

Notitie

**Aan**  
P.Kuijper

**Van**  
Ir. G.B. Derksen

**Onderwerp**  
Stroefheid (anonierm)<-> 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**  
giljam.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

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
2/40

**tabel 2 repeatability r en Reproducibilty R voor STR070**

meetsysteem		r	R
1, 2 en 3	ZOAB	0.017	0.037
	DAB	0.020	0.048
1, 2, 3 en 5	ZOAB	0.020	0.048
	DAB	0.025	0.066
5	ZOAB	0.025	-
	DAB	0.031	-

Relatie stroefheid met meteo gegevens

Uit de kalibratie data volgt dat er een sterke seizoensgebonden component is, die beschreven kan worden met behulp van een sinusfunctie. Dit geldt voor zowel ZOAB als DAB. Zowel de amplitude als de fase zijn voor de twee asfaltsoorten van dezelfde orde van grootte. De gecorrigeerde stroefheid wordt berekend wordt volgens de formule

$$\text{gecorrigeerde stroefheid} = \text{gemeten stroefheid} - 0.022 * \sin((360/365) * (\text{dag} + 60))$$

eq 1

Bovenstaande impliceert dat de correctie minimaal is op 22 oktober, met andere woorden: 22 oktober dient als referentie dag.

Voor nieuwe vakken die nog niet aan seizoenen blootgesteld zijn kan gecorrigeerd worden voor temperatuur volgens de formule:

$$\text{gecorrigeerdestroefheid} = \text{gemetenstroefheid} + 0.002 * (\text{temperatuur} - 16)^1$$

eq 2

Modelbouw eindelevensduur met behulp van de monitoring gegevens

Uit de monitoring data volgt dat de relatie tussen de percentiel waarden van str070 en de intensiteit te schrijven is volgens het model:

$$\text{str70} = a + b * 10^{\log(\text{totale intensiteit in mln} / 365)}$$

eq 3

---

<sup>1</sup> De referentie temperatuur van 16 °C is de gemiddelde maximale temperatuur op 22 oktober gedurende de periode 1998 t/m 2002.

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
3/40

Hierbij is

- de helling  $b$  afhankelijk van type asfalt.
- het intercept  $a_p$  afhankelijk van type asfalt en van de percentiel waarde. Voor de 50% waarden staan de waarden voor  $a$  en  $b$  in tabel 3

**tabel 3 Coëfficiënten van de trend modellen voor 50% punten**

	$a_{50}$	$b$
ZOAB	0.470	-0.0845
DAB	0.481	-0.0384

De volgende formule kan gebruikt worden om de restlevensduur in jaren te voorspellen indien aangenomen wordt dat in de eerst komende jaren de verkeersintensiteit niet noemenswaardig toeneemt

$$\Delta l = \frac{I_t}{i_t} \left( 10^{(yc-yt)/b} - 1 \right) \quad \text{eq 4}$$

Met

$\Delta l$  de restlevensduur in jaren

$I_t$  totaal aantal voertuigen/365 t/m jaar  $t$  in mln

$i_t$  totaal aantal voertuigen/365 in jaar  $t$  in mln

$yc$  de grenswaarde

$yt$  de meting in jaar  $t$

$b$  de helling van de trendlijn

#### De onnauwkeurigheid in de restlevensduur voorspelling.

De belangrijkste bron van de onnauwkeurigheid in de restlevensduur voorspelling is meetonnauwkeurigheid in  $yt$ .

- Als gevolg van de meetonnauwkeurigheid is de ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspelde restlevensduur negatief voor waarden tot 0.04 boven de grenswaarde. Dit geldt voor zowel ZOAB als DAB
- Als gevolg van de onnauwkeurigheid in de helling  $b$  is de ondergrens van het 95 % betrouwbaarheidsinterval van de voorspelde restlevensduur groter dan 1 jaar voor waarden vanaf 0.01 boven de grenswaarde. Dit geldt voor zowel ZOAB als voor DAB

Wil de betrouwbaarheid van de restlevensduur significant verbeterd worden dan is moet energie gestoken worden in het verbeteren van de nauwkeurigheid van de stroefheidsmeting

## Kalibratie van de meetsystemen

Er zijn in de periode jan 2001 t/m jan 2008 maandelijks kalibratie metingen verricht op enkele 100m vakken op de A7. Met deze data is het mogelijk om de systemen met elkaar te vergelijken alsmede de herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid van de systemen te bepalen. Tevens zijn er meteo data beschikbaar van de dichtstbijzijnde meteo meetlocatie de Koog. Deze data is gebruikt om te onderzoeken of er sprake is van een invloed van de weersomstandigheden op de gemeten stroefheid.

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
4/40

Er zijn 6 meetsystemen, systeem 4 is slechts in het begin enkele keren getest terwijl systeem 6 aan het eind enkele keren getest is. Per ronde worden over het algemeen 4 meetsystemen getest, halverwege de dag wordt elk systeem van een andere band voorzien. In totaal zijn er per ronde 8 meetstelsel/band combinaties. Per type wegdek zijn er 5 vakken waarover 4 keer gereden wordt. De gegevens zijn bij DID beschikbaar in de vorm van een aantal Excel files, één file per meetdag. Deze gegevens zijn samengevoegd in één nieuwe file 'A7.xls' die aan DVS beschikbaar is gesteld

#### Opmerkingen met betrekking tot DAB:

- In 2005 is overgegaan op andere vakken omdat de gebruikte vakken overlaagd zijn met ZOAB.
- De overlaging met ZOAB heeft tevens tot gevolg dat de aanlegdatum van de oorspronkelijke vakken niet meer te achterhalen is.
- Voor 2005 was de toplaag niet DAB maar hoogstwaarschijnlijk EOB.

Bovenstaande heeft tot gevolg dat de analyses voor DAB niet altijd eenduidig te interpreteren zijn. Om deze redenen ligt, bij name bij de modellering van het seizoen, de nadruk van de analyses op de ZOAB vakken

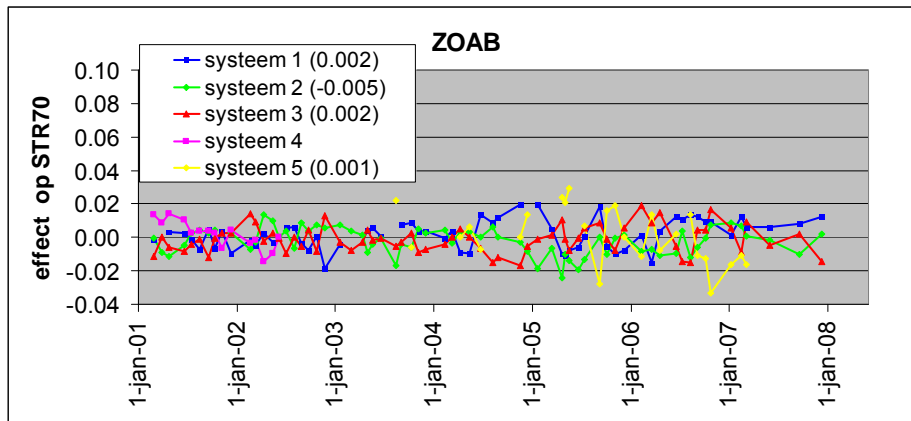
### Verschillen tussen meetsystemen: niveau

De kalibratiemetingen zijn zodanig van aard dat het mogelijk is om systemen onderling met elkaar te vergelijken. Omdat de echte stroefheid onbekend is, is het niet mogelijk om uitspraken te doen over het absolute niveau van de uitkomsten. Met andere woorden: 'het is niet mogelijk om aan te geven wat de systematische afwijkingen van de verschillende systemen zijn'.

Per ronde is het gemiddelde van een meetwagen bepaald en het totale gemiddelde. Vervolgens zijn de verschillen tussen deze gemiddelden berekend en grafisch weergegeven in figuur 1 en figuur 2. In tabel 4 staan de gemiddelde verschillen voor die rondes waarbij de systemen 1, 2, 3 en 5 meededen.

Interpretatie

Bij DAB wijkt systeem 5 met name af van systeem 2. Vooral in begin 2005 zijn zijn er extreem hoge waarden voor systeem 5. Bij zowel ZOAB als DAB scoort systeem 2 gemiddeld lager dan de andere systemen.

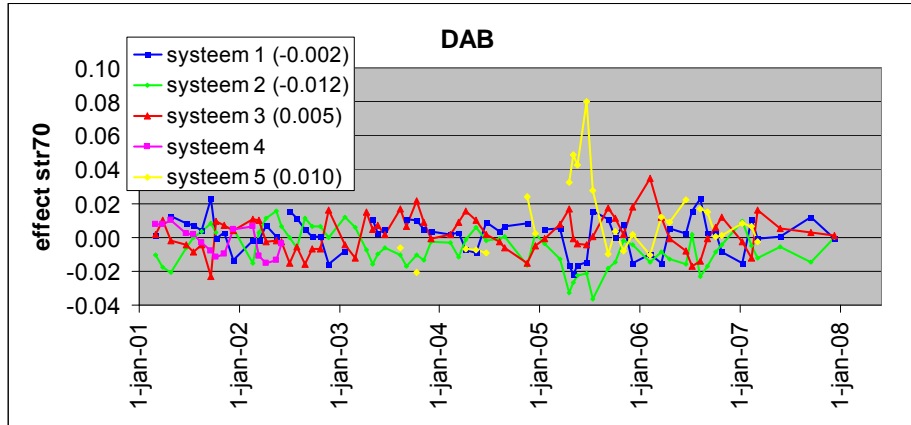


figuur 1 verschillen tussen meetsystemen bij ZOAB

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
5/40



figuur 2 verschillen tussen meetsystemen bij DAB

tabel 4 gemiddelde verschillen in STR070 voor de systemen 1,2,3 en 5 ten opzichte van algemeen gemiddelde.

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

### Conclusie

Bij ZOAB zijn de verschillen tussen de systemen kleiner dan bij DAB. Bij zowel ZOAB als DAB scoort systeem 2 het laagst. Bij DAB scoort systeem 5 het hoogst. De echte stroefheid is echter niet bekend zodat het niet duidelijk is of systeem 2 onderschat of dat de andere systemen, met name systeem 5, overschatten.

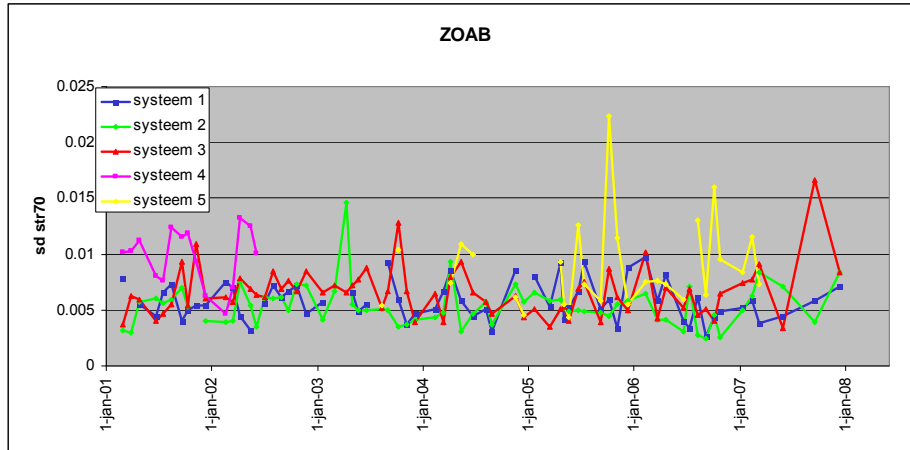
### Verschillen tussen meetsystemen: spreiding

Voor elke ronde is er voor elke wagen de meetnauwkeurigheid uitgerekend in de vorm van de standaarddeviate  $s$ . Deze waarde  $s$  dient als basis voor de berekening van de herhaalbaarheid van een systeem. De resultaten van de systemen 1 t/m 5 staan in figuur 3 en figuur 4, de overall standaarddeviaties van de systemen 1, 2, 3 en 5 staan in tabel 5.

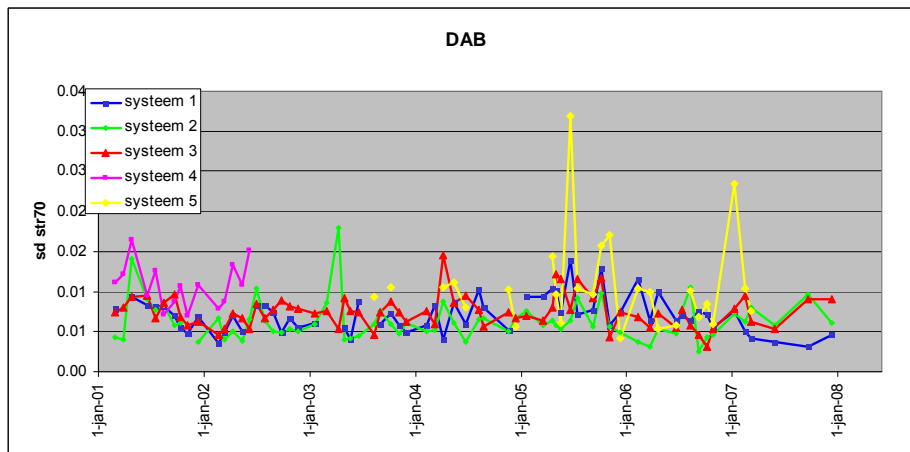
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
6/40



figuur 3: de standaardafwijking voor de verschillende systemen bij ZOAB



figuur 4: de standaardafwijking voor de verschillende systemen bij DAB

tabel 5: gemiddelde standaarddeviatie voor de systemen 1, 2, 3 en 5.

Meetsysteem	ZOAB	DAB
5	0.009	0.011
3	0.007	0.008
2	0.005	0.006
1	0.006	0.007

### Conclusie

- voor ZOAB is de standaarddeviatie kleiner dan voor DAB
- meetsysteem 5 heeft een grotere standaarddeviatie dan de systemen 1, 2 en 3

### Herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid

In deze paragraaf worden de herhaalbaarheid (r) en reproduceerbaarheid (R) berekend.

De herhaalbaarheid is een maat om metingen te vergelijken die onder vergelijkbare omstandigheid (zelfde meetsysteem) verkregen zijn en is gelijk aan  $2.83 \cdot \text{standaarddeviatie (binnen een systeem)}$  en is gelijk aan  $r = 2.83 \cdot s_r$ . Van de reproduceerbaarheid wordt gebruik gemaakt om resultaten verkregen met verschillende systemen, met elkaar te vergelijken. De reproduceerbaarheid is gelijk aan  $2.83 \cdot \text{standaarddeviatie die berekend wordt als som van de spreiding binnen systemen en tussen systemen}$  en is gelijk aan  $R = S_R$ . De standaarddeviaties  $s_r$  en  $S_R$  kunnen ook gebruikt worden om betrouwbaarheidsintervallen uit te rekenen van metingen en om aan te geven of een gemeten waarde significant afwijkt van een bepaalde interventiewaarde.

De systemen 1, 2 en 3 zijn qua herhaalbaarheid vergelijkbaar en wijken iets af van systeem 5. Daarom zijn er drie herhaalbaarheden en reproduceerbaarheden uitgerekend

- alleen voor systeem 5
- de systemen 1, 2 en 3
- de systemen 1, 2, 3 en 5 samen.

De herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid worden verkregen door de desbetreffende standaarddeviaties  $s$  en  $S$  met een factor 2.83 te vermenigvuldigen.

Per ronde worden  $s$  en  $S$  berekend waarna deze vervolgens gemiddeld worden over de rondes. Als voorbeeld staan in figuur 5 en figuur 6 per ronde  $s$  en  $S$  voor systemen exclusief systeem 5. De herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid staan in tabel 6

**Datum**

4 maart 2013

**Onze referentie**

<vnr-ext>

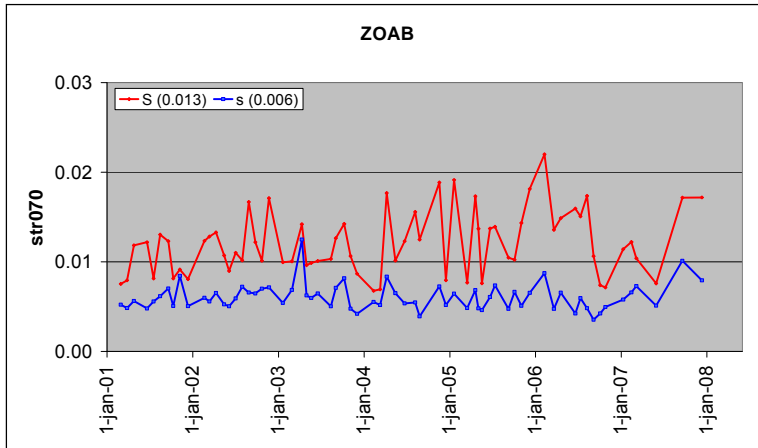
**Blad**

7/40

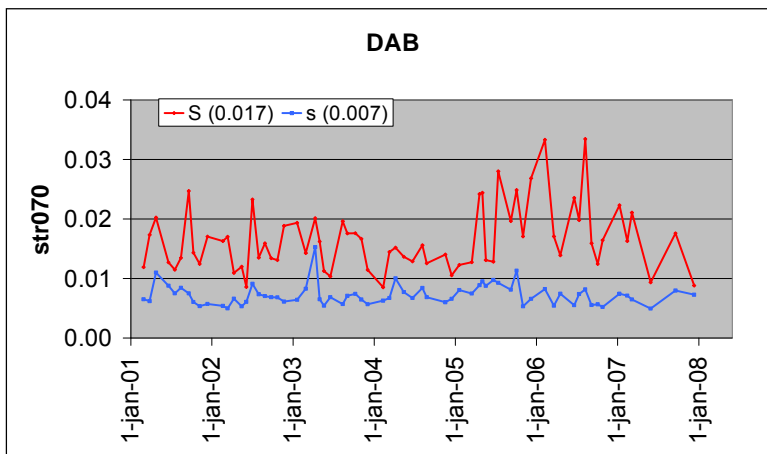
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
8/40



figuur 5: standaardafwijking voor de systemen 1, 2 en 3; voor ZOAB



figuur 6: standaardafwijking voor de systemen 1, 2, en 3; voor DAB

tabel 6: standaardafwijkingen, herhaalbaarheid r en reproduceerbaarheid R.

Stysteem		$s_r$	r	$S_R$	R
1, 2 en 3	ZOAB	0.006	0.017	0.013	0.037
	DAB	0.007	0.020	0.017	0.048
1, 2, 3 en 5	ZOAB	0.007	0.020	0.017	0.048
	DAB	0.009	0.025	0.023	0.066
5	ZOAB	0.009	0.025	-	-
	DAB	0.011	0.031	-	-



**Opmerking**

- Bij de berekening en gebruik van  $S_R$ ,  $r$  en  $R$  moet men zich realiseren dat in deze grootheden geen verschillen tussen dagen verdisconteerd zijn. Met andere woorden effecten die van dag tot dag kunnen variëren zijn hierin niet opgenomen. Ze vertonen zodoende misschien een te optimistisch beeld.
- Er blijkt een factor 2 te zitten tussen de reproduceerbaarheid en de herhaalbaarheid Er zijn dus wel degelijk verschillen tussen systemen.

Gebruik van  $S_R$ ,  $r$  en  $R$

De grootheid  $S_R$  kan gebruikt worden om uitspraken te doen ten aanzien van 1 meting.  $R$  en  $r$  zijn van belang bij het vergelijken van meerdere metingen met elkaar.

Enkele voorbeelden van toepassingen van  $S_R$

- 2-zijdig betrouwbaarheidsinterval. Stel men meet een waarde bij een ZOAB vak van 0.47 dan ligt met 95% betrouwbaarheid de werkelijke waarde in het
  - o interval  $[0.47 \pm 1.960 \cdot 0.013] = [0.444; 0.496] \approx [0.44; 0.50]$  indien geen rekening gehouden wordt met systeem 5
  - o interval  $[0.47 \pm 1.96 \cdot 0.017] = [0.437; 0.503] \approx [0.44; 0.50]$  indien rekening gehouden wordt met systeem 5.
- 1-zijdig betrouwbaarheidsinterval. Stel men meet een waarde bij een ZOAB vak van 0.47 dan is met 95% betrouwbaarheid de werkelijke waarde hoger dan
  - o  $0.47 - 1.65 \cdot 0.013 = 0.448 \approx 0.45$  indien geen rekening gehouden wordt met systeem 5
  - o  $0.47 - 1.65 \cdot 0.017 = 0.441 \approx 0.44$  indien wel rekening gehouden wordt met systeem 5

Voorbeelden van toepassingen van  $r$  en  $R$

- Stel 2 resultaten van hetzelfde ZOAB vak zijn 0.44 en 0.46. Dan is er sprake van
  - o Een significant verschil omdat  $0.46 - 0.44 = 0.02 > r (=0.017)$  indien hetzelfde systeem maar niet systeem 5 is gebruikt
  - o Niet significant verschil omdat  $0.46 - 0.44 = 0.02 < R (=0.037)$  indien verschillende systemen maar niet systeem 5 zijn gebruikt
- Stel 2 resultaten van hetzelfde ZOAB vak zijn 0.42 en 0.46. Dan is er sprake van een niet significant verschil indien een keer systeem 5 gebruikt is en de andere keren een van de andere systemen is gebruikt.

**Relaties met meteo gegevens**

In figuur 7 en figuur 8 zijn de STR070 waarden van zowel ZOAB als DAB weergegeven. In deze grafieken zijn duidelijk de volgende 2 effecten te onderscheiden

- een trend
- een seizoenseffect

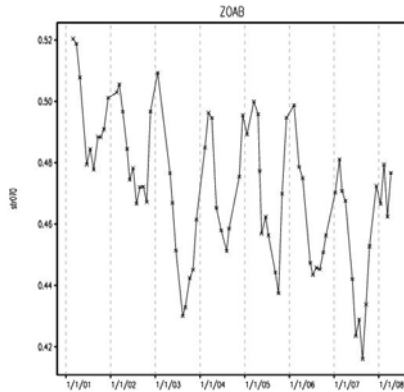
Verder is bij DAB duidelijk te zien dat er in 2005 sprake is van een trendbreuk, deze heeft te maken met de overgang op andere vakken. Het verloop van de trend na 2005 is minder duidelijk.

Opvallend is wel het verschil in trend. Bij ZOAB wordt de stroefheid lager in de tijd. Bij DAB neemt de stroefheid toe met de tijd. Onduidelijk is wat de reden is voor de verschillen in trend voor ZOAB en DAB.

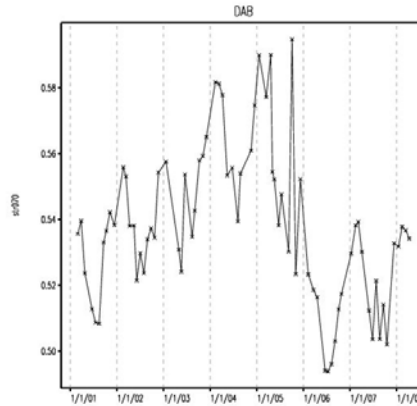
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
10/40



figuur 7: kalibratie metingen ZOAB



figuur 8: kalibratie metingen DAB

In deze paragraaf wordt op het seizoenseffect ingegaan, indien het mogelijk is om dit effect te modelleren dan kan gewerkt worden met een gestandaardiseerde stroefheid zodat het vergelijken van metingen met elkaar eenvoudig is

In 1999 zijn door KOAC/WMD analyses uitgevoerd om het effect van het seizoen op de stroefheid (STR070) te kwantificeren. De resultaten staan in het rapport 'Onderzoek naar de seizoensinvloeden bij stroefheids metingen' (25 okt 1999; rap nr 996661). Belangrijke conclusies zijn:

- De stroefheid varieert van maand tot maand
- De van maand tot maand variatie kan beschreven worden middels een sinus functie met een periodiciteit van een jaar en een maximum dat bereikt wordt in februari
- er bestaat een relatie tussen de stroefheid en de temperatuur

Een van de aanbevelingen is om een model te maken voor de stroefheid waarin zowel het seizoenseffect volgens een sinus functie en de temperatuur als verklarende variabele zitten. Een dergelijk model maakt het mogelijk om met een gestandaardiseerde waarden te werken. Dit maakt het dan vervolgens mogelijk om het gehele jaar door te meten en metingen met elkaar te vergelijken.

### Opmerking

Het KOAC rapport is onder andere gebaseerd op de kalibratie vakken op de A7. De metingen betroffen echter de periode 1997/1998. Opvallend hierbij is de conclusie dat voor de DAB vakken er een dalende trend te zien is terwijl er voor de periode 2001/2005 sprake is van een duidelijke stijgend verloop. Wat de oorzaak is van deze tegenstrijdigheid is niet bekend.

In deze notitie wordt getracht een model te maken voor de metingen op de ZOAB vakken op de A7 gedurende de periode 2001 t/m 2007 waarbij rekening gehouden wordt met seizoen, temperatuur en vochtneerslag. Gezien de eerder gemaakte opmerkingen ten aanzien van de DAB vakken vindt de modelontwikkeling plaats aan de hand van de ZOAB vakken. Vervolgens wordt deze modelvorm ook nog eens toegepast op de DAB vakken.

**Datum**

4 maart 2013

**Onze referentie**

<vnr-ext>

**Blad**

11/40

**Conclusie:**

- de combinatie van seizoenen, temperatuur en vocht levert geen verbetering ten opzichte van een model dat de stroefheid volgens een sinusvormig verloop in een jaar beschrijft.
- de modellen beschrijven de metingen over het algemeen goed maar er zijn enkele periodes van enkele maanden waarbij geen enkel model goed past. Tot heden is het niet mogelijk gebleken om de oorzaak hiervan te achterhalen.

**Modelbouw**

*Verklarende variabelen*

Er zijn modellen geformuleerd die de stroefheid beschrijven als functie van seizoenen, temperatuur en hoeveelheid vochtneerslag. Tevens is er in deze modellen een term opgenomen om rekening te houden met de trend. De term wordt aangeduidt met leeftijd.

*Seizoenen*

Het is mogelijk om 'seizoenen' te definiëren in termen van maanden. Als er op maand niveau gewerkt wordt is er sprake van 12 'seizoenen'. Ook is het mogelijk om 'seizoenen' te definiëren door enkele maanden met elkaar te combineren in bijvoorbeeld zomer, herfst etc. Het nadeel van 'seizoenen' is dat elk seizoen zijn eigen niveau heeft en dat zodoende sprake is van discontinuïteiten. Het lijkt niet logisch dat qua stroefheid een meting op 31 maart wezenlijk anders is als een meting op 1 april. Aan dit bezwaar kan tegemoet gekomen worden door over te gaan op dagen en de data te modelleren middels een sinusfunctie met een periode van 365 dagen.

In de analyses zijn bovenstaande definities gebruikt en met elkaar vergeleken.

*Temperatuur.*

De volgende temperatuur gegevens zijn beschikbaar:

- 3 temperaturen (etmaal gemiddelde, minimum en maximum) zoals gemeten in weerstation de Kooy (bron KNMI internet). Er is gekozen om af te zien van de temperatuur metingen van de Kooy omdat deze niet ter plaatse van de metingen geldig hoeven te zijn en de RWS metingen wel.
- temperatuur lucht, ter plekke gemeten door RWS (bron spreadsheets RWS)
- temperatuur van de band (bron spreadsheets RWS). Deze temperatuur is niet goed bruikbaar omdat:
  - o deze in ongeveer de helft van de gevallen ontbreekt (vanaf april 2004)
  - o er soms flinke verschillen zijn tussen de verschillende banden, het kan oplopen tot 9°, deze verschillen zijn niet goed verklaarbaar.

*Vochtneerslag*

Het weerstation levert ook de gegevens met betrekking tot duur van de neerslag en de etmaalsom van de neerslag, beiden zijn gebruikt in de analyses.

**Modellen**

De modellen<sup>2</sup>, die KOAC voor ZOAB vindt luiden als volgt:

*Verloop met het seizoen*

---

<sup>2</sup> De stroefheid is eerst gecorrigeerd voor een lineaire trend waarna een sinus gefit wordt op de maand gemiddelden

$$\text{stroefheid tov december} = A + 0.018 * \sin((2\pi \cdot \text{maand} / 12) + 1.288)$$

eq 5

Hierbij is 0.018 de amplitude, dit komt erop neer dat het maximale verschil in stroefheid gelijk is aan  $2 * 0.018 = 0.036$ . De fasehoek is 1.288 en bepaalt uiteindelijk in welke maand het maximale stroefheidsverschil optreedt.

*Verloop met de temperatuur*

Bij een stijging van de temperatuur van het wegdekoppervlak met  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  zal de stroefheid dalen met 0.013.

De modellen<sup>3,4</sup> die door TNO gevonden worden voor de metingen 2001/2007 zijn als volgt

*Verloop met het seizoen: figuur 11*

Allereerst is er na analogie van het KOAC rapport een model gefit op de maandgemiddelden volgens het model

$$\text{stroefheid} = 0.51 - 0.017 * 10^{-3} * \text{leeftijd} + \text{maand}_i$$

eq 6

Hierbij is maand<sub>i</sub> een term die afhangt van de maand in het jaar

Vervolgens is er een seizoensmodel gefit dat uitgaat van een sinusvormig<sup>5</sup> verloop in de maanden (zie figuur 12 )

$$\text{stroefheid} = 0.50 - 0.017 * 10^{-3} * \text{leeftijd} + 0.024 * \sin((360 / 365) * (\text{dag} + 50))$$

eq 7

Hierbij is 0.024 de amplitude en 50 de fase in dagen. Dit komt erop neer dat het maximale stroefheidsverschil gelijk is aan  $2 * 0.024 = 0.048$ . Op ongeveer 10 februari is de stroefheid maximaal.

Deze resultaten volgens de modellen eq 6 en eq 7 komen goed met elkaar overeen (de verandering in de kwadratsommen is niet significant op het 5% niveau). Dit leidt tot de conclusie dat het verloop sinusvormig is.

*Verloop met de temperatuur, figuur 13*

Er is aangenomen dat er naast het verband met de leeftijd een lineair verband bestaat tussen de stroefheid en de temperatuur.

$$\text{stroefheid} = 0.50 - 0.017 * 10^{-3} * \text{leeftijd} - 0.0024 * (\text{temperatuur} - 10)$$

eq 8

<sup>3</sup> De lineaire trend en de seizoen parameters voor deze modellen worden in een keer geschat.

<sup>4</sup> De leeftijd is in dagen en 1 jan 2001 komt overeen met dag=0

<sup>5</sup> In de KOAC modellen is de hoek uitgedrukt in radialen, en de TNO modellen zijn de hoeken uitgedrukt in graden

Bij een stijging van de temperatuur van het wegdekoppervlak met 10 °C zal de stroefheid dalen met 0.024.

#### Samenvatting

Uit de grafieken volgt dat

- de modellen totaal niet passen in 2003
- modellen niet passen in voorjaar 2005 en in de winter 2005/2006
- twee modellen (eq 6 en eq 7) erg veel op elkaar lijken
- het model (eq 8) dat op de temperatuur gebaseerd is past over het algemeen minder bij de data dan de andere twee modellen (eq 6 en eq 7).

Voor en nadelen van de verschillende modellen

- het model dat gebaseerd is op 'seizoenen' heeft ten opzichte van een model dat gebaseerd is op temperatuur als voordeel dat het niet noodzakelijk is om de temperatuur te meten.
- Het model dat gebaseerd is op een sinus met als eenheid de dag heeft ten opzichte van een model dat als eenheid de maand het voordeel dat de tijdstap niet discreet is. Het maakt niet zo veel uit of de meting aan het eind van een maand verricht wordt of aan het begin van de volgende maand.
- Bij het model dat gebaseerd is op een sinus is het mogelijk om een meting die op een willekeurige dag verricht is om te rekenen naar een referentie meetdag; mogelijke referentie dagen zijn:
  - o 30 maart
  - o de dag waarop de stroefheid maximaal cq minimaal zou zijn.
  - o de dag waarop het aantal gecorrigeerde vakken dat niet voldoet gelijk is aan het aantal vakken dat niet voldoet zonder correctie
  - o ...

*Verloop met het seizoen en de temperatuur, zie figuur 14*

Voortbordurend op de vorige modellen is een mogelijk model dat zowel rekening houdt met de seizoenen en de temperatuur als volgt

$$\text{stroefheid} = 0.50 - 0.017 * 10^{-3} * \text{leeftijd} + 0.023 * \sin((360 / 365) * (\text{dag} + 49)) - 0.15 * 10^{-3} * (\text{temperatuur} - 10)$$

eq 9

#### Samenvatting

In figuur 15 staan de gefitte waarden voor de modellen 2 t/m 5. Duidelijk is te zien dat

- het model eq 5 (sinus+temperatuur) erg veel lijkt op de modellen eq 6 en eq 7
- het toevoegen van de temperatuur geen significante verbetering geeft.

Met andere woorden het toevoegen van de term temperatuur aan een model dat een seizoen term bevat heeft niet veel effect. De reden hiervoor is gelegen in de enorme verstrengeling van seizoenen en temperatuur en dat gebruikgemaakt wordt van een dag temperatuur. Hierdoor zijn de grootheden seizoenen cq temperatuur en stroefheid haast niet van elkaar te onderscheiden. Zowel de stroefheid als de temperatuur vertonen een sinusvormig verloop (zie figuur 16, figuur 17 en figuur 19) en zijn daardoor sterk aan elkaar gecorreleerd, zie figuur 18 en figuur 20.

Door deze verstrengelingen is het niet mogelijk om oorzaak en gevolg van elkaar te onderscheiden. Is de oorzaak de temperatuur of spelen er nog meer zaken

**Datum**

4 maart 2013

**Onze referentie**

<vnr-ext>

**Blad**

13/40

**Datum**

4 maart 2013

**Onze referentie**

<vnr-ext>

**Blad**

14/40

zoals regen, zout etc een rol? Nadere bestudering van de temperaturen levert dat de temperatuur niet echt sinusvormig verloop. Het lijkt erop dat de maxima iets hoger liggen dan dat men op basis van een sinus zou verwachten. Om die reden zijn nog extra analyses uitgevoerd met iets afwijkende definities van seizoenen.

#### *Mogelijke andere modellen voor seizoen in combinatie met temperatuur*

Voorbeelden van andere modellen om temperatuur met seizoen te combineren zijn

- een model met een extra correctie voor de zomer en winter
- modellen met een sinusvormig verloop met daarbij een temperatuursafhankelijkheid die afhangt van het seizoen. Dit wil zeggen dat er een afhankelijkheid is met de temperatuur maar dat deze afhankelijkheid van seizoen tot seizoen verschilt. Een dergelijk seizoen dient dan nog wel nader gedefinieerd te worden.

#### Vochtneerslag

De informatie met betrekking tot vochtneerslag is beschikbaar in de vorm van hoeveelheid en duur. Deze gegevens zijn op een groot aantal manieren te transformeren naar nieuwe grootheden, bv totale hoeveelheid in de afgelopen 1, 2, 3 ... dagen, gemiddelde neerslag in de afgelopen x dagen, neerslag per uur in de afgelopen x dagen, etc. Het aantal mogelijkheden is erg groot. Vanuit praktische overwegingen zijn in eerste instantie de ruwe data grafisch weergegeven als functie van de tijd (zie bijlage 2) en is visueel onderzocht of er relaties waren met de meetmomenten. Hierbij is met name gelet op de periodes waarin de modellen niet overeenkwamen met de metingen. Deze, niet objectieve, methode heeft tot de conclusie geleid dat de afwijkingen niet duidelijk te verklaren zijn uit afwijkend vochtneerslag.

Uit enkele aanvullende analyses ontstond het vermoeden dat er een relatie zou zijn met de constatering of de afgelopen 2 dagen regengevallen was of niet. Om die reden is in de modellen ook nog rekening gehouden met het feit dat in de twee voorgaande dagen regen gevallen is.

#### Uitbijters

De analyses zijn nog een keer uitgevoerd waarbij aangenomen is dat het jaar 2003 een uitbijter is, dwz de analyses zijn herhaald zonder gebruikmaking van de gegevens van 2003.

#### Resultaten

Als voorbeeld van de analyses staan in figuur 21 de resultaten van de volgende 5 modellen waarbij het seizoen bestaat uit een 'zomer' die loopt van 1 mei tot eind november en een winter die loopt van 1 december tot 30 april

- trend + sinus
- trend + sinus + seizoen
- trend + sinus + seizoen + temperatuur
- trend + sinus + seizoen + temperatuur + temperatuur effect afhankelijk van seizoen
- trend + sinus + seizoen + temperatuur + effect temperatuur afhankelijk van seizoen + effect vochtneerslag afhankelijk van seizoen

Al de verschillende modellen leverden een vergelijkbaar resultaat. De gefitte waarden waren vergelijkbaar en kwamen over het algemeen goed overeen met de metingen, de grootste afwijkingen zijn

- 1<sup>e</sup> helft 2002: model is systematisch te hoog
- 1<sup>e</sup> helft 2005: model is systematisch te laag
- 1<sup>e</sup> helft 2006: model is systematisch te laag
- medio 2001: model is systematisch te laag
- medio 2005: model is systematisch te hoog
- medio 2007: model is systematisch te hoog

### Conclusie

Het toevoegen van extra seizoenen levert geen verbetering op ten opzichte van een model dat gebaseerd is op temperatuur. Eerder is geconstateerd dat het model dat gebaseerd is op een sinus de voorkeur geniet boven een model gebaseerd op de temperatuur.

Het best passend eenvoudigste model is het model dat de stroefheid middels een sinus beschrijft.

$$\text{gemeten stroefheid} = \text{stroefheid} + 0.024 * \sin((360/365) * (\text{dag} + 50))$$

**eq 10**

Onder de veronderstelling dat 2003 een uitbijter is luidt het model:

$$\text{gemeten stroefheid} = \text{stroefheid} + 0.022 * \sin((360/365) * (\text{dag} + 56))$$

**eq 11**

De verschillen tussen deze twee modellen zijn klein maar gezien het afwijkende gedrag van het jaar 2003 gaat de voorkeur uit naar eq 11.

Het model past niet exact (zie figuur 22), er zijn nog wel enkele afwijkingen die niet door andere temperaturen of regenval verklaard kunnen worden. Deze afwijkingen lopen een enkele keer op tot  $\pm 0.02$ . Indien alleen voor de lineaire trend gecorrigeerd wordt lopen de verschillen op tot  $\pm 0.04$ .

Bij het model met alleen maar trend is de residuele standaardafwijking 0.017 en het percentage verklaarde variantie maar 38%.

Bij het model dat ook rekening houdt met het seizoen is de residuele standaardafwijking 0.008 en het percentage verklaarde variantie 87%.

Zoals eerder gezegd is het door middel van een dergelijk model mogelijk om de meting te corrigeren naar een referentiedatum. Ter illustratie hiervan zijn de volgende twee referentie dagen gekozen:

- 30 maart, zie figuur 23, dit is een dag in het voorjaar die valt binnen de periode waarin normaliter metingen verricht worden
- 1 augustus, zie figuur 24, dit is de dag waarop theoretisch gezien de stroefheid minimaal zou moeten zijn

De omrekening van een gemeten stroefheid naar een voor een bepaalde referentie dag vindt plaats met volgende de formule:

$$\begin{aligned} \text{gecorrigeerde stroefheid} = & \\ & \text{gemeten stroefheid} \\ & - 0.022 * \sin((360/365) * (\text{dag} + 56)) \\ & + 0.022 * \sin((360/365) * (\text{referentiedag} + 56)) \end{aligned}$$

eq 12

Uit deze figuren blijkt duidelijk dat

- de grootste schommelingen verdwijnen waardoor de trend beter te onderkennen is.
- het enorm uitmaakt welke dag als referentie gekozen wordt.

#### **Onnauwkeurigheid als gevolg van de correctie term**

De fout in deze correctie term is klein ( $se < 0.0025$ ) ten opzichte van de standaardafwijking van een individuele stroefheids bepaling ( $se > 0.006$ ; ZAOb excl systeem 5). Indien er een correctie wordt toegepast is de standaardafwijking van de gecorrigeerde waarde ongeveer  $\sqrt{(0.006^2 + 0.0025^2)} = 0.0065$

#### **DAB**

Voor DAB is afgezien van een zelfde uitvoerige analyse als bij ZOAB. De voornaamste redenen zijn:

- De geschiedenis van de DAB vakken is minder duidelijk, in begin misschien EOB, in 2005 overgegaan op andere vakken
- De verwachting is dat bij DAB vocht nog minder een rol speelt dan bij ZOAB

Bij de analyses is gestreefd om modellen te fitten die qua vorm zo goed mogelijk aansluiten bij de uiteindelijke modellen voor ZOAB.

Zoals eerder vermeld is er bij DAB eveneens een seizoenseffect te onderscheiden maar heeft de trend tot 2005 een stijgend verloop en er is een trendbreuk in 2005 in verband met de overgang op andere vakken. Na 2005 is er nauwelijks sprake van een lineaire trend.

In figuur 27 staan de voor de trend gecorrigeerde data<sup>6</sup> en de resultaten van de fitting van een sinus model.

Het model dat voor seizoen corrigeert is voor DAB qua vorm gelijk aan dat voor ZOAB. Alleen de coëfficiëntenwijken enigszins af.

Model

$$\text{gemetenstroefheid} = \text{stroefheid} + 0.016 * \sin((360/365) * (\text{dag} + 65))$$

eq 13

Berekening van naar een referentie gecorrigeerde stroefheid

---

<sup>6</sup> De metingen van 2005 zijn weggelaten omdat niet duidelijk is wanneer overgegaan is op de andere vakken



$$\begin{aligned} \text{gecorrigeerde stroefheid} = & \\ & \text{gemeten stroefheid} \\ & - 0.016 * \sin((360/365) * (\text{dag} + 65)) \\ & + 0.016 * \sin((360/365) * (\text{referentiedag} + 65)) \end{aligned}$$

eq 14

In figuur 25 en figuur 26 staan de naar 30 maart en 1 augustus gecorrigeerde gegevens.

#### **Eén model voor ZOAB en DAB**

De modellen voor ZOAB en DAB lijken erg veel op elkaar. De waarden voor de fasen 56 en 65 zijn niet statistisch significant verschillend van elkaar, de amplitudes 0.022 en 0.016 zijn wel statistisch significant verschillend. Hoewel deze verschillen significant zijn zal het gezien de procedure van afronden het in de praktijk nauwelijks uitmaken welk model gebruikt wordt.

Het voorstel is dan ook om één model te hanteren en wel het model met een fase van 60 en een amplitude van 0.022.

Een fase van 60 betekent dat bij metingen die verricht zijn op 17 april of 22 oktober correctie minimaal is.

#### Gevolgen van de keuze van 17 april/22 oktober als referentie dag

Het blijkt dat voor de metingen die in de periode april 1998 april 2003 verricht zijn de gemiddelde correctie volgens bovenstaand model gelijk is aan -0.0015. Indien in de afgelopen periode de data gecorrigeerd zouden zijn dan zou er evenveel naar boven als naar beneden gecorrigeerd moeten worden. Hieruit is geconcludeerd dat volstaan kan worden met de referentie dagen 17 april/22 oktober. Het uiteindelijke model wordt dan

$$\begin{aligned} \text{gecorrigeerde stroefheid} = & \\ & \text{gemeten stroefheid} - 0.022 * \sin((360/365) * (\text{dag} + 60)) \end{aligned}$$

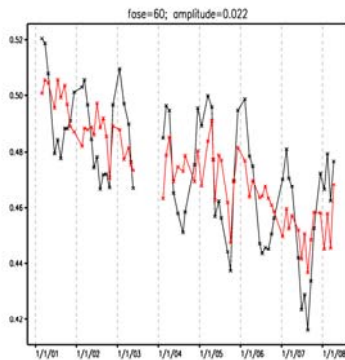
eq 15

Afbeeldingen van de gemeten data en de gecorrigeerde data staan in figuren 9 en 10

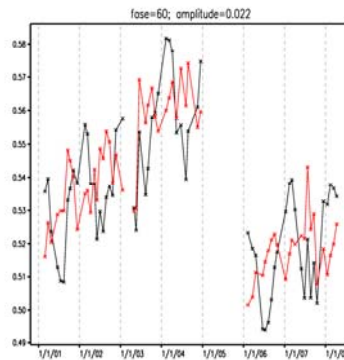
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
18/40



**Figuur 9** ZOAB meting (zwart) en gecorrigeerd naar 22 oktober (rood)



**Figuur 10** DAB meting (zwart) en gecorrigeerd naar 22 oktober (rood)

### Nieuwe vakken

Er is aangenomen dat het sinusvormig verloop ontstaat door de combinatie van seizoenen gerelateerde parameters zoals temperatuurinvloeden, vorst, strooien, regen etc. Het was niet mogelijk om, als gevolg van de onderlinge correlaties, de echte reden aan te geven. Daarom is volstaan om met een model te gebruiken dat afhankelijk is van dagnummer. Bij vakken die net aangelegd zijn kan van het effect van strooien nog geen sprake zijn. In eq 8 bleek dat de relatie het verloop in de stroefheid ook goed beschreven kon worden met de temperatuur. Voor vakken die net aangelegd zijn kan er dus ook een temperatuur gerelateerde correctie toegepast worden zoals beschreven in eq 8. Als referentie temperatuur wordt 16°C gekozen met als motivatie dat dit de gemiddelde maximale temperatuur is van 22 oktober in de periode 1998 t/m 2002. De correctie vindt nu als volgt plaats.

gecorrigeerde stroefheid = gemeten stroefheid + 0.002 \* (temp - 16)

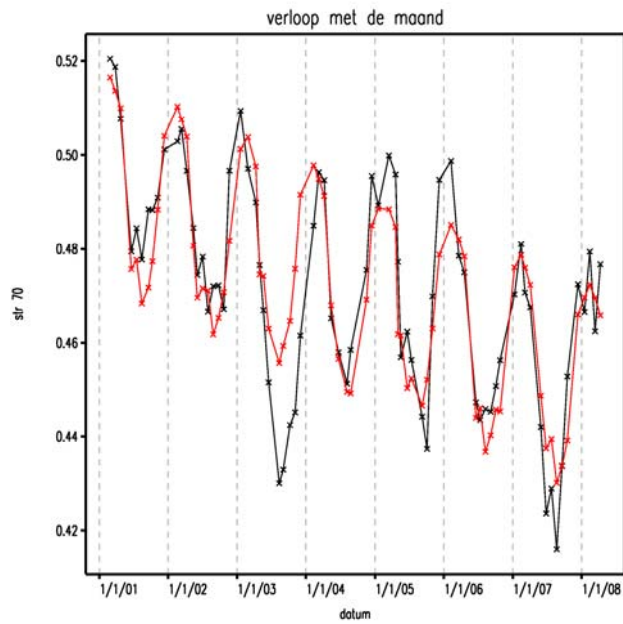
eq 16<sup>7</sup>

<sup>7</sup> De coëfficiënt wijkt af van die in eq 5 in verband met het weglaten van jaar 2003

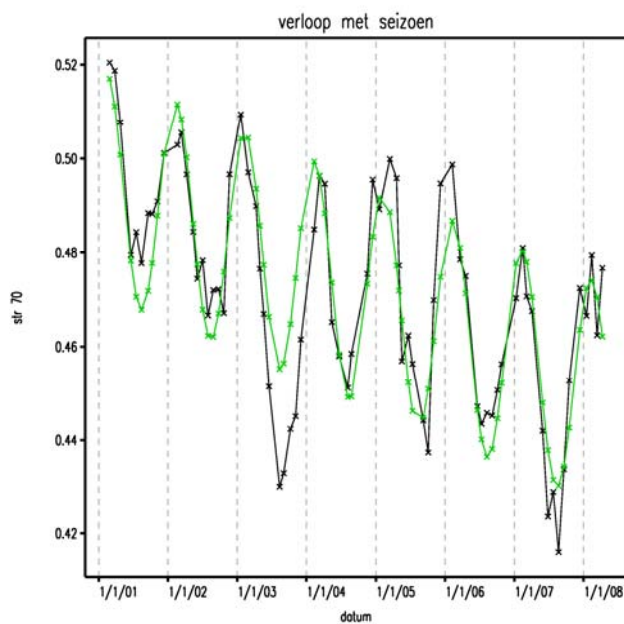
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
19/40



figuur 11 STR70: metingen (zwart) en de gefitte waarden volgens maand model, eq 6, (rood)

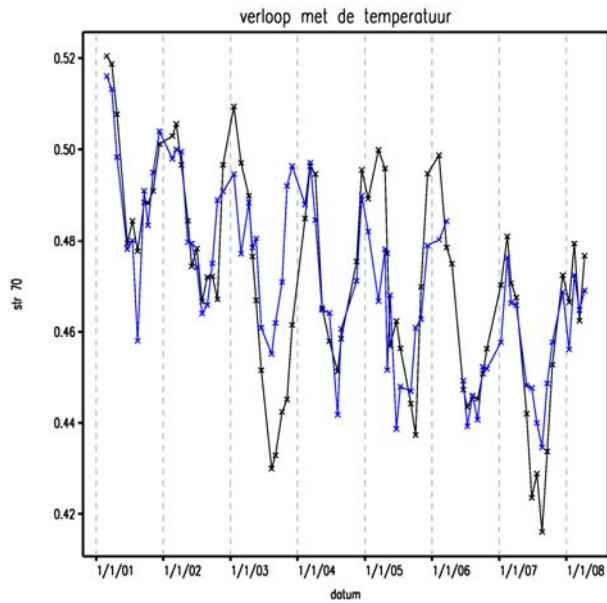


figuur 12 : STR70 metingen (zwart) en de gefitte waarden volgens sinusvormig seizoenen model, eq 7, (groen)

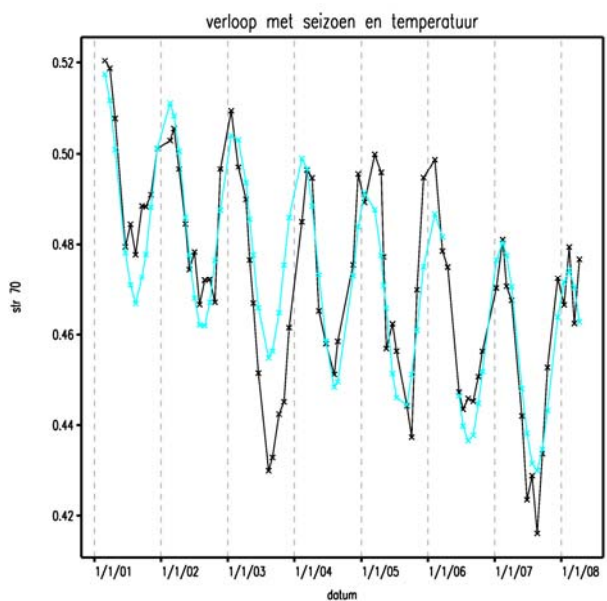
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
20/40



figuur 13 : Str070 metingen (zwart) en de gefitte waarden volgens temperatuur model, eq 8, (blauw)

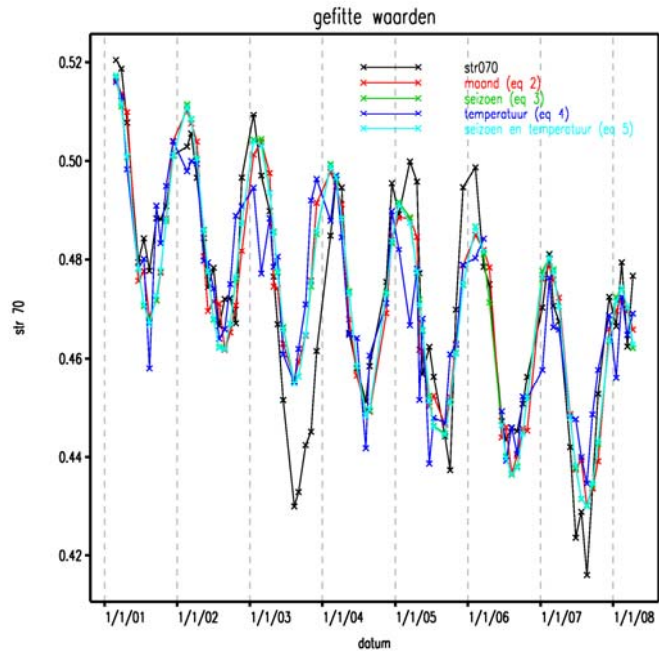


figuur 14: STR70 metingen (zwart) en de gefitte waarden volgens sinus+temperatuur model, eq 9, (lichtblauw)

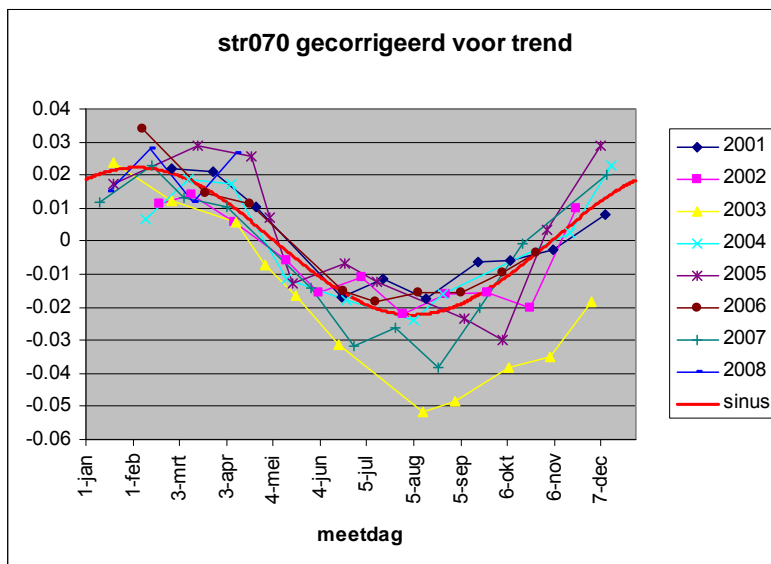
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
21/40



figuur 15: gefitte waarden voor de 4 verschillende modellen

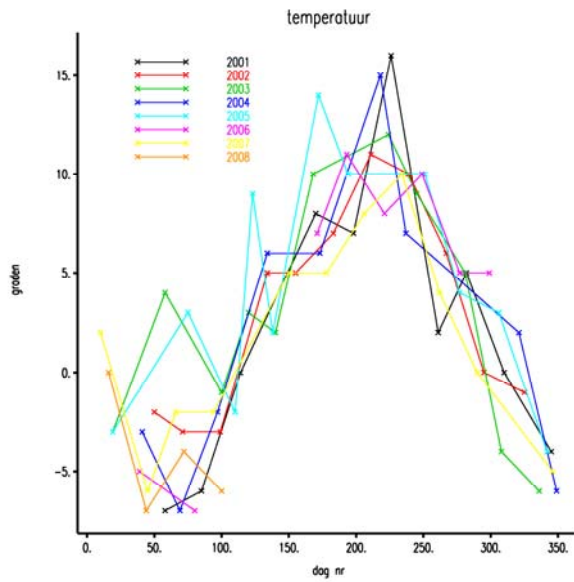


figuur 16: ZOAB stroefheid versus dagnmmer

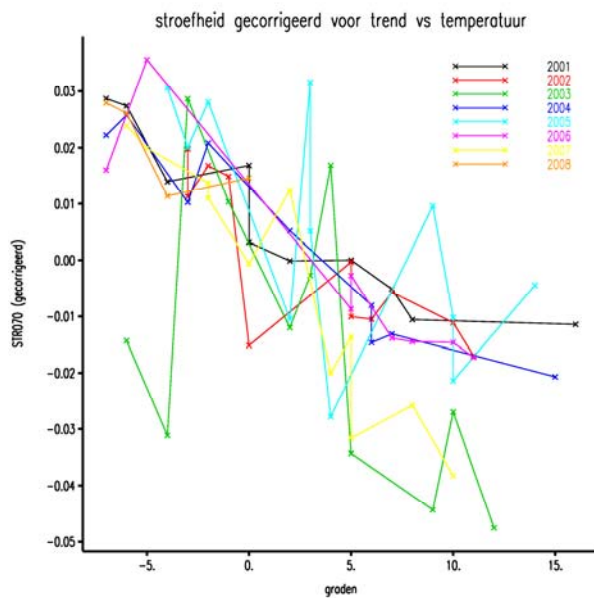
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
22/40



figuur 17: temperatuur versus dagnummer

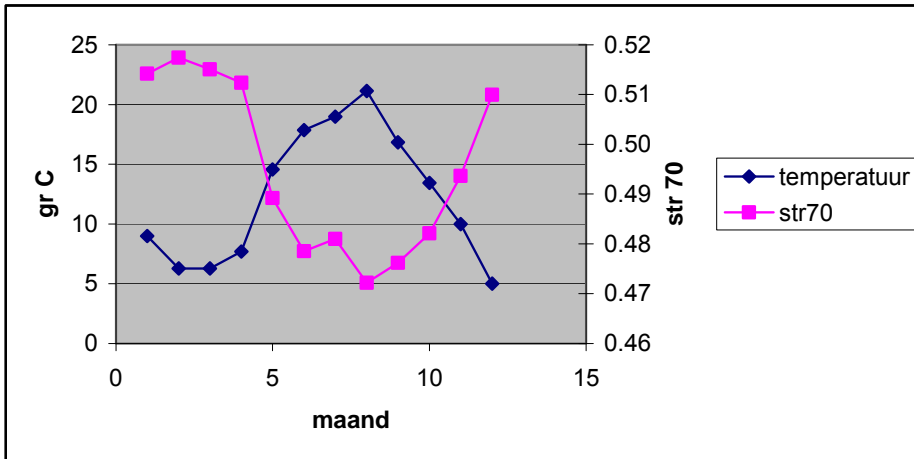


figuur 18: trend gecorrigeerde stroefheid versus temperatuur

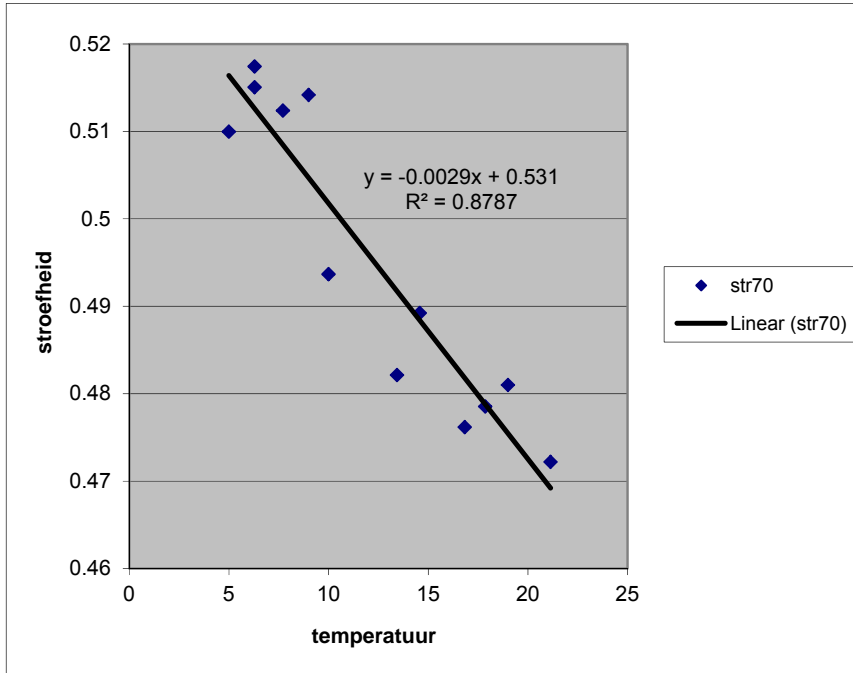
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
23/40



figuur 19: verloop van maand gemiddelden stroefheid en temperatuur met de maand

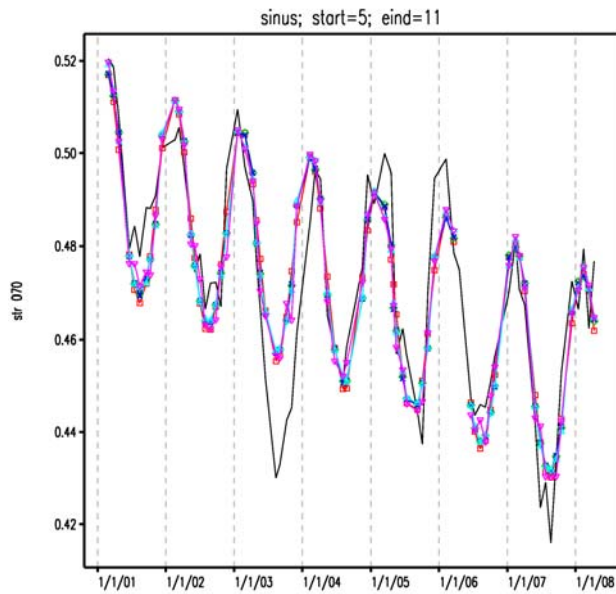


figuur 20: relatie voor maandgemiddelden tussen stroefheid en temperatuur

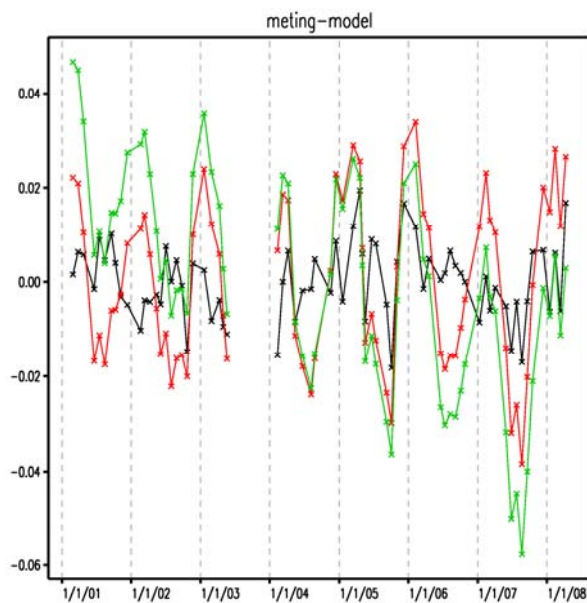
Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
24/40



figuur 21: metingen (in zwart) en 5verschillende modellen<sup>8</sup> gebaseerd op sinusvormig verloop waarbij een extra seizoen gedefinieerd is dat loop van mei t/m november



figuur 22: verschil tussen meting en de model voorspelling:  
groen=gemiddelde; rood=lineaire trend; zwart=lineaire trend+sinus

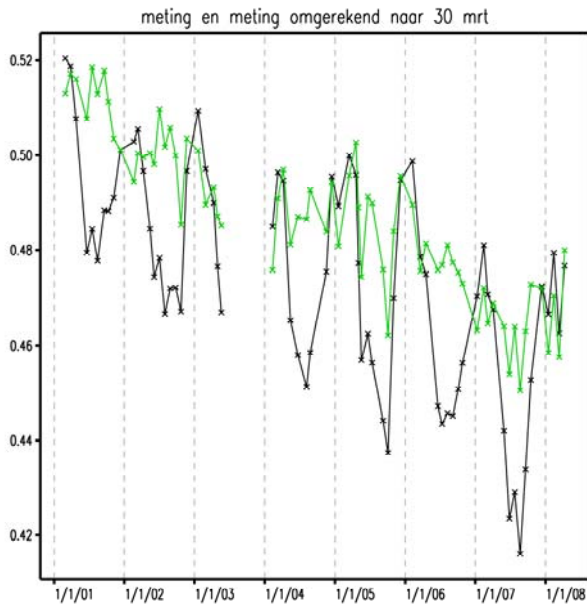
<sup>8</sup> Enkele modellen lijken zo op elkaar dat deze niet van elkaar te onderscheiden zijn



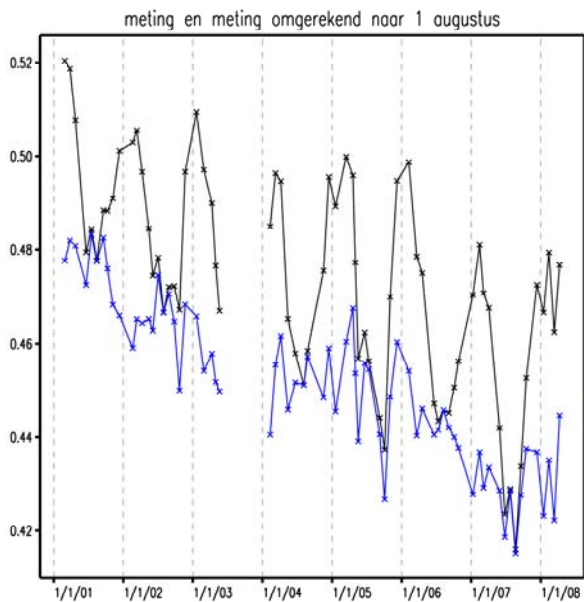
**Datum**  
4 maart 2013

**Onze referentie**  
<vnr-ext>

**Blad**  
25/40



**figuur 23: ZOAB meting (zwart) en gecorrigeerd naar 30 mrt (groen)**

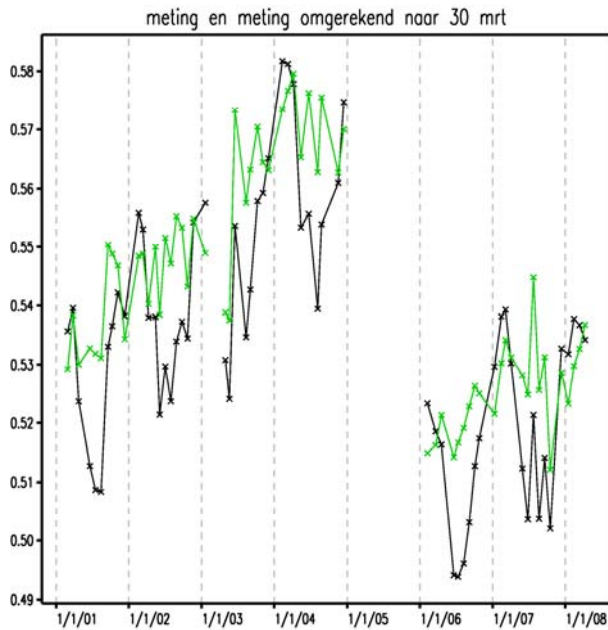


**figuur 24: ZOAB meting (zwart) en gecorrigeerd naar 1 augustus (blauw)**

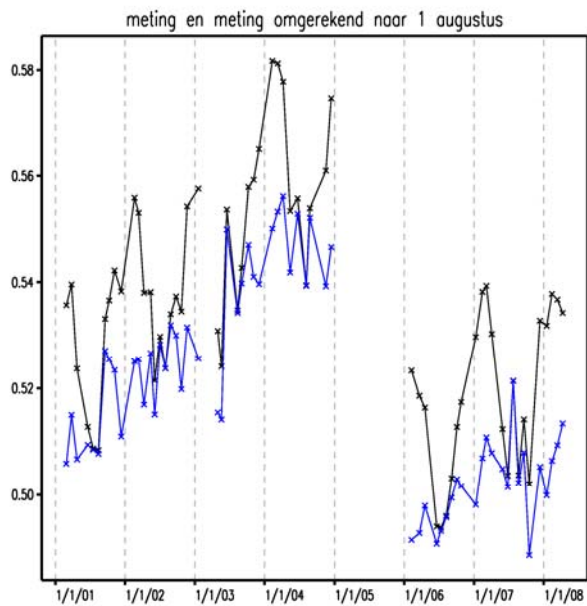
**Datum**  
4 maart 2013

**Onze referentie**  
<vnr-ext>

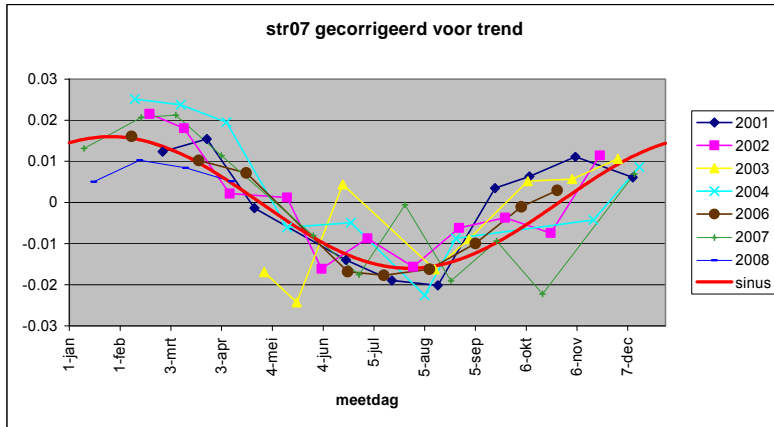
**Blad**  
26/40



**figuur 25: DAB meting (zwart) en gecorrigeerd naar 30 mrt (groen)**



**figuur 26: DAB meting (zwart) en gecorrigeerd naar 1 augustus (blauw)**



**Datum**  
4 maart 2013

**Onze referentie**  
<vnr-ext>

**Blad**  
27/40

**figuur 27: DAB stroefheid versus dagnummer**

## Restlevensduur

In een eerdere fase van het onderzoek (10-6-2008) is er voor verschillende percentielwaarden een relatie gelegd tussen de stroefheid en de verkeersintensiteit. In deze procedure werd allereerst de levensduur zodanig in 20 klassen opgedeeld dat elke klasse evenveel datapunten bevat. Per klasse werden de percentielwaarden voor de stroefheid bepaald waarna per percentielwaarde een model gefit wordt. Aan deze methode/modellen kleven de volgende bezwaren:

- voor een beperkt aantal percentielwaarden zijn de modellen berekend. Voor elke andere percentielwaarde zou deze alsnog bepaald moeten worden.
- Bij extreem lage of hoge percentielwaarden wordt het resultaat erg gevoelig voor uitbijters
- Als gevolg van uitbijters/ toevalligheden is het mogelijk dat de modellen een niet logisch verloop krijgen

Om aan deze bezwaren tegemoet te komen is uiteindelijk de volgende procedure gevolgd:

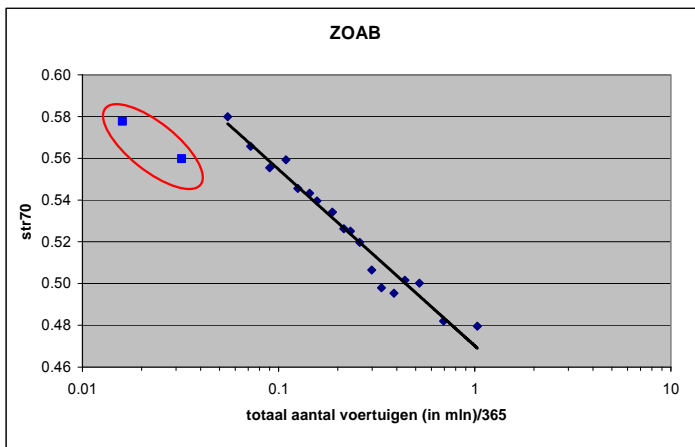
- beperking van de database tot
  - o de deklagen DAB en ZOAB
  - o banen 1HRL en 1 HRR
  - o str70deze beperkingen hebben tot gevolg dat deze analyses gebaseerd zijn op de gegevens van de systemen 1 en 2.
- beperk database tot de stroefheden  $0.20 < \text{ } < 0.72$
- De levensduur wordt in 20 klassen verdeeld zodanig dat elke klasse evenveel datapunten bevat. (DAB 410 metingen en ZOAB 1310 metingen)
- Per klasse wordt gekeken of de verdeling erg afwijkt van de normaalverdeling. Het resultaat van deze analyse is dat de afwijkingen niet erg groot zijn. Met andere woorden: de data kan met behulp van een normale verdeling beschreven worden
- Per klasse wordt gemiddelde en variantie van de stroefheid berekend.
  - o Met name voor ZOAB bestaat er een lineair verband tussen de gemiddelde stroefheid en de log(cumulatieve verkeersintensiteit), zie figuur 28. Een uitzondering hierop zijn de 2 klassen met de laagste verkeersintensiteit. Voor deze vakken is de stroefheid lager dan die men zou verwachten op basis van de overige data. Bij DAB is ook de 3<sup>e</sup> klasse lager dan de andere klassen, zie figuur 29.
  - o De variantie is min of meer constant. Bij ZOAB zijn de varianties in de eerste 2 klassen echter iets hoger dan in de andere klassen. Bij DAB is de variantie in de 3<sup>e</sup> klasse lager dan in de andere klassen.
- In de eerste 2 a 3 klassen komen voornamelijk jonge vakken voor. Bij DAB zijn in deze drie klassen achtereenvolgens 99%, 78% en 42% van de vakken 0 of 1 jaar. Bij ZOAB zijn deze percentages 99%, 92% en 56%. Dit betekent dus dat in deze klassen geen of weinig oudere vakken zitten met haast geen verkeer. Verder is er een verschil tussen DAB en ZOAB met betrekking tot de aantallen. Bij DAB zitten er ongeveer 410 vakken in een klasse en bij ZOAB 1310 vakken.
- Op basis van bovenstaande is er voor gekozen om de eerste twee klassen buiten beschouwing te laten bij ZOAB en de eerste drie klassen bij DAB. Voor de overige klassen

**Datum**  
4 maart 2013

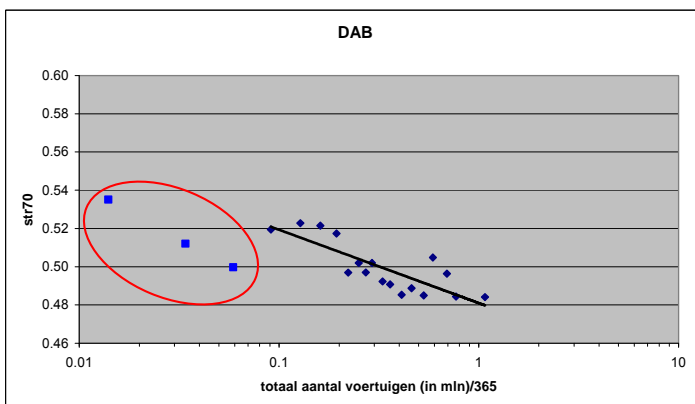
**Onze referentie**  
<vnr-ext>

**Blad**  
29/40

- wordt een lineair model verondersteld tussen de gemiddelde stroefheid en de log(cumulatieve werkdagintensiteit)
- wordt de gemiddelde variantie berekend
- Op basis van een normaal verdeling met een gemiddelde<sup>9</sup> volgens het lineaire model en de gemiddelde variantie  $\sigma^2$  kan nu per levensduur elke willekeurige percentielwaarde geschat worden.
- De coëfficiënten voor de 50% percentiellijnen staan in tabel 7
- De formules voor het berekenen van konstante term in het model voor de overige percentiellijnen staan in tabel 7
- In figuur 30 en figuur 31 zijn de verschillende percentiellijnen weergegeven. De interpretatie van deze lijnen is voor figuur 30 als volgt: heeft een vak een cumulatieve intensiteit van 0.5 mln dan heeft 1% van de vakken een lagere waarde dan 0.42 en 90% van de vakken een lagere waarde dan 0.54



**figuur 28: ZOAB: gemiddelde stroefheid in relatie met de intensiteit**



**figuur 29: DAB: gemiddelde stroefheid in relatie met de intensiteit**

<sup>9</sup> Bij een normale verdeling komt het 50% punt overeen met het gemiddelde

Datum  
4 maart 2013

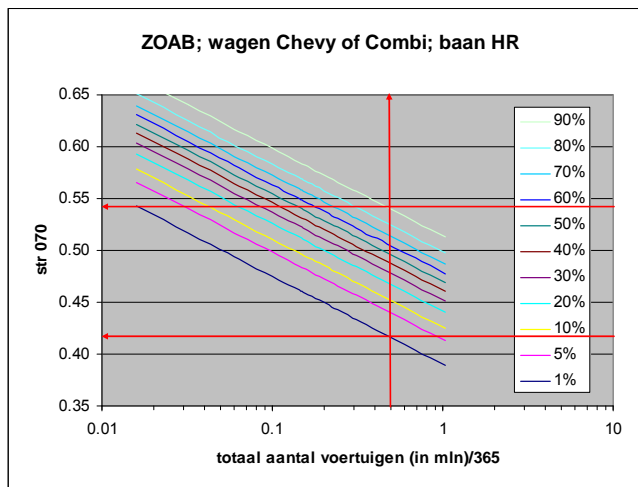
Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
30/40

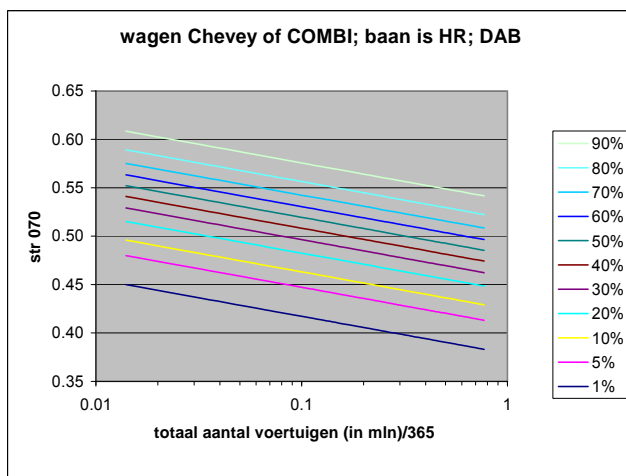
tabel 7: regressie coëfficiënten op 10log mediaan van de cumulatieve intensiteit

	Konstante (50%)	Helling ( $^{10}\log(\text{cum werkdagintensiteit})$ )	Konstante, overige percentielen
ZOAB	0.470	-0.0845	$0.470 + \Phi^{-1}(p) \cdot \sqrt{0.0012}$
DAB	0.481	-0.0384	$0.481 + \Phi^{-1}(p) \cdot \sqrt{0.0019}$

Hierbij is  $\Phi^{-1}(p)$  de inverse van de normale verdeling, bijvoorbeeld  $\Phi^{-1}(2.5) = -1.96$



figuur 30<sup>10</sup>: relatie stroefheid op ZOAB (percentielen 1,5 10, 20 ... 90 op basis van normaal verdeling) met verkeersintensiteit



figuur 31<sup>11</sup>: relatie stroefheid op DAB (percentielen 1,5 10, 20 ... 90 op basis van normaal verdeling) met totale intensiteit

<sup>10</sup> Lijnen met cumulatieve verkeersintensiteit lager dan 0.05 mln zijn middels extrapolatie verkregen

<sup>11</sup> Lijnen met cumulatieve verkeersintensiteit lager dan 0.1 mln zijn middels extrapolatie verkregen

**Datum**  
4 maart 2013

**Onze referentie**  
<vnr-ext>

**Blad**  
31/40

## Restlevensduur

Uitgaande van

- de helling  $b$  van het lineaire verloop van de stroefheid met de  $\log(\text{cumulatieve intensiteit})$ 
  - o  $b=-0.0845$  voor ZOAB
  - o  $b=-0.0384$  voor DAB
- een leeftijd van  $l$  jaar op moment  $t$  van de meting
- een bekende totale intensiteit  $I_t$  (in mln/365) op moment  $t$
- een gemeten stroefheid  $y_t$  op moment  $t$
- een kritieke waarde  $y_c$  voor de stroefheid

kan de restlevensduur  $\Delta l$  geschat worden met behulp van de formule

$$\Delta l = I_t \left( 10^{\frac{(y_c - y_t)/b}{}} - 1 \right)$$

eq 17

In bovenstaande modellen wordt de leeftijd steeds uitgedrukt in de totale intensiteit. Om de restlevensduur uit te kunnen rekenen in jaren is het dus van belang om het de intensiteit (gemiddeld per dag) per jaar te weten waarbij ook nog rekening gehouden wordt met het verloop van dit aantal in de tijd. Voor het verloop in de tijd zijn de volgende scenario's te bedenken

- 1) zowel voor als na  $t$  is de intensiteit constant
- 2) na  $t$  blijft de intensiteit constant aan de intensiteit van moment  $t$
- 3) na  $t$  groeit de intensiteit met een factor  $g$  ( $g=1.02$  of ietsvergelijkbars) per jaar

Deze drie scenario's leveren verschillende restlevensduren in jaren. Dit zal met name het geval zijn voor de vakken met een grote restlevensduur. Voor vakken met een korte restlevensduur zijn de verschillen niet groot. Omdat alleen vakken met een korte restlevensduur voor onderhoud interessant zijn maakt het in de praktijk niet zoveel uit welk scenario gehanteerd wordt. Met betrekking tot de benodigde informatie maakt het wel uit welk scenario gevolgd wordt. Scenario 1 behoeft de minste informatie en scenario 3 de meeste. Scenario 3 is hier niet nader uitgewerkt omdat complexiteit niet opweegt tegen het geringe verschil in restlevensduur met scenario 2. De restlevensduren  $\Delta l$  voor de eerste 2 scenario's zijn als volgt

$$\text{Scenario 1: } \Delta l = I_t \left( 10^{\frac{(y_c - y_t)/b}{}} - 1 \right)$$

eq 18

$$\text{Scenario 2: } \Delta l = \frac{I_t}{i_t} \left( 10^{\frac{(y_c - y_t)/b}{}} - 1 \right)$$

eq 19

Datum

4 maart 2013

Onze referentie

<vnr-ext>

Blad

32/40

### Onnauwkeurigheid in de geschatte restlevensduur

De schatting van de restlevensduur heeft een zekere onbetrouwbaarheid als gevolg van

- onbetrouwbaarheid in  $y_t$
- onbetrouwbaarheid in  $I_t$
- onbetrouwbaarheid in  $i_t$
- onbetrouwbaarheid in  $b$
- correctheid van het model

Voor de onnauwkeurigheid in  $y_t$  is aangenomen dat de standarderror gelijk is aan 0.0172. dit is de standarderror behorend bij de reproduceerbaarheid aangevuld met de afrondingsfout (**Error! Reference source not found.**)

Van de onbetrouwbaarheden in  $I_t$  en  $i_t$  is niet zo veel bekend. Wel kan gezegd worden dat bij een fout van x% in het quotient de restlevensduur ook een fout heeft van x%.

De standarderror van  $b$  is 0.004 voor ZOAB en 0.007 voor DAB.

Met betrekking tot de correctheid van het model kan momenteel niet zo veel gezegd worden.

Gezien het bovenstaande is alleen onderzocht wat voor effecten de onbetrouwbaarheden in de parameter  $b$  en de meting  $y_t$  zijn.

De resultaten van de analyse staan voor het effect van de meetfout in tabel 8 en in tabel 9 voor het effect van de onbetrouwbaarheid in  $b$ <sup>12</sup>.

In deze tabellen is onderscheid gemaakt naar ZOAB en DAB. De restlevensduur wordt leeftijdsafhankelijk berekend voor een bepaalde meetwaarde  $y_t$ .

In tabel 8 wordt met behulp van de standaarddeviatie van de meetwaarde de onder en bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval berekend van de meting. Deze grenswaarden worden vervolgens samen met de leeftijd weer als input gebruikt in de formule voor de restlevensduur. Deze restlevensduur waarden zijn dan de onder en bovengrens van de 95% intervallen voor de restlevensduur.

#### Voorbeeld

Stel een ZOAB vak van 7 jaar heeft een str070 van 0.44.

Dan is het 95% betrouwbaarheidsinterval voor de stroefheid [0.41;0.47]

De restlevensduur wordt geschat op 5 jaar met een 95% betrouwbaarheidsinterval van [0;24] jaar

Bij tabel 9 is een soortgelijke procedure gevolgd maar met als verschil dat de betrouwbaarheidsintervallen van  $b$  berekend worden.

#### Voorbeeld vervolg

Het betrouwbaarheidsinterval van  $b$  is [-0.093;-0.077]. Voor bovenstaande situatie is nu het betrouwbaarheidsinterval voor de restlevensduur gelijk aan [5;6] jaar

---

<sup>12</sup> Het kan voorkomen dat een restlevensduur negatief is omdat een gemeten of voorspelde stroefheid onder de grenswaarde ligt, als dat optreedt wordt dit aangegeven mbv <0. Indien een voorspelde restlevensduur meer dan 20 is dan wordt dit aangegeven dmv >20.



Als gevolg van de meeton nauwkeurigheid is de ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspelde restlevensduur  $< 0$  voor waarden tot 0.04 boven de grenswaarde. Dit geldt voor zowel ZOAB als DAB

Als gevolg van de onnauwkeurigheid in de helling  $b$  is de ondergrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspelde restlevensduur  $> 1$  jaar voor waarden vanaf 0.01 boven de grenswaarde. Dit geldt voor zowel ZOAB als voor DAB

**Datum**

4 maart 2013

**Onze referentie**

<vnr-ext>

**Blad**

33/40

**Conclusie**

De betrouwbaarheidsintervallen van de restlevensduren als gevolg van de onbetrouwbaarheid in een meetwaarde zijn veel groter dan de intervallen als gevolg van de onzekerheden in de parameter  $b$ .

Effect van onnauwkeurigheid in de meting Yt op restlevensduur voorspellingen												
ZOAB; yc=0.42; b=-0.085												
yt	restlevensduur voorspelling											
	leeftijd											
	3	5	7	9	11	95% betrouwbaarheids intervallen restlevensduur voorspellingen						
	95% bi van yt	3	5	7	9	11	3	5	7	9	11	
0.37	0.34	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	
0.38	0.35	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	
0.39	0.36	<0	<0	<0	<0	<0	0	<0	1	<0	1	
0.40	0.37	<0	<0	<0	<0	<0	1	<0	2	<0	3	
0.41	0.38	<0	<0	<0	<0	<0	3	<0	5	<0	7	
0.42	0.39	0	0	0	0	0	5	<0	8	<0	11	
0.43	0.40	1	2	2	3	3	7	<0	12	<0	17	
0.44	0.41	2	4	5	7	8	10	<0	17	<0	20	
0.45	0.42	4	6	9	11	14	14	<0	>20	<0	>20	
0.46	0.43	6	10	14	18	>20	20	1	>20	1	>20	
0.47	0.44	9	15	>20	>20	>20	>20	3	>20	4	>20	
0.48	0.45	12	>20	>20	>20	>20	5	>20	7	>20	9	
0.49	0.46	17	>20	>20	>20	>20	8	>20	11	>20	15	
0.50	0.47	>20	>20	>20	>20	>20	12	>20	17	>20	>20	
0.51	0.48	>20	>20	>20	>20	>20	18	>20	>20	>20	>20	
0.52	0.49	>20	>20	>20	>20	>20	15	>20	>20	>20	>20	

Effect van onnauwkeurigheid in de meting Yt op restlevensduur voorspellingen												
DAB; yc=0.039; b=-0.038												
yt	restlevensduur voorspelling											
	leeftijd											
	3	5	7	9	11	95% betrouwbaarheids intervallen restlevensduur voorspellingen						
	95% bi van yt	3	5	7	9	11	3	5	7	9	11	
0.37	0.34	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	
0.38	0.35	<0	<0	<0	<0	<0	4	<0	7	<0	10	
0.39	0.36	0	0	0	0	0	10	<0	17	<0	20	
0.40	0.37	2	4	6	7	9	>20	<0	>20	<0	>20	
0.41	0.38	4	7	12	16	>20	>20	<0	>20	<0	>20	
0.42	0.39	7	12	16	>20	>20	>20	<0	>20	<0	>20	
0.43	0.40	15	>20	>20	>20	>20	>20	<0	>20	<0	>20	
0.44	0.41	>20	>20	>20	>20	>20	1	>20	2	>20	3	
0.45	0.42	>20	>20	>20	>20	>20	5	>20	8	>20	11	
0.46	0.43	>20	>20	>20	>20	>20	11	>20	18	>20	>20	
0.47	0.44	>20	>20	>20	>20	>20	20	>20	>20	>20	>20	
0.48	0.45	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	
0.49	0.46	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	
0.50	0.47	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	
0.51	0.48	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	
0.52	0.49	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	

**tabel 8 betrouwbaarheidsintervallen voor restlevensduur als gevolg van meetfout in STR070**

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
34/40

Effect van de onnauwkeurigheid in b op restlevensduur voorspellingen												
ZOAB; $y_c=0.42$ ; $b=-0.085$ ; 95% bi (-0.093;-0.077)												
yt	restlevensduur voorspelling											
	3		5		7		9		11			
	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.37	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.38	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.39	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.40	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.41	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.43	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4
0.44	2	4	5	7	8	8	8	8	8	8	8	9
0.45	4	6	9	11	14	14	14	14	14	14	14	16
0.46	6	10	14	18	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	19
0.47	9	15	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.48	12	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.49	17	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.50	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.51	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.52	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20

95% betrouwbaarheids intervallen restlevensduur voorspellingen												
yt	leeftijd											
	3		5		7		9		11			
	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.37	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.38	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.40	2	5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9
0.41	4	17	7	10	10	10	10	10	10	10	10	11
0.42	8	>20	14	>20	13	>20	13	>20	13	>20	13	14
0.43	14	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.44	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.45	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.46	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.47	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.48	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.49	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.50	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.51	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.52	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20

Effect van de onnauwkeurigheid in b op restlevensduur voorspellingen												
DAB; $y_c=0.39$ ; $b=-0.038$ ; 95% bi (-0.052;-0.024)												
yt	restlevensduur voorspelling											
	3		5		7		9		11			
	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.37	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.38	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0
0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.40	2	4	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7
0.41	7	12	16	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.42	15	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.43	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.44	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.45	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.46	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.47	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.48	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.49	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.50	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.51	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
0.52	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
35/40

**tabel 9 betrouwbaarheidintervallen in de restlevensduur als gevolg van de onbetrouwbaarheid in b**

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
36/40

### Aantal vakken onder een kritische grens

Om een idee te hebben of de stroefheid een limiterende factor is op de leeftijd is nagegaan hoeveel vakken onder de kritieke waarde liggen. Er is aangenomen dat voor DAB de kritische grenswaarde 0.39 is en voor ZOAB 0.42. Vervolgens is per intensiteitsklasse nagegaan hoe vaak er een vak onder de kritische grenswaarde ligt. De resultaten staan in tabel 10. Uit deze tabel valt op te maken dat er weinig vakken zijn onder een kritieke grens en dat dit aantal niet een relatie vertoont met de klasse indeling van de totale intensiteit

DAB (aantal)				DAB (percentages)			
mediaan totale belasting	<0.39	>=0.39	totaal	mediaan totale belasting	<0.39	>= 0.39	totaal
0.01	0	409	409	0.01	0.0	100.0	100
0.03	2	415	417	0.03	0.5	99.5	100
0.06	4	415	419	0.06	1.0	99.0	100
0.09	3	411	414	0.09	0.7	99.3	100
0.13	2	416	418	0.13	0.5	99.5	100
0.16	6	386	392	0.16	1.5	98.5	100
0.19	2	425	427	0.19	0.5	99.5	100
0.22	8	418	426	0.22	1.9	98.1	100
0.25	3	412	415	0.25	0.7	99.3	100
0.27	14	408	422	0.27	3.3	96.7	100
0.29	3	420	423	0.29	0.7	99.3	100
0.33	17	404	421	0.33	4.0	96.0	100
0.36	1	397	398	0.36	0.3	99.7	100
0.41	13	373	386	0.41	3.4	96.6	100
0.46	7	438	445	0.46	1.6	98.4	100
0.53	3	408	411	0.53	0.7	99.3	100
0.59	1	411	412	0.59	0.2	99.8	100
0.69	6	434	440	0.69	1.4	98.6	100
0.77	3	392	395	0.77	0.8	99.2	100
1.08	9	407	416	1.08	2.2	97.8	100
<b>totaal</b>	<b>107</b>	<b>8199</b>	<b>8306</b>	<b>totaal</b>	<b>1.3</b>	<b>98.7</b>	<b>100</b>

ZOAB (aantal)				ZOAB (percentages)			
mediaan totale belasting	<0.42	>=0.42	totaal	mediaan totale belasting	<0.42	>=0.42	totaal
0.02	7	1306	1313	0.02	0.5	99.5	100
0.03	17	1289	1306	0.03	1.3	98.7	100
0.05	2	1318	1320	0.05	0.2	99.8	100
0.07	1	1297	1298	0.07	0.1	99.9	100
0.09	0	1332	1332	0.09	0.0	100.0	100
0.11	0	1274	1274	0.11	0.0	100.0	100
0.12	1	1335	1336	0.12	0.1	99.9	100
0.14	0	1287	1287	0.14	0.0	100.0	100
0.16	1	1309	1310	0.16	0.1	99.9	100
0.19	0	1319	1319	0.19	0.0	100.0	100
0.22	1	1311	1312	0.22	0.1	99.9	100
0.23	0	1296	1296	0.23	0.0	100.0	100
0.26	0	1333	1333	0.26	0.0	100.0	100
0.30	1	1309	1310	0.30	0.1	99.9	100
0.33	0	1299	1299	0.33	0.0	100.0	100
0.39	13	1298	1311	0.39	1.0	99.0	100
0.44	6	1284	1290	0.44	0.5	99.5	100
0.52	3	1310	1313	0.52	0.2	99.8	100
0.69	9	1313	1322	0.69	0.7	99.3	100
1.03	15	1279	1294	1.03	1.2	98.8	100
<b>totaal</b>	<b>77</b>	<b>26098</b>	<b>26175</b>	<b>totaal</b>	<b>0.3</b>	<b>99.7</b>	<b>100</b>

tabel 10: aantal vakken onder kritieke grenzen

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
37/40

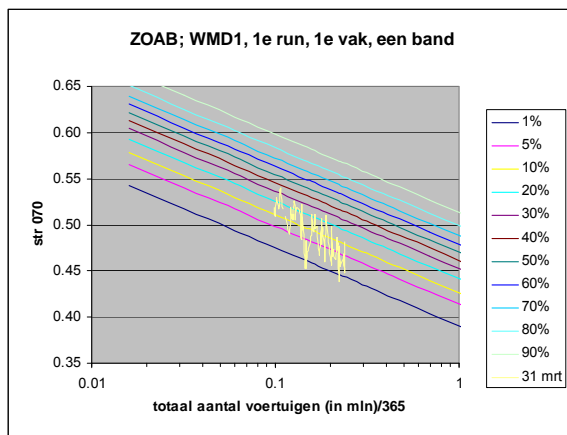
## Kalibratievakken ten opzichte van modellen

Ter validatie van het model is onderzocht in hoeverre de gegevens van de kalibratierondes passen binnen het model. Ter illustratie is de volgende keuze gemaakt van de kalibratie gegevens

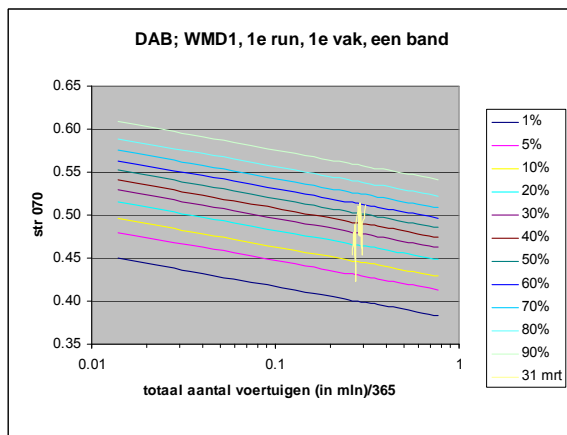
- Per ronde de 1<sup>e</sup> meting op de dag aan het 1<sup>e</sup> vak
- Meetsysteem 2
- De metingen zijn gecorrigeerd naar 31 maart.

Voor ZOAB (figuur 32) geldt dat dit vak iets sneller achteruitgaat dan dat het model voorspelt. De eerste metingen zitten in de buurt van de 20% lijn terwijl de laatste metingen om de 5% lijn variëren.

Voor DAB (figuur 33) zijn als gevolg van de onduidelijkheden ten aanzien van de gegevens voor 2005 alleen de data na 2005 weergegeven.



figuur 32: ZOAB: kalibratie metingen tov de percentiel lijnen



figuur 33 DAB: kalibratie metingen tov de percentiel lijnen

Datum  
4 maart 2013

Onze referentie  
<vnr-ext>

Blad  
38/40

## Restlevensduren voor Wehner Schulze vakken en probleemvakken

Voor de vakken die gebruikt worden voor de Wehner/Schulze proeven alsmede enkele probleemvakken is de restlevensduur geschat. Deze berekeningen zijn ook nog een keer uitgevoerd voor de gegevens die naar naar 1 april zijn gecorrigeerd.

### Wehner Schulze proef

Voor de proefvakken voor de Wehner Schulze proef en enkele probleemvakken is de restlevensduur bepaald. Deze berekening is bovendien uitgevoerd voor data van deze vakken zoals die in de database voorkomen. De resultaten hiervan staan in tabel 12, een voorbeeld van de berekeningswijze van de totale intensiteit staat in tabel 11. De gegevens zijn afkomstig uit INWEVA bestanden en hebben betrekking op de intensiteit op werkdagen Omdat de berekende intensiteit gebaseerd is op de werkdagen zit er een factor van 365 tussen deze aantallen en de echte totale intensiteit

weg	RW012
Baan	1HRR R
Hvak	64.2 64.3
aanlegjaar	1999

gegevens zijn afkomstig van INWEVA

werk	meetjaar		
	2003	2005	2007
REGJAAR			
1999	106892	106892	106892
2000	109693	109693	109693
2001	112984	112984	112984
2002	108828	108828	108828
2003	109932	109932	109932
2004		109933	109933
2005		108900	108900
2006			109801
gemiddelde	109666	109595	109620

meetjaar	leeftijd	totaal in mln /365
2003	4.5	0.493
2005	6.5	0.712
2007	8.5	0.932
2008	9.5	1.041

leeftijd = 0.5+meetjaar-aanlegjaar

totaal = leeftijd\*gemiddelde belasting/1000000

voor 2008 is de gemiddelde intensiteit van 2007 gebruikt

### tabel 11 Voorbeeld van de berekening van de totale intensiteit in mln/365

De restlevensduur voor dit vak is aan de hand van de meting in 2003 en **eq 17** nu als volgt:

$$\begin{aligned}
\Delta l &= l \left( 10^{\frac{(yc-yt)/b}{-1}} - 1 \right) \\
&= (0.5 + (2003 - 2001)) * \left( 10^{\frac{(0.42-0.56)/-0.0845b}{-1}} - 1 \right) \\
&= 4.5 * (10^{1.66} - 1) \\
&= 199.7 \text{ jaar}
\end{aligned}$$

**Datum**  
4 maart 2013

**Onze referentie**  
<vnr-ext>

**Blad**  
39/40

De vakken waarbij de percentielwaarden sterk fluctueren<sup>13</sup> zijn lichtblauw gekleurd. Op zich is het niet verwonderlijk dat er sprake is van een zekere fluctuaties gezien

- de eerder berekende reproduceerbaarheden
- de stroefheid wordt in 2 decimalen opgegeven
- de relatief geringe verschillen tussen de percentiellijnen.

Opvallend is wel dat de geschatte restlevensduur vaak zodanig is dat voorlopig geen onderhoud noodzakelijk is. Dit komt ook overeen met de geringe aantallen vakken die dicht bij de kritieke waarden van 0.39 en 0.42 liggen.

De correctie naar 1 april heeft een stabiliserende werking. Na correctie is er minder fluctuaties te zien.

---

<sup>13</sup> De mate van fluctuaties is arbitrair





# Bijlage 1

**Notitie:** Onderzoek naar de relatie stroefheid 70 km/u met leeftijd

**Datum:** 28-2-2008

**Aan:** P. Kuijper

**Van:** G. Derksen

Deze notitie beschrijft de analyses van stroefheidsdata afkomstig uit twee verschillende bronnen. Eén bron betreft kalibratiegegevens die maandelijks in Noord-Holland verzameld worden en de andere betreft de stroefheidsdata in de periode 2000/2007 in combinatie met de totale belasting. Het doel van deze analyses is het modelleren van de trend in de stroefheid

## Resultaten

De analyses kunnen als volgt samengevat worden:

- Kalibratiemetingen
  - o De metingen op DAB zijn slechts beperkt bruikbaar voor onderzoek naar de trend omdat in verband met heroverlaging medio 2005 van vak veranderd is
  - o Er een duidelijk seizoens effect te onderkennen, deze wordt slecht gedeeltelijk door de temperatuur verklaard.
  - o Bij ZOAB is er per jaar een afname van 0.01
  - o meetsysteem 5 wijkt regelmatig af van de meetsystemen 3 en 4
- Monitoring data
  - o Er is frequent sprake van inconsistent verloop van de data in de tijd. De vermoedelijke oorzaak is afwijkend gedrag van de systeem 5. Om datavervuiling te voorkomen verdient het aanbeveling om systeem 5 data buiten beschouwing te laten.
  - o Voor zowel DAB als ZOAB is er een relatie tussen de stroefheid en de totale belasting in de tijd. De afwijking voor individuele vakken ten opzichte van het model kan aanzienlijk zijn.

## Vervolg onderzoek

- De eerstvolgende stap in de ontwikkeling van een model om de restlevensduur te voorspellen is het koppelen van de resultaten van de analyses van de twee databases. Het model van de monitoring database wordt daarbij gebruikt om de restlevensduur van de kalibratievakken te voorspellen. Hierbij dient de modellering van de seizoenen verder uitgewerkt te worden.

- Geconstateerd is dat systeem 5 zo nu en dan afwijkt. Onderzocht wordt of hier een systematiek in te ontdekken is.

## Kalibratiemetingen

Een bron van informatie met betrekking tot het verloop in de tijd van de stroefheid zijn de metingen die verricht worden ten behoeve van de kalibratie van de meetsystemen en meetbanden. Deze metingen zijn niet zo zeer bedoeld om de stroefheid van een vak te bepalen maar om per meetmoment de systemen met elkaar te vergelijken. Deze metingen worden echter steeds op de zelfde vakken verricht en kunnen daarmee goed gebruikt worden om het verloop van de stroefheid in de tijd te beschrijven. Tevens zijn er meteo gegevens beschikbaar van 'de Kooy'. Hoewel deze locatie niet exact overeen komt met de locatie van de

kalibratievakken op de RW007 is de afstand hier tussen zodanig klein dat aangenomen mag worden dat deze gegevens gebruikt mogen worden voor het onderzoek naar de mogelijke meteo/seizoensafhankelijkheid van de stroefheid

### **Gebruikte data**

#### stroefheid

- periode: van 28-2-2001 t/m 12-12-2007 zijn er (ongeveer) maandelijks metingen verricht
- 6 meetsystemen
- wegdek: DAB en ZOAB
- aantal wegvakken per wegdek: 5
- onderscheid naar ochtend /middag cq band 1/2

meteo; de volgende grootheden zijn via het KNMI beschikbaar

- STN = stationsnummer / WMO-number = (235=De Kooy)
- YYYYMMDD = datum / date (YYYY=year MM=month DD=day)
- DDVEC = overheersende windrichting / prevailing wind direction in degrees (360=North, 180=South, 270=West, 0=calm/variable)
- FG = etmaalgemiddelde windsnelheid / daily mean windspeed in 0.1 m/s (let op! inhomogene reeks door meethoogte wijzigingen / inhomogeneous series due to measuring height changes; zie / see: [www.knmi.nl/samenw/hydra](http://www.knmi.nl/samenw/hydra))
- FHX = hoogste uurgemiddelde windsnelheid / maximum hourly mean windspeed in 0.1 m/s
- FX = hoogste windstoot / maximum wind gust in 0.1 m/s
- TG = etmaalgemiddelde temperatuur / daily mean temperature in 0.1 degrees Celsius
- TN = minimum temperatuur / minimum temperature in 0.1 degrees Celsius
- TX = maximum temperatuur / maximum temperature in 0.1 degrees Celsius
- SQ = zonneschijnduur / sunshine duration in 0.1 hour (-1 for <0.05 hour)
- SP = percentage van de langst mogelijke zonneschijnduur / percentage of maximum possible sunshine duration
- DR = duur van de neerslag / precipitation duration in 0.1 hour
- RH = etmaalsom van de neerslag / daily precipitation amount in 0.1 mm (-1 for <0,05 mm)
- PG = etmaalgemiddelde luchtdruk / daily mean surface air pressure in 0,1 hPa
- VVN = minimum opgetreden zicht / minimum visibility (0=less than 100m, 1=100-200m, 2=200-300m,..., 49=4900-500m, 50=5-6km, 56=6-7km, 57=7-8km,..., 79=29-30km, 80=30-35km, 81=35-40km,..., 89=more than 70km)
- NG = bedekkingsgraad van de bovenlucht / cloud cover in octants (9=sky invisible)
- UG = etmaalgemiddelde relatieve vochtigheid in procenten/ daily mean relative atmospheric humidity in percents

### **Analyse**

#### DAB vakken

Tot medio 2005 zijn de hm\_vakken 62.3/62.8 op 1HRR\_R van RW007 gebruikt

Na medio 2005 zijn de metingen verplaatst naar de hm\_vakken 55.1/55.5 op 1HRR\_R van RW007

Bij nader inzien hadden de vakken 62.3/62.8 niet DAB als deklaag maar EOB. Deze vakken zijn dus niet representatief voor het verloop van de stroefheid met de belasting voor DAB en kunnen daardoor dus niet gebruikt worden om dit verloop te kwantificeren. De metingen na 2005 kunnen hier wel voor gebruikt worden maar beslaan een zo korte periode dat het niet echt mogelijk is om seizoenseffecten te onderzoeken.

#### ZOAB vakken

De gebruikte vakken zijn de hm\_vakken 59.1/59.6 op 1HRL-R van RW007.

In principe vinden de metingen op de deklagen DAB en ZOAB plaats maar de analyse beperkt zich tot ZOAB

#### ZOAB metingen

De door de DVS uitgevoerde analyses per dag tonen dat systeem 5 zo nu en dan afwijkt van de andere meetinstrumenten. Door DID is aangegeven dat er met name in 2005 problemen waren met dit meetinstrument. Ondanks deze bedenkingen is systeem 5 hier niet van de analyses uitgesloten.

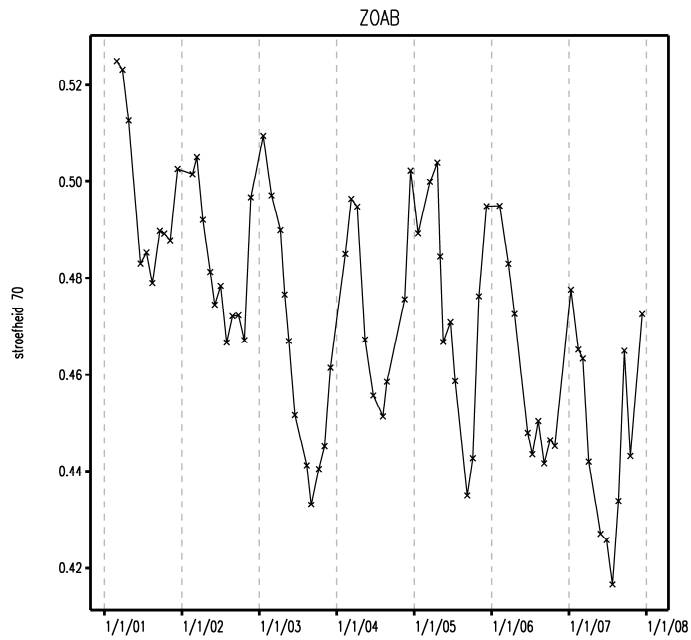
Op elke meetdag wordt elk hm\_vak ongeveer 32 keer gemeten. Dit aantal hangt af van aantal meetinstrument/band combinaties (meestal 8, incidenteel 6 of 10) en het aantal herhalingen (=4). De meetinstrumenten die gebruikt zijn kunnen van meting tot meting variëren. Hoewel er verschillen kunnen zijn in de instrumenten (met name systeem 5) zijn deze in de analyse genegeerd omdat ze door uitmiddeling grotendeels zullen verdwijnen. Uit resultaten die in figuur 1 staan blijkt dat er een duidelijk seizoenseffect is en dat er in 7 jaar een verloop is van ongeveer 0.07; dwz een verloop van 0.01 per jaar.

Vervolgens zijn de (enkelvoudige) correlaties onderzocht van de stroefheid met de meteo gegevens. De beste correlatie wordt gevonden met de temperatuur gegevens, het maakt niet zo veel uit of gekozen wordt voor TG, TN of TX. Als voorbeeld is het verband met TG in figuur 2 weergegeven. Hoewel er duidelijke sprake is van een relatie is deze echter niet zodanig dat de temperatuur gebruikt kan worden om de schommelingen in de stroefheid volledig te kunnen verklaren.

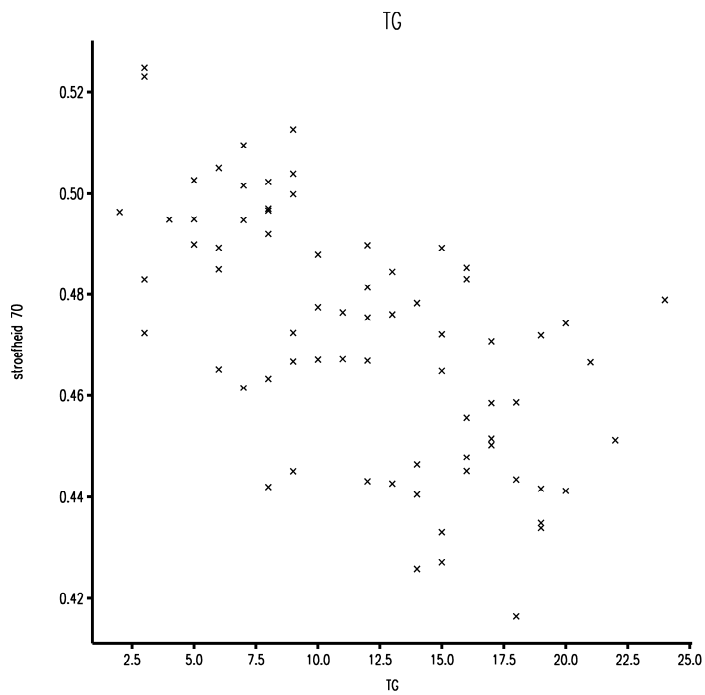
#### **Opmerkingen**

Niet alle meteo data hebben een lineaire schaal. Er zijn echter geen pogingen ondernomen om de te onderzoeken of de correlatie verbeterd kon worden door een of andere schaal transformatie.

Een apart verhaal is de windrichting met zijn cyclisch karakter. Indien hier rekening mee gehouden wordt is er geen duidelijke correlatie met de stroefheid.



figuur 1: verloop van de stroefheid van de kalibratie ZOAB vakken in de tijd



figuur 2: correlatie tussen stroefheid en temperatuur (etmaal gemiddelde)

## **Monitoring data, analyse van de stroefheid in de periode 2000/2007 in relatie tot totale belasting**

**Gebruikte data:** StroefheidVerhardingIntensiteiten2007.zip (27-11-2007)

In deze file staan van de periode 2000/2007 de grootheden district, rijksweg, baan, strook, hectometervak, meetdatum, meetkenmerk, meetwaarde, meetwagen, verhardingssoort, aanlegdatum. Deze data zijn door DID gekoppeld aan gegevens betreffende de belasting. In de file staan de grootheden regjaar, werkdagen en weekdagen.

### **Opmerkingen**

- De metingen komen uit de periode 2000/2007. Omdat vak om het jaar gemeten wordt zijn er per vak hooguit 3 a 4 metingen beschikbaar.
- De stroefheidswaarden hebben alleen betrekking op de huidige deklaag. Dus meetdatum van het meetkenmerk is later dan aanlegdatum
- In werkdagen en weekdagen staan de belastingen in het daarbij behorend regjaar. Deze belastingen zijn door DID genormaliseerde belastingen.
- In de analyses is alleen gewerkt met de belasting 'werkdagen'. De totale belasting van een vak in een bepaald meetjaar is gelijk aan de som van de belastingen in de periode van aanleg tot meetjaar.

### **Analyse**

Er zijn een groot aantal figuren gemaakt waarin zichtbaar gemaakt is wat de relaties zijn tussen locatie, stroefheid, intensiteit, leeftijd, strook, meetsysteem etc. Een aantal beelden zijn niet direct te verklaren. Als voorbeeld staan in figuur 3 de data van RW9. Hierin is voor elk hm\_vak de stroefheid uitgezet tegen de totale belasting. Indien er 2 of meer generaties van het zelfde hm\_vak beschikbaar zijn, zijn deze met elkaar verbonden, elke lijn stelt dus 1 hm\_vak voor. In figuur 4 is onderscheid gemaakt naar meetsystemen 1 en 2 enerzijds en systeem 5 anderzijds, in figuur 4a staan de data van systeem 5, in figuur 4b staan de gegevens van de systemen 1 en 2. De trajecten met indentieke en verschillende belastingen zijn duidelijk van elkaar te onderscheiden. Verder is opvallend dat voor een groot vakken de stroefheid sterk toeneemt en vervolgens sterk daalt naar een waarde die zelfs onder de eerste meting kan liggen. Dit effect treedt met name op voor systeem 5 data en het is onafhankelijk van de totale belasting. Gezien het niveau van de belasting lijkt het niet aannemelijk dat dit effect te maken heeft met aanvangsstroefheid. Het aanwijzen van een echte oorzaak is lastig omdat, onder andere, een aantal grootheden met elkaar verstrengeld zijn. Opvallend is de enorme variabiliteit van systeem 5. Er is naar voren gebracht dat er vooral in 2005 problemen waren met systeem 5. Naar aanleiding van deze opmerking en enkele aanvullende analyses is besloten om dit systeem bij de analyse buiten beschouwing te laten.

De analyse is uitgevoerd op het gehele databestand maar heeft wel de volgende beperkingen:

- Deklaag is DAB of ZOAB
- Extreme meetwaarden zijn buiten beschouwing gelaten; alleen meetwaarden tussen de 0.20 en 0.72 zijn geanalyseerd
- Meetsystemen 1 en 2, tussen deze instrumenten wordt verder geen onderscheid meer gemaakt
- baan is HR

Voor de twee verschillende deklagen is een smoothing procedure gebruikt die er voor zorgt dat er een model ontstaat die de relatie tussen de stroefheid en de cumulatieve (=totale) belasting beschrijft. Verder is berekend wat het 95% betrouwbaarheidsinterval is van de deze lijn. Dit interval geeft dus aan hoe nauwkeurig deze lijn geschat is. Verder zijn de 95% betrouwbaarheidsintervallen berekend voor voorspellingen van individuele waarden. Per deklaagtype staan de individuele metingen en de resultaten in de figuren 5 en 6. De resultaten voor de 2 deklaagtypen samen staan in figuur 7.

Uit de analyses komt naar voren dat:

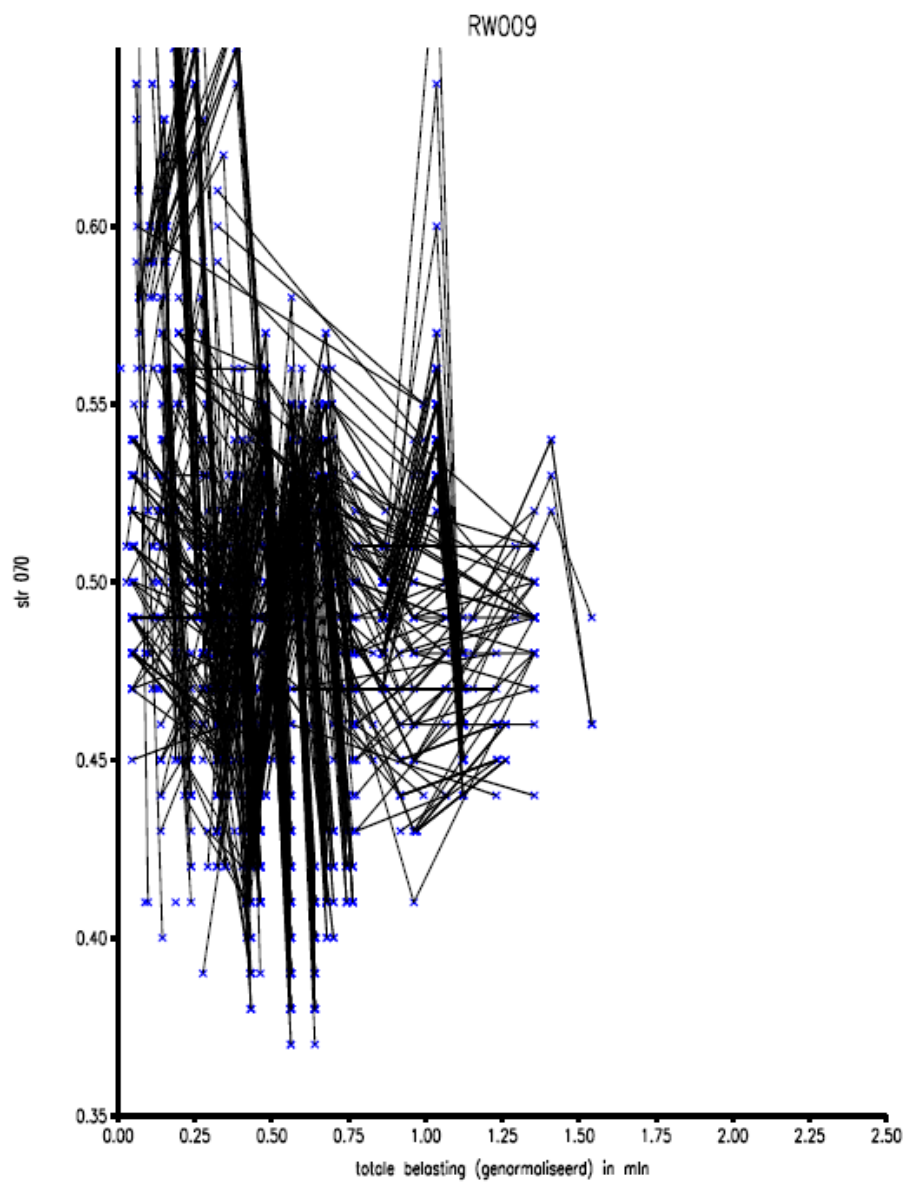
- de betrouwbaarheidsintervallen voor de lijnen klein zijn. Dit komt met name door het grote aantal metingen dat gebruikt is in de analyse.
- De voorspellingsintervallen erg groot zijn. Dit komt door
  - o De meetfout in de stroefheidsmetingen
  - o Aanwezigheid van extra spreidingsbronnen die genegeerd zijn. Voorbeelden hiervan zijn: verschillen tussen vakken, verschillen in meet momenten (lees temperatuur en/of weersomstandigheden)
- ...
- Bij DAB gaat het model naar een limiet van 0.48 terwijl het model voor ZOAB nog niet aan een limiet toe is maar wel al lagere waarden kan aannemen dan DAB
- Bij DAB is er in het begin een kleine oneffenheid in de lijn. De reden is onduidelijk, gezien het niveau van de stroefheid en de belasting is voorlopig afgezien van een nader onderzoek naar de reden.

## **Vervolgonderzoek**

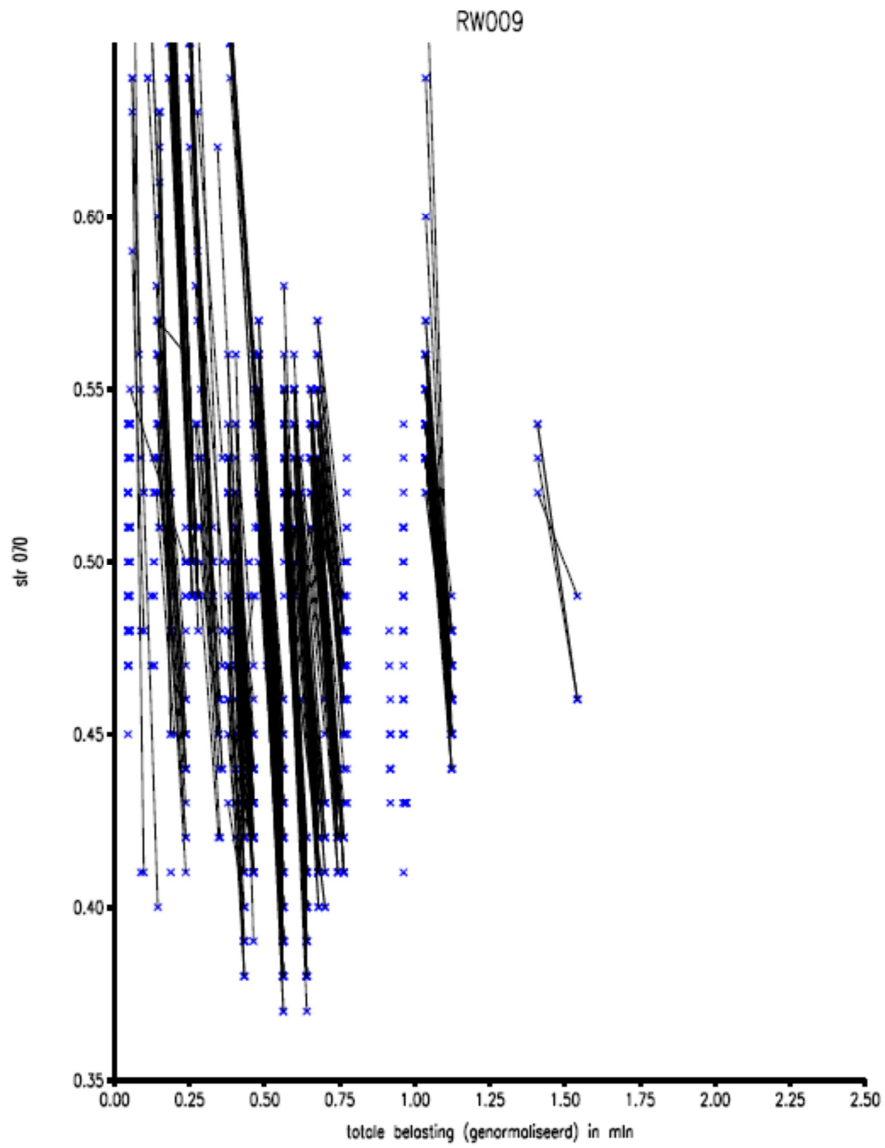
- Het uiteindelijke doel is de beschikbaarheid van een model dat gebruikt kan worden om eindlevensduur stroefheid te voorspellen afhankelijk van belasting, meetmoment en gemeten stroefheid. De eerstvolgende stappen in de ontwikkeling van dit model zijn:

- het combineren van het model van de monitoring data met de kalibratie data
- restlevensduren voorspellen voor de kalibratie vakken
- nader onderzoek naar de mogelijkheden om rekening te houden met seizoens effecten

- Een van de constatering van dit onderzoek is dat systeem 5 kan afwijken van de overige meetsystemen. Onderzocht wordt of er sprake is van een systematische afwijking. Indien dit zo is dan zou hier gebruik van gemaakt kunnen worden middels correctie termen.

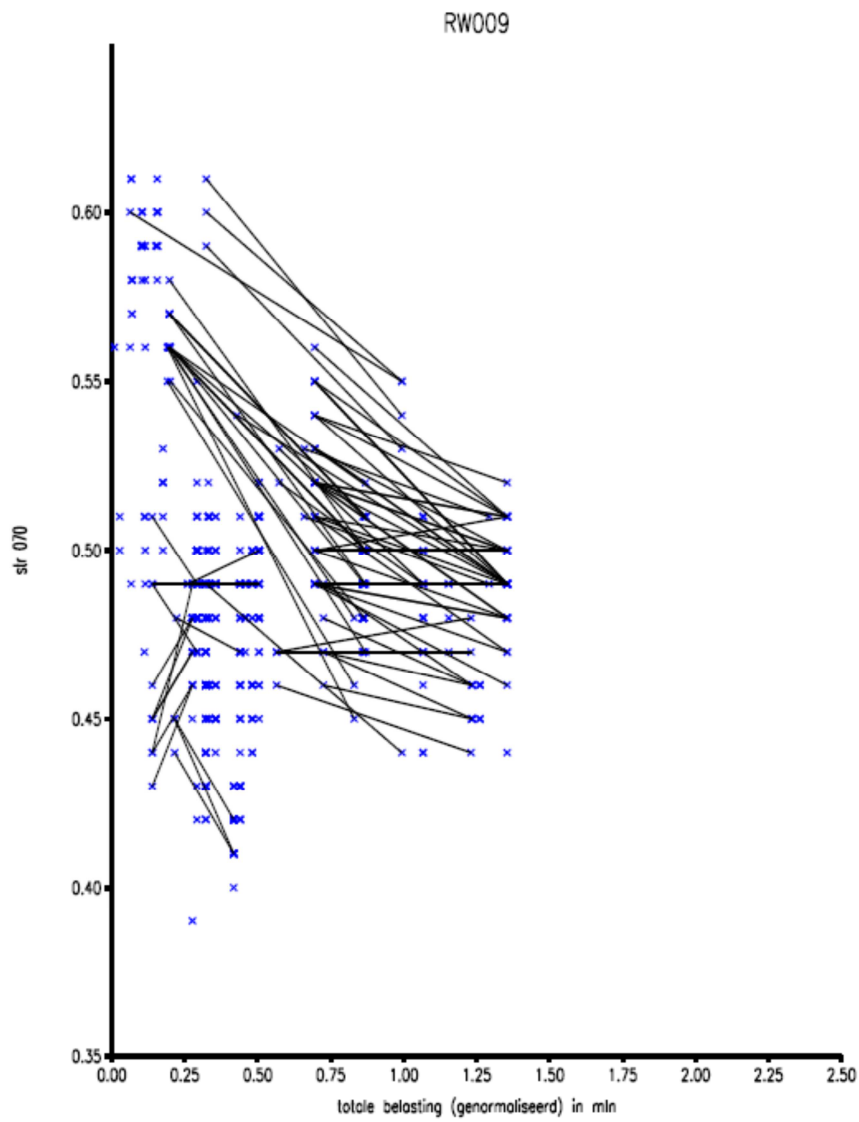


Figuur 3: verloop stroefheid met totale belasting, meetsysteem 3, 4 en 5 metingen

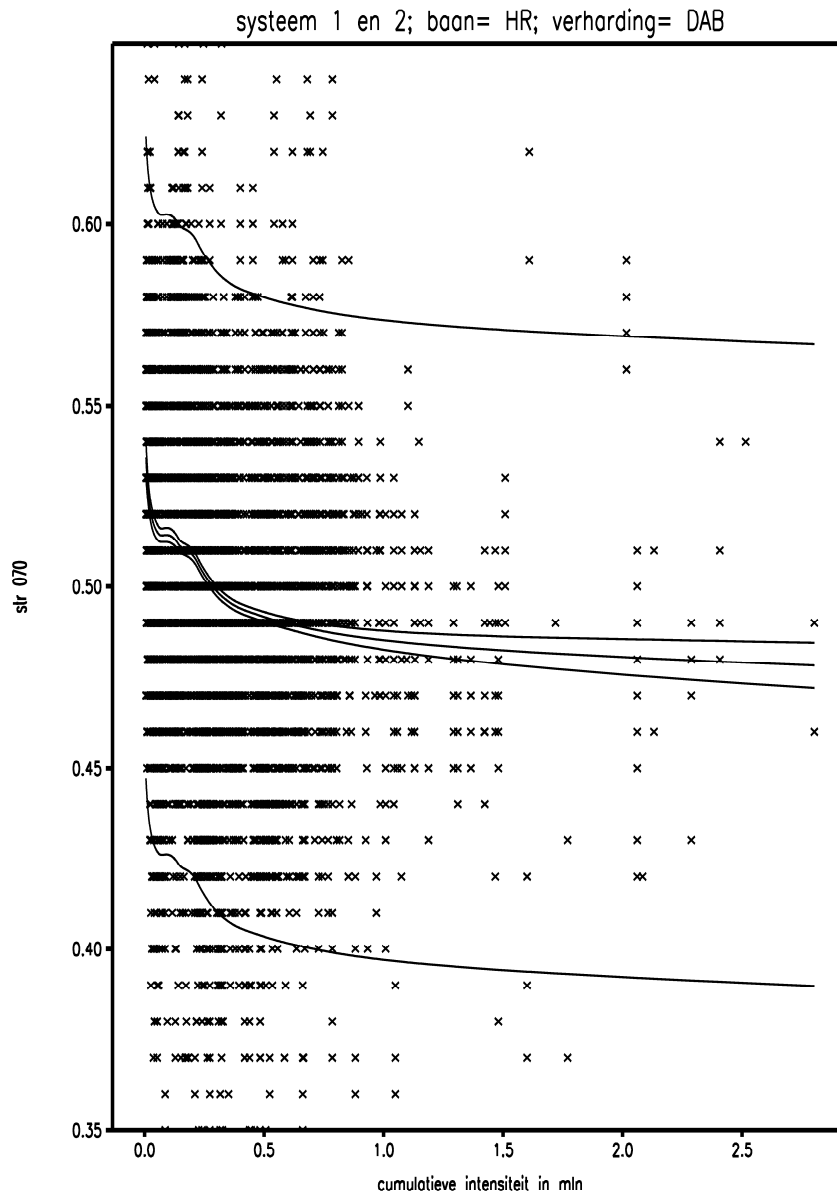


figuur 4a: verloop stroefheid met totale belasting gedurende 3 meetgeneraties, meetsysteem 5

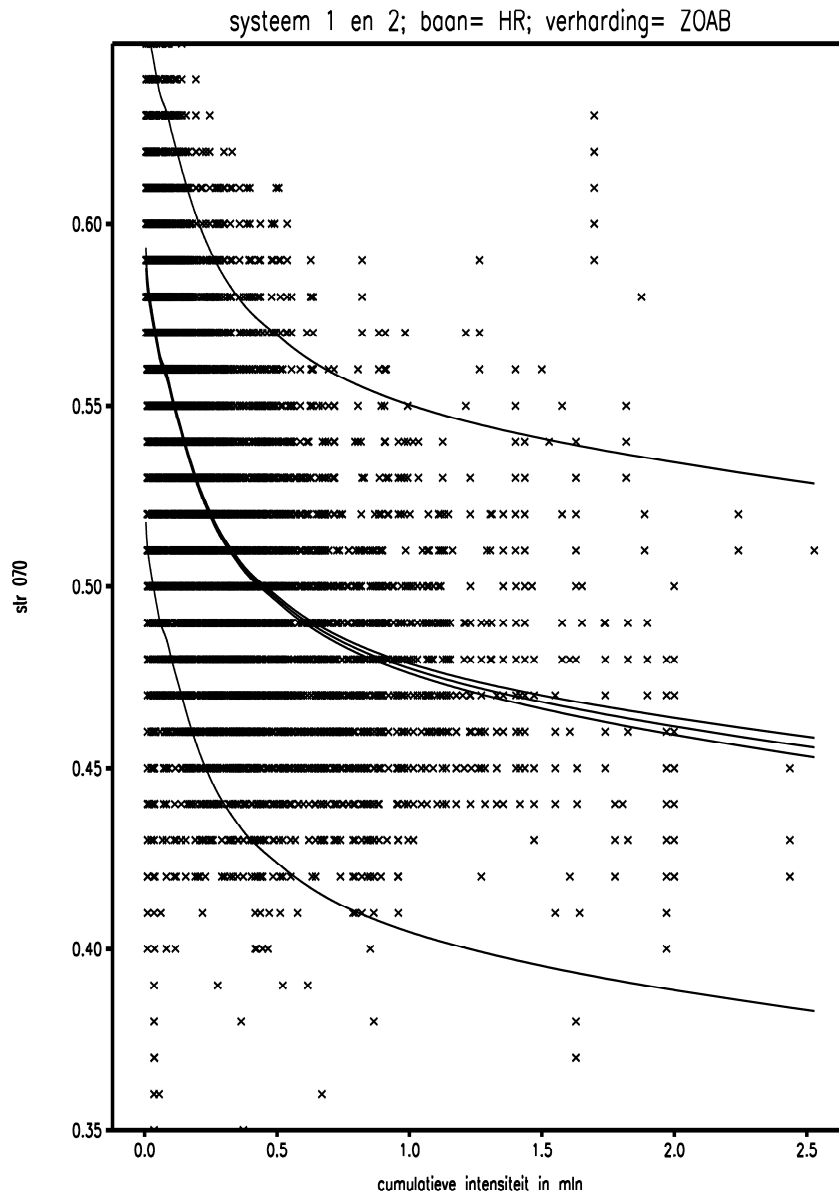




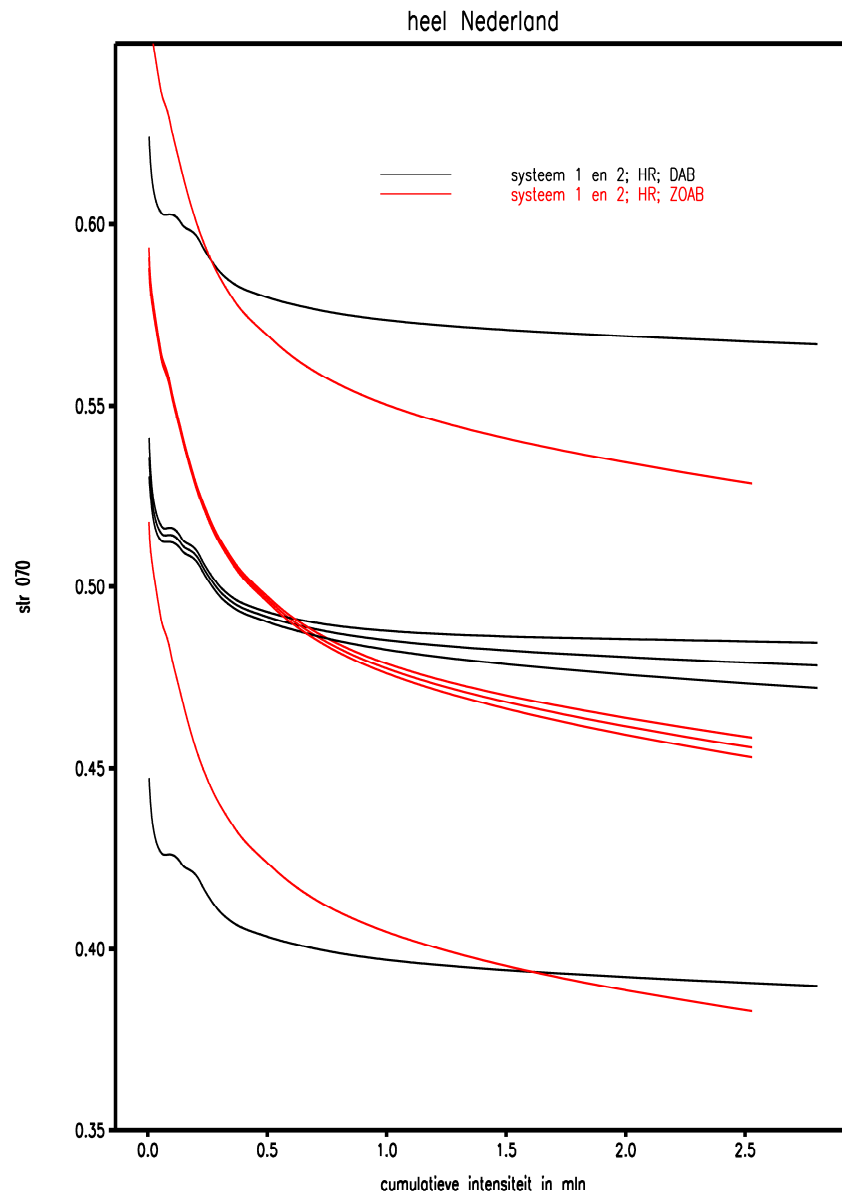
figuur 4b: verloop stroefheid met totale belasting gedurende 3 meetgeneraties, meetsystemen 3 en 4



**figuur 5: relatie stroefheid met totale belasting voor DAB; inclusief betrouwbaarheidsintervallen van het model en voorspellingintervallen voor individuele metingen**



**figuur 6: relatie stroefheid met totale belasting voor ZOAB; inclusief betrouwbaarheidsintervallen van het model en voorspellingintervallen voor individuele metingen**



**figuur 7: relatie stroefheid met totale belasting; inclusief betrouwbaarheidsintervallen voor het model en voorspellingintervallen voor individuele metingen**

## **Bijlage 2**

Overzicht van de hoeveelheden neerslag en de duur van de neerslag voor de periode augustus/december van de jaren 2001 t/m 2007 volgens weer station de Kooy.  
De rode verticale markeringen komen overeen met momenten van de kalibratiemetingen.

