

## Validatie stroefheid voorspellend model

Jan Telman, 16 juli 2020

Info: [jan.telman@cqm.nl](mailto:jan.telman@cqm.nl); 06-3400 4096

### 1 Samenvatting

In het verleden is voor het verloop van de stroefheid tegen de cumulatieve intensiteit een model opgesteld van de vorm  $STR_t = a + b \times {}^{10}\log(I_t/365)$ .

Hierin is  $STR_t$  de stroefheid van een hectometervak bij een leeftijd van  $t$  jaar.  $I_t$  is de cumulatieve intensiteit gemeten in miljoen voertuigpassages.

Het model is afgeleid op een beperkte set van wegvakken op DAB en ZOAB in een beperkte meetperiode van 2000 t/m 2007, waarin per hectometervak veelal slechts 2 meetgeneraties beschikbaar waren. Dit rapport beschrijft de validatie van dit model op een veel uitgebreidere dataset, waarin voor diverse deklaagtypen meetwaarden beschikbaar zijn over de 'produktiemetingen' M13 t/m M19 in meetjaren 2011 t/m 2018. Nagegaan is in hoeverre de modelparameters  $a$  en  $b$  nog valide zijn bij uitbreiding van de dataset.

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de berekeningswijze van het 'oude' model en de resultaten daarvan. In hoofdstuk 3 worden enkele alternatieve aanpakken beschreven, waarbij wordt toegelicht dat een zogenaamd mixed linear model de voorkeur heeft. In die benadering wordt op een zuivere manier onderscheid gemaakt tussen de trendlijn en de opsplitsing van de spreiding rond die trendlijn binnen en tussen hectometervakken. Deze spreidingswaarden (standaardafwijkingen) kunnen worden gebruikt voor het opstellen van percentiellijnen voor de stroefheidsontwikkeling tegen de cumulatieve intensiteit.

Hoofdstuk 4 beschrijft de stappen van uitbreiding tussen de oude en de nieuwe dataset. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de nieuwe dataset en hoe de uitdagingen zijn aangepakt met betrekking tot: gebruik van deels ontbrekende intensiteiten, omrekening van meetwaarden uit verschillende meetmethoden (RAW versus SWF), seizoenseffecten in de meetdata. Bovendien is aangegeven welke selectiecriteria uiteindelijk zijn gehanteerd voor het wel of niet meenemen van meetgegevens.

Hoofdstuk 6 beschrijft de resultaten voor DAB en ZOAB bij uitbreiding van de meetperiode. Daarbij blijkt:

- Bij uitbreiding van de meetperiode op dezelfde hectometervakken nemen intercept en spreiding in vakniveaus licht af.
- Bij uitbreiding van de meetperiode plus aanvulling van alle hectometervakken DAB en ZOAB (op de buitenste rijstrook) neemt het intercept verder af, maar neemt de spreiding tussen vakken toe.
- Voor ZOAB blijft de modelparameter voor de helling  $b$  vrijwel constant bij uitbreiding van de data.

- Voor DAB wordt een vreemd resultaat gevonden: bij uitbreiding van de data naar M13 t/m M19 wordt een veel minder negatieve helling gevonden. Als alleen wordt gemodelleerd op RAW-metingen is de helling zelfs positief.

Hoofdstuk 7 beschrijft de resultaten van de meest uitgebreide dataset. Per deklaag is het model afzonderlijk gefit op de buitenste en op de niet-buitenste rijstrook.

In het algemeen leverde dit realistische waarden op voor de modelparameters. Marges op die parameters zijn eveneens berekend en in de tabellen weergegeven. Het blijkt dat intercept en hellingen i.h.a. verschillend zijn voor verschillende deklagen.

In een aantal gevallen, met name bij minder frequente data op de niet-buitenste rijstrook, werden niet-realistische positieve hellingen gevonden.

Het blijkt dat dit niet wordt opgelost door toepassing van een seizoenscorrectie op de meetdata. Het effect van zo'n correctie bleek gering.

Hoofdstuk 8 tenslotte gaat nog even in op alternatieve meetwaarden. In dit onderzoek zijn analyses uitgevoerd op actuele stroefheidswaarden, zo nodig geconverteerd naar meetmethode (SWF vs. RAW). Alternatieve meetwaarden zijn bijvoorbeeld:

- AS-scores, waarbij de normwaarde van de meetwaarde wordt afgetrokken. Dit zou conversie overbodig kunnen maken.
- De stroefheidsindex SI, waarbij een gewogen gemiddelde van een aantal meetgeneraties wordt gerapporteerd als meetwaarde.

Beide alternatieven hebben nut bij de interpretatie van een momentane stroefheid, maar hebben ook nadelen bij het fitten van trends over meerdere meetgeneraties. Daarom worden AS-scores en SI afgeraden voor het opstellen of valideren van trendmodellen.

## 2 Oorspronkelijk model en data

### 2.1 Modelvorm

Voor het verloop van de stroefheid in relatie tot de verkeersintensiteit is in eerder onderzoek<sup>1</sup> het volgende model opgesteld

$$STR_t = a + b \times {}^{10}\log(I_t/365)$$

Hierin geldt:

- $STR_t$  is de stroefheid bij een leeftijd van  $t$  jaar, gemeten volgens proef 72, bij 70 km/u.
- $I_t$  is de cumulatieve dagelijkse verkeersintensiteit, gemeten in miljoen ( $10^6$ ) voertuigpassages.
- De coëfficiënten zijn het intercept  $a$  (de mediane waarde  $a_{50}$  over de hectometervakken) en de helling  $b$  met de cumulatieve intensiteit op log-schaal. Deze coëfficiënten zijn afhankelijk van het type deklaag. In het eerdere onderzoek zijn waarden berekend, zoals weergegeven in onderstaande tabel.

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

Tabel 1. Coëfficiënten stroefheidsverloop.

### 2.2 Gehanteerde data en berekeningsmethode

In het oude onderzoek is uitgegaan van meetwaarden voor stroefheid zoals vastgelegd in de database "bijlage-4-stroefheid-en-intensiteit.csv". Dit bestand bevat 8.317 records voor DAB en 26.175 records voor ZOAB met de variabelen zoals aangegeven in de kolommen onderstaande tabel.

Weg	Baan	Strook	van_tot	meetjaar	meetmaand	meetdag	systeem	verharding	aanlegjaar	aanlegmaand	aanlegdag	STR070	Cum baanbreed/367	baan	leeftijd
RW002	1HRL_R	2R_L	232.4_232.3	2002	11	29	Systeem_1	ZOAB	1997	11	2	0,50	72395,16667	HR	5
RW002	1HRL_R	2R_L	232.5_232.4	2002	11	29	Systeem_1	ZOAB	1997	11	2	0,50	72395,16667	HR	5

Tabel 2. Oorspronkelijke dataset (eerste twee regels).

De etmaalintensiteit staat in kolom "Cum baanbreed/367". De leeftijd in jaren staat in gehele getalen in de laatste kolom, maar kan ook nog preciezer worden uitgerekend uit het verschil tussen meetdatum en aanlegdatum.

De berekeningsmethode wordt in de TNO-rapportage beschreven op pagina's 28 t/m 30. De aanpak is als volgt geweest. Afzonderlijk voor DAB en ZOAB is de relatie tussen de stroefheid en de cumulatieve intensiteit berekend op basis van gemiddelden in 20 klassen. Daartoe

<sup>1</sup> TNO Notitie "Verloop stroefheid in relatie met aantal voertuigpassages en seizoen", G.B. Derksen, 4 maart 2013.

worden datarecords gesorteerd naar oplopende levensduur (cumulatieve intensiteit) en vervolgens verdeeld over 20 klassen met evenveel datapunten.

Per klasse wordt berekend:

- $X$  = de gemiddelde waarde voor de 10log van de cumulatieve intensiteiten.
- $Y$  = de gemiddelde stroefheid.
- $sY$  = de standaardafwijking van de stroefheid binnen elke klasse.

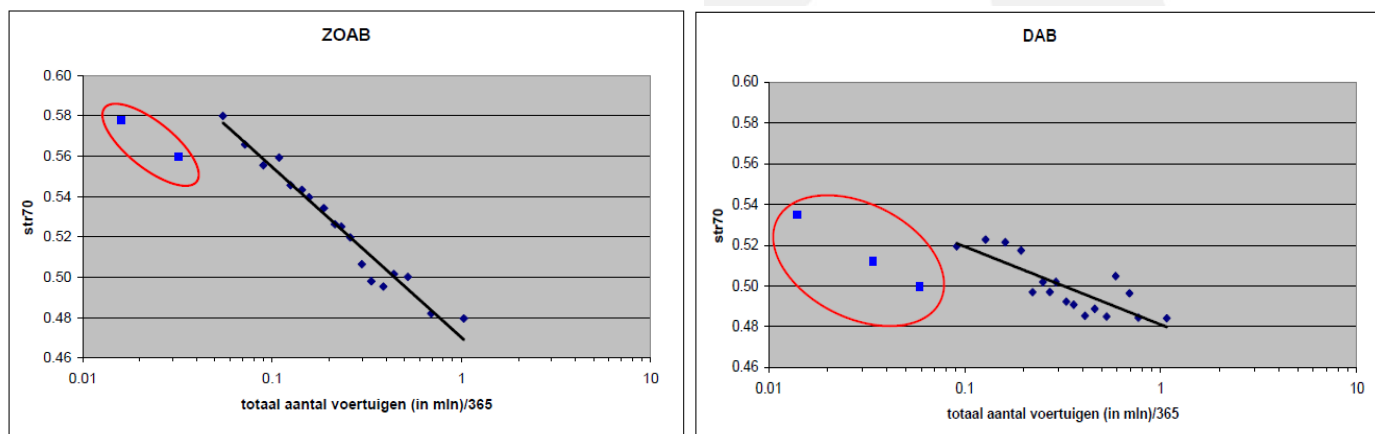
Op de 20 klasse-gemiddelden wordt vervolgens het model  $Y = a + b \times X$  gefit. Bovendien wordt de gemiddelde standaardafwijking  $s_{STR}$  over de  $sY$  van de verschillende klassen berekend.

Onder de veronderstelling dat binnen een klasse de stroefheid normaal verdeeld is, kan met het model voor een gegeven waarde van de cumulatieve intensiteit dus het volgende worden berekend:

- De voorspelde gemiddelde stroefheid
- Percentielwaarden (bijvoorbeeld een 5% ondergrens en een 5% bovengrens) rond dit gemiddelde, op basis van de normale verdeling en de standaardafwijking  $s_{STR}$ .

## 2.3 Resultaten op oude dataset

De resultaten zijn per deklaag afzonderlijk weergegeven in onderstaande grafieken, die zijn overgenomen uit het TNO rapport. De getekende punten geven voor elk van de 20 klassen de gemiddelde stroefheid tegen de gemiddelde cumulatieve intensiteit op logschaal.



*Figuur 1. Groepsgemiddelden voor stroefheid en cumulatieve intensiteit, per klasse.*

De punten in Figuur 1 liggen i.h.a. vrij goed op een rechte lijn  $Y = a + b \times X$ , met coëfficiënten  $a$  en  $b$  zoals al eerder vermeld in Tabel 1. Binnen de rode ellipsen zijn de punten afwijkend van het overall beeld. Dit betreft klassen met overwegend jonge wegvakken (< 2 jaar). Deze zijn in de gevolgde berekeningsmethode niet meegenomen bij de fit.

De nauwkeurigheid van de berekende coëfficiënten a en b zijn uit te drukken in de vorm van een standard error se. De 95%-marge rond de berekende waarde is dan  $\pm 2 \times se$ . Op basis van de oude data geldt:

- Voor ZOAB:  $se_a = 0,0030$  en  $se_b = 0,0038$
- Voor DAB:  $se_a = 0,0034$  en  $se_b = 0,0059$ .

Verder blijkt uit de TNO-rapportage dat de standaardafwijking  $s_{STR}$  – voor de stroefheid tussen vakken binnen dezelfde klasse – gelijk is aan  $\sqrt{0,0012} = 0,0346$  voor ZOAB en  $\sqrt{0,0019} = 0,0436$  voor DAB.

Aanvulling van Tabel 1 met bovenstaande informatie leidt tot het volgende overzicht.

deklaag	a50	se_a50	b	se_b	s_STR
ZOAB	0,470	0,0030	-0,0845	0,0038	0,0346
DAB	0,481	0,0034	-0,0384	0,0059	0,0436

Tabel 3. Overzicht van de informatie uit de oude data.

## 3 Alternatieve berekeningsmethode

### 3.1 Trendlijn per hectometervak

De intuïtief meest logische aanpak is om uit te gaan van het feit dat er – zelfs onder gelijke omstandigheden (zoals aanlegdatum en intensiteit) – niveauverschillen in stroefheid kunnen zijn tussen hectometervakken en dat die stroefheid afneemt met het cumulatief aantal voertuigpassages. Aansluitend bij bovengenoemd model wordt de uitdrukking dan

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

Hierin is  $b$  de helling voor de *gemeenschappelijke* trend tegen de cumulatieve intensiteit over de groep van hectometervakken. Die groep kan worden gedefinieerd op basis van gemeenschappelijke kenmerken zoals deklaagtype (bijvoorbeeld ZOAB versus DAB), rijstrook (buitenste of niet-buitenste), aanlegperiode. De trend wordt berekend op basis van de meerdere meetgeneraties per hectometervak.

De intercept  $a_i$  kan per hectometervak verschillend zijn. De mediane waarde van die  $a_i$ 's komt overeen met de waarde voor de intercept  $a$ , zoals genoemd in de voorgaande paragrafen. De standaardafwijking van die  $a_i$ 's komt overeen met de standaardafwijking  $s_{STR}$  in voorgaande paragraaf. Deze standaardafwijking kan – uitgaande van een normale verdeling – worden gebruikt voor het bepalen van percentielwaarden rond de gemiddelde trendcurve.

### 3.2 Keuze voor de berekeningsmethode: oud versus nieuw

De oude methode waarin metingen worden gegroepeerd in 20 klassen geeft impliciet een verstrengeling van niveauverschillen per hectometervak en het verloop van de stroefheid over de 20 klassen. Hetzelfde hectometervak met slechts enkele meetgeneraties kan immers niet over alle 20 klassen verspreid zitten. Theoretisch is het mogelijk dat de helling tussen een aantal meetgeneraties van hetzelfde hectometervak niet parallel loopt aan de trend van de gemiddelden, zonder dat hierop een controle mogelijk is. Dat maakt deze methode vanuit statistisch oogpunt minder zuiver.

De alternatieve berekening, waarbij een de trend  $b$  echt wordt gefit op meerdere meetgeneraties van hetzelfde hectometervak met mogelijke verschillen in niveaus  $a_i$  tussen hectometervakken, heeft daarom de voorkeur.

Er zijn dan nog twee opties om de verdeling van de intercepten  $a_i$  te bepalen:

- Lineaire regressie, waarbij de niveaus van de hectometervakken als vaste effecten ('fixed') worden meegenomen.
- Lineair mixed model, waarin de vakniveaus over de hectometers worden gemodelleerd als een normaal verdeelde variatiebron met een gemiddelde en een standaardafwijking.

Bij de lineaire regressie is het onderliggende model:  $STR_t = a_{50} + a_i + b \times {}^{10}\log(I_t/365) +$  restspreiding.

De modeltermen zijn:

- Intercept  $a_{50}$ , die het gemiddelde stroefheidsniveau over de hectometervakken voorstelt als  ${}^{10}\log(I_t/365) = 0$ ; dus als de cumulatieve intensiteit  $I_t/365$  gelijk is aan 1 (maal  $10^6$ ).
- De vakeffecten  $a_i$ , waarden voor niveauverschillen per hectometervak. De som van de  $a_i$ 's is per definitie 0 en de standaardafwijking van de  $a_i$ 's is een maat voor de variatie in stroefheid tussen vakken.
- De gemeenschappelijke helling  $b$ .
- De restspreiding is de variatie die niet door het model kan worden verklaard. Dit betreft met name meetonzekerheden. De restspreiding wordt gemodelleerd als een normaal verdeelde grootte met een gemiddelde 0 en een standaardafwijking  $s_{rest}$ .

Bij het toepassen van dit model bleken enkele complicaties op te treden. Bij grote aantallen hectometervakken (meer dan 5000) worden de modelberekeningen rekenkundig erg intensief. Bovendien werd in een aantal gevallen een (onrealistische) positieve helling gevonden. Dit laatste kwam vooral voor bij datasets met oudere wegvakken (veelal DAB) en kan deels worden toegeschreven aan onbalans in de range van cumulatieve intensiteiten per hectometervak.

Bij een lineair mixed model is het onderliggende model:  $STR_t = a_i + b \times {}^{10}\log(I_t/365) +$  restspreiding.

De modeltermen zijn dezelfde als bij het lineaire regressiemodel, met uitzondering van:

- De vakeffecten  $a_i$ . De niveauverschillen tussen hectometervakken worden nu gemodelleerd als een normale verdeling met een gemiddelde  $\mu_a$  en een standaardafwijking  $s_a$ .

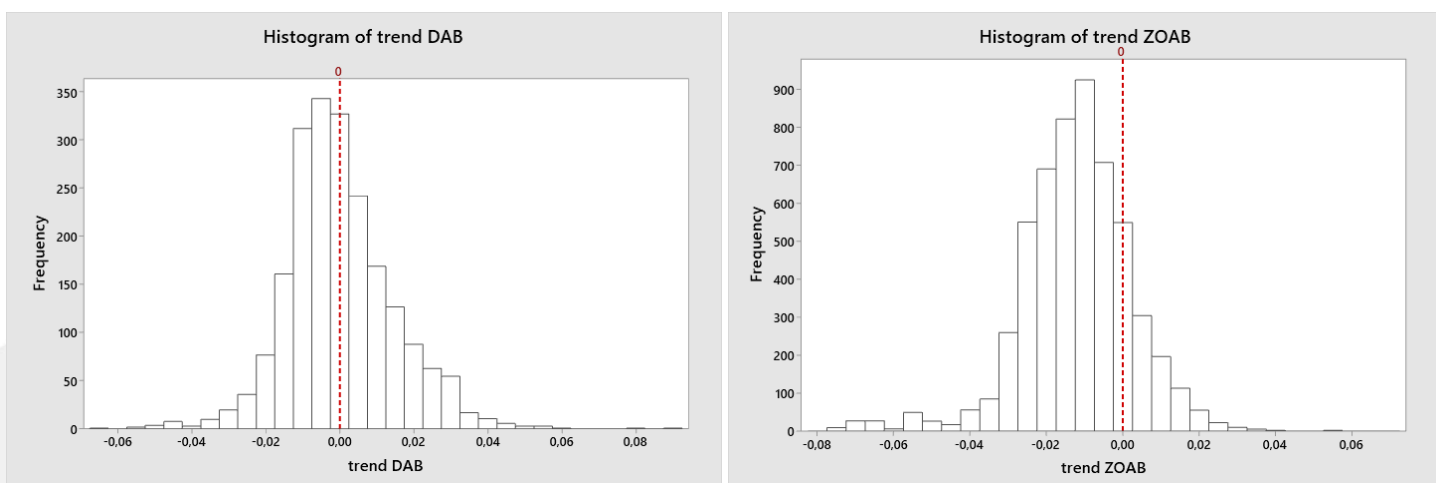
Intuïtief wordt bij een mixed model door de puntenwolk van stroefheid versus intensiteit een lijn getrokken met helling  $b$  en intercept  $\mu_a$ . Daarbij wordt voor de spreiding rond die lijn een onderverdeling gemaakt tussen spreiding tussen vakken ( $s_a$ ) en echte restspreiding ( $s_{rest}$ ). Er wordt dus rekening gehouden met het feit dat de punten in de wolk niet onafhankelijke spreiding vertonen, maar dat de punten in groepjes van hetzelfde hectometervak bij elkaar horen.

Dit pleit voor het gebruik van het lineaire mixed model als de meest zuivere aanpak om het model te fitten.

### 3.3 Beperkingen bij het oude onderzoek

Dat in de oorspronkelijke aanpak toch voor de methode van opdeling in 20 klassen is gekozen, is verdedigbaar vanwege de beperkte aantallen meetgeneraties. Het blijkt namelijk dat in de oude dataset ruim de helft van de hectometervakken maar 1 meetgeneratie kent en de overige slechts 2 meetgeneraties. De berekende trend per hectometervak zou dan sterk kunnen afhangen van een mogelijk systematisch verschil tussen 2 meetgeneraties, of een grote onzekerheid kennen door toevallige meetfouten.

Ter indicatie is per hectometervak de trend in het stroefheidsverloop per jaar berekend als het verschil tussen de opeenvolgende stroefheidswaarden gedeeld door het verschil tussen de meetdatums. Alleen metingen met een leeftijd vanaf 2 jaar zijn meegenomen. De verdeling van de trends per hectometervak is weergegeven in onderstaande histogrammen. Ter referentie is de nullijn getekend, die overeenkomt met constant blijvende stroefheid.



Figuur 2. Verdeling van trends in stroefheid per jaar, oude meetdata.

Kentallen voor de trends zijn:

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev
trend DAB	2091	0,0001	0,0003	0,0147
trend ZOAB	5511	-0,0121	0,0002	0,0144

Tabel 4. Trends in stroefheid per jaar, oude data.

Het blijkt dus dat bij DAB per hectometervak bijna evenveel positieve als negatieve trends worden gevonden, met een gemiddelde vrijwel gelijk aan 0. Bij ZOAB zijn de trends per hectometervak overwegend negatief, met een gemiddelde van -0,0121. Voor beide deklagen is er een spreiding met een standaardafwijking van ongeveer 0,0145, die wordt veroorzaakt door de meetonzekerheid.

ZOAB voldoet dus wel aan het heersende idee van een stroefheidsdaling van 1 punt (0,01) per jaar, maar bij DAB blijkt dit niet uit de 'oude' meetdata.

### 3.4 Voorbeeld: resultaten verschillende modellen op oude data DAB

Om een gevoel te krijgen bij de verschillende analysemethoden zijn deze toegepast op de oude dataset. Alleen de meetwaarden bij een leeftijd vanaf 2 jaar zijn hierin meegenomen.

Voor DAB resteren dan 7.095 meetwaarden, verdeeld over 4.896 hectometervakken. De resultaten staan in onderstaande Tabel 5. De bovenste regel bevat de resultaten van de oorspronkelijke aanpak. Als een simpel lineair regressiemodel wordt gefit, worden vrijwel



dezelfde waarden voor de intercept  $a_{50}$  en de helling  $b$  gevonden. Alle spreiding komt dan in de restspreiding terecht. Het model zelf verklaart maar 5,4% van de variatie.

Het lineaire regressiemodel met afzonderlijke vakniveaus  $a_i$  levert onrealistische waarden: de  $a_{50}$  (=gemiddelde van alle  $a_i$ 's over de 4896 hectometervakken) is wat hoger, maar vooral valt op dat een positieve helling  $b = +0,0274$  wordt gevonden!

Het mixed model levert een helling  $b = -0,0271$ , wat lager dan het oude model, maar nog wel binnen de marge van  $\pm 2xse_b$  van dat model. Verder blijkt dat de spreiding keurig is opgesplitst: tussen vakken  $s_a = 0,0368$  en restspreiding  $s_{rest} = 0,0228$ . Als deze waarden kwadratisch worden opgeteld, wordt als totale spreiding gevonden  $s = 0,0433$ .

model	a50	se_a50	b	se_b	s_a	s_rest	perc_verkl
oud met klassen	0,4810	0,0034	-0,0384	0,0059	0,0436		
lin regr	0,4846	0,0010	-0,0324	0,0016		0,0433	5,4%
lin regr per vak	0,5137	0,0225	0,0274	0,0057	0,0463	0,0224	74,7%
mixed model	0,4992	0,0006	-0,0271	0,0017	0,0368	0,0228	73,7%

Tabel 5. Resultaten van verschillende modellen, DAB oude dataset.

Dezelfde berekeningen zijn uitgevoerd op de ZOAB-vakken in de oude dataset. Na de restrictie op een minimale leeftijd van 2 jaar bleven 19.412 dataregels over, verdeeld over 13.865 hectometervakken.

Gezien het grote aantal verschillende hectometervakken is het lineaire regressiemodel met aparte niveaus per vak niet uitgevoerd. Het mixed model is nog goed uit te rekenen met zoveel hectometervakken. De resultaten staan in Tabel 6.

Het mixed model geeft een helling  $b$  die redelijk in de buurt van de oude resultaten ligt, en een opdeling van de spreiding in een deel tussen vakken ( $s_a$ ) en een deel echte restspreiding ( $s_{rest}$ ).

model	a50	se_a50	b	se_b	s_a	s_rest	perc_verkl
oud met klassen	0,4700	0,0030	-0,0845	0,0038	0,0346		
lin regr	0,4715	0,0005	-0,0760	0,0007		0,0334	36,4%
lin regr per vak							
mixed model	0,5177	0,0003	-0,0788	0,0008	0,0256	0,0218	72,8%

Tabel 6. Resultaten van verschillende modellen, ZOAB oude dataset.

## 4 Uitbreiding van de dataset voor validatie

In bovenstaand hoofdstuk zijn de resultaten beschreven van de modelvalidatie op een beperkte dataset. Inmiddels wordt jaarlijks de stroefheid gemeten op het hele hoofdwegennet. Daarvan zijn meetgegevens beschikbaar over M13 t/m M19. Dit biedt de mogelijkheid de validatie aanzienlijk te verbreden.

Dit is in een aantal stappen uitgevoerd:

- Uitbreiding 1a: validatie op dezelfde oude hectometervakken, met aanvulling van latere RAW-metingen.
- Uitbreiding 1b: validatie op dezelfde oude hectometervakken, met aanvulling van latere RAW- en SWF-metingen.
- Uitbreiding 2a: validatie op de totale set van hectometervakken M13 t/m M19, alleen op RAW-metingen.
- Uitbreiding 2b: validatie op de totale set van hectometervakken M13 t/m M19, RAW- en SWF-metingen.

De resultaten van deze validaties staan in de volgende hoofdstukken. Eerst volgt nog een hoofdstuk waarin de uitgebreidere dataset wordt beschreven, en welke keuzes zijn gemaakt in het bepalen van de cumulatieve intensiteit en het verdisconteren van een eventueel seizoenseffect.

## 5 Nieuwe dataset

Voor verdere validatie van het stroefheid voorspellend model is een uitgebreide dataset beschikbaar gesteld. In dit hoofdstuk wordt deze dataset toegelicht en ingegaan op een aantal gemaakte keuzes in de aanpak.

### 5.1 Overzicht

Beschikbaar zijn meetgegevens over de generaties M13 t/m M19. Per jaar zijn meetgegevens beschikbaar over:

- De aanduiding van het hectometervak (weg, baan, strook, hmvan en hmtot).
- Of het de buitenste rijstrook betreft (true of false).
- De verhardingssoort en het type deklaag.
- Datum van aanleg en datum meting.
- De gehanteerde meetmethode (SWF of RAW Proef 72) en de meetsnelheid.
- De stroefheidswaarde.
- De etmaalintensiteit, totaal en onderverdeeld naar klassen L1 (personenauto's), L2 (lichte vrachtwagens) en L3 (zware vrachtwagens).
- De boogstraal.

### 5.2 Aantallen metingen stroefheid met onderscheid naar meetmethoden en meetsnelheid

De aantallen metingen voor de stroefheid staan in onderstaande Tabel 7. Onderscheid is gemaakt naar de meetgeneratie Mxx in de kolommen en de gehanteerde meetmethode in de rijen. Te zien is dat tot en met M17 gemeten is met RAW proef 72, veelal bij snelheid 70 km/u. Vanaf M18 is gemeten volgens de SWF-methode, veelal bij snelheid 80 km/u.

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

Tabel 7. Aantallen metingen, met onderscheid naar meetgeneratie en meetmethode.

Onderzocht is welke meetmethoden zijn gebruikt op hetzelfde hectometervak over de jaren heen. Op basis van de unieke combinatie van weg, baan, strook, hmvan en buitenste rijstrook (ja/nee) zijn in totaal 131.511 verschillende hectometervakken aanwezig in de database. Bij een volledige dataset zouden die allemaal 5 RAW metingen bevatten (over M13 t/m M17) en 2 SWF metingen (over M18 en M19).

De praktijk is anders, zoals blijkt uit onderstaande Tabel 8. Hieruit is bijvoorbeeld af te lezen dat:

- 26.616 (20%) van de 131.511 hectometervakken de volledige set van 5 RAW metingen en 2 SWF metingen hebben.
- 13.889 (11%) hectometervakken 1 of 2 SWF metingen hebben, maar geen RAW metingen.
- 46.781 (36%) hectometervakken 1 tot 5 RAW metingen hebben, maar geen SWF metingen.

Berekend is dat gemiddeld genomen een hectometervak 4 maal is gemeten: 2,8 maal met de RAW methode en 1,2 maal met de SWF methode.

		aantal SWF			
		0	1	2	totaal
aantal RAW	0		6.407	7.482	13.889
	1	32.387	761	2.631	35.779
	2	5.027	632	3.338	8.997
	3	4.110	772	5.409	10.291
	4	2.670	2.712	21.478	26.860
	5	2.587	6.492	26.616	35.695
totaal		46.781	17.776	66.954	131.511

Tabel 8. Verdeling van het aantal metingen RAW en SWF op hetzelfde hectometervak.

Ook de snelheid bij de metingen is niet altijd constant. Dit is weergegeven in Tabel 9. Te zien is dat:

- Bij 66.851 (51%) van de hectometervakken de snelheid bij zowel RAW als SWF constant is geweest. Dit kan eventueel ook worden veroorzaakt door het feit dat er maar 1 meetgeneratie voor betreffende meetmethode is uitgevoerd.
- Er ook hectometervakken zijn met een range in snelheden: bij RAW is de range hooguit 20 km/u (nl. 50 versus 70) en bij SWF komt in een zeer beperkt aantal gevallen zelfs een range van 40 km/u voor (nl. 40 vs. 80).
- De rij en kolom met "leeg" correspondeert met de hectometervakken waarop betreffende meetmethode niet is toegepast.

		snelheidsrange SWF				
		0	20	40	leeg	totaal
snelheidsrange RAW	0	66.851	2.311	61	46.500	115.723
	20	1.233	372	13	281	1.899
	leeg	13.484	394	11		13.889
	totaal	81.568	3.077	85	46.781	131.511

Tabel 9. Range in snelheden RAW en SWF op hetzelfde hectometervak.

Hieruit blijkt dat een eventuele trend in stroefheidswaarden per hectometervak over de 7 jaren is samengesteld uit wisselende combinaties van meetmethoden en snelheden. Bij de analyses wordt hiervoor gecorrigeerd. De hierbij gevolgde aanpak is beschreven in de volgende paragraaf.

### 5.3 Conversie van alle metingen naar SWF80

Uit Tabel 7 blijkt dat de metingen zijn uitgevoerd met proef 72 (RAW) of SWF bij verschillende snelheden. Voor het fitten van trends per hectometervak over meetjaren is gekozen voor een conversie van alle meetmethoden naar SWF80. Deze keuze is ingegeven door het feit dat in de toekomst de meeste metingen worden uitgevoerd met SWF80.

#### Omrekening tussen meetmethoden

Voor de conversie is uitgegaan van de resultaten uit het eerder door RWS uitgevoerde vergelijkingsonderzoek, zoals gerapporteerd in het TNO Rapport "Statistical Analyses skid resistance SWF versus RAW" van februari 2017. Dit betekent dat voor de conversie tussen meetmethoden de relatie  $SWF80 = a + b \times RAW70$  geldt, met waarden voor de intercept a en de helling b zoals vermeld in Tabel 8. Deze waarden zijn overgenomen uit tabellen 19 en 21 van het TNO rapport.

De tabel toont cursief de overall coëfficiënten voor de open en dichte deklagen. Tussen deklaagsoorten zijn er nog wel wat verschillen in hellingen en intercept.

deklaag	intercept a	helling b	aantal hm
<i>open totaal</i>	<i>-0,129</i>	<i>1,518</i>	<i>30.197</i>
DGD	-0,022	1,366	470
ZOAB	-0,207	1,683	10.788
ZOAB+	-0,099	1,456	13.258
ZOABTW	-0,183	1,605	5.681
<i>dicht totaal</i>	<i>0,094</i>	<i>1,114</i>	<i>1.778</i>
DAB	0,122	1,079	1.105
SMA 11	-0,461	2,135	673

Tabel 10. Coëfficiënten voor de omrekening van RAW70 naar SWF80.

#### Omrekening naar snelheid 80 km/u

Voor de snelheid gelden de volgende conversieregels:

- $RAW70 = f \times RAW50$
- $SWF80 = SWF60 - g$  en  $SWF80 = SWF40 - 2 \times g$

De waarden f en g zijn weergegeven in Tabel 9.

deklaag	f	g
open	42/45	0,03
dicht	39/44	0,05

Tabel 11. Coëfficiënten voor de snelheidsconversie.

#### Gecombineerde omrekening naar SWF80

Combinatie van bovengenoemde conversies voor meetmethode en snelheid levert de volgende omrekeningsformules:

- Vanuit RAW70:  $SWF80 = a + b \times RAW70$
- Vanuit RAW50:  $SWF80 = a + b \times f \times RAW50$
- Vanuit SWF60:  $SWF80 = SWF60 - g$
- Vanuit SWF40:  $SWF80 = SWF40 - 2 \times g$

## 5.4 Verkeersintensiteit

### 5.4.1 Beschikbare data

In het stroefheid voorspellend model wordt mede gebruik gemaakt van de intensiteit. De intensiteit per hectometervak is beschikbaar in de vorm van de etmaalintensiteit, met de volgende opsplitsing:

- L1 = personenauto's, tot 5,6 m lengte
- L2 = lichte vrachtwagens, 5,6 – 12,2 m lengte
- L3 = zware vrachtwagens, langer dan 12,2 m
- Totaal = som van de drie categorieën

Een overzicht van de aantallen metingen van de intensiteit is weergegeven in Tabel 12. In totaal geldt voor 14.454 (2,8%) van de records dat er wel een stroefheid bekend is (voor betreffend hectometervak in een meetgeneratie) maar geen intensiteit.

meetgeneratie	totaal	intensiteit bekend	intensiteit onbekend	% onbekend
M13	73.457	72.046	1.411	1,9%
M14	75.376	73.950	1.426	1,9%
M15	73.848	72.657	1.191	1,6%
M16	73.441	70.135	3.306	4,5%
M17	76.151	72.113	4.038	5,3%
M18	74.629	73.227	1.402	1,9%
M19	77.506	75.826	1.680	2,2%
totaal	524.408	509.954	14.454	2,8%

Tabel 12. Aantal metingen met en zonder bekende waarde voor de intensiteit.

Bij de analyse bleek dat er situaties zijn waarbij de intensiteit bij een hectometervak niet is ingevuld, maar bij naburige hectometervakken wel. Dit biedt dus mogelijkheden om die gegevens nader in te vullen. Hierbij is de volgende aanpak gehanteerd.

In een eerste stap is via interpolatie onderzocht of een hectometervak met een ontbrekende intensiteit ligt in een groter vak dat:

- minimaal 1 hectometervak ('buurhectometer') bevat met een bekende intensiteit in betreffend meetjaar
- homogeen is qua intensiteiten in een ander meetjaar

Als dit het geval is, is de intensiteit voor het betreffende hectometervak overgenomen van de 'buur-hectometer'. Hierbij is wel als restrictie gehanteerd dat de 'buur-hectometer' dan wel

dezelfde waarden moeten hebben voor weg, baan, strook, meetjaar en buitenste strook (true/false).

In een tweede stap is nog via extrapolatie onderzocht of hectometervakken met een ontbrekende intensiteit liggen naast een hectometervak met een bekende intensiteit. In dat geval is die intensiteit gekopieerd, met dezelfde restricties als in de eerste stap.

Het resultaat van deze stappen is een aanvulling van de intensiteit voor in totaal 8.509 records, 3.346 in stap 1 en 5.063 in stap 2. Daarmee is het aantal records met een missende intensiteit teruggebracht naar 5.945 (1,1%).

#### 5.4.2 Onderverdeling naar intensiteitsklassen?

Het feit dat intensiteiten beschikbaar zijn met onderverdeling naar 3 klassen biedt in principe mogelijkheden om modellen te fitten met 1 klasse of met combinaties van 2 klassen, afhankelijk van de rijstrook. In de praktijk bleek het effect hiervan gering.

De reden hiervan ligt in de vrij grote correlatie tussen de intensiteiten in de 3 klassen over de hectometervakken. Als een deelintensiteit te schrijven is als een vrijwel vaste factor  $f$  maal de totale intensiteit, dan levert dit in het model met de logaritme van die deelintensiteit dezelfde helling op. Dit komt door de rekenregel  $\log(f \cdot I) = \log(f) + \log(I)$ . Alleen de intercept verandert licht.

Daarom is besloten om alleen uit te gaan van de totale intensiteit.

#### 5.4.3 Modelleren van de cumulatieve intensiteit

Bij de modellering is de intensiteit niet over de gehele levensduur bekend. In plaats daarvan is de etmaalintensiteit bekend in enkele meetjaren. De intensiteit over de gehele levensduur moet dus worden geschat op basis van deze meetjaren. Hierbij is per hectometervak uitgegaan van het gemiddelde van de etmaalintensiteiten gedurende de meetperiode. Bij de berekening van dit gemiddelde zijn eventuele uitbijters, na toetsing met de Grubb's outlier test, niet meegenomen.

De cumulatieve intensiteit op een meetmoment kan hieruit worden berekend als het product van de leeftijd  $L_d$  in dagen en de gemiddelde etmaalintensiteit  $I_{\text{mean}}$  over de meetperiode.

Dan volgt dus voor de cumulatieve intensiteit, gemeten in  $10^6$  passages, dat  $I_t/365 = (L_d \times I_{\text{mean}})/365 = L_t \times I_{\text{mean}}$  met  $L_t$  de leeftijd in jaren, dus  $L_t = L_d/365$ .

Als dit wordt ingevuld in het eerder genoemde model, dan volgt:

$$STR_t = a_i + b \times {}^{10}\log(L_t \times I_{\text{mean}})$$

## 5.5 Seizoenseffect

Uit eerder door RWS uitgevoerd onderzoek is bekend dat stroefheidsmetingen worden beïnvloed door een sinusvormig seizoenseffect met een piek in het voorjaar en een dal in het najaar. Om hiervoor te corrigeren zijn de volgende relaties beschikbaar.

Voor RAW metingen:  $STR_c = STR - 0,022 \times \sin(b \times (Xdagnr + 60))$   
Voor SWF metingen:  $STR_c = STR - 0,0263 \times \sin(b \times (dagnr + 20,3))$

Hierin is  $b$  een constante  $360/365$  of  $2\pi/365$ , overeenkomend met een periode van 1 jaar voor de sinus (op basis van graden of radialen). Dagnr is het dagnummer 1...365 in het jaar voor de betreffende meetdatum.

Het effect van het seizoenseffect bij het valideren van het stroefheidvoorspellend model is waarschijnlijk beperkt. Een systematische fout in de trends wordt alleen gevonden als in een serie van metingen op een hectometervak toevallig het eerste deel in het voorjaar is uitgevoerd en het laatste deel in het najaar, of omgekeerd. Dit is niet erg waarschijnlijk. Wel geldt dat na het wegnemen van een variatiebron ten gevolge van seizoenseffecten nauwkeuriger toetsing op trends mogelijk is.

## 5.6 Selectie van data

In de hierna beschreven analyses zijn meetwaarden gebruikt die voldoen aan de volgende restricties:

- De leeftijd op het moment van meten was minimaal 2 jaar.
- De vakken liggen niet op een verbindingsweg. Hier gelden vaak andere boogstralen, meetsnelheden etc.
- Alleen metingen bij een hoge snelheid zijn meegenomen, dus RAW070 en SWF080.
- Onderscheid is gemaakt naar buitenste en niet-buitenste rijstrook.



## 6 Uitbreiding meetperiode voor DAB en ZOAB

Bij de combinatie van de oude meetgegevens uit meetjaren 2000 t/m 2007 en de nieuwere meetgegevens uit meetjaren 2012 t/m 2018 (M13 t/m M19) spelen de volgende issues een rol:

- Beperkte doorsnede: er is een beperkt aantal hectometervakken waarvoor meetgegevens in beide datasets beschikbaar zijn. Dit komt deels door de volledigheid van registraties, maar waarschijnlijk ook – en dan vooral bij ZOAB – vanwege overlaging van een hectometervak tussen beide meetperioden.
- De intensiteiten op dezelfde hectometervakken zijn verschillend over beide datasets. In de oude dataset zijn de intensiteiten gemiddeld ongeveer een factor 2 maal zo groot als in de nieuwe dataset. Vermoedelijk is er sprake van een telling over beide rijrichtingen. In overleg is besloten de nieuwe data als meest betrouwbaar te beschouwen en die ook van toepassing te verklaren op de oude metingen.

Voor DAB en ZOAB zijn mixed linear models gefit waarbij de volgende uitbreidingen in de data zijn gebruikt:

- Uitgangspunt zijn de data uit het oude onderzoek. Om een correcte vergelijking te maken op het niveau van de SWF080 meetmethode zijn de conversieregels toegepast op de eerder verkregen resultaten voor het mixed model (onderste regels in voorgaande Tabel 5 en Tabel 6).
- In een 1<sup>e</sup> uitbreidingsstap is de doorsnede bepaald van alle hectometervakken die in de oude én in de nieuwe dataset zitten. Modellen zijn gefit op alleen RAW070 metingen (variant 1a) en op de combinatie van RAW070 en SWF080 (variant 1b).
- In een 2<sup>e</sup> uitbreidingsstap zijn alle meetgegevens op de buitenste rijstrook voor DAB en ZOAB gebruikt. Ook hier zijn modellen gefit op alleen RAW070 metingen (variant 2a) en op de combinatie van RAW070 en SWF080 (variant 2b).

Analyses zijn uitgevoerd zonder en met seizoenscorrectie. Het effect van seizoenscorrectie bleek gering. Voor het overzicht zijn in onderstaande Tabel 13 alleen de resultaten zonder seizoenscorrectie getoond. In de hierna volgende figuren is het effect van seizoenscorrectie te zien.

dataset DAB	n	nhm	nperhm	nuitb	mu_a	se_a	b	se_b	b signif	s_a	s_rest	%verkl
oud	7.084	4.986	1,4	11	0,6607	0,0006	-0,0293	0,0018	ja	0,0404	0,0231	77%
1a oud+RAW	5.286	1.267	4,2	57	0,6550	0,0010	-0,0301	0,0018	ja	0,0306	0,0276	61%
1b oud+RAW+SWF	5.774	1.268	4,6	66	0,6513	0,0009	-0,0438	0,0020	ja	0,0291	0,0333	52%
2a nieuw RAW	18.567	6.906	2,7	182	0,6311	0,0007	<b>0,0158</b>	0,0013	ja	0,0522	0,0244	81%
2b nieuw RAW+SWF	24.136	7.751	3,1	252	0,6253	0,0007	-0,0145	0,0013	ja	0,0536	0,0320	73%
dataset ZOAB	n	nhm	nperhm	nuitb	mu_a	se_a	b	se_b	b signif	s_a	s_rest	%verkl
oud	19.390	13.857	1,4	22	0,6641	0,0005	-0,1335	0,0012	ja	0,0427	0,0362	73%
1a oud+RAW	5.895	1.802	3,3	76	0,6481	0,0010	-0,1108	0,0021	ja	0,0354	0,0456	53%
1b oud+RAW+SWF	6.102	1.802	3,4	80	0,6462	0,0010	-0,1129	0,0021	ja	0,0348	0,0457	53%
2a nieuw RAW	86.847	27.486	3,2	445	0,6300	0,0004	-0,1137	0,0011	ja	0,0534	0,0466	59%
2b nieuw RAW+SWF	116.353	31.772	3,7	811	0,6227	0,0003	-0,1247	0,0008	ja	0,0527	0,0442	61%

Tabel 13. Resultaten modelfit op DAB en ZOAB, zonder seizoenscorrectie.

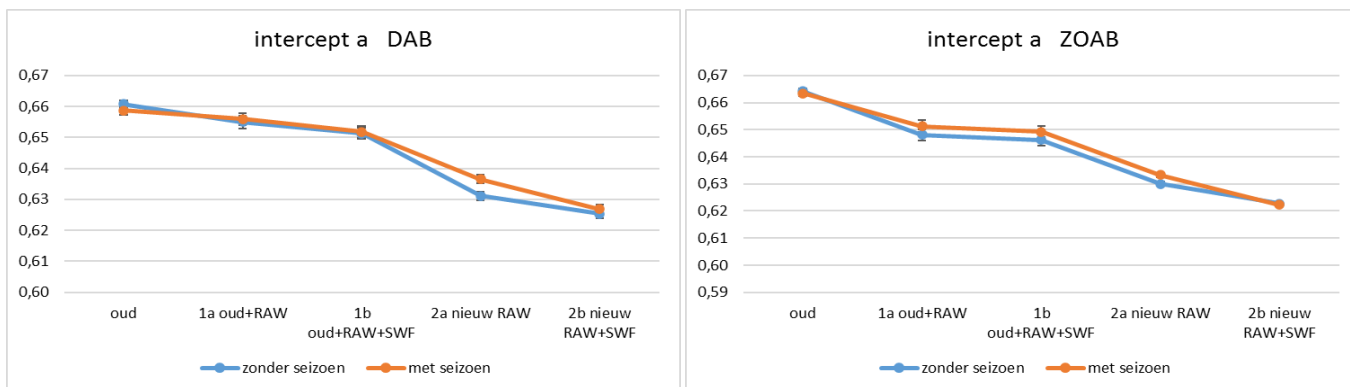
De tabel bevat de volgende informatie:

- Het aantal metingen (n) en het aantal verschillende hectometervakken (nhm). Het quotiënt levert nperhm, het gemiddeld aantal meetgeneraties per vak. Bij bijvoorbeeld het oude onderzoek is dit 1,4, wat aanduidt dat er meestal 1 en soms 2 meetgeneraties zijn.
- Iteratief zijn 'nuitb' uitbijters (metingen die verder dan 3 maal de standaardfout van de voorspelling afliggen) verwijderd. Dit levert meer betrouwbare schattingen, maar uit de iteraties bleek dat de waarden voor de modelparameters daarmee niet veel veranderden.
- De modelparameter mu\_a geeft het gemiddelde niveau weer en se\_a is een maat voor de betrouwbaarheid waarmee die mu\_a bepaald is.
- De modelparameter b is het meest interessant. Dit is de helling voor de trend van de stroefheid met de log van de cumulatieve intensiteit. De betrouwbaarheid van b wordt weergegeven door se\_b. Als b meer dan 2xse\_b van nul verschilt is deze significant.
- Ten slotte zijn er nog twee spreidingsmaten in het model: s\_a is standaardafwijking voor de spreiding in vakniveaus tussen de hectometervakken; s\_rest is de standaardafwijking van individuele meetpunten, een combinatie van spreiding van punten rond het model en de toevallige meetfout. %verkl geeft aan welk percentage van de spreiding in stroefheidsmetingen wordt verklaard door het gefitte model.

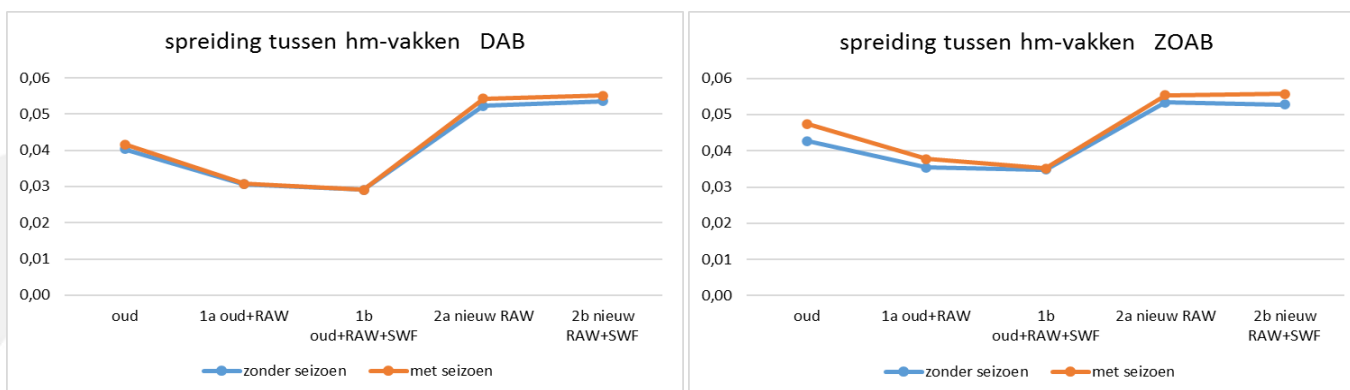
Onderstaande figuren geven een grafische weergave van het verloop van de parameters over de verschillende datasets.

Voor het niveau volgt uit Figuur 3 en Figuur 4:

- Zowel voor DAB als ZOAB wordt het intercept a een paar punten lager bij uitbreiding van de dataset. Het effect van de nieuwe set meetwaarden (M13-19 t.o.v. meetjaren 2000-2007) is daarbij groter dan het effect van het wel of niet meenemen van SWF metingen.
- De spreiding tussen hectometervakken is groter in de nieuwe uitgebreidere meetset.
- Het effect van seizoenscorrectie is verwaarloosbaar.



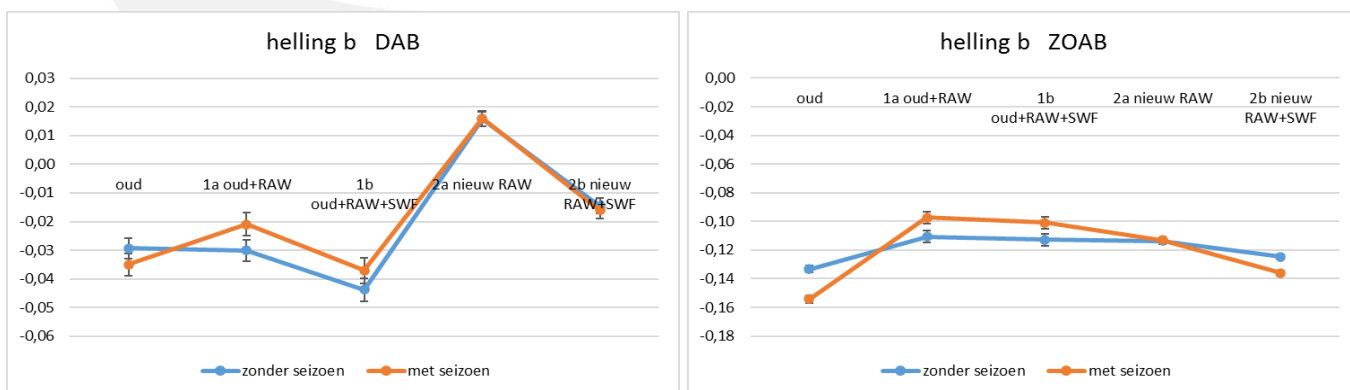
Figuur 3.



Figuur 4.

Voor de trend in stroefheid b is het beeld grilliger, zoals blijkt uit Figuur 5.

- Voor DAB worden bij de uitbreiding 1a en 1b (zelfde hm's langere periode) nog wel vergelijkbare hellingen gevonden; maar opvallend is de positieve helling bij 2a (hectometervakken in M13 t/m M19, buitenste rijstrook) met alleen RAW070 metingen. Als ook nog de nieuwe SWF080 metingen worden meegenomen (variant 2b) is de helling wel weer negatief, maar nog steeds licht dalend.
- Voor ZOAB is er sprake van een meer stabiele negatieve helling rond -0,12.
- Voor de hellingen is er wel enig effect van een seizoenscorrectie, maar die verklaart niet het vreemde gedrag van de helling bij DAB.



Figuur 5.

## 7 Uitbreiding naar meerdere deklagen

Vervolgens is het model gefit voor alle deklagen in de M13 t/m M19. Onderscheid is gemaakt naar hectometervakken op de buitenste en de niet-buitenste rijstrook. Bovendien zijn modellen gefit op meetdata zonder en met seizoenscorrectie.

Een overzicht van de modelparameters is hierna gegeven in Tabel 15 t/m Tabel 18.

Ingezoomd is op de 6 meest voorkomende deklagen, waarvan de resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel en figuren. Omdat seizoenscorrectie een beperkt effect had, zijn hier alleen resultaten zonder seizoenscorrectie weergegeven.

Wel is onderscheid gemaakt tussen modellen waarin alleen RAW metingen zijn betrokken en modellen waarin ook SWF metingen zijn meegenomen.

De resultaten voor DAB en ZOAB zijn hierboven al benoemd, nieuw zijn de resultaten voor DGD, SMA, ZOAB+ en ZOABTW.

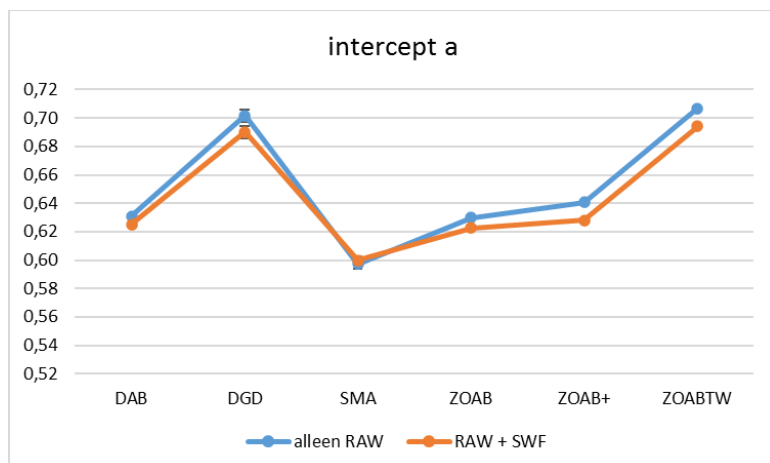
De belangrijkste conclusies zijn:

- Er is i.h.a. geen groot effect van het wel of niet meenemen van de SWF metingen op de modelparameters.
- Uitzondering op deze regel is DAB. Zoals boven al aangegeven wordt hier een positieve helling gevonden! Bij toevoegen van SWF metingen wordt de helling licht negatief.
- Bij DGD wordt de helling juist minder negatief bij het toevoegen van SWF metingen.

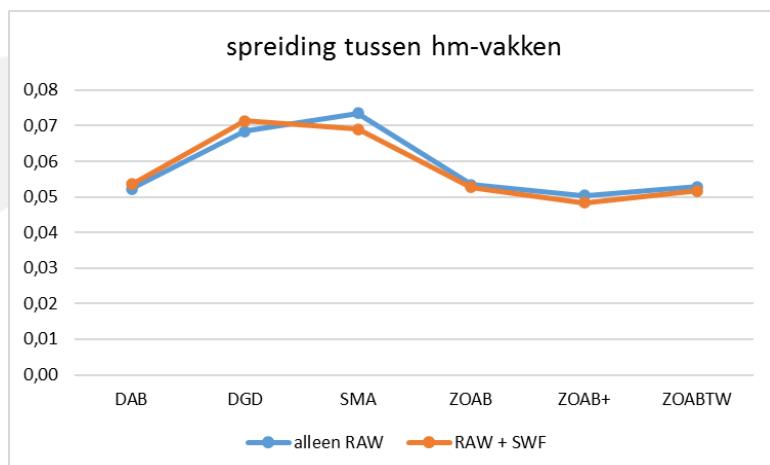
De verschillen tussen de deklagen in intercept a (niveau), spreiding s\_a tussen hectometervakken en helling b is goed af te lezen uit onderstaande figuren. Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat ZOAB en ZOAB+ vrijwel dezelfde parameters hebben. Ze kunnen dus met hetzelfde model beschreven worden. Andere deklagen hebben soms wel dezelfde helling gemeen, maar kennen een verschillend niveau a (bijv. DGD en SMA).

2a nieuw RAW	n	nhm	nperhm	nuitb	mu_a	se_a	b	se_b	b signif	s_a	s_rest	%verkl
DAB	18.567	6.906	2,7	182	0,6311	0,0007	<b>0,0158</b>	0,0013	ja	0,0522	0,0244	81%
DGD	3.094	1.130	2,7	3	0,7017	0,0022	-0,0401	0,0050	ja	0,0684	0,0399	74%
SMA	9.526	2.936	3,2	42	0,5972	0,0015	-0,0469	0,0034	ja	0,0735	0,0495	69%
ZOAB	86.847	27.486	3,2	445	0,6300	0,0004	-0,1137	0,0011	ja	0,0534	0,0466	59%
ZOAB+	47.413	14.671	3,2	128	0,6408	0,0005	-0,1516	0,0011	ja	0,0504	0,0348	73%
ZOABTW	24.305	8.358	2,9	49	0,7069	0,0007	-0,0896	0,0020	ja	0,0528	0,0416	60%
2b nieuw RAW+SWF	n	nhm	nperhm	nuitb	mu_a	se_a	b	se_b	b signif	s_a	s_rest	%verkl
DAB	24.136	7.751	3,1	252	0,6253	0,0007	-0,0145	0,0013	ja	0,0536	0,0320	73%
DGD	4.300	1.348	3,2	9	0,6901	0,0021	-0,0259	0,0037	ja	0,0714	0,0406	73%
SMA	12.068	3.167	3,8	65	0,5999	0,0013	-0,0414	0,0028	ja	0,0690	0,0491	65%
ZOAB	116.353	31.772	3,7	811	0,6227	0,0003	-0,1247	0,0008	ja	0,0527	0,0442	61%
ZOAB+	84.167	22.507	3,7	374	0,6280	0,0004	-0,1455	0,0007	ja	0,0484	0,0343	74%
ZOABTW	38.027	9.783	3,9	162	0,6940	0,0006	-0,0944	0,0012	ja	0,0517	0,0376	62%

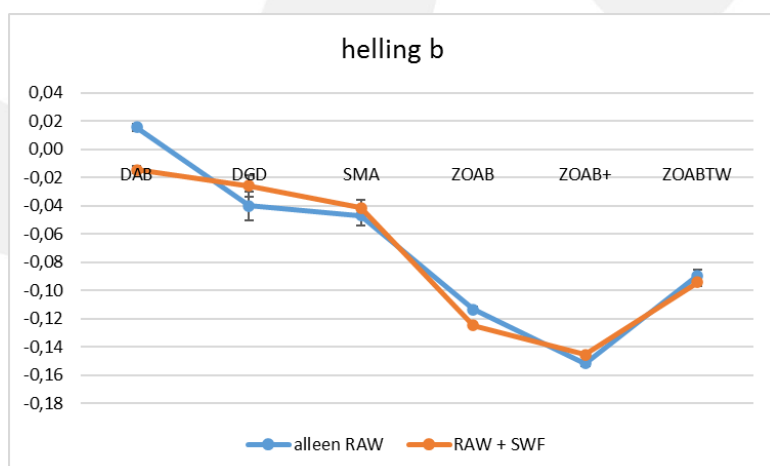
Tabel 14. Resultaten op M13 t/m M19, buitenste rijstrook, zonder seizoenscorrectie.



Figuur 6.



Figuur 7.



Figuur 8.

Onderstaande tabellen tonen de modelparameters per deklaag op de buitenste of niet-buitenste rijstrook, en zonder / met seizoenscorrectie. I.h.a. komen er realistische modelparameters uit de analyse.

In een aantal gevallen wordt een onrealistische positieve helling b (rood gemarkeerd) gevonden, die soms ook nog statistisch significant is. Op de niet-buitenste rijstrook komt dit vaker voor dan op de buitenste rijstrook.

deklaag	n	nhm	nperhm	nuitb	mu_a	se_a	b	se_b	b signif	s_a	s_rest	%verkl
CEBE	16	4	4,0	0	0,5953	0,0192	<b>0,0363</b>	0,0263	nee	0,0281	0,0482	33%
CEG	23	7	3,3	0	0,5861	0,0333	-0,1148	0,0710	nee	0,0791	0,0509	58%
CEG-E	66	24	2,8	0	0,6839	0,0184	-0,3589	0,0379	ja	0,0841	0,0330	94%
CEO	384	89	4,3	2	0,5727	0,0075	<b>0,1452</b>	0,0316	ja	0,0695	0,0264	86%
COMBID	154	35	4,4	1	0,5843	0,0059	-0,0774	0,0275	ja	0,0195	0,0562	12%
DAB	24.136	7.751	3,1	252	0,6253	0,0007	-0,0145	0,0013	ja	0,0536	0,0320	73%
DABGB	30	9	3,3	0	0,5834	0,0134	<b>0,0622</b>	0,0443	nee	0,0365	0,0284	62%
DAD	2.692	726	3,7	15	0,7014	0,0029	-0,0667	0,0054	ja	0,0707	0,0546	64%
DGD	4.300	1.348	3,2	9	0,6901	0,0021	-0,0259	0,0037	ja	0,0714	0,0406	73%
DIV-BI	43	19	2,3	0	0,7618	0,0227	-0,3469	0,0844	ja	0,0924	0,0402	92%
EAB	3.785	1.508	2,5	34	0,6441	0,0018	<b>0,0182</b>	0,0035	ja	0,0655	0,0327	81%
EOB	51	21	2,4	0	0,7635	0,0242	<b>0,0667</b>	0,0485	nee	0,1048	0,0483	79%
HSB-E	13	11	1,2	0	0,7125	0,0417	-0,1857	0,0339	ja	0,1382	0,0047	100%
NOVACP	192	63	3,0	1	0,6169	0,0042	-0,2152	0,0272	ja	0,0158	0,0480	29%
OAB	880	413	2,1	11	0,6329	0,0021	-0,0571	0,0072	ja	0,0359	0,0304	64%
OAB-R	60	37	1,6	0	0,6062	0,0049	-0,0421	0,0163	ja	0,0216	0,0241	53%
SMA	12.068	3.167	3,8	65	0,5999	0,0013	-0,0414	0,0028	ja	0,0690	0,0491	65%
STAB	292	136	2,1	1	0,7000	0,0024	<b>0,0050</b>	0,0142	nee	0,0167	0,0323	21%
ZOAB	116.353	31.772	3,7	811	0,6227	0,0003	-0,1247	0,0008	ja	0,0527	0,0442	61%
ZOAB+	84.167	22.507	3,7	374	0,6280	0,0004	-0,1455	0,0007	ja	0,0484	0,0343	74%
ZOABDI	2.135	734	2,9	8	0,6766	0,0024	-0,1023	0,0067	ja	0,0547	0,0490	56%
ZOABTW	38.027	9.783	3,9	162	0,6940	0,0006	-0,0944	0,0012	ja	0,0517	0,0376	62%
ZOEAB	3.854	2.140	1,8	4	0,6349	0,0017	-0,0625	0,0052	ja	0,0607	0,0633	47%

Tabel 15. Resultaten M13 t/m M19 per deklaag, RAW70 en SWF80 buitenste rijstrook, geen seizoenscorrectie.

deklaag	n	nhm	nperhm	nuitb	mu_a	se_a	b	se_b	b signif	s_a	s_rest	%verkl
CEBE	16	4	4,0	0	0,6125	0,0172	<b>0,0399</b>	0,0242	nee	0,0217	0,0506	29%
CEG	23	7	3,3	0	0,5805	0,0335	-0,1266	0,0702	nee	0,0803	0,0494	62%
CEG-E	66	24	2,8	0	0,6903	0,0193	-0,3166	0,0389	ja	0,0885	0,0338	94%
CEO	384	89	4,3	2	0,5695	0,0082	<b>0,1462</b>	0,0344	ja	0,0757	0,0289	86%
COMBID	154	35	4,4	1	0,5883	0,0061	-0,0608	0,0284	ja	0,0200	0,0584	11%
DAB	24.228	7.751	3,1	160	0,6269	0,0007	-0,0161	0,0014	ja	0,0551	0,0375	67%
DABGB	30	9	3,3	0	0,5802	0,0139	-0,0708	0,0480	nee	0,0375	0,0307	58%
DAD	2.679	726	3,7	28	0,7062	0,0031	-0,0617	0,0057	ja	0,0779	0,0516	70%
DGD	4.300	1.348	3,2	9	0,6927	0,0023	-0,0547	0,0037	ja	0,0788	0,0390	77%
DIV-BI	43	19	2,3	0	0,7729	0,0235	-0,3739	0,0678	ja	0,0987	0,0304	96%
EAB	3.790	1.508	2,5	29	0,6496	0,0018	<b>0,0078</b>	0,0037	ja	0,0662	0,0357	78%
EOB	51	21	2,4	0	0,7688	0,0273	<b>0,0528</b>	0,0522	nee	0,1196	0,0471	83%
HSB-E	13	11	1,2	0	0,6987	0,0410	-0,1042	0,0648	nee	0,1351	0,0090	100%
NOVACP	192	63	3,0	1	0,6230	0,0039	-0,2051	0,0272	ja	0,0107	0,0496	25%
OAB	886	413	2,1	5	0,6299	0,0023	-0,0687	0,0078	ja	0,0375	0,0365	58%
OAB-R	60	37	1,6	0	0,5931	0,0049	-0,0318	0,0164	nee	0,0190	0,0279	38%
SMA	12.078	3.167	3,8	55	0,6003	0,0014	-0,0545	0,0029	ja	0,0719	0,0510	66%
STAB	292	136	2,1	1	0,6761	0,0023	-0,0173	0,0144	nee	0,0141	0,0336	14%
ZOAB	116.262	31.774	3,7	902	0,6223	0,0003	-0,1360	0,0008	ja	0,0557	0,0424	64%
ZOAB+	84.102	22.507	3,7	439	0,6275	0,0004	-0,1622	0,0006	ja	0,0506	0,0313	77%
ZOABDI	2.135	734	2,9	8	0,6747	0,0024	-0,1412	0,0068	ja	0,0573	0,0493	58%
ZOABTW	38.035	9.783	3,9	154	0,6970	0,0006	-0,1000	0,0011	ja	0,0525	0,0355	65%
ZOEAB	3.855	2.140	1,8	3	0,6349	0,0018	-0,0542	0,0054	ja	0,0620	0,0653	46%

Tabel 16. Resultaten M13 t/m M19 per deklaag, RAW70 en SWF80 buitenste rijstrook, met seizoenscorrectie.

deklaag	n	nhm	nperhm	nuitb	mu_a	se_a	b	se_b	b signif	s_a	s_rest	%verkl
CEG-E	30	10	3,0	0	0,8683	0,0252	-0,5818	0,0469	ja	0,0787	0,0170	97%
CEO	175	64	2,7	0	0,5631	0,0068	-0,3297	0,0378	ja	0,0499	0,0292	88%
COMBID	85	36	2,4	1	0,5876	0,0047	<b>0,0653</b>	0,0579	nee	0,0000	0,0807	-21%
DAB	12.565	5.574	2,3	168	0,6816	0,0007	<b>0,0398</b>	0,0016	ja	0,0493	0,0286	76%
DAD	169	153	1,1	0	0,6845	0,0068	-0,2086	0,0231	ja	0,0655	0,0537	72%
DGD	2.300	1.065	2,2	8	0,7000	0,0022	-0,0237	0,0064	ja	0,0526	0,0573	45%
EAB	358	260	1,4	0	0,6297	0,0047	<b>0,0308</b>	0,0094	ja	0,0604	0,0464	64%
EOB	10	8	1,3	0	0,7987	0,0436	-0,0494	0,0748	nee	0,1169	0,0396	88%
OAB	170	118	1,4	0	0,6796	0,0044	<b>0,0614</b>	0,0281	ja	0,0309	0,0413	36%
SMA	666	528	1,3	6	0,6038	0,0044	<b>0,0819</b>	0,0113	ja	0,0859	0,0556	76%
STAB	138	132	1,0	0	0,6859	0,0017	<b>0,0628</b>	0,0140	ja	0,0110	0,0163	40%
ZOAB	50.341	22.205	2,3	212	0,6208	0,0005	-0,1088	0,0016	ja	0,0628	0,0454	68%
ZOAB+	10.914	7.477	1,5	44	0,6253	0,0007	-0,1062	0,0020	ja	0,0576	0,0307	82%
ZOABDI	403	189	2,1	3	0,6980	0,0049	-0,0787	0,0139	ja	0,0628	0,0289	84%
ZOABTW	8.339	4.658	1,8	37	0,7028	0,0009	-0,0547	0,0029	ja	0,0576	0,0329	75%
ZOEAB	991	800	1,2	1	0,6334	0,0030	-0,0382	0,0101	ja	0,0620	0,0616	49%

Tabel 17. Resultaten M13 t/m M19 per deklaag, RAW70 en SWF80 niet-buitenste rijstrook, geen seizoenscorrectie.

deklaag	n	nhm	nperhm	nuitb	mu_a	se_a	b	se_b	b signif	s_a	s_rest	%verkl
CEG-E	30	10	3,0	0	0,8850	0,0264	-0,5560	0,0534	ja	0,0822	0,0194	96%
CEO	175	64	2,7	0	0,5540	0,0066	-0,3427	0,0367	ja	0,0484	0,0286	88%
COMBID	85	36	2,4	1	0,5926	0,0047	<b>0,1260</b>	0,0596	ja	0,0000	0,0831	-17%
DAB	12.588	5.574	2,3	145	0,6841	0,0007	<b>0,0288</b>	0,0015	ja	0,0471	0,0293	72%
DAD	169	153	1,1	0	0,6949	0,0068	-0,2194	0,0232	ja	0,0669	0,0530	74%
DGD	2.300	1.065	2,2	8	0,7027	0,0020	-0,0472	0,0062	ja	0,0455	0,0596	39%
EAB	358	260	1,4	0	0,6381	0,0045	<b>0,0251</b>	0,0089	ja	0,0594	0,0415	67%
EOB	10	8	1,3	0	0,8107	0,0486	-0,0706	0,0813	nee	0,1323	0,0373	91%
OAB	170	118	1,4	0	0,6634	0,0047	<b>0,0496</b>	0,0293	nee	0,0349	0,0407	42%
SMA	666	528	1,3	6	0,6156	0,0042	<b>0,0680</b>	0,0109	ja	0,0810	0,0570	72%
STAB	138	132	1,0	0	0,6850	0,0018	<b>0,0442</b>	0,0147	ja	0,0138	0,0154	48%
ZOAB	50.312	22.203	2,3	241	0,6202	0,0005	-0,1155	0,0015	ja	0,0604	0,0466	66%
ZOAB+	10.908	7.477	1,5	50	0,6338	0,0007	-0,1142	0,0019	ja	0,0573	0,0295	84%
ZOABDI	403	189	2,1	3	0,6805	0,0043	-0,1163	0,0128	ja	0,0541	0,0277	84%
ZOABTW	8.341	4.658	1,8	35	0,7079	0,0009	-0,0805	0,0029	ja	0,0580	0,0325	77%
ZOEAB	990	799	1,2	2	0,6373	0,0029	-0,0374	0,0098	ja	0,0545	0,0649	41%

Tabel 18. Resultaten M13 t/m M19 per deklaag, RAW70 en SWF80 niet-buitenste rijstrook, met seizoenscorrectie.

## 8 Modelling op alternatieve stroefheidswaarden: SI en AS-scores?

In bovenstaande zijn de analyses uitgevoerd op de gemeten stroefheidswaarden AS over een aantal meetgeneraties. Eventuele verschillen tussen meetmethoden (SWF versus RAW) zijn verdisconteerd met behulp van bekende conversierelaties.

Als alternatief is het in principe ook mogelijk om de analyses uit te voeren op de AS-scores en/of op de stroefheidsindex SI. In de volgende paragrafen wordt uitgelegd waarom deze alternatieven moeten worden afgeraden.

### 8.1 AS-scores

Bij de berekening van de AS-scores wordt van de gemeten stroefheidswaarde de normwaarde afgetrokken. De AS-score geeft dus aan hoeveel de stroefheid boven of onder de normwaarde ligt. Daarbij zijn de normwaarden afhankelijk van het deklaagtype en van de meetmethode (SWF of RAW) en meetsnelheid.

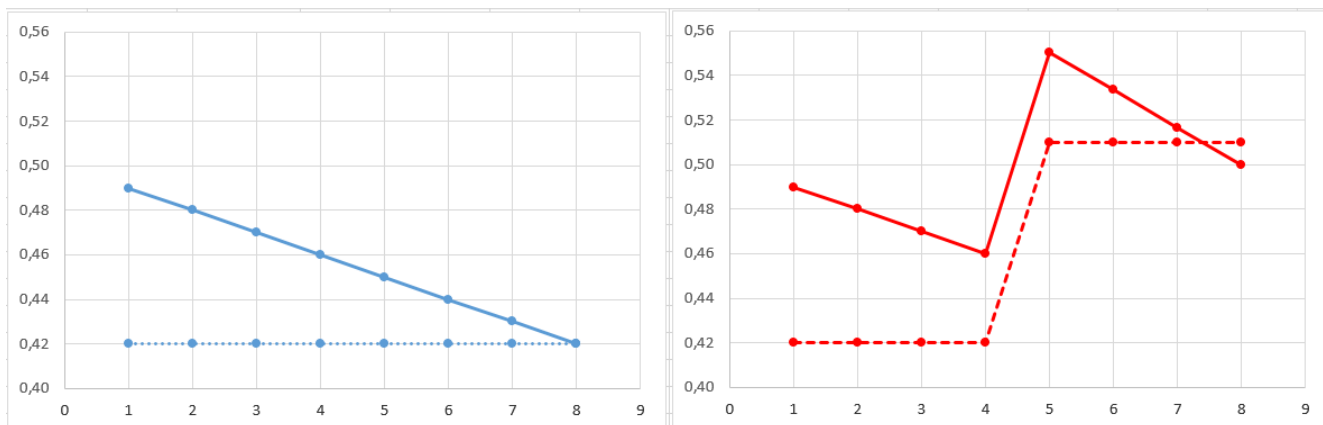
De AS-score is dus een geschikte manier om aan te geven hoeveel de stroefheid verschilt ten opzichte van de normwaarde, onafhankelijk van de meetmethode. Het is echter niet correct om de ontwikkeling van de stroefheid in de tijd te baseren op de AS-score.

Dit wordt geïllustreerd op basis van het volgende gefingeerde voorbeeld. Als uitgangspunt is genomen een ZOAB hectometervak met een constant afnemende stroefheid van 0,01 per jaar, gemeten volgens de RAW methode bij 70 km/u. Dit is getekend in het linker deel van onderstaande figuur. De norm-waarde is 0,42 (horizontale onderbroken lijn) en de AS-score is dus een dalende lijn van 0,07 naar 0,00 zoals getekend als de blauwe lijn in Figuur 10. Stel nu dat op dit vak na 4 meetgeneraties wordt overgestapt op de SWF-methode. Dan zal vanaf de 5<sup>e</sup> meting het stroefheidsverloop anders zijn, namelijk volgens de voor ZOAB geldende conversieformule  $SWF80 = -0,207 + 1,683 \times RAW70$ . Ook de normwaarde wordt geconverteerd van 0,42 naar 0,51. Dit scenario is getekend in het rechter deel van onderstaande figuur. Bij dit scenario wordt het verloop van de AS-score zoals weergegeven met de rode lijn in Figuur 10.

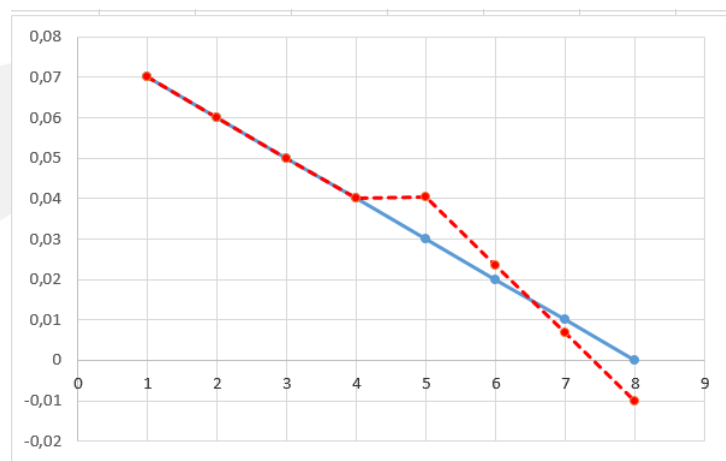
Te zien is dat overstappen van meetmethode leidt tot een knik in het verloop van de AS-score. Dit betekent dat het dus niet correct is om het verloop van de stroefheid te modelleren op basis van de AS-score!

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





Figuur 9. Ontwikkeling van de stroefheid volgens 2 scenario's: links 8 meetgeneraties RAW, rechts 4 generaties RAW70 gevolgd door 4 generaties SWF80.



Figuur 10. Ontwikkeling van de AS-score volgens beide scenario's.

## 8.2 Stroefheidsindex SI

Om het effect van de meetonzekerheid in de AS-score te verkleinen is het principe van de stroefheidsindex bedacht. De stroefheidsindex SI is een gewogen gemiddelde van bijvoorbeeld de laatste 3 AS-scores. Daarbij wordt rekening gehouden met een afname van de stroefheid van 0,01 per jaar.

Stel dat de AS-score voor een hectometervak in een bepaald meetjaar  $AS_0$  is en in de jaren daarvoor  $AS_1$  en  $AS_2$ . Dan volgt, onder aanname dat de metingen precies 12 maanden na elkaar zijn:

$$SI = ( AS_0 + 0,8 \times (AS_1 - 0,01) + 0,5 \times (AS_2 - 0,02) ) / 2,3$$

Het voordeel van deze berekening is dat de meetonzekerheid wordt uitgemiddeld over 3 jaren en dat is gunstig voor een betrouwbaar oordeel over de stroefheid op een bepaald moment.

Echter, voor het bepalen van trends in stroefheid is het gebruik van de SI niet aan te bevelen. Redenen hiervoor zijn:

- Het is niet nodig, omdat bij een regressie-aanpak de meetonzekerheden vanzelf worden uitgemiddeld.
- Opeenvolgende SI-waarden op een hectometervak vertonen een grote correlatie, en dat is strijdig met het principe van regressieanalyse.
- De 0,01 stroefheidsafname per jaar in de berekening is niet in overeenstemming met het model waarin de stroefheid wordt gerelateerd aan de cumulatieve verkeersintensiteit en dus de afname per jaar verschillend kan zijn per wegvak.