



Modellerings van de stroefheidontwikkeling van bitumineuze deklagen

Het ontwikkelen van instrumentarium ten behoeve van de risicobeheersing op het gebied van de stroefheidontwikkeling (Spoor 3)



Modellering van de stroefheid-ontwikkeling van bitumineuze deklagen

Het ontwikkelen van instrumentarium ten
behoefte van de risicobeheersing op het
gebied van de stroefheidontwikkeling
(Spoor 3)

Datum 17 juni 2014
Status Definitief

Colofon

Informatie:	Steunpunt Wegen en Geotechniek
Telefoon:	088 - 79 82 500
Uitgevoerd door:	P.M. Kuijper
Opmaak:	VijfKeerBlauw
Datum:	17 juni 2014
Status:	definitief
Versienummer:	1.0

Inhoud

0	Samenvatting – 5
	Stroefheidontwikkeling – 6
1.	Data uit Winfrabase, geen model (§ 3.3.1: Voorspelling d.m.v. lineaire extrapolatie laatste meetgeneraties) – 6
2.	Data uit Winfrabase, inclusief model (§ 3.3.3: Voorspellen met behulp van algemeen model en 1 meetgeneratie) – 7
1	Inleiding – 9
1.1	Vraag- en probleemstelling – 9
1.2	Doel – 9
1.3	Ontwikkelingen 2006-2014 – 10
1.4	Hypothesen – 10
1.5	Leeswijzer – 11
Deel 1	– 12
2.1	Inleiding – 13
2.2	Gebruikte data – 13
2.3	Analyse van de data – 13
2.3.1	Verschillen tussen meetsystemen – 14
2.3.2	Herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid – 14
2.3.3	Trend ZOAB-vak gedurende 7 jaar – 15
2.3.4	Seizoens- en temperatuurcorrectie – 16
Deel 2	– 18
3.	Inleiding – 19
3.2	Gebruikte data – 19
3.3	Analyse van de data – 19
3.3.1	Voorspelling d.m.v. lineaire extrapolatie laatste meetgeneraties – 20
3.3.2	Modellering stroefheidsverloop – 22
3.3.3	Voorspellen m.b.v. algemeen model en 1 meetgeneratie – 24
4.	Conclusies en aanbevelingen – 26
4.1	Conclusies – 26
4.2	Aanbevelingen – 26
5.	Begrippenlijst – 27
6.	Literatuurlijst – 28
Bijlage 1:	Aanleiding – 29
Bijlage 2:	Meetresultaten vergelijkende metingen A7 – 32
Bijlage 3:	Statistische Analyse TNO – 33
Bijlage 4:	Resultaten stroefheidsmetingen en verkeersintensiteiten periode 2000 t/m 2007 – 34
Bijlage 5:	De datacleaner – 35

0 Samenvatting

Er is een relatie tussen de stroefheid van het wegdek en de veiligheid van de verkeersdeelnemers. [4] Om deze veiligheid te waarborgen is door Rijkswaterstaat een harde norm aan de stroefheid van het wegdek gesteld. Omdat er direct verbeteringsmaatregelen getroffen moeten worden indien een wegvak onder de harde norm voor de stroefheid uitkomt, is het belangrijk om al in een vroeg stadium te kunnen vaststellen wanneer dit gaat gebeuren.

Hierbij speelt een aantal zaken een rol, zoals de nauwkeurigheid van de stroefheidmeting, de invloed van de temperatuur en het seizoen op het meetresultaat, de ouderdom van de weg en de invloed van de verkeersintensiteit op de stroefheidontwikkeling in de tijd.

Seizoens- en temperatuureffect

In het eerste deel van dit rapport wordt door analyse van de meetresultaten op de "kalibratievakken" op rijksweg A7 de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van de stroefheidmeting en het seizoens- en temperatuureffect op de stroefheidmeting bepaald.

Op de "kalibratievakken" worden door Rijkswaterstaat en door in opdracht van Rijkswaterstaat metende instanties 10 maal per jaar vergelijkende stroefheidsmetingen uitgevoerd. Aan de hand van de in de periode februari 2001 tot en met mei 2008 uitgevoerde metingen met PIARC 98 banden is gebleken dat de diverse meetsystemen onderling verschillende meetfouten hebben, die ook nog eens afhankelijk zijn van het type wegdek. Een en ander is weergegeven in de onderstaande tabel:

Meetsysteem	Type deklaag	Herhaalbaarheid (r)	Reproduceerbaarheid (R)
Alle systemen behalve meetsysteem 5	ZOAB	0,017	0,037
	DAB	0,020	0,048
Alle systemen	ZOAB	0,020	0,048
	DAB	0,025	0,066
Uitsluitend meetsysteem 5	ZOAB	0,025	-
	DAB	0,031	-

Op basis van deze resultaten wordt aanbevolen om meetsysteem 5 niet meer als officieel meetinstrument te gebruiken.

Zowel de temperatuur als het seizoen hebben een significante invloed op de stroefheidmeting. Voor het gezamenlijke effect is er een correctieformule opgesteld

Voor de stroefheidmetingen wordt aanbevolen om te corrigeren volgens de volgende formule:

$$\text{stroefheid} = \text{gemeten stroefheid} - 0,022 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (\text{dag} + 60)\right)$$

In deze formule is:

stroefheid	=	de voor het seizoens- en temperatuureffect gecorrigeerde stroefheid
gemeten stroefheid	=	de met het meetsysteem gemeten stroefheidwaarde bij een meetsnelheid van 70 km/uur
0,022	=	de amplitude
dag	=	de dag waarop de meting is uitgevoerd
60	=	de fase

Stroefheidontwikkeling

In het tweede deel van dit rapport wordt nader ingegaan op het modelleren van het stroefheidsverloop van wegdekken in de tijd.

In dit deel van het rapport worden drie situaties onderscheiden:

1. Data uit Winfrabase, geen model;
2. Data uit Winfrabase, inclusief model;
3. Opgeschoonde data uit Winfrabase en nieuw model.

De drie varianten worden hieronder samengevat:

1. *Data uit Winfrabase, geen model (§ 3.3.1: Voorspelling d.m.v. lineaire extrapolatie laatste meetgeneraties)*

In dit geval wordt op basis van lineaire extrapolatie van de laatste meetgeneraties getracht een voorspelling te doen over het te verwachten stroefheidsniveau van een wegvak.

Uit de analyse van de data is gebleken dat het niet mogelijk is om per wegvak op basis van de laatste twee á drie meetsessies een eenduidige trend in de stroefheidsontwikkeling te ontdekken. Dit wordt vooral veroorzaakt door de grote spreiding van de in Winfrabase aanwezige data, waar alle op de voorgaande pagina genoemde foutenbronnen in zitten.

2. *Data uit Winfrabase, inclusief model (§ 3.3.3: Voorspellen met behulp van algemeen model en 1 meetgeneratie)*

In deze variant wordt op basis van een algemeen model en 1 meetgeneratie getracht een voorspelling voor de restlevensduur qua stroefheid van een wegvak te doen.

Voor de ontwikkeling van het stroefheidvoorspellende model is gebruik gemaakt van de in Winfrabase aanwezige data, die zijn gecombineerd met gegevens over de verkeersintensiteit uit de INWEVA-bestanden. In deze bestanden wordt de op basis van meetsystemen in de weg de verkeersintensiteit vastgelegd.

Uit het onderzoek blijkt, dat de stroefheidsontwikkeling niet lineair, maar log-lineair verloopt. Met behulp van de volgende formule is de restlevensduur te berekenen:

$$\Delta l = \frac{l_t}{i_t} (10^{(y^c - y^t)/b} - 1)$$

In deze formule is:

Δl	=	restlevensduur in jaren
I_t	=	cumulatieve intensiteit op moment t
i_t	=	intensiteit op moment t
x	=	harde norm voor de stroefheidwaarde
y	=	gemeten stroefheid bij 70 km/uur op moment t
b	=	helling van het lineaire verloop van de stroefheid met de log(cumulatieve weegdagintensiteit): -0,0845 voor ZOAB -0,0384 voor DAB

Doordat in deze formule gebruik is gemaakt van de voor seizoen en temperatuur gecorrigeerde meetwaarden is een gedeelte van de spreiding in de resultaten niet zichtbaar. Wat overblijft, is de spreiding in de meetresultaten van de diverse meetsystemen. De nauwkeurigheid van de voorspelling is afhankelijk van het type wegdek, de ouderdom van de weg en het stroefheidsniveau.

De nauwkeurigheid van de voorspelling kan worden verbeterd door:

- Het verkleinen van de herhaalbaarheid (r) en reproduceerbaarheid (R).
Uit een internationaal ringonderzoek [3] is gebleken dat in Nederland al goede waarden voor r en R worden behaald. Het verbeteren van deze waarden zal dan ook moeilijk zijn.
- Het aanpassen van het meetregiem. Zo zou er in twijfelgevallen vaker gemeten moeten worden. Dit kan met hetzelfde meetsysteem worden gedaan, maar bij voorkeur met een ander meetsysteem. Indien beide metingen niet significant van elkaar verschillen, dient uitgegaan te worden van de gemiddelde meetwaarde. Ook het verhogen van de meetfrequentie van 1 maal per twee jaar naar 1 maal per jaar zal de nauwkeurigheid van de uitspraak over het stroefheidsverloop doen toenemen. Beide aanpassingen zijn inmiddels geïmplementeerd.

In de periode 2006 t/m 2014 hebben zich een aantal belangrijke ontwikkelingen voorgedaan. Enkele van deze ontwikkelingen zijn het invoeren van de stroefheidsindex (SI) en de mogelijke overstap naar een ander meetsysteem; de SKM-meting. De aanbevelingen in dit rapport zijn dan ook gebaseerd op deze ontwikkelingen.

Naar aanleiding van het onderzoek naar het seizoens- en temperatureffect wordt

aanbevolen om:

- Na te gaan hoe de seizoens- en temperatuursinvloed bij de SKM-meting 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 wordt aanbevolen om:

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

1 Inleiding

Binnen de DVS-productielijn "Wegenbouwkunde" is vanaf 2006 o.a. instrumentarium ontwikkeld ten behoeve van de risicobeheersing op het gebied van de stroefheid-ontwikkeling. De ontwikkeling vond plaats via drie sporen en het subspoor 1a:

- Spoor 1: ontwikkelen van een instrument dat de stroefheidontwikkeling in relatie tot de kwaliteit van het steenslag kan voorspellen;
- Subspoor 1a: nagaan of het ontwikkelde instrument tevens geschikt is om aanvangstroefheid te voorspellen;
- Spoor 2: validatie van de Wehner/Schulzeproef;
- Spoor 3: maken van een trendanalyse ten aanzien van de stroefheidontwikkeling van deklagen.

Dit rapport beschrijft het onderzoek en de resultaten van spoor 3. De overige sporen zijn in separate rapporten beschreven. [5 t/m 7]

1.1 Vraag- en probleemstelling

Als gevolg van de stroefheidproblematiek in Zuid-Holland in het najaar van 2004, is de toenmalige eis voor de in situ gemeten stroefheid een harde norm geworden voor de stroefheidwaarde bij 50 km/uur. Deze norm bedraagt 0,38 en elk vak met een lagere waarde dient hersteld te worden. [1]

De vraag, die binnen het deelproject "Stroefheid" van het project "Ontwikkeling instrumentarium risicobeheersing" uit de productielijn "Wegenbouwkunde" beantwoord moet worden, is hoe nauwkeurig de stroefheidontwikkeling van het wegoppervlak bepaald kan worden in relatie tot de variatie in de meetgegevens. In bijlage 1 zijn de oorspronkelijke vraag en probleemstelling weergegeven.

Samengevat luiden deze:

- De norm is hard; schommelingen in planjaren op basis van stroefheidmetingen, zijn onacceptabel;
- De planjaren zijn gebaseerd op 1 meting. Er vindt geen trendanalyse plaats;
- Als de meetwaarde voor de stroefheid door meetvariatie varieert, varieert het planjaar mee;
- Er ontbreekt een kwalitatieve toets om te bepalen of een meetwaarde in de lijn der verwachtingen ligt.

1.2 Doel

Het primaire doel van het onderzoek is het ontwikkelen van gereedschap om planjaren ten behoeve van de MJPV te kunnen bepalen met een betrouwbaarheid van 1 jaar. Hierdoor kunnen er betere adviezen gegeven worden over het beheer en onderhoud van bitumineuze deklagen.

Om dit doel te kunnen bereiken is de ontwikkeling van een kwalitatieve toets noodzakelijk om te bepalen of een meetwaarde in de lijn der verwachtingen ligt. Hiervoor is het noodzakelijk dat er inzicht komt in de ontwikkeling van de stroefheid van een deklaag in de tijd. Voor de ontwikkeling van dit inzicht dient gebruik gemaakt te worden van de in WINFRABASE aanwezige gegevens. Het uiteindelijke doel is de voorspelling van planjaren met een betrouwbaarheid van 1 jaar. Hierdoor kunnen er betere adviezen gegeven worden omtrent het beheer en onderhoud van bitumineuze deklagen.

1.3 Ontwikkelingen 2006-2014

Het onderzoek is gestart in 2006. In de periode vanaf 2006 tot 2014 hebben zich, mede op basis van de in dit rapport weergegeven bevindingen, een aantal ontwikkelingen voorgedaan. Deze ontwikkelingen worden hieronder weergegeven:

- Mede op basis van de in deel 1 van dit rapport bepaalde waarden voor de herhaalbaarheid van meetsysteem 5 is besloten om dit meetvoertuig niet meer te gebruiken voor stroefheidmetingen.
- Op basis van de in deel 1 van dit rapport bepaalde meetdagcorrectie voor de stroefheidwaarde is besloten om deze correctie in te voeren voor de stroefheidmetingen ten behoeve van onder andere de MJPV.
- De getalswaarde voor de harde norm voor de stroefheid is nu afhankelijk van het type deklaag en de meetmethode. Onafhankelijk van deze getalswaarde is het geëiste stroefheidsniveau gelijk gebleven.
- In 2012 is de stroefheidsindex (SI) ingevoerd. De SI is een gewogen gemiddelde van drie opeenvolgende meetgeneraties, waarbij voor elke volgende meetgeneratie de stroefheidwaarde met 0,01 punt wordt verminderd.
- De meetwerkzaamheden op het gebied van de in situ stroefheid zijn overgedragen van de DVS naar de CIV (voorheen DID) van RWS. De CIV heeft een kwaliteitsplan geschreven om de kwaliteit van de stroefheidmetingen te borgen.
- Validatie van de FAP-test heeft plaatsgevonden met behulp van het in dit onderzoek bepaalde stroefheidsvoorspellende model [8].
- In de periode 2014 tot 2016 wordt de mogelijkheid onderzocht om van de door CIV gebruikte meetaanhangen voor het meten van de stroefheid over te stappen op het SWF-systeem (SKM) zoals dat in Duitsland wordt gebruikt.

1.4 Hypotheses

Het onderzoek is uitgevoerd rond een aantal hypothesen. In deze paragraaf worden een aantal te toetsen hypothesen en de bijbehorende achtergronden beschreven. De analyses zijn steeds separaat uitgevoerd voor de DAB-wegvakken en de ZOAB-wegvakken.

Zoals in paragraaf 1.1 is aangegeven veranderen de in de MJPV gehanteerde planjaren ten gevolge van de variatie in de meting van de in situ stroefheid. Een mogelijke oorzaak hiervoor is een te grote meetfout bij de stroefheidmeting. Deze te grote meetfout kan bij één of bij meerdere systemen voorkomen. Kentallen voor deze meetfout zijn de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van de meting. Om iets te kunnen zeggen over het presteren van het gehele arsenaal aan meetvoertuigen is de volgende hypothese onderzocht.

Hypothese 1:

Alle meetsystemen hebben een zelfde meetfout.

En andere oorzaak voor verschillen in het meetresultaat kan veroorzaakt worden door seizoens- en temperatuurinvloeden. Hiertoe is de volgende hypothese onderzocht.

Hypothese 2:

De seizoens- en temperatuursinvloed zijn te verwaarlozen parameters.

De planjaren zijn gebaseerd op 1 meting. De verwachting is, dat op basis van de laatste drie meetseizoenen een trend in het stroefheidsverloop kan worden bepaald. Op basis van deze trend zou dan een betere voorspelling van de te verwachten

stroefheid (en daarmee de planjaren) gemaakt kunnen worden. Ten aanzien van dit aspect is hypothese 3 onderzocht.

Hypothese 3:

Een goede inschatting voor de restlevensduur van het wegdek op het aspect "stroefheid" is te verkrijgen door de meetresultaten van de laatste drie meetseizoenen grafisch weer te geven.

Het uiteindelijke doel van het onderzoek is het voorspellen van de planjaren met een nauwkeurigheid van 1 jaar. Dit is onderzocht in hypothese 4.

Hypothese 4:

Het is mogelijk om de restlevensduur met een betrouwbaarheid van 1 jaar te voorspellen.

1.5 Leeswijzer

Het onderzoek wordt in twee delen beschreven.

In deel 1 (hoofdstuk 2) is een analyse gedaan op de zogenoemde "Kalibratievakken" op de A7. Uit deze analyse blijkt onder andere:

De meetnauwkeurigheid (hypothese 1);
De seizoens- en temperatuursinvloed (hypothese 2).

In deel 2 (hoofdstuk 3) is onderzoek gedaan naar de voorspelling van de trends in het stroefheidsverloop in de tijd. Dit is gedaan op basis van gegevens uit Winfrabase en het INWEVA-bestand met de volgende parameters:

- momentane stroefheid bij 70 km/uur;
- meetdag;
- aanlegdatum wegvak;
- leeftijd/verkeersintensiteit.

Uit deze analyse blijken onder andere:

- De trend op basis van de laatste drie meetseizoenen (hypothese 3);
- De mogelijkheid tot het voorspellen van planjaren met een nauwkeurigheid van 1 jaar (hypothese 4)

In hoofdstuk 4 worden de conclusies en aanbevelingen weergegeven.

Hoofdstuk 5 bevat een begrippenlijst van veel gebruikte termen.

Deel 1

Seizoens- en temperatuureffect

Data-analyse "Kalibratievakken" A7

2.1 Inleiding

Op het gedeelte tussen Wieringerwerf en Den Oever van rijksweg A7 zijn vanaf 1997 tot begin 2008 tien keer per jaar vergelijkende metingen uitgevoerd door Rijkswaterstaat en door de voor Rijkswaterstaat metende instanties. Met behulp van deze metingen wordt elke keer beoordeeld of een meetsysteem binnen de toegestane marge van de metingen valt. Een meting valt binnen de marge indien het gemiddelde van een systeem/band combinatie niet meer verschilt dan 0,02 van het gemiddelde van alle systemen op de betreffende meetdag. De metingen zijn uitgevoerd met PIARC 98 banden. In het kader van dit onderzoek zijn de verzamelde data samengevoegd in één bestand, waarna het mogelijk bleek om:

- Verschillen tussen meetsystemen qua niveau te bepalen;
- Verschillen tussen meetsystemen qua reproduceerbaarheid te bepalen;
- Een lineaire dalende trend uit de verzamelde meetdata te halen;
- Een sinusvormig model op te stellen voor de seizoensinvloed.

2.2 Gebruikte data

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

Voor de stroefheidmetingen is gebruikt gemaakt van de metingen uit de periode februari 2001 tot en met mei 2008. Per asfalttype zijn er steeds vijf vakken van 100 meter gemeten. Er zijn metingen gedaan op de volgende wegvakken van rijksweg A7:

- DAB-vakken:
 - Hectometervak 62,3 tot 62,8 op 1HRR 2R-R:
Dit vak is gebruikt tot medio 2005. Uit de MJPV van 2005 (IR-M05-410-2) is gebleken dat in dit gehele wegvak al in juli 1998 EOB is aangebracht.
 - Hectometervak 55,1 tot 55,5 op 1 HRR 2R-R:
Dit vak is gebruikt vanaf medio 2005 tot mei 2008.
- ZOAB-vakken:
 - Hectometervak 59,5 tot 59,0 op 1 HRR 2R-L:
Dit vak is gebruikt van februari 2001 tot mei 2008.

De resultaten zijn vermeld in bijlage 2.

Voor de meteorologische gegevens is gebruikt gemaakt van de data uit het bestand etmgeg_235_2001. Dit bestand bevat de meteorologische data van meetstation 235, De Kooy nabij Den Helder en worden representatief geacht voor de weersgesteldheid op de bewuste wegvakken op de A7. Het bestand is te downloaden vanaf de onderstaande site: <http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/download.cgi?language=nl>

2.3 Analyse van de data

Een uitvoerige beschrijving van de verrichte analyses is weergegeven in bijlage 3: "Statistische analyse door TNO" en in de leeswijzer meetonzekerheid [2].

In dit hoofdstuk is een beknopte samenvatting weergegeven van de analyses. Veel van de statistische analyses zijn in eerste instantie verricht op ZOAB, omdat er vanwege de in hoofdstuk 2.2 beschreven trendbreuk in het DAB-vak (zie bijlage 3, figuur 10) een te geringe dataset beschikbaar was om betrouwbare analyses te

maken. De resultaten zullen verder besproken worden aan de hand van de statistische analyse uit bijlage 3.

2.3.1 Verschillen tussen meetsystemen

Om überhaupt iets te kunnen zeggen over trends in stroefheid is het belangrijk om te weten wat de verschillen tussen de diverse meetsystemen zijn (bijlage 3, bladzijde 4 en 5). Hoe groter de verschillen tussen de diverse meetsystemen zijn, hoe moeilijker het wordt om trends te herkennen.

In de onderstaande tabel is aangegeven wat de afwijking van een bepaald meetsysteem ten opzichte van het "overall" gemiddelde is.

Meetsysteem	Afwijking op een deklaag van	
	ZOAB	DAB
5	0,001	0,010
3	0,002	0,005
2	-0,005	-0,012
1	0,002	-0,002

Tabel 1: gemiddelde verschillen

Uit tabel 1 blijkt dat twee meetsystemen sterk afwijken. Meetsysteem 5 heeft op DAB een sterke positieve afwijking en meetsysteem 2 heeft op DAB een sterke negatieve afwijking. Verder heeft meetsysteem 2 op ZOAB eveneens een negatieve afwijking ten opzichte van de overige meetsystemen. Aangezien de "werkelijke" stroefheid niet bekend is, is het niet mogelijk om uitspraken te doen over het absolute niveau van de uitkomsten.

2.3.2 Herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid

Aan de hand van de meetdata die op de kalibratievakken zijn verzameld, zijn de herhaalbaarheid (r) en reproduceerbaarheid (R) bepaald (bijlage 3, bladzijde 6 t/m 9).

Meetsysteem	Type deklaag	Herhaalbaarheid (r)	Reproduceerbaarheid (R)
Alle systemen behalve meetsysteem 5	ZOAB	0,017	0,037
	DAB	0,020	0,048
Alle systemen	ZOAB	0,020	0,048
	DAB	0,025	0,066
Uitsluitend meetsysteem 5	ZOAB	0,025	-
	DAB	0,031	-

Tabel 2: herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid

Uit tabel 2 blijkt dat de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid afhankelijk zijn van het type wegdek. Daarnaast is de herhaalbaarheid van meetsysteem 5 aanzienlijk groter dan die van de andere meetsystemen.

Hypothese 1:

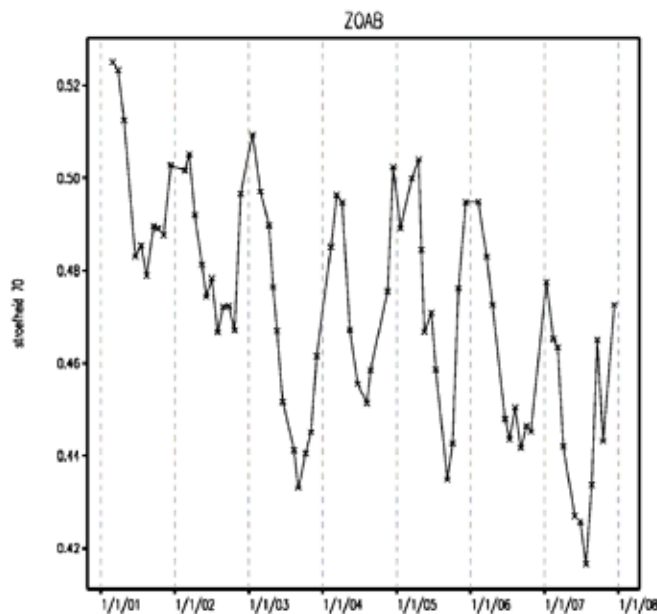
Alle meetsystemen hebben een zelfde meetfout.

Deze hypothese wordt verworpen:

- Er worden significante niveauverschillen tussen de diverse meetsystemen gevonden. Ten opzichte van de overige systemen meet meetstelsel 5 significant hoger op DAB en meet meetstelsel 2 significant lager op DAB en ZOAB;
- De standaardafwijking van de herhaalbaarheid (en daarmee de herhaalbaarheid zelf) van meetstelsel 5 is significant hoger dan die van de overige meetsystemen.

2.3.3 Trend ZOAB-vak gedurende 7 jaar

De meetresultaten uit de kalibratievakken zijn per meetdag over alle systemen gemiddeld en uitgezet tegen de tijd. Elk punt in de grafiek is een gemiddelde van circa 160 metingen, namelijk 5 vakken x 8 verschillende meetinstrument/bandcombinaties (vier meetinstrumenten en per dagdeel een ander type band) x 4 herhalingen (zie bijlage 2).



Figuur 1: Verloop van de stroefheid van de kalibratievakken in de tijd

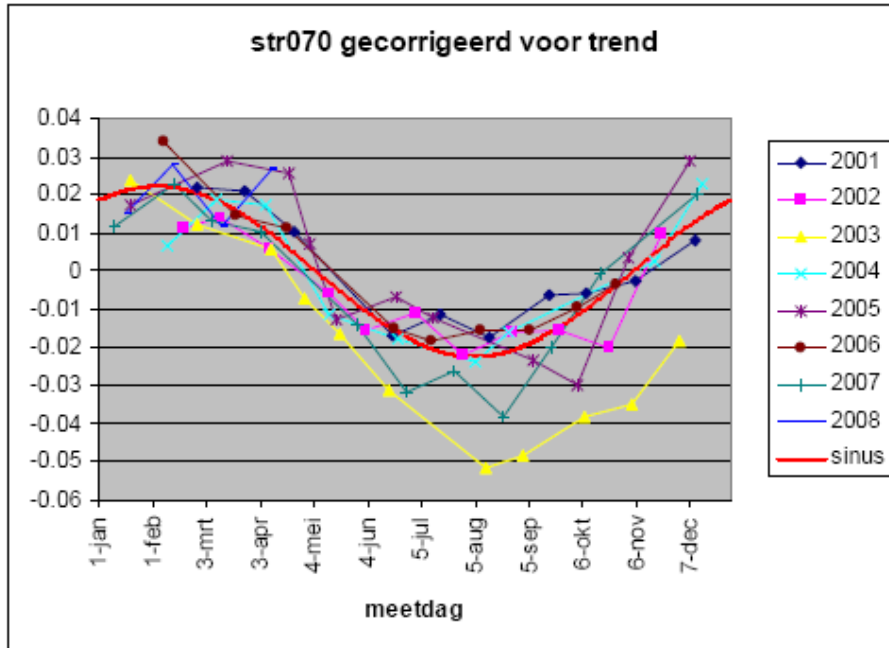
Uit figuur 1 blijken twee duidelijk effecten:

- Het seizoens- en temperatuureffect, waarbij steeds kort na de jaarwisseling de hoogste waarde voor de stroefheid wordt gemeten en steeds op het eind van de zomer de laagste.
- Een min of meer lineair afnemende trend, want in 7 jaar tijd is de stroefheid ongeveer 0,07 eenheden afgenomen.

In de volgende paragraaf zal worden nagegaan in hoeverre de fluctuaties in de meetresultaten kunnen worden teruggebracht door te corrigeren voor de trend en het seizoen.

2.3.4 Seizoens- en temperatuurcorrectie

Uit bijlage 3 (bladzijde 9 t/m 17) blijkt dat de beste verklaring voor het verband tussen de stroefheid en het seizoens- en temperatuureffect wordt gevonden met behulp van een sinusvormig model (figuur 2).



Figuur 2: Sinusvormig model en meetwaarden voor ZOAB

Het in figuur 2 weergegeven sinusvormige model is gecorrigeerd voor de in § 2.3.3 genoemde min of meer lineair dalende trend.

Het model wordt voor zowel ZOAB als DAB beschreven met de volgende formule (bijlage 3, bladzijde 17, eq 15):

$$\text{stroefheid} = \text{gemeten stroefheid} - 0,022 \times \sin\left(\left(\frac{360}{365}\right) \times (\text{dag} + 60)\right)$$

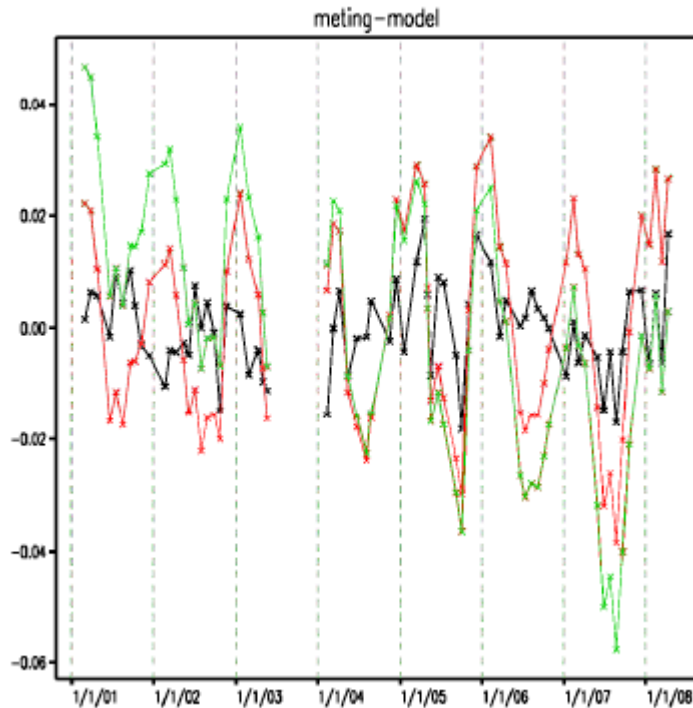
In deze formule is:

- stroefheid = de voor de meetdag gecorrigeerde stroefheid
- gemeten stroefheid = de met het meetsysteem gemeten waarde
- 0,022 = de amplitude
- dag = de dag waarop de meting is uitgevoerd
- 60 = de fase

Het sinusvormige model doorsnijdt op twee datums de x-as, namelijk op 17 april en 22 oktober. Voor metingen die op deze dagen worden uitgevoerd is de correctie minimaal. Door nu dit model toe te passen worden alle gemeten stroefheidwaarden automatisch teruggerekend naar de "meetdatum" 22 oktober (of 17 april).

Door de meetresultaten te corrigeren voor de dalende trend en het seizoens- en temperatuureffect zijn de resultaten over de jaren heen beter met elkaar te vergelijken (figuur 3). In dit figuur zijn de meetwaarden uit het seizoen 2003 weggelaten. Uit dit figuur blijkt dat bij de ongecorrigeerde meetwaarden de

spreiding in de meetwaarden varieert tussen circa +0,05 en -0,06 eenheden (de groene lijn). Door de correctie voor de meetdag toe te passen (de correctie voor zowel de dalende trend als het seizoenseffect) wordt de spreiding verminderd tot circa 0,02 punten (de zwarte lijn).



Figuur 3: Meetresultaten (groen) gecorrigeerd voor dalende trend (rood) en dalende trend + seizoen (zwart)

De restspreiding in figuur 3 wordt voornamelijk veroorzaakt door de verschillen tussen de meetsystemen en de onnauwkeurigheid van de meting (bijlage 3, bladzijde 9). Verdergaande uniformering van deze systemen zal de vergelijkbaarheid van de metingen doen verbeteren.

Hypothese 2

De seizoensinvloed is een te verwaarlozen parameter

Deze hypothese wordt verworpen:

- Er is op het onderzochte wegvak op de A7 nabij Wieringermeer een duidelijk seizoen- en temperatureffect waarneembaar. Aangezien Nederland geografisch gezien een klein land is met geringe verschillen in de seizoenen, wordt aangenomen dat dit seizoenseffect voor het gehele land geldig is;
- Door landelijk alle stroefheidsmetingen op nagenoeg dezelfde dag uit te voeren, kan het seizoenseffect worden uitgesloten. Dit is echter geen reële optie.
- Correctie voor deze invloeden is mogelijk, waardoor de spreiding in de meetresultaten minimaal wordt gehalveerd.

Deel 2

Stroefheidontwikkeling

Trendanalyse en model stroefheidontwikkeling

3. Inleiding

Uit deel 1 is gebleken dat in het beste geval de reproduceerbaarheid van de stroefheidmeting 0,037 bedraagt. Tevens is uit deel 1 gebleken, dat de meetwaarde van de stroefheidmeting sterk afhankelijk is van de meetdag. Uit de in hoofdstuk 1 weergegeven probleemstelling is al gebleken, dat het hierdoor niet mogelijk is om voor elk wegvak een stabiel planjaar met een betrouwbaarheid van 1 jaar te bepalen. De vraag is dan ook, of het mogelijk is om met deze meetdata een nauwkeurig en stabiel planjaar vast te stellen door de trend in het stroefheidverloop te bepalen op basis van de laatste drie meetseizoenen.

3.2 Gebruikte data

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

Voor de voorspelling van de restlevensduur op basis van de resultaten van de laatste meetgeneraties is gebruik gemaakt van de in bijlage 4 vermelde data. Deze bijlage bevat over de periode 2000 t/m 2007 data over de grootheden district, rijksweg, baan, strook, hectometervak, meetdatum, meetkenmerk, meetwaarde, meetwagen, verhardingssoort en aanlegdatum. Aan deze data zijn door de CIV voor elk wegvak de gegevens betreffende de verkeersintensiteit gekoppeld. Deze gegevens bestonden uit het registratiejaar (meetjaar), en de totale verkeersintensiteit per werkdag.

Niet alle data uit het bestand zijn bij de analyse gebruikt:

- In verband met de grote meetfout van meetsysteem 5 zijn de met dit meetsysteem verzamelde data niet gebruikt (dit meetsysteem is inmiddels uit productie genomen);
- Tenslotte zijn alle data met een waarde lager dan 0,20 en hoger dan 0,72 niet in de analyse betrokken. Deze waarden zijn als uitbijters beschouwd.

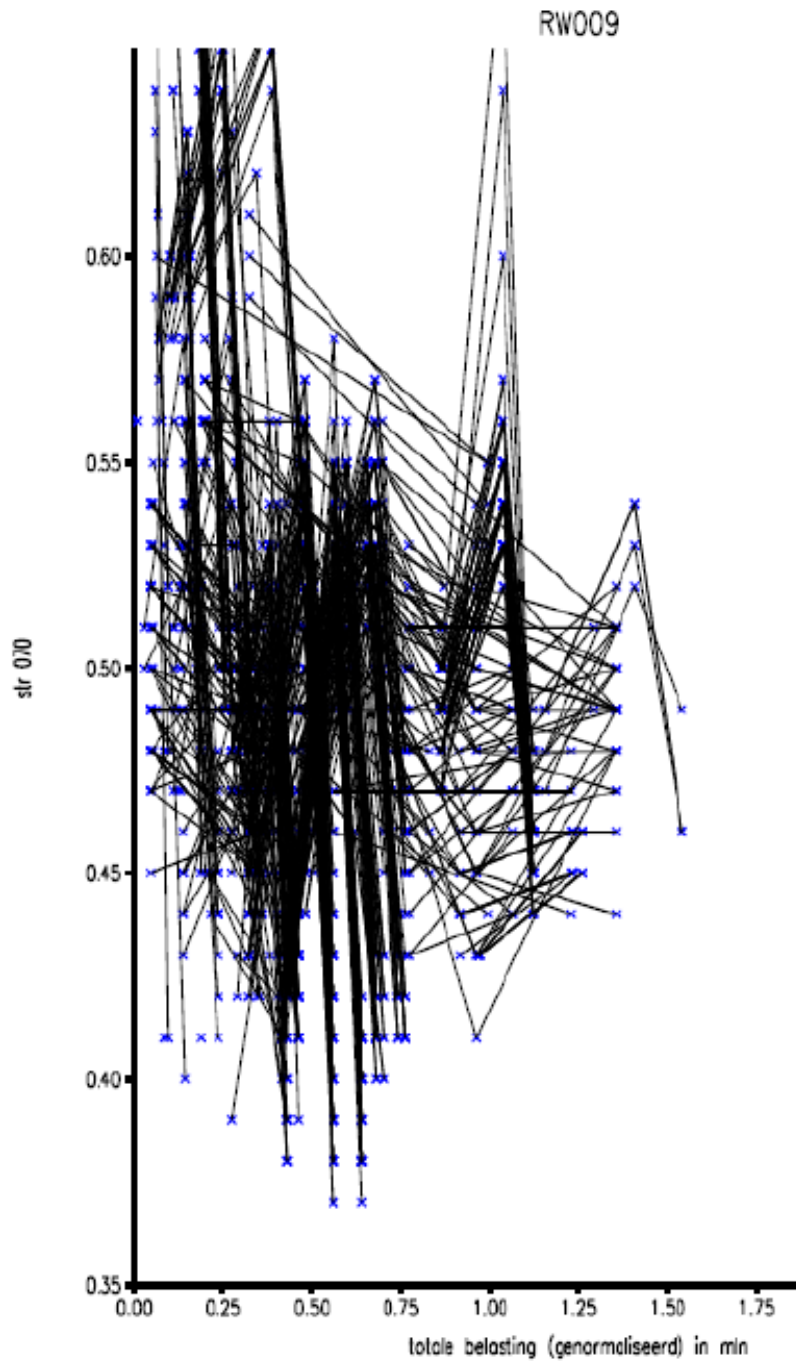
3.3 Analyse van de data

Een uitvoerige beschrijving van de verrichte analyses is weergegeven in bijlage 3. In dit hoofdstuk is een beknopte samenvatting weergegeven van de analyses.

3.3.1 *Voorspelling d.m.v. lineaire extrapolatie laatste meetgeneraties*

Tot op heden was het gebruikelijk om de planjaren te baseren op de laatste meting; de momentane stroefheid van het wegdek. Door de onnauwkeurigheid in de meetmethode heeft dit onacceptabele schommelingen in de planjaren tot gevolg. In bijlage 1 wordt onder punt 3 als aanpak voorgesteld om per wegvak naar het stroefheidsverloop in de tijd te kijken. Hiervoor zouden bijvoorbeeld de meetresultaten van de laatste drie meetgeneraties gebruikt kunnen worden. In het onderstaande figuur 4 zijn van de laatste 3 meetgeneraties de stroefheidwaarden uitgezet tegen de cumulatieve verkeersintensiteit. In dit figuur worden de gegevens van rijksweg A9 gepresenteerd. Deze resultaten zijn echter exemplarisch voor de resultaten die op de overige rijkswegen zijn gevonden.

Uit de grafiek blijkt dat er verschillen ter grootte van circa 0,2 punten (en vaak meer) in stroefheid worden gevonden tussen de opeenvolgende meetgeneraties. Deze verschillen zijn niet te verklaren met behulp van een meetdageffect of een polijst- of opruweffect. Uit deel 1 is namelijk al gebleken dat het meetdageffect circa 0,03 punten bedraagt en het polijsteffect circa 0,01 punt per jaar. De verschillen worden, behalve door het in deel 1 beschreven meetdageffect, vooral veroorzaakt door de verschillen in de diverse meetsystemen. Vooral de uitschieters naar boven worden veroorzaakt door meetsysteem 5.



Figuur 5: Verloop van de stroefheid van de kalibratievakken in de tijd

Hypothese 3:

Een goede inschatting voor de restlevensduur¹ van het wegdek op het aspect "stroefheid" is te verkrijgen door de meetresultaten van de laatste drie meetseizoenen grafisch weer te geven.

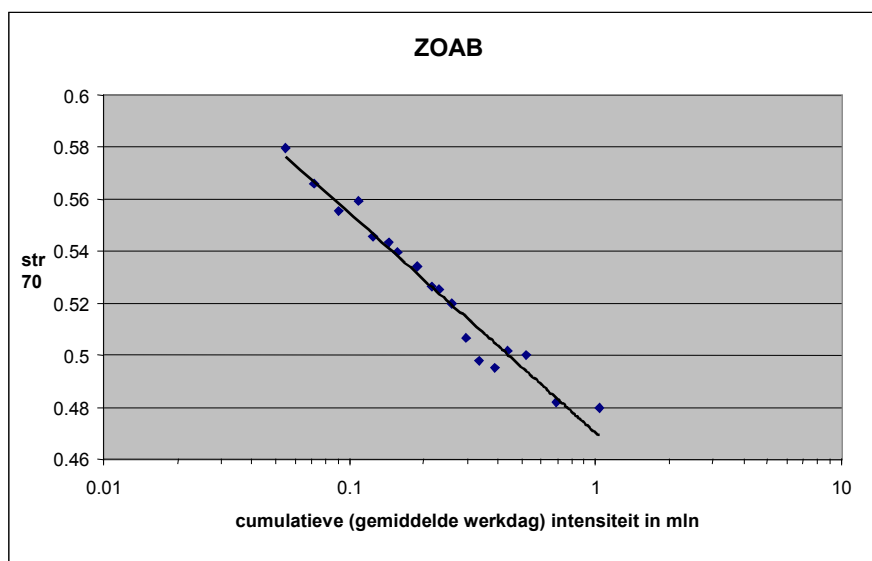
Deze hypothese wordt verworpen vanwege de grote spreiding in de meetresultaten van de stroefheidmetingen.

3.3.2 *Modellering stroefheidverloop*

Op basis van circa 7.000 meetgegevens op DAB en 25.000 meetgegevens op ZOAB (bijlage 3, bladzijde 29) is het mogelijk om:

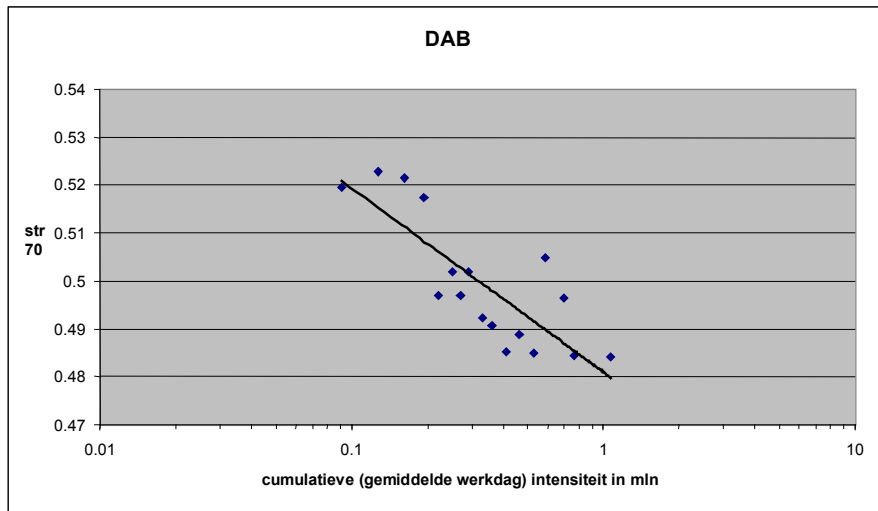
- een lineair model te veronderstellen tussen de gemiddelde stroefheid en de $\log(\text{cumulatieve werkdagintensiteit})$;
de gemiddelde variantie te berekenen.

Het verband tussen de stroefheid en de verkeersintensiteit is weergegeven in de figuren 5 (ZOAB) en 6 (DAB).



Figuur 5: Relatie tussen stroefheid en verkeersintensiteit op ZOAB

¹ De restlevensduur is het aantal jaren, dat vanaf het moment van meten resteert totdat de harde norm voor de stroefheid wordt overschreden.



Figuur 6: Relatie tussen stroefheid en verkeersintensiteit op DAB

De door TNO uitgevoerde statistische analyses zijn weergegeven in bijlage 3. De relatie tussen de percentielwaarden van de stroefheid, gemeten bij 70 km/uur en de intensiteit is te schrijven volgens het model:

$$\text{Str70} = a + b * 10 \log(\text{totale intensiteit in mln}/365)$$

Hierin is:

- Str70 = gemiddelde stroefheid bij 70 km/uur en bij het 50% punt
- a = het intercept, afhankelijk van type asfalt en percentieppunt
- b = de helling, afhankelijk van type asfalt

De waarden voor de factoren a en b zijn weergegeven in tabel 3.

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

Tabel 3: regressiecoëfficiënten op 10log mediaan van de cumulatieve intensiteit

3.3.3 Voorspellen m.b.v. algemeen model en 1 meetgeneratie

Met behulp van de volgende formule is de restlevensduur² te berekenen:

$$\Delta l = \frac{l_t}{i_t} (10^{(y_c - y_t)/b} - 1)$$

hierin is:

Δl	=	restlevensduur in jaren
I_t	=	cumulatieve intensiteit op moment t
i_t	=	intensiteit op moment t
x	=	harde norm voor de stroefheidswaarde
y	=	gemeten stroefheid op moment t
b	=	helling van het lineaire verloop van de stroefheid met de log(cumulatieve intensiteit) (zie tabel 3)

In deze paragraaf wordt nagegaan of hypothese 4 waar is, of verworpen dient te worden.

Hypothese 4:

Het is mogelijk om de restlevensduur² met een betrouwbaarheid van 1 jaar te voorspellen.

De nauwkeurigheid van de voorspelling van de restlevensduur is afhankelijk van de nauwkeurigheid van het model (onbetrouwbaarheid in b) en de nauwkeurigheid van de stroefheidmeting (Reproduceerbaarheid). Verder is de nauwkeurigheid van de voorspelling afhankelijk van het type deklaag, de ouderdom van de weg en het gemeten stroefheidsniveau (bijlage 3, bladzijde 34 en 35).

Indien de werkelijke stroefheid van een ZOAB-wegdek 0,42 is (bijlage 3, bladzijde 34, eerste geel gearceerde rij), dan is voor wegen met een ouderdom van 3 t/m 11 jaar de verwachte restlevensduur in alle gevallen 0 jaar. Wanneer gekeken wordt naar de bandbreedte van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling, blijkt dat ook in dit geval de restlevensduur 0 jaar is. Bij hogere stroefheden worden er grotere verschillen in de voorspelling gevonden. Bij een werkelijke stroefheid van 0,47 (in dezelfde tabel) blijkt dat de verwachte restlevensduur van een 5 jaar oud ZOAB-wegvak geschat wordt op 12 tot 18 jaar.

In de praktijk zal de werkelijke stroefheid niet bekend zijn, maar geschat worden door middel van een stroefheidmeting. Uitgaande van een geschatte stroefheid van een ZOAB-wegdek van 0,42 (bijlage 3, bladzijde 34, eerste geel gearceerde rij), dan is voor wegen met een ouderdom van 3 t/m 11 jaar de werkelijke restlevensduur 0 jaar. Tengevolge van de grote reproduceerbaarheid van de meting kan deze geschatte stroefheid liggen tussen 0,39 en 0,45. Wanneer gekeken wordt naar de bandbreedte van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling, blijkt dat de restlevensduur voor wegen met een ouderdom van 3 jaar kan variëren van minder dan 0 jaar (achterstallig onderhoud) tot 5 jaar. Voor wegen met een ouderdom van 11 jaar ligt de variatie in restlevensduur van minder dan 0 tot 17 jaar.

² De restlevensduur is het aantal jaren, dat vanaf het moment van meten resteert totdat de harde norm voor de stroefheid wordt overschreden.

Een voorspelling van de restlevensduur met een nauwkeurigheid van 1 jaar is niet mogelijk, waarmee hypothese 4 wordt verworpen.

De onnauwkeurigheid in de voorspelling wordt met name veroorzaakt door de onnauwkeurigheid in de stroefheidmeting. Om de nauwkeurigheid te verbeteren zijn er drie opties:

- Verkleinen van de herhaalbaarheid (r) en de reproduceerbaarheid (R) van de meting;
- In twijfelgevallen de meting herhalen;
- Indien met hetzelfde meetsysteem een waarde wordt gevonden, die maximaal 0,020 eenheden afwijkt, kan verondersteld worden dat de beide waarden niet significant van elkaar verschillen en het gemiddelde worden genomen;
- Indien met een ander meetsysteem een waarde wordt gevonden, die maximaal 0,040 eenheden afwijkt, kan verondersteld worden dat de beide waarden niet significant van elkaar verschillen en het gemiddelde worden genomen;
- Inzetten van een (nog te ontwikkelen) "cleaningtool" (bijlage 4), waarmee de meetdata gecontroleerd kunnen worden op "verdachte waarden". In dit verband zijn verdachte waarden de meetdata die sterk (bijvoorbeeld meer dan 2 maal de standaardafwijking) afwijken van de data die in eerdere meetseizoenen zijn gemeten.

4. Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Uit het onderzoek naar het seizoens- en temperatureffect blijkt het volgende: De meetfout is afhankelijk van het meetsysteem, waarbij meetsysteem 5 de grootste meetfout heeft.

- Het meetsysteem 5 meet ten opzichte van het gemiddelde aanzienlijk hoger.
- Het meetsysteem 2 meet ten opzichte van het gemiddelde significant lager.
- Er is een gecombineerde seizoens- en temperatuursinvloed waarneembaar.
- Het is mogelijk om voor de gecombineerde seizoens- en temperatuursinvloed te corrigeren.
- De seizoensinvloed en het temperatureffect verklaren gezamenlijk 50% van de spreiding, de overige 50% wordt verklaard door de verschillen tussen de diverse meetsystemen en de onnauwkeurigheid van de meting.
- Het is mogelijk om de gemeten stroefheid te corrigeren naar de meetdag (22 oktober), waarop de normstelling is gebaseerd.

Uit de trendanalyse naar het verloop van de stroefheid in de tijd is gebleken dat:

- het niet mogelijk is om op basis van het vergelijk van de meetresultaten van de afgelopen drie jaren van een wegvak een voorspelling te doen omtrent de restlevensduur van het vak; de meeton nauwkeurigheid en de spreiding in de meetresultaten tussen de diverse meetsystemen is daarvoor te groot.
- er een lineair verband bestaat tussen de momentane stroefheid en de logaritme van de cumulatieve verkeersintensiteit.
- 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 stroefheidmeting (hoge waarde voor de reproduceerbaarheid).

4.2 Aanbevelingen

Vanaf de startdatum van het in dit rapport beschreven onderzoek tot aan de uiteindelijke rapportagedatum, zijn en worden er vele veranderingen doorgevoerd op het gebied van het meten van de stroefheid. De aanbevelingen richten zich dan ook op de doorgevoerde of nog door te voeren veranderingen. Naar aanleiding van het onderzoek naar het seizoens- en temperatureffect wordt aanbevolen om na te gaan hoe de seizoens- en temperatuursinvloed bij de SKM-meting 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 wordt aanbevolen om:
- naar aanleiding van de in paragraaf 1.3 genoemde mogelijke invoering van de SKM-methode, het model opnieuw te bepalen op basis van metingen volgens die methode.
- naar aanleiding van de in paragraaf 1.3 genoemde 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 gegevens te valideren.

5. Begrippenlijst

Kalibratievak	Op de "kalibratievakken" worden door Rijkswaterstaat en door in opdracht van Rijkswaterstaat metende instanties 10 maal per jaar vergelijkende stroefheidsmetingen uitgevoerd. Het betreft een wegvak met DAB en een wegvak met ZOAB.
Winfrabase	Database van de CIV, waarin onder andere de elk jaar op het HWN gemeten stroefheidwaarden van staan.
HWN	Hoofdwegennet van Rijkswaterstaat.
CIV	Dienst Centrale Informatievoorziening van Rijkswaterstaat
MJPV	Meerjarenplanning Verhardingsonderhoud
Meetdagcorrectie	Correctiefactor, waarmee de gemeten stroefheid voor het seizoens- en temperatuureffect wordt gecorrigeerd naar een meetwaarde op 22 oktober.

6. Literatuurlijst

- [1] Peijs, K, [Achtergronden stroefheidsproblematiek rijkswegen \(SDG/Prod/2005/657\)](#), 2005, Den Haag
- [2] P.M. Kuijper, Leeswijzer meetonzekerheid, 2009, FeNeLab-Leidschendam.
- [3] Minh-Tan Do, Peter G Roe, "Report on state-of-the-art of test methods, Deliverable D04 TYROSAFE". December 2005
- [4] E. Vos, "Rapport stroefheid/veiligheid". 2007, DVS-Delft
- [5] P.M. Kuijper. "[Stroefheidontwikkeling in relatie tot kwaliteits steenslag.](#)" 2010, RWS-Dienst Verkeer en Scheepvaart
- [6] P.M. Kuijper. "[Wehner/Schulze-proef als methode voor de bepaling van de aanvangsremvertraging.](#)" 2010, RWS-Dienst Verkeer en Scheepvaart
- [7] P.M. Kuijper. "[Validatie van de Wehner/Schulze proef.](#)" 2010, RWS-Dienst Verkeer en Scheepvaart
- [8] P.M. Kuijper. "[Het valideren van de Friction After Polishing test conform pr EN 12697-49: 2011.](#)" 2013, RWS-Dienst Grote Projecten en Onderhoud

Bijlage 1: Aanleiding

Verslag: opzet trendanalyse stroefheidmetingen tbv advisering op 16 maart 2006, 15:00-16:00, A060

Aanwezig: Marion vd Bol, Sandra Erkens en Geert vd Horst
Afwezig: -
Cc: Jeannot Fafie, Peter Weide, Fred van 't Hof, Paul Kuijper, Hans Nugteren
Opgesteld: Sandra Erkens
Sub-deelproject: HARDE NORMEN
Onderwerp: project voortgangsbespreking
Programma: Technisch Instrumentarium
Project: RisicoBeheersing
Deelproject: Stroefheid

Verslag:

1. Opening en mededelingen

Tijdens een bijeenkomst voor het deelproject stroefheid (onderdeel van het Programma technisch instrumentarium, van Hans Nugteren), waarvan Paul Kuijper de generiek-projectleider is, bleek dat in het programmaplan geen "doorvertaling" van de stroefheidsproblematiek in ZH is opgenomen. Toch is het van belang dit te bewaken, met name in het licht van de harde normering: alle vakken die niet aan de norm voldoen moeten worden onderhouden.

Fred van 't Hof signaleert een vraag vanuit de IVON-planning: nu de stroefheidsnormen "hard" zijn, zijn schommelingen in de daaraan gekoppelde planjaren onacceptabel, de regio's weten dan niet waar ze aan toe zijn en het leidt tot twijfel aan de advisering. Bert de Wit heeft dit mn. voor de meetresultaten voor ZH met Jeannot Fafie opgenomen, daar zit een handmatige controle over heen. Feitelijk moet die controle op alle metingen zitten en dan is handmatig natuurlijk niet efficiënt.

Op de vraag van Sandra Erkens of de variatie niet komt door de extrapolatie van meet-variatie antwoordde Fred van 't Hof dat er voor de planning van stroefheid maar een generatie meetgegevens wordt ingelezen, aan die waarde (ingedeeld in intervallen) wordt een planjaar gekoppeld. Er wordt dus geen trendanalyse of achtergrond informatie gebruikt. Als de

meetwaarde door de meetvariatie van interval wisselt, wisselt het planjaar mee. Het is essentieel dat daar een kwalitatieve toets op komt, is de verandering in de lijn der verwachting dan kan het de deur uit, is het dat niet moet er een signaal afgaan zodat er door iemand naar gekeken wordt.

Deze kwalitatieve toets vereist informatie over de ontwikkeling van stroefheid van een deklaag in de tijd, gegevens die DWW heeft vastliggen in de WINFRABASE, er moet gekeken worden of en zo ja hoe die gegevens gebruikt kunnen worden om tot de gewenste toets te komen. Dat is de reden dat we in deze opzet bijeenkomen.

2. *Opkomende vragen*

Kernvraag in deze is hoe de variatie in meetgegevens zich verhoudt tot die in (het verloop van) stroefheid. Hoe minder variatie in meetgegevens, des te meer kans dat je de gegevens in perspectief kunt plaatsen. In het begin van het gesprek lopen we tegen een aantal punten aan die raken aan die variaties en die wij vanuit onze expertise niet kunnen inschatten, het gaat dan om:

- Harde normen: er moet iets gebeuren als er niet aan de norm voldaan wordt. Als dit vervanging deklaag is, zou dit via de systemen (opleveringsmetingen, NIS, kerngis) geregistreerd moeten worden. Is dat zo? Als de actie bestaat uit LVO (bv planeren), hoe zit dat dan, nemen we aan dat het dan voldoet, zit daar ook een toets op?
- Marion geeft aan dat er in het verleden gemerkt is dat de hysteresis/opwarming van de meetband een duidelijk effect heeft op de resultaten. Vraag is of dat is opgelost (hoe?) en zo nee, hoe groot het effect is en of je dat effect uit je data kunt isoleren door bv. Afstand en/of tijd tot de eerste meting kunt registreren? In dit verband wordt Lelystad genoemd en de namen van Jeannot en Bert.
- Meetgegevens zijn vnl gekoppeld aan rechter rijstroken, Sandra's opmerking dat nav ZH op locaties waar de rechterrijstrook vervangen is ook de inhaalstrook gemeten is, blijkt bij Geert niet bekend. Navragen of dit inderdaad is geïmplementeerd.
- Stroefheidsmetingen op betondeklagen bleken in het verleden uiterst variabel, ook daar is onderzoek naar gedaan. Mogelijk kunnen de opgedane ervaringen nuttig zijn voor de omgang met variaties in de asfalt metingen?

3. *Aanpak*

We komen tot de volgende opzet: per vak kijken naar het verloop van stroefheid in de tijd en kijken of hierin het effect van verschillende deklagen en intensiteit en/of leeftijd terug te vinden is. Als dat lukt, kun je een meting in het vervolg in perspectief plaatsen door te kijken of het in het patroon past. Als dat zo is, kan het door richting advisering, zo niet moet er door een deskundige naar gekeken worden.

Dit vereist de volgende informatie:

*gegevens over wegvak, type deklaag, aanleg datum/jaar, stroefheidswaarden in de tijd + meetdatum (onderscheid naar 50 en 70 km/h), deze haalt Geert uit de database

*gegevens over wegvak en verkeersintensiteit in de tijd, mogelijk heeft Peter Weide deze, Sandra gaat dat na en als hij ze niet heeft, vragen we ze op bij AVV

*analyse van de gecombineerde gegevens, dit zal Jan Telman doen en Marion adviseert erbij.

NB: het is voor een goed verloop essentieel dat de benodigde uren en budget voor dit product worden ingepast in de programmering!

4. Datum volgende overleg

Nog geen afspraak gemaakt, volgt zodra benodigde info is ingewonnen en het TNO-protocol rond is zodat Jan er ook bij kan zijn.

Actielijst:

nr	wat	wie	Wanneer	Status
1	Opnemen sub-deelproject en product in programmering	Hans Nugteren/Paul Kuijper	1-4-06	?
2	Uren, budget en planning opstellen tbv programmering	Paul Kuijper	1-4-06	?
3	Navragen of LVO ook getoetst wordt	Sandra Erkens	24/3/06	Loopt
4	Navragen of hysteresis effect nog in meetdata zit	Sandra Erkens	24/3/06	Loopt
5	Navragen of meten inhaalstrook bij onderhoud RR geïmplementeerd is	Sandra Erkens	24/3/06	afgerondt
6	Nagaan of ervaringen met variatie bij beton aanknopingspunt biedt voor dit verhaal	Sandra Erkens	24/3/06	Afgerond
7	Benodigde stroefheidsgegevens uit database halen	Geert vd Horst	1/4/06	Loopt
8	Peter Weide of AVV benaderen voor intensiteiten	Sandra Erkens	24/3/06	Loopt
9	Datafiles koppelen	Marion vd Bol/Jan Telman	15/4/06	Wacht op data
10	Data analyse	Marion vd Bol/Jan Telman	??	Wacht op data

Bijlage 2: Meetresultaten vergelijkende metingen A7

Door op de tabel te klikken wordt de volledige dataset geopend.

datum	temperatuur	dagdeel	vak	run	systeem	dab	zoab
28-2-2001	3	1	1	1	2	537	526
28-2-2001	3	1	2	1	2	555	527
28-2-2001	3	1	3	1	2	516	523
28-2-2001	3	1	4	1	2	532	525
28-2-2001	3	1	5	1	2	542	529
28-2-2001	3	1	1	2	2	532	525
28-2-2001	3	1	2	2	2	548	523
28-2-2001	3	1	3	2	2	503	518
28-2-2001	3	1	4	2	2	528	524
28-2-2001	3	1	5	2	2	533	524
28-2-2001	3	1	1	3	2	536	524
28-2-2001	3	1	2	3	2	550	522
28-2-2001	3	1	3	3	2	504	518
28-2-2001	3	1	4	3	2	528	525
28-2-2001	3	1	5	3	2	541	524
28-2-2001	3	1	1	4	2	539	524
28-2-2001	3	1	2	4	2	552	521
28-2-2001	3	1	3	4	2	507	519
28-2-2001	3	1	4	4	2	532	524
28-2-2001	3	1	5	4	2	541	522
28-2-2001	3	1	1	1	1	544	537
28-2-2001	3	1	2	1	1	559	540
28-2-2001	3	1	3	1	1	501	533
28-2-2001	3	1	4	1	1	527	540
28-2-2001	3	1	5	1	1	543	537
28-2-2001	3	1	1	2	1	537	526
28-2-2001	3	1	2	2	1	554	523
28-2-2001	3	1	3	2	1	512	529
28-2-2001	3	1	4	2	1	530	530
28-2-2001	3	1	5	2	1	541	532
28-2-2001	3	1	1	3	1	539	525
28-2-2001	3	1	2	3	1	554	521
28-2-2001	3	1	3	3	1	496	517
28-2-2001	3	1	4	3	1	522	518
28-2-2001	3	1	5	3	1	534	516
28-2-2001	3	1	1	4	1	520	515
28-2-2001	3	1	2	4	1	541	510
28-2-2001	3	1	3	4	1	482	510
28-2-2001	3	1	4	4	1	506	521
28-2-2001	3	1	5	4	1	523	519
28-2-2001	3	1	1	1	4	564	558
28-2-2001	3	1	2	1	4	586	550
28-2-2001	3	1	3	1	4	513	561
28-2-2001	3	1	4	1	4	531	555
28-2-2001	3	1	5	1	4	547	558
28-2-2001	3	1	1	2	4	542	546
28-2-2001	3	1	2	2	4	564	548
28-2-2001	3	1	3	2	4	499	548
28-2-2001	3	1	4	2	4	521	546

Bijlage 3: Statistische Analyse TNO

Door op de afbeelding te klikken wordt de volledige notitie geopend.

Notitie

Aan
P.Kuijper

Van
Ir. G.B. Derksen

Onderwerp
Stroefheid (anoniem)<-> ouderdom

Technical Sciences
Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag
www.tno.nl
T +31 88 866 10 00
F +31 70 328 09 61
infodesk@tno.nl

Datum
4 maart 2013

Onze referentie
<vnr-ext>

E-mail
gijam.derksen@tno.nl

Doorkiesnummer
+31 88 866 63 49

Verloop stroefheid in relatie met aantal voertuigpassages en seizoen

Deze notitie is het vervolg op de notitie 'Onderzoek naar de relatie stroefheid 70 km/u met de leeftijd' dd 28-2-2008 (bijlage 1)

In deze notitie komen de volgende onderwerpen aan de orde:

- verschillen tussen meetsystemen qua
 - o niveau
 - o reproduceerbaarheid
- relatie stroefheid met meteo gegevens
- modelbouw eindelevensduur met behulp van de monitoring gegevens
- voorspellen eindelevensduur van vakken die uitgezocht zijn voor de Wehner Schulze proef en vakken waarbij problemen zijn geconstateerd.

Samenvatting van de resultaten

De resultaten zijn als volgt samen te vatten;

Verschillen tussen meetsystemen qua niveau

Voor de verschillende meetsystemen en de wegdekken ZOAB en DAB staan de verschillen ten opzichte van het algemeen gemiddelde in tabel 1

tabel 1 Gemiddelde verschillen in STR070 ten opzichte van het algemeen gemiddelde

Meetsysteem	ZOAB	DAB
5	0.001	0.010
3	0.002	0.005
2	-0.005	-0.012
1	0.002	-0.002

Verschillen tussen meetsystemen qua reproduceerbaarheid

De waarden voor r (repeatability) en de R (reproducibility) staan in tabel 2 . Omdat systeem 5 enigszins afwijkt van de andere meetvoertuigen wordt onderscheid gemaakt naar de situaties waarbij metingen al dan niet betrekking hebben op meetsysteem 5

Bijlage 5: De datacleaner

Door op de afbeelding te klikken wordt de volledige notitie geopend.

Titel: De datacleaner
Auteur: G. Derksen; TNO I&T
Datum: 06-04-2009

Inleiding

De datacleaner is een stuk methode waarmee outliers en/of niet werkende sensoren in een sensornetwerk gedetecteerd kunnen worden. Het is een toepassing van een Bayesian Belief Network.

Het specifieke van deze methodiek is dat rekening gehouden wordt met correlaties in de tijd en ruimte. Een meting van een sensor wordt vergeleken met een meting van dezelfde sensor in het verleden en met meetwaarden van naburige sensoren op hetzelfde moment. Met behulp van conditionelekansverdelingen worden de aannemelijkheden van alle mogelijke waarden bepaald. De waarde met de hoogste aannemelijkheid is de meest aannemelijke uitkomst. Indien om een of andere reden een meetwaarde ontbreekt kan de meest aannemelijke uitkomst ook als schatting gebruikt worden.

Is deze aannemelijkheid laag in vergelijking met die van de andere mogelijke uitkomsten dan wordt aangenomen dat er iets mis is met de meting of dat er is iets mis met de sensor. Nader onderzoek/kennis is dan nodig om uitsluitsel te geven. Dit nader onderzoek kan bijvoorbeeld ook met behulp van een BBN, maar dan op een hoger niveau, uitgevoerd worden. De input van dat BBN bestaat uit de aannemelijkheden van aanliggende sensoren en extra informatie zoals mogelijke effecten van gemeenschappelijke oorzaken zoals verkeerd ingestelde parameters een dergelijke. Op deze wijze kan een eventuele gemeenschappelijke oorzaak aangewezen worden.

Deze notitie beschrijft een toepassing van de data cleaner en gaat in op enkele aandachtspunten bij het in de praktijk toepassen hiervan. De toepassing maakt, bij gebrek aan beschikbaarheid van een echt sensor netwerk gebruik van een dataset van Rijkswaterstaat. Deze set bevat stroefheidsgegevens en lijkt qua opbouw enigszins op die van een sensornetwerk.

Aandachtspunten bij een BBN

Een BBN is gebaseerd op (conditionele) kansen die geschat worden met behulp van een representatieve trainingsset. Deze set moet groot genoeg zijn om deze kansen betrouwbaar te kunnen schatten.

Bij een BBN kan gecorrigeerd worden voor een co-variabele. Een co-variabele is een variabele die het effect beschrijft van een externe oorzaak van een verloop in de tijd of ruimte. Voorbeelden zijn veroudering en/of temperatuur.

DVS data

In het kader van onderzoek naar verloop van de stroefheid in relatie tot het aantal voertuigpassages heeft DVS data beschikbaar gesteld die in het kader van de meerjaren onderhoudsplanning van het Rijkswegennet gedurende de periode 2001/2008 ingewonnen zijn. De dataset ziet er globaal als volgt uit

- van elk hm vak van het Rijkswegennet wordt om de 2 jaar de stroefheid bepaald
- van elk vak is het aanlegjaar bekend