



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Stroefheid voorspellend model

Paul Kuijper (RWS-GPO)

Jan Telman (CQM)

Wim Courage (TNO)

CROW Infradag

10 november 2022



- Aanleiding stroefheidvoorspelling
- Validatie / update model 2014
- Bayesian model



- 2004: Dodelijk ongeval A12 nabij Zoetermeer
- 2005: Oorzaak Nederlandse steenslag
 - ⇒ Waar ligt dat nog meer
 - ⇒ Polijstgetal van 53 naar 58, 100% gebroken steenslag
 - ⇒ Harde norm stroefheid
- 2006: Opdracht
 - ⇒ Stroefheid beter voorspellen
- 2006 – 2014
 - Eerste stroefheidvoorspellende model gepubliceerd
 - Invoering Stroefheidsindex (SI) en beheerdersoordeel
- 2014 - 2020: Validatie stroefheidvoorspellend model
- 2022: Gevalideerd stroefheidvoorspellend model gepubliceerd.



In 2014 werd een model ontwikkeld van de vorm: $STR_t = a + b \times {}^{10}\log(I_t/365)$

Dit model voorspelt de stroefheid bij een leeftijd van t jaar in relatie tot I_t , het cumulatieve aantal voertuigpassages in miljoen.

Kenmerken voor dit 'oude' model:

- Stroefheid gemeten bij 70 km/u conform RAW proef 72 (in periode 2000 t/m 2007)
- Beperkte dataset: HWN in Zuid-Holland en 2-jaarlijkse monitoring
- Per hm-vak slechts 1 of 2 meetwaarden → niet mogelijk om een curve per hm-vak te schatten

- Het verloop van de stroefheid is bepaald via de volgende stappen:

sorteer de data in oplopende ${}^{10}\log(I_t/365)$

verdeel ze in 20 evengrote groepen

fit een verband door de 20 middelpunten

- Resultaat: coëfficiënten

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



In 2020 is het model $STR_t = a + b \times {}^{10}\log(I_t/365)$ opnieuw onderzocht

Kenmerken voor dit nieuwe model:

- Uitgebreide dataset: complete HWN over meetgeneraties M13 t/m M19
- Combinatie van RAW70 metingen (M13 t/m M17) en SWF80 metingen (M18 & M19) → alle stroefheidsmetingen zijn omgerekend naar SWF80 (via de in 2016 bepaalde conversie)
- Model is nu gefit op basis van een 'linear mixed model' : $STR_t = a_i + b \times {}^{10}\log(I_t/365)$.
Praktisch betekent dit model dat:
 - De data wordt gezien als een puntenwolk van $Y = STR$ tegen $X = {}^{10}\log(I_t/365)$
 - Hierbij rekening wordt gehouden met het feit dat de punten van hetzelfde hm-vak bij elkaar horen
 - Er curves zijn gefit met een niveau a_i per hm-vak en een gemeenschappelijke helling b

Statistisch-theoretisch: de niveau's per vak zijn gemodelleerd als een normale verdeling met gemiddelde a_{50} en standaardafwijking s_a



De parameters per verhardingssoort zijn bepaald

Deklaag	a_{50}	se_{a50}	b	se_b	s_a	s_{rest}	% verkl
DAB	0,6253	0,0007	-0,0145	0,0013	0,0536	0,0320	73%
DGD	0,6901	0,0021	-0,0259	0,0037	0,0714	0,0406	73%
SMA	0,5999	0,0013	-0,0414	0,0028	0,0690	0,0491	65%
ZOAB	0,6227	0,0003	-0,1247	0,0008	0,0527	0,0442	61%
DZOAB	0,6280	0,0004	-0,1455	0,0007	0,0484	0,0343	74%
ZOABTW	0,6940	0,0006	-0,0944	0,0012	0,0517	0,0376	62%

Vergelijking nieuwe model / data t oude model
(na conversie naar SWF80):

- DAB: zelfde niveau a; lagere helling b
- ZOAB: hoger niveau a; zelfde helling b

Voor beide deklagen geldt: bij hogere cumulatieve intensiteiten geeft het nieuwe model wat hogere stroefheidswaarden (+0,02)

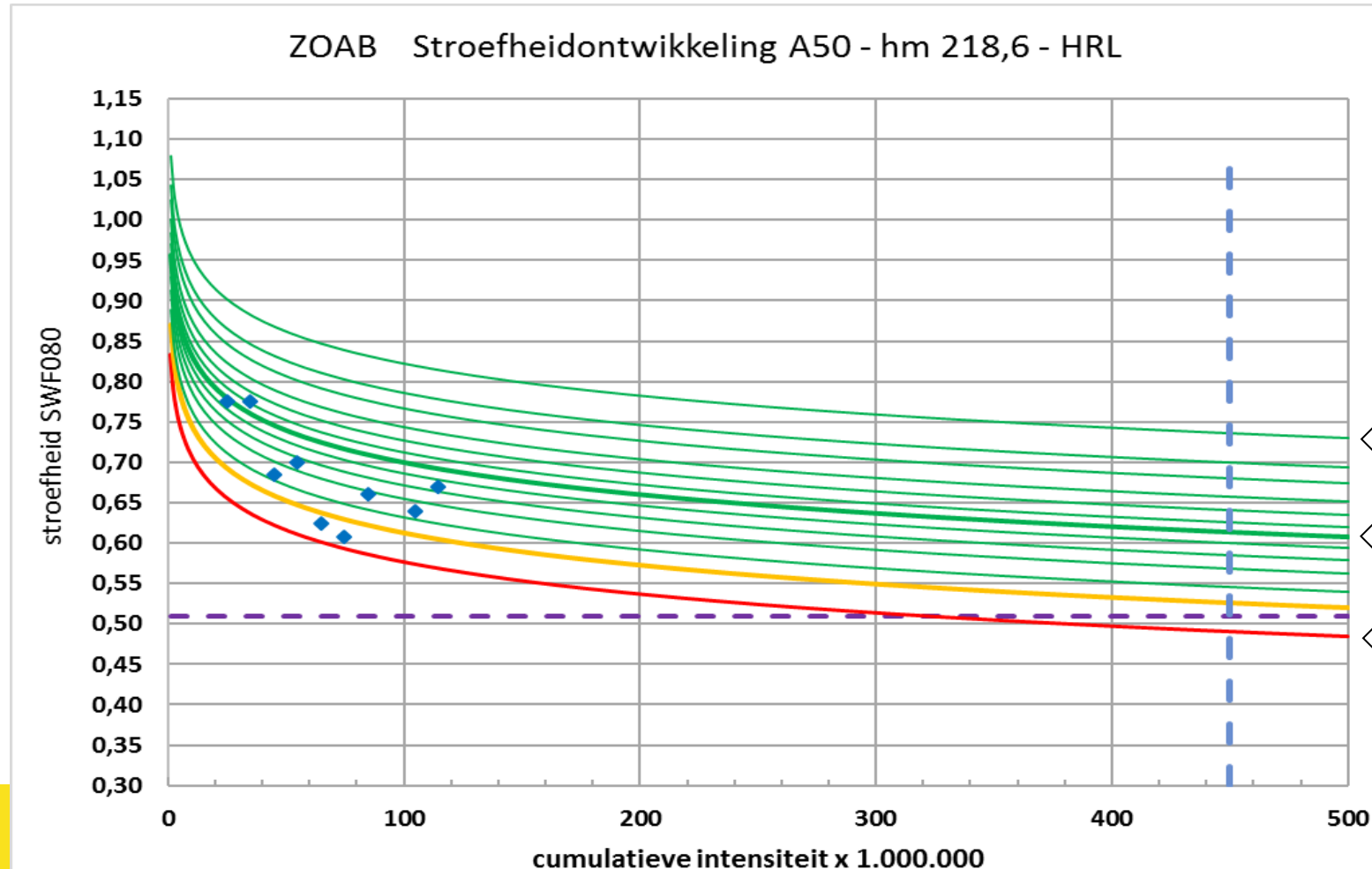
		niveau	helling
oud	RAW70	a	b
	ZOAB	0,470	-0,0845
	DAB	0,481	-0,0384
oud	SWF80	a	b
omgerekend	ZOAB	0,584	-0,1283
	DAB	0,630	-0,0428
nieuw	SWF80	a	b
	ZOAB	0,623	-0,1247
	DAB	0,625	-0,0145

Nut van modellering



Het stroefheidvoorspellend model geeft:

- het verwachte verloop tegen de cumulatieve intensiteit
- percentiellijnen, die aangeven binnen welke band x% van de metingen zullen liggen



Je kunt dus:

- Zien of een hm-vak aan de hoge of lage kant ligt
- Voorspellen of een vak langer meegaat dan 450 miljoen passages

← 99%

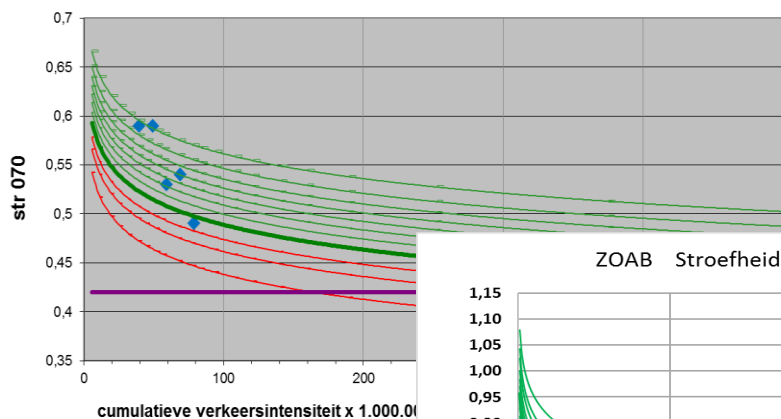
← 50%

← 1%

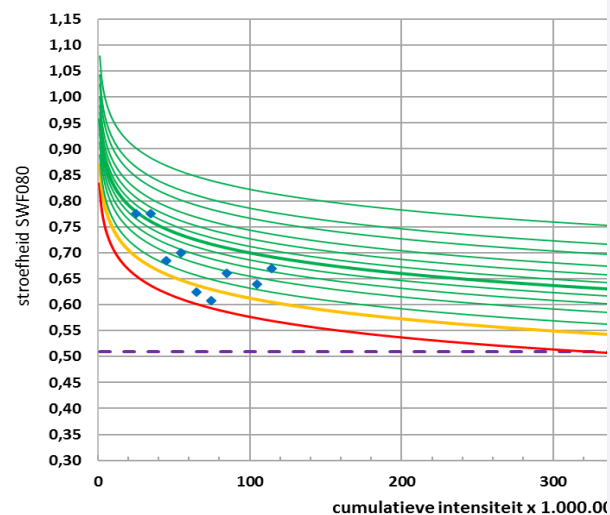
Bayesiaans model



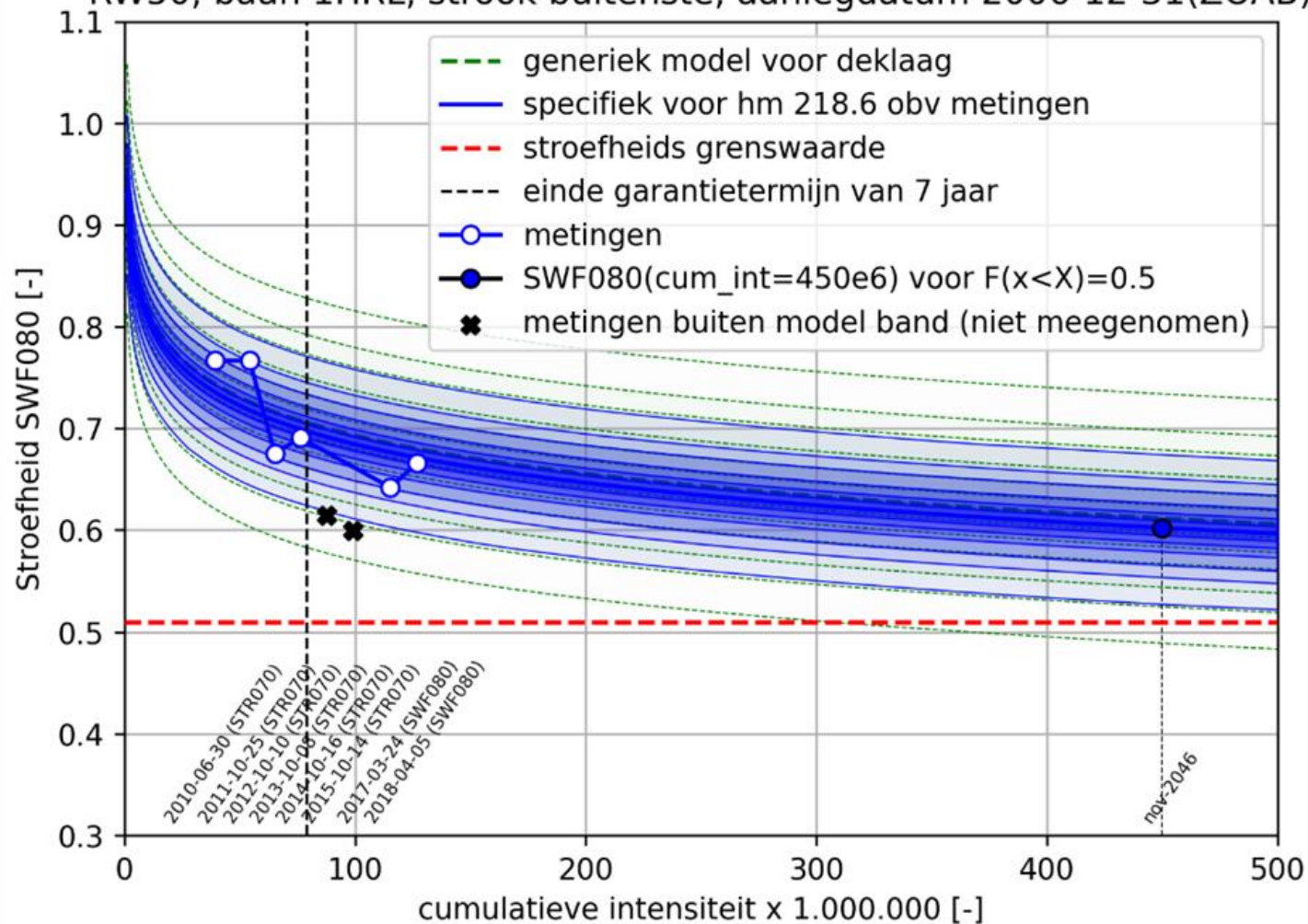
Stroefheidontwikkeling A50 - hm 218,6 HRL



ZOAB Stroefheidontwikkeling A50 - hm 2



RW50, baan 1HRL, strook buitenste, aanlegdatum 2006-12-31(ZOAB)



Bayesiaans model



Deklaag	a_{50}	se_{a50}	b	se_b	s_a	s_{rest}	% verkl
DAB	0,6253	0,0007	-0,0145	0,0013	0,0536	0,0320	73%
DGD	0,6901	0,0021	-0,0259	0,0037	0,0714	0,0406	73%
SMA	0,5999	0,0013	-0,0414	0,0028	0,0690	0,0491	65%
ZOAB	0,6227	0,0003	-0,1247	0,0008	0,0527	0,0442	61%
DZOAB	0,6280	0,0004	-0,1455	0,0007	0,0484	0,0343	74%
ZOABTW	0,6940	0,0006	-0,0944	0,0012	0,0517	0,0376	62%

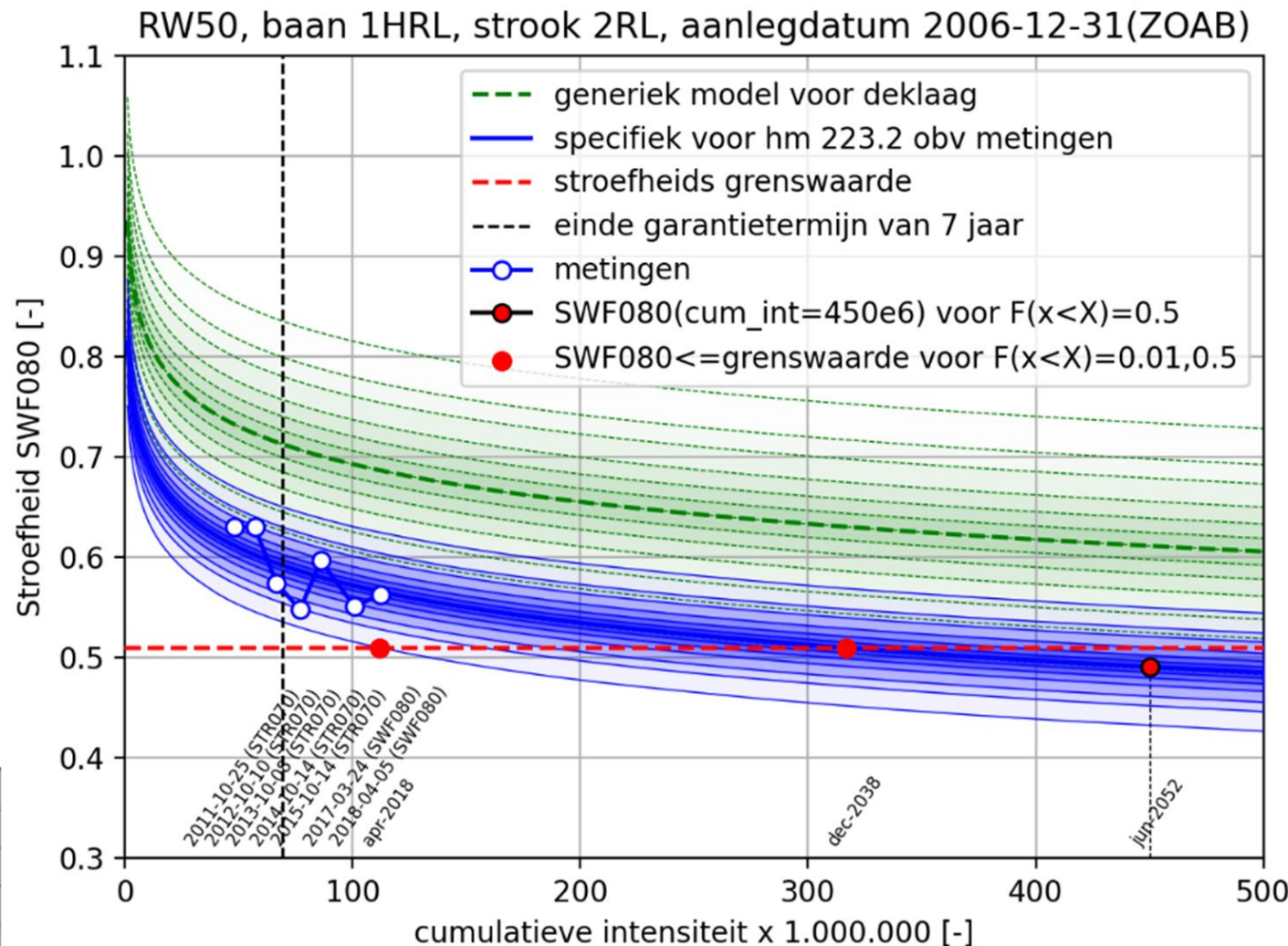
$$SWF080 = a + b \log_{10}(N_{cumint}/365) + \epsilon$$

prior voor ZOAB (groene lijnen)

coëfficiënt	Verdelingsfunctie	Gemiddelde μ	Standaardafwijking σ
a	Normaal	0.6227	0.0524
b	Normaal	-0.1247	0.0064
ϵ	Normaal	0	s
s	Lognormaal	0.0058	0.0046

Hm specifieke update (blauwe lijnen)

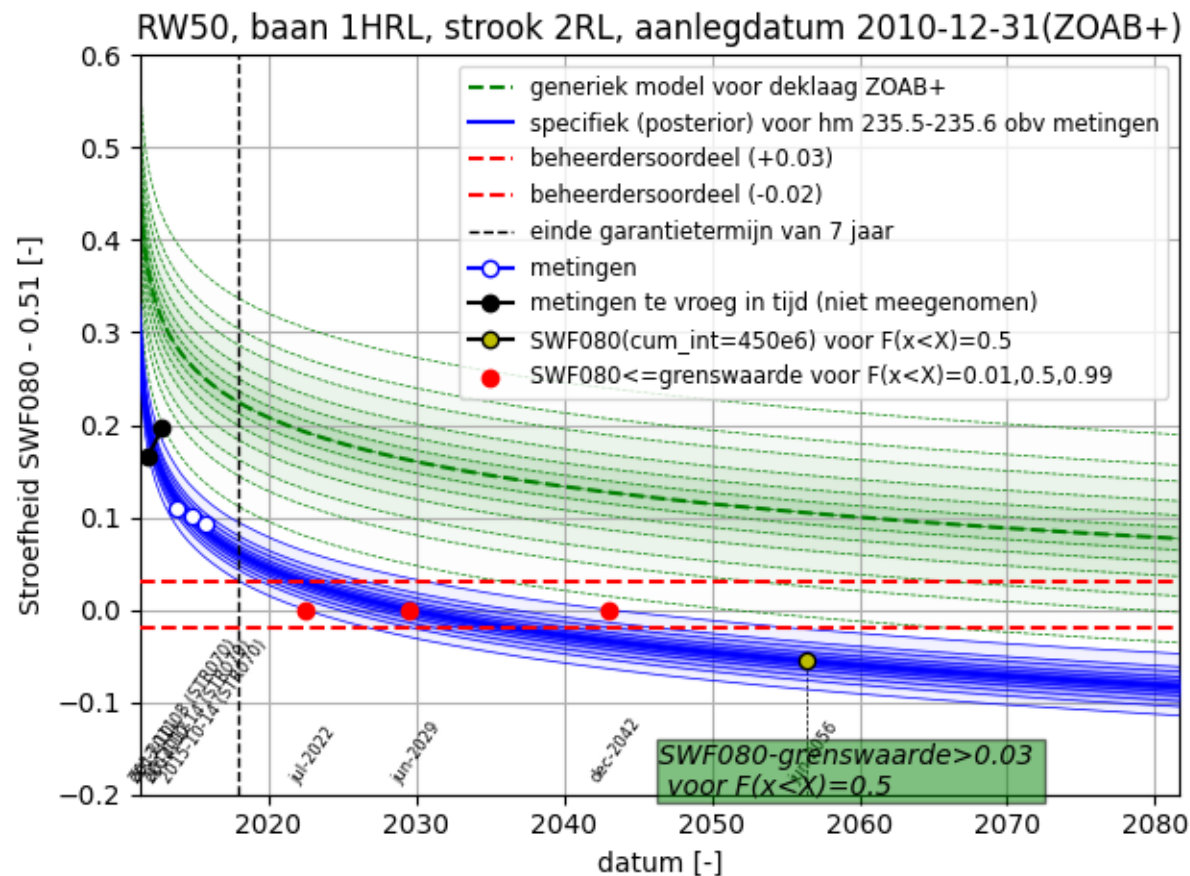
coëfficiënt	Verdelingsfunctie	Gemiddelde μ	Standaardafwijking σ
a	Normaal	0.5025 (0.6227)	0.0093 (0.0524)
b	Normaal	-0.1242 (-0.1247)	0.0062 (0.0064)
ϵ	Normaal		s
s	Lognormaal	0.0216 (0.0058)	0.0050 (0.0046)





Actuele stroefheidswaarde

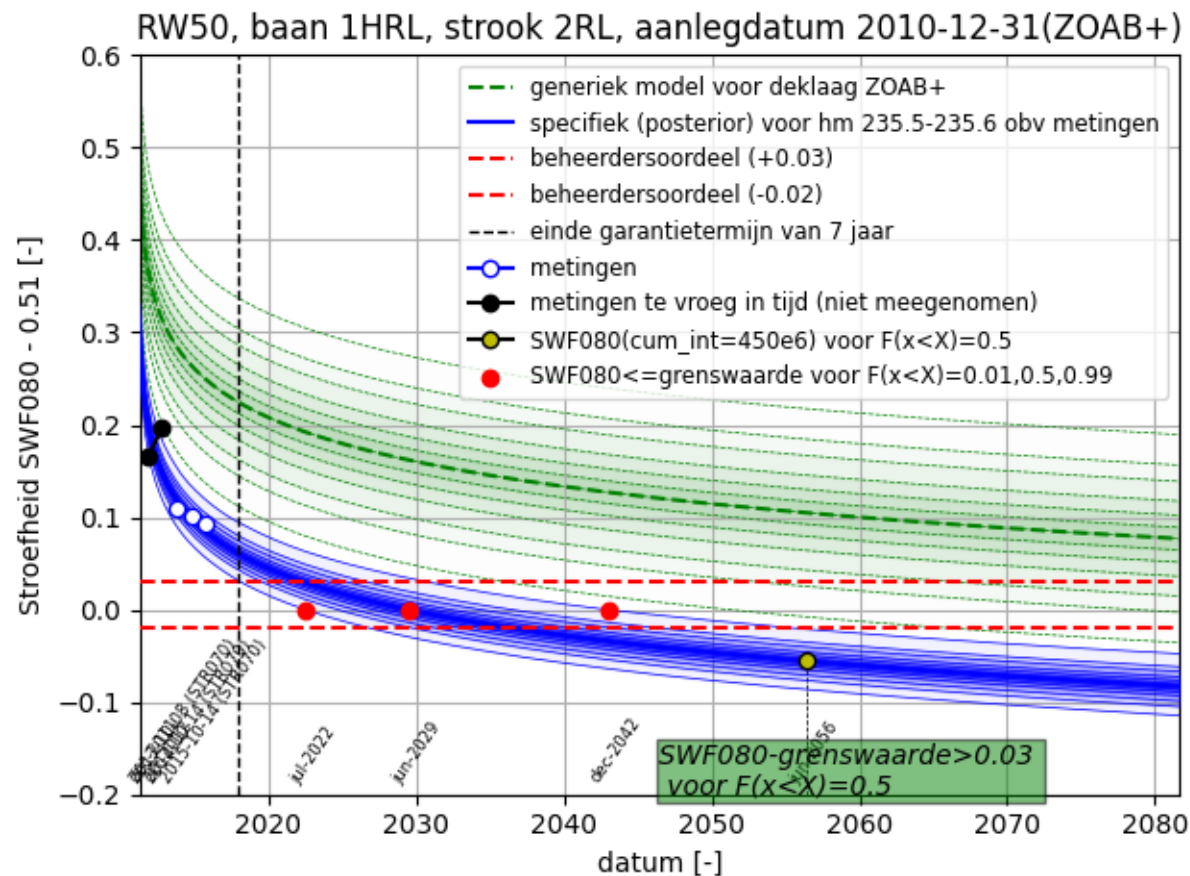
- Beoordeling
-0.02 , +0.03 rond crit





Actuele stroefheidswaarde

- Beoordeling
 - 0.02 , +0.03 rond crit
- Signaleringen:
 - groen AS > 0.03
 - geel AS in [-0.02; 0.03], $T_{-0.02} > 5$ jaar
 - oranje AS in [-0.02; 0.03], $T_{-0.02} < 5$ jaar
 - rood AS < -0.02
 - zwart meetgegevens nalopen

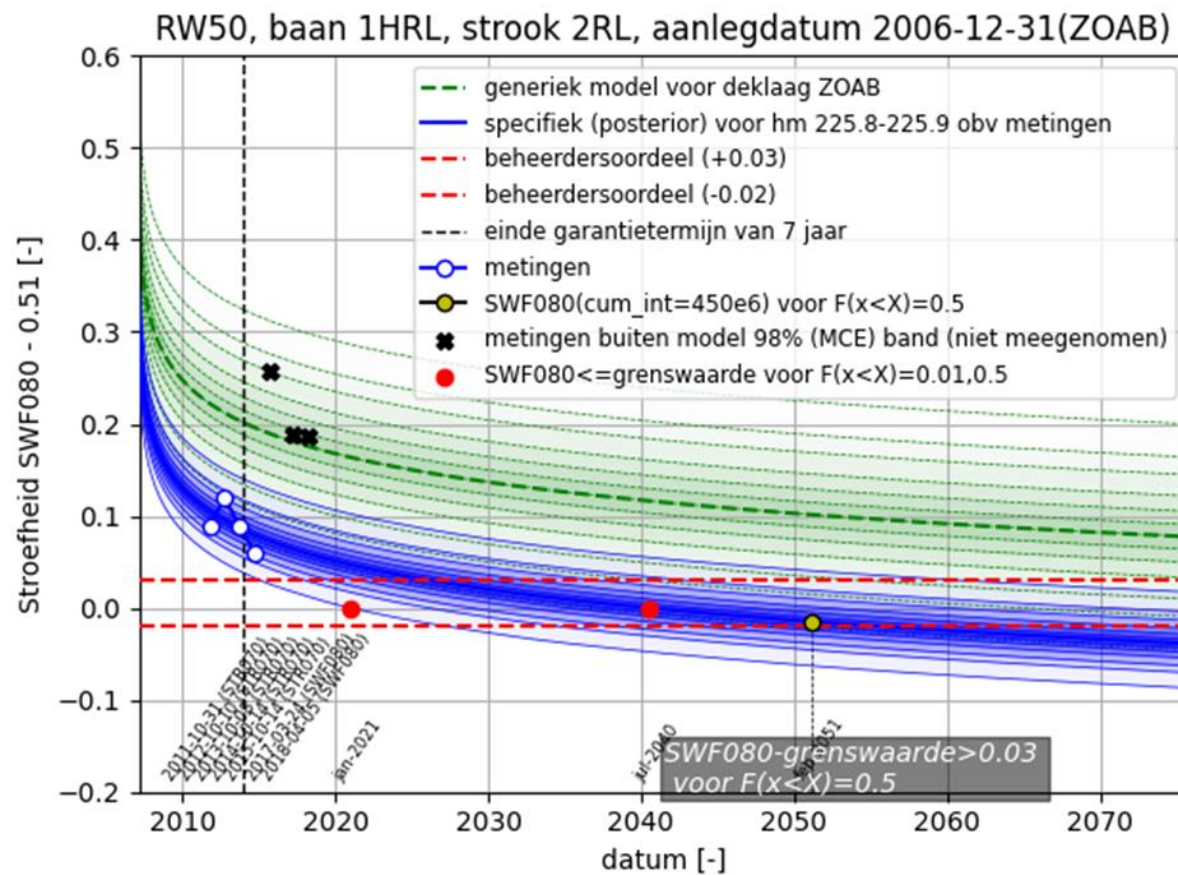


- Beoordeling
-0.02 , +0.03 rond crit
- Signaleringen:
 - groen $AS > 0.03$
 - geel $AS \text{ in } [-0.02; 0.03], T_{-0.02} > 5 \text{ jaar}$
 - oranje $AS \text{ in } [-0.02; 0.03], T_{-0.02} < 5 \text{ jaar}$
 - rood $AS < -0.02$
 - zwart meetgegevens nalopen



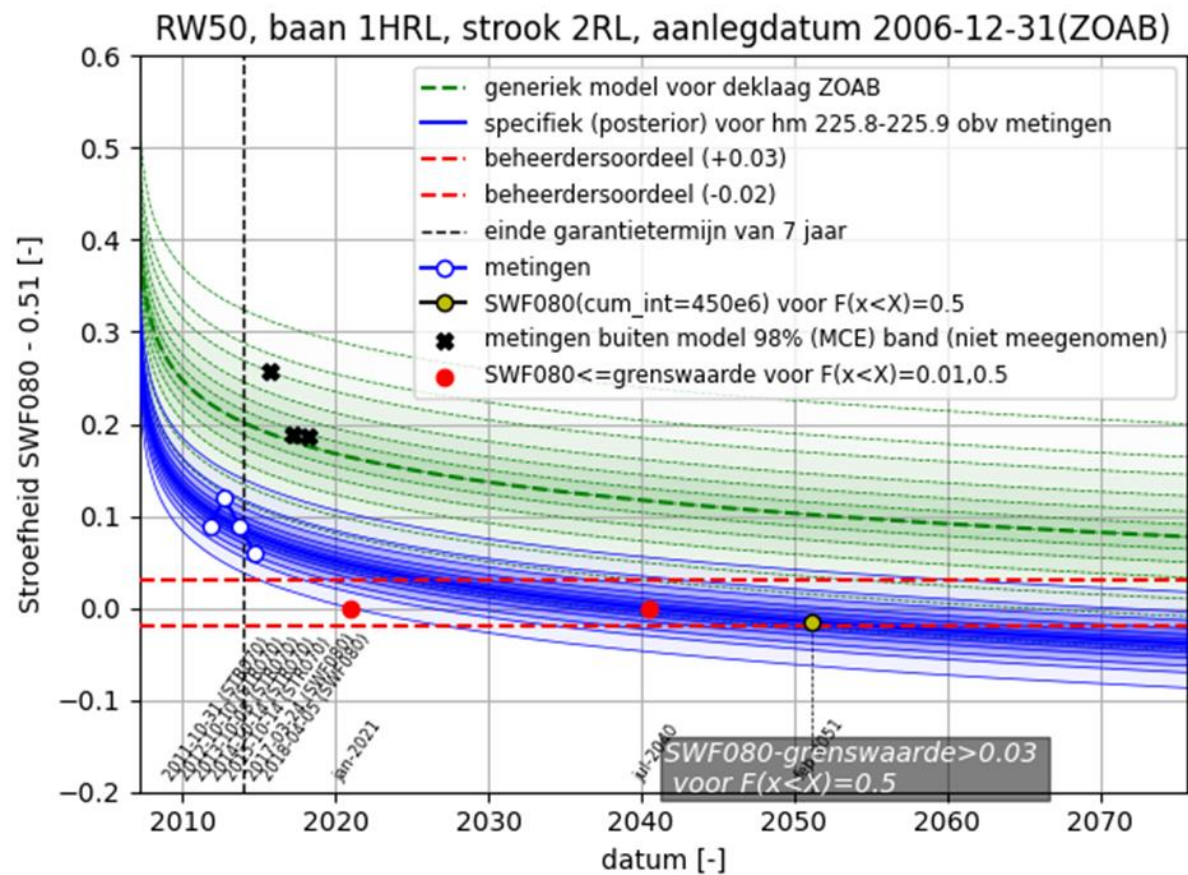


Actuele stroefheidswaarde



Actuele stroefheidswaarde

Wegn	Baan	Stroc	Van	Tot	Verh	Gara	Assessme
50	1HRR	2RR	234.2	234.3	ZOAB+	true	green
50	1HRR	2RR	234.3	234.4	ZOAB+	true	green
50	1HRR	2RR	234.4	234.5	ZOAB+	true	green
50	1HRR	2RR	234.5	234.6	ZOAB+	true	green
50	1HRR	2RR	234.6	234.7	ZOAB+	true	green
50	1HRR	2RR	234.7	234.8	ZOAB+	true	green
50	1HRR	2RR	234.8	234.9	ZOAB+	true	green
50	1HRR	2RR	234.9	235	ZOAB+	true	green
50	1HRL	2RL	234.9	235	ZOAB+	true	green
50	1HRL	2RL	234.8	234.9	ZOAB+	true	green
50	1HRL	2RL	234.7	234.8	ZOAB+	true	yellow
50	1HRL	2RL	234.6	234.7	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	234.5	234.6	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	234.4	234.5	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	234.3	234.4	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	234.2	234.3	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	234.1	234.2	ZOAB+	true	green
50	1HRL	2RL	234	234.1	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	233.9	234	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	233.8	233.9	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	233.7	233.8	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	233.6	233.7	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	233.5	233.6	ZOAB+	true	yellow
50	1HRL	2RL	233.4	233.5	ZOAB+	false	orange
50	1HRL	2RL	233.3	233.4	ZOAB+	false	orange
50	1HRL	2RL	233.2	233.3	ZOAB+	false	orange
50	1HRL	2RL	233.1	233.2	ZOAB+	false	orange
50	1HRL	2RL	233	233.1	ZOAB+	true	orange
50	1HRL	2RL	232.9	233	ZOAB+	true	orange
50	1HRL	2RL	232.8	232.9	ZOAB+	false	orange
50	1HRL	2RL	232.7	232.8	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	232.6	232.7	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	232.5	232.6	ZOAB+	true	orange
50	1HRL	2RL	232.4	232.5	ZOAB+	true	orange
50	1HRL	2RL	232.3	232.4	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	232.2	232.3	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	232.1	232.2	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	232	232.1	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	231.9	232	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	231.8	231.9	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	231.7	231.8	ZOAB+	true	yellow
50	1HRL	2RL	231.6	231.7	ZOAB+	true	orange
50	1HRL	2RL	231.5	231.6	ZOAB+	true	orange
50	1HRL	2RL	231.4	231.5	ZOAB+	true	yellow
50	1HRL	2RL	231.3	231.4	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	231.2	231.3	ZOAB+	true	black
50	1HRL	2RL	231.1	231.2	ZOAB+	true	green
50	1HRL	2RL	231	231.1	ZOAB+	true	green
50	1HRL	2RL	230.9	231	ZOAB+	true	yellow
50	1HRL	2RL	230.8	230.9	ZOAB+	true	green
50	1HRL	2RL	230.7	230.8	ZOAB+	true	orange
50	1HRL	2RL	230.6	230.7	ZOAB+	true	orange
50	1HRL	2RL	230.5	230.6	ZOAB+	true	green
50	1HRL	2RL	230.4	230.5	ZOAB	true	green





- SI ongeschikt om toekomst te voorspellen
- Bayesians model:
 - Model op basis van nieuwe informatie wordt geüpdatet;
 - Model signaleert verdachte meetpunten;
 - Meer specifieke priors mogelijk obv kenmerken/types.
 - Clusteren van priors/deklagen
- Huidig model bevat alle kenmerken om planjaren te bepalen



- MJPV (via IVON) voeden met interventiejaren op basis van stroefheid voorspellend model (niet meer met SI);
- Implementeren stroefheid voorspellend model in BIM-Provesy;
- Ultieme validatie:
 - Kernen boren op plekken die vroeg/laat in onderhoud komen (450^e6 voertuigpassages)
 - Onderzoeken op FAP, PSV en mineralogie.