

Relatie waarde Viagraaf/Rolrei en High Speed Road Profiler

Eelke Vromans
KOAC•NPC
(namens CROW Platform Wegmetingen)

Christ van Gorp
KOAC•NPC

Samenvatting

Bij oplevering van overlagingen van wegen nieuwe wegverhardingen worden vaak eisen gesteld aan de langsvlakheid, te meten met de viagraaf of de rolrei. Deze metingen worden bij lage snelheden uitgevoerd zodat vrijwel altijd een verkeersmaatregel (wegafzetting) nodig is, waar meestal hoge kosten aan zijn verbonden. Ook duurt een langsvlakheidsmeting, uitgevoerd met de viagraaf, erg lang vanwege de lage meetsnelheid. In deze bijdrage worden de resultaten van een onderzoek naar de gelijkwaardigheid van de High Speed Road Profiler als alternatief meetsysteem gepresenteerd. Dit systeem voert de meting onder verkeersnelheid uit en staat toe dat na de meetfase de data bruikbaar zijn voor bepaling van allerlei indicatoren van langsvlakheid, dus niet alleen voor het afwijkingpercentage C5 van de viagraaf, maar ook voor de afwijking gemeten met de rolrei, IRI-waarden per 100 m wegvak of 10 m wegvak. Uit het onderzoek blijkt dat de HSRP gelijkwaardig is aan de viagraaf/rolrei. De nieuwere HSRP-systemen kunnen naast de langsvlakheid gelijktijdig de textuur van een wegdek in kaart brengen.

1. Inleiding

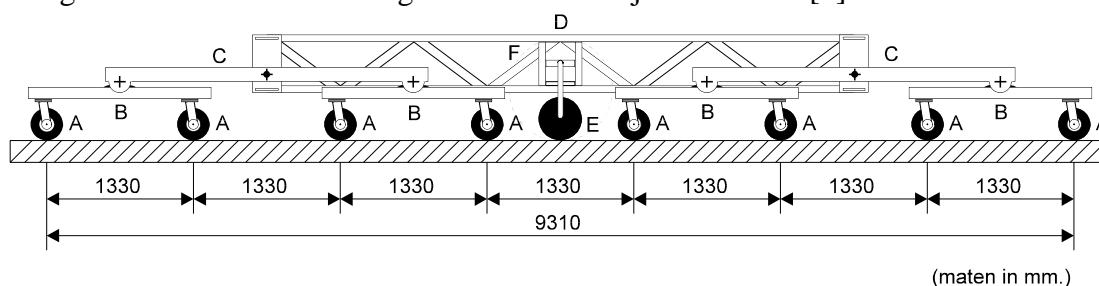
Vanouds wordt de langsvlakheid van nieuw aangelegde wegverhardingen of overlagingen bepaald met de viagraaf. In situaties waarbij toepassing van de viagraaf leidt tot meetfouten of daar waar de viagraaf simpelweg te groot is, wordt de rolrei voorgeschreven. Vrijwel dagelijks worden vlakheidsmeetdata geanalyseerd conform de in Proef 71 van de Standaard RAW Bepalingen 2010 beschreven meet- en gegevensverwerkingsmethode. Maar wie heeft een meting meegemaakt en de viagraaf nog zien rijden? Al bijna vijf jaar komt de viagraaf nog maar sporadisch van stal voor inzet op speciale wegverhardingen. In de dagelijkse praktijk worden langsvlakheidsmetingen op nieuw aangelegde wegverhardingen en overlagingen altijd met een High Speed Road Profiler (in het vervolg afgekort tot HSRP) uitgevoerd. Niettemin vindt de analyse van de meetdata nog steeds plaats via de in RAW2010 Proef 71 beschreven verwerkingsmethodiek en worden ook de typische viagraafmeetresultaten gebruikt voor de toetsing van de langsvlakheid kort na aanleg of overlaging aan de contracteisen.

Deze bijdrage geeft aan waarom de viagraaf als meetinstrument is vervangen door de HSRP en waarom toch nog kan worden vastgehouden aan de methodiek van analyse van de vlakheid. Tevens wordt aangetoond dat met de nieuwe meetmethode met de HSRP de toetsing geenszins zwaarder is geworden. De meetwaarden verkregen met de ‘metalen’ viagraaf zijn namelijk gelijk aan die over de HSRP-data ‘gesimuleerde’ viagraaf. Sterker nog, gebruik van de HSRP brengt de mogelijkheid met zich mee om op een bepaald moment naar een andere vlakheidsindicator over te stappen zonder dat daarmee in het verleden ingewonnen data verouderd worden. De bijdrage richt zich op de viagraaf, maar de bevindingen gelden ook voor de rolrei.

2. Beschrijving meetapparatuur

2.1 Viagraaf

De viagraaf bestaat uit een meetframe, twee grote bruggen, vier kleine bruggen met ieder twee wielen en een tastwiel met verplaatsingsopnemer (zie figuur 1 en 2). De hart-op-hart-afstanden tussen de wielen zijn gestandaardiseerd en omschreven in Proef 71 van de Standaard RAW Bepalingen 2010. Figuur 1 toont de opbouw van de viagraaf en zijn afmetingen en figuur 2 laat zien hoe de viagraaf er in werkelijkheid uitziet [2].



Figuur 1 Schematische weergave van viagraaf



Figuur 2 Viagraaf van KOAC•NPC tijdens meting

De metingen met de viagraaf hebben als nadeel dat de inwinsnelheid van 5 km/h laag is, wat in veel voorkomende gevallen de nodige hinder voor het wegverkeer met zich meebrengt.

Bij het rollen over de weg worden de bewegingen van het tastwiel ten opzichte van het midden van het meetframe geregistreerd. Het gemeten profiel wordt in digitale vorm vastgelegd met een bemonsteringsafstand van 10 mm afgelegde weg. Het door de viagraaf geregistreerde profiel wijkt af van het werkelijke profiel, omdat de referentie van de viagraaf niet een vaste hoogte of een rechte lijn is, maar de hoogte van het meetframe, dus het mechanisch gemiddelde van de acht referentiewielen. De viagraaf is vooral gevoelig in het golflengtegebied tot 10 m en in afnemende mate gevoelig voor golflengten boven 15 m.

2.2 Verwerking meetdata viagraaf

Na de meting wordt de weg in vakken van 100 m ingedeeld. Per wegvak wordt een referentielijn vastgesteld als neutrale lijn van het wegvak (nullijn). De mate van onvlakheid wordt vastgesteld als de afwijking van het geregistreerde profiel ten opzicht van de referentielijn groter is dan 5, 10, 15, ... mm. Het vergelijken van de meetresultaten vindt plaats op basis van een tweetal factoren, te weten de afwijkingsoppervlakte en de C5-waarde. De afwijkingsoppervlakte staat voor de som van de oppervlaktes die zijn ingesloten door de profiellijn en de nullijn. De C5-waarde staat voor het afwijkingspercentage dat gedefinieerd is als de som van de horizontale lengtes per onder- en overschrijding van de verschillende intervalgrenzen uitgedrukt in procenten van de wegvaklengte. De Standaard RAW Bepalingen 2010 stellen eisen aan de afwijkingsoppervlakte en C5-waarde.

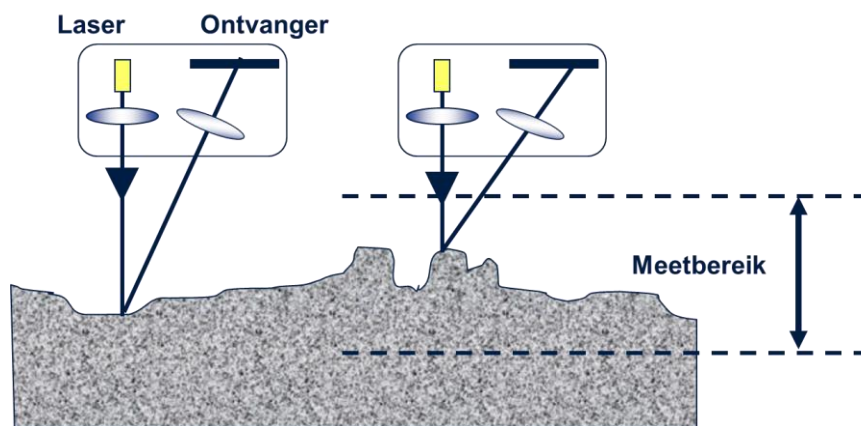
2.3 High Speed Road Profiler

De HSRP bestaat uit een combinatie van een laser en een versnellingsopnemer (zie Figuur 3). Hierbij meet de laser de afstand tussen het wegooppervlak en het meetvoertuig met een bemonsteringsfrequentie van 16 kHz (zie Figuur 4). Tegenwoordig zijn ook systemen met een bemonsteringsfrequentie van 32 of 62,5 kHz op de markt. De bewegingen van het meetvoertuig ten opzichte van een rechte lijn worden bepaald door integratie van het versnellings signaal over een periode van 5 s. De combinatie van deze verticale verplaatsingen (verplaatsing laser en afstand laser - wegdek) levert het uiteindelijke langprofiel op. De langste golflengte die door de HSRP kan worden gedetecteerd is afhankelijk van de snelheid van het meetvoertuig. Hoe hoger de snelheid, hoe langer de afgelegde afstand in de 5 s integratietijd, dus hoe langer

de gedetecteerde golflengte. Om golflengten tot 90 m vast te kunnen leggen is een meetsnelheid van ten minste 30 km/h nodig.



Figuur 3 HSRP meetsysteem onder meetvoertuig



Figuur 4 Principe van meting van HSRP

Voor het bepalen van de kwaliteit van een nieuw aangelegde of overlaagde wegverharding wordt in Nederland getoetst op golflengten van 0,3 m tot ongeveer 10 m (viagraaf). Voor het bepalen van het rijcomfort wordt normaliter getoetst op golflengten van ongeveer 1,2 m tot 30 m (ARAN en soortgelijke systemen). De golflengten tussen 2,4 m en 15 m hebben de grootste invloed op de waarde van de International Roughness Index (IRI). De HSRP levert dus min of meer het geschikte langsprofiel in het relevante golflengtegebied om zowel de kwaliteit van geleverd werk te toetsen als het rijcomfort voor de weggebruiker te beoordelen.

3. Gelijkwaardigheid viagraaf/rolrei en HSRP

3.1 Gelijkwaardigheid aan referentiemethode

Wat onder gelijkwaardigheid aan een referentiemethode wordt verstaan, staat beschreven in [3]. ‘Gelijkwaardig aan’ mag uitsluitend worden gebruikt voor hetzelfde toepassingsgebied als de referentiemethode: dezelfde parameters in dezelfde matrix. Bij andere parameters en/of matrices kan de gelijkwaardigheid van resultaten per definitie niet worden aangetoond. In dit kader wordt verwezen naar NEN 7778 ‘Gelijkwaardigheid van meetmethoden’ als informatiebron. Gelijkwaardigheid is dus gereserveerd voor de methoden waarbij de wijze van uit-

voering van het onderzoek en/of meetprincipe afwijken van de referentiemethode, maar waarbij het laboratorium heeft aangetoond, dat dezelfde gelijkwaardige resultaten worden verkregen. Het laboratorium moet de gelijkwaardigheid aantonen door:

- de prestatiekenmerken herhaalbaarheid, binnen-laboratoriumreproduceerbaarheid, juistheid en aantoonbaarheidsgrens voor de gelijkwaardige methode vast te stellen en deze te toetsen aan die van de referentiemethode;
- monsters met relevante matrices in relevante concentratiegebieden met beide methoden te analyseren en de juistheid van de resultaten te toetsen.

Voor het aantonen van de gelijkwaardigheid van HSRP aan de viagraaf moet dus worden uitgegaan van:

- de prestatiekenmerken van de viagraaf;
- een vergelijkend onderzoek, waarin de resultaten van metingen op verschillende wegvakken met onvlakheid rondom de eisstelling met elkaar worden vergeleken. Hierbij zal er van worden uitgegaan, dat de resultaten van de viagraafmeting juist zijn

3.2 Opzet onderzoek

Het door de HSRP gemeten langsprofiel is in het onderzoek naar de gelijkwaardigheid representatief gesteld aan het werkelijk in de weg aanwezige langsprofiel. Dit is in principe natuurlijk onjuist. Als een weg over een viaduct loopt zal het HSRP-langsprofiel deze grote verticale boog niet zien omdat de maximum gedetecteerde golflengte niet meer dan 100 m bedraagt. De viagraaf is echter ongevoelig voor golflengtes boven 25 m en ziet de grote verticale boog dus al helemaal niet; vandaar dat een HSRP-langsprofiel bruikbaar moet kunnen zijn..

Voor de vergelijking van viagraafdata met HSRP-data [1,4] zijn de viagraafdata conform RAW2010 Proef 71 uitgewerkt. Over het op dezelfde weg gemeten HSRP-langsprofiel is een viagraaf gesimuleerd, waarna het resulterende viagraafprofiel eveneens is uitgewerkt conform Proef 71.

In totaal zijn 265 wegvakken van 100 m lengte gemeten met de viagraaf en de HSRP, waarvan 114 wegvakken met een zoab deklaag en de rest bestaande uit drie soorten dunne geluid-reducerende deklaag. De HSRP-meting is uitgevoerd met een snelheid van 50 km/h omdat de meting werd gecombineerd met stroefheidsmetingen conform RAW2005 Proef 150.

3.3 Eisen aan prestatiekenmerken

De prestatiekenmerken van de viagraafmeting zijn in het onderzoek niet omschreven met gebruik van de reguliere viagraafmeetparameters C5 en f5. Deze worden namelijk te zeer beïnvloed door kleine variaties in ligging van de geregistreerde profiellijn. Voor de prestatiekenmerken is gebruik gemaakt van de afwijkingsoppervlakte, de oppervlakte tussen de geregistreerde profiellijn en de berekende nullijn. Tabel 1 toont de gehanteerde eisen aan juistheid en herhaalbaarheid.

Tabel 1 Eisen aan juistheid en herhaalbaarheid

| Eis | Viagraafprofiel | HSRP-profiel |
|-----------------|---|---|
| Juistheid | Hoogteverschil maximaal 5% | Hoogteverschil maximaal 5% |
| Herhaalbaarheid | Variatiecoëfficiënt Afwijkingsoppervlakte maximaal 1% | Variatiecoëfficiënt Afwijkingsoppervlakte maximaal 3% |

Onder hoogteverschil wordt verstaan het verschil tussen de werkelijke hoogte en het door het meetapparaat geregistreerde hoogte.

De eis aan herhaalbaarheid van de HSRP is op een grotere waarde gesteld omdat het volgen van dezelfde meetlijn bij de lage snelheid van 5 tot 7 km/h voor de viagraaf veel eenvoudiger is dan voor de HSRP bij snelheden van 50 km/h en hoger. Daarnaast speelt de breedte van het contactvlak een rol. Bij de viagraaf heeft het tastwiel een breedte van 40 mm, terwijl de spotgrootte van de laser van de HSRP slechts 0,3 mm is (zie rode punt in gele cirkels van Figuur 5). De kans dat de laser een iets ander profiel meet is bij de HSRP dus groter dan bij de viagraaf.

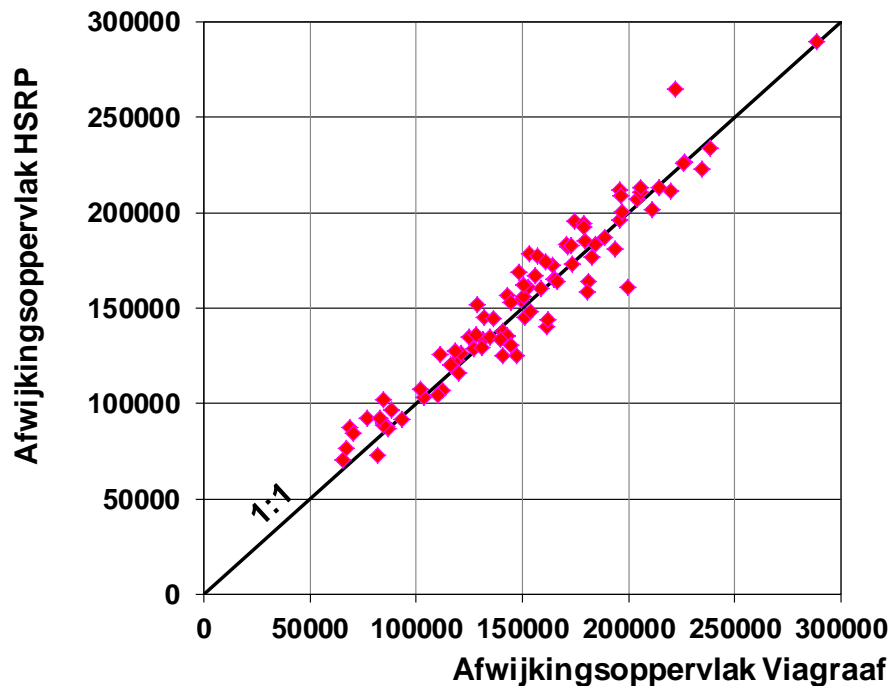


Figuur 5 Spot van HSRP-laser

4. Meetresultaten

4.1 Juistheid

Voor de bepaling van de juistheid (viagraaf is gedefinieerd als juist) zijn metingen op 265 wegvakken van 100 m lengte uitgevoerd. De wegdekken bestonden uit ZOAB of een dunne geluidreducerende deklaag. Figuur 6 toont de relatie tussen de 265 getallenparen voor de afwijkingsoppervlakte. De grafiek laat zien dat de meeste getallen dicht bij de 1:1-lijn liggen. De richtingscoëfficiënt van de regressielijn door de oorsprong bedraagt 0,989. De resultaten van de HSRP-metingen zijn dus qua juistheid gelijk aan de viagraafmetingen.



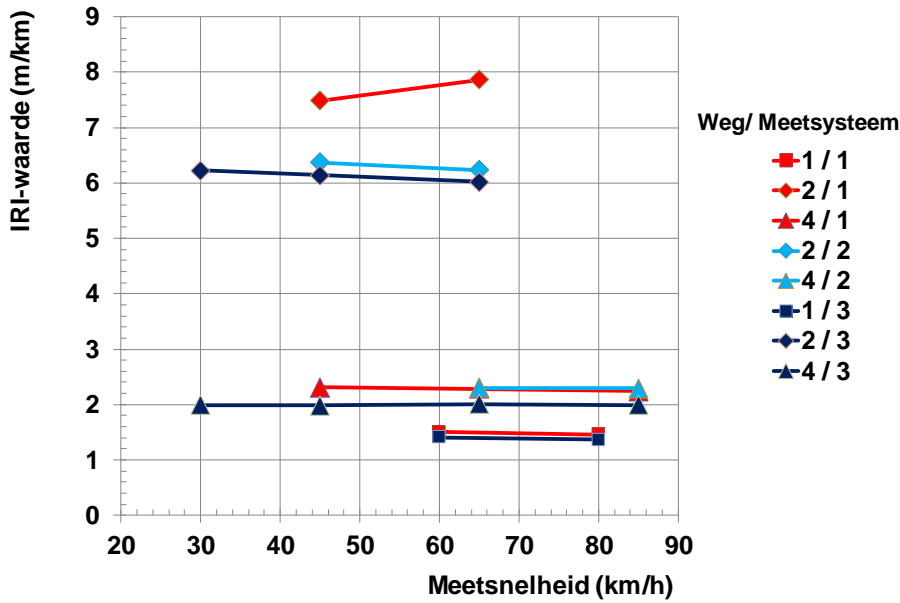
Figuur 6 Relatie tussen afwijkingsoppervlakte viagraaf en HSRP

4.2 Invloed meetsnelheid

Langsvlakheidsmetingen met de ‘echte’ viagraaf worden altijd uitgevoerd met een meetsnelheid van 5 tot 7 km/h. HSRP-metingen worden uitgevoerd onder verkeer. Dit houdt in dat de meetsnelheid op de autosnelwegen rond de 80 km/h ligt en in de bebouwde kom kan variëren tussen 30 en 70 km/h. Variaties in meetsnelheid kunnen bij een HSRP-meetsysteem invloed hebben op de nauwkeurigheid waarmee het langspanprofiel wordt vastgelegd. Hoe lager de meetsnelheid, hoe korter de langste golflengte is die door het systeem gemeten wordt. De variatie in meetsnelheid heeft geen noemenswaardig effect op de kortste golflengte die gemeten kan worden. Deze is met de huidige generatie lasers zo kort dat deze nooit van invloed is op de golflengtes die relevant zijn om een uitspraak te doen over de langsvlakheid. Figuur 7 laat zien dat de rijnsnelheid geen effect heeft op de gemiddelde IRI-waarde zelfs niet als de langsvlakheid aanzienlijk is (zie ruitjes voor weg 2).

Uit het onderzoek is naar voren gekomen, dat bij meetsnelheden tussen 45 en 85 km/h de onderlinge verschillen in juistheid zeer gering zijn. Bij ringonderzoeken hoeft dus niet te worden gevarieerd in meetsnelheid en kan met een enkele meetsnelheid worden volstaan, die wellicht per weg in het ringonderzoek op een andere waarde kan worden gezet.

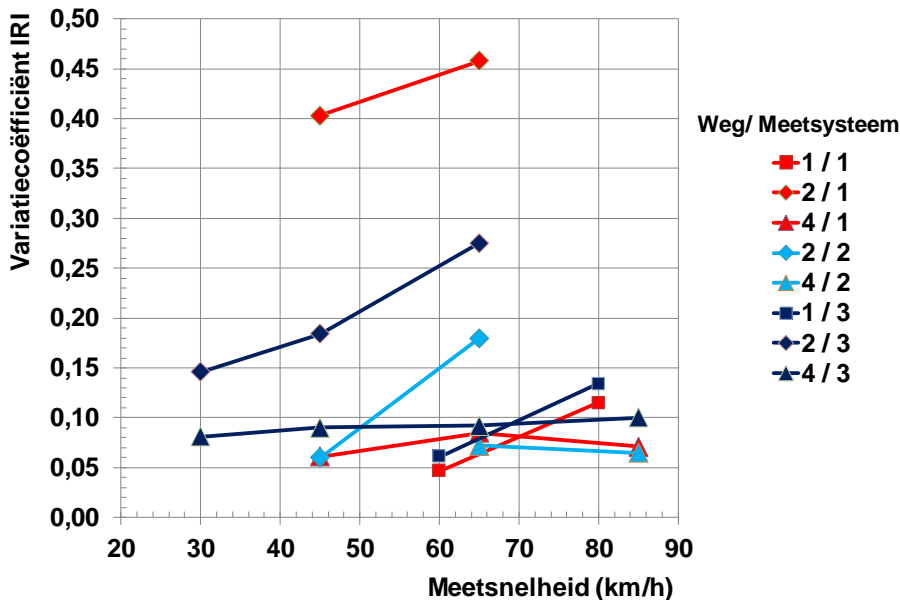
De meetsnelheid heeft invloed op de maximaal te meten golflengte. De IRI wordt bepaald door het golflengtespectrum tussen 2,4 en 15 m; dat voor de viagraaf door dat van 0,3 tot 10 m. De conclusie dat de meetsnelheid geen effect heeft op de IRI-waarde geldt dus ook voor de viagraafparameter C5.



Figuur 7 Effect van meetsnelheid en meetsysteem op juistheid

4.3 Precisie

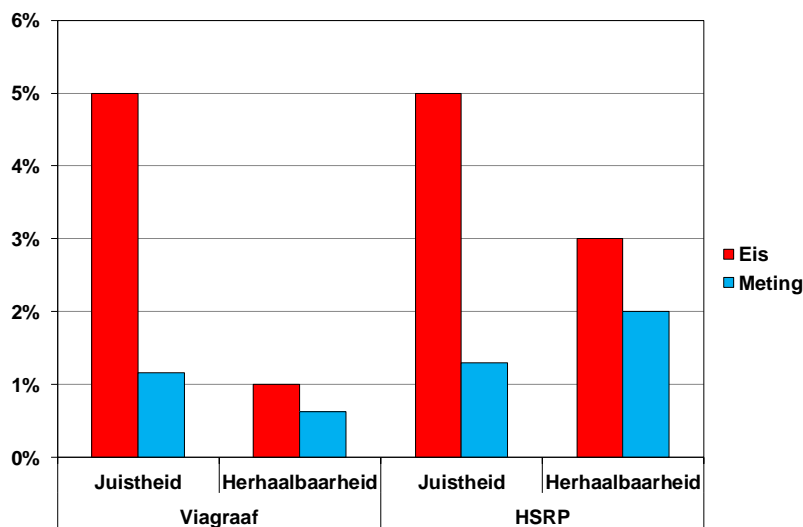
De precisie van een meting kan worden uitgedrukt in een standaardafwijking of de herhaalbaarheid. Figuur 8 toont de relatie tussen meetsnelheid en standaardafwijking in IRI bepaald over drie meetruns voor een aantal wegen en meetsystemen. De grafiek laat duidelijk zien dat de standaardafwijking meestal toeneemt met toenemende snelheid. Dit wil zeggen dat de precisie en herhaalbaarheid slechter worden.



Figuur 8 Effect van meetsnelheid en meetsysteem op precisie

Op basis van zogenaamde derdelijnscontroles, de periodieke controles van de prestatiekenmerken juistheid van de meetverwachting en herhaalbaarheid, zijn de prestatiekenmerken van viagraaf en HSRP vergeleken en aan de eisen getoetst. Figuur 9 toont de eisen en de slechtste waarde die voor de juistheid en herhaalbaarheid is gevonden. De beste waarde van een reeks

derdelijnscontroles ligt doorgaans een factor twee tot drie lager. Uit de grafiek blijkt dat de juistheid en herhaalbaarheid van zowel de ‘echte’ viagraaf als de HSRP-viagraaf aan de eisen voldoen.



Figuur 9 Toetsing van juistheid en herhaalbaarheid

4.3 Terechte en onterechte afkeuring door HSRP

Met de overgang van de ‘echte’ viagraaf naar een HSRP-systeem is niet beoogd om de keuring van de langsonvlakheid in C5-termen strenger of minder streng te maken. Om te verifiëren of dit inderdaad niet het geval is, is van 428 wegvakken van 100 m lengte de C5-waarde bepaald, zowel rechtstreeks uit de viagraafmeting als uit simulatie van een viagraaf over het door de HSRP gemeten langsprofiel. De wegvakken zijn verdeeld over 25 werken en vier soorten deklaag waarvan 277 met een ZOAB-deklaag en 151 met drie soorten dunne geluidreducerende deklaag. De gemeten C5-waarden varieerden in het bereik van 0 tot 14% met het merendeel van de waarden tussen 0 en 5%.

Gebruikelijk wordt een wegvak afgekeurd op het moment dat de C5-waarde gelijk is aan of groter is dan 3,0% (zie Standaard RAW Bepalingen 2010). Zo kan een wegvak op basis van de viagraafmeting worden afgekeurd, als de C5 een waarde heeft van 3,3%, terwijl datzelfde vak op basis van de HSRP goedgekeurd wordt, als de C5 bijvoorbeeld een waarde heeft van 2,8%. In dit geval leidt de HSRP-meting tot een onterechte goedkeuring. Ook het omgekeerde kan natuurlijk voorkomen. Een wegvak wordt goedgekeurd door de viagraaf, maar afgekeurd door de HSRP. In dit geval is er sprake van onterechte afkeuring. De twee specifieke gevallen moeten tot een minimum beperkt worden, wil de HSRP een aanvaardbaar gelijkwaardig systeem voor de viagraaf zijn. Tabel 2 toont de resultaten van de vergelijking van de C5-waarden en toetsing aan de arbitrair gekozen goedkeuringsgrens van 3,0%.

Uit Tabel 2 blijkt dat voor het overgrote gedeelte van de onderzochte wegvakken dat de HSRP-metingen en de ‘echte’ viagraafmeting tot dezelfde classificatie van goedgekeurde en afgekeurde wegvakken komen. Zelfs bij regenachtig weer en natte wegdekken leidt de meting met de HSRP niet een groot aantal onterechte goed/afkeuringen, ondanks het feit dat de laserstraal door waterdruppels kan afbuigen en daardoor een foute meetwaarde kan geven. De gevonden overeenkomst in viagraaf- en HSRP-resultaten rechtvaardigt natuurlijk niet dat HSRP-metingen bij nat weer zomaar toegestaan kunnen worden.

Tabel 2 Toetsing op terechte en onterechte afkeuring op basis van C5-waarde

| | | C5 | | | | | | Totaal |
|---|-----------|------|-------|----------------------|------|------------------------|------|--------|
| | | Eens | | Onterechte afkeuring | | Onterechte goedkeuring | | |
| | | Abs. | Rel. | Abs. | Rel. | Abs. | Rel. | |
| Z | droog | 110 | 96,5% | 2 | 1,8% | 2 | 1,8% | 114 |
| O | opdrogend | 37 | 94,9% | 1 | 2,6% | 1 | 2,6% | 39 |
| A | nat | 76 | 97,4% | 1 | 1,3% | 1 | 1,3% | 78 |
| B | regen | 44 | 95,7% | 1 | 2,2% | 1 | 2,2% | 46 |
| | totaal | 267 | 96,4% | 5 | 1,8% | 5 | 1,8% | 277 |
| D | droog | 147 | 97,4% | 4 | 2,6% | 0 | 0,0% | 151 |
| G | opdrogend | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 |
| D | nat | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 |
| | regen | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 | 0,0% | 0 |
| | totaal | 147 | 97,4% | 4 | 2,6% | 0 | 0,0% | 151 |

5. Conclusies

Uit het vergelijkende onderzoek tussen viagraaf en HSRP-systeem kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- HSRP-metingen uitgewerkt als viagraaf- of rolreimetingen leiden niet tot een ander goedkeurings- of afkeuringsregime als met de echte viagraaf en rolrei;
- HSRP-metingen kunnen onder verkeersnelheid worden uitgevoerd en hebben dus geen dure verkeersmaatregelen nodig; dit betekent dat de HSRP-meting gecombineerd kan worden met stroefheidsmetingen;
- op het door de HSRP gemeten langspoorprofiel kunnen tal van langsvlakheidsmeetsystemen worden gemodelleerd zoals viagraaf, rolrei en quarter car voor de International Roughness Index; in het verleden gemeten langspoorprofielen kunnen alsnog via alternatieve verwerkingstechnieken zoals Power Spectral Density worden geanalyseerd;
- Bij gebruik van lasers met een bemonsteringsfrequentie van 32 kHz kunnen de ruwe meetdata van de HSRP ook worden gebruikt voor analyse van de textuur van het wegdek.

6. Referenties

- 1 Zwart, G.W., Aantonen gelijkwaardigheid van de HSRP aan de viagraaf. Rapport e0600501. KOAC•NPC. Apeldoorn, 2007.
- 2 Diele, R.H.J., Langsonvlakheid van asfaltverharding – de overgang naar een nieuwe parameter. Thesis MSc. Technische Universiteit Delft.
- 3 Toepassing van de begrippen 'eigen methode', 'conform' en 'gelijkwaardig aan'. Document RvA-T01. Raad voor Accreditatie. oktober 2009.
- 4 Wennink, P.M., Vergelijkende langsonvlakheidsmetingen in het kader van de acceptatietest van de Laserprofapparatuur. Rapport i_03815. KOAC•NPC. Apeldoorn, 2003.