261	1273	1292	1317
4	1249	1256	1268	1285	1309
5	1246	1254	1265	1280	1304