

Stroefheidsmetingen 86% vertraagd wiel

In het kader van de verkeersveiligheid speelt de stroefheid van het wegdek een belangrijke rol. De stroefheid wordt bepaald door de mate van ruwheid (textuur) van het wegdek en het gebruikte grove mineraal aggregaat, maar ook door de mate van vervuiling en of het wegdek droog of nat is. Samen met het remsysteem van het voertuig, type band maar zeker niet te vergeten het gedrag van de bestuurder, heeft de stroefheid grote invloed op de lengte van de remweg. Omdat de remvertraging op een nat wegdek veelal kleiner is dan op een droog wegdek en de kans op een ongeluk twee- tot driemaal groter is, wordt de stroefheid standaard gemeten op een nat gemaakt wegdek. Met het toenemend gebruik van nieuwe geluidarme en open wegdekken is echter ook meer aandacht ontstaan voor stroefheid onder droge omstandigheden (zie technisch infoblad remvertraging).

De stroefheidsmeting is internationaal verre van gestandaardiseerd. In Nederland is de methode 86% vertraagd wiel in gebruik. Uit een in het verleden uitgevoerd onderzoek door de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) en Rijkswaterstaat is een samenhang gevonden tussen de wrijvingscoëfficiënt, gemeten volgens de methode 86% vertraagd wiel en het aantal ongevallen op een nat wegdek. Op grond van dit onderzoek zijn grenswaarden opgesteld voor de op deze wijze gemeten wrijvingscoëfficiënt. In plaats van de term wrijvingscoëfficiënt wordt ook vaak de term stroefheid gebruikt.

1. Toepassingsgebied

De stroefheid kan worden gemeten als controle van de aanvangstroefheid bij de oplevering van nieuw aangebrachte verhardingen, uitgevoerd in zowel asfalt als cementbeton. De stroefheids-meting kan ook worden gebruikt voor het volgen (monitoren) van het stroefheidsverloop in de tijd dan wel voor het periodiek controleren van de stroefheid. De wegbeheerder is immers volgens het Nieuw Burgerlijk Wetboek risicoaansprakelijk voor de toestand van de door hem beheerde wegen. Het stroefheidsresultaat is dan ook van belang voor het mede bepalen van het onderhoudstijdstip en het type van onderhoudsmaatregel.

Tegenwoordig worden veel wegenbouwprojecten uitgevoerd waarbij de aannemer tevens verantwoordelijk is voor het onderhoud gedurende een bepaalde termijn. Veelal worden hierbij door de opdrachtgever eisen gesteld aan de kwaliteit die de verharding gedurende deze termijn minimaal dient te hebben. Dit geldt ook voor de stroefheid van de verharding. Hierbij kunnen meetmethoden, acceptatiegrenzen en meettermijnen worden gehanteerd die afwijken van de minimum waarden genoemd in de Standaard RAW Bepalingen.

2. Apparatuur en meetprincipe

De meetapparatuur en het meetprincipe zijn uitvoerig geschreven in Proef 150 van RAW2005 en Proef 72 van RAW2010 en RAW2015.

2.1 Apparatuur

De meetapparatuur is als aanhanger uitgevoerd. Figuur 1 en Figuur 2 en de schematische tekening in Figuur 3 geven een indruk van het meetsysteem. Het meetwiel staat in lijn met de rijrichting en wordt vanuit één van de loopwielen aangedreven met een 86% lagere omtreksnelheid dan de loopwielen. In het contactvlak tussen band en wegdek treedt daarom 86% langsslip op.



Figuur 1: Meetsysteem

Bij transport is het meetwiel opgetrokken. Voor het binnenrijden van het meetvak wordt het meetwiel tijdig naar beneden gelaten en in contact gebracht met de weg. De statische belasting (FN), die door het meetwiel op de weg wordt uitgeoefend, bedraagt $1962 \pm 9,81$ N. Het meetwiel is voorzien van een gestandaardiseerde ongeprofileerde PIARC-meetband (165 R15) met een bandenspanning van 200 ± 10 kPa.

Vanuit het trekkende voertuig wordt via een slang, waterpomp en spuitmond voor de meetband een waterfilm gespoten met een minimale breedte van 0,15 m en een dikte van 0,5 mm, berekend op een theoretisch textuurloos oppervlak. Het debiet van de pomp wordt aangepast naar rato van de meetsnelheid.



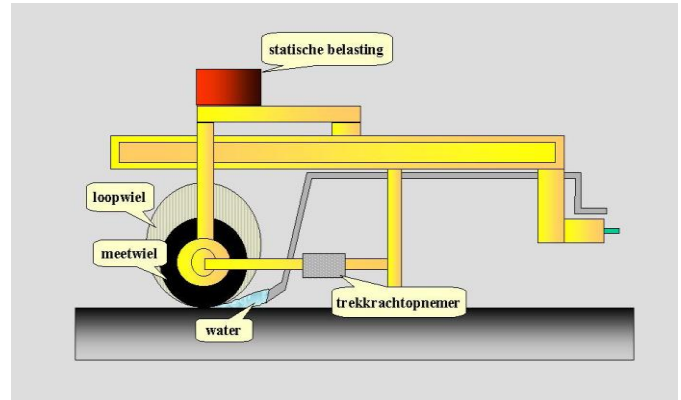
Figuur 2: Meetaanhanger

Het trekkende meetvoertuig van Kiwa KOAC is voorzien van luchtvering met niveauregeling, waardoor het voertuig een constante stand ten opzichte van het wegdek heeft; daarom hoeft dus in de dataverwerking conform Proef 150 van RAW2005 en Proef 72 van RAW2010 en RAW2015 geen correctie te worden uitgevoerd voor de vullingsgraad van de watertank in het meetvoertuig (zie onder berekening).

De meting wordt standaard in een enkele meetrun uitgevoerd, tenzij de meting wordt uitgevoerd in het kader van het Meet- en rekenprotocol Actuele Stroefheidscore AS van Rijkswaterstaat. De Actuele Stroefheidscore AS wordt beknopt beschreven onder Verwerking meetgegevens

2.2 Meetprincipe

Het meetwiel heeft door de 86% lagere omtreksnelheid de neiging om achter te willen blijven bij de meetaanhanger. Door middel van een reactiestang wordt dit verhinderd. De reactiestang is voorzien van een elektronische krachtopnemer, waardoor de reactiekracht (F_w) kan worden geregistreerd (zie Figuur 3). De onzekerheid van deze krachtopnemer bedraagt ten hoogste 0,2% met een maximum afwijking van 9,81 N. De reactiekracht F_w is gelijk aan de wrijvingskracht in het bandcontactvlak. Het quotiënt van de gemeten wrijvingskracht F_w en de bekende wielbelasting F_N levert de wrijvingscoëfficiënt op. Deze wordt gemeten per 0,25 m en meestal gepresenteerd als gemiddelde waarde over een vaklengte van 100 m.



Figuur 3: Meetprincipe

3. Operationele condities

3.1 Meetsnelheid

De waarde van de wrijvingscoëfficiënt is snelheidsafhankelijk. De wrijvingscoëfficiënt neemt af naarmate de meetsnelheid toeneemt. De mate waarin dit gebeurt, is van diverse factoren afhankelijk waarvan de textuurdiepte een van de meest relevante factoren is.

Bij uitvoering van de stroefheidsmeting 86% vertraagd wiel conform Proef 72 van RAW2010 en Proef 72 methode 2010/70 van RAW2015 bedraagt de standaardmeetsnelheid $70 \pm 3,5$ km/uur gemiddeld over een lengte van 100 m. De meeste eisen en grenswaarden zijn vastgesteld voor de standaardmeetsnelheid.

Naast de genoemde meetsnelheid van 70 km/uur wordt ook wel gemeten met een lagere meet-snelheid (methode 2010/50) van $50 \text{ km/uur} \pm 2,5 \text{ km/uur}$ op plaatsen waar de meetsnelheid van 70 km/uur niet kan worden behaald of gehandhaafd. Dit komt bijvoorbeeld voor in bochten bij toe- en afritten.

Indien op een werk de Standaard RAW Bepalingen van vóór 2010 van toepassing zijn, bedraagt de meetsnelheid 50 km/uur. Op werken waar geen Standaard RAW Bepalingen van toepassing zijn, moet de opdrachtgever aangeven welke meetmethode en welke acceptatiegrenzen moeten worden gehanteerd.

In bijzondere gevallen, zoals in de bebouwde kom of bij rotondes, moet de meetsnelheid soms worden beperkt. De wrijvingscoëfficiënt, bepaald bij snelheden die liggen tussen 25 en 50 km/uur kan - bij voorkeur in combinatie met de textuureigenschappen - worden vertaald in een indicatieve waarde voor de stroefheid bij 50 km/uur. Deze conversie is voor wegdekken met hogere textuurdiepte onnauwkeuriger dan voor wegdekken met textuurdieptes (Mean Profile Depth) kleiner dan 1 mm.

3.2 Dwarspositie meting

In principe wordt de stroefheid gemeten in het rechter wielspoor. Daar waar dit, door bijvoorbeeld de aanwezigheid van trottoirbanden, niet mogelijk is, wordt aangegeven welke dwarspositie is gebruikt.

Bij metingen conform het Meet- en rekenprotocol Actuele Stroefheidscore AS van Rijkswaterstaat moeten de metingen, tenzij anders is aangegeven, uitgevoerd worden met een vaste afstand van 0,60 m van het hart van het meetwiel tot de linkerzijde van de rechter kantstreep of deelstreep. Bij ontbreken van zo'n streep wordt een andere positionering gebruikt. Bij bochten met een boogstraal van 1000 m worden in dat geval aanvullende afspraken voor de dwarspositie gemaakt.

Ook het Meet- en rekenprotocol Stroefheidsindex SI van Rijkswaterstaat stelt eisen aan de registratie van de dwarspositie.

3.3 Weer en wegdek

Extreme condities van temperatuur en neerslag moeten worden vermeden. De metingen mogen niet worden uitgevoerd bij wegdektemperaturen lager dan 2°C en hoger dan 45°C en bij luchttemperatuur lager dan 2°C en hoger dan 30°C. Per meetlocatie of halve dag wordt de luchttemperatuur geregistreerd (nauwkeurigheid ±1°C). De wegdektemperatuur wordt tijdens de uitvoering van de metingen continu geregistreerd (nauwkeurigheid ±1°C).

Voor metingen in het kader van de bepaling Actuele Stroefheidscore AS en Stroefheidsindex SI gelden de volgende aanvullende beperkingen in de uitvoering:

- metingen niet uitvoeren als er strooizout op de weg ligt;
- metingen niet uitvoeren in januari, februari, juli en augustus;
- metingen niet uitvoeren na een lange periode (minimaal 2 weken) van droog weer (geen enkel etmaal meer dan 1 mm regen);
- metingen niet uitvoeren als er zichtbare vervuiling op de weg ligt.

3.4 Opmerkingen

Ten behoeve van de controle van de stroefheid moet het wegoppervlak schoon en vrij van obstakels zijn gedurende de uitvoering van de metingen. Tijdens de metingen worden optioneel 'events', zoals lassen, losliggende stenen, andere vervuiling, verandering in oppervlaktype en zijwegen aangegeven.

4. Verwerking meetgegevens

4.1 Berekening

De wrijvingscoëfficiënt wordt als volgt bepaald:

$$f_{\text{gemeten}} = \frac{F_w + C_w}{F_N}$$

waarbij

f_{gemeten}	=	wrijvingscoëfficiënt (-)
F_w	=	wrijvingskracht tussen verharding en meetwiel (N)
C_w	=	correctie in verband met de stand van het voertuig (N)
F_N	=	normaalkracht (N)

4.2 Seizoenscorrectie

Bij metingen voor opleveringscontrole wordt de gemeten wrijvingscoëfficiënt niet gecorrigeerd voor effecten van het meetseizoen, als tenminste de ouderdom van de deklaag tijdens de meting minder dan één jaar bedraagt. In alle overige situaties wordt het effect van het meetseizoen op de wrijvingscoëfficiënt in rekening gebracht via de volgende formule:

$$f = f_{\text{gemeten}} - 0,022 \times \sin((360/365) \times (\text{meetdag} + 60))$$

De meetdag is het aantal dagen sinds 1 januari van het jaar van de meting (meetdag = 1 op 1 januari)

4.3 Standaard rapportage

De standaard rapportage geschiedt veelal per meetvak van 100 m (zie Figuur 5) en bevat de volgende gegevens:

Locatiegegevens:

- plaats van de meting (weg, baan, strook, meetspoor in rijstrook, meetlengte ten opzichte van een beschreven nulpunt en kilometrering);
- meetrichting ten opzichte van de rijrichting indien afwijkend hiervan;
- extreme hellingen de richting (stijgend/dalend) (enkel in geval RAW2010 of 2005);
- extreme bochten de richting (links/rechts); omdat het moeilijk is om te definiëren wat een bocht is of helling worden alleen de extreme bochten en hellingen door de meettechnici via een 'event' geregistreerd (enkel in geval RAW2010 of 2005);
- type verharding, open (ZOAB, ZOAB+, 2 laag ZOAB, dunne geluidsreducerende deklagen) dan wel dicht (asfaltbeton (AC), SMA, combinatiedeklaag, cementbeton en oppervlakbehandeling).

Uitvoerings- en verwerkingsgegevens:

- meetdatum en het volgnummer van de meetdag;
- meetmethode (bijvoorbeeld 2005/50, 2010/70, etc.);
- gemeten lucht- en wegdektemperatuur;
- eventuele meetcondities buiten het tolerantiegebied;
- meetsnelheid.

Meetwaarden:

- gemiddelde wrijvingscoëfficiënt per wegvak van 100 m;
- locaties van alle weggedeelten van 5 m en langer, waarvan de berekende 5 m-waarden lager zijn dan een opgegeven grenswaarde.

Een voorbeeld van een grafische presentatie van de gemeten stroefheidswaarden is gegeven in Figuur 4.

4.4 Actuele Stroefheidsscore en Stroefheidsindex

Om de grootte van fluctuaties in de meetwaarden bij de onderhoudsprogrammering te verkleinen, heeft Rijkswaterstaat twee concepten met meervoudige stroefheidsmetingen conform Proef 72 van RAW2010 en RAW2015 geïntroduceerd, namelijk:

- Actuele Stroefheidsscore AS;
- Stroefheidsindex SI.

Actuele Stroefheidsscore AS

Het te bemeten wegvak moet opgedeeld worden in aaneensluitende meetvakken van steeds 2 km. Als het totale wegvak korter is dan 2 km of niet een veelvoud is van 2 km, wordt de meting aan het begin of eind van het wegvak doorgezet op de aangrenzende deklaag (buiten het te bemeten wegvak) zodat alsnog een veelvoud van 2 km wordt verkregen. De meting wordt uitgevoerd met een standaard meetsnelheid van 70 km/uur. Als dit niet mogelijk is wordt plaatselijk een meetsnelheid van 50 km/uur gehanteerd. De meting wordt uitgevoerd op een afstand van 0,60 m van de kantstreep (nauwkeurigheid ±0,02 m per 100m-vak). Deze dwarspositie wordt geregistreerd.

Voor elk meetvak van 2 km moeten de meetwaarden aan de volgende voorwaarden voldoen:

- het verschil tussen de gemiddelde wrijvingscoëfficiënt per 2 km wegvak mag niet groter zijn dan 0,015;
- het verschil tussen de gemiddelde wrijvingscoëfficiënt per 100 m-vak binnen het 2 km wegvak mag niet groter zijn dan 0,050;
- de gemiddelde dwarspositie per 100 m-vak binnen het 2 km wegvak mag nergens meer dan 0,15 m afwijken van de gevraagde meetpositie op de deklaag.

De meetresultaten worden geldig verklaard als ze aan de drie criteria voldoen.

Als aan één of meer van bovenstaande drie criteria niet wordt voldaan moet het betreffende 2 km traject opnieuw eenmaal worden gemeten en worden vergeleken met een van de voorgaande metingen. Dit mag maximaal tweemaal worden herhaald totdat een set van twee metingen wordt verkregen die aan de criteria voldoet. Indien na vijf metingen nog steeds niet aan alle drie genoemde criteria wordt voldaan, dan dienen

de twee metingen gekozen te worden waarbij het verschil met de eiswaarden zo klein mogelijk is.

De Actuele Stroefheidsscore AS wordt per 100 m-vak berekend. De score is het verschil tussen het gemiddelde van de twee geldige wrijvingscoëfficiënten en de voor de meetsnelheid en het deklaagtype geldende normwaarde (zie onderhoudsgrenswaarden in Tabel 1).

Stroefheidsindex SI

Onder de Stroefheidsindex SI wordt verstaan het verschil tussen de voor tijd genormeerde meerdere meetwaarden van stroefheidmetingen en de bij de betreffende meting van toepassing zijnde stroefheidsnorm. De stroefheidsindex SI wordt gebruikt voor monitoringsdoeleinden. Op de gemeten voor seizoen gecorrigeerde stroefheid wordt een tijdnormering toegepast volgens:

$$f_{\text{tijd},i} = f_i - n \cdot 0,010/12$$

waarbij $f_{\text{tijd},i}$	=	tijdgenormeerde stroefheid met ouderdom i (-)
f_i	=	seizoensgecorrigeerde stroefheid met ouderdom i (-)
n	=	tijd in maanden tussen betreffende meting en de meest recente meting (-)

De meest recente valide meting dient ten tijde van het verificatiemoment maximaal 6 maanden oud te zijn. Overige beschikbare valide metingen mogen tot maximaal 30 maanden oud zijn.

Per meetreeks wordt het verschil berekend tussen de tijdgenormeerde stroefheid en de voor de meetsnelheid en het deklaagtype geldende normwaarde (zie onderhoudsgrenswaarden in Tabel 1). Daarna wordt aan elk tijdgenormeerd stroefheidsverschil een weegfactor toegekend die afhankelijk is van de ouderdom van de meting. De Stroefheidsindex SI wordt als volgt berekend:

$$SI = \frac{\sum \Delta f_{\text{tijd,verschil},i} \cdot w_i}{\sum w_i}$$

waarbij SI	=	stroefheidsindex (-)
$\Delta f_{\text{tijd,verschil},i}$	=	tijdgenormeerde stroefheidsverschil met norm en met ouderdom i (-)
w_i	=	weegfactor bij ouderdom i (-)

Een hogere waarde voor SI is beter dan een lagere waarde. Bij zeer lage waarden voor SI is direct herstel van de stroefheid nodig. De toetswaarden voor SI zijn afhankelijk van de contractvorm en de doel van de meting.

Voor details over de Stroefheidsindex SI wordt verwezen naar het Meet- en rekenprotocol Stroefheidsindex SI van Rijkswaterstaat.

5. Meetonzekerheid

De in Nederland operationeel zijnde stroefheidsmeetcombinaties met het 86% vertraagd wiel worden circa tienmaal per jaar onderling vergeleken op een aantal verschillende wegvakken. Dit ringonderzoek wordt uitgevoerd conform het 'Voorschrift vergelijkende metingen Stroefheid' van Rijkswaterstaat. In dit onderzoek worden de meetcombinaties (= meetvoertuig + meetaanhanger + meetband) getoetst op herhaalbaarheid en juistheid. Voor de karakterisering van de juistheid wordt de afwijking ten opzichte van het gemiddelde van de deelnemende combinaties gehanteerd. Herhaalbaarheid is een maat voor de spreiding van de resultaten van één meetcombinatie bestuurd door dezelfde meettechnicus op één meetvak binnen een kort tijdsbestek (halve dag).

Meetcombinaties worden goedgekeurd als zij voldoen aan de onderstaande eisen:

- herhaalbaarheid $r \leq 0,040$;
- afwijking ten opzichte van het gemiddelde $\leq 0,020$.

Bij de opstelling van de eisen gespecificeerd in de Standaard RAW Bepalingen en de door Rijkswaterstaat gebruikte normen is rekening gehouden met deze meetonzekerheid.

6. Interpretatie meetresultaten

In principe kan elke opdrachtgever zijn eigen eisen stellen en deze opnemen in het bestek of contract dat hij sluit met de aannemer. Onderstaande waarden zijn waarden uit de Standaard RAW Bepalingen 2010 en 2015 bij de standaardmeetsnelheid van 70 km/u. Tussen haakjes staan de waarden die van toepassing zijn bij een meetsnelheid van 50 km/u. Bij RAW-bestekken van vóór 2010 worden andere eisen gehanteerd. De wegbeheerder c.q. aannemer zal maatregelen moeten nemen wanneer stroefheidsmeetwaarden worden gemeten die onder de grenswaarden liggen.

6.1 Aanvangsstroefheid asfaltverhardingen

De gemiddelde stroefheid van het wegooppervlak moet in situaties waar de deklaag volgens het bestek moet worden afgestrooid met steenslag, ten minste 0,47 (0,53) bedragen voor weglengten van 5 m, terwijl het gemiddelde per wegvak bij meting tussen de rijsporen ten minste 0,54 (0,61) moet bedragen. Bij meting in het rijspoor moet het gemiddelde ten minste 0,47 (0,53) zijn.

Bij deklagen van steenmastiekasfalt, die volgens het bestek moeten worden afgestrooid met steenslag of brekerzand, moet de stroefheid (als gemiddelde) voor weglengten van 5 m

en voor het gemiddelde per meetvak gemeten in dan wel tussen de rijsporen ten minste 0,47 (0,53) bedragen.

De bovengenoemde stroefheidswaarden per 100 m moeten worden gehaald om gevrijwaard te zijn voor sancties in de vorm van kortingen en/of verbeteringswerkzaamheden. Als de stroefheid bij dichte deklagen kleiner is dan 0,39 (0,44) wordt goedkeuring onthouden; bij open deklagen wordt goedkeuring onthouden wanneer de stroefheid kleiner is dan 0,42 (0,45).

6.2 Aanvangsstroefheid cementbetonverhardingen

De stroefheid van het wegooppervlak van betonverhardingen, behoudens voor betonverhardingen op fietspaden, plattelandswegen, bushaltes en parkeerplaatsen, moet, tenzij het bestek anders vermeldt, ten minste 0,54 (0,61) bedragen. Deze gemiddelde waarde is benodigd om sancties in de vorm van hermetingen en/of verbeteringswerkzaamheden te voorkomen. Een lagere wrijvingscoëfficiënt dan 0,47 (0,53) mag nergens voorkomen.

6.3 Periodieke stroefheidscontrole

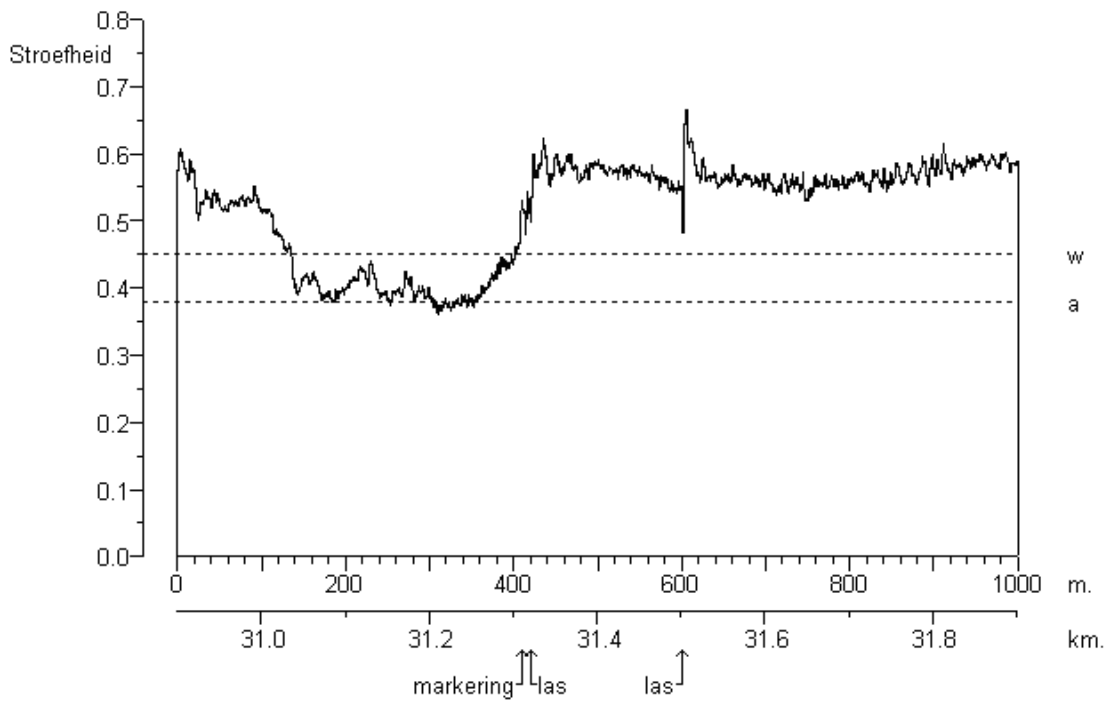
Voor bestaande wegdekken kunnen de volgende door Rijkswaterstaat en CROW gehanteerde waarschuwingsgrenzen en onderhoudsgrenzen worden toegepast:

Tabel 1: Waarschuwing- en onderhoudsgrenzen stroefheid

Meetmethode	2005	2010/2015		2010/2015	
RAW Proef	150	72		72	
Deklaag	Open/Dicht	Open		Dicht	
Meetsnelheid	50 km/u	70 km/u	50 km/u	70 km/u	50 km/u
Waarschuwingsgrens	0,45	0,50	0,54	0,47	0,53
Onderhoudsgrens	0,38	0,42	0,45	0,39	0,44

Projectnummer : - - g
 Wegnaam :
 Rijbaan : Oost
 Rijstrook : RSRM
 Dwarspositie : Rechter wielspoor
 Wegvak : km. 30.900 - 34.440
 Nulpunt : km. 30.900 (oplopend)
 Meetdatum :
 Verharding : Asfalt
 Meetmethode : 2010 / 50
 Meetsnelheid : 50 km/uur
 Toest. wegdek : Droog
 Luchttemp. : 5°C

Figuur: 1-1



Figuur 4: Presentatie meetresultaten grafisch

RESULTATEN	: STROEFHEIDSMETINGEN	Tabel: 1-1
Wegnaam	:	
Van	: km. 30.900	
Tot	: km. 32.100	
Rijbaan	: Oost	
Rijstrook	: RSRM	
Dwarspositie	: Rechter wielspoor	
Verharding	: Asfalt	
Meetdatum	:	
Bestek	:	
Kenmerk	: - - g	
Luchttemp.	: 5°C	
Wegdektemp.	: 8°C	
Meetsnelheid	: 50 km/uur	
Toest. wegdek	: Droog	

Wegvak		Stroefheid (f)	Opmerking of stroefheid < 0.45				
van km.	tot km.		(plaats/stroefheid) 05/.. = vak 5-10m				
30.9	- 31.0	0.54					
31.0	- 31.1	* 0.43	35/0.43	40/0.40	45/0.41	50/0.42	55/0.41
			60/0.42	65/0.40	70/0.39	75/0.39	80/0.39
			85/0.39	90/0.39			
31.1	- 31.2	* 0.40	00/0.40	05/0.41	10/0.41	15/0.43	20/0.42
			25/0.42	30/0.43	35/0.40	40/0.39	45/0.39
			50/0.38	55/0.39	60/0.40	65/0.39	70/0.41
			75/0.41	80/0.39	85/0.40	90/0.40	
31.2	- 31.3	* 0.39	00/0.38	05/0.37	10/0.37	15/0.38	20/0.37
			25/0.37	30/0.38	35/0.38	40/0.38	45/0.38
			50/0.38	55/0.38	60/0.39	65/0.40	70/0.41
			75/0.42	80/0.42	85/0.44	90/0.43	
31.3	- 31.4	0.56	10	markering			
			20	las			
31.4	- 31.5	0.57					
31.5	- 31.6	0.57	00	las			
31.6	- 31.7	0.55					
31.7	- 31.8	0.57					
31.8	- 31.9	0.59					
31.9	- 32.0	0.60					
32.0	- 32.1	0.62					

Figuur 5: Presentatie meetresultaten numeriek