



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

# Het voorspellen van het stroefheidsverloop op bitumineuze deklagen

Water. Wegen. Werken. Rijkswaterstaat.



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Vraag- en probleemstelling	6
1.2	Doel	7
1.3	Ontwikkelingen 2014-2020	7
1.4	Hypothese	7
1.5	Leeswijzer	7
<b>2</b>	<b>Validatie van het model 2014</b>	<b>8</b>
2.1	Inleiding	9
2.2	Gebruikte data	9
2.3	Analyse van de data	10
2.3.1	Oude versus nieuwe regressiemethode	10
2.3.2	Nieuwe regressiemethode op uitgebreide dataset	13
2.3.3	Uitbreiding naar andere deklaagtypen	14
2.3.4	Het combineren van modellen	14
2.3.5	Modelleren op basis van AS en SI	14
<b>3</b>	<b>Introductie Bayesiaanse model</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>18</b>
4.1	Conclusies	18
4.2	Aanbevelingen	18
<b>5</b>	<b>Begrippenlijst</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Literatuurlijst</b>	<b>21</b>



## Colofon

Uitgegeven door  
Informatie  
Telefoon  
Uitgevoerd door  
Gelezen door  
Opmaak  
Datum  
Status  
Versienummer

Rijkswaterstaat  
Steunpunt Wegen en Geotechniek  
088-7970025  
P.M. Kuijper  
D. van Vliet (TNO)  
Zandbeek  
19 mei 2022  
definitief  
1.0

# Samenvatting

**In het kader van het programma Asphalt-Impuls en het daaronder hangende project VAsBig: “Voorspelling Asfaltonderhoud met Big Data” is het uit 2014 daterende stroefheidsvoorspellende model (model 2014) gevalideerd. De reden voor deze validatie was het grote aantal veranderingen vanaf het moment van het vaststellen van het model in 2014 tot aan nu:**

- De in de open deklagen gebruikte steenslagen dienen nu te voldoen aan de eisen voor steenslag 3. Dit betekent dat de steenslag geen ongebroken korrels mag bevatten en dat het polijstgetal minimaal 58 dient te zijn.
- De SWF-methode is ingevoerd.
- Het model 2014 is gebaseerd op de stroefheidsontwikkeling op DAB 16 en ZOAB 16 op wegvakken in Zuid-Holland.

In verband met deze wijzigingen zijn in de rapportage over het model 2014 een aantal aanbevelingen gedaan:

- Het model opnieuw bepalen op basis van metingen volgens de SWF-methode.
- Het model opnieuw vaststellen voor de Stroefheidsindex (SI).
- Aanvullende modellen ontwikkelen voor andere typen deklagen zoals ZOABTW, ZOABDI, ZOEAB, SMA, etc.
- Het voorspellende model op basis van bestaande gegevens te valideren.

In dit rapport worden deze aanbevelingen nader uitgewerkt. De conclusies zijn:

- De onderzoekshypothese “Ondanks alle ontwikkelingen is het model uit 2014 nog steeds valide” is verworpen.
- Er is een nieuw model gemaakt waarmee op basis van de gemeten stroefheid (per meetgeneratie) de restlevensduur op basis van de stroefheid van een 100m-vak berekend kan worden.
- Voor elke type deklaag is een apart model beschikbaar. Tevens zijn er aparte modellen voor de buitenste (meest rechtse) rijstrook en de niet-buitenste (overige) rijstroken.

- De modellen zijn uitsluitend geldig op de rechte baanvakken en niet in boogstralen.
- Modelleren met behulp van de Actuele Stroefheidscore (AS) en de Stroefheidsindex (SI) levert geen goede resultaten.
- Met behulp van Bayesiaanse statistiek is het mogelijk om:
  - met behulp van meerdere meetgeneraties per 100m-vak de restlevensduur te voorspellen;
  - het model te gebruiken als validator voor nieuwe meetresultaten;
  - het model gemakkelijker te updaten op basis van veranderingen.

Naar aanleiding van het onderzoek en in het kader van data gestuurd werken wordt aanbevolen om:

1. één unieke HWN-dekkende database te creëren met daarin de daadwerkelijk aanwezige typen deklagen. De resolutie moet aanmerkelijk hoger zijn dan 100m en losstaan van het type ondergrond zoals aardebaan, tunnel, viaduct, brug, etc.
2. kernen te boren in vakken die veel minder dan 450 miljoen, rond de 450 miljoen en ruim boven de 450 miljoen voertuigpassages aan kunnen. Het steenslag in deze kernen dient vervolgens onderzocht te worden op de mineralogische samenstelling. Dit onderzoek kan eventueel gecombineerd worden met de bepaling van het polijstgetal en/of de FAP.
3. voor de MJPV gebruik te gaan maken van het op basis van Bayesiaanse statistiek ontwikkelde model. Hiertoe dient het model verder getuned te worden om de gewenste nauwkeurigheid te verkrijgen.
4. jaarlijks na te gaan in hoeverre het mogelijk is bepaalde typen deklagen in één model samen te voegen. Verwacht mag worden dat DZOAB eenzelfde stroefheidsverloop als ZOAB laat zien, maar omdat DZOAB relatief jong is, is er nu in een ander deel van de curve gemodelleerd dan bij ZOAB.
5. het stroefheidsverloop ook voor boogstralen te modelleren.



# 1. Inleiding

**Binnen het programma Asphalt-Impuls draait het project VASBig: “Voorspelling Asphaltonderhoud met Big Data”. Binnen dit project wordt gewerkt aan de ontwikkeling van diverse modellen om de levensduur van asfalt te kunnen voorspellen.**

In juni 2014 verscheen het rapport “Modellerings van de stroefheidsontwikkeling van bitumineuze deklagen” [1]. De aanleiding voor het in dat rapport beschreven onderzoek was in eerste instantie de stroefheidsproblematiek in Zuid-Holland in het najaar van 2004. Ten gevolge daarvan is de toenmalige eis voor de in situ gemeten stroefheid een harde norm geworden voor de stroefheidswaarde bij 50 km/uur. Deze norm bedroeg indertijd 0,38 en elk vak met een lagere waarde diende hersteld te worden [2]. Aangezien het een harde norm betreft ontstond de wens om de planjaren voor de stroefheid met een nauwkeurigheid van 1 jaar te voorspellen.

In aanvulling hierop zijn de eisen voor steenslag 3 aangescherpt. De eis voor het polijstgetal werd verhoogd van 53 naar 58 en het steenslag moest volledig gebroken zijn. Dit betekende dat er in de deklagen uitsluitend nog steenslag, afkomstig uit groevemateriaal, gebruikt mocht worden. Dat dit geen garantie voor deklagen met een voldoende weerstand tegen polijsten opleverde bleek uit de enkele jaren later optredende stroefheidsproblematiek rond Augitporphyrit. Ten aanzien van dit materiaal werd geadviseerd om dit materiaal niet te gebruiken, tenzij

aangetoond kon worden dat het mengsel ook gedurende de garantieperiode aan de stroefheidseis blijft voldoen [3].

In [1] zijn een aantal aanbevelingen gedaan. Dit rapport gaat in op die aanbevelingen.

## 1.1 Vraag- en probleemstelling

Momenteel worden de planjaren voor de stroefheid door Rijkswaterstaat bepaald op basis van de Stroefheidsindex (SI) [4]. Onder de SI wordt het verschil verstaan tussen het gemiddelde van meerdere meetwaarden van stroefheidsmetingen en de bij de betreffende meting van toepassing zijnde interventiewaarde. In de berekening wordt een tijdnormering en tijdweging toegepast. De tijdnormering betreft een lineair afnemende waarde van 0,01 punt per jaar van de stroefheid. Op basis van de SI worden drie situaties onderscheiden. Indien de SI groter is dan 0,02 worden geen stroefheidsproblemen verwacht en is er geen actie noodzakelijk. Indien de Stroefheidsindex kleiner is dan -0,03 dan wordt de stroefheid als onvoldoende gekwalificeerd. In dat geval zijn direct veiligheidsmaatregelen en aansluitend het verbeteren van de stroefheid noodzakelijk. Indien de SI in het gebied van 0,02 tot en met -0,03 ligt moet de wegbeheerder volgens een afgesproken protocol een beheersoordeel geven om uit te wijzen of veiligheidsmaatregelen en aanvullend onderhoud wel of niet nodig zijn. Door de invoering van de Stroefheidsindex (SI) is het stroefheidsvoorspellende model niet in gebruik genomen. Door het programma Asphalt-Impuls en het project VASBig is

het model echter weer in de belangstelling gekomen. Met behulp van het stroefheidsvoorspellende model kan een voorspelling worden gedaan in welk jaar de stroefheid onder de norm voor de stroefheid zakt. Dit is dan het planjaar voor de stroefheid.

De in de inleiding genoemde aanbevelingen vormen de onderzoeksvraag voor het in dit rapport beschreven onderzoek.

Naar aanleiding van het onderzoek naar het seizoens- en temperatuureffect [1] werd aanbevolen om na te gaan hoe de seizoens- en temperatuurinvloed bij de SKM-meting (tegenwoordig SWF) is geregeld en of het noodzakelijk is om bij deze meting een dergelijke correctie in te voeren.

Naar aanleiding van het onderzoek naar het verloop van de stroefheid in de tijd [1] werd verder aanbevolen om:

- naar aanleiding van de mogelijke invoering van de SKM-methode, het model opnieuw te bepalen op basis van metingen volgens die methode;
- naar aanleiding van de invoering van de Stroefheidsindex (SI) het model opnieuw vaststellen voor de Stroefheidsindex;
- aanvullende modellen te ontwikkelen voor andere typen deklagen zoals ZOABTW, ZOABDI, ZOEAB, SMA, etc;
- het voorspellende model op basis van bestaande meetgegevens ten behoeve van de MJPV op het gebied van de stroefheid te valideren. Er worden dus niet apart nieuwe meetdata verzameld.

Het model uit 2014 is gebaseerd op stroefheidsmetingen van vakken gelokaliseerd in Zuid-Holland. Voor het verbeteren van de representativiteit dient het model uitgebreid te worden met metingen op het gehele Hoofdwegennet (HWN).

Uit [1] is gebleken dat het mogelijk is om, op basis van het model dat het verloop van de stroefheid in de tijd voorspelt, de restlevensduur van een wegvak te berekenen. De onnauwkeurigheid van deze voorspelling is echter groot ten gevolge van de spreiding in de meetresultaten van de stroefheidsmeting (hoge waarde voor de reproduceerbaarheid).

## 1.2 Doel

Het doel van het project VASBig is het met behulp van Big Data ontwikkelen van gereedschap om planjaren ten behoeve van de MJPV te kunnen bepalen. Hierdoor kunnen er betere adviezen gegeven worden over het beheer en onderhoud van het HWN.

Het primaire doel van het hier beschreven onderzoek is de validatie van het in 2014 ontwikkelde stroefheidsvoorspellende model om nauwkeurige planjaren voor de stroefheid te kunnen voorspellen. Zou dit model ondanks

alle in paragraaf 1.1 genoemde veranderingen nog steeds valide zijn, dan zou daarmee een belangrijke stap in het project VASBig zijn gezet.

Mocht het model ten gevolge van de vele in paragraaf 1.1 genoemde veranderingen echter niet meer valide zijn, dan dient het model op basis van recente data opnieuw bepaald te worden.

## 1.3 Ontwikkelingen 2014-2020

Het in [1] gerapporteerde onderzoek is gestart in 2006 en gerapporteerd in 2014. In de periode vanaf 2014 tot en met 2020 hebben zich de volgende ontwikkelingen voorgedaan:

- De in de open deklagen gebruikte steenslagen dienen te voldoen aan de eisen voor steenslag 3. Dit betekent dat de steenslag geen ongebroken korrels mag bevatten en dat het polijstgetal minimaal 58 dient te zijn.
- De SWF-methode is ingevoerd.
- De seizoenscorrectie bij SWF-metingen wordt onderzocht maar nog niet toegepast. Op de RAW-metingen (proef 72), die aan het model 2014 ten grondslag hebben gelegen, is wel een seizoenscorrectie toegepast.
- Voor open deklagen wordt naast (D)ZOAB 16 steeds vaker een deklaag met een kleinere korrel toegepast, zoals bijvoorbeeld in de toplagen van ZOABTW.

## 1.4 Hypothese

Het model 2014 is gebaseerd op stroefheidsmetingen gecorrigeerd voor het seizoen. Vanaf 2014 is Rijkswaterstaat overgestapt van proef 72 uit de Standaard RAW Bepalingen (STR070) naar de SWF-methode (SWFo80). Vanaf de invoering van de Stroefheidsindex (SI) in 2017 is het model niet meer gevoed met stroefheidswaarden maar met de waarden voor de SI. De aan de bepaling van de SI ten grondslag liggende stroefheidswaarden (SWFo80) zijn niet voor het seizoen gecorrigeerd. De onderzoekshypothese luidt dan ook: *Ondanks alle ontwikkelingen (verandering areaal, meetmethode en SI) is het model uit 2014 nog steeds valide.*

## 1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het stroefheidsvoorspellende model uit 2014 gevalideerd op basis van de diverse ontwikkelingen in de afgelopen jaren waarbij data van het gehele HWN worden gebruikt.

- In hoofdstuk 3 wordt het Bayesiaanse model voor de voorspelling van het stroefheidsniveau geïntroduceerd.
- In hoofdstuk 4 worden de conclusies en aanbevelingen weergegeven.
- Hoofdstuk 5 bevat een begrippenlijst van veelgebruikte termen.
- Tenslotte bevat hoofdstuk 6 de literatuurlijst.

# 2. Validatie van het model uit 2014

## 2.1 Inleiding

De relatie tussen de percentielwaarden van de stroefheid [1], gemeten bij 70 km/uur en de intensiteit is te schrijven volgens het model:

$$\text{STR070} = a + b \cdot \log(\text{totale intensiteit in mln}/365)$$

Hierin is:

- STR070 = gemiddelde stroefheid bij 70 km/uur, inclusief seizoenscorrectie en bij de 50% percentielwaarde
- a = het intercept, afhankelijk van type asfalt en percentielpunt
- b = de helling, afhankelijk van type asfalt totale intensiteit in mln = de cumulatieve dagelijkse verkeersintensiteit op het meetmoment, gemeten in miljoen ( $10^6$ ) voertuigpassages

De totale verkeersintensiteit wordt berekend op basis van de in INWEVA geregistreerde gemiddelde voertuigintensiteit voor een betreffend wegvak. Voor het verderop in dit rapport gebruikte voorbeeld op RW050 1HRL geldt dat de gemiddelde verkeersintensiteit in 2020 van km 220,091 tot kilometer 216,346 27.800 voertuigen per etmaal bedraagt. Het gaat daarbij om alle soorten voertuigen, zowel personenvoertuigen als vrachtwagens. Het in de figuren 1 t/m 3 beschreven 100m-vak is aangelegd op 31 december

2006. Op het meetmoment op 5 april 2018 bedraagt de leeftijd van dit wegvak 4.110 dagen. De cumulatieve verkeersintensiteit op dit wegvak is dientengevolge  $4.110 \times 27.800 = 114.258.000$  voertuigen. In de hierboven genoemde formule wordt deze cumulatieve verkeersintensiteit weer teruggerekend naar een cumulatieve verkeersintensiteit per etmaal.

De waarden voor de factoren a en b zijn weergegeven in tabel 1 [1].

Tabel 1: regressiecoëfficiënten op 10log mediaan van de cumulatieve intensiteit

	Intercept bij 50% punt (a)	Helling (b)
ZOAB	0.470	-0.0845
DAB	0.481	-0.0384

Het model is gebaseerd op:

- data uit de meetperiode 2000 t/m 2007, hetgeen betekent dat:
  - de metingen zijn uitgevoerd conform RAW proef 72, inclusief seizoenscorrectie;
  - er een twejaarlijkse monitoring heeft plaatsgevonden;
  - er nog veel steenslag aanwezig is die niet voldoet aan de huidige eisen voor steenslag 3.
- uitsluitend meetdata van het HWN in Zuid-Holland.

In dit deel van het rapport wordt het onderzoek beschreven of het op deze data gebaseerde model nog steeds valide is, wanneer de dataset wordt uitgebreid met recentere meetdata.



De onderzoekshypothese luidt:

*Ondanks alle ontwikkelingen (verandering areaal, meetmethode en SI) is het model uit 2014 nog steeds valide.*

## 2.2 Gebruikte data

Voor dit onderzoek zijn geen nieuwe metingen verricht, er is uitsluitend gebruik gemaakt van reeds bestaande data.

Deze data betreffen:

- data uit de meetperiode 2000 t/m 2007 aan de hand waarvan het model 2014 is bepaald. Deze metingen zijn uitgevoerd conform RAW proef 72;
- data uit de meetperiode van september 2011 tot en met oktober 2018, hetgeen betekent dat:
  - in deze periode de metingen voor 2016 uitgevoerd zijn conform RAW proef 72;
  - in deze periode de metingen na 2016 uitgevoerd zijn conform de SWF-methode;
  - de stroefheid wordt beoordeeld op basis van de Stroefheidsindex (SI);
  - er jaarlijks monitoring heeft plaatsgevonden;
  - er veel steenslag aanwezig is dat voldoet aan de huidige eisen voor steenslag 3.
- data van het gehele HWN van Rijkswaterstaat.

De meetdata zijn vermeld in [5] t/m [11]. De datasets bevatten naast de BPS-locatie [16] informatie over verhardingssoort, type deklaag, aanlegdatum, meetdatum, etmaalintensiteit, Stroefheidsindex, buitenste strook (ja/nee) en de boogstraal.

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de typen stroefheidsmetingen in de verschillende meetgeneraties M13 t/m M19. Elke meting betreft het resultaat van een 100m vak. Uiteindelijk zijn niet alle genoemde data gebruikt maar is er een selectie gemaakt (zie paragraaf 2.3).

Het totaal aantal metingen per meetgeneratie ligt rond de 75.000. Bij de uiteindelijke modellering zijn de STR070-metresultaten omgerekend naar SWF080-waarden volgens de formule:

$$SWF080 = a + b \times STR070$$

deklaag	a	b
open	-0,129	1,518
dicht	0,094	1,114

## 2.3 Analyse van de data

Een uitvoerige beschrijving van de verrichte analyses is weergegeven in [12]: “Validatie stroefheid voorspellend model”.

Niet alle in tabel 2 genoemde metingen zijn bij de analyse gebruikt. Alleen de meetwaarden die aan de volgende restricties voldoen zijn gebruikt:

- De leeftijd op het moment van meten was minimaal twee jaar. Het stroefheidsvoorspellende model beschrijft de afname van de stroefheid op de lange termijn ten gevolge van het polijsten van het steenslag. Met name in de eerste twee jaren spelen andere factoren een rol zoals het uitrijden van afstrooimateriaal en het afslijten van de bitumenhuid. De snelheid waarmee dit gaat is onder andere afhankelijk van de verkeersintensiteit maar voor de modellering is hiervoor een termijn van 2 jaar aangehouden.
- De vakken liggen niet op een verbindingsweg omdat daar vaak andere boogstralen, meetsnelheden, etc. gelden.
- Alleen metingen bij een hoge snelheid zijn meegenomen, dus STR070 en SWF080.
- Er is onderscheid is gemaakt naar buitenste en niet-buitenste rijstrook.

Idealiter kent elk hectometervak zijn eigen stroefheidsverloop. Logischerwijs zou het stroefheidsvoorspellende model een gemiddelde moeten zijn van al deze afzonderlijke stroefheidsverlopen.

Bij de bepaling van het oude model bestond deze ideale situatie nog niet. Indertijd werd er door RWS nog niet jaarlijks gemonitord waardoor er per 100m-vak onvoldoende waarnemingen beschikbaar waren voor het per vak bepalen

Tabel 2: Aantallen metingen met onderscheid naar meetgeneratie en meetmethode

meetmethode	MJPV							totaal
	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	
STR050	1.060	1.486	1.471	1.700	2.317			8.034
STR070	72.397	73.890	72.377	71.741	73.834			364.239
SWF040						861	742	1.603
SWF060						4.580	4.374	8.954
SWF080						69.188	72.390	141.578
totaal	73.457	75.376	73.848	73.441	76.151	74.629	77.506	524.408

$$STR_t = a_i + b \times 10 \log(I_t/365)$$

Hierin is:

- STR<sub>t</sub> = de stroefheid bij een leeftijd van t jaar, gemeten volgens Proef 72, bij 70 km/u.
- a<sub>i</sub> = intercept, dat per hectometervak verschillend kan zijn
- b = helling voor de gemeenschappelijke trend
- I<sub>t</sub> = de cumulatieve dagelijkse verkeersintensiteit, gemeten in miljoen (10<sup>6</sup>) voertuigpassages (op meetmoment van stroefheid)

van de trend. Als alternatief zijn de metingen gegroepeerd in 20 klassen met verschillende verkeersintensiteiten. Het model wordt geschreven als: Door de uitbreiding van de dataset zijn er nu wel voldoende data beschikbaar om per hectometervak een stroefheidsverloop te bepalen. Er zijn diverse regressiemethoden uitgetest waarbij het lineair mixed model als meest zuivere aanpak voor de modelfit werd beschouwd. In dit rapport wordt nader ingegaan op deze fit volgens een lineair mixed model, waarin de stroefheid van een 100m-vak wordt gemodelleerd als een normaal verdeelde variatiebron met een gemiddelde en een standaardafwijking. Het model wordt geschreven als:

$$STR_t = a_i + b \times 10 \log(I_t/365)$$

+ restspreiding, waarin

- STR<sub>t</sub> = de stroefheid bij een leeftijd van t jaar, gemeten volgens Proef 72, bij 70 km/u.
- a<sub>i</sub> = intercept
- b = helling voor de gemeenschappelijke trend
- I<sub>t</sub> = de cumulatieve dagelijkse verkeersintensiteit op het moment van meten, gemeten in miljoen (10<sup>6</sup>) voertuigpassages

### 2.3.1. Oude versus nieuwe regressiemethode

In tabel 3 is voor DAB en ZOAB op de oude data uit [1] een vergelijking van de beide methoden gemaakt. De koppen in de tabel hebben de volgende betekenis:

Tabel 3: Resultaten van de verschillende modellen (STR070)

Model	Deklaag	a <sub>50</sub>	se <sub>a50</sub>	b	se <sub>b</sub>	s <sub>a</sub>	s <sub>rest</sub>	% verkl
DAB	oud met klassen	0,4810	0,0034	-0,0384	0,0059	0,0436		
	lineair mixed model	0,4992	0,0006	-0,0271	0,0017	0,0368	0,0228	73,7%
ZOAB	oud met klassen	0,4700	0,0030	-0,0845	0,0038	0,0346		
	lineair mixed model	0,5177	0,0003	-0,0788	0,0008	0,0256	0,0218	72,8%

- a<sub>50</sub> = de stroefheid bij een leeftijd van t jaar, gemeten volgens proef 72, bij 70 km/u
- se<sub>a50</sub> = standaardafwijking van het intercept
- b = helling
- se<sub>b</sub> = standaardafwijking van de helling
- s<sub>a</sub> = spreiding tussen vakken
- s<sub>rest</sub> = restspreiding
- % verkl = percentage verklaarde variantie

Uit deze analyse blijkt dat het lineair mixed model voor zowel DAB als ZOAB redelijk in de buurt van het oude model komt.

### 2.3.2. Nieuwe regressiemethode op uitgebreide dataset

Voor DAB en ZOAB zijn mixed linear models gefit waarbij diverse uitbreidingsstappen zijn gedaan [12]. In dit rapport wordt uitsluitend ingegaan op de volgende uitbreidingen in de data:

- De vakken uit het eerdere onderzoek [1] uitgebreid met recentere meetdata en conform de conversieregels omgerekend van STR070 (inclusief seizoenscorrectie) naar SWF080.
- De voorgaande stap aangevuld met alle meetgegevens uit M13 t/m M19 op de buitenste rijstrook die voldoen aan de voorwaarden uit paragraaf 2.3 en in het geval van STR070 metingen zijn deze geconverteerd naar SWF080 metingen volgens de formule:

$$SWF080 = A + B * STR070$$

deklaag	a	b
overwegend open	-0,129	1,518
dicht	0,094	1,114
overwegend dicht	0,094	1,114

Hiervoor zijn de in [12] genoemde overall coëfficiënten gebruikt.

In tabel 4 is een overzicht gegeven het aantal metingen, hectometervakken, meetgeneraties en uitbijters. Onder het deklaagtype ZOAB wordt het standaard ZOAB16 bedoeld en geen DZOAB of ZOABTW.

Tabel 4: Overzicht aantallen

Deklaag	Data	Aantal metingen	Aantal verschillende hectometervakken	Aantal meetgeneraties per hectometervak	Aantal uitbijters
DAB	Oorspronkelijke vakken [1]	7.084	4.986	1,4	11
	Alle vakken	24.136	7.751	3,1	252
ZOAB	Oorspronkelijke vakken [1]	19.390	13.857	1,4	22
	Alle vakken	116.353	31.772	3,7	811

Tabel 5: Resultaten van de verschillende modellen (SWFo80)

Deklaag	Data	$a_{50}$	$se_{a_{50}}$	b	$se_b$	$s_a$	$s_{rest}$	% verkl
DAB		0,6607	0,0006	-0,0293	0,0018	0,0404	0,0231	77%
	Alle vakken	0,6253	0,0007	-0,0145	0,0013	0,0536	0,0320	73%
ZOAB		0,6641	0,0005	-0,1335	0,0012	0,0427	0,0362	73%
	Alle vakken	0,6227	0,0003	-0,1247	0,0008	0,0527	0,0442	61%

Uit tabel 4 blijkt dat door de analyse uit te breiden over alle vakken die aan de in paragraaf 2.3 genoemde voorwaarden voldoen het aantal metingen aanzienlijk toeneemt en het aantal meetgeneraties per hectometervak ruimschoots verdubbelt. Dit lijkt wellicht weinig maar kan worden verklaard door het feit dat wegvakken tussentijds zijn vervangen. Het aantal uitbijters, dat zijn de metingen die meer dan drie maal van de standaardfout van de voorspelling af liggen, neemt eveneens zeer sterk toe.

In tabel 5 zijn de resultaten van de modelfit vermeld. De koppen in de tabel hebben de volgende betekenis:

$a_{50}$	=	intercept bij het 50 percentiepunt
$se_{a_{50}}$	=	standaardafwijking van het intercept
b	=	helling
$se_b$	=	standaardafwijking van de helling
$s_a$	=	spreiding tussen vakken
$s_{rest}$	=	restspreiding
% verkl	=	percentage verklaarde variantie

Uit tabel 5 blijkt dat het intercept ( $a_{50}$ ) ten gevolge van de uitbreiding niet veel verandert maar in vergelijking met tabel 3 wel een stuk hoger ligt. Dit komt door de conversie van STR070 naar SWF080. Onder het deklaagtype ZOAB wordt, net als in tabel 3, het standaard ZOAB16 bedoeld en geen DZOAB of ZOABTW.

Voor wat betreft de helling (b) blijkt uit tabel 5 dat die bij DAB ten gevolge van de uitbreiding ruim gehalveerd is. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door het feit dat er ook kunststofslijtlagen, die veel stroever zijn dan DAB-deklagen, in de modellering als DAB zijn meegenomen (zie aanbeveling 1). Voor ZOAB geldt dat de helling niet veel verschilt, of die nu bepaald wordt op uitsluitend de oorspronkelijke vakken of op alle vakken.

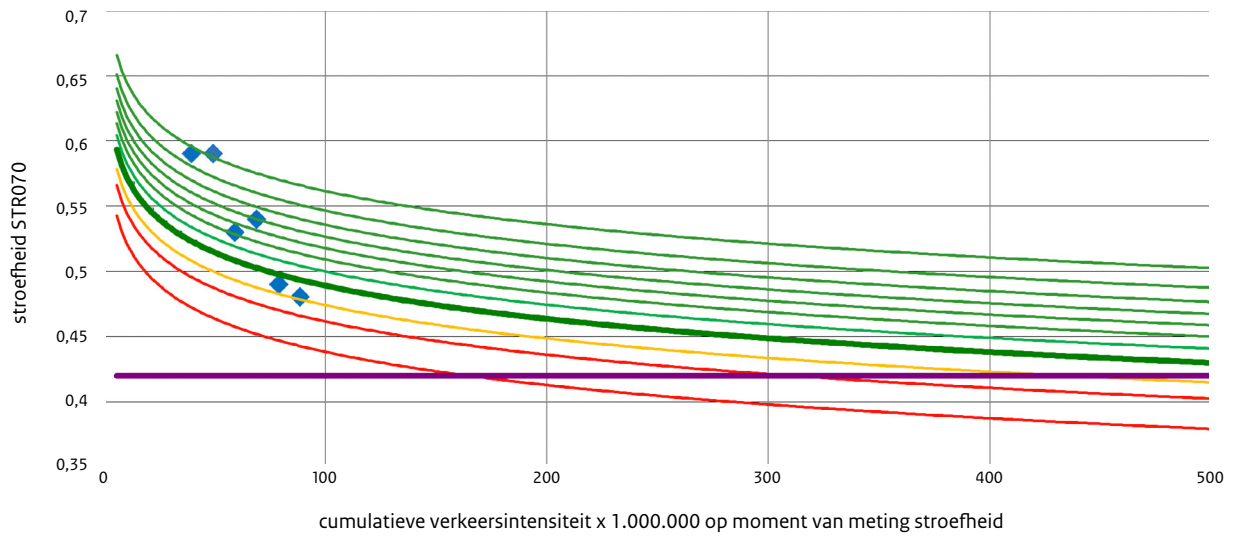
Het percentage verklaarde variantie geeft aan dat er in alle gevallen een sterk verband bestaat tussen de cumulatieve verkeersintensiteit en de afname van de stroefheid [13].

Analyses zijn uitgevoerd zonder en met seizoenscorrectie. Het effect van seizoenscorrectie bleek gering. In de gehele rapportage worden uitsluitend de voor het seizoen gecorrigeerde resultaten beschreven.

In de figuren 1 en 2 is het verschil tussen het model uit 2014 en het model uit 2020 op een ZOAB-deklaag op de A50 weergegeven. In figuur 1 zijn de op basis van de STR070 gemeten stroefheden uitgezet in de percentiellijnen van het oorspronkelijke model. In figuur 2 zijn de op basis van de STR070 gemeten stroefheden omgerekend naar SWF080-waarden en aangevuld met recente SWF080-metingen. De getallen zijn uitgezet in de percentiellijnen volgens het nieuwe stroefheidsvoorspellende model.

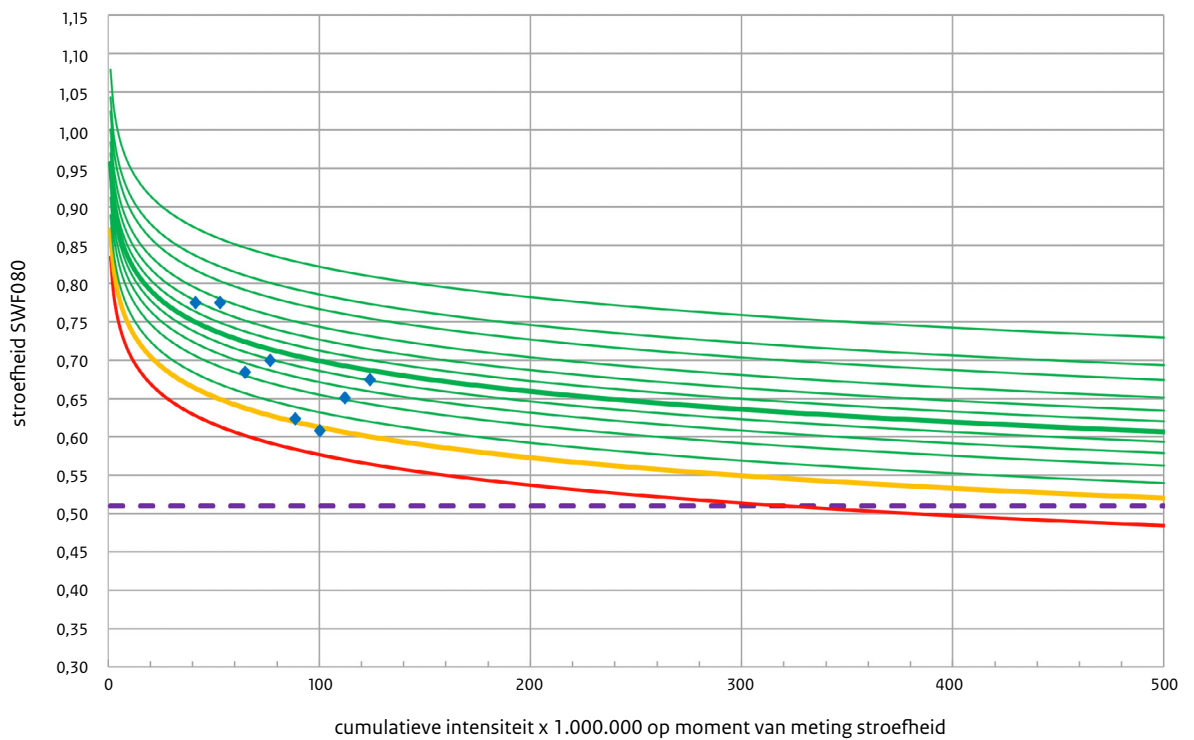
Figuur 1: Oorspronkelijk model voor ZOAB en STR070

**ZOAB stroefheidsontwikkeling A50 - hm 218,6 - HRL**



Figuur 2: Nieuw model voor ZOAB en SWFo80 resultaten

**ZOAB Stroefheidsontwikkeling A50 - hm 218,6 - HRL**



In beide figuren stellen de gebogen groene lijnen de percentielijnen voor van stroefheidsresultaten die voldoen aan de arbitraire richtwaarde van 450 miljoen voertuigpassages voordat de stroefheidseis parse (gestippelde) lijn is bereikt. Over een wegvak dat 450 miljoen voertuigpassages aankan, kunnen gedurende 20 jaren bijna 60.000 voertuigen per etmaal passeren voordat de grenswaarde voor de stroefheid wordt bereikt. De oranje en rode lijnen geven de kritieke resultaten weer. Een vergelijk van beide figuren laat zien dat zowel volgens de oude meetmethode en het oude model als volgens de nieuwe meetmethode en het nieuwe model op dit bewuste vak geen problemen met de stroefheid verwacht mogen worden. Opgemerkt wordt dat voor het overgrote deel van het HWN geldt dat de kans op stroefheidsproblemen gering is. Uit [14] blijkt namelijk dat 90% tot 98% van de 100m-vakken de garantietermijn, ten aanzien van het voldoen aan de minimumeis voor de stroefheid, zal halen.

Duidelijk is dat het algehele stroefheidsniveau volgens het nieuwe model is toegenomen ten opzichte van de situatie voor 2014. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er in de latere deklagen (deklagen na 2007) meer steenslag 3 is toegepast dan in de deklagen uit de periode 2000 t/m 2007. De dikke groene lijn, die het 50%-percentiel weergeeft, nadert in figuur 1 de eis voor de minimum stroefheid in de buurt van de 500 miljoen voertuigpassages. Uit figuur 2 blijkt dat deze eis in een veel later stadium bereikt zal worden. Wellicht makkelijker af te lezen zijn de 99%-percentielijnen (onderste rode lijn). Uit figuur 1 blijkt dat de 99%-lijn de eis bij ongeveer 175 miljoen voertuigpassages overschrijdt terwijl dat in figuur 2 pas bij 330 miljoen voertuigpassages het geval is.

### 2.3.3. Uitbreiding naar andere deklaagtypen

Tabel 6: Overzicht aantallen

Deklaag	Aantal metingen	Aantal verschillende hectometervakken	Aantal meetgeneraties per hectometervak	Aantal uitbijters
DAB	24.136	7.751	3,1	252
DGD	4.300	1.348	3,2	9
SMA	12.068	3.167	3,8	65
ZOAB	116.353	31.772	3,7	811
DZOAB	84.167	22.507	3,7	374
ZOABTW	38.027	9.783	3,9	162

Tabel 7: Resultaten modelfit op de buitenste rijstrook

Deklaag	$a_{50}$	$se_{a_{50}}$	b	$se_b$	$s_a$	$s_{rest}$	% verkl
DAB	0,6253	0,0007	-0,0145	0,0013	0,0536	0,0320	73%
DGD	0,6901	0,0021	-0,0259	0,0037	0,0714	0,0406	73%
SMA	0,5999	0,0013	-0,0414	0,0028	0,0690	0,0491	65%
ZOAB	0,6227	0,0003	-0,1247	0,0008	0,0527	0,0442	61%
DZOAB	0,6280	0,0004	-0,1455	0,0007	0,0484	0,0343	74%
ZOABTW	0,6940	0,0006	-0,0944	0,0012	0,0517	0,0376	62%

Tot slot is gekeken of de nu bepaalde modellen voor DAB en ZOAB ook geldig zijn voor andere deklaagtypen. Hierbij is ingezoomd op de zes meest voorkomende deklaagtypen, te weten DAB, DGD, SMA, ZOAB, DZOAB (ZOAB+) en ZOABTW. De informatie omtrent het type deklaag is afkomstig uit IVON. Uit tabel 6 blijkt dat ZOAB nog steeds het meest voorkomende deklaagtype met DZOAB als tweede meest voorkomende type.

In tabel 7 zijn de resultaten van de modelfit vermeld. De koppen in de tabel hebben de volgende betekenis:

$a_{50}$	=	intercept bij het 50 percentiepunt
$se_{a_{50}}$	=	standaardafwijking van het intercept
b	=	helling
$se_b$	=	standaardafwijking van de helling
$s_a$	=	spreiding tussen vakken
$s_{rest}$	=	restspreiding
% verkl	=	percentage verklaarde variantie

De modelparameter b is het meest interessant. Dit is de helling voor de trend van de stroefheid met de log van de cumulatieve intensiteit. De betrouwbaarheid van b wordt weergegeven door  $se_b$ . Als b meer dan 2x  $se_b$  van nul verschilt is deze significant. Alle hellingen zijn significant en op basis van het percentage verklaarde variantie wordt geconcludeerd dat het verband tussen de cumulatieve verkeersintensiteit en de afnemende stroefheid sterk is [12]. Het intercept ligt bij alle deklaagtypen in dezelfde orde-grootte maar de helling (b) verschilt sterk per deklaagtype.

### 2.3.4. Het combineren van modellen

In een aanvullende analyse [14] is door de firma CQM nagegaan of het mogelijk is om de in paragraaf 2.3.3 genoemde modellen te combineren tot één model voor open en één model voor dichte deklagen. Nagegaan is wat de effecten op de voorspelling van de restlevensduur zijn.

De restlevensduur (RLD) is het aantal jaren dat het nog duurt voordat een hectometervak vanaf het moment van meten de normwaarde (0,51 voor open en 0,53 voor dichte deklagen) heeft bereikt. De restlevensduur wordt berekend met de formule:

$$RLD = Lt \times (10^{(STR_{norm} - STR_t)/b} - 1)$$

Hierin is:

- RLD = restlevensduur in jaren
- Lt = leeftijd van het hectometervak op moment t (in jaren)
- STR<sub>norm</sub> = normwaarde voor de stroefheid
- STR<sub>t</sub> = stroefheid van het hectometervak op moment t
- b = helling

Uitgangspunt voor het mogen combineren van modellen is dat de voorspelling van de restlevensduur van het gecombineerde model voor een bepaald type wegdek niet meer dan 1 jaar mag afwijken van de voorspelling met behulp van het unieke model voor dat type deklaag.

Als voorbeeld wordt een wegvak met een leeftijd van 10 jaar genomen met een verwachte restlevensduur van 5 jaar. Uit tabel 4 op bladzijde 10 van [14] blijkt dat de helling van het gecombineerde model tussen 0,86 en 1,21 maal de oorspronkelijke helling moet liggen.

In de tabel 6 is dit als voorbeeld gedaan voor de combinatie van de open deklagen ZOAB, DZOAB en ZOABTW op de niet-buitenste rijstrook.

Tabel 8: vergelijk helling oorspronkelijk en gecombineerd model

Deklaag	Helling	Verhouding helling deklaag / helling combi
ZOAB	-0,1156	1,03
DZOAB	-0,1240	1,10
ZOABTW	-0,0935	0,83
combi	-0,1126	1,00

De verhouding ZOABTW/combi ligt buiten de range van 0,86 tot 1,21. Dit betekent dat de voorspelling van de restlevensduur van een ZOABTW deklaag van 10 jaar oud en een restlevensduur van 5 jaar met het gecombineerde model meer dan 1 jaar verschilt van de voorspelling met het specifieke ZOABTW-model.

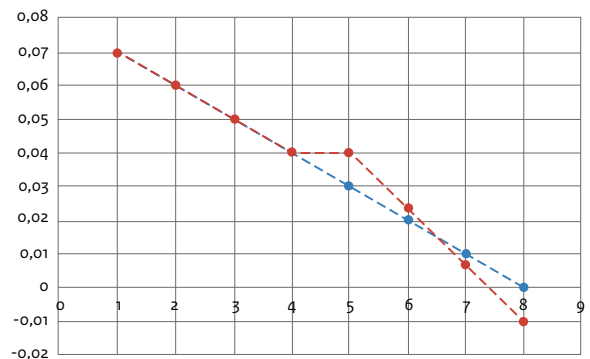
In [14] is dit voor diverse combinaties op de buitenste en niet-buitenste rijstrook gedaan. In [14] wordt uiteindelijk geconcludeerd dat het samenvoegen van deklagen maar beperkt mogelijk is en wordt aanbevolen om afzonderlijke modellen per deklaag te blijven hanteren (zie aanbeveling 4).

### 2.3.5. Modelleren op basis van AS en SI

#### 2.3.5.1 Actuele stroefheidsscore

De huidige MJPV is gebaseerd op Actuele Stroefheidsscores (AS) en op de Stroefheidsindex (SI) [4]. In [12] is nagegaan of het mogelijk is om op basis van deze waarden te modelleren. Gedachte hierachter is dat het bij de AS niet van belang is om de oude stroefheidswaarde (STR070) te converteren naar de nieuwe stroefheidswaarde (SWF080). De AS is immers het verschil tussen de gemeten waarde en de eis. Omdat ten gevolge van de verandering in meetmethode de gemeten stroefheid op een ander niveau komt te liggen ontstaat er een knik in de lijn hetgeen in de figuren 8 en 9 in [12] wordt uitgelegd. De ontwikkeling van de AS-score wordt voor de STR070 en SWF080 situatie weergegeven in figuur 3.

Figuur 3: Ontwikkeling AS (y-as) volgens STR070 (blauw) en SWF080 (rood) in de tijd (jaren op de x-as)



Dit betekent dat het dus niet correct is om het verloop van de stroefheid te modelleren op basis van de AS wanneer die berekend is op meetresultaten die verkregen zijn met verschillende meetmethoden.

Afwijkingen treden op zodra de conversieformule een helling ongelijk 1 heeft en/of een offset verschillend van 0. Bij DAB zal het effect gering zijn, maar bij ZOAB zijn de afwijkingen groter.

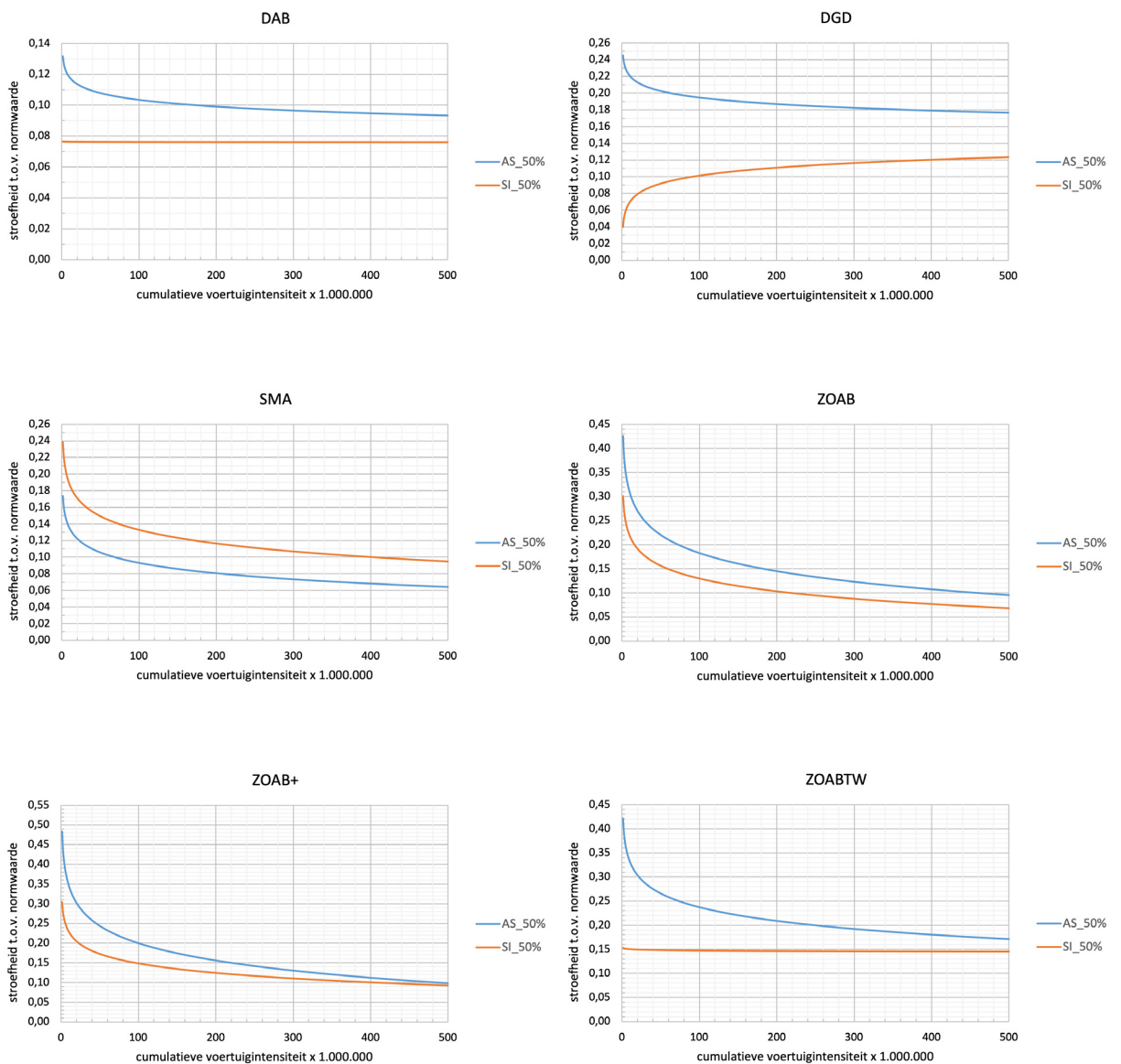
Uit [17] blijkt dat modelleren met behulp van de AS wel mogelijk is in de situatie dat de ene type meting geconverteerd wordt naar de andere type meting of wanneer er nog uitsluitend meetgeneraties voorkomen gebaseerd op één methode (zie aanbeveling 3). Het voordeel van een model op basis van de AS is dat er weinig in de regelgeving aangepast hoeft te worden en er in de grafiek in één oogopslag duidelijk is wanneer een wegvak wel of niet voldoet of in het beheerdersoordeel valt.

### 2.3.5.2 Stroefheidsindex

Uit [17] blijkt verder dat het modelleren op basis van de SI niet is aan te bevelen. Dit is zowel theoretisch als praktisch onderbouwd. Geconcludeerd wordt dat bij een overstap van AS naar SI in de grafiek van stroefheid tegen de tijd de “puntenwolkjes” per hectometervak op een verschillende manier naar boven of naar beneden zullen schuiven. Dit heeft een onbekend effect op de modelfit, afhankelijk van

de verhouding in aantallen vakken die naar boven of naar beneden schuiven en op welke positie in de tijdschaal die vakken zitten. Ook praktisch gezien is dit onderbouwd. Het gehele stroefheidsvoorspellende model is opnieuw gemodelleerd op basis van de SI. De grafieken in figuur 4 tonen aan dat de curve op basis van SI sterk afwijkt van de curve op basis van AS (zie aanbeveling 3).

Figuur 4: Curves op basis van STR (AS) en SI



# 3. Introductie Bayesiaanse model

Met behulp van het in paragraaf 2 beschreven stroefheidsvoorspellende model is het mogelijk om van elke afzonderlijke meetgeneratie een planjaar te berekenen. Dat planjaar geeft aan wanneer de stroefheid onder de norm zakt. Ook is het mogelijk om op basis van een afzonderlijke meetgeneratie te bepalen of er in een wegvak een steenslag is toegepast met onder andere een hoge weerstand tegen polijsten (steenslag 3). In zo'n geval zal dat vak minimaal 20 jaar meegaan bij een gemiddelde verkeersintensiteit van 60.000 voertuigen per etmaal. Dit komt overeen met een totaal van circa 450 miljoen voertuigen. Deze grenswaarde is arbitrair bepaald en wordt momenteel door Rijkswaterstaat nader onderzocht (zie aanbeveling 2).

Zowel met het algemene stroefheidsvoorspellende model uit paragraaf 2 als met behulp van de SI is het niet mogelijk om specifiek per hectometervak een trend over de jaren heen te bepalen. Daarom is door TNO een Bayesiaanse variant ontwikkeld.

Bayesiaanse statistiek is een moderne tak van de statistiek die gebaseerd is op Bayesiaanse kansrekening. Bayesiaanse kansrekening is één van de interpretaties van waarschijnlijkheid. Daarbij worden kansen voortdurend herzien op basis van beschikbaar gekomen nieuwe informatie. Een Bayesiaanse analyse gaat uit van een eerste ruwe

modellering, waarbij op basis van ervaring, plausibele veronderstellingen en bekende feiten de ordes van grootte van parameters geschat worden en daarmee een a-priori-kansverdeling opgesteld wordt.

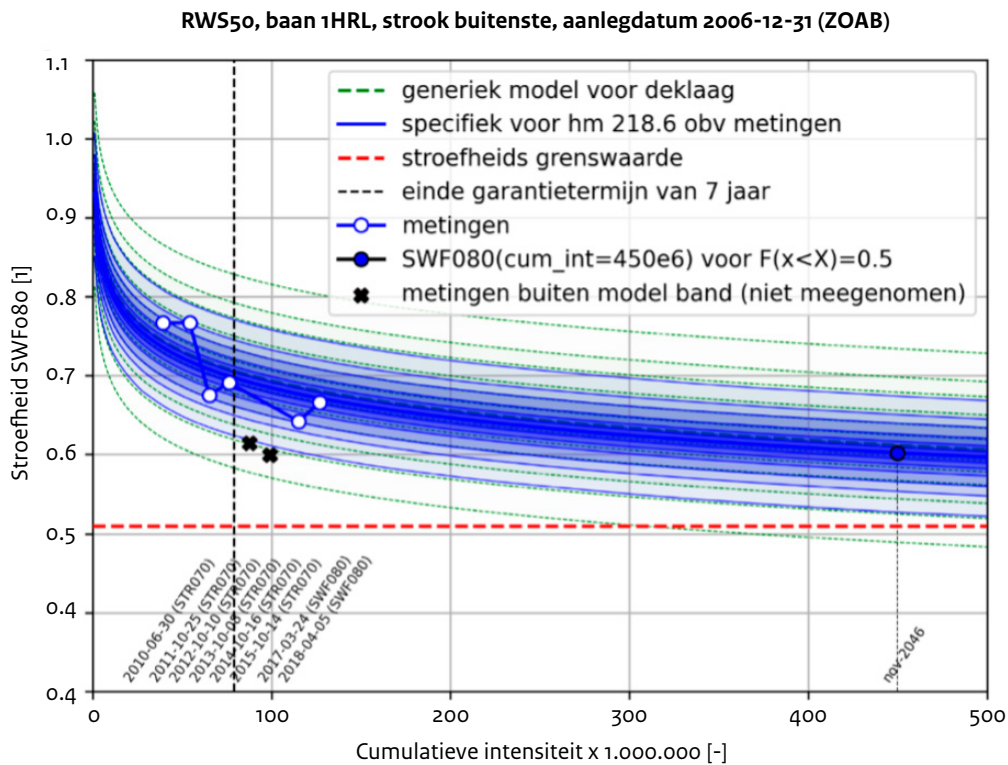
Door de informatie die bevat is in de waarnemingen, wordt vervolgens met behulp van de regel van Bayes een verbeterde schatting van de kansverdeling, de zogeheten a-posteriori-verdeling, verkregen.

In figuur 5 is hetzelfde vak dat in de figuren 1 en 2 is weergegeven uitgerekend en geplot met behulp van de Bayesiaanse statistiek.

Met behulp van het Bayesiaanse stroefheidsvoorspellende model komt het datagedreven werken ten aanzien van de stroefheidsontwikkeling van een 100m-wegvak een stuk dichterbij. Met behulp van het model kunnen planjaren ten aanzien van de stroefheid worden berekend. Net als nu bij de SI gebeurt kan ook in dit geval een beheerdersoordeel ingesteld worden. Dit zal vooral noodzakelijk zijn in het geval van uitbijters (zie figuur 3). Naast negatieve uitbijters kunnen echter ook positieve uitbijters voorkomen wanneer er bijvoorbeeld een nieuwe deklaag is aangebracht die nog niet in de systemen is doorgevoerd.



Figuur 5: Bayesiaanse model voor ZOAB en SWF o8o resultaten



- **Generiek model voor deklaag:** het stroefheidsvoorspellende model kent voor elke type deklaag een apart model. De buitenste groene lijnen geven de 99%-band aan waarbinnen alle metingen op ZOAB van het hoofdwegennet vallen. Dit zijn dezelfde lijnen als in figuur 2.
- **Specifiek voor hm 218,6 o.b.v. metingen:** deze blauwe band in de grafiek geeft de band weer waarbinnen 99% van de metingen op dit 100m-vak vallen. Deze band is gebaseerd op de eerste drie meetresultaten waarbij geldt dat de eerste meting niet jonger mag zijn dan 2 jaar na aanleg.
- **Stroefheidsgrenswaarde:** dit is de minimumeis waaraan de stroefheid van een 100m-vak moet voldoen. De eis (voor de open deklaag op het vak in de grafiek) bedraagt 0,51, gemeten volgens de Side Way Force-methode methode bij een snelheid van 80 km/uur (SWFo8o). Dit wegvak is nog ver verwijderd van de grenswaarde en zal ruimschoots de 450 miljoen voertuigpassages halen. Er is dus een steenslag gebruikt met onder andere een hoge weerstand tegen polijsten (steenslag 3).
- **Einde garantietermijn van 7 jaar:** deze verticale lijn markeert het tijdstip waarop de garantie verloopt. Dit wegvak heeft voor wat betreft de stroefheid de garantietermijn (ruimschoots) gehaald.
- **Metingen:** de met een open bolletje gemarkeerde metingen zijn de metingen die binnen de 99%-band van alle op het betreffende 100m-vak verrichte metingen vallen. Deze metingen worden in de voorspelling meegenomen.
- **SWFo8o(cum\_int=450e6 voor  $F(x<X)=0,5$ ):** met dit blauwe bolletje wordt het punt gemarkeerd waarbij 450 miljoen voertuigen het vak gepasseerd hebben. Het gemiddelde van alle metingen geeft op dit wegvak aan dat dat punt in november 2046 wordt bereikt.
- **Metingen buiten model band (niet meegenomen):** met de zwarte kruisjes worden de meetresultaten gemarkeerd die buiten de voor dit 100m-vak geldende 99%-band vallen. Dit zijn de zogenoemde uitbijters die niet in de voorspelling worden meegenomen. Deze punten verdienen mogelijk een nader onderzoek.

# 4. Conclusies en aanbevelingen

## 4.1 Conclusies

Uit het onderzoek blijkt het volgende:

- De onderzoekshypothese “Ondanks alle ontwikkelingen is het model uit 2014 nog steeds valide” is verworpen.
- Er is een nieuw model gemaakt waarmee op basis van de gemeten stroefheid de restlevensduur van een 100m-vak berekend kan worden.
- Voor elke type deklaag is een apart model beschikbaar. Tevens zijn er aparte modellen voor de buitenste en niet-buitenste rijstrook.
- De modellen zijn uitsluitend geldig op de rechte baanvakken en niet in boogstralen (zie aanbeveling 5).
- Modelleren met behulp van de Actuele Stroefheidsscore (AS) en Stroefheidsindex (SI) levert geen goede resultaten.
- Met behulp van Bayesiaanse statistiek is het mogelijk om de trend op basis van een combinatie van meerdere meetgeneraties te baseren, uitbijters te detecteren en het model gemakkelijker te updaten op basis van nieuwe inzichten.

## 4.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van het onderzoek en in het kader van data gestuurd werken worden onderstaande aanbevelingen gedaan.

1. Uit de geanalyseerde data is gebleken dat in sommige gevallen het in de database genoemde type deklaag niet in overeenstemming met de werkelijkheid blijkt te zijn.

**Aanbevolen** wordt om één unieke HWN-dekkende database te creëren met daarin de daadwerkelijk aanwezige typen deklagen. De resolutie moet aanmerkelijk hoger zijn dan 100m en los staan van het type ondergrond zoals aardebaan, tunnel, viaduct, brug, etc. **Aanbevolen** wordt verder om het stroefheidsvoorspellende model voor DAB opnieuw te bepalen met weglating van de kunststofslijtlagen en ook voor kunststofslijtlagen een apart model te bepalen.

2. Op dit moment wordt een arbitraire grenswaarde van 450 miljoen voertuigpassages gehanteerd. Gesteld wordt dat in wegvakken die dit aantal voertuigpassages niet aan kunnen geen steenslag type 3 is gebruikt maar een lager type steenslag. Vooral in het kader van circulariteit is het van belang om op basis van stroefheidsmetingen het type steenslag te kunnen bepalen zodat er geen extra onderzoek verricht hoeft te worden hetgeen kosten bespaart.

**Aanbevolen** wordt om kernen te boren in vakken die veel minder dan 450 miljoen, rond de 450 miljoen en ruim boven de 450 miljoen voertuigpassages aan kunnen. Het steenslag in deze kernen dient vervolgens onderzocht te worden op de mineralogische samenstelling. Dit onderzoek kan eventueel gecombineerd worden met de bepaling van het polijstgetal en/of de FAP.

3. Voor de MJPV wordt momenteel gebruik gemaakt van de AS en de SI. Dit zijn prima waarden voor een momentane beoordeling van een 100m-vak. Uit het onderzoek blijkt echter dat de SI niet geschikt is om voorspellingen over de stroefheid te doen. **Aanbevolen** wordt om voor de MJPV gebruik te gaan maken van het op basis van Bayesiaanse statistiek ontwikkelde model waarbij de AS als input wordt gebruikt en planjaren als output worden gegeven. Hiertoe dient het model omgebouwd te worden voor de input van de Actuele Stroefheidsscore (AS) in plaats van de gemeten stroefheid (SWFo80). **Aanbevolen** wordt het model verder te tunen om de gewenste nauwkeurigheid te verkrijgen.

Op dit moment is het nog niet mogelijk om verschillende typen deklagen te combineren.

**Aanbevolen** wordt, omdat het Bayesiaanse model in staat is om zichzelf te updaten, jaarlijks na te gaan in hoeverre het mogelijk is bepaalde typen deklagen in één model samen te voegen.

4. Het stroefheidsvoorspellende model is uitsluitend geldig voor rechtstanden. In boogstralen is de behoefte aan voldoende stroefheid echter groter dan op deze rechtstanden. **Aanbevolen** wordt om het stroefheidsverloop ook voor boogstralen te modelleren.



# 5. Begrippenlijst

HWN	Hoofdwegennet van Rijkswaterstaat.
IVON	Informatiesysteem verhardingsonderhoud.
MJPV	Meerjarenplanning Verhardingsonderhoud. De planning van het lopende jaar is gebaseerd op meetgegevens uit het voorgaande jaar.
SWF	Side Way Force methode voor de bepaling van de stroefheid van het wegdek.
STRo70	Resultaat van een stroefheidsmeting uitgevoerd conform proef 72 van de Standaard RAW Bepalingen.
SWFo80	Resultaat van een stroefheidsmeting uitgevoerd conform [4].
DAB	Dicht Asphalt Beton is de benaming van een dichte deklaag. Dit type deklaag wordt in de Europese normering getypeerd als een ACsurf.
BPS	Beschrijvende Plaatsaanduiding Systematiek.
Buitenste rijstrook	De meeste rechtse rijstrook op de hoofdrijbaan.
Niet-buitenste rijstrook	De overige rijstroken op de hoofdrijbaan.
Stroefheidsindex (SI)	Het verschil tussen het gemiddelde van meerdere meetwaarden van stroefheidsmetingen en de bij de betreffende meting van toepassing zijnde interventiewaarde. In de berekening wordt een tijdnormering en tijdweging toegepast.
Actuele Stroefheidsscore (AS)	Het verschil tussen het gemiddelde van de meetwaarden van twee na elkaar uitgevoerde stroefheidsmetingen en de bij de betreffende meting van toepassing zijnde interventiewaarde voor onderhoud.
FAP	Friction after Polishing bepaalt conform EN 12697-49:2014.
Polijsgetal	Het polijsgetal staat ook wel bekend als de PSV. De proef wordt uitgevoerd conform EN 1097-8:2020.

# 6. Literatuurlijst

- 
- [1] P.M. Kuijper, "[Modellering van de stroefheidontwikkeling van bitumineuze deklagen](#)", 2014, Rijkswaterstaat, Utrecht
- 
- [2] Peijs, K, "[Achtergronden stroefheidsproblematiek rijkswegen \(SDG/Prod/2005/657\)](#)", 2005, Den Haag
- 
- [3] H.A. Lavooij, "[Stroefheidsproblematiek asfalt; Augiet Porfiriet \(img/2011/001\)](#)". 2011, RWS-Dienst Infrastructuur, Utrecht.
- 
- [4] Vreugdenhil, B., "Schadebeoordeling- en Meetmethoden Bovenbouw", 2019, Rijkswaterstaat, Utrecht
- 
- [5] [M13 NL Overzicht alle hectometervakken met intensiteiten](#)
- 
- [6] [M14 NL Overzicht alle hectometervakken met intensiteiten](#)
- 
- [7] [M15 NL Overzicht alle hectometervakken met intensiteiten](#)
- 
- [8] [M16 NL Overzicht alle hectometervakken met intensiteiten](#)
- 
- [9] [M17 NL Overzicht alle hectometervakken met intensiteiten](#)
- 
- [10] [M18 NL Overzicht alle hectometervakken met intensiteiten](#)
- 
- [11] [M19 NL Overzicht alle hectometervakken met intensiteiten](#)
- 
- [12] J. Telman, [Eindrapport validatie stroefheid voorspellend model](#), 2020, Q-Consult, Waardenburg
- 
- [13] P.K. Doorn en M.P. Rhebergen, [Statistiek voor Historici - les 10 correlatie en regressie](#), 1998, Instituut voor Geschiedenis, Universiteit Leiden
- 
- [14] J. Telman, [Aanvullende analyses stroefheid voorspellend model](#), 2020, CQM, Eindhoven
- 
- [15] P.M. Kuijper, "[Polijstgetal en mineralogie](#)". 2017, Rijkswaterstaat GPO, Utrecht
- 
- [16] J. Driessen, "[Beschrijvende plaatsaanduiding systematiek](#)", 2005, Rijkswaterstaat DWW, Delft
- 
- [17] J. Telman, [Effect van het gebruik van de Stroefheidsindex SI als basisgegevens voor het fitten van het stroefheidvoorspellende model](#), 2022, CQM, Eindhoven
-

Dit is een uitgave van

**Rijkswaterstaat**

[www.rijkswaterstaat.nl](http://www.rijkswaterstaat.nl)  
0800 - 8002

mei 2022 | GPO622ZB171