

Voorspellen van de stroefheidontwikkeling van open asfaltmengsels in de praktijk met behulp van mineralogische kennis van het steenslag.

Paul Kuijper, Thijs Bennis en Jan Voskuilen
Rijkswaterstaat

André Hellmann
Core Power

Giljam Derksen
TNO

Cyrus Gharabaghy
Cyrus Infra engineering

Samenvatting

Na het in 2005 verhogen van de eisen voor steenslag in asfaltdeklagen voor autosnelwegen van steenslag 2 naar steenslag 3 (100% gebroken materiaal en een polijstgetal van minimaal 58) ontstonden er in 2010 opnieuw stroefheidproblemen op het hoofdwegennet. Geconstateerd werd dat een relatief groot aantal wegvakken, met als gemeenschappelijk kenmerk het toegepaste steenslag Augitporphyrit, binnen relatief korte tijd de minimale stroefheidnorm naderde. Daar dit steenslag volgens de meegeleverde CE markering voldeed aan de eisen voor steenslag 3, was er niet direct een verklaring te vinden voor het vroegtijdig falen op stroefheid. Dit was aanleiding voor Rijkswaterstaat om een nader onderzoek in te stellen.

Het onderzoek moest antwoord geven op de vraag of de voorspelling van het polijstgedrag in de praktijk door middel van het polijstgetal kan worden verbeterd door behalve informatie over het polijstgetal ook informatie over de mineralogische samenstelling te beschouwen. In deze paper wordt verslag gedaan van de resultaten van het onderzoek.

Steekwoorden: polijstgetal, steenslag, ZOAB, Augitporphyrit, mineralogie

1. Inleiding

Rijkswaterstaat (RWS) past al vanaf 1987 ZOAB op het hoofdwegennet (HWN) toe, voornamelijk ten behoeve van de geluidreductie, maar later ook vanwege het verhoogde rijcomfort voor de automobilist (minder spat en stuifwater). Momenteel bestaat 87% van de deklagen van het HWN uit ZOAB, waarvan 18% tweelaags ZOAB is. Einde levensduur wordt meestal ingeleid door te hoge mate van rafeling (steenverlies uit het oppervlak). Behalve met de aanvangstroefheid, waren er met ZOAB geen problemen met stroefheid, totdat er in 2004 een aantal ongevallen plaats vond op de A12 nabij Zoetermeer. Onderzoek wees uit dat het bewuste ZOAB wegvak een te lage stroefheid had. Naar aanleiding hiervan heeft RWS een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de oorzaken hiervan. Er bleken meerdere ZOAB wegvakken van relatief jonge leeftijd (ca. 5 tot 6 jaar oud) te bestaan, die niet aan de stroefheidnorm voldeden. In de toegepaste ZOAB bleek voor het merendeel morene steenslag en Nederlandse steenslag te zijn toegepast. Dit gebroken riviergrind bestaat niet uit 100% gebroken materiaal en heeft een polijstgetal van 53 tot 56. Bij toepassing van materiaal uit steengroeven met een hoog polijstgetal werden geen stroefheidproblemen in ZOAB geconstateerd.

Om stroefheidproblemen in de toekomst te voorkomen heeft RWS voor toepassing in deklagen de eisen voor steenslag verhoogd. Vanaf 2005 mocht in deklagen van autosnelwegen alleen nog maar steenslag 3 worden toegepast. Dit betekent dat alleen 100% gebroken steenslag met een polijstgetal van minimaal 58 mag worden toegepast [1].

In 2010 is RWS echter weer geconfronteerd met beduidend meer wegvakken met relatief jong ZOAB (ca. 5 tot 6 jaar oud), dat in relatief korte tijd de minimale stroefheidnorm naderde. Onderzoek wees uit dat de sterke afname van de stroefheid werd geconstateerd in ZOAB wegvakken, die als gemeenschappelijk kenmerk hadden dat er vooral Augitporphyrit als steenslag was toegepast. Daar dit steenslag volgens de meegeleverde CE markering voldoet aan de eisen voor steenslag 3, was er niet direct een verklaring te vinden voor het vroegtijdig falen op stroefheid.

Dit was aanleiding voor Rijkswaterstaat om een nader onderzoek in te stellen.

2. Vraag en probleemstelling

Uit [2] is gebleken dat de op de CE-certificaten gedeclareerde waarden voor het polijstgetal steeds voldeden aan de contracteis voor steenslag 3, namelijk een polijstgetal van minimaal 58. Ervan uitgaande dat daadwerkelijk steenslag klasse 3 is geleverd, is de conclusie getrokken dat uitsluitend het gedeclareerde polijstgetal geen zekerheid geeft over de weerstand tegen polijsten in de praktijk. Door de Ad Hoc Expertgroep Stroefheid van RWS is gevraagd om te onderzoeken in hoeverre inzicht in de mineralogische samenstelling van steenslag een nauwkeuriger voorspelling kan geven voor het polijstgedrag in de praktijk

3. Doel van het onderzoek

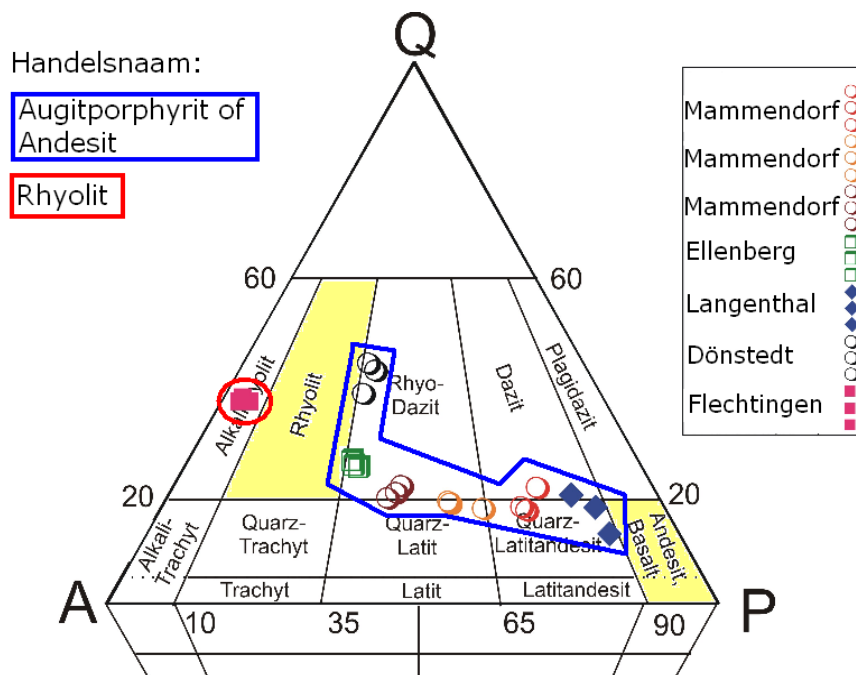
Het doel van het onderzoek is nagaan of de voorspelling van het polijstgedrag in de praktijk door middel van het polijstgetal kan worden verbeterd door behalve informatie over het polijstgetal ook informatie over de mineralogische samenstelling te beschouwen. Het beoogde doel wordt in twee stappen bereikt door:

- Het zoeken naar een verband tussen het polijstgetal en de mineralogische samenstelling van het steenslag

- Het zoeken naar het verband tussen in de praktijk, op het gebied van de stroefheidontwikkeling, goed en slecht presterende ZOAB mengsels en de mineralogische samenstelling van het steenslag in deze ZOAB mengsels.

4. Mineralogie

Mineralogie is een belangrijk onderdeel van de aardwetenschappen. Het is de wetenschappelijke bestudering van de mineralen, hun voorkomen, hun structuur en hun eigenschappen. Er bestaan verschillende typen steensoorten. Zo is er gesteente dat ontstaat ten gevolge van vulkanische activiteit of gesteente dat wordt gevormd door afgezet sediment of organisch materiaal. Het eerste type gesteente wordt stollingsgesteente genoemd en het tweede type is het zogenoemde sediment- of afzettingsgesteente. Bij stollingsgesteente wordt vervolgens nog onderscheid gemaakt in het dieptegesteente (Plutoniet) zoals Graniet en Gabbro of het oppervlaktegesteente (Vulkaniet) zoals Rhyoliet en Andesiet. Het uitsluitend verklaren van eigenschappen op basis van de naam van een gesteente zou echter tot verrassingen kunnen leiden. In figuur 1 is een gedeelte van het Streckeisendiagram weergegeven. In dit diagram worden groepen gesteenten (Vulkanieten) benoemd op basis van de verhouding tussen de mineralen kwarts, alkaliveldspaat en plagioklaas. Augitporphyrit is overerigens een handelsnaam voor Andesiet. In figuur 1 zijn de steenslagen van verschillende groeves weergegeven.



Figuur 1. Gedeelte van het Streckeisendiagram.

Uit figuur 1 blijkt dat het gesteente dat Andesit wordt genoemd een groot gebied in het Streckeisendiagram beslaat. Of al deze verschillende typen materiaal dezelfde eigenschappen hebben is de vraag.

5. Opzet van het onderzoek

De opzet van het onderzoek is grofweg in twee delen te splitsen. In het eerste deel is het verband bepaald tussen de mineralogische samenstelling van steenslag en het polijstgetal van datzelfde steenslag. Hiertoe is door Rijkswaterstaat in augustus 2011 een vijftal steengroeven bezocht. Uit

drie van deze steengroeven (Mammendorf, Dönstedt en Flechtingen) werd in de periode 2005 t/m 2010 steenslag aan Nederland geleverd. Vanuit de andere twee steengroeven (Langenthal en Ellenberg) is geen steenslag aan Nederland geleverd. In elke steengroeve is één greep aan monstermateriaal genomen, met uitzondering van de groeve Mammendorf, waar twee grepen zijn genomen. Van elke greep zijn drie deelmonsters genomen voor de bepaling van het polijstgetal conform DIN-EN 1097-8 door de BAST te Bergisch Gladbach en drie deelmonsters voor de bepaling van de mineralogische samenstelling door de firma Core Power UG/EMT-Power GmbH te Siegen. Hierbij is gebruik gemaakt van de normen DIN 52100-2, EN 12407, EN 12440 en EN 12670.

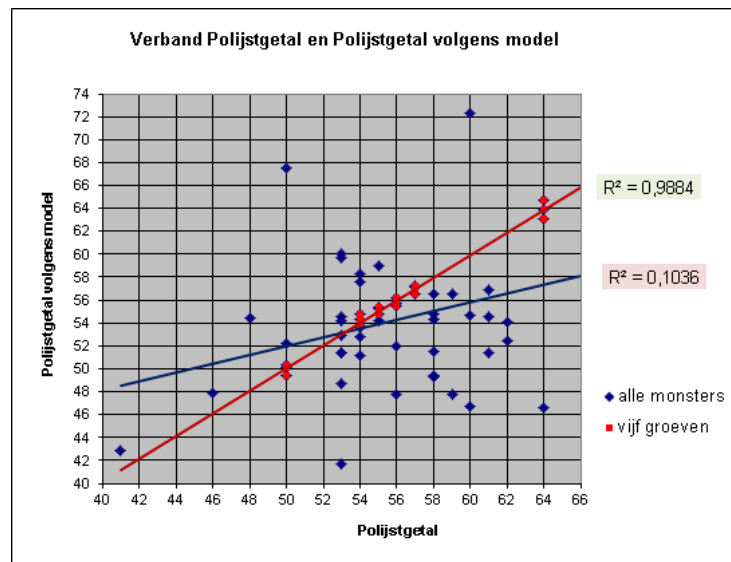
Met behulp van het in deze groeven bemonsterde materiaal is een eerste model gemaakt dat het verband weergeeft tussen het gemeten polijstgetal en de mineralogische samenstelling. Vervolgens is dit model gevalideerd met de resultaten van 40 andere monsters. Deze validatie leidde ertoe dat een nieuw model gemaakt is. Bovendien moest onderscheid gemaakt worden naar type steenslag. Er zijn nu twee modellen, één voor stollingsgesteente en één voor sedimentgesteente.

In het tweede deel is de relatie gelegd tussen de mineralogische samenstelling van steenslag en de stroefheidontwikkeling in de praktijk van ZOAB mengsels waarin dat steenslag is verwerkt. Hierbij is gebruik gemaakt van het door Rijkswaterstaat ontwikkelde stroefheidvoorspellende model [3] en de in deel 1 ontwikkelde modellen. Met behulp van het stroefheidvoorspellende model is het mogelijk om ZOAB mengsels in wegvakken te kwalificeren als goed of slecht presterende asfaltmengsels op het gebied van de stroefheidontwikkeling.

6. Verband polijstgetal en mineralogische samenstelling

Door middel van lineaire regressie is het verband tussen het gemeten polijstgetal en het op basis van de mineralogische samenstelling bepaalde polijstgetal bepaald. Dit verband is gevalideerd met monsters uit de database van de firma Core Power. Voor de validatie zijn 21 monsters stollingsgesteente en 19 monsters sedimentgesteente gebruikt. De monsters waren zowel door Rijkswaterstaat als door medewerkers van de aannemerij bij Core Power aangeleverd.

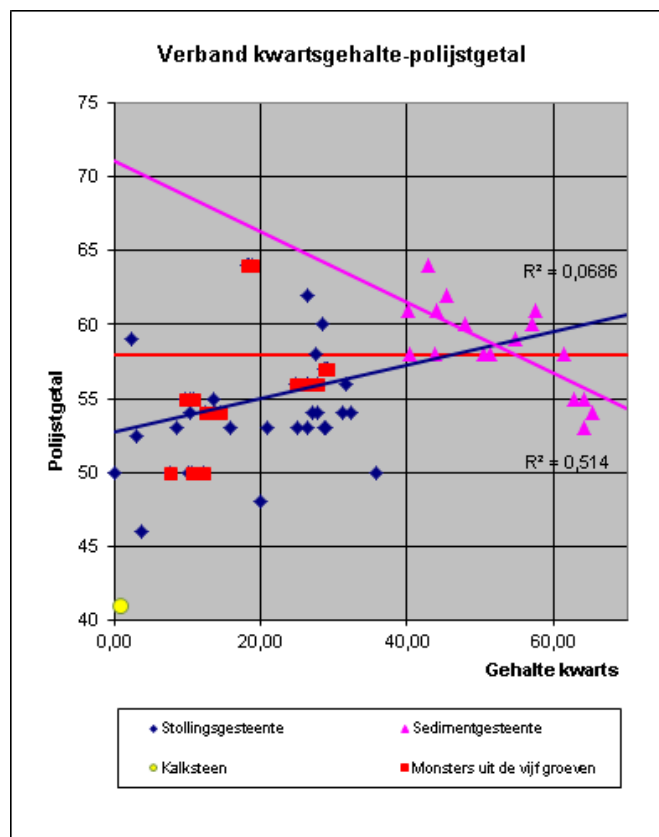
In figuur 2 is het verband tussen het gemeten polijstgetal en het op basis van de mineralogische samenstelling berekende polijstgetal weergegeven op uitsluitend het materiaal dat in de vijf groeven is genomen (rode lijn) en op basis van alle monsters (blauwe lijn).



Figuur 2. Verband tussen het gemeten en berekend polijstgetal

Uit figuur 2 blijkt dat er van het uitzonderlijk sterke verband ($R^2 = 0,99$) bepaald op het materiaal uit de vijf door Rijkswaterstaat bemonsterde steengroeven zeer weinig overblijft, wanneer daar andere monsters aan worden toegevoegd. Het verband wordt zeer zwak ($R^2 = 0,10$).

Het onderzoek op de materialen uit de vijf door RWS bemonsterde steengroeven leverde wel een waarde op voor de herhaalbaarheid (r) van de mineralogische beproevingsmethode. Deze herhaalbaarheid bedraagt 2,18. Gegevens over de reproduceerbaarheid (R) zijn niet bekend. Het mislukken van de validatie maakte nader onderzoek noodzakelijk. Het blijkt dat stollingsgesteente en sedimentgesteente verschillend reageren op de hoeveelheid kwarts in het steenslag.



Figuur 3. Verband tussen kwartsgehalte en polijstgetal.

Dit wordt duidelijk in figuur 3, waarin dezelfde monsters zijn weergegeven als in figuur 2. In figuur 3 is het polijstgetal uitgezet tegen het kwartsgehalte.

Een toenemend kwartsgehalte zorgt er bij sedimentgesteente voor dat het polijstgetal afneemt. Bij stollingsgesteente is er juist een licht stijgende trend waarneembaar bij een toenemend gehalte aan kwarts. Een uitzondering bij sedimentgesteente wordt gevormd door kalksteen. Dit sedimentgesteente bevat totaal geen kwarts, maar heeft toch een zeer laag polijstgetal.

Opmerkelijk in figuur 3 is dat sedimentgesteente (op kalksteen na) altijd een kwartsgehalte van meer dan 40 % heeft.

Doordat sedimentgesteente qua stroefheidontwikkeling (uitgedrukt in het polijstgetal) anders reageert op de mineralogische samenstelling dan stollingsgesteente is het noodzakelijk om voor beide typen gesteente een apart model te ontwikkelen.

Het model voor stollingsgesteente wordt beschreven met het model

$$\text{Polijstgetal} = c + 0,152X_1 - 0,765X_2 + 2,954X_3 + 0,525X_4 + 0,166X_5$$

Hierin is:

$$c = 43,379$$

X_1 = gehalte aan Chloriet 2B4

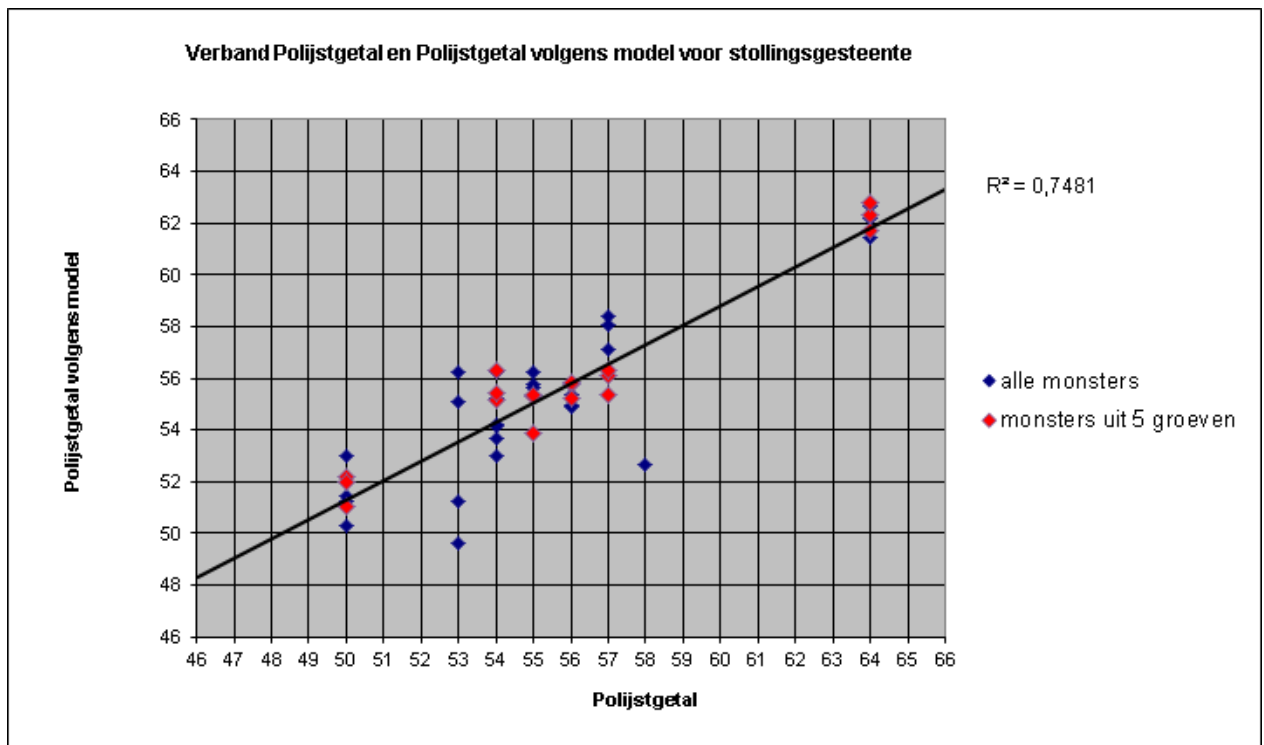
X_2 = gehalte aan Rutiel en Anataas

X_3 = gehalte aan Biotiet

X_4 = gehalte aan Smectiet

X_5 = gehalte aan Alkaliveldspaat

Het verband wordt weergegeven in figuur 4.



Figuur 4. Verband tussen polijstgetal en polijstgetal volgens model stollingsgesteente.

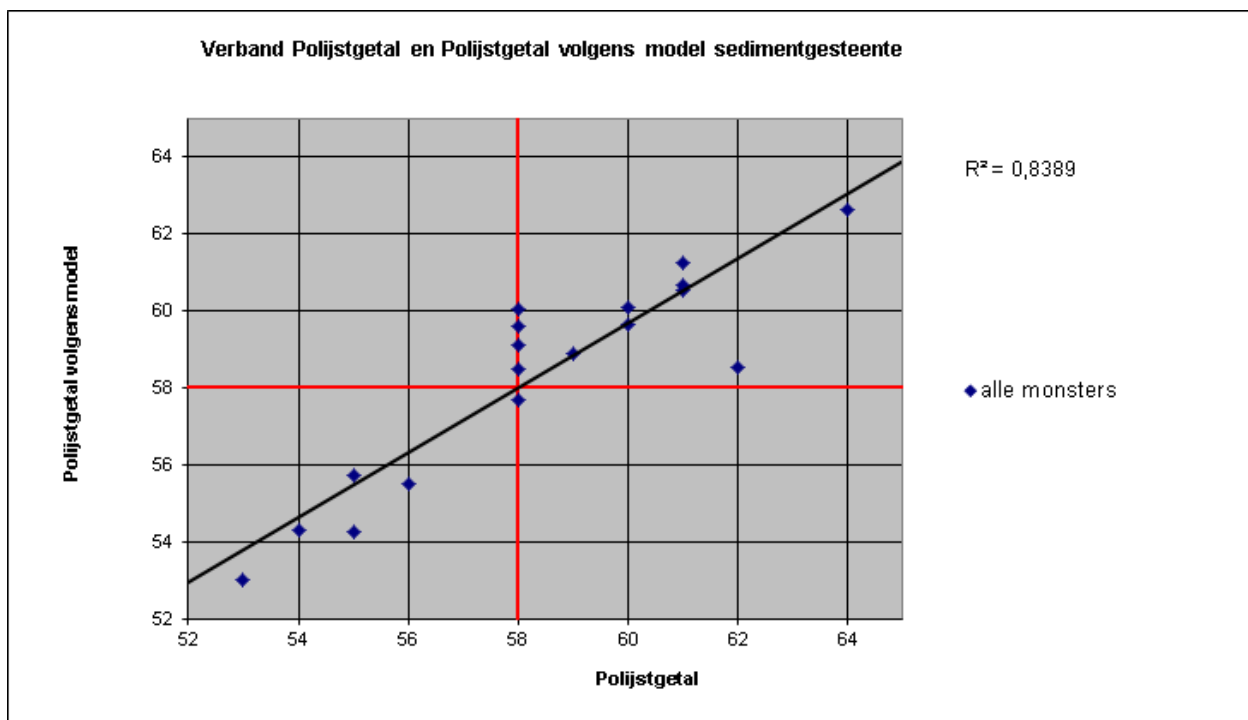
Het model voor sedimentgesteente wordt beschreven als:

$$\text{Polijstgetal} = c + 0,269X_1 + 0,736X_2 + 0,090X_3 - 0,145X_4$$

Hierin is:

- c = 55,056
- X_1 = gehalte aan Witte Mica
- X_2 = gehalte aan Ankeriet
- X_3 = gehalte aan Alkaliveldspaat
- X_4 = gehalte aan zachte mineralen

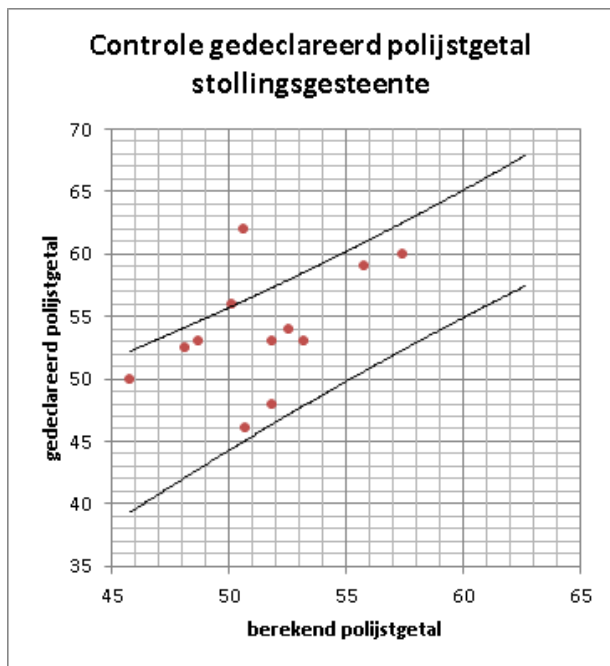
Het verband wordt weergegeven in figuur 5.



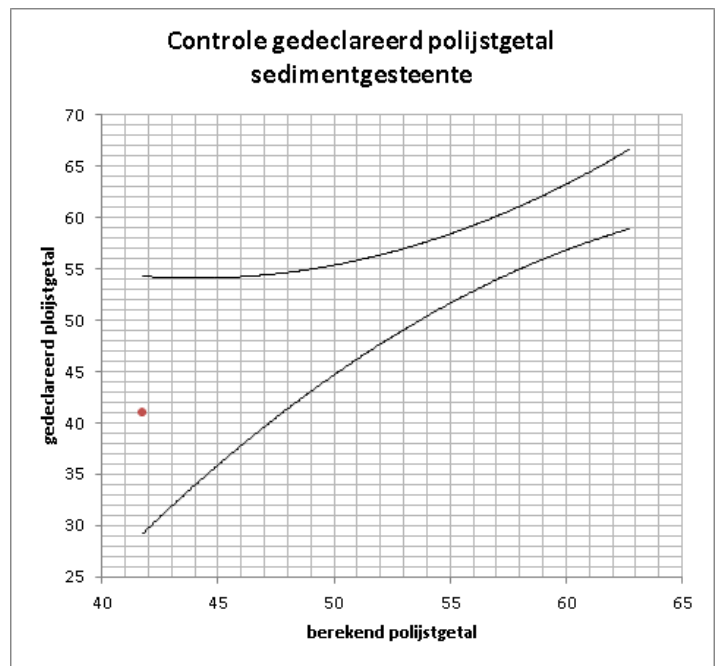
Figuur 5. Verband tussen polijstgetal en polijstgetal volgens model sedimentgesteente.

De beide modellen tonen een zeer sterk verband tussen het gemeten polijstgetal en het op basis van de mineralogische samenstelling berekende polijstgetal.

Het model voor het stollingsgesteente is bepaald op uitsluitend de monsters die door Rijkswaterstaat zijn aangeleverd. Met behulp van het model is het mogelijk om een gedeclareerd polijstgetal te beoordelen. In figuur 6 is het door de aannemer gedeclareerde polijstgetal vergeleken met het op basis van de mineralogische samenstelling berekende polijstgetal. Het gedeclareerde polijstgetal moet binnen de band van het 95% betrouwbaarheidsinterval liggen. Uit figuur 6 blijkt dat op één punt na alle gedeclareerde punten binnen de band vallen. Verder valt op dat de band relatief breed is (plus of min 5 punten). Door uitgebreider onderzoek moet het mogelijk zijn om deze band nauwer te maken. Het model voor het sedimentgesteente is gebaseerd op alle beschikbare monsters, behalve het monster kalksteen. Dit monster vertoont een afwijkend gedrag ten opzichte van het overige sedimentgesteente (zie figuur 3). Dit monster is gebruikt voor de controle van het gedeclareerde polijstgetal (zie figuur 7).



Figuur 6. Verband tussen berekend en opgegeven polijstgetal voor stollingsgesteente.



Figuur 7. Verband tussen berekend en opgegeven polijstgetal voor sedimentgesteente.

Opvallend in figuur 7 is dat het betrouwbaarheidsgebied rond het gedeclareerde polijstgetal zeer groot is (plus of min 12 punten). Dit komt doordat er sterk geëxtrapoleerd moet worden. Tevens valt op dat het gedeclareerde polijstgetal vrijwel in het midden van de band ligt, waaruit geconcludeerd wordt dat het model ook op dit afwijkende sedimentgesteente past. Dat het model past, komt doordat het gehalte aan zachte mineralen (kalksteen bestaat voor vrijwel 100% uit zachte mineralen) in het model een negatieve invloed heeft op het polijstgetal.

7. Verband praktijkgedrag en mineralogische samenstelling

Het ultieme doel van het onderzoek is om het praktijkgedrag van open asfaltmengsels op het gebied van de stroefheidontwikkeling te voorspellen aan de hand van de mineralogische samenstelling van het in dat open asfaltmengsel gebruikte steenslag.

Van de meeste bij de modellering betrokken gesteenten is het praktijkgedrag niet bekend, maar van een klein aantal is dat wel het geval. Bij het praktijkgedrag wordt onderscheid gemaakt in ZOAB mengsels die goed en slecht presteren qua lange-termijn stroefheid.

Een ZOABmengsel dat goed presteert op het gebied van de stroefheidontwikkeling kan circa $450 \cdot 10^6$ voertuigpassages weerstaan voordat de stroefheid onder de norm van 0,42 komt. Voor het bepalen of een ZOABmengsel aan deze eis voldoet is gebruik gemaakt van het stroefheidsvoorspellende model [3]. Voor ZOAB geldt:

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

Hierin is:

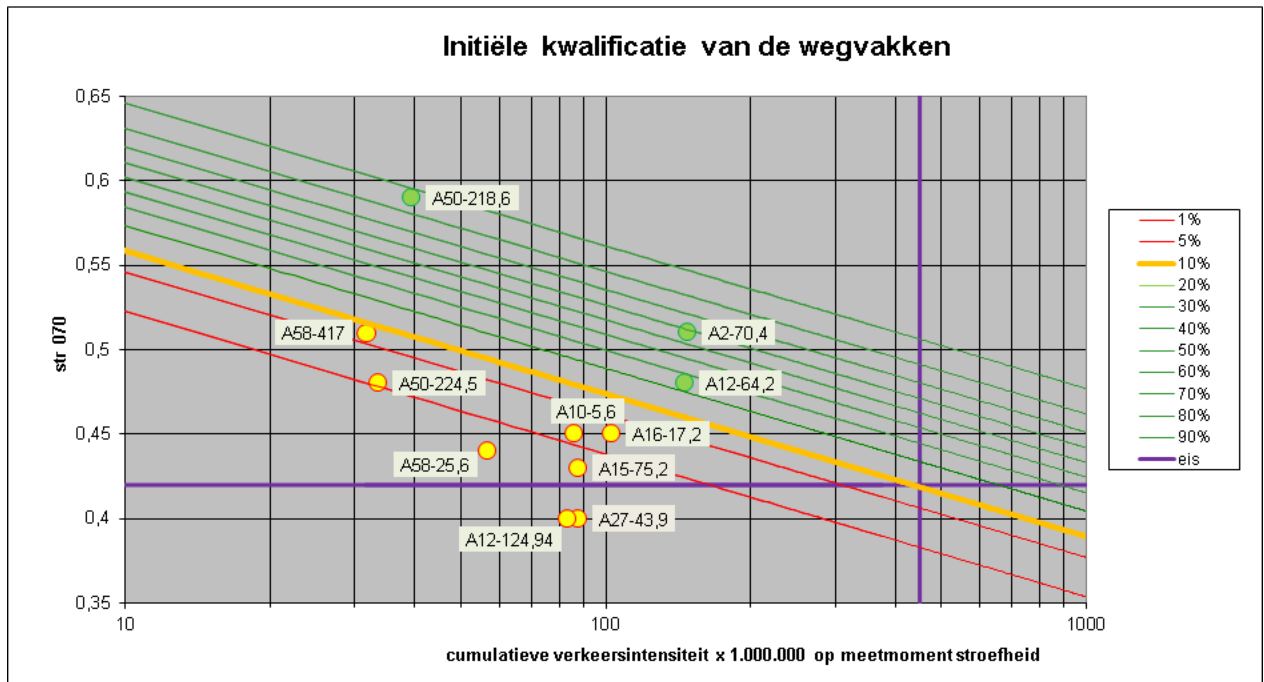
Str70 = gemiddelde stroefheid bij 70 km/uur en bij het 50% punt

a = het intercept, afhankelijk van type asfalt en percentiepunt = 0,470

b = de helling, afhankelijk van type asfalt = -0,0845

Het model geeft een gemiddeld verloop van de stroefheid weer. Met behulp van het model is het mogelijk om een schatting te maken van het totale aantal voertuigpassages dat een ZOAB kan hebben tot de interventiewaarde voor stroefheid.

In figuur 8 is dit gedaan voor elf ZOAB wegvakken, waarvan de mineralogische samenstelling van het steenslag bekend is. De stroefheid van een wegvak zal zich in theorie parallel aan de in figuur 8 weergegeven percentielijnen ontwikkelen. Een goed ZOAB wegvak zal na 450×10^6 voertuigpassages (verticale paarse lijn) nog steeds een stroefheid van 0,42 (horizontale paarse lijn) hebben.



Figuur 8. Initiële kwalificatie van ZOAB wegdekken.

In tabel 1 is voor de betreffende ZOAB wegvakken aangegeven wat volgens de mineralogische samenstelling het type gesteente is en wat volgens het model het maximaal aantal voertuigpassages en de daarmee samenhangende kwalificatie is.

Tabel 1: Kwalificatie van de wegvakken

Rijksweg	Rijbaan	HM-van	HM-tot	Aanlegjaar	Materiaal volgens mineralogie	Maximaal aantal voertuigpassages	Kwalificatie
A50	HRL	218,600	218,300	2006	Sediment	4.051×10^6	Goed
A10	HRL	5,600	5,200	2005	Mix vulkanisch en sediment	194×10^6	Slecht
A50	HRL	224,500	224,200	2006	Vulkanisch	172×10^6	Slecht
A58	HRR	25,600	25,900	2005	Vulkanisch	98×10^6	Slecht
A12	HRR	124,940	125,285	2004	Vulkanisch	48×10^6	Slecht
A16	HRR	17,200	17,800	2006	Vulkanisch	233×10^6	Slecht
A2	HRR	70,400	70,500	2001	Sediment	1.721×10^6	Goed
A12	HRR	64,200	64,300	2000	Sediment	749×10^6	Goed
A27	HRL	43,900	43,800	2002	Nederlandse steenslag	369×10^6	Slecht
A15	HRL	75,200	75,100	2003	Nederlandse steenslag	51×10^6	Slecht

A58	HRL	41,700	41,400	2012	Vulkanisch	115 x 10 ⁶	Slecht
-----	-----	--------	--------	------	------------	-----------------------	--------

Vervolgens is de relatie bepaald tussen de kwalificatie van de wegvakken en het op basis van de mineralogische samenstelling bepaalde polijstgetal. Hiervoor is van elk wegvak meerdere jaren aan stroefheidsgegevens gebruikt. Deze gegevens zijn afkomstig uit de Meerjarenplanning Verhardingen (MJPV) van RWS. Het verband tussen de kwalificatie en het polijstgetal is weergegeven in de volgende formule¹:

$$\text{Kwalificatie goed/slecht} = c + 0,171X$$

Hierin is:

$$c = -9,2874$$

X = op basis van mineralogie berekend polijstgetal

Voor de berekening van X dient uiteraard het juiste model (stollingsgesteente of sedimentgesteente) te worden gebruikt. De determinatiecoëfficiënt (R^2) bedraagt 0,6342 hetgeen betekent dat er een sterk verband tussen de beide variabelen is.

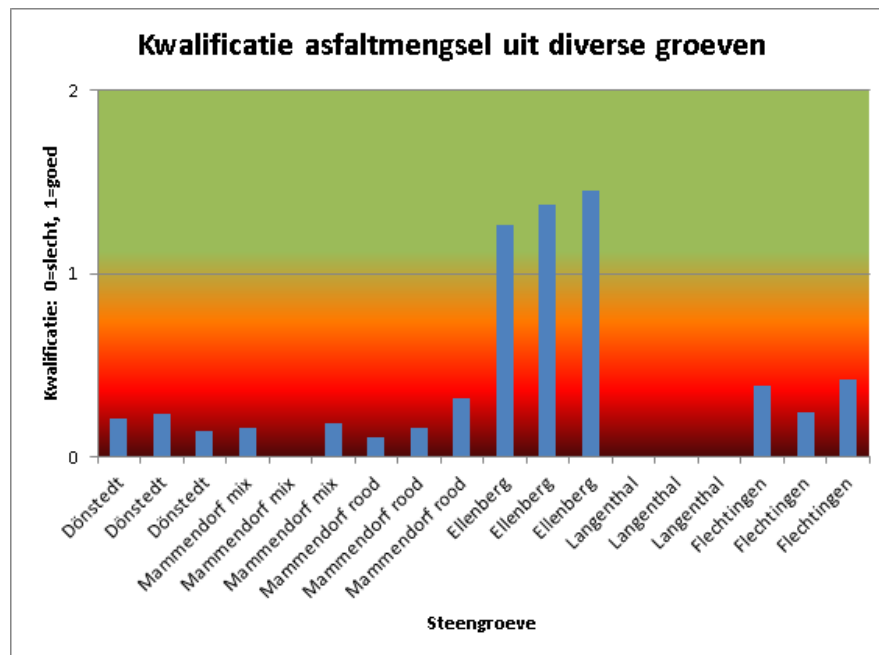
De mogelijkheden van het model zijn gevalideerd met de mineralogische gegevens van de vijf in paragraaf 3 genoemde steengroeven. Op basis van de mineralogische samenstelling is met behulp van het model berekend of er met het materiaal uit deze steengroeven een goede ZOAB kan worden ontworpen met een voldoende lange-termijn stroefheid. Het resultaat is weergegeven in figuur 9. Kwalificatie 0 is slechte lange-termijn stroefheid, kwalificatie 1 is goede lange-termijn stroefheid.

Uit figuur 9 wordt afgeleid dat met materiaal uit het bemonsterde gedeelte van de groeve Ellenberg een ZOAB mengsel kan worden ontworpen dat ten minste 450 x 10⁶ voertuigpassages kan weerstaan voordat de harde norm voor de stroefheid (0,42) wordt overschreden. Dit ZOAB mengsel wordt op het gebied van de stroefheidontwikkeling gekwalificeerd als een goede ZOAB.

Met het materiaal uit de bemonsterde delen van de overige steengroeven zijn geen ZOAB asfaltmengsels te maken die ten minste 450 x 10⁶ voertuigpassages kunnen weerstaan voordat de harde norm voor de stroefheid (0,42) wordt overschreden.

Er zijn geen gegevens bekend over de stroefheidontwikkeling van ZOAB mengsels waarin steenslag uit de groeve Ellenberg is verwerkt. Wel zijn er ervaringscijfers met materiaal uit de groeven Dönstedt, Mammendorf en Flechtingen. Deze ervaringscijfers zijn in overeenstemming met de weergave in figuur 9.

¹ Deze formule wordt nog verder ontwikkeld.



Figuur 9. Kwalificatie stroefheid van ZOAB met steenslag uit diverse steengroeven.

8. Conclusies

Uit het onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- Op basis van de mineralogische samenstelling van het steenslag is het mogelijk om het polijstgetal van dat steenslag te berekenen. Hiervoor zijn twee verschillende modellen noodzakelijk, namelijk één voor stollingsgesteente en één voor sedimentgesteente.
- Op basis van de mineralogische samenstelling is het mogelijk om het praktijkgedrag van een ZOAB mengsel op het gebied van de stroefheidontwikkeling te voorspellen. ZOAB mengsels kunnen gekwalificeerd worden als goede mengsels (1) of als slechte mengsels (0) qua lange-termijn stroefheid. Slechte ZOAB mengsels kunnen minder dan 450×10^6 voertuigpassages aan voordat de norm wordt overschreden
- De herhaalbaarheid van een mineralogische bepaling bedraagt 2,18.

9. Aanbevelingen

Van de mineralogische bepaling is de herhaalbaarheid bekend. Er waren echter geen gegevens beschikbaar om de reproduceerbaarheid te bepalen.

Aanbevolen wordt om door middel van een ringonderzoek de reproduceerbaarheid (R) van de meting te bepalen.

Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van diverse modellen, zoals het stroefheid voorspellende model, de modellen voor de berekening van het polijstgetal van sediment- en stollingsgesteente en het model voor de kwalificatie van open asfaltmengsels.

Aanbevolen wordt om:

- het stroefheid voorspellende model te updaten naar hedendaagse toegepaste steenslagen, de stroefheidsindex en de SKM-meting, die RWS in 2017 gaat toepassen i.p.v. de huidige stroefheidsmeting.
- de modellen voor de berekening van de polijstgetallen voor stollings- en sedimentgesteente te verifiëren met aanvullend onderzoek.
- indien de twee voornoemde punten daartoe aanleiding geven het model voor de kwalificatie van open asfaltmengsels opnieuw te bepalen.

Uit deze paper blijkt dat kennis over de mineralogische eigenschappen van steenslagen het mogelijk maakt om in een vroegtijdig stadium al iets te zeggen over de stroefheidontwikkeling op de lange termijn..

Aanbevolen wordt om na te gaan of kennis op het gebied van de mineralogie ook iets kan zeggen over andere schadeverschijnselen, zoals rafeling, vorstschade, etc.

10. Literatuurlijst

- [1] Peijs, K. “[Achtergronden stroefheidproblematiek rijkswegen, SDG/Prod/2005/657](#)”, 18 januari 2005
- [2] Gharabaghy, C.: Rapportage over het project “DVS onderzoek Andesit” – Boorkernonderzoek op 6 locaties. Maastricht, 2012
- [3] Kuijper, P.M.: [Trendanalyse van de stroefheidontwikkeling in bitumineuze deklagen](#). RWS/DVS, Delft, 2010