

Onderzoeksproject naar invloed van wegdektype op rolweerstand

Erik van Gils

M+P Raadgevende ingenieurs bv

Fred Reinink

M+P Raadgevende ingenieurs bv

Jan Hoogwerff

M+P Raadgevende ingenieurs bv

Samenvatting

In 2013 is vanuit de mogelijkheden van verschillende opdrachtgevers uitgebreid onderzoek gedaan naar de effecten van de textuur van verschillende wegdektypes op de rolweerstand. Metingen zijn uitgevoerd door de TU Gdansk (rolweerstand) en M+P (textuur). De meetresultaten laten zien dat zowel de rolweerstand als de textuurmetingen een goede herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid hebben. Met de gekozen onderzoeks aanpak blijkt het mogelijk om nauwkeurig (en statistisch significant) het effect van wegdektype (en textuur) op rolweerstand in kaart te brengen.

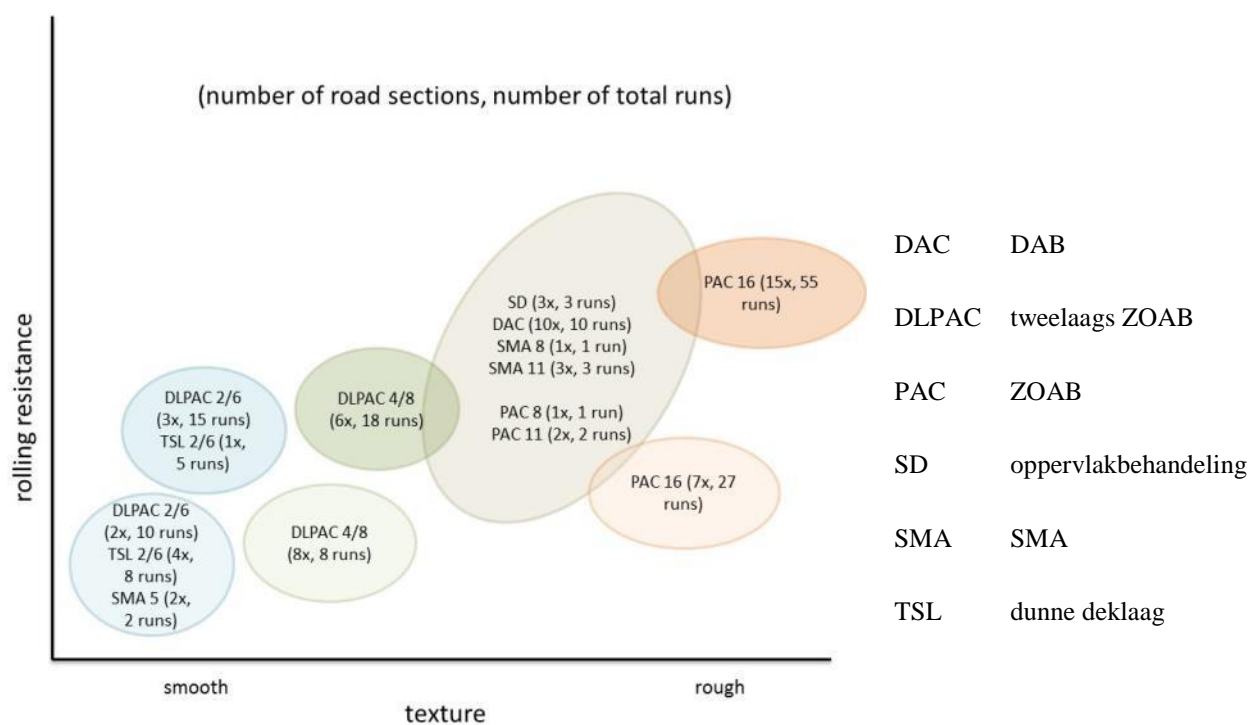
Met behulp van de rolweerstand en textuur meetdata is een aantal regressiemodellen onderzocht. Met zo'n model kan de rolweerstand bepaald worden op basis van één of meer textuurparameters, zoals MPD (Mean Profile Depth), RMS (Root Mean Square) en/of skewness. Met de beste modellen kan de rolweerstand bepaald worden met een modelonzekerheid van $\pm 3\%$.

1. Achtergrond

In de afgelopen jaren heeft M+P Raadgevende ingenieurs verschillende onderzoeken kunnen doen naar het effect van wegdektype op de rolweerstand. Deze onderzoeken zijn grotendeels gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat en provincie Gelderland. Daarnaast heeft het Cement&BetonCentrum onderzoek laten verrichten naar beton wegdekken en heeft M+P eigen onderzoeksbudget gebruikt. Voor de Infradagen zijn meerdere papers gemaakt, waarin de resultaten van verschillende deelgebieden gepresenteerd worden. Deze paper beschrijft de aanpak en meetmethode en ook de inzichten vanuit de aandacht die gegeven is aan onzekerheidsanalyses.

2. Meetopzet

Het meetprogramma bestaat uit 69 wegvakken waar zowel rolweerstand als textuur metingen zijn uitgevoerd. Er is een representatieve selectie van wegdektypen gemeten: ZOAB 16, tweelaags ZOAB 2/6, tweelaags ZOAB 4/8, DAB, dunne geluidreducerende dekklagen (DGAD), SMA en oppervlakbehandelingen. De geselecteerde wegvakken variëren zowel in onderhoudstoestand als in onderhoudsconditie. De meeste wegvakken met ZOAB en tweelaags ZOAB zijn gemeten op snelwegen. De wegvakken met DGAD en SMA voornamelijk op wegen in de provincie Gelderland. Een schematische weergave van de wegvakken en de verwachte rolweerstand en textuur waarden is weergegeven in figuur 1.



figuur 1 Schematische weergave van rolweerstand en textuur resultaten voor verschillende wegdektypen.

Referentie wegvakken en extra wegvakken

Verskillende wegvakken zijn meermaals gemeten. Dit zijn de referentie wegvakken. De resultaten van de metingen op deze wegvakken worden gebruikt om inschattingen van temperatureffecten, herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid te kunnen doen.

Daarnaast zijn 32 extra wegvakken geselecteerd waar alleen rolweerstand metingen zijn uitgevoerd. Het betreft ongeveer 150 km extra. Deze wegvakken zijn gebruikt om het rolweerstand model te valideren.

Rolweerstand model

Met behulp van de rolweerstand en textuur meetdata zal een aantal regressiemodellen worden onderzocht. Met deze regressiemodellen kan op basis van textuur parameters (MPD, RMS en Skewness) de rolweerstand worden bepaald.

In de volgende paragrafen wordt de meetapparatuur beschreven en worden de randvoorwaarden waarbinnen de metingen zijn uitgevoerd toegelicht.

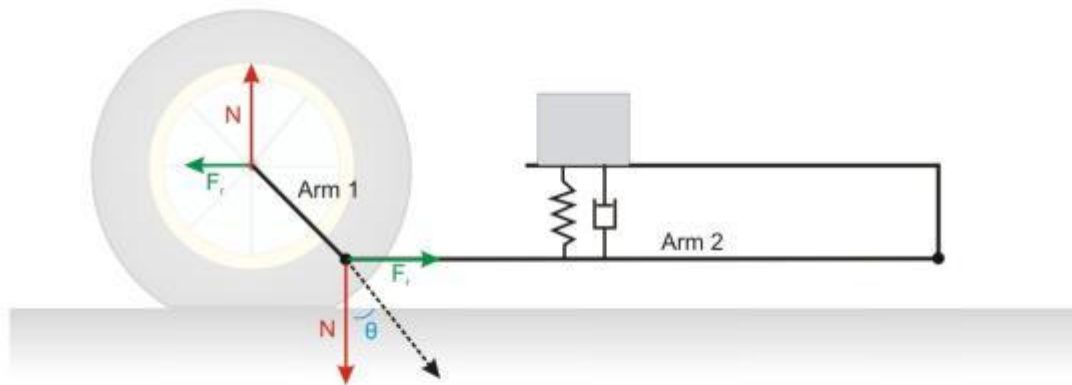
Meetapparatuur

Rolweerstand meetsysteem

De rolweerstandmetingen zijn uitgevoerd met de rolweerstandtrailer van de TU Gdansk. De trailer is afgebeeld in onderstaande foto. De twee voorste banden zijn de stuurbanden. De meetband bevindt zich in de behuizing en is bevestigd aan een arm. De hoek die de arm maakt, terwijl de meetband vrij over het wegdek rolt, is een maat voor de rolweerstand kracht op de meetband. Het principe is schematisch weergegeven onder de foto.



figuur 2 *De TU Gdansk trailer voor het uitvoeren van rolweerstandmetingen. De gedetailleerde foto laat de bevestiging van de meetband zien*



figuur 3 Schematische weergave van het meetprincipe van de TU Gdansk rolweerstand trailer

De rolweerstandmetingen zijn uitgevoerd met de SRTT (Standard Reference Test Tyre) bij een snelheid van 80 km/h. Het wordt verondersteld dat de meetsnelheid geen significant effect heeft op de rolweerstand. Verder is het systeem niet gevoelig voor (zij)wind.

Textuur meetsysteem

De textuurmetingen zijn uitgevoerd met het M+P textuur meetsysteem. Dit systeem bestaat uit een laser gecombineerd met data acquisitie systeem Tijdens de meetcampagne is de laser bevestigd op de TU Gdansk rolweerstand trailer. Het textuur meetsysteem voldoet aan ISO-13473-3 klasse D voor wat betreft verticale resolutie (beter dan 0,03 mm) en klasse E voor het golflengte bereik (groter dan 200 mm). Uit het ruwe textuurprofiel worden verschillende parameters bepaald. In dit project is gebruik gemaakt van MPD, RMS en Skewness.

Meetprocedure

De rolweerstand en textuurmetingen zijn gelijktijdig uitgevoerd. De laser is bevestigd aan de rolweerstandtrailer. Het textuurprofiel wordt gemeten in het midden van het rijspoor van de meetband.

Iedere serie metingen wordt gestart met het opwarmen van de meetbanden en het instellen van de bandenspanning op $2,10 \pm 0,01$ bar. De bandenspanning kan tijdens het rijden continu worden gemonitord.

Tijdens de metingen wordt naast de bandenspanning ook de bandtemperatuur, luchttemperatuur en wegdektemperatuur opgeslagen.

Randvoorwaarden voor metingen

Om weersinvloeden op de meetresultaten zover mogelijk te beperken, worden de metingen uitgevoerd binnen de volgende randvoorwaarden:

- Luchttemperatuur van minimaal + 5 °C;

- Geen neerslag;
- Wegdek moet droog zijn

De volgende randvoorwaarden zijn gehanteerd bij de selectie van wegvakken:

- Wegvakken zonder (scherpe) bochten;
- Wegdek moet vlak zijn.

3. Meetonzekerheden

Zowel bij de opzet als bij de analyse van de metingen is uitgebreid aandacht besteed aan meetonzekerheden. De totale onzekerheid wordt geschat op basis van bijdragen van verschillende componenten en inzichten van de metingen (bijvoorbeeld variantie, herhaalbaarheid, reproduceerbaarheid en temperatuureffecten). De invloed van enkele van deze parameters worden kort toegelicht.

Bandenspanning

Verschillen in bandenspanning kunnen invloed hebben op de gemeten rolweerstand. Daarom wordt de bandenspanning continu gemonitord en eventueel bijgesteld tot een bandenspanning van 2,10 bar. De tolerantiegrenzen liggen bij 2,05 bar en 2,15 bar. Door deze procedure te volgen is de invloed van variaties in bandenspanning klein. Daarom is er geen correctie toegepast op de meetresultaten.

Temperatuur

Uit eerdere studies blijkt dat de luchttemperatuur significante invloed heeft op de resultaten van de rolweerstandmetingen. Hierbij zijn effecten gevonden in de orde grootte van 0,06 tot 0,12 kg/t per °C. In dit onderzoek is ook de invloed van temperatuur op de meetresultaten onderzocht. Het blijkt dat de bandtemperatuur de beste correlatie heeft met de gemeten rolweerstandwaarden. Uit een regressieanalyse van rolweerstand en bandtemperatuur volgt de volgende correctie: $RRC_{T,corr} = RRC - (0,17 \pm 0,02) \cdot (25 - T_{tyre\ wall\ side})$

$$RRC_{T,gecorr} = RRC - (0,17 \pm 0,02) * (25 - T_{band})$$

De rolweerstandmetingen zijn uitgevoerd binnen een temperatuurbereik van 19 tot 31 °C. Alle resultaten in het onderzoek zijn gecorrigeerd voor de bandtemperatuur

Totale meetonzekerheid

De totale meetonzekerheid in de gemiddelde rolweerstand van een willekeurig wegvak wordt geschat op ±3 % (95 % betrouwbaarheidsinterval) van de rolweerstandcoëfficiënt.

4. Reproduceerbaarheid en herhaalbaarheid

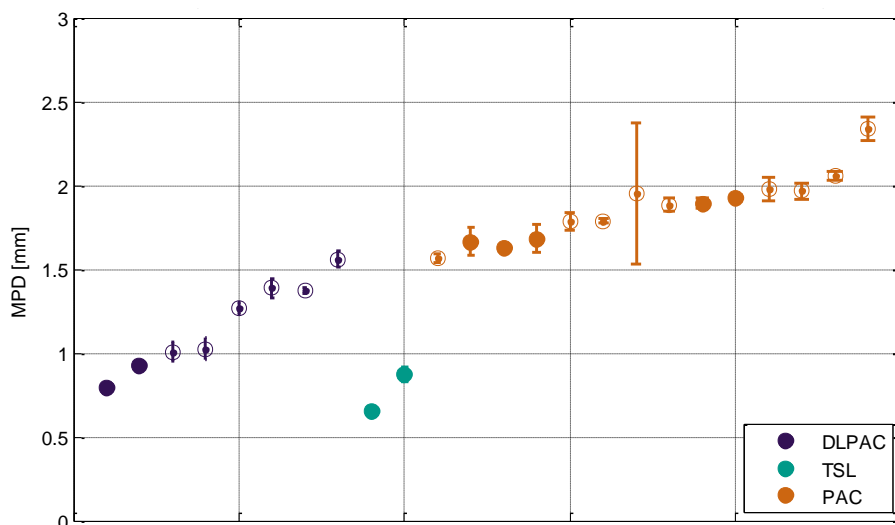
Om de kwaliteit van de rolweerstand en textuurmetingen te beoordelen is op basis van de metingen op enkele referentievakken een berekening gemaakt van de reproduceerbaarheid en herhaalbaarheid van beide meetinstrumenten.

De herhaalbaarheid is de variantie in meetresultaten die wordt verkregen als één operator meerdere metingen uitvoert onder dezelfde omstandigheden. Reproduceerbaarheid is de variantie die wordt verkregen uit andere factoren dan instrument onzekerheid.

Herhaalbaarheid

Een indicatie van de herhaalbaarheid van de rolweerstand en textuurmetingen wordt verkregen uit de resultaten van de metingen op de referentievakken, waarbij meerdere metingen zijn uitgevoerd op dezelfde locatie kort achter elkaar.

De MPD-waarden van deze referentievakken zijn weergegeven in figuur 4. Het betreft gemiddelde MPD-waarden over de gehele wegvaklengte. De spreidingsbalken geven $\pm 2\sigma$ aan van de gemiddelde MPD-waarden per meting op een specifiek wegvak. De open rondjes zijn wegvakken ouder dan 8 jaar, de dichte rondjes wegvakken jonger dan 8 jaar.

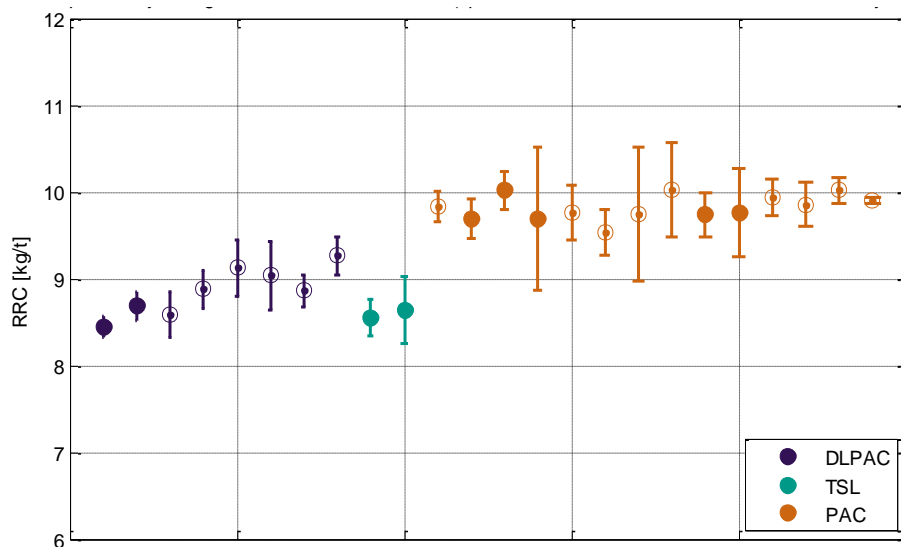


figuur 4 Gemiddelde MPD-waarden van de wegvakken die meerdere keren kort achter elkaar zijn gemeten. De resultaten zijn gerangschikt naar oplopende MPD-waarde.

Uit figuur 4 kan het volgende worden opgemerkt:

- Voor nieuwe wegvakken (8 jaar of jonger) is de herhaalbaarheid typisch $\pm 1-5\%$ van de MPD-waarde;
- Voor oudere wegvakken (ouder dan 8 jaar) is de variantie iets groter. De typische herhaalbaarheid is $\pm 1-6\%$ van de MPD-waarde.
- De kleinste reproduceerbaarheid (grootste afwijking) is gevonden voor 1 vak met ZOAB 16. De reden van deze afwijking is onduidelijk.

Dezelfde werkwijze is in figuur 5 voor de resultaten van de rolweerstandmetingen op deze wegvakken.



figuur 5 Gemiddelde rolweerstandcoëfficiënt van de wegvakken die meerdere keren kort achter elkaar zijn gemeten. Zelfde volgorde als figuur 4

Uit figuur 5 kan het volgende worden opgemerkt:

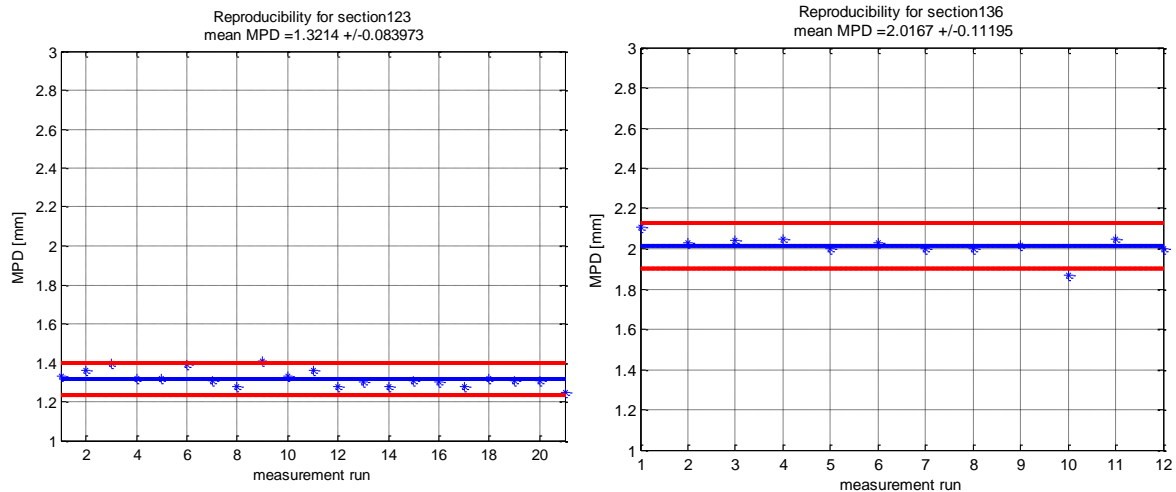
- De variabiliteit in de rolweerstandcoëfficiënt is procentueel is groter dan de variabiliteit in MPD-waarden;
- Zowel de oude en nieuwe wegvakken laten ongeveer dezelfde variantie zien. De typische herhaalbaarheid is $\pm 2-8\%$ van de rolweerstandcoëfficiënt.

Reproduceerbaarheid

Op twee vakken zijn in het kader van de bepaling van temperatureffecten op de rolweerstandmetingen, op meerdere dagen tweemaal de rolweerstand en textuur gemeten.

De variantie in de gemiddelde MPD-waarden per wegvak is een maat voor de reproduceerbaarheid. In figuur 6 zijn de MPD-waarden per vak en per meting weergegeven.

Uit de figuur blijkt dat de gemiddelde MPD-waarde van het eerste vak $1,32 \pm 0,08$ bedraagt. De MPD-waarde van het tweede vak is $2,02 \pm 0,11$. De opgegeven 95 % betrouwbaarheidsintervallen zijn respectievelijk 6% en 5% van de gemiddelde MPD-waarden.



figuur 6 *MPD-waarden op twee referentievakken. De rode lijn geeft $\pm 2\sigma$ van de MPD-waarden weer*

5. Rolweerstand-textuur model

Om de onderhoudstoestand van wegen in kaart te brengen, wordt regelmatig gebruik gemaakt van textuurmetingen. Rolweerstandmetingen worden veel minder uitgevoerd, maar zijn in het kader van duurzaamheid (bijv. CO₂-uitstoot) zeker interessant. Op basis van de data van de rolweerstand en textuurmetingen, is onderzoek gedaan naar regressiemodellen die op basis van één of meerdere textuurparameters (MPD, RMS, Skewness) een afschatting kunnen maken van de rolweerstandcoëfficiënt.

De volgende modellen enkelvoudige lineaire regressiemodellen zijn onderzocht:

- $RRC = C1 * MPD + C2$
- $RRC = C1 * RMS + C2$

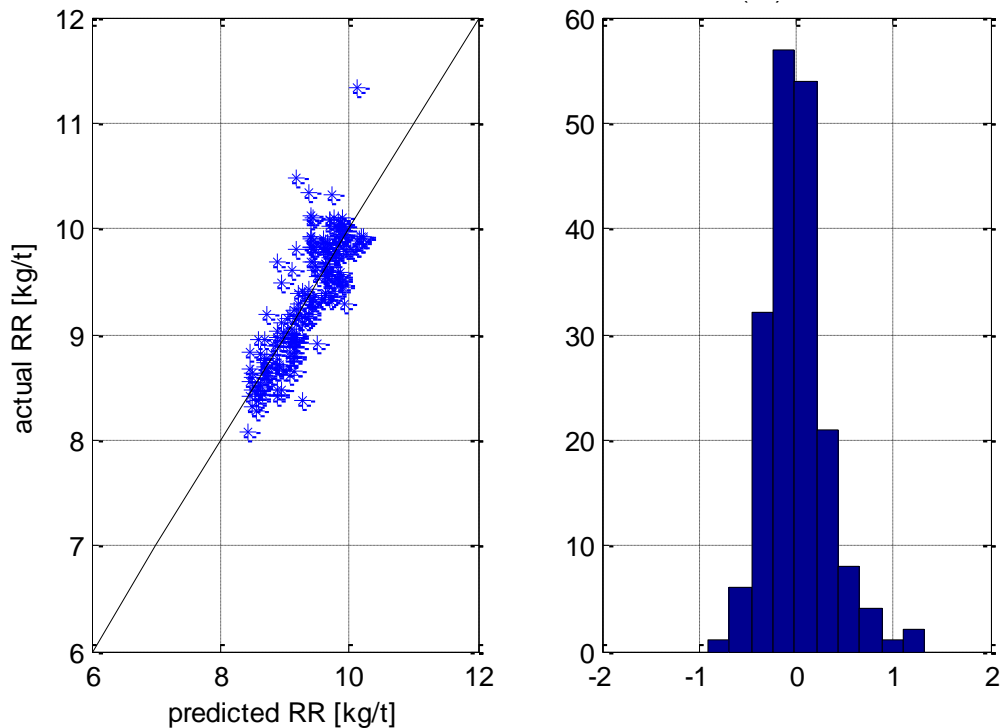
Daarnaast zijn de volgende meervoudige regressiemodellen getest:

- $RRC = C1 * MPD + C2 * RMS + C3 * Skewness + C3$
- $RRC = C1 * MPD + C2 * MPD/RMS + C3$

De beste correlatie wordt gevonden voor het volgende model:

$$RRC = (0.99 \pm 0.10) \cdot MPD + (0.63 \pm 0.25) \cdot \frac{MPD}{RMS} + (7.03 \pm 0.38)$$

In figuur 7 worden de resultaten van de meervoudige regressieanalyse weergegeven. Dit model heeft een modelonzekerheid van $\pm 3\%$.



figuur 7 *Meervoudige regressieanalyse van het model $RRC = C1 * MPD + C2 * MPD/RMS + C3$*

6. Conclusies

In 2013 is vanuit de mogelijkheden van verschillende opdrachtgevers uitgebreid onderzoek gedaan naar de effecten van de textuur van verschillende wegdektypes op de rolweerstand. Metingen zijn uitgevoerd door de TU Gdansk (rolweerstand) en M+P (textuur). De meetresultaten laten zien dat zowel de rolweerstand als de textuurmetingen een goede herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid hebben. Met de gekozen onderzoeks aanpak blijkt het mogelijk om nauwkeurig (en statistisch significant) het effect van wegdektype (en textuur) op rolweerstand in kaart te brengen.

Met behulp van de rolweerstand en textuur meetdata is een aantal regressiemodellen onderzocht. Met zo'n model kan de rolweerstand bepaald worden op basis van één of meer textuurparameters (zoals MPD, RMS, skewness). Met de beste modellen kan de rolweerstand bepaald worden met een modelonzekerheid van $\pm 3\%$.

Referenties

[1] "Influence of road surface type on rolling resistance – results of the measurements 2013", M+P.DVS.12.08.3, revisie 4, 20-11-2013.