

LAM: LevensduurvoorspellingsAsfaltModel voor rafeling van SMA

Greet Leegwater, Mahesh Moenielal, Wim Courage
TNO

Remco Hermsen
Provincie Gelderland

Wilko Heij
Provincie Zeeland

Rutger Krans
Rijkswaterstaat

Frits Stas
Heijmans Infra

Samenvatting

De spreiding in de levensduur van asfalt(deklagen) wordt nog niet goed begrepen. Hierdoor is de betrouwbaarheid van (rest-)levensduurvoorspellingen van asfaltwegen beperkt. In het kader van het programma Asfalt-Impuls werkt het project LevensduurvoorspellingsAsfaltModel – LAM – aan het ontwikkelen van een zo goed mogelijk asfaltlevensduurraamwerk, waarmee levensduurvoorspellingen kunnen worden gemaakt. In dit raamwerk worden de huidige inzichten in levensduur gecombineerd met praktijkanalyses, om zo te komen tot een model dat zo betrouwbaar mogelijk levensduren voorspelt. Dit raamwerk kent verschillende componenten, zodat het toepasbaar is voor zowel de ontwerpfase, de gebruiksfase als de onderhoudsfase. Een component die in dit artikel nader zal worden toegelicht is een Proof of Concept voor een rafelingsmodel voor SMA-deklagen. De levensduurvoorspelling in dit model is gebaseerd op de mate waarin het daadwerkelijk gerealiseerde asfalt overeenkomt met het asfaltmengselontwerp. Hierbij is de aanname dat het realiseren van een werk conform de ontwerpspecificaties leidt tot een betere prestatie dan als een asfaltmengsel ingezet wordt dat afwijkt met betrekking tot bijvoorbeeld holle ruimte, verdichting of bitumengehalte. De praktijkprestaties die in dit model zijn meegenomen zijn afkomstig van de provincie Gelderland. Zij heeft de bijbehorende informatie aangeleverd over mengselontwerp en realisatie in het werk. In dit paper wordt de opzet van het SMA-model toegelicht en worden verkregen resultaten gedeeld.

Trefwoorden

Asfalt, SMA, levensduur, voorspellingsmodel, rafeling, Asfalt-Impuls

1. Inleiding

Het project LevensduurvoorspellingsAsfaltModel (*LAM*) heeft als doel data gerelateerd aan wegenbouw-asfalt te ontsluiten en hiermee de levensduur van asfaltverhardingen te voorspellen. Hiertoe worden data-instrumenten ontwikkeld voor ontsluiting, analyse en monitoring en wordt een voorspellingsmodel ontwikkeld. Ook werkt het LAM aan opname van deze producten in regelgeving. Dit werk gebeurt in het kader van het branchebrede programma Asfalt-Impuls.

Uitgangspunt bij de ontwikkeling van de modellen is dat meerwaarde bereikt kan worden door theoretische inzichten te gebruiken als uitgangspunt en ze te verifiëren en te kwantificeren met praktijkdata. Een component van het levensduurraamwerk dat in dit artikel nader zal worden toegelicht is een Proof of Concept (*PoC*) voor een rafelingsmodel voor SMA-deklagen.

Rafeling van SMA-deklagen is in de LAM-workshop uit 2019 geïdentificeerd als een van de belangrijke schademechanismen in het beheer en onderhoud van Nederlandse wegen (Leegwater 2019). Daarom ontwikkelen we een levensduurmodel voor rafeling van SMA-deklagen. Om toegang te krijgen tot praktijkdata en tevens een model te ontwikkelen dat aansluit bij behoeften van beheerders werken we samen met de provincies Gelderland en Zeeland.

In hoofdstuk 2 van dit paper wordt de aanpak bij het formuleren van een levensduurmodel beschreven. In hoofdstuk 3 worden beschikbare data en gestructureerde opslag ervan beschreven. In hoofdstuk 4 worden de geobserveerde trends in de data beschreven. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 een eenvoudig model beschreven en wordt getoond hoe dit reageert op de data. Het paper sluit af met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 6.

2. Aanpak formulering levensduurmodel in relatie tot beschikbare data

Uitgangspunt bij de modelontwikkeling is dat het theoretische model uit moet gaan van beschikbare parameters bij de provincies. Anders is er geen sprake van modelvalidatie met de praktijkdata (Leegwater 2020). Een belangrijke uitdaging hierbij is dat er vooral informatie kan worden gehaald uit het bezwijken van een wegdek waarvan gegevens over het ontwerp en de aanleg beschikbaar zijn. Het bezwijken vindt doorgaans pas meer dan 10 jaar na aanleg plaats, waarbij in de regel veel aanleggegevens niet meer beschikbaar zijn op het moment van bezwijken.

Bij de provincie Gelderland bleek gelukkig wel informatie beschikbaar van oudere wegvakken. Naast inspectieresultaten gedurende de levensduur zijn er dossiers bewaard gebleven van zowel het ontwerp en oplevering (CE-verklaring, verkort verslag, oplevering, enz.). Een uitdaging hierbij is dat de ontwerp- en opleverinformatie niet beschikbaar is in de gebruikte assetmanagementsystemen bij de beheerafdeling, maar besloten ligt in het digitale projectdossier. Dit digitale projectdossier is geen database, maar een mappenstructuur waar pdf-bestanden in zijn opgeslagen. Een grote uitdaging gedurende dit onderzoek is om deze informatie toegankelijk te maken.

Op basis van de beschikbare parameters in combinatie met expertjudgement is een conceptmodel geformuleerd. De basis van het levensduurmodel is de aanname dat de mate waarin het gerealiseerde asfalt afwijkt van het mengselontwerp een maat is voor de kwaliteit en daarmee voor de verwachte levensduur. Bij SMA-mengsels luistert het vrij nauw om voldoende bindmiddel in het mengsel te krijgen om een goede rafelingsweerstand te verkrijgen, zonder het mengsel te “overvullen” met bindmiddel waardoor instabiliteit ontstaat. Kleine afwijking in de steenslaggradering kunnen al grote gevolgen hebben voor deze balans. Hierdoor kunnen vooral in de uitvoering problemen ontstaan. Daarom richt het model zich op een aantal parameters die samenhangen met het volumetrisch ontwerp en de realisatie hiervan:

1. Holle ruimte
2. Bitumengehalte
3. Korrelverdeling
4. Verdichtingsgraad

Deze parameters zijn vastgelegd in het mengselontwerp en geverifieerd na realisatie van de SMA-deklaag. Hierbij ligt de focus op het verschil tussen mengselontwerp en oplevering (de zogenaamde ‘delta’) van de bovengenoemde parameters in relatie tot de rafelingsontwikkeling.

3. Beschrijving van data en structurering

Om de data goed te kunnen gebruiken is het belangrijk om te doorgronden welke data precies beschikbaar zijn. Er is een decompositie gemaakt om de informatiestromen te beschrijven. Deze informatiestromen worden gezien vanuit het proces om van mengselontwerp tot realisatie van een asfaltverharding te komen. Het startpunt van de beschrijving is de locatie van de boorkern. De locatie van de boorkern vormt als het waren de ruggengraat waar de volgende databronnen aan gekoppeld zijn:

- Locatie hectometervak in areaal
- Jaar van aanleg en vervanging deklaag
- Mengselontwerpmethode: Marshall (standaard) of volumetrisch (IVO-SMA)
- Type en mengselsamenstelling SMA-deklaag
- Monitoringsmeting tijdens gebruiksperiode deklaag

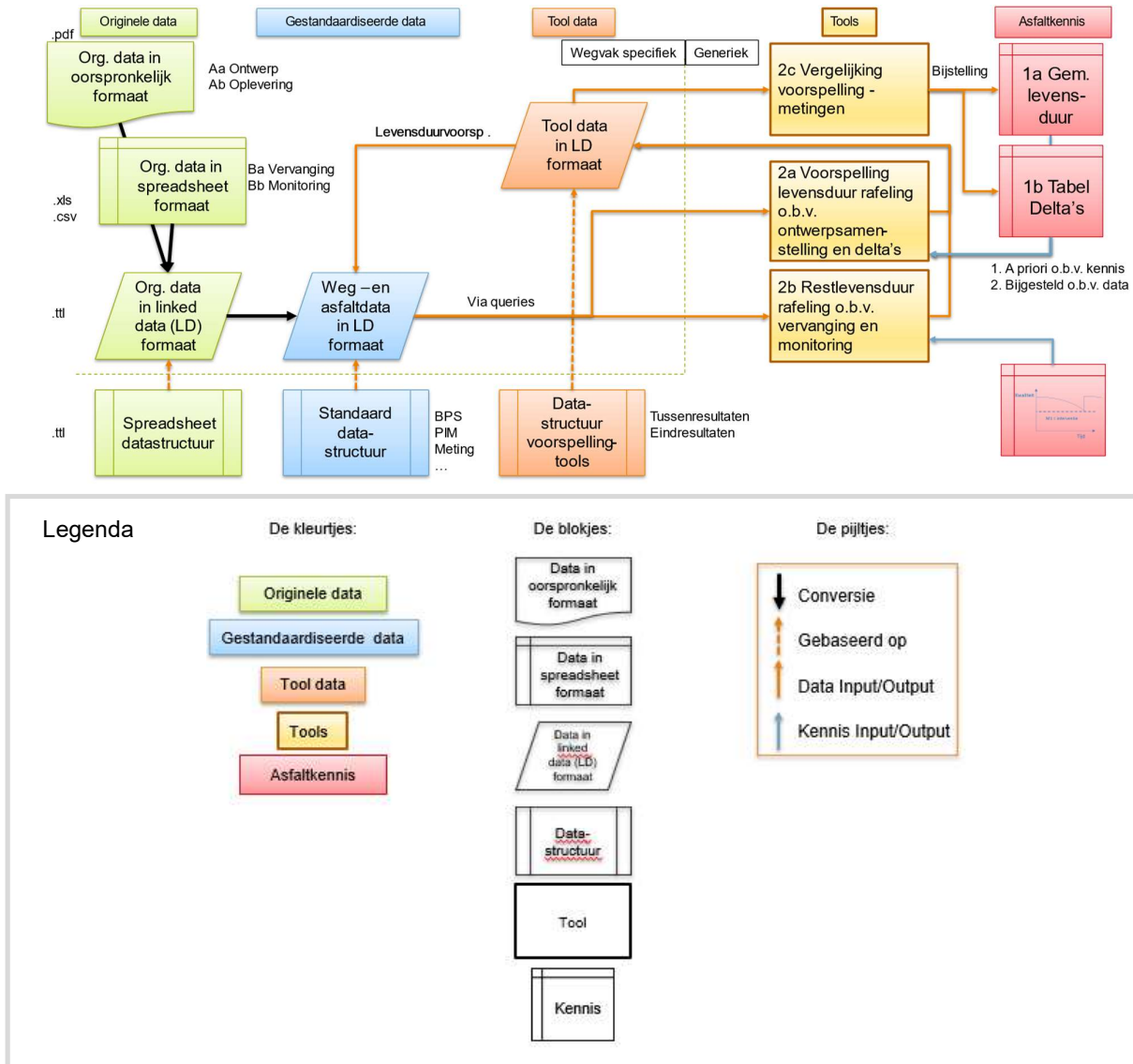
De aanleg en vervanging van deklagen wordt door de provincie ondergebracht in nieuwbouw- en onderhoudscontracten. Deze contracten zijn vastgelegd in de vorm van een besteknummer. Het wegvak wordt door de provincie van tevoren, aan de hand van de RAW-standaard 81.24.04, ingedeeld in uitvoeringseenheden (500-2.000 m²/uitvoeringseenheid) die de basis vormen voor de kwaliteitscontrole van gerealiseerde deklagen. De boorkernen (puntmeting) worden dus representatief geacht voor de gerealiseerde kwaliteit van de SMA-deklaag voor een deel of het gehele wegvak waar de deklaag is aangebracht. De restlevensduur zal worden bepaald uit de één- c.q. tweejaarlijkse monitoringsmetingen waarmee de rafelingsontwikkeling wordt vastgelegd.

Om helder te krijgen wanneer er sprake is van pure data en wanneer er over wordt gegaan tot analyse van deze data ten behoeve van levensduurmodellen is een schema gemaakt van de stappen die nodig zijn om van de originele data tot asfaltkennis te komen (zie

Figuur 1). De vormen en kleuren van de blokken in het schema hebben ieder een specifieke betekenis die is toegelicht in de legenda. In dit schema begint de data linksboven als bijvoorbeeld een pfd met opleveringsgegevens. De pijl hieronder naar het volgende blok duidt aan dat er een tool wordt gebruikt om deze data om te zetten in een spreadsheet formaat. Er bestaan natuurlijk ook al datasets die reeds in spreadsheetformaat beschikbaar zijn, zoals een uitdraai van de prestaties van het wegdek uit een wegbeheerprogramma. De volgende stap is dat deze data omgezet wordt in data met linkeddata- (LD-)structuur. Deze structuur zorgt ervoor dat de data uniek gelabeld raakt, waardoor de data vindbaar wordt voor andere tools. Hierbij wordt de data geclassificeerd naar een direct met de data corresponderende ontologie, in dit geval conform de NEN-2660-2. Deze ontologie komt overeen met die welke wordt gebruikt bij het PIM (Pavement Information Modelling) (PIM 2022). Deze

uniformering zorgt er ook voor dat deze data in de toekomst goed toegankelijk kunnen zijn voor andere potentiële gebruikers.

Aangezien het toegankelijk maken van de ontwerp- en opleveringsdata een enorme klus is, is besloten om de PoC in eerste instantie te maken voor 1 wegvak ('usecase'), namelijk de N317. De rafelingsontwikkeling op dit wegvak zit enkele jaren voor de interventiegrens op een aantal hectometervakken; er is dus sprake van schadeontwikkeling.



Figuur 1 Schema van data naar asfaltkennis

4. Trends en observaties in de data

De data van de N317 zijn geclusterd naar afzonderlijke objecten die bestaan uit een rijstrook (rechts/links ofwel heen/terug op de baan), een lengte van 100 meter (geïdentificeerd met de eigenschap hm-van) en een aanlegdatum. Op deze manier komen 21 individuele (hoewel sterk

onderling gecorreleerde) objecten beschikbaar die worden onderzocht op eigenschappen en prestatie. De prestatie (over de tijd) wordt vastgelegd in de cijfermatige beoordeling die is gebaseerd op de CROW- Wegbeheersystematiek 2019 (in het vervolg aangeduid als 'somVanRafeling'), zie Tabel 1.

Als eigenschappen worden de afwijkingen bij realisatie ten opzichte van de ontwerpspecificaties beschouwd van de volgende parameters:

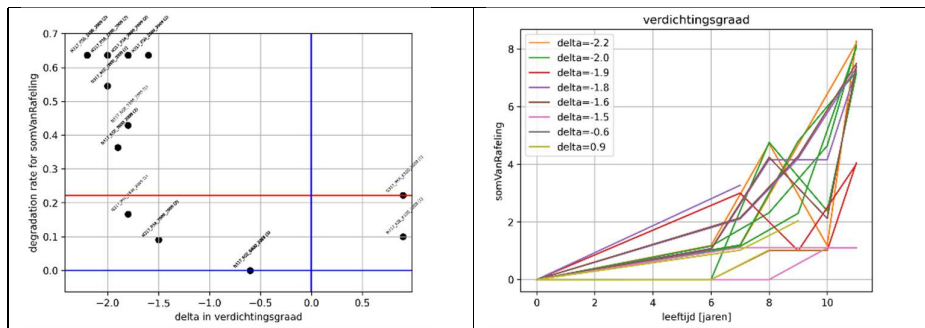
- Verdichtingsgraad
- Holle ruimte
- Bindmiddelpercentage
- Korrelverdeling percentage (m/m) door zeef 2 mm
- Korrelverdeling percentage (m/m) door zeef 63 µm

Tabel 1 Vertaling van ernst/omvang conform CROW naar eenduidig cijfer voor analyse

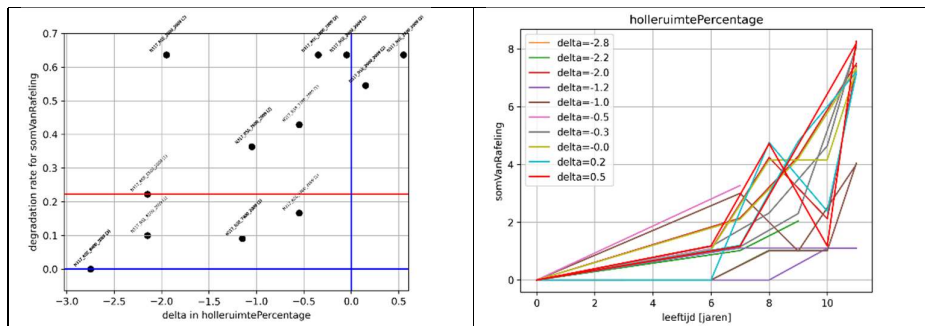
Categorie / ernst omvang	Cijfer beoordeling Gelderland	Omschrijving schade
L1	1	Lichte rafeling in kleine omvang
L2	2	
L3	3	
M1	4	Matige rafeling in kleine omvang (interventieniveau CROW)
M2	5	
M3	6	
E1	7	
E2	8	
E3	9	Ernstige rafeling in grote omvang

Ten behoeve van een trendonderzoek is een eenvoudige indicator voor de prestatie opgesteld: de waarde van de cijfermatige beoordeling ten tijde van de laatste genoteerde meting (aangeduid met 'somVanRafeling'), dus cijfer van 1 tot 9 volgens tabel 1, gedeeld door de leeftijd ten tijde van de laatst genoteerde meting. Dit is grofweg te duiden als een maat voor de rafelingssnelheid. Let wel, vanwege het niet-lineaire karakter van de rafelingsontwikkeling is dit ook niet meer dan een indicator en wordt deze ook alleen in deze paragraaf gebruikt voor een eerste duiding van trends. Gaan we uit van een te bereiken leeftijd van 18 jaar, dan geldt als streven voor een gemiddelde rafelingssnelheid een waarde van 0,22 somVanRafeling-punt per jaar (interventieniveau CROW= 4/ leeftijd in jaar=18 -> 0,222). Deze gemiddelde rafelingssnelheid is een aanname en is voor het moment niet meer dan een waarde ter referentie.

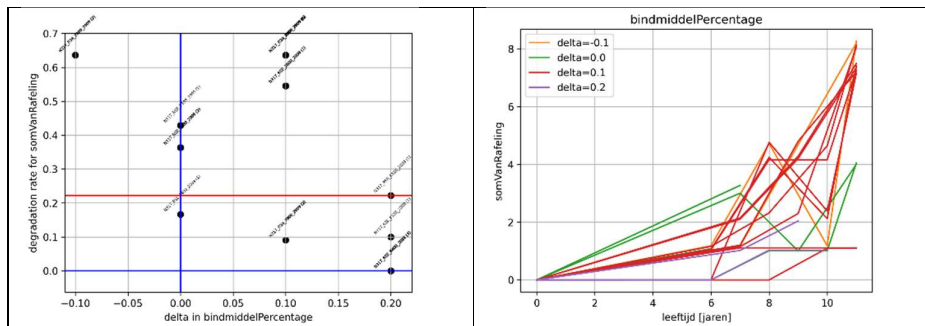
Met behulp van deze definities zijn trends te onderscheiden in de prestatie als functie van de beschouwde afwijkingen van realisatie ten opzichte van ontwerp, de zogenaamde delta's. Deze trends zijn grafisch weergegeven in Figuur 2 tot en met Figuur 6. De indicatieve waarde van 0,22 somVanRafeling-punt per jaar voor de gemiddelde rafelingssnelheid is in de figuren links aangegeven met een rode lijn. In de figuren zijn niet altijd 21 punten of lijnen (corresponderend met de 21 100m-wegvakken) terug te vinden, aangezien waarden binnen deze populatie soms overlappen. Dit samenvallen van waarden in eigenschappen en prestatie gebeurt meestal bij gelijke stroken rechts en links op een hectometervak of bij eenzelfde strook met twee data van aanleg. Dit laatste duidt op vervuilde data, omdat het zeer onwaarschijnlijk is dat eenzelfde hectometervak na een aantal jaren opnieuw is aangelegd met precies dezelfde realisatiegegevens. In deze fase van het onderzoek is deze vervuiling niet onderzocht.



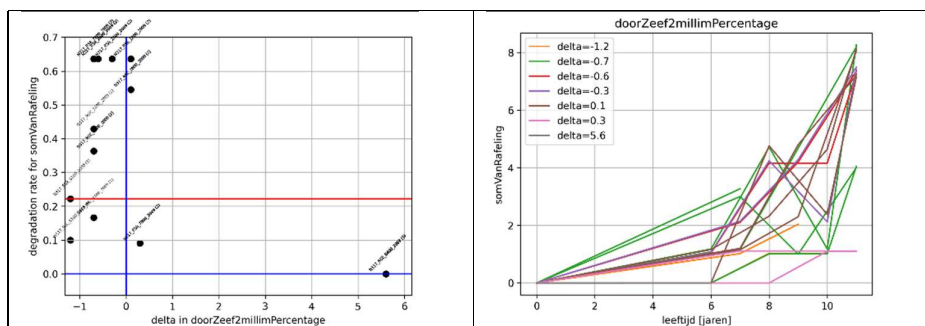
Figuur 2 Trends voor somVanRafeling als functie van leeftijd en bij verschillende waarden voor delta's in verdichtingsgraad (rechts) en voor een rafelingsnelheidsindicator als functie van de delta's in verdichtingsgraad (links).



Figuur 3 Trends voor somVanRafeling als functie van leeftijd en bij verschillende waarden voor delta's in percentage holleruimte (rechts) en voor een rafelingsnelheidsindicator als functie van de delta's in percentage holleruimte (links).

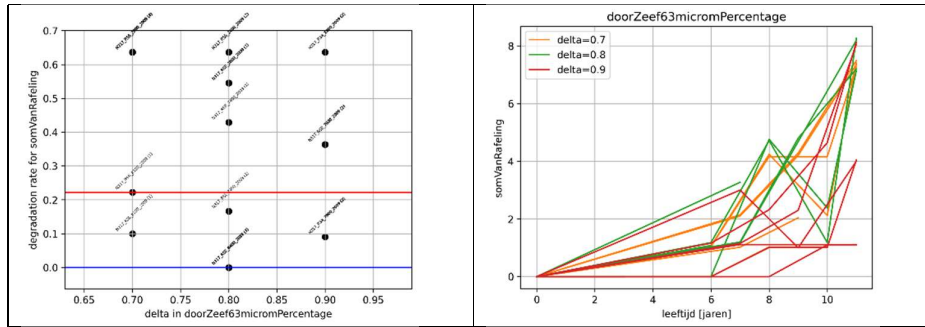


Figuur 4 Trends voor somVanRafeling als functie van leeftijd en bij verschillende waarden voor delta's in percentage bindmiddel (rechts) en voor een rafelingsnelheidsindicator als functie van de delta's in percentage bindmiddel (links).



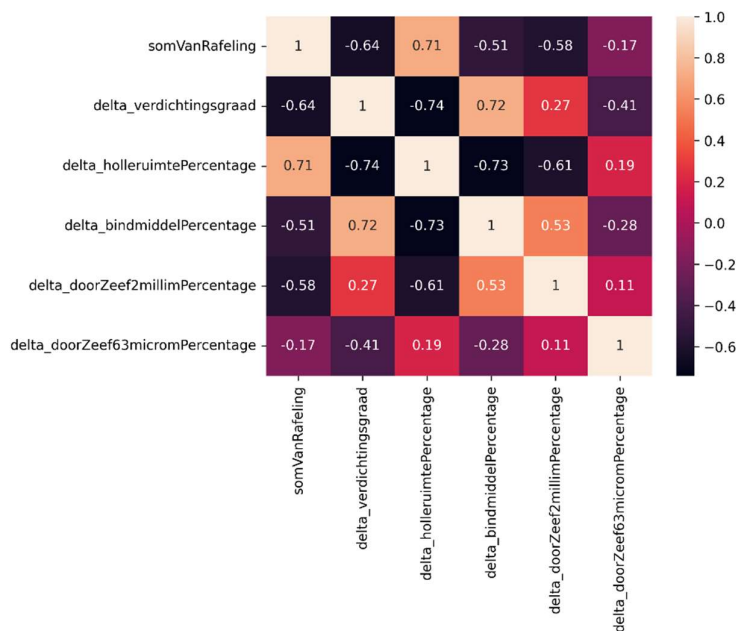
Figuur 5 Trends voor somVanRafeling als functie van leeftijd en bij verschillende waarden voor delta's in 2 mm doorzeefpercentage (rechts) en voor een rafelingsnelheidsindicator als functie van de delta's in 2 mm doorzeefpercentage (links). De linker figuur bevat een opvallende deltawaarde van 5,6¹.

¹ Het betreft hier N317 hm (van) 8400 zowel rijstrook rechts (jaar van aanleg 2017) als links (jaren van aanleg 2009 en 2017)



Figuur 6 Trends voor *somVanRafeling* als functie van leeftijd en bij verschillende waarden voor δ 's in $64\ \mu\text{m}$ doorzeefpercentage (rechts) en voor een rafelingssnelheidsindicator als functie van de δ 's in $64\ \mu\text{m}$ doorzeefpercentage (links).

In de data getoond in de figuren is ook gezocht naar correlaties tussen de δ 's van de realisatie ten opzichte van het ontwerp en de *somVanRafeling*. Een numerieke kwantificering van de relatiesterkten is weergegeven in een correlatiematrix, zie Figuur 7. Deze matrix toont duidelijke relaties te tussen *somVanRafeling* en δ 's in verdichtingsgraad (correlatie -0,64), holle ruimte (correlatie 0,71) en percentage bindmiddel (correlatie -0,51). De correlatie van -0,58 voor het 2mm doorzeefpercentage wordt waarschijnlijk te sterk bepaald door de drie meetpunten met een afwijking van 5,6 (zie Figuur 5).



Figuur 7 Correlatiematrix voor *somVanRafeling* en de δ 's van de realisatie ten opzichte van ontwerp.

5. Eenvoudig model met prior en update o.b.v. waarnemingen

Bij het ontwikkelen van een model is gekozen voor een Bayesiaans model. Deze aanpak maakt het mogelijk om correlaties gevonden in data te combineren met inzicht dat reeds bestaat over hoe parameters elkaar beïnvloeden. Dit model begint met het formuleren van een zogenaamde *prior* op basis van theorie, voorkennis, ervaring en/of richtlijnen. Er is gekozen om het eerste model te baseren op een heel eenvoudige prior welke slechts één parameter beschrijft, namelijk de verdichtingsgraad, een van de sterker correlerende waarden met *somVanRafeling*. Als basis voor dit model is een afreken tabel genomen voor afwijkingen van mengseleigenschappen uit St. RAW 2020;

T 81.2.04: verdichtingsgraad. Aan deze verdichtingswaarden zijn met behulp van expertjudgement verkortingen of verlengingen van de levensduur toegekend, zie Tabel 2.

Tabel 2 Effect afwijking VERDICHTINGSGRAAD realisatie t.o.v. mengselontwerp

	Tekort					Gewenst	Te veel				
Verdichtingsgraad [%]	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	100%	0.5	1	1.5	2	2.5
Effect op gemiddelde levensduur SMA: afname (-) of toename (+)	-8	-5	-3	-2	-1	18 jaar (N317)	2	4	4	4	-2

Voor de PoC is voor dit moment alleen naar het effect van een tekort aan verdichting (negatieve delta's) gekeken. Het model in zijn dan eenvoudigste vorm is een lineaire relatie (wat dus een vereenvoudiging is van de correlatie in Tabel 2):

$$L = a + b \cdot \Delta + \varepsilon$$

Met:

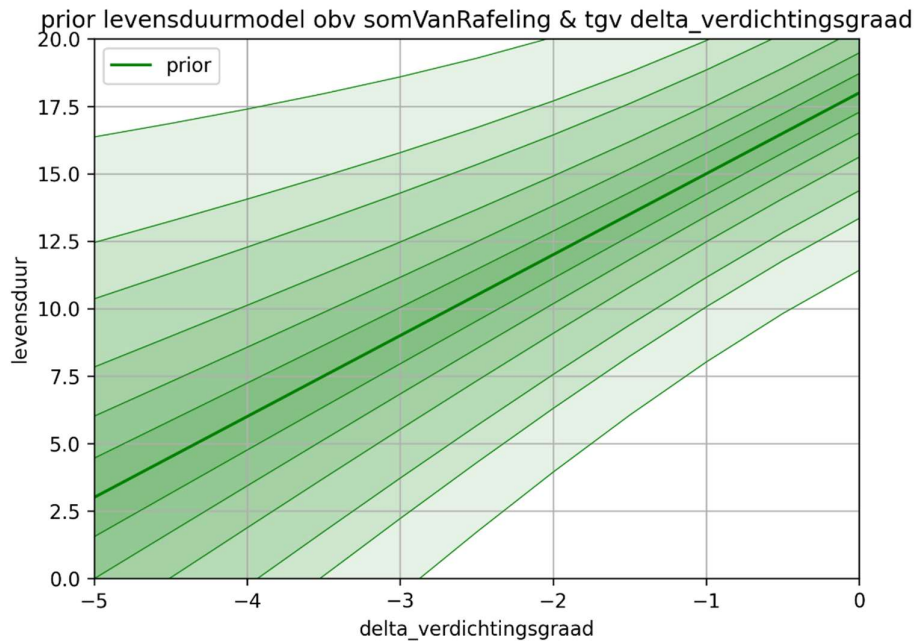
- L levensduur voor de deklaag realisatie [jaren]
- a verwachtingswaarde/gemiddelde levensduur voor het deklaag ontwerp [jaren]
- b de verandering van de levensduur per afwijking in verdichting [jaren/%]
- Δ de afwijking in percentage verdichting (≤ 0) [%]
- ε de modelfout [jaren]

De coëfficiënten a, b en ε worden gezien als stochasten, d.w.z. het zijn geen deterministische en vaste waarden maar variabelen met geschikte en vast te stellen verdelingsfuncties en bijbehorende parameters. Mede op basis van Tabel 2 zijn eerste aannames gegeven voor deze waarden, zoals weergegeven in Tabel 3. Gegeven de vorm van het model heeft de modelfout ε een verwachtingswaarde gelijk aan 0, maar een nog niet precies bekende waarde voor de standaardafwijking. Voor deze standaardafwijking (s) wordt daarom een aparte stochast gedefinieerd. De coëfficiënten a, b en ε (s) worden in eerste instantie als onderling onafhankelijk gezien.

Tabel 3 Prior waarden voor coëfficiënten in levensduurmodel

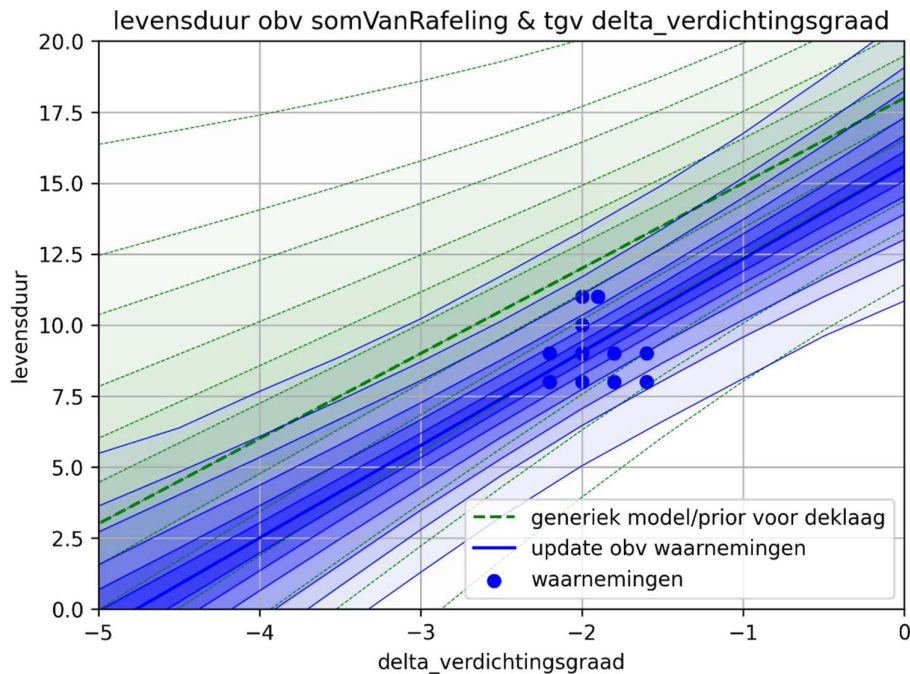
coëfficiënt	Verdelingsfunctie	Gemiddelde μ	Standaardafwijking σ
a	Normaal	18.0	2.0
b	Normaal	3.0	1.0
ε	Normaal	0	s
s	Lognormaal	2.0	1.6

Gegeven dit model met zijn parameterwaarden kunnen voorspellingen worden berekend voor de levensduur als functie van de afwijkingen (tekorten) in verdichtingsgraad ten opzichte van ontwerp. Figuur 8 toont deze prior modelvoorspellingen. De gemiddelde voorspelling is zichtbaar als de dikkere groene lijn. Daaromheen zijn onzekerheidsbanden getekend voor respectievelijk 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60, 70, 80, 90, 95 en 99% percentiel. De gemiddelde lijn staat voor de 50% percentiel. Deze onzekerheidsbanden vinden hun herkomst in een constant deel (uit de standaardafwijkingen in de coëfficiënten a en ε (s)) en een deel dat toeneemt met de toename van de delta (uit de standaardafwijking in de coëfficiënt b).



Figuur 8 Prior levensduurmodel voor deklaag (usecase N317); alleen tekort aan verdichtingsgraad als modelparameter.

Dit model kan nu worden verrijkt met de hiervoor gerapporteerde data uit de praktijk. Om deze data hiervoor te kunnen gebruiken wordt aangenomen dat er sprake is van “einde levensduur” op het moment dat somVanRafeling een waarde heeft van 4 (interventieniveau CROW). Er zijn 12 hectometervakken waarvoor dit moment is bereikt. Deze waarnemingen worden ingevoerd in het model, zodat de prior door het toepassen van Bayesiaanse probabilistiek op deze data kan reageren. Toevallig hadden alle 12 levensduurrealisaties een tekort aan verdichtingsgraad, waardoor deze dus ook allemaal zijn gebruikt. Figuur 9 toont het bijgestelde (*posterior*) model in blauw met ter referentie het priormodel in groen op de achtergrond. De waarnemingen zijn ingetekend als punten (2 waarnemingen vallen over elkaar waardoor er 11 punten te zien zijn). Het model heeft zich aangepast aan de data, met als gevolg een verschoven lijn voor het gemiddelde en een ietwat andere helling. De onzekerheidsbanden rond de voorspellingen zijn significant afgenomen. De verkregen posterior waarden voor de coëfficiënten zijn weergegeven in Tabel 4. In de posterior is nu ook sprake van correlaties tussen de modelparameters; met name (zoals te verwachten) tussen de coëfficiënten a en b (correlatie gelijk 0,94).



Figuur 9 Posterior/bijgesteld levensduurmodel voor SMA-deklaag (usecase N317) op basis van waarnemingen; alleen tekort aan verdichtingsgraad als modelparameter.

Tabel 4 Posterior waarden voor coëfficiënten in levensduurmodel (prior waarden staan tussen haakjes)

coëfficiënt	Verdelingsfunctie	Gemiddelde μ	Standaardafwijking σ
a	Normaal	15.7 (18.0)	1.3 (2.0)
b	Normaal	3.3 (3.0)	0.7 (1.0)
ϵ	Lognormaal	0 (0)	s
s	Lognormaal	1.5 (2.0)	0.35 (1.6)

Dit eenvoudige model leidt tot de volgende conclusies met betrekking tot de levensduur. Ten opzichte van de vooraf aangenomen levensduur van 18 jaar blijkt de gemiddelde levensduur op basis van de data 15,7 jaar te zijn. Daarnaast zorgt een delta in holle ruimte van -2 (98% verdichting) voor een gemiddelde verkorting van de levensduur met 6,6 jaar wat resulteert in een verwachting voor de levensduur van 9,1 jaar. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de data waarop dit gebaseerd is heel beperkt is en dat deze inzichten niet als betrouwbaar moeten worden gezien, maar vooral dienen als illustratie hoe deze modelontwikkeling werkt.

Hoe het model zich gedraagt is mede afhankelijk van de gekozen priors en dit moet bij de uiteindelijke ontwikkeling van het (volledige) model verder worden onderzocht. Ook merken we op dat er nu nog geen gebruik is gemaakt van gegevens van de objecten/rijstroken die nog niet een somVanRafeling gelijk aan 4 hebben bereikt. Ook deze waarnemingen bevatten informatie (zij het minder directe informatie) die meegenomen kan worden in de modelupdate.

6. Conclusies en aanbevelingen

Met behulp van een heel beperkte dataset van 21 individuele sets is een datastructuur uitgewerkt en deze is gebruikt voor het formuleren van een model voor rafeling van SMA, waarbij de aanname is gedaan dat uitvoeringsafwijkingen invloed hebben op de levensduur. Een eerste modelimplementatie is gerealiseerd. Deze laat zien dat afwijkingen in holle ruimte en verdichtingsgraad correleren met de gerealiseerde levensduur. Hierbij is ook getoond hoe je met een Bayesiaanse benadering een theoretisch of empirisch model kan ijken. Om de waarde van deze aanpak verder te verkennen in een grotere oplossingsruimte zullen meer data uit de kwaliteitsdossiers van Gelderland toegankelijke

moeten worden gemaakt. Indien er meer data beschikbaar is wordt het mogelijk de modelimplementatie uit te breiden naar meerdere waarden, zoals bitumen gehalte en afwijkingen in korrelgradering.

Deze modelimplementatie kan ook ingezet worden voor andere schademechanismen. In dat geval zullen andere parameters als maatgevend worden aangeduid en zal de zogenaamde prior ook anders zijn, maar de aanpak is gelijk.

De datasets uit de kwaliteitsdossiers van de provincie Gelderland zijn in hun huidige vorm niet direct geschikt als input voor een levensduurmodel. Er moet een aanzienlijke inspanning in databewerking ('opschonen') worden gedaan om data geschikt te maken als modelinvoer. Het zou overwogen kunnen worden om de numerieke waarden uit het opleveringsdossier meteen op te nemen in een database die ook eenvoudig benaderd kan worden door de beheerafdeling.

Referenties

Greet Leegwater, Kirsten Roetert Steenbruggen, Diederik van Lent, Bart Luiten, Jacob Groenendijk en Martijn Schipper, Asphalt-Impuls – LAM – inventarisatie levensduurmodellen asphalt, TNO 2019 R10658, 2019.

G.A. Leegwater, W.M.G. Courage, M. Moenielal, G. Martini, D.Q. van Lent, G.T. Luiten, Asphalt-Impuls - LAM – Fase 3 – WP2: Doorontwikkeling van het Proof of Concept van een levensduurvoorspellend asphaltmodel, TNO 2020 R12293, 2020.

PIM, <https://www.crow.nl/thema-s/informatiemanagement/bim-bites-best-practices-use-cases-1/bim-bites/bim-bites/2021/data-van-het-wegenbouwproces-gestructureerd-regist>, geraadpleegd jan 2022.