

# Relatie tussen ITS, weerstand tegen vervorming en de mengselsamenstelling

-Gebruik van de MEPDG relaties voor Nederlandse mengsels uit NL-LAB-

Sandra Erkens  
*Rijkswaterstaat en Technische Universiteit Delft*

Cor Kasbergen  
*Technische Universiteit Delft*

Mirella Villani  
*Technische Universiteit Delft*

Tom Scarpas  
*Technische Universiteit Delft*

Eugenio Florio  
*Universiteit van Bologna*

Carlo Berti  
*Universiteit van Bologna*

## **Samenvatting**

Sinds 2008 werken we in Nederland met functionele eigenschappen voor asfalt beton. Hierbij wordt niet zo zeer op het “recept” van het asfalt gestuurd, als wel op de eigenschappen ervan die van belang zijn voor het gedrag in de weg. Binnen het NL-LAB programma wordt de relatie tussen deze functionele eigenschappen en het gedrag in de weg gevalideerd. Hierbij wordt ook gekeken naar de invloed van mengen en verdichten op de functionele eigenschappen. Binnen dit programma is er voor de eerste twee projecten gekeken naar de relatie tussen de mengselsamenstelling en de indirecte treksterkte en weerstand tegen permanente vervorming. Dergelijke relaties zijn in de historie van de wegenbouw vaker met succes gebruikt. Veranderingen in proeven, materialen, mengselsamenstelling en gebruikscondities vragen echter om validatie en calibratie. Het meest recente stelsel van relaties tussen samenstelling en functionele eigenschappen is dat van de Mechanistic Empirical Design Guide. In deze bijdrage wordt beschreven hoe deze relatie worden gebruikt als uitgangspunt voor het koppelen van mengselsamenstelling van twee AC mengsels aan de indirecte treksterkte (ongeconditioneerd) en de weerstand tegen permanente vervorming. Hierbij wordt ook gekeken of het effect van mengen en verdichten zichtbaar is in de data.

## **1. Inleiding**

In 2008 zijn de Europese normen voor asfalt (EN 13108 serie) ingevoerd. In on. Die mengsels worden sinds die tijd omschreven door hun functionele eigenschappen en beperkte samenstellingsgegevens. Tegelijkertijd zijn er door de jaren heen veel relaties ontwikkeld om eigenschappen van asfalt te voorspellen aan de hand van juist de samenstelling van het mengsel (Bonnaure et al, 1977 en 1980, Hopman et al., 1994). Dit soort relaties zijn bruikbaar bij het mengselontwerp, ze geven een raamwerk om te spelen met de mengselsamenstelling om, voor een bepaald type asfalt, de gewenste eigenschap te krijgen. De relaties zijn vaak wel geldig (of in elk geval de coëfficiënten ervan) voor een bepaald type mengsel, zo zal de relatie voor de permanente vervorming voor een asfaltbeton anders zijn dan voor een ZOAB of SMA. Het blijft altijd zaak om ook te controleren of de beoogde mengseleigenschappen gerealiseerd worden met de gekozen samenstelling. Zeker ingeval van een extreme eigenschap van een of meer van de grondstoffen, zoals een verbrijzeling gevoelige steen of een PMB in plaats van penetratie bitumen kunnen de verschillen aanzienlijk zijn.

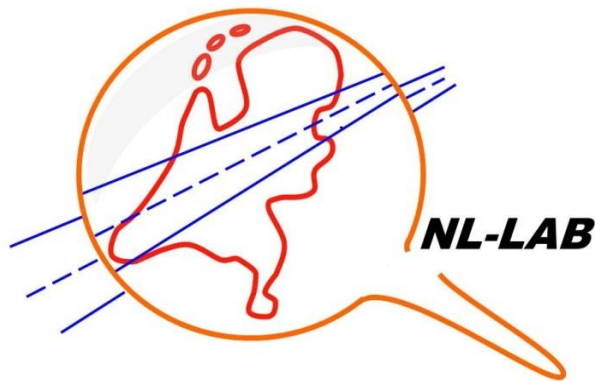
Nu in de EN 13108-1 alle asfaltbeton mengsels feitelijk als een soort mengsel worden gezien, een categorie die van de in Nederland gebruikelijke mengsels alle Grind Asfalt beton, Open Asfalt beton en Steenslag Asfalt beton mengsels omvat, is het interessant om te zien of er relaties te vinden zijn die voor al deze mengsels op grond van samenstelling een betrouwbare voorspelling kunnen geven van de te verwachten functionele eigenschappen. In deze bijdrage wordt beschreven hoe, als onderdeel van het NL-LAB programma, een eerste poging is gedaan om in het kader van twee MSc projecten in samenwerking tussen TU Delft en de Universiteit van Bologna te onderzoeken of dergelijke relaties te vinden zijn voor de Indirecte Treksterkte (ongeconditioneerd, EN12697-23) en de weerstand tegen permanente vervorming bepaald met de triaxiaal proef (EN 12697-25). Als uitgangspunt voor de relaties zijn de formules uit de Mechanistic Empirical Design Guide in de VS gebruikt, deels om te zien of de relaties ondanks de verschillen in grondstoffen en proefcondities standhouden, deels dit de meest recente soort van deze relaties betreft en ze soortgelijke eigenschappen beschrijven. Gezien de relatie met de VS ontwerpmethod, zijn eerdere versies van dit werk gepubliceerd in de VS (Florio et al, 2014a en b), met in de tweede versie iets meer relaties die onderzocht zijn dan in de eerste. Deze bijdrage richt zich meer op de voor Europa relevante aspecten, maar maakt gebruik van dezelfde onderliggende data.

## **2. Onderzoeksopzet**

### **1.1 Algemene opzet NL-LAB programma**

In het NL-LAB programma wordt gezocht naar de relatie tussen de functionele eigenschappen en het gedrag in de weg. Uitgebreidere beschrijvingen van het programma en de hieruit tot nu toe verkregen data zijn opgenomen in andere bijdragen bij deze InfraDagen (Erkens et al, 2014a, Sluer et al, 2014 en Mookhoek et al, 2014). De samenvatting van de opzet uit de eerste van deze

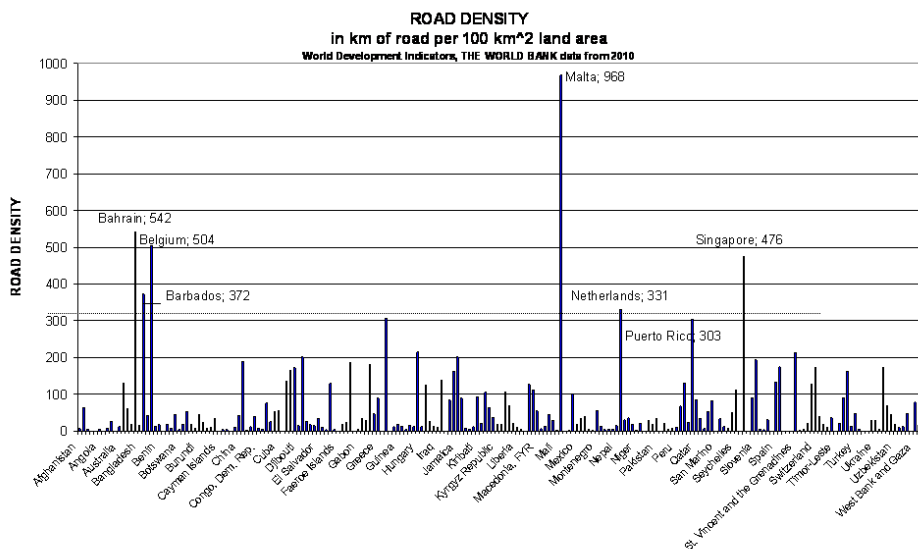
bijdragen wordt hier herhaald voor ten behoeve van de zelfstandige leesbaarheid van deze bijdrage.



**Nederlands programma voor Langjarige Asfalt Bemonstering**

Figuur 1: NL-LAB logo, het Nederlands wegennet als “levend laboratorium”

NL-LAB is een acroniem dat staat voor NederLands Langjarig Asfalt Bemonsteringsprogramma (Figuur 1), maar het verwijst er ook naar dat, als we iets willen weten over het gedrag van asfalt in de weg, we met het dichte wegennet in Nederland (zesde van de wereld, Figuur 2) een prachtig “levend laboratorium” hebben liggen waar we gebruik van kunnen maken.



Source: World Development Indicators: Traffic and congestion, Table 3.13, World Bank 2013, <http://wdi.worldbank.org/table/3.13>, last updated 09/23/2013, checked

Figuur 2: Het dichte Nederlandse wegennet is een ideaal lab voor praktijktesten

Zoals de naam van het programma al aangeeft, is het leggen van een relatie met het praktijkgedrag per definitie een langjarige exercitie, omdat het met name om het lange termijn gedrag in de weg gaat. Dit leidt er vaak toe dat dergelijke monitoring niet plaatsvindt, omdat we de antwoorden eerder willen hebben. Er is ook niks mis met het proberen te vinden van snellere antwoorden, maar zonder de daadwerkelijke langjarige gegevens blijft het uiteindelijk toch speculeren en kunnen de korte termijn antwoorden niet gevalideerd worden. Dit blijkt uit het succes van de ZEBRA-vakken uit het IPG programma (Bennis et al, 2008 en Erkens et al, 2014), die hebben veel informatie opgeleverd doordat er veel bekend was over de samenstelling,

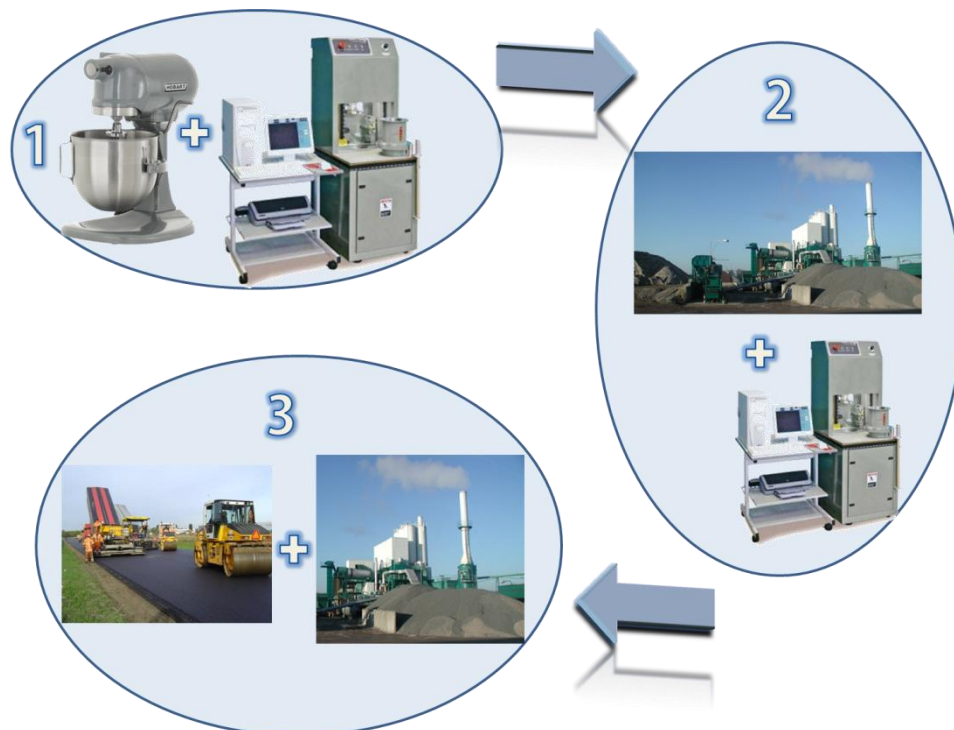
aanlegcondities en de vakken in de tijd gevolgd zijn. De vakken uit het NL-LAB programma zullen op dezelfde manier inzicht geven in de samenhang tussen samenstelling, uitvoering en gedrag in de weg. In dit geval met de extra informatie over de functionele eigenschappen.

## 1.2 Opzet onderzoek in deze bijdrage

Bij het onderzoek naar de toepasbaarheid van samenstellingsgebaseerde relaties voor het voorspellen van de indirecte treksterkte ende weerstand tegen permanente vervorming is er eerst gekeken naar welke relaties er hiervoor zijn opgenomen in de MEPDG (TRB 2004). Vervolgens is er gekeken of de hierin gebruikte termen ook in Nederland gebruikelijk zijn en zo ja, of ze uit de van de NL-LAB projecten beschikbare data te bepalen waren. Daar waar er geen vergelijkbare termen beschikbaar waren, of ze niet uit de beschikbare data te bepalen waren, zijn alternatieven gezocht.

Vervolgens zijn de relaties gefit op de data, gebruikmakend van de kleinste kwadraten methode om te komen tot waarden voor de coëfficiënten. Nu zijn de data uit de NL-LAB projecten steeds per mengsel verkregen uit drie manieren van proefstukbereiding (Figuur 1):

1. Labgemengd en labverdicht
2. Centrale gemengd en labverdicht
3. Centrale gemengd en walsverdicht, proefstukken uit de weg



**Figuur 3: Proefstukken gemaakt met drie verschillende combinaties van lab en praktijkmenging en -verdichting**

Als de functionele eigenschappen helemaal bepaald worden door de mengselsamenstelling, zou de wijze van productie niet uitmaken. Nu is het

algemeen geaccepteerd dat dit niet het geval is en wordt er vaak over gespeculeerd wat de invloed van mengen en verdichten op de eigenschappen van asfalt dan wel is. In dit geval kan hier ook echt naar gekeken worden, door de relaties op de gehele data set en de afzonderlijke data per wijze van proefstukbereiden te fitten. Helemaal zuiver is dit natuurlijk niet, omdat de bereidingswijze per set niet dezelfde zijn, maar die variatie zit ook in de overall data sets gebruikt voor dit soort relaties in het verleden. Op termijn kunnen we mogelijk ook invloed van de wijze van mengen en verdichten opnemen in dit soort voorspellende relaties voor de eigenschappen.

## 2 Materialen

In deze eerste fase van het NL-LAB programma wordt gekeken naar asfaltbeton (AC) mengsels. De eigenschappen die worden bepaald zijn de stijfheid, weerstand tegen vermoeiing, weerstand tegen permanente vervorming en de watergevoeligheid. De beproeving vindt plaats volgens Proef 62 (CROW, 2010), eerst op proefstukken gemengd en verdicht in het lab, op proefstukken gemengd in de molen en verdicht in het lab en op proefstukken uit de weg. De materialen in de eerste twee projecten hadden een samenstelling en eigenschappen zoals opgenomen in Figuur 4.

## 3 Analyse indirecte treksterkte

De relatie tussen de indirecte treksterkte en de mengselsamenstelling uit de MEPDG is als volgt:

$$ITS = 7416,712 - 114,016 * V_a - 0,304 * V_a^2 - 122,592 * VFA + 0,704 * VFA^2 + 405,71 * \log(Pen_{77}) - 2039,296 * \log(A) \quad (1)$$

Met:

$ITS$  = Indirect Trek Sterkte in psi by  $-10^\circ\text{C}$ ;

$V_a$  = holle ruimte (%);

$VFA$  = poriën gevuld met bitumen (%);

$Pen_{77}$  = penetratie van de bitumen bij  $77^\circ\text{F}$  ( $=25^\circ\text{C}$ ) in (mm/10);

$A_{pen}$  = helling van de penetratie-temperatuur relatie volgens:  $\log(A_{pen}) = (\log(\text{pen}) - \log(800)) / (25 - T_{r\&k})$

Deze gegevens zijn allen ook in de CEN normen aanwezig, zij het soms bepaald onder andere condities. Voor de analyse is er gebruik gemaakt van de indirecte treksterkte volgens EN 12697-23, holle ruimte volgens EN 12697-?, VFA heet in CEN VFB en is bepaald volgens EN12697-8, penetratie volgens verkregen uit het bitumen onderzoek van NL-LAB en  $\log(A)$  berekend volgens de hierboven weergegeven formule. Doordat de variabelen en de mengsels wat anders zijn, zoals een ITS in spi in plaats van kPa of MPa, zullen de coëfficiënten uit de Amerikaanse relatie niet zomaar opgaan. De relatie wordt daarom veralgemeniseerd en vervolgens gefit op de proefresultaten.

$$ITS = A_1 + A_2 * V_a + A_3 * V_a^2 + A_4 * VFA + A_5 * VFA^2 + A_6 * \log(Pen77) + A_7 * \log(A) \quad (2)$$

Met  $A_1$  tot en met  $A_7$  de te bepalen coëfficiënten. Overigens is er geen enkele fysische reden om zowel de holle ruimte als de holle ruimte gevuld met bitumen er lineair en kwadratisch in te hebben zitten. Dit laat zien dat de

relatie een typische lineaire regressie relatie is, gevonden op grond van een data set en met een soortgelijke analyse als in deze bijdrage wordt gedaan. Als de variabele bijdraagt aan een betere fit, wordt hij meegenomen in de relatie. Er zit geen diepere chemische of fysische analyse achter. De formule is gebruikt om een ITS waarde te voorspellen die zo dicht mogelijk bij de werkelijke waarde lag, gebruik makend van de proefstukgegevens uit Tabel 1.

<b>PROJECT:</b>		<b>N345</b>	<b>A4</b>
<b>Materiaal ID</b>	N345		A4
mengsel type (EN13108-1)	AC 22 Base 35/50, 60% pr		AC 22 Base
mengsels code	167163/267163		251
data type test rapport:	9-9-2011		23-11-2012
Rapportnummer typetest:	035-11		K FEC 2.0 APRR Platen
<b>Grondstoffen</b>	<b>% "IN" 100% massa</b>		<b>% "IN" 100% massa</b>
Bestone 8/11	14,92	<b>steen</b>	Noors Graniet 8/16
			10,0
Bestone 16/22	8,93		Noors Graniet 16/22
			4,3
			ECO-gravel 8/16
			9,6
grof zand	13,17	<b>zand</b>	ECO-sand
			21,6
eigen stof	1,22	<b>vulstof</b>	eigen stof
			2,3
breek asfalt AC 0/20	60	<b>PR</b>	breek asfalt AC 0/20
			25,4
			frees asfalt
			25,2
70/100	1,76	<b>bitumen</b>	70/100
			1,6
uit PR	2,64		uit PR
			2,4
<b>SAMENSTELLING</b>	<b>mengsel samenstelling (% door zeef)</b>		
C22.4	100		C22.4
			100,0
C16	91		C16
			94,4
C11.2	84		C11.2
			77,4
C8	71		C8
			61,2
C5.6	58		C5.6
			51,4
2 mm	47		2 mm
			40,5
63 µm	6,9		63 µm
			6,6
vulstof	6,6		vulstof
			6,6
bitumen (in)	4,3		bitumen (in)
			4,0
<b>FUNCTIONELE EIGENSCHAPPEN</b>			
holle ruimte	3,3%	[%]	holle ruimte
			4,5
mengseldichtheid	2473	[kg/m <sup>3</sup> ]	mengseldichtheid
			2492
proefstuk dichtheid	2375	[kg/m <sup>3</sup> ]	proefstuk dichtheid
			2383,66
streefdichtheid	2381	[kg/m <sup>3</sup> ]	streefdichtheid
			2370
watergevoeligheid	86	[%]	watergevoeligheid
			96
stijfheid	9363	[MPa]	stijfheid
			9397
weerstand tegen permanente vervorming	0,03	[µm/m/s]	weerstand tegen permanente vervorming
			0,10
weerstand tegen vermoeiing	101	[µm/m]	weerstand tegen vermoeiing
			91

**Figuur 4: Materiaal eigenschappen AC mengsels gebruikt in deze analyse (getallen uit de lab-lab TT sheet, proefstukdichtheid gemiddelde van alle gerapporteerde proefstukken)**

Zowel voor de gehele dataset als voor de deelsets (lab, molen en weg) geeft de relatie goede resultaten ( $R^2$  groter dan 0,8), terwijl de coëfficiënten tussen de verschillende set behoorlijk verschuiven (Tabel 2). Op zich had de analyse hier afgesloten kunnen worden, maar er zijn ook nog andere data sets geprobeerd, door parameters weg te laten en parameters te vervangen. Twee van de alternatieve formules worden hier getoond, een waarbij  $\log(A)$  is weg gelaten en een waarbij

VFA en  $VFA^2$  vervangen zijn door de proefstukdichtheid. De formules zijn hieronder getoond en de resultaten zijn opgenomen in Tabel 2 en voor de totale data set Figuur 5. Hieruit blijkt dat het voor de fit niet veel uitmaakt welke relatie gebruikt worden, allen beschrijven de ITS goed.

ITS Parameter set 1:

$$ITS = 22.383 + 2.740 * V_a - 0.294 * V_a^2 - 0.705 * VFA + 0.006 * VFA^2 - 3.022 * \log(Pen) + 0.897 * \log(A) \quad (3)$$

ITS Parameter set 2:

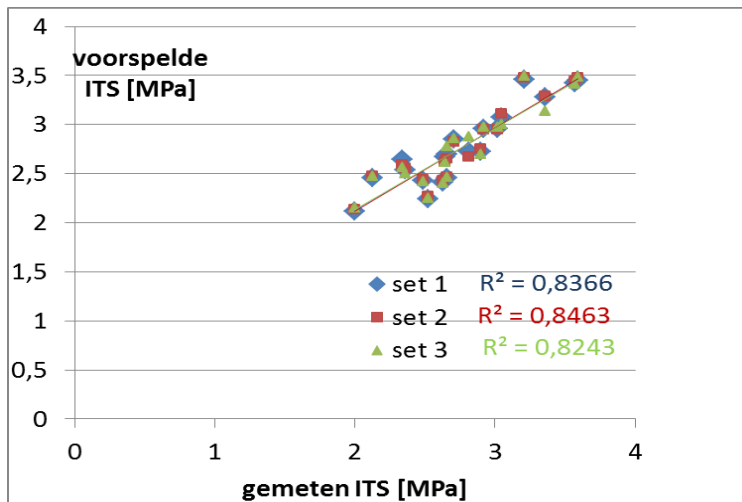
$$ITS = 17.624 + 2.672 * V_a - 0.279 * V_a^2 - 0.633 * VFA + 0.005 * VFA^2 - 2.655 * \log(Pen) \quad (4)$$

ITS Parameter set 3:

$$ITS = 26.937 - 0.107 * V_a - 0.055 * V_a^2 - 2.846 * \log(Pen) - 8.016 * Density \quad (5)$$

serie	locatie	Proefstuk ID	ITS MPa	Va %	proefstk kg/m3	Vb %	pen x0,1 mm	TR&K oC	VFA %	log(A) -
A4	lab	K12418o	2	4,5	2379	4,0	27	58,8	67,232	-1,361
A4	lab	K12419b	2,13	3,7	2400	4,0	27	58,8	71,791	-1,361
A4	lab	K12420o	2,52	4,3	2385	4,0	27	58,8	68,446	-1,361
A4	lab	K12421b	2,66	3,7	2399	4,0	27	58,8	71,642	-1,361
A4	molen	K12368-B	2,63	4,3	2373	4,3	24	60	69,478	-1,361
A4	molen	K12369-B	2,49	4,3	2374	4,3	24	60	69,616	-1,361
A4	molen	K12370-A	2,36	4,1	2379	4,3	24	60	70,784	-1,361
A4	molen	K12371-A	2,9	3,5	2393	4,3	24	60	73,888	-1,361
A4	weg	K121654	2,64	3,2	2403	4,2	27	58,6	75,204	-1,359
A4	weg	K121657	2,34	3,4	2399	4,2	27	58,6	74,168	-1,359
A4	weg	K121663	2,81	2,3	2427	4,2	27	58,6	81,339	-1,359
N354	lab	33932	3,21	3,0	2399	4,3	15	76,2	76,910	-1,472
N354	lab	33928	3,59	3,0	2398	4,3	15	76,2	76,703	-1,472
N354	lab	33934	3,57	3,3	2392	4,3	15	76,2	75,398	-1,472
N354	molen	33842	2,71	4,6	2384	4,5	16	71	69,558	-1,433
N354	molen	33843	2,66	4,7	2380	4,5	16	71	68,668	-1,433
N354	molen	33851	3,36	3,8	2402	4,5	16	71	73,284	-1,433
N354	weg	34026	2,92	0,9	2444	4,4	30	56,2	92,275	-1,340
N354	weg	24027	3,02	0,9	2445	4,4	30	56,2	92,343	-1,340
N354	weg	34029	3,05	0,6	2451	4,4	30	56,2	94,366	-1,340

**Tabel 1: Proefstukgegevens ITS**



**Figuur 5: Totale data set ITS met de fit door de drie relaties**

	set1			
	lab	plant	road	total
const	39,03956	227,5183	77,97035	18,71449
va	10,72264	5,505595	7,400545	4,050552
va <sup>2</sup>	-1,40992	-0,63333	-1,1625	-0,47065
VFA	-1,86212	-6,9438	-2,591	-0,90854
VFA <sup>2</sup>	0,01272	0,049901	0,017831	0,007317
log(pen)	-1,91544	-0,2941	-0,97184	-1,26151
log(A)	-10,1984	-3,6349	-6,04001	-3,32636
density				
R2	0,84	0,84	0,94	0,84
	set2			
	lab	plant	road	total
const	428,0043	367,0948	134,442	41,61364
va	26,38832	13,83297	4,77705	3,80166
va <sup>2</sup>	-3,79855	-1,38791	-1,09966	-0,49967
VFA	-12,3768	-11,7752	-3,27534	-1,22407
VFA <sup>2</sup>	0,082965	0,086626	0,019922	0,008919
log(pen)	-7,22066	1,108779	-1,51167	-3,114
log(A)				
density				
R2	0,85	0,85	0,94	0,85
	set 3			
	lab	plant	road	total
const	-2,05232	7,001622	10,1445	7,632496
va	6,602419	0,535147	-0,1552	-0,03856
va <sup>2</sup>	-0,84451	-0,14204	-0,03254	-0,04146
VFA				
VFA <sup>2</sup>				
log(pen)	-6,09508	-3,09226	-4,78509	-3,13028
log(A)				
density	0,000139	1,36E-05	2,59E-05	1,33E-05
R2	0,82	0,82	0,91	0,82

**Tabel 2: Resultaten fitten ITS relatie**



#### 4 Analyse triaxiaalproef

Voor de triaxiaal data is een zelfde benadering gevolgd, maar dit is wat complexer omdat het niet om een maar twee te fitten parameters gaat. De relatie voor de permanente deformatie in de MEPDG is:

$$\frac{\varepsilon(t)}{\sigma} = D_1 \cdot t^m \quad (6)$$

Dit is een logaritmische omschrijving. De triaxiaalnorm (EN 12697-25) biedt de ruimte om de triaxiaal data logaritmisch of linear te fitten. In Nederland is de lineaire fit, beschreven door de helling  $f_c$  gebruikelijk. In de NL-LAB projecten worden ook de andere parameters gerapporteerd en vanwege de aansluiting bij de Amerikaanse formulering is hier gebruik gemaakt van de logaritmische fit:

$$\varepsilon(N) = A \cdot N^B \rightarrow \log(\varepsilon(N)) = \log A + B \log(N) \quad (7)$$

Door ook de Amerikaanse uitdrukking om te schrijven wordt de volgende uitdrukking gekregen:

$$\log(\varepsilon(t)) = \log(\sigma) + \log(D_1) + m \cdot \log(t) \quad (8)$$

Uit deze relaties blijkt dat de Amerikaanse relatie, gebaseerd op een kruipproef, gekoppeld is aan de tijd, de CEN relatie gaat uit van het aantal lastherhalingen. Aangezien het CEN signaal zich elke seconde herhaalt, is er een relatie aangenomen waarbij  $N=1s$ .

In vergelijking (8) staat ook het spanningsniveau waarbij de proef is uitgevoerd. Er is aangenomen dat dit in het geval van de CEN proef de maximale spanning is.  $\sigma = \sigma_{a,max}$  Deze is bekend en kan in de analyse worden mee genomen. Voor de hier beproefde materialen, alle tussen- en onderlaag mengsels, komt dit neer op een constante.

Gelijkstellen van (7) en (8) en invullen van de hierboven genoemde aannames geeft:

$$\log(\varepsilon(t)) = \log A + B \log(t) = \log(\sigma_{a,max}) + \log(D_1) + m \cdot \log(t) \quad (9)$$

En daarmee:

$$\log(D_1) + \log(\sigma_{a,max}) = \log(A) \quad (10)$$

$$m = B \quad (11)$$

Zowel voor  $\log(D_1)$  als voor  $m$  zijn er regressie relaties:

$$\log(D_1) = \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot \log(V_a) + \beta_3 \cdot \log(VFA) + \beta_4 \cdot \log A_{pen} \quad (12)$$

met:

$T$  = Test temperatuulle ruimte (°F);

$V_a$  = holle ruimte (%);

$VFA$  = holle ruimte gevuld met bitumen (%)

$A_{pen}$  = helling van de penetratie – temperatuur relatie helling van de penetratie-temperatuur relatie volgens:  $\log(A_{pen}) = (\log(\text{pen}) - \log(800)) / (25 - \text{Tr\&k})$

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  = coëfficiënten

$$m = \vartheta_0 + \vartheta_1 \cdot T + \vartheta_2 \cdot V_a + \vartheta_3 \cdot VFA + \vartheta_4 \cdot Pen_{77} + \vartheta_5 \cdot Pen_{77}^\alpha \cdot T \quad (13)$$

where:

$Pen_{77}$  = Penetration at 77 °F/ 25°C;

$\vartheta_0, \vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \vartheta_4, \vartheta_5$  = coëfficiënten

De laatste term in vergelijking (13) vereist niet lineaire regressie. Dat is een complicatie ten opzichte van lineaire regressie die met algemeen beschikbare software makkelijk uitgevoerd kan worden en daarom is deze term niet mee genomen in de analyse. Verder is er, net als voor de indirecte treksterkte ook hier gevarieerd door variabelen toe te voegen en weg te laten, vanwege de ruimte wordt alleen een overzicht van de gebruikte variabelen en de daarmee bereikte kwaliteit van de fit voor A gegeven (Tabel 3). Van de meest geschikte data set zijn de constanten opgenomen in Tabel 4 en is de fit ook grafisch weergegeven (Figuur 1), voor zowel de complete data set als voor de data voor proefstukken uit het lab, van de molen en uit de weg.

$$\log A = \beta_0 + \beta_1 \cdot T + \beta_2 \cdot \log V_a + \beta_3 \cdot \log VFA + \beta_4 \cdot \log(Apen(T)) + \beta_5 \cdot Density + \beta_6 \cdot (Pen_{77} \cdot R\&B) + \beta_7 \cdot bitumen\% + \beta_8 \cdot Pen_{77} + \sigma_{a,max} \quad (14)$$

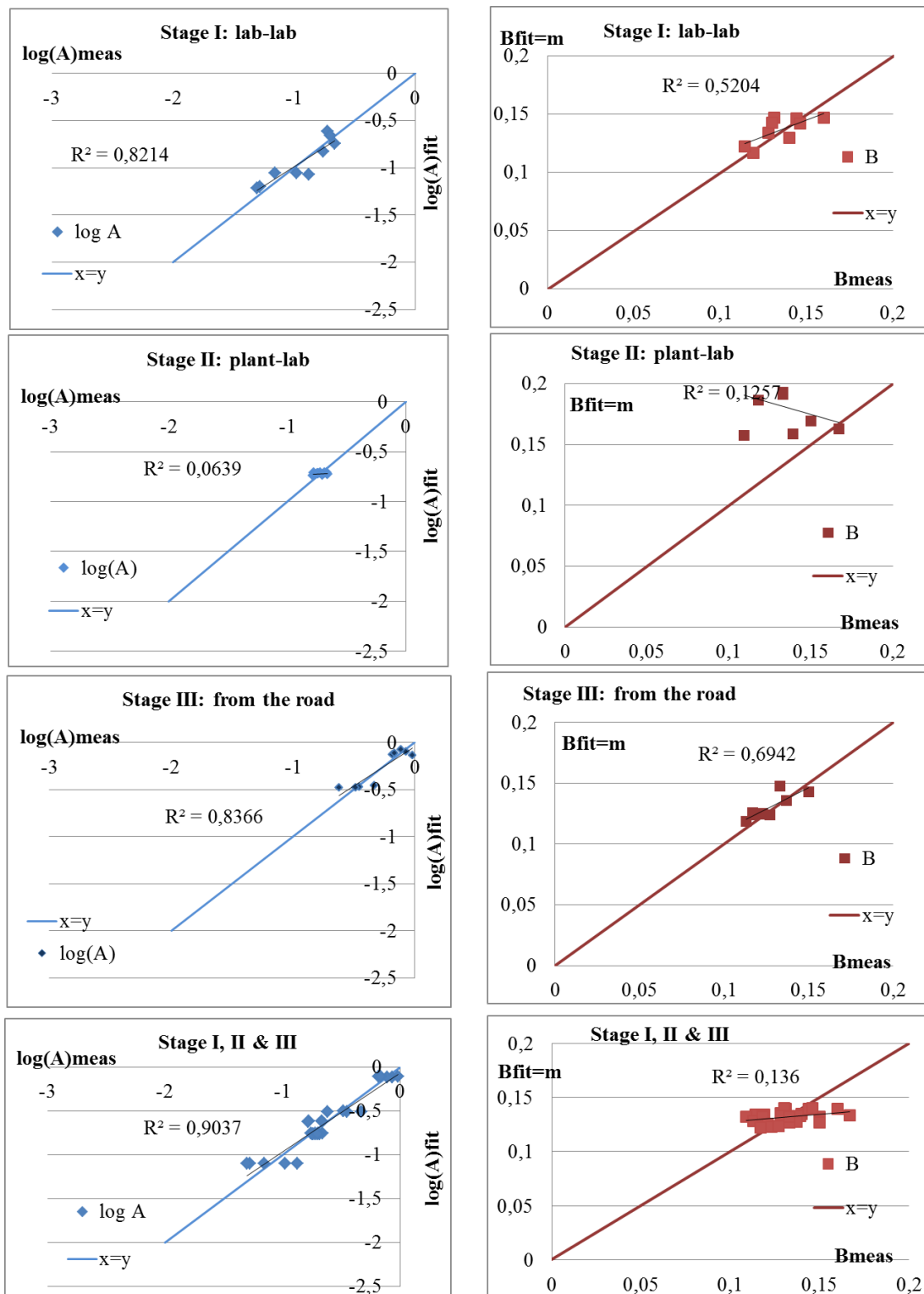
$$m = \vartheta_0 + \vartheta_1 \cdot V_a + \vartheta_2 \cdot VFA + \vartheta_3 \cdot Pen_{77} + \vartheta_4 \cdot Density + \vartheta_5 \cdot (Pen_{77} \cdot R\&B) + \vartheta_6 \cdot bitumen\% \quad (15)$$

parameter set	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
constant	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y
Ttriax	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	N	N
logVa	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
log VFA	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Log (Apen/T)	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N
density	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N
Tr&k*pen	N	N	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	N
Vb	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
pen77	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N
R2	0,795	0,819	0,869	0,925	<b>0,904</b>	0,910	0,921	0,610	0,903	0,905	0,549
n=	4	5	6	7	4	6	6	5	6	5	4

Tabel 3: Overzicht van gefitte parameter sets en de kwaliteit van die fit voor log(A)

TCCT Parameter set 5					
parameter	coefficient	STAGE I	STAGE II	STAGE III	all data
constant	$\beta_0$	0,655	0.7452	0.2595	-7.5498
logVa	$\beta_2$	3.1287	0.3691	-0.2121	0.05195
Vb	$\beta_7$	-0.6048	-0.2716	-0.9957	1.36917
Pen77	$\beta_8$	-0.0226	-0,0083	0.1449	0.05883
R2		0.8214	0.0639	0.8366	0.90372
constant	$\vartheta_0$	-0.5412	0.364851	-1.1565	0.13136
Va	$\vartheta_1$	0.0841	0.957419	0.161416	0.01465
VFA	$\vartheta_2$	0.0114	0.184365	0.019319	0,00252
Pen77	$\vartheta_3$	-0.0044	-0.0951	0.024639	-0.0013
Vb	$\vartheta_6$	-0.0882	-3.5176	-0.3142	-0.049
R^2		0.5307	0.3605	0.7173	0.14073

Tabel 4: Overzicht geselecteerde parameter set voor zowel log(A) als B



Figuur 6: Gemeten en gefitte waarden voor  $\log(A)$  en  $B$

Zoals uit de figuren en tabel blijkt, is de fit voor  $\log(A)$  goed, terwijl die voor  $B$  slecht is. Dat geldt voor alle relaties en is vermoedelijk de verklaring voor de niet-lineaire term in de originele relatie voor  $m$  in de MEPDG (vergelijking (13)). Als er meer triaxiaal en mengseldata beschikbaar komen, moet naar de fit voor  $B$  nog een keer goed gekeken worden.

## 5 Conclusies en Aanbevelingen

Het voorspellen van de resultaten van de indirecte trekproef en de triaxiaalproef, met name de indirecte trekssterkte en intercept van de logaritmische fit op de kruiprek ( $\log(A)$ ), op grond van de mengselsamenstelling gaat heel goed. Voor de ITS kan dezelfde relatie gebruikt worden als in de VS gebeurd, maar met de coëfficiënten bepaald op Nederlandse mengsels. Voor de triaxiaalproef zijn enige aanpassingen nodig en zeker voor de macht in de relatie lijkt een niet-lineaire uitdrukking nodig.

Als de gefitte eigenschappen helemaal door de mengselsamenstelling bepaald zouden worden, zou er niet of nauwelijks verschil moeten zijn tussen de coëfficiënten gevonden voor de gehele data set en die op de sub-sets van proefstukken uit de weg, van de molen en uit het lab. In werkelijkheid verschillen de coëfficiënten aanzienlijk, hoewel de overall fit de totale dataset goed beschrijft. Door de verschillen in meng- en verdichtingswijze bij te houden in het NL-LAB programma, kunnen deze invloeden in de toekomst mogelijk ook in de fit worden meegenomen.

In dit geval zijn de relaties alleen nog maar gefit op de beschikbare data, er is geen voorspelling vooraf gedaan. Bovendien is de data set met twee mengsels nog erg beperkt. Het verdient dan ook aanbeveling om deze relaties te gebruiken om voor komende LN-LAB projecten de ITS en TCCT resultaten te voorspellen en vervolgens de relaties te verbeteren door deze opnieuw te fitten met een grotere data set.

## 6 Literatuur

Bennis, Thijs en Hofman, Rob, “Eindrapportage IPG wegdekken –Monitoring”, Rapportnummer DVS-2008-046, Juli 2008

BONNAURE, F., GEST, G., GRAVOIS, A. & UGE, P., “*A new method of predicting the stiffness of asphalt paving mixtures*”, Association of Asphalt Paving Technologists, 46, 64-104, 1977

BONNAURE, F., GRAVOIS, A. & UDRON, J. “*A new method for predicting the fatigue life of bituminous mixes*” Association of Asphalt Paving Technologists, vol 49, pp. 499-529, 1980

CROW, “Standaard RAW bepalingen 2010”, 2010

Erkens, Sandra en Vliet, Dave van, “De meerwaarde van structureel, langjarig bemonsteren”, bijdrage ingediend voor de CROW InfraDagen 2014a

Sandra Erkens, Jan Stigter, Berwich Sluer, Radjan Khedoe, Alex van de Wall en Arian de Bondt, “*NL-LAB: onderzoek naar de voorspellende waarde van proef 62*”, bijdrage ingediend voor de CROW InfraDagen 2014b

Florio, E. , Berti C., Kasbergen, C., Villani M., Scarpas, A, Erkens, S.M.J.G., Sangiorgi, C. and Lantieri, C., “*COMBINING THE AMERICAN AND EUROPEAN MIX DESIGN APPROACHES: utilization of NCHRP performance indicators for analysis of CEN-test results*”, Annual meeting Transportation Research Board, Washington, USA, January 2014

Florio, E. , Berti, C., Kasbergen, C., Villani, M., Scarpas, A, Erkens, S.M.J.G., Sangiorgi, C. and Lantieri, C., “*COMBINING THE AMERICAN AND EUROPEAN MIX DESIGN APPROACHES:utilization of NCHRP performance indicators for analysis of CEN-test results*”, Transportation Research Record – Journal of the Transportation Research Board, 2014 (accepted for publication)

P.C. Hopman , H.C. Bakker, R.C.J. van den Ban, H. van den Beld, G.G. van Bochove, J.H. Dijkink, J.P.J. van der Heide, J.M.M. Molenaar, J.M.L. Smit, r.ir. G.T.H. Sweere, C.P. Valkering, F. van Gorkum, “OP WEG NAAR EEN FUNCTIONELE ONTWERP,METHODE VOOR ASFALTMENGSELS”, Eindrapport van de C.R.O.W. werkgroep Asfalttechnologie, TU Delft rapportnummer 7-94-5 10- 10, ISSN: b169-9288, November 1994

Berwich Sluer, André Bakker en Hans Verkuil, “*NL-LAB: onderzoek naar de voorspellende waarde van proef 62:de data*”, bijdrage ingediend voor de CROW InfraDagen 2014

Mookhoek, Steven D. en Erkens, Sandra M.J.G., “*NL-LAB eerste resultaten op basis van typeonderzoek (RAW proef 62) en bindmiddel onderzoek voor asfaltbeton*”, bijdrage ingediend voor de CROW InfraDagen 2014

Transportation Research Board, “*Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, Final Report, Part 3, Design Analysis, Chapter 3 Design of New and Reconstructed Flexible Pavements*”, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Project 1-37A, March 2004