

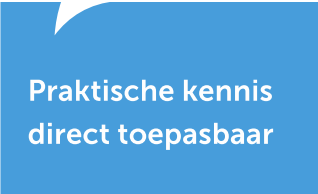
Handleiding toelatingsprocedure en ringonderzoek “Meetsystemen langsvlakheid”



Over CROW

CROW bedenkt slimme en praktische oplossingen voor vraagstukken over infrastructuur, openbare ruimte, verkeer en vervoer in Nederland. Dat doen we samen met externe professionals die kennis met elkaar delen en toepasbaar maken voor de praktijk.

CROW is een onafhankelijke kennisorganisatie zonder winstoogmerk die investeert in kennis voor nu en in de toekomst. Wij streven naar de beste oplossingen voor vraagstukken van beleid tot en met beheer in infrastructuur, openbare ruimte, verkeer en vervoer en werk en veiligheid. Bovendien zijn wij experts op het gebied van aanbesteden en contracteren.



**Praktische kennis
direct toepasbaar**

Handleiding toelatingsprocedure en ringonderzoek “Meetsystemen langsvlakheid”

Rapport D20-03
Juli 2020

Inhoud

Samenvatting	1
Inleiding	2
1. Principe van “Meetsystemen langsvlakheid”	3
2. Toelatingsonderzoek nieuwe systemen	7
3. Ringonderzoek goedgekeurde systemen	11
4. Paarsgewijze vergelijking	15
5. Organisatie ringonderzoek	16

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de toelatingsprocedure voor "Meetsystemen langsvlakheid" -voorheen HSRP (High Speed Road Profiler) genaamd- die werkzaamheden op het Nederlandse wegennet willen uitvoeren. Vanwege de huidige verscheidenheid in gebruikte werkingsprincipes van meetsystemen voor het meten van langsvlakheid, is het rapport op initiatief van het CROW Platform Wegmetingen aangepast, met name als het gaat om toelating van nieuwe systemen. De procedure geeft aan hoe de juistheid en precisie van "Meetsystemen langsvlakheid" in zijn geheel moeten worden bepaald. Het rapport beschrijft ook de procedure voor de organisatie, uitvoering en gegevensverwerking van een ringonderzoek. Deelnemers die voldoen aan de eisen die aan een ringonderzoek worden gesteld, komen in aanmerking voor een CROW-certificaat mits ze hebben voldaan aan de eisen uit de toelatingsprocedure. In het ringonderzoek worden de langsvlakheidsparameters 'afwijkingsooppervlak viagraaf Aopp' en de 'International Roughness Index' gebruikt.

Inleiding

Vanouds wordt de langsvlakheid van nieuw aangelegde wegverhardingen of overlagingen bepaald met de viagraaf of rolrei. De huidige proefomschrijving "Meten van de langsvlakheid" wordt beschreven in RAW 2020 Proef 71. De metingen met de viagraaf en de rolrei hebben als nadeel dat de inwinsnelheid laag is, wat in veel voorkomende gevallen de nodige hinder voor het wegverkeer met zich meebrengt.

In de periode 2001-2002 heeft Rijkswaterstaat in samenwerking met de Technische Universiteit Delft en KOAC•NPC-onderzoek uitgevoerd om de mogelijkheid te onderzoeken om met behulp van moderne meetmethoden zoals Laser SDP-metingen (hier verder aangeduid met High Speed Road Profiler-metingen of kortweg HSRP-metingen) en intelligente databewerking viagraaf- of rolreiwaarden te herleiden. Het grote voordeel van de nieuwe methode is dat de inwinsnelheid kan worden verhoogd tot 70 km/h of hoger.

De resultaten van dit onderzoek hebben aangetoond dat:

- viagraaf- of rolreiprofielen verkregen uit Laser SDP-meetdata en uit directe metingen met de viagraaf of rolrei tot vergelijkbare viagraaf- en rolreiparameters C5, f5 en A5 leiden;
- de toenmalige Laser SDP-meetsystemen nog niet in staat waren om de benodigde bemonsteringsafstand van ongeveer 1 cm te realiseren;

Uit de laser/SDP-meetdata kunnen ook de comfortwaarden C_v voor de Fietscomfortmeter (FCM) en de International Roughness Index IRI nauwkeurig worden afgeleid.

Voor een nauwkeurige bepaling van viagraaf- of rolreiwaarden uit een Laser SDP-meting geldt dat:

- de meting met de juiste Laser SDP-configuratie is uitgevoerd;
- het juiste sample algoritme inclusief de benodigde filteringen is toegepast.

In 2019 is vanuit het CROW Platform Wegmetingen het initiatief genomen om de vigerende handleiding tegen het licht te houden, voornamelijk voor wat betreft de toelating van nieuwe meetsystemen. De toenmalige handleiding is opgesteld vanuit de HSRP-systemen die toentertijd operationeel waren. Het werkingsprincipe was hierbij gebaseerd op een verticale afstandsmeting met behulp van een triangulatie puntlaser en de verticale beweging van de puntlaser met behulp van een versnellingsopnemer. Vanuit die achtergrond zijn specifieke statische kalibratieprocedures opgesteld voor het individueel kalibreren van de triangulatie puntlaser en de versnellingsopnemer.

Omdat er momenteel ook meetsystemen operationeel zijn die zijn gebaseerd op andere werkingsprincipes, waarop de specifiek beschreven statische kalibraties gebaseerd niet kunnen worden toegepast, zijn deze uit het document verwijderd. De wijze van uitvoering van de statische kalibraties van onderdelen en de eisen die daaraan gesteld worden, wordt overgelaten aan de fabrikant en/of gebruiker van de apparatuur.

Wat in het kader van de toelating van nieuwe meetsystemen blijft, zijn de dynamische kalibraties en het voldoen aan de eisen die hieraan gesteld worden. Een nieuw meetsysteem dat aan de eisen van de dynamische kalibraties heeft voldaan, mag meedoen aan het ringonderzoek, echter met de volgende restrictie:

- De resultaten van dit meetsysteem zullen niet worden meegenomen in de bepaling van de referentiewaarde. Deze voorwaarde geldt ook voor systemen die aan het voorgaande ringonderzoek hebben meegedaan en geen certificaat hebben gekregen. Alleen systemen die aan het voorgaande ringonderzoek hebben meegedaan en een certificaat hebben gekregen, worden meegenomen in de bepaling van de referentiewaarde.

Alle systemen die aan het ringonderzoek willen meedoen (dus ook systemen die in een eerder stadium zijn toegelaten) moeten voldoen aan de eisen van de dynamische kalibratie op een verkeersdrempel.

Er wordt extra nadruk gelegd om een dagelijkse controle op goede werking uit te voeren (zogenaamde eerstelijnscontrole) op een nabijgelegen wegvak en deze te toetsen zoals beschreven in paragraaf 3.1.

In de volgende hoofdstukken en paragrafen worden procedures beschreven om de juistheid en precisie van de "Meetsystemen langsvlakheid" te bepalen. Tevens worden grenswaarden voor de juistheid en precisie gepresenteerd.

1. Principe van “Meetsystemen langsvlakheid”

1.1 Werking en werkingsgebied “Meetsystemen langsvlakheid”

“Meetsystemen langsvlakheid” kunnen gebaseerd zijn op verschillende werkingsprincipes zoals bijvoorbeeld:

1. HSRP-systemen gebaseerd op afstandmeting met een triangulatie spotlaser met loodrecht daarop een versnellingsopnemer;
2. Lidar systemen gebaseerd op afstandmeting met roterende laserscanner op basis van looptijd in combinatie met een IMU;
3. LCMS-systemen gebaseerd op het projecteren van een laserlijn en afstandmeting m.b.v. een (triangulatie)camera in combinatie met een IMU;
4. Systemen gebaseerd op stereocamera's in combinatie met een IMU;

N.B. Ten aanzien van 2, 3 en 4 geldt (afhankelijk van het toegepast IMU-systeem in combinatie met nauwkeurige GPS), dat er zowel een relatief- als een absoluut profiel kan worden bepaald. In het geval van een relatief profiel dient, evenals bij de zogenaamde HSRP-achtige systemen, te worden gefilterd. Lange golflengtes die geen invloed hebben op bijvoorbeeld viagraaf- en rolreiparameters, IRI of Cv (Fietscomfort), worden eruit gefilterd (golflengtes van 100 m en langer bij 72 km/h).

Het principe voor het bepalen van het langsvlak is verschillend. Bij HSRP-systemen, waarop de eerste versies van dit document zijn gebaseerd, registreert een laser de afstand van de laser tot aan het weggoppervlak terwijl de versnellingsopnemer de verticale bewegingen van de laser registreert. Door de gemeten verticale versnellingen tweemaal te integreren als functie van de tijd worden de versnellingen vertaald naar verticale verplaatsingen. De combinatie van deze verticale verplaatsingen (verplaatsing laser en afstand laser - wegdek) levert het uiteindelijke langsvlak op. Om bovengenoemd integratieproces goed te laten verlopen, moet het systeem als het ware inslingeren en moet de HSRP-meting ruim (bij voorkeur 100 m) voor het te meten wegvak gestart worden. Voor andere systemen geldt min of meer hetzelfde wanneer een relatief profiel wordt bepaald. Wanneer een absoluut profiel wordt bepaald, speelt de nauwkeurigheid van het GPS-systeem in combinatie met de IMU een belangrijke rol.

Als het gaat om het bepalen van een relatief profiel, zoals bij de oorspronkelijke HSRP-systemen, dienen de volgende kanttekeningen geplaatst te worden. Met een dergelijk systeem kan het relatieve profiel van het wegdek (tot golflengten van ongeveer 100 m bij 72 km/h) worden bepaald. 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 en rolrei). Voor het bepalen van het rijcomfort wordt normaliter getoetst op golflengten van circa 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).

Bovengenoemde HSRP-systemen leveren dus min of meer het geschikte langsvlak in het relevante golflengtegebied om zowel de kwaliteit van geleverd werk te toetsen als het rijcomfort voor de weggebruiker te beoordelen. Voor het toetsen van de kwaliteit van aanleg of onderhoud werden en worden tot op heden nog de viagraaf- en rolreiparameters per 100 m vak gebruikt; voor de comfortbeoordeling wordt de IRI gebruikt. Door Rijkswaterstaat wordt de IRI standaard per 100 m vak gebruikt, terwijl de provincies naast deze waarde ook de IRI per 10 m vak gebruiken om lokale onvlakheden te detecteren en te beoordelen. Deze onvlakheden worden namelijk uitgemiddeld als grotere beoordelingslengten, zoals 100 m, worden gebruikt.

1.2 Eisen aan apparatuur en gegevensverwerking

1.2.1 Eisen aan apparatuur

De belangrijkste eis aan de apparatuur is:

- Het relatieve of absolute profiel dient zodanig te worden vastgelegd, dat wordt voldaan aan de eisen van de dynamische kalibraties en (met goed gevolg) vervolgens aan de eisen van het ringonderzoek;

Aanvullend hierop dienen meetsystemen die het IRI-certificaat willen behalen een sampleafstand te hanteren van 125 mm of kleiner (NEN 13036-5:2019 artikel 6.1) en meetsystemen die een viagraaf/rolrei-certificaat willen behalen een sampleafstand van 10 mm of kleiner.

1.2.2 *Eisen aan gegevensverwerking*

Ook aan de verwerking van de data tot een langprofiel moeten eisen worden gesteld (zie NEN-EN 13036-5:2006 Ontw. "Oppervlakte-eigenschappen van weg- en vliegveldverhardingen - Beproevingsmethoden - Deel 5: Bepaling van de vlakheidsindex in langsrichting"). Volgens deze norm moeten ingewonnen data met een (re)sampleafstand van minimaal 5 cm worden bemonsterd, terwijl voor de viagraaf en rolrei een sampleafstand van maximaal 1 cm wordt gehanteerd. Gezien de conclusies uit het in 2001-2002 uitgevoerde onderzoek, wordt voortsnog voorgesteld om de sampleafstand van 1 cm te blijven hanteren.

N.B. Voor de duidelijkheid wordt vermeld dat het wel is toegestaan om vaker dan 1 cm te samplen, maar dat er daarna een re-sampling dient te worden uitgevoerd, zodat er weer een sampleafstand van 1 cm wordt verkregen om de resultaten van de metingen onderling vergelijkbaar te houden.

1.2.3 *Karakterisering nauwkeurigheid*

Veel verschillende factoren kunnen de oorzaak zijn van de variabiliteit van meetresultaten. De belangrijkste invloedsfactoren zijn de gebruikte apparatuur, de kalibratie van de apparatuur, de meettechnicus, de meetomstandigheden, de meetpositie in dwarsrichting evenals de positie in de rijrichting. Als gevolg van deze factoren kunnen gemeten waarden tot op zekere hoogte afwijken van de werkelijke waarde of een overeengekomen referentiewaarde.

Deze afwijkingen, in statistische termen de nauwkeurigheid genoemd, zijn samengesteld uit een combinatie van een gemeenschappelijke systematische fout (juistheidscomponent) en een toevallige fout (precisiecomponent). In ISO 3534-1 worden deze begrippen uitvoerig beschreven.

Juistheid

Juistheid is de mate van overeenstemming tussen de (gemiddelde) waarde die verkregen wordt uit een reeks waarnemingen en de werkelijke waarde. In het geval van "Meetsystemen langsvlakheid" is het meestal onmogelijk om de werkelijke waarde te hanteren, omdat deze niet bekend is of gemeten kan worden. Voor de 'werkelijke' waarde wordt dan arbitrair het resultaat van een geaccepteerde methode gehanteerd (bijvoorbeeld data van viagraafmetingen) of het gemiddelde van waarnemingen van een reeks "Meetsystemen langsvlakheid". In het ringonderzoek wordt de laatste genoemde optie gehanteerd.

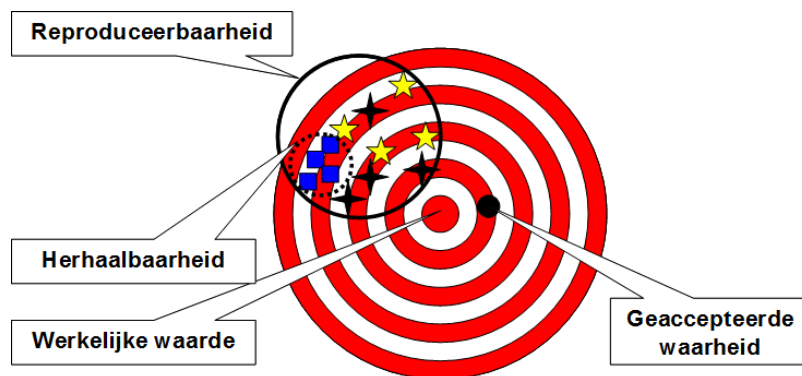
Voor wegmetingen is het gebruikelijk om de juistheid uit te drukken in een absolute waarde voor het maximale verschil tussen werkelijke waarde (of geaccepteerde waarde) en gemiddelde berekende waarde.

Precisie

Precisie is de mate waarin metingen of berekeningen dezelfde resultaten zullen tonen. Meestal wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen herhaalbaarheid r en reproduceerbaarheid R .

Herhaalbaarheid is de mate van variatie in meetresultaten of uitwerkingen daarvan in een reeks kort op elkaar volgende metingen met hetzelfde apparaat, dezelfde meettechnicus en dezelfde meetomstandigheden. Hoe beter de herhaalbaarheid, hoe kleiner de toevallige fout. Voor wegmetingen is het gebruikelijk de herhaalbaarheid uit te drukken in een 95% betrouwbaarheidsinterval voor het verschil van twee metingen. Dit is gelijk aan 2,82 maal de herhaalbaarheidstandaardafwijking. De herhaalbaarheid wordt aangeduid met het symbool ' r '.

Reproduceerbaarheid kan worden omschreven als de variatie bereikt bij herhaalde metingen met verschillende meetsystemen van hetzelfde sensortype onder dezelfde meetcondities. Voor wegmetingen is het gebruikelijk de reproduceerbaarheid uit te drukken in een 95% betrouwbaarheidsinterval voor het verschil van twee metingen. Dit is gelijk aan 2,82 maal de reproduceerbaarheidstandaardafwijking. De reproduceerbaarheid wordt aangeduid met het symbool ' R '.



Figuur 1 Verklaring van juistheid en de twee componenten van precisie, namelijk de herhaalbaarheid en de reproduceerbaarheid

In Figuur 1 worden de begrippen juistheid, herhaalbaarheid en reproduceerbaarheid geïllustreerd. De blokjes en sterren geven de waarnemingen van de deelnemers weer. Uit de figuur blijkt dat alle deelnemers systematisch afwijken van de geaccepteerde waarheid. Met andere woorden, de waarnemingen hebben een bepaalde mate van onjuistheid.

De gestippelde cirkel om de waarnemingen per deelnemer is een maat voor de herhaalbaarheid. Uit de waarnemingen blijkt dat de deelnemer aangeduid met de blokjes de beste herhaalbaarheid heeft. De cirkel met de ononderbroken omtrek geeft de mate van reproduceerbaarheid weer. De reproduceerbaarheid is altijd slechter dan de herhaalbaarheid.

1.2.4 Toetsing van waarden aan eisen

In deze handleiding worden verschillende eisen gesteld waaraan de (meet)waarden uit het ringonderzoek moeten worden getoetst. Bij het toetsen aan de eisen, moet de (meet)waarde rekenkundig worden afgerond op hetzelfde aantal decimalen als het aantal decimalen waarin de eis is gesteld. De op deze wijze afgeronde (meet)waarde wordt getoetst aan de betreffende eis. Wanneer een eis wordt vermeld met nul decimalen achter de komma, dan moet de (meet)waarde eveneens op nul decimalen worden afgerond voordat deze getoetst wordt aan de betreffende eis. Het aantal vermelde decimalen van de eis, is dus leidend voor de wijze waarop meetwaarden moeten worden getoetst.

2. Toelatingsonderzoek nieuwe systemen

2.1 Algemeen

Nieuwe “Meetsystemen langsvlakheid” die voor de analyse van de langsvlakheid van wegverhardingen in Nederland worden ingezet, moeten voorafgaande aan de operationele inzet zijn goedgekeurd door het CROW. Voor deze goedkeuring moet de nieuwe toetreder aantonen te voldoen aan de eisen die in dit hoofdstuk worden gespecificeerd alvorens te mogen meedoen aan het ringonderzoek.

Dit toetredingsonderzoek bestaat uit:

- onderzoek in-situ waarbij het meetsysteem in een meetvoertuig (of ander middel) dynamisch op een verkeersdrempel wordt beproefd op de aspecten juistheid (nauwkeurigheid) en herhaalbaarheid (precisie);
- onderzoek naar de invloed van de meetsnelheid op de meetresultaten;

2.2 Dynamisch onderzoek

Als het meetsysteem door de fabrikant en/of gebruiker voldoet aan de eisen die door de fabrikant en/of gebruiker zijn gesteld, biedt dit nog geen garantie dat het meetsysteem in een rijdend voertuig juiste en herhaalbare meetwaarden produceert. Daarom moet worden aangetoond dat het meetsysteem ook in een rijdend voertuig (dynamisch) goed functioneert.

2.2.1 Mogelijkheden bepaling juistheid “Meetsystemen langsvlakheid”

In theorie kan van een wegvak de nagenoeg echte waarde van het langsprofiel worden bepaald. Het langsprofiel van een wegvak kan worden ingemeten via een nauwkeurigheidswaterpassing aangevuld met een registrerende rij of een nauwkeurigheidslasermeting met bijvoorbeeld de Primal van VTI. Ervaringen met een dergelijk onderzoek op de DAF-proefbaan te Sint-Oedenrode in het verleden hebben overigens laten zien, dat er altijd problemen waren met de nauwkeurigheid van de ingemeten profielen. Er moeten dan ook hoge eisen worden gesteld aan de nauwkeurigheid van de inmeting.

In plaats van een heel wegvak te meten, kan ook een referentieprofiel als basis fungeren. In dat geval worden op de weg elementen van bekende afmetingen, zoals Andreasstrips aangebracht. Bij deze aanpak, waarbij een kunstmatig wegdek wordt gemaakt, moet er goed voor worden gezorgd dat de verwerking van het dynamisch gedrag van de meetauto/meetsysteem ook wordt meegenomen. De meetauto moet dus over de elementen rijden en dus zelf ook de verticale hoogteveranderingen ondergaan.

Uit praktijkproeven van KOAC•NPC in 2012 is gebleken dat Andreasstrips vaak te steil zijn, waardoor bij een rijnsnelheid van 50 km/h de versnellingen in (dit geval het HSRP-meetsysteem) te groot worden. Een Andreasstrip geeft dermate hoge versnellingen dat deze buiten het meetbereik van de versnellingsopnemer vallen (clipping). Hierdoor kan geen juist langsprofiel uit de ruwe meetwaarden worden afgeleid. Het kiezen van een versnellingsopnemer met een groter meetbereik geeft daarentegen minder nauwkeurige versnellingen in het relevante golflengtegebied.

Voor de bepaling van de juistheid van de meetverwachting van een “Meetsysteem langsvlakheid” kan het beste een (sinusvormige) verkeersdrempel worden gebruikt met een afdwingsnelheid van 60 km/h. Het meetbereik van de gebruikte sensoren dient afgestemd te zijn op het meten van bovengenoemde drempel, de signalen van de sensoren mogen niet buiten hun meetbereik vallen (clipping). Het verdient aanbeveling om bij de zoektocht naar een geschikte verkeersdrempel, na een testrun over de verkeersdrempel, te controleren of de ruwe meetwaarden van de sensoren binnen het meetbereik blijven. Mocht dit niet het geval zijn dan moet een flauwere en gemakkelijker passeerbare verkeersdrempel worden gezocht en/of moet de meetsnelheid van het meetvoertuig worden aangepast. De meetsnelheid moet ten minste 25 km/h bedragen.

N.B. De afdwingsnelheid van 60 km/h van een sinusvormige verkeersdrempel is afgestemd op personenauto's. De afdwingsnelheid van een bijvoorbeeld een vrachtwagen is bij dezelfde drempel veel lager, bijvoorbeeld 40 km/h.

2.2.2 Vastlegging langspiegel

De vorm van de verkeersdrempel wordt over de meetraai(en) van het meetsysteem vastgelegd met een nauwkeurigheidswaterpassing.

- de naar de verkeersdrempel toeleidende weg moet ten minste over een lengte van 150 m in rechtstand liggen en geen tussenliggende langsonvlakheden van enige omvang bevatten;
- voer een waterpassing uit die zich uitstrekt van ongeveer 10 m voor de top van de verkeersdrempel tot ongeveer 10 m na de top; deze meetlengte maakt het mogelijk om naderhand met de dataverwerking 16 m analyselengte over te houden met de top van de verkeersdrempel in het midden.
- leg per 0,2 m de hoogte vast; deze hoogte kan worden vastgelegd ten opzichte van een willekeurig referentiepunt, maar mag ook ten opzichte van NAP worden uitgedrukt;
- bepaal de gemiddelde hoogte van de punten 8,20, 8,00 en 7,80 m voor de top van de verkeersdrempel en koppel deze berekende hoogte aan de positie 8,00 m voor de verkeersdrempel; duid dit punt aan met paspunt 1;
- bepaal de gemiddelde hoogte van de punten 7,80, 8,00 en 8,20 m na de top van de verkeersdrempel en koppel deze berekende hoogte aan de positie 8,00 m na de verkeersdrempel; duid dit punt aan met paspunt 2;
- bepaal per meetpunt het verschil in hoogte tussen de met de waterpassing bepaalde hoogte gemeten op het meetpunt en de verbindingslijn van de hoogtes van de paspunten; het profiel van de op deze wijze verkregen hoogtes als functie van de afstand wordt het referentieprofiel genoemd; de maximale hoogte van het referentieprofiel is de referentiehoogte;
- bepaal de afstand van de referentiehoogte ten opzichte van paspunt 1;

Vervolgens worden met het "Meetsysteem langsvlakheid" op deze verkeersdrempel in dezelfde meetraai minimaal tien herhalingsmetingen uitgevoerd. Bij de meting gelden de volgende voorwaarden:

- voer de meting uit met een meetsnelheid van 25 km/h of hoger;
- zorg dat de meetapparatuur ten minste 100 m voor de verkeersdrempel al meetwaarden registreert (inslingeren).

2.2.3 Bepaling juistheid op verkeersdrempel

Voor de analyse van de "Meetsystemen langsvlakheid"-profielen is enig pas- en schuifwerk van de gemeten langspiegels nodig. Dit komt omdat de absolute waarden van de hoogte en afstand van de systemen nooit gelijk zullen zijn aan die van de waterpassing. De bepaling van de juistheid geschiedt op intervalniveau; dat wil zeggen op meetwaarden ten opzichte van gekozen referentiewaarden voor de hoogte en horizontale afstand.

Voer voor elk van de meetruns de volgende stappen uit:

- bepaal op basis van de vorm van het gemeten langspiegel het ongeveer 20 m lange gedeelte dat overeenkomt met het wegvak uit de waterpassing;
- leg per 0,2 m de hoogte tussen de paspunten 1 en 2 vast;
- bepaal per meetpunt het verschil in hoogte tussen de hoogte gemeten op het meetpunt en de verbindingslijn van de hoogtes van de paspunten;
N.B. Het profiel van de op deze wijze verkregen hoogtes als functie van de afstand wordt het meetsysteemprofiel genoemd.
- bepaal op de locatie van de referentiehoogte de hoogte van het meetsysteemprofiel;
N.B. Deze hoogte wordt aangeduid met meetsysteem-hoogte.
- bepaal de verhouding van de meetsysteem-hoogte en de referentiehoogte;
- over een reeks van tien meetruns mag de gemiddelde meetsysteemhoogte niet meer dan 6% van de referentiehoogte afwijken;

- over een reeks van tien meetruns mag de variatiecoëfficiënt van de verhoudingen van meethoogte en referentiehoogte niet groter zijn dan 3%;

2.2.4 Bepaling invloed meetsnelheid op meetwaarde

De meetsnelheid van een meetsysteem kan enige invloed hebben op de resultaten van de meting en de daaruit afgeleide vlakheidparameters. Daarom moet elke toetreders op drie achterelkaar liggende wegvakken van 100 m elk voor drie rijsnelheden drie herhalingsmetingen met het meetsysteem uitvoeren. De toets mag op een open of dicht wegdek worden uitgevoerd. Er zal alleen op de betreffende meetwaarde worden getoetst, waarvoor het certificaat wordt aangevraagd (Afwijkingsoppervlak voor Viagraaf/Rolrei-certificaat en IRI-waarde voor IRI-certificaat). De meetsnelheden zijn 40, 60 en 80 km/h. Gebruik van hogere meetsnelheden maakt de keuze van geschikte meetvakken problematisch. Op wegen waarop een hoge maximum rijsnelheid van toepassing is, is het gevaarlijk om met lage snelheden te rijden. Wanneer een meetsysteem op een vrachtwagen is gemonteerd, is de maximum rijsnelheid gebonden aan de maximum rijsnelheid voor de betreffende vrachtwagen. De minimum rijsnelheid kan moeilijk worden verlaagd, omdat meetsystemen die een relatief profiel meten niet goed werken bij lage rijsnelheden.

N.B. Er is een relatie tussen de meetsnelheid en de nog te kunnen meten golflengtes, met andere woorden een lagere meetsnelheid impliceert dat de golflengtes die nog kunnen worden gemeten korter worden.

- bepaal per meetvak het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp en/of IRI-waarde;
- bepaal over de reeks van driemaal drie meetruns, per meetvak het gemiddelde, de standaardafwijking en de variatiecoëfficiënt van het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp en/of IRI-waarde;
- de variatiecoëfficiënt van het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp en/of IRI-waarde mag ten hoogste 3% bedragen;
- als niet voldaan wordt aan de eis gesteld aan de variatiecoëfficiënt, moet de standaardafwijking van het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp kleiner zijn dan 2500 mm²;
- als niet voldaan wordt aan de eis gesteld aan de variatiecoëfficiënt van de IRI-waarde, moet de standaardafwijking van de IRI-waarde kleiner zijn dan 0,1 m/km.

Als aan de eis wordt voldaan, wordt aangenomen dat de invloed van de meetsnelheid op de meetwaarde verwaarloosbaar is.

3. Ringonderzoek goedgekeurde systemen

Met het periodiek ringonderzoek wordt beoogd een beeld te krijgen van de consistentie van de meetresultaten en de juistheid van de deelnemende systemen. In het ringonderzoek zal de combinatie van het meetsysteem en meetvoertuig worden getoetst, waarbij ook de positie van het systeem op de meetauto in zowel langsrichting (voor/midden/achter) als in dwarsrichting (links/midden/rechts) wordt vastgelegd. Het eventueel te verstrekken certificaat heeft dan ook alleen betrekking op de in het ringonderzoek getoetste combinatie, waarbij naast het kenteken van de meetauto, ook de positie van het "Meetsysteem langsvlakheid" op de meetauto op het certificaat zal worden vermeld.

Het vergelijkend onderzoek wordt eenmaal per jaar uitgevoerd op een in onderling verband te bepalen aantal keuzedagen. Deelname aan het ringonderzoek staat alleen open voor deelnemers die hebben aangetoond te voldoen aan de eisen van het toelatingsonderzoek nieuwe systemen (zie hoofdstuk 2). Wanneer van een meetvoertuig geen toelatingsonderzoek beschikbaar is, dan kan het meetvoertuig deelnemen aan het ringonderzoek. De meetwaarden van het betreffende meetvoertuig worden niet meegenomen in de bepaling van de referentie. Het meetvoertuig ontvangt geen certificaat, ook niet als aan alle eisen wordt voldaan. Voorafgaande aan het ringonderzoek moeten de deelnemers een eerste- en tweedelijnscontrole hebben uitgevoerd, zoals beschreven in paragraaf 3.1.

3.1 Reguliere eerste-, tweede- en derdelijnscontrole

In reguliere kwaliteitssystemen voor wegmetingen wordt onderscheid gemaakt tussen de eerste-, tweede-, en derdelijnscontrole.

- De eerstelijnscontrole bestaat uit de vrijwel dagelijkse controle op de goede werking van het meetsysteem. Voor deze controle moet het meetsysteem een referentievak in rechtstand van minimaal 200 m bemeten. Het verdient aanbeveling dit referentievak dicht bij de stalling van de meetapparatuur te kiezen. Per 100 m vak wordt ter plekke de IRI-waarde bepaald. Deze meetwaarden worden getoetst aan de tolerantieband die op basis van de eerste tien metingen is bepaald. De meetwaarde van de eerstelijnscontrole mag per meetvak niet meer dan 8% afwijken van het gemiddelde van de eerste tien metingen. De gekozen 8%-waarde is nagenoeg gelijk aan de herhaalbaarheid van de IRI-meting.
- De tweedelijnscontrole betreft enerzijds een periodieke kalibratie van het meetsysteem naar nationale of internationale standaarden en anderzijds de bepaling van de consistentie en stabiliteit van het meetsysteem in de tijd.
Hierbij worden regulier eenmaal per jaar, en vaker als nodig is, de individuele onderdelen van ieder meetsysteem stationair gecontroleerd. De wijze van uitvoering en de eisen die aan de kalibratie worden gesteld worden overgelaten aan de leverancier en/of gebruiker. Dit onderzoek wordt indien nodig ook uitgevoerd als uit de eerstelijnscontrole blijkt dat het meetsysteem niet aan de richtwaarden voldoet.
- De derdelijnscontrole omvat het controleren van de prestatiekenmerken juistheid (nauwkeurigheid) van de meetverwachting en herhaalbaarheid (precisie). Hierbij wordt een aantal malen met vaste snelheid over een nauwkeurig ingemeten sinusvormige verkeersdrempel gereden. Vervolgens wordt het absolute hoogteverschil tussen top en dal uit de meetdata bepaald en vergeleken met de resultaten van een referentiewaterpassing. Deze controle moet eenmaal per jaar plaatsvinden. Hiervoor kunnen de procedures gespecificeerd in paragrafen 2.2.1 t/m 2.2.3 worden gehanteerd. Dit onderzoek wordt, indien nodig, ook uitgevoerd als uit de eerstelijnscontrole blijkt dat het meetsysteem niet meer aan de richtwaarden voldoet.
N.B. Om mee te kunnen doen aan het ringonderzoek en een certificaat te verkrijgen, dient het meetsysteem te voldoen aan de eisen zoals beschreven in hoofdstuk 2.

3.2 Wegvakken en uitvoering meting ringonderzoek

3.2.1 Selectie van wegvakken

De wegvakken moeten aan de volgende eisen voldoen:

- Alle meetvakken moeten in rechtstand liggen en een lengte hebben van 100 m;
- De reeks meetvakken moet enige variatie in langsvlakheid vertonen;
- De dwarspositie moet liefst weinig invloed op de langsvlakheid hebben;
- Er moeten ten minste 10 aaneengesloten meetvakken op een dicht en 10 aaneengesloten meetvakken op een open deklaag worden geselecteerd, waarbij het gemiddelde verschil in MPD tussen beide wegvakken bij voorkeur minimaal 0,5 mm bedraagt.
- Op de meetvakken moet een rijsnelheid van 70 km/h toegestaan en zonder problemen mogelijk zijn;
- Tussen de meetvakken moet een handige ringvormige route kunnen worden gemaakt zodat de metingen efficiënt kunnen worden uitgevoerd;
- Om tijdens het ringonderzoek de metingen zo goed mogelijk in de juiste dwarspositie uit te voeren, kan voorafgaand aan de metingen stilstand worden bekeken in welke dwarspositie men het voertuig tijdens de meting moet zien te houden om de metingen in het juiste meetspoor uit te voeren. Het gekozen meetspoor wordt vastgelegd door opgave van de gemiddelde afstand van het meetspoor tot de rechter wegmarkering.
- Voor metingen met voertuigen waarbij het "Meetsysteem langsvlakheid" in dwarsrichting gezien in het midden of links van het midden is gemonteerd, moet een apart meetspoor worden gekozen. In vrijwel alle gevallen zal dit resulteren in een ander meetspoor dan voor de "rechter" systemen.
- Bij het maken van een zijdelingse beweging in een proefvak, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een vluchtheuvel of bij objecten dicht langs de weg, blijken de meetdata van de meetsystemen veel minder goed vergelijkbaar/ onbruikbaar te zijn. Bij de keuze van proefvakken voor een ringonderzoek, moet deze situatie worden vermeden.
- Er wordt aanbevolen geen proefvakken voor het ringonderzoek te selecteren met spoorvorming en/of scheurvullingen.

3.2.2 Uitvoering meting

Voor de uitvoering van de metingen gelden de volgende eisen:

- Het onder de vlag van CROW georganiseerde ringonderzoek zal plaatsvinden op een aantal keuzedagen;
N.B. In de praktijk bleek het moeilijk om voldoende bemanning op de been te brengen om alle ingeschreven meetvoertuigen op 1 dag op de weg te krijgen, en bovendien delen sommige voertuigen dezelfde apparatuur.
De projectbegeleider van het onderzoek zal de periode (in principe 1 week) aangegeven waarin het onderzoek uitgevoerd dient te worden.
- In bovengenoemde periode moet de weersvoorspelling van de door de deelnemer geplande meetdag, aangeven dat er maximaal windkracht 4 voor de meetlocatie wordt verwacht;
- De te meten wegvakken moeten ten tijde van het ringonderzoek droog zijn;
- Meetvoertuigen met één of meerdere systemen moeten met elk systeem de meetvakken 10 maal meten, zodat voor elke combinatie van meetvak en meetspoor 10 metingen beschikbaar zijn;
- Per meetsysteem moeten als reserve altijd twee extra meetrans worden uitgevoerd;

3.2.3 Selectie meetdata

Bij de verwerking van de meetdata krijgen de volgende zaken aandacht:

- De deelnemer mag uit de meetdata van het verplichte aantal meetrans en de twee extra meetrans achteraf kiezen welke twee meetrans hij bij de analyse buiten beschouwing wil laten;
- De projectbegeleider (analist van de meetdata) controleert de door de deelnemer aangeleverde meetdata op uitbijters;
- De projectbegeleider stelt aan het CROW Platform Wegmetingen voor hoe deze gegevens te behandelen, de uitbijters en het CROW-besluit worden gerapporteerd;

3.3 Analyse juistheid

De toetsing op juistheid wordt uitgevoerd op dichte en open wegvakken afzonderlijk.

3.3.1 Bepaling juistheid afwijkingsoppervlak viagraaf

Voor elk wegvak wordt eerst de referentiewaarde per wegvak bepaald, dit gebeurt als volgt:

- bepaal per deelnemer en meetvak het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp en de IRI;
- bepaal over de reeks van tien te analyseren meetruns, per meetvak het gemiddelde, de standaardafwijking en de variatiecoëfficiënt van het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp en de IRI;
- duid de groep van deelnemers aan als referentiegroep (in eerste instantie zijn dit alle deelnemers);
- bepaal per meetvak het overall gemiddelde van het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp en de IRI voor de referentiegroep over alle meetruns; deze overall gemiddeldes worden aangeduid als referentiewaarden;
- bepaal per deelnemer, per meetvak en per meetrun het verschil tussen de waarneming van de deelnemer en de referentiewaarde;
- bepaal per deelnemer, per meetvak en per meetrun de verhouding tussen het in de vorige stap berekende verschil en de referentiewaarde;
- bepaal per deelnemer en meetvak het gemiddelde van de in de vorige stap berekende verhoudingen van alle meetruns;
- de waarde van de in de vorige stap berekende gemiddelde verhouding mag per meetvak en deelnemer niet groter zijn dan 0,10 en niet kleiner zijn dan -0,10;
- toets, behalve als de referentiegroep uit drie deelnemers bestaat, of de deelnemers uit de referentiegroep aan de eis van de vorige stap voldoen, als dit niet het geval is, wordt de deelnemer met de grootste absolute afwijking uit de referentiegroep verwijderd;
- herhaal daarna de stappen vanaf stap 4;

Vervolgens wordt per wegvak (open en dicht) bepaald of de deelnemer aan de juistheidseisen voldoet:

- bepaal per deelnemer, per meetvak en per meetrun de verhouding van het verschil tussen de waarneming van de deelnemer en de referentiewaarde en de referentiewaarde zelf;
- bepaal per deelnemer en meetvak het gemiddelde en de standaardafwijking van de in de vorige stap berekende verhoudingen van alle meetruns;
- verwijder per deelnemer het 100 m meetvak met de grootste absolute waarde van de berekende verhoudingen;
- bepaal per deelnemer het gemiddelde van de verhoudingen van de overgebleven meetvakken; Dit resultaat wordt aangeduid als resultaat A;
- bepaal per deelnemer de standaardafwijking van de verhoudingen van de overgebleven meetvakken; Dit resultaat wordt aangeduid als resultaat B;
- resultaat A moet ten minste -0,10 zijn en ten hoogste 0,10;
- resultaat B mag ten hoogste 0,09 zijn bij gebruik van 10 meetruns;
- een deelnemer voldoet aan de juistheidseisen als resultaat A en B beide aan de eisen voldoen;

3.3.2 Bepaling juistheid IRI

De bepaling van de juistheid op basis van de IRI is gelijk aan die van het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp. De eisen waaraan resultaat A en B van de IRI moeten voldoen zijn gelijk aan de eisen voor het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp.

3.4 Analyse precisie

De toetsing op precisie wordt uitgevoerd op dichte en open wegvakken afzonderlijk.

3.4.1 *Bepaling precisie afwijkingsoppervlak viagraaf*

De precisie wordt bepaald door van elk afzonderlijk "Meetsysteem langsvlakheid" per meetvak het gemiddelde en de standaardafwijking van de waarnemingen uit de 10 meetruns te bepalen. Deze analyse wordt uitgevoerd op het uit de "Meetsysteem langsvlakheid"-meetresultaten afgeleide afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp. De herhaalbaarheid moet per deelnemer en meetvak aan de volgende eisen voldoen:

- bepaal per deelnemer en per meetvak de standaardafwijking en de verhouding van de standaardafwijking en gemiddelde (is variatiecoëfficiënt) van het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp;
- verwijder per deelnemer het 100 m meetvak met de grootste variatiecoëfficiënt;
- bepaal per deelnemer het gemiddelde van de variatiecoëfficiënten van de overgebleven meetvakken; Dit resultaat wordt aangeduid als resultaat C;
- bepaal per deelnemer het gemiddelde van de standaardafwijkingen van de overgebleven meetvakken; Dit resultaat wordt aangeduid als resultaat D;
- resultaat C mag ten hoogste 3% bedragen;
- als resultaat C niet aan de eis voldoet, toets dan of resultaat D kleiner is 2500 mm²;
- een deelnemer voldoet aan de precisie-eisen als resultaat C of D aan de eisen voldoet;

3.4.2 *Bepaling precisie International Roughness Index*

De bepaling van de precisie op basis van de IRI is gelijk aan die van het afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp. De eis waaraan resultaat C moet voldoen is ten hoogste 3%. De eis waaraan resultaat D moet voldoen, als niet wordt voldaan aan de eis voor resultaat C, is kleiner dan 0,10 m/km.

3.5 **Certificaateisen**

Een deelnemer voldoet aan de eisen als:

- de juistheid op het dichte en het open wegdek voldoet aan de eisen gespecificeerd in paragraaf 3.3;
- de precisie op het open en het dichte wegdek voldoet aan de eisen gespecificeerd in paragraaf 3.4;

Bij de toetsing wordt per "Meetsysteem langsvlakheid" onderscheid gemaakt naar de meetparameters afwijkingsoppervlak viagraaf Aopp en International Roughness Index. Een deelnemer die aan de eisen gespecificeerd aan de juistheid en precisie van de betreffende meetparameter(s) voldoet, komt in aanmerking voor een CROW-certificaat voor "Meetsystemen langsvlakheid" voor de betreffende meetparameter(s) en het onderzochte meetsysteem.

4. Paarsgewijze vergelijking

Als een deelnemer niet aan alle eisen van het ringonderzoek voldoet, kan de deelnemer een verzoek indienen bij CROW om een paarsgewijze vergelijkend onderzoek uit te voeren. Dit verzoek kan ook worden ingediend bij verplaatsing van het meetsysteem op een meetvoertuig of overplaatsing van een meetsysteem naar een ander voertuig. Bij de paarsgewijze vergelijking wordt onderscheid gemaakt naar de meetparameters afwijkingsoppervlak viagraaf en International Roughness Index. Het onderzoek bestaat uit twee deelnemers, namelijk de deelnemer waarvan de juistheid en precisie van de betreffende meetparameter(s) moeten worden bepaald en een deelnemer die in het bezit is van een geldig CROW-certificaat voor de betreffende meetparameter(s). Deze deelnemer wordt aangeduid als referentie.

Voor de uitvoering, analyse, rapportage, certificatieisen, etc. gelden dezelfde procedures en analysestappen als voor het ringonderzoek. Bij de toetsing aan het referentie-systeem tijdens het paarsgewijs vergelijk, moet rekening worden gehouden met de afwijking van dat referentie-systeem tijdens het meest recent uitgevoerde CROW-ringonderzoek, om te borgen dat het nog goed te keuren systeem ook binnen de toleranties van het CROW-ringonderzoek valt. Voor de toekenning van het CROW-certificaat voor "Meetsystemen langsvlakheid" gelden de eisen gesteld in paragraaf 3.5.

5. Organisatie ringonderzoek

Voor de planning, organisatie en taken van een ringonderzoek "Meetsystemen langsvlakheid" kunnen globaal de volgende rollen en taken worden beschreven.

5.1 Organisatie

5.1.1 Planning

De planning van het vergelijkend onderzoek is de taak van het organiserend platform, dat wil zeggen een platform van deskundigen, die goed bekend zijn met de meetmethode. In dit kader fungeert het Platform Wegmetingen als organiserend platform.

5.1.2 Projectbegeleider

Een lid van het organiserend platform, de projectbegeleider (bij voorkeur een medewerker van CROW), is verantwoordelijk voor de initiatie en opdrachtverlening van het vergelijkend onderzoek. Hij beoordeelt (of laat beoordelen) de gerapporteerde meetdata en accepteert de uiteindelijke resultaten van het onderzoek als vaststaat, dat alles is verlopen conform de vastgelegde procedure. Hij wordt hierin ondersteund door een erkend inhoudelijk deskundige met ruime ervaring in vergelijkend onderzoek met veldmetingen.

5.1.3 Contactpersoon

Per deelnemend bedrijf wordt de contactpersoon door de projectbegeleider geïnstrueerd over de periode van uitvoering van het onderzoek, de hiervoor te volgen procedure en de testlocatie. De contactpersoon is verantwoordelijk voor het rapporteren van de eigen data en voorleggen van de gevraagde onderzoeksdata.

5.2 Taken

5.2.1 Voorbereiding

De voorbereidende taken van het organiserend platform zijn:

- vaststellen instructies die aan de deelnemers worden verstrekt over de uitvoering van het onderzoek;
- vaststellen welke informatie van de deelnemers wordt gevraagd naast de meetresultaten (bijvoorbeeld data aanleveren in het gewenste formaat);
- benoemen projectbegeleider en ondersteunende inhoudelijk deskundige;
- vaststellen wanneer en waar het onderzoek wordt gehouden.

5.2.2 Uitvoering

De taken van het organiserend platform tijdens de uitvoering van het ringonderzoek procedure zijn:

- vaststellen rapport van de projectbegeleider met vermelding van de juistheid en herhaalbaarheid per deelnemer en de reproduceerbaarheid van de meetmethode;
- vaststellen of de deelnemers aan de eisen voldoen;
- aangeven van mogelijke verbeteringen in de procedure;
- beslissen of verbetering van de procedure noodzakelijk is.

De taken van de projectbegeleider(s) met ondersteuning van deskundige vertegenwoordiger van een deelnemer zijn:

- vaststellen meetplan en voorstel voor statistische analyse;
- doen van voorstellen voor te hanteren bestandsformaten voor aanlevering van de meetdata;
- voor en na uitvoering van de metingen van de deelnemers aan het ringonderzoek controleert de projectbegeleider of in de periode dat de metingen zijn uitgevoerd er veranderingen in het wegdek zijn aangebracht die mogelijk van invloed zijn geweest op de meetresultaten;

- toezicht op de uitvoering van het onderzoek;
- beslissingen nemen om het onderzoekprogramma aan te passen als zich moeilijkheden voordoen;
- toesturen van instructies voor de onderzoekprocedure naar de contactpersonen;
- verzamelen meetdata en voorbereiden data voor verdere statistische analyse;
- analyseren van de data rapporteren van afwijkingen en problemen aan de projectbegeleider(s) met aanbevelingen hoe de knelpunten aan te pakken;
- opstellen van een rapport, dat voorgelegd wordt aan het organiserend platform conform de hiervoor opgestelde procedure; in de rapportage worden de deelnemers geanonimiseerd.

