TU Delft

Delft University of Technology

NL-LAB: de relatie tussen eisen aan asfalt en prestaties in de weg

Erkens, Sandra; van Vliet, Dave; Stigter, J; Voskuilen, Jan

Publication date
2016

Published in
CROW InfraDagen 2016

Citation (APA)
Erkens, S., van Vliet, D., Stigter, J., & Voskuilen, J. (2016). NL-LAB: de relatie tussen eisen aan asfalt en prestaties in de weg. In *CROW InfraDagen 2016* (pp. 1-13) https://www.crow.nl/downloads/pdf/bijeenkomsten-congressen/2016/crow-infradagen/papers/43_nl_lab-_van-aanleg-naar-onderhoud-erkens-et-al.aspx

Important note
To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy
Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

This work is downloaded from Delft University of Technology.
For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to a maximum of 10.

NL-LAB: de relatie tussen eisen aan asfalt en prestaties in de weg

Sandra Erkens
Rijkswaterstaat en Technische Universiteit Delft

Dave van Vliet
TNO

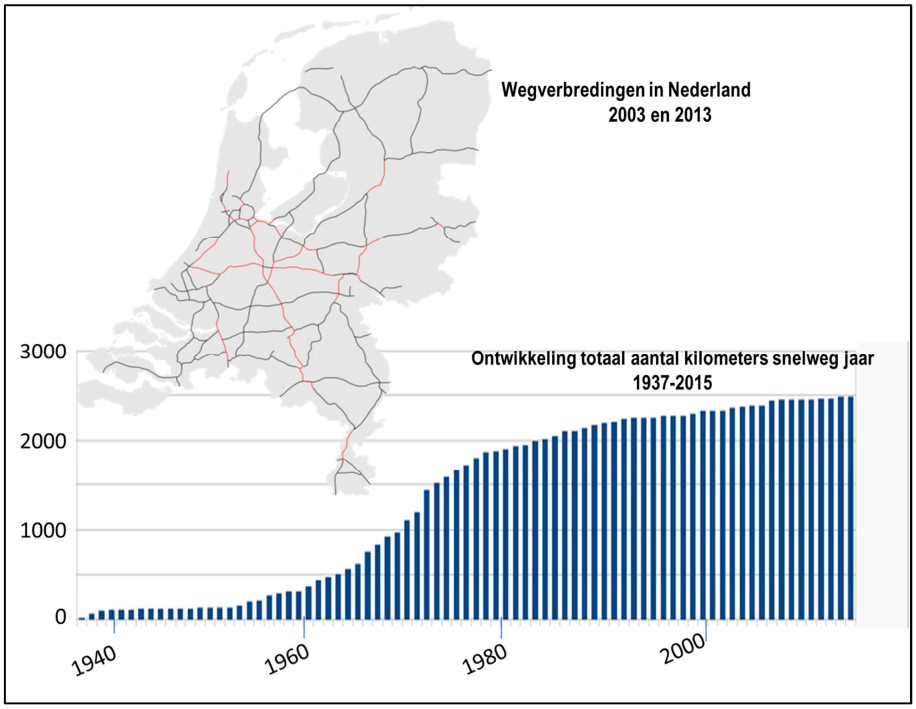
Jan Stigter
Boskalis

Jan Voskuilen
Rijkswaterstaat

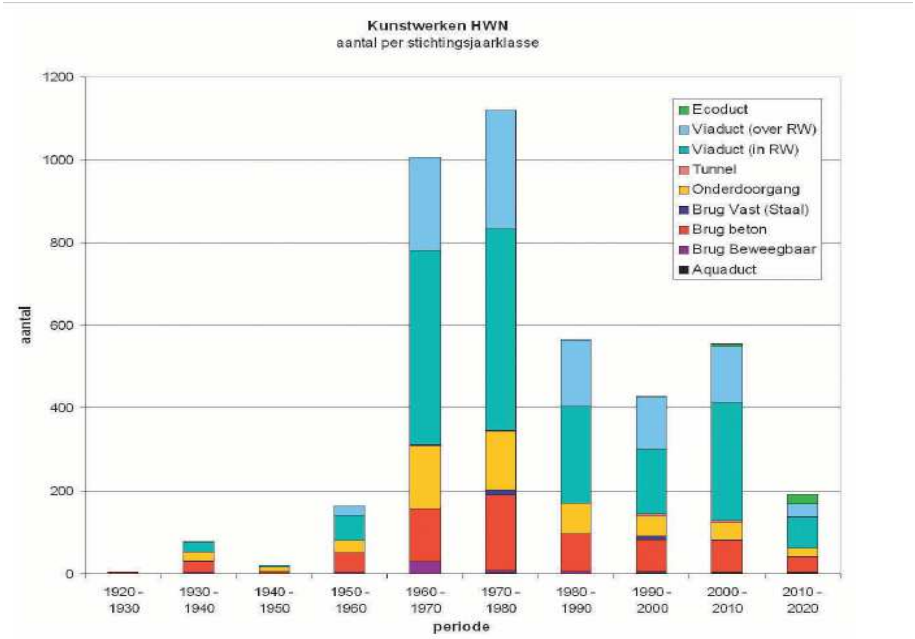
Samenvatting
Op dit moment is het beheer van infrastructuur meer gericht op onderhoud dan op aanleg, aangezien de netwerken min of meer compleet zijn. Vanwege de leeftijd van de infrastructuur en de financiële beperkingen werken veel beheerders aan het implementeren van asset management. Dat vraagt betrouwbare gegevens over de te verwachten levensduur en prestaties van materialen en technieken, om de juiste keuzes te maken voor een kosten effectief beheer. Juist die betrouwbare gegevens over de levensduur zijn lastig te verkrijgen. Verwachte levensduren zijn gebaseerd op ontwerplevensduren en ervaring. Dit is per definitie sturen op informatie uit het verleden. Door de altijd aanwezige variatie in de materialen en constructies in combinatie met de vele, steeds sneller optredende veranderingen in de gebruikte materialen (hergebruik, alternatieve materialen), weer (klimaatverandering, o.a. extreme neerslag) en verkeer (afname door crisis, nu toename, automatisch rijden) biedt die informatie geen garantie voor de huidige prestaties, laat staan voor de toekomst. In het NL-LAB programma wordt een referentiekader voor asfaltverhardingen opgebouwd. Dat kan gebruikt worden om veranderingen in prestaties tijdig te signaleren, eisen aan te passen en innovaties sneller te beoordelen. In de lopende projecten worden relaties tussen eigenschappen in het lab en in de weg en de prestatie in de tijd gekoppeld. Op dit moment lopen er vier projecten. In deze bijdrage worden de resultaten tot nu toe getoond en wordt inzichtelijk gemaakt hoe diepere analyse van gedetailleerde gegevens over de gebruikte materialen en de eigenschappen van het asfalt tot bruikbare relaties voor het voorspellen en volgen van de prestaties kunnen leiden.

1 Van aanleg naar onderhoud

Het beheer van infrastructuur is in Nederland, net als in de rest van de westerse wereld, de afgelopen decennia verschoven van aanleg naar beheer en onderhoud. Het grootste deel van de infrastructuur is aangelegd in tussen de jaren zestig en tachtig en dit is vervolgens in beperkter tempo uitgebreid (Figuur 1 en Figuur 2). De inzet in Figuur 1 laat ook zien dat de hoeveelheid asfalt nog wel steeds groeit, de laatste jaren met name door verbreding van bestaande wegen.



Figuur 1: Groei van het autosnelwegennet in Nederland (bron: http://www.wegenwiki.nl/Nederland & https://www.wegenwiki.nl/Wegverbreding, dd 20-1-2016)



Figuur 2: Aanleg kunstwerken in het hoofdwegennet in Nederland (Dalen, van et al, 2014)

Hetzelfde patroon geldt voor lokale infrastructuur en andere systemen als riolering, elektriciteitsnetten en waterleidingen. Het gevolg is dat grote delen van onze infrastructuur al meer dan vijftig jaar oud zijn. Die leeftijd in combinatie met veranderende en vaak zwaarder wordende gebruikseisen, betekent dat er een onderhoud en vervanging een steeds belangrijkere rol speelt in het beheer.

Die groeiende onderhoudsbehoefte in combinatie met de financiële crisis van afgelopen jaren leidt tot problemen voor beheerders (**Figuur 3**).

Nieuws Cultuur & Leven deVolkskrant

Archief

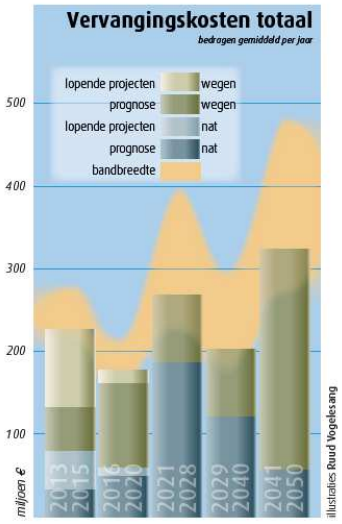
Operatie Stilstand: de Autobahn zit vol gaten

Duitsland, de dieselmotor van Europa, kampt met een enorme achterstand in het onderhoud van zijn infrastructuur. Ruim 100 miljard euro is er nodig om de wegen berijdbaar te houden. Hoe heeft de Duitse degelijkheid zo kunnen falen?

DOOR ROLF BOS FOTO'S DANIEL ROSENTHAL 4 januari 2014, 00:00

Figuur 3: Meer onderhoud in combinatie met financiële krapte speelt ook buiten Nederland

Dit speelt ook in Nederland, waar we zien dat beheerders de afgelopen jaren druk bezig zijn om assetmanagement systemen op te zetten waarmee ze op een zo kosteneffectief mogelijke manier de gewenste prestaties van hun infrastructuur willen realiseren. In eerste instantie is deze inzet gericht op de komende vervangingsopgave (Figuur 4). Een grote uitdaging daarbij is het bepalen van restlevensduren. De inschatting daarvan is veelal gebaseerd op de ontwerplevensduur en ervaring, maar de werkelijke levensduur vertoont grote spreiding. Dit is het gevolg van variaties in de gebruikte materialen, opgetreden belasting, het ontwerp en de uitvoering. Door detailonderzoek aan objecten kan een betere inschatting gemaakt worden, wat het mogelijk maakt de benodigde investeringen te spreiden in de tijd.



Figuur 4: Geraamde vervangingsopgave droge en natte infrastructuur in Nederland (Walta, 2015)

2 Relevantie voor wegverhardingen

Hoewel het falen van wegen minder plotseling gaat dan dat van bruggen en viaducten, heeft het een vergelijkbaar verstorend effect op de bereikbaarheid. Een voorbeeld is het bezwijken van de A32 bij Heereveen in 2008 (Erkens et al, 2010 en 2010b). In vervangings- en renovatieprogramma van Rijkswaterstaat worden verhardingen dan ook meegenomen.

Ook bij verhardingen zien we een variatie in levensduren en veranderingen in eisen en gebruikte materialen en technieken in de tijd. Dat was altijd al zo, van de overgang van stamp naar walsasfalt rond 1920-1930, via de aanpassing van de asfaltsamenstelling in de eisen ’78 en het gebruik van mijnsteen als fundering eind jaren zeventig, de opkomst van hergebruikt asfalt in asfalt en de invoer van ZOAB in de jaren tachtig en tweelaags ZOAB en ZOAB plus rond 2007 en 2010. En natuurlijk de Europese asfaltproeven en -normen rond 2008. Over het algemeen vonden die aanpassingen geleidelijk plaats, nadat praktijkvalidatie had plaatsgevonden. Doordat de veranderingen steeds sneller gaan, er veel veranderingen tegelijkertijd plaatsvinden, de contractuele verhoudingen veranderd zijn en de levensduur van verhardingen relatief lang is, is dat nu vaak niet meer mogelijk.

In een paar jaar tijd zijn we van een discussie over schaarste van olie naar overproductie gegaan, het klimaat verandert waardoor we met name met meer extreme weersomstandigheden te maken krijgen en na een dip tijdens de crisis neemt het verkeer weer snel toe en wordt er geëxperimenteerd met automatisch rijden. Al die veranderingen betekenen dat de variatie in de gebruikte materialen en de belasting van die materialen door weer en verkeer steeds meer toeneemt. Dat maakt de voorspelling van de (rest)levensduur en de voorspelbaarheid van onderhoud en daarvoor benodigde budgetten steeds lastiger.

Om te voorkomen dat onderhoud onvoorspelbaar wordt, is een referentiekader nodig en moeten we weten welke materialen en technieken waar zijn toegepast. Een manier om de prestaties van asfalt in de weg te koppelen aan de juiste eisen vooraf en om het gedrag van individuele wegen en materialen af te zetten tegen gemiddeld gedrag om een inschatting van de levensduur te kunnen geven. Wegbeheerders hebben dit nodig om hun onderhoudsbudgetten te beheersen en om hun assetmanagement systemen te voeden met realistische levensduren. Producenten en aannemers hebben het nodig om hun producten te kunnen vergelijken en optimaliseren en om een goede prijs-kwaliteit verhouding te bepalen.

NL-LAB, wat staat voor het Nederlandse Langjarig Asfalt Bemonsteringsprogramma, is een levend laboratorium dat dit mogelijk maakt. Door verschillende mengsels gebruikt in constructieprojecten door de tijd te beproeven wordt het mogelijk verbanden te leggen tussen eigenschappen en prestaties. Die verbanden vormen de basis voor prestatieeisen. Door dit voor langere tijd te doen, kunnen afwijkingen in prestaties worden gesignaleerd. Door het grote aantal variabelen en de natuurlijke spreiding in materiaaleigenschappen, weer en verkeer, moet er veel data gedurende lange tijd verzameld worden om verbanden te leggen. Die opzet is geïnspireerd door het Generation R programma (Figuur 5) waarmee het Erasmus Medisch Centrum tienduizend kinderen gedurende hun opgroeien volgt om relaties te kunnen leggen tussen de situatie tijdens de zwangerschap en de verdere ontwikkeling van kinderen. Net als Generation R zal ook NL-LAB jaren omspannen en veel verschillende data inwinnen en analyseren om tot bruikbare verbanden te komen.

Gezien de snelle parallelle ontwikkelingen in data analysetechnieken (big data) en ICT mogelijkheden (PIM, BIM) zullen de uit NL-LAB bepaalde relevante relaties in de loop der tijd leiden tot het opslaan van juist die gegevens in productie, uitvoering en gebruik van de weg, zodat analyses om de bestaande eisen te verifiëren en het gedrag van een weg te vergelijken met het gemiddelde gedrag standaard technieken worden in het beheren van wegen. Het resultaat van dergelijke analyses zorgt voor

reële levensduren als input voor assetmanagementsystemen en borgt een kosten effectief beheer van de Nederlandse weg infrastructuur.

Figuur 5: Het NL-LAB programma is geïnspireerd door het Generation R programma

3 Het NL-LAB programma tot nu toe

Het NL-LAB programma is gestart in 2012, toen er enige jaren ervaring met de Europese asfalt eisen waren en het besef ontstond dat de waargenomen trends niet altijd aansloten bij de ervaringen uit het verleden. Het programma is er in eerste instantie op gericht te verifiëren dat de huidige functionele proeven en eisen voor asfaltbetonmengsels een goede indicator zijn voor het gedrag in de praktijk. Daarnaast bied het een referentiekader voor het gedag van asfaltbeton dat gebruikt kan worden om trendbreuken te signaleren en om innovaties te beoordelen.

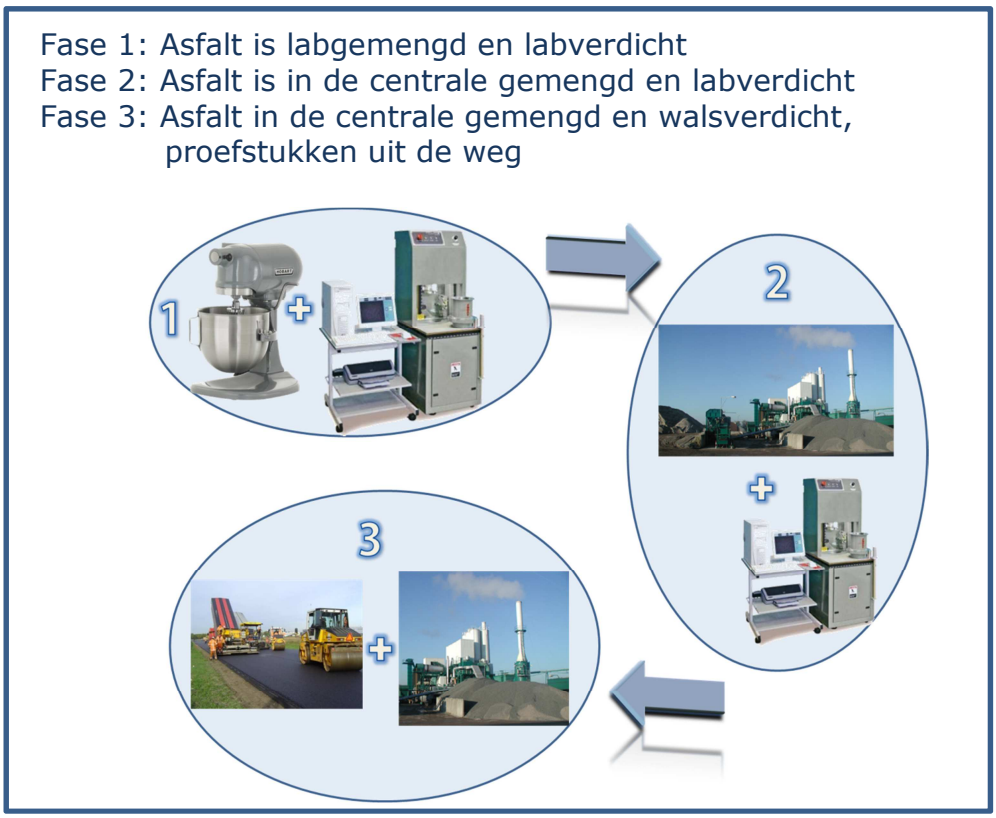
Er zijn tot nu toe vier uitvoeringsprojecten bemonsterd, van elk een AC bin/base mengsel met PR. Doordat data wordt ingewonnen op specifieke tijdstippen, de verschillende fasen per project heeft elk project een lange doorlooptijd. De relatie naar prestatie in de weg vraagt, door de relatief lange levensduur van tussen- en onderlaagmengsels, nog meer tijd.

Om de relatie met de praktijk en eventuele verschillen tussen de laboratorium Type Test en de praktijk te onderzoeken worden in de periode rond de aanleg zowel laboratoriumproefstukken als monsters uit de weg beproefd. In deze zin bouwt het voort op het FEC (Functionele Eisen in Contracten) project (VBW et al, 2010). Naast asfalteigenschappen, wordt ook het bitumen uit de monsters terug gewonnen en beproefd. Een overzicht van de verschillende fasen waarin gegevens worden ingewonnen is gegeven in Tabel 1, met aanvullende informatie in Figuur 6. Voor meer details over de opzet van het programma, de uit te voeren proeven, de eerste projecten en hun resultaten, wordt verwezen naar publicaties tijdens de vorige InfraDagen (Erkens et al., 2014 a, b en c, Sluer et al, 2014 en Mookhoek et al., 2014).

Tabel 1: Overzicht fasen per project

Projectcode:	Omschrijving	Wat
Fase 1*	Bij aanleg, lab-lab	Asfalt + bitumen onderzoek (verse bitumen en terug gewonnen)
Fase 2*	Bij aanleg, molen-lab	Asfalt en bitumen onderzoek (bitumen uit silo** en terug gewonnen)
Fase 3*	Bij aanleg, uit de weg	Asfalt en bitumen onderzoek
Fase 3b	ca 6 mnd na aanleg	Bitumen onderzoek
Fase 3c	ca 12 mnd na aanleg	Bitumen onderzoek
Fase 4	ca 2 jaar na aanleg	Asfalt en bitumen onderzoek
Fase 5	ca 6 jaar na aanleg	Asfalt en bitumen onderzoek

*(*voor uitleg van de betekenis lab-lab etc zie* Figuur 6, ***:bitumen uit silo toegevoegd na de eerste werken)*



Figuur 6: Proefstukken gemaakt met drie verschillende combinaties van lab en praktijkmenging en –verdichting

In de eerste twee werken zijn de proeven (deels) in twee verschillende laboratoria uitgevoerd. Dit geeft aanvullende informatie over het effect van verschillen in het mengen en verdichten van proefstukken of het uitvoeren van de proeven tussen laboratoria. Een overzicht van de uitvoering van de verschillende fasen is gegeven in Tabel 2. Zoals uit de tabel blijkt, is het doen van bitumen onderzoek binnen een half jaar na aanleg in de eerste vier projecten niet gebeurd, door een combinatie van

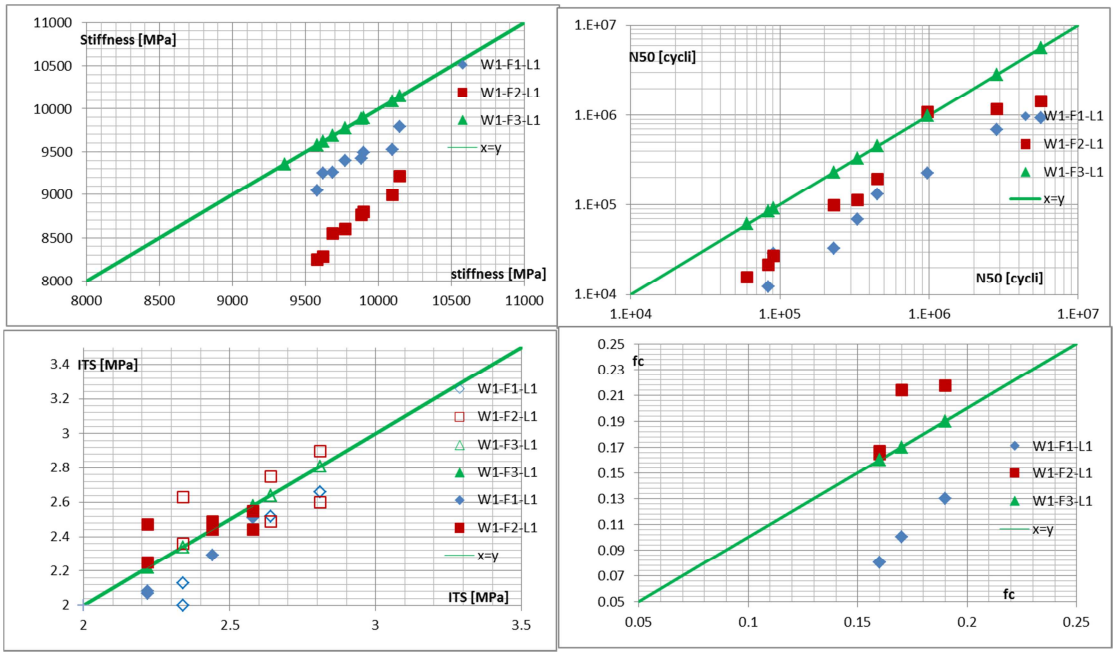
vertraging bij de overdracht van de monsters en het niet tijdig plannen van de vervolgonderzoeken. Gezien de ontwikkeling in eigenschappen, is het wel de bedoeling dat de komende projecten te doen. De voorbereidingen voor werk 5 (en 6) zijn inmiddels ver gevorderd. Deze nieuwe werken zijn vertraagd door een combinatie van factoren. Doordat het Fonds Collectieve Kennis het programma niet langer financiert, is het voor decentrale overheden lastig geworden projecten in te brengen, waardoor op dit moment met name RWS projecten en dus asfaltmengsels voor zwaar belaste verhardingen worden meegenomen. Het geselecteerde RWS project liep vervolgens vertraging op, waardoor ook de bemonstering voor NL-LAB is uitgesteld. De intentie is dit in 2016 deels te compenseren, door twee projecten te bemonsteren. Dit zullen wel beide RWS projecten zijn.

Tabel 2: Jaren van uitvoering van de verschillende fasen voor de huidige werken

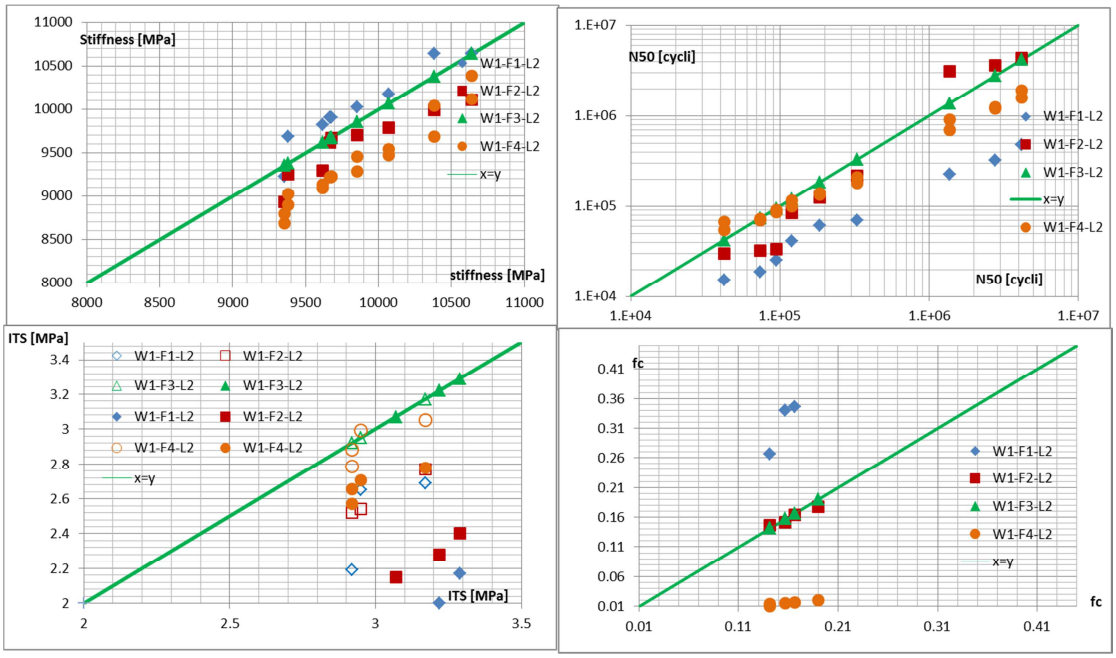
Fase \ Werk:	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**	**W5**
F1	2012	2012	2013	2013	2016*
F2	2012	2012	2013	2013	2016*
F3	2012	2012	2013	2013	2016*
F3b	2013	2013	2014	2014	2016
F3c	2013		2014	2014	2017
F4	2014		2015	2015	2018
F5	2018		2019	2019	2022
Legenda:					
uitgevoerd	Niet uitgevoerd	Geen monsters beschikbaar	In uitvoering	Nog uit te voeren	

4 Ervaringen tot nu toe

In Figuur 7 tot en met Figuur 11 zijn de resultaten van de asfaltproeven voor de vier werken uitgezet tegen de resultaten van elk werk in Fase 3 (monsters uit de weg), aangezien dat de eigenschappen zijn die voorspeld moeten worden omdat ze het gedrag in de praktijk bepalen. Als alle resultaten op of rond de x=y lijn liggen, is er geen verschil tussen die eigenschap in de verschillende fasen. Liggen de resultaten onder de lijn, dan is de betreffende eigenschap voor die fase lager/kleiner dan voor monsters uit de weg. Liggen ze hoger, dan is het net andersom. Liggen de waarden parallel aan de lijn, dan is de spreiding vergelijkbaar met die in de weg. Als de data steiler lopen dan de lijn, is de spreiding groter dan in de weg en ligt hij vlakker dan is de spreiding kleiner. Ook de onderlinge afstand van de datapunten geeft een indicatie van de variatie.



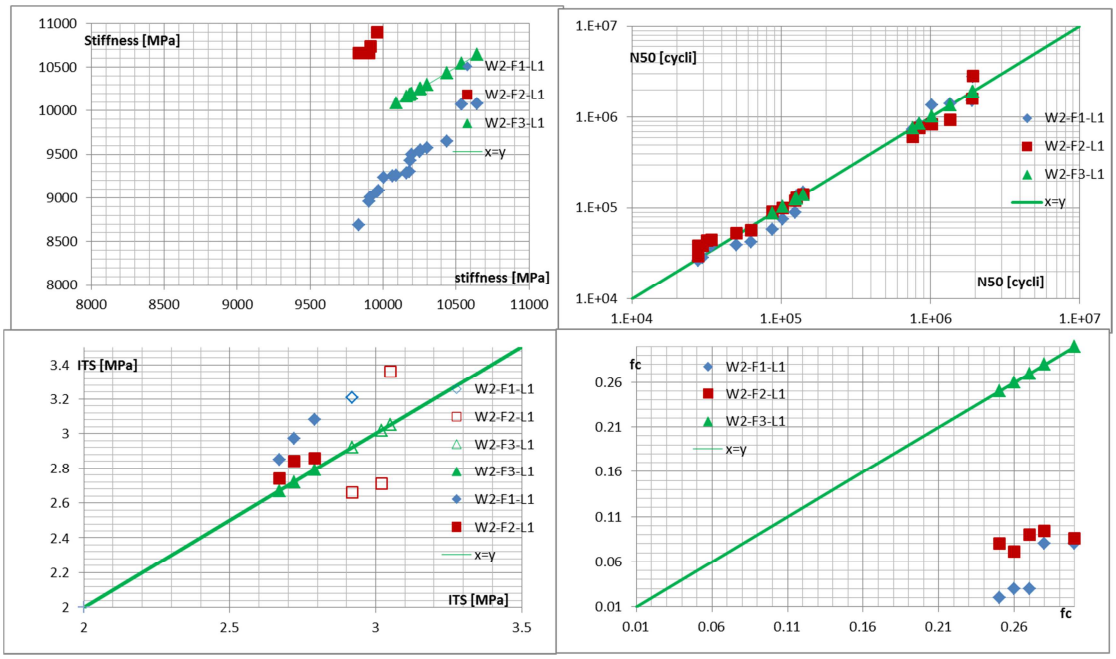
Figuur 7: Resultaten Werk 1, Lab 1 geplot per proef tegen de resultaten van F3



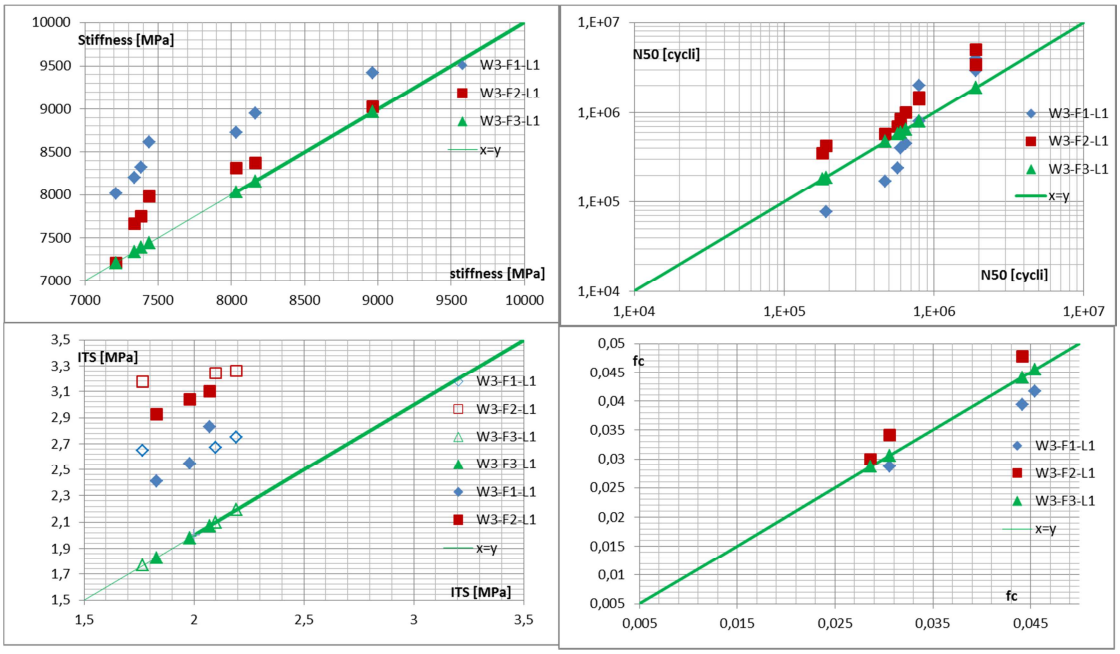
Figuur 8: Resultaten Werk 1, Lab 2 geplot per proef tegen de resultaten van

De resultaten laten zien dat er veel variatie is en dat de trend tussen F1, 2 en 3 tussen de laboratoria en ook binnen een lab voor de verschillende eigenschappen niet consistent is. Dat is ook logisch, als het om hele sterke of duidelijke relaties zou gaan, zouden deze uit eerdere onderzoeken al naar voren zijn gekomen.

Bij controle van een mengsel in de weg wordt gekeken naar de dichtheid en holle ruimte. De resultaten zijn daarom ook geplot als functie van de dichtheid van de proefstukken waarop elke waarde bepaald is, om te zien of dit de gevonden verschillen kan verklaren. Vanwege de ruimte is dat in deze publicatie alleen getoond voor W1-L2 (Figuur 12), omdat daar ook data uit F4 van beschikbaar zijn. De nadere analyse voor alle werken wordt in 2016 ook gepubliceerd.

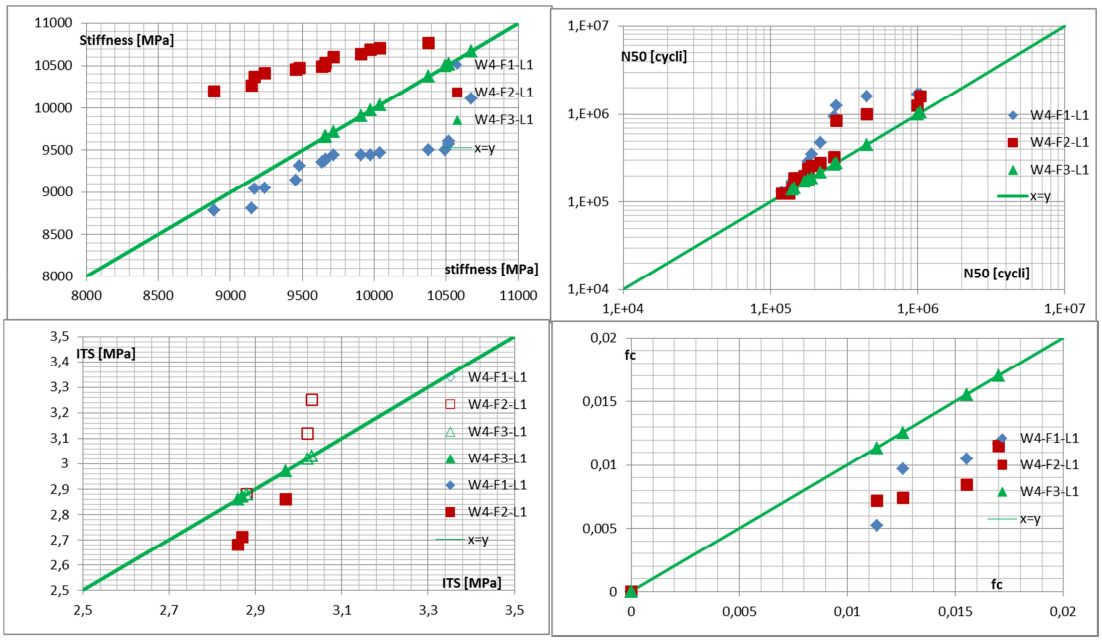


Figuur 9: Resultaten Werk 2, Lab 1 geplot per proef tegen de resultaten van F3



Figuur 10: Resultaten Werk 3 geplot per proef tegen de resultaten van F3

In Figuur 12 zijn voor werk 1, lab 2 de resultaten geplot als functie van de dichtheid van de proefstukken. De dichtheid van de proefstukken uit de weg (F3) is hoger dan die van de laboratorium verdichte proefstukken (F1 & F2). De tweede set proeven op monsters uit de weg (Fase 4, uitgevoerd circa 2 jaar na aanleg) laat ook een hogere dichtheid zien, maar minder extreem dan de monsters die direct na aanleg beproefd zijn. De platen waaruit de monsters voor de beproeving na twee en zes jaar worden gehaald zijn circa een jaar na aanleg genomen, dicht bij de plek waar de oorspronkelijke monsters zijn genomen, zodat ze uit dezelfde batch komen. De weg lag gedurende die tijd nog niet onder verkeer, dus er heeft geen beschadiging door verkeer plaats gevonden. Het verschil in dichtheid tussen F3 en F4 is dus de normale variatie zoals deze in de weg optreed.

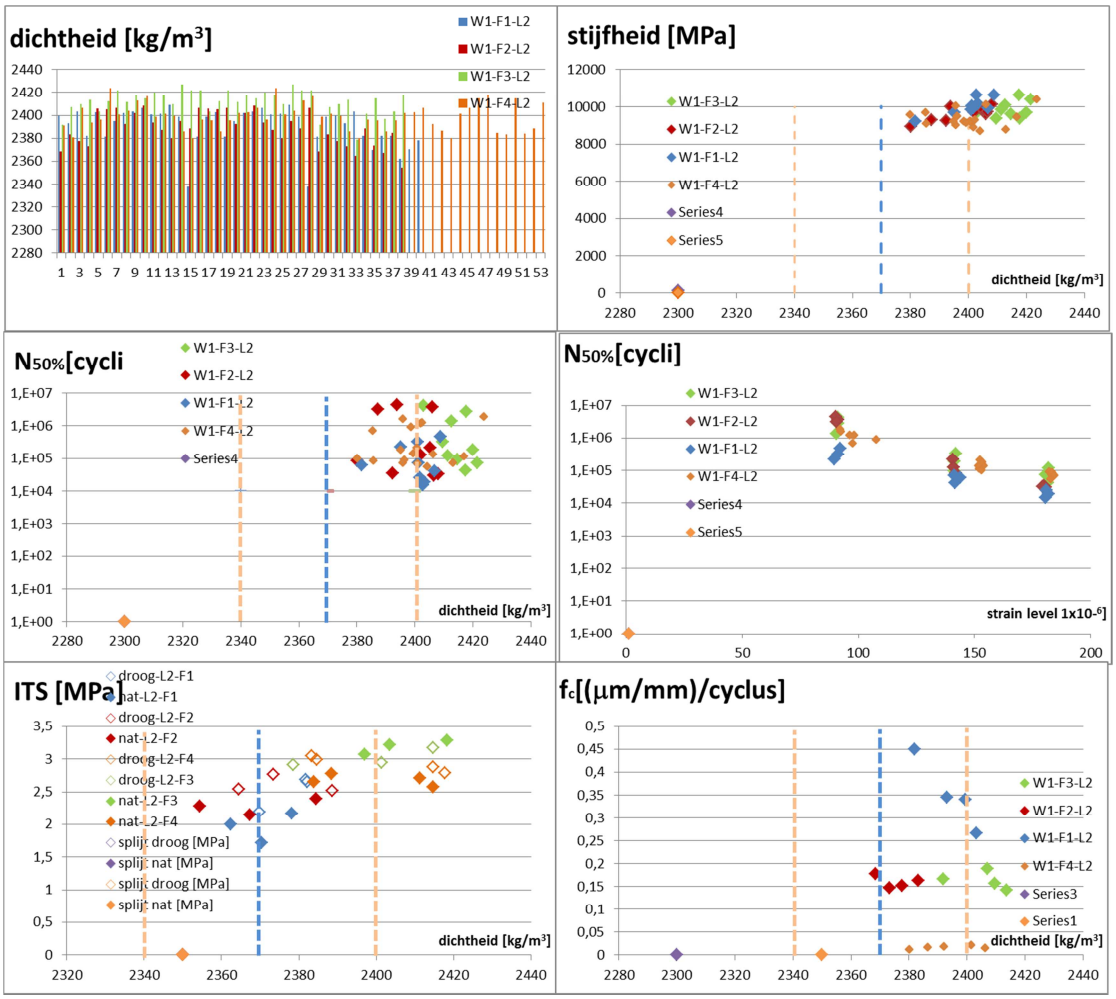


Figuur 11: Resultaten Werk 4 geplot per proef tegen de resultaten van F3

Uit de figuur is te zien dat sommige eigenschappen, zoals de stijfheid en de indirecte treksterkte, een relatie met de dichtheid lijken te vertonen. Voor anderen, zoals de weerstand tegen permanente vervorming, is die relatie er in deze data helemaal niet.

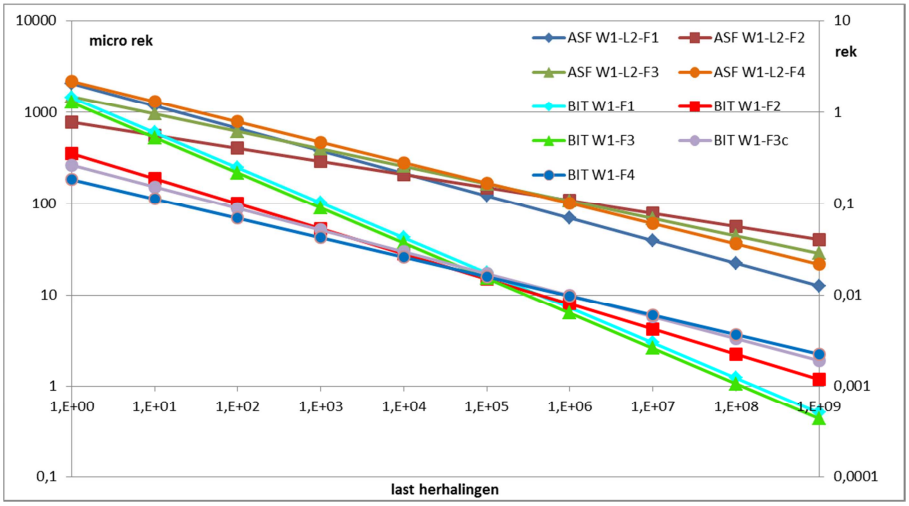
Kijkend naar de resultaten voor de individuele eigenschappen, liggen voor de stijfheid de labwaarden (F1) hoger dan de rest van de datasets, voor vermoeiing liggen ze lager. Het lijkt erop dat in deze set de lab vervaardiging tot brosser gedrag (hogere stijfheid, minder hoge vermoeiingsweerstand) leidt.
De stijfheid lijkt in de tijd niet op te lopen, de data van de monsters die ongeveer twee jaar na aanleg beproefd zijn liggen lager dan de die voor de monsters uit de weg die direct na aanleg beproefd zijn.
In de watergevoeligheidsproef is de lagere sterkte na conditionering goed zichtbaar. Voor de droge sterkte liggen de sterktes van de proefstukken uit F4 dicht bij die van de referentie (F3); bij de geconditioneerde proefstukken is het verschil groter. In alle gevallen geldt dat de verschillen met de referentie groter worden, maar de volgorde blijft wel gelijk (F3>F4>F2>F1). Alleen voor F3 liggen de waarden voor de natte ITS iets boven de droge.

Voor de triaxiaal data liggen de monsters uit de weg direct na aanleg (F3) en die van de molen (F2) qua waarden op hetzelfde niveau. Nu ze geplot zijn tegen de dichtheid, blijkt dat ondanks een verschil in dichtheid (F3 hogere dichtheid) te zijn. De waarden voor de lab monsters (F1) liggen flink hoger, die van de monsters uit de weg twee jaar na aanleg juist een stuk lager, terwijl de dichtheden vergelijkbaar zijn met die van de F2 proefstukken. De proefstukken uit F2 en F1 zijn op dezelfde manier verdicht (gyrator), dus het verschil komt waarschijnlijk uit de productie, door het heftigere mengen in de molen ten opzichte van lab menging of hogere temperatuur of langere tijd op hoge temperatuur. De veel lagere vervorming voor de proefstukken uit de weg na 2 jaar (F4) kan het gevolg zijn van veroudering.



Figuur 12: Resultaten Werk 1, lab 2 als functie van de proefstuk dichtheid

In de nadere data analyse worden onder andere de bitumen vermoeiingsdata vergeleken met die van het asfalt (Figuur 13). Hierbij zijn de asfaltrekken gegeven in microrek (linker as) en de bitumenrekken als rek (rechteras).

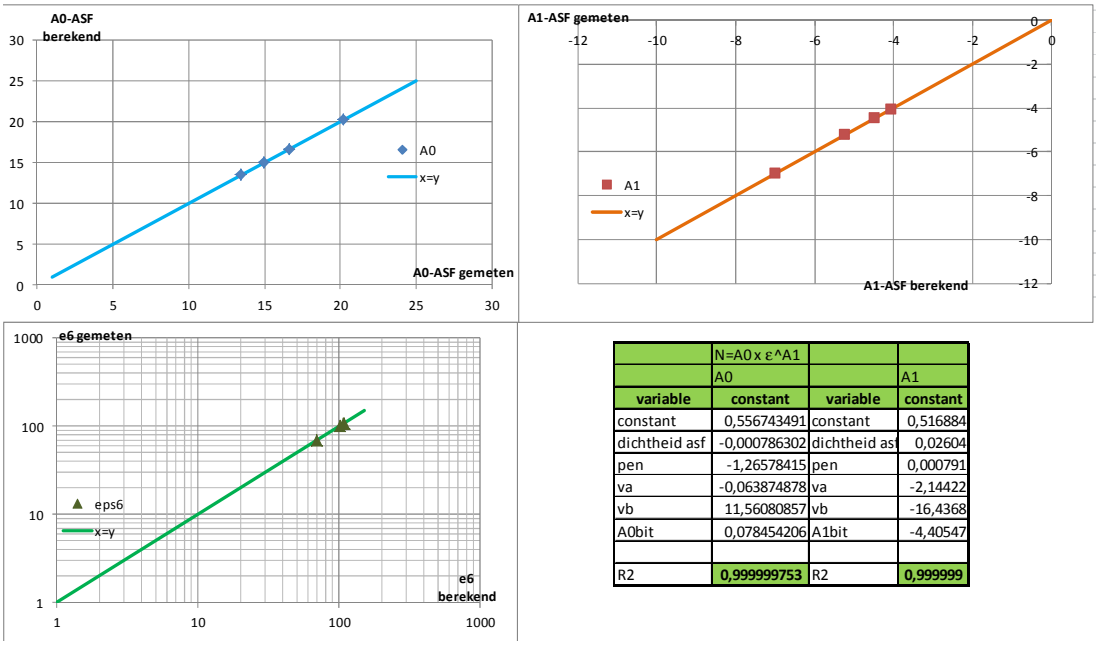


Figuur 13: bitumen- en asfalt vermoeiingsdata voor werk 1, lab 2

In het verloop is te zien dat zowel voor het bitumen als het asfalt, de vermoeiingslijn tussen F1 en F2 minder steil gaat lopen. In F3 wordt hij weer steiler. Dat effect is sterker voor het bitumen dan het asfalt. In de daarop volgende fasen lopen de lijnen

weer minder stijl, al is ook hier het effect sterker voor het bitumen dan voor het asfalt. In beide gevallen lijken de lijnen te draaien om een punt tussen de $1x10^4$ en $1x10^5$ lastherhalingen. Soortgelijke analyses op de data van de andere werken moet aantonen of dit toeval is of niet. Er lijkt in elk geval een nauwe relatie te zijn tussen het bitumen gedrag in vermoeiing en dat van het asfalt.

Een nadere analyse waarin de constanten uit de vermoeiingslijn voor het asfalt via lineaire regressie aan die voor de vermoeiingslijn van het bitumen gekoppeld worden, laat ook zien dat er een sterke relatie is voor de resultaten van werk1, lab 2.



	N=A0 x ε^A1		
	A0		A1
variable	constant	variable	constant
constant	0,556743491	constant	0,516884
dichtheid asf	-0,000786302	dichtheid ast	0,02604
pen	-1,26578415	pen	0,000791
va	-0,063874878	va	-2,14422
vb	11,56080857	vb	-16,4368
A0bit	0,078454206	A1bit	-4,40547
R2	0,999999753	R2	0,999999

Figuur 14: Regressie relatie tussen de bitumen en asfalt vermoeiingslijn

Soortgelijke analyses naar onderliggende relaties tussen de asfalt en bitumen eigenschappen en de samenstelling worden ook voor de andere werken en eigenschappen uitgevoerd. De analyse is nog niet compleet, maar de relatie tussen vermoeiing bitumen en asfalt lijkt inderdaad sterk te zijn, voor stijfheid is die er veel minder. Voor de indirecte treksterkte is er een relatie, maar minder sterk.

5 Dankwoord en blik op de toekomst

Het NL-LAB programma legt de basis voor een referentiekader voor asfalt eigenschappen, op grond waarvan asset management systemen gevoed kunnen worden. Ook maakt het het mogelijk trendbreuken tijdig te signaleren, innovaties versneld te beoordelen en modellen en theorieën te valideren. Door de snelle ontwikkelingen in data analyse systemen (big data), ICT mogelijkheden (PIM, BIM) en visualisatie technieken (Geolinked Data Access Service (GDAS) en GeoLinking Service (GLS)) maken het mogelijk de relevante data in de nabije toekomst voor alle projecten op te slaan en te ontsluiten en daarmee een blijvende stabiele basis te bieden voor kosten effectief beheer van de weginfrastructuur.

Onze dank gaat uit naar de partijen die dit programma mogelijk maken: Rijkswaterstaat via financiële bijdragen en Boskalis (2x), Ooms, KWS en Gebroeders van der Lee via hun in-kind bijdragen door een deel van de Type Tests en de bemonsteringskosten voor eigen rekening te nemen. Ook de wegbeheerders die hun wegen en uitvoeringsprojecten beschikbaar stelden (provincie Gelderland,

Rijkswaterstaat en de gemeente Haarlemmermeer) zijn cruciaal voor het succes van het programma.

6 LITERATUUR

Dalen, Rindert van en Klatter, Leo, “Vervanging en Renovatie, Erfenis voor de toekomst”, OTAR nr. 4, 2014

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”, CROW InfraDagen, 18 & 19 juni 2014 (a)

Erkens, Sandra en Vliet, Dave van, “De meerwaarde van structureel, langjarig bemonsteren”, CROW InfraDagen, 18 & 19 juni 2014 (b)

Erkens, Sandra, Kasbergen, Cor, Villani, Mirella, Scarpas, Tom, Florio, Eugenio en Berti, Carlo, *“Relatie tussen ITS, weerstand tegen vervorming en de mengsels samenstelling -Gebruik van de MEPDG relaties voor Nederlandse mengsels uit NL-LAB-*“ , CROW InfraDagen, 18 & 19 juni 2014 (c)

Erkens, S., Vervuurt, A. en Houben, L., “Onderzoek legt oorzaken van kuilen in A32 bloot”, Land+Water, April 2010, nummer 4, jaargang 50, pg 34

Erkens, S.M.J.G. Draagkracht problemen A32: wat is er gebeurd?”, Infradagen 2010, CROW, 23&24 juni 2010b, Papendal

Mookhoek, Steven D. , Vliet, Dave van, Lent, Diederik Q. van en . Erkens, Sandra M. J. G, “*NL – LAB; Eerste resultaten op basis van typeonderzoek (RAW proef 62) en bindmiddel onderzoek voor asfaltbeton*”, CROW InfraDagen, 18 & 19 juni 2014

Sluer, Berwich, Bakker, André en Verkuil, Hans, “*NL-LAB: onderzoek naar de voorspellende waarde van proef 62:de data*”, CROW InfraDagen, 18 & 19 juni 2014

VBW Asfalt en Rijkswaterstaat, Dienst Verkeer en Scheepvaart, “Functionele Eisen in het Contract – verslag van de projectgroep FEC”, 2010

Walta, Leonie, “Langer zullen ze leven – werkelijke conditie kunstwerken verandert onderhoudsplan” , pg. 43- 46, illustraties door Ruud Vogelesang, de Ingenieur 1, Januari 2015