

Valgewichtdeflectiemetingen

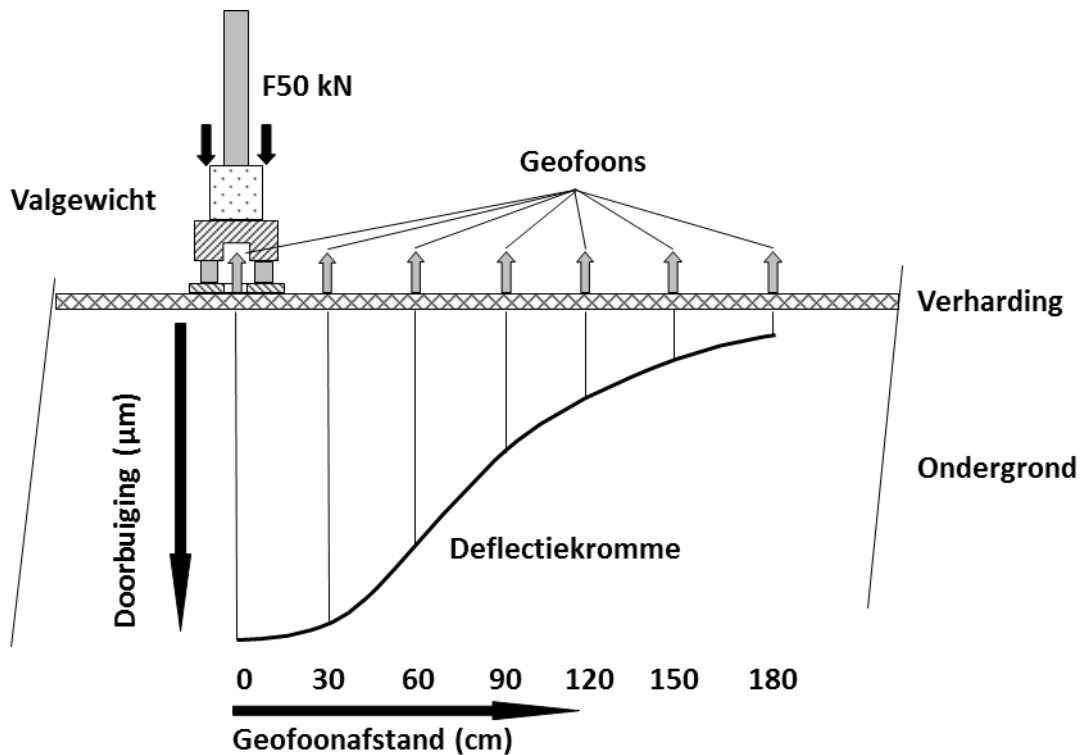
Een belangrijke functie van een verhardingsconstructie is het leveren van draagkracht om de belasting van verkeer te spreiden naar de ondergrond. De draagkracht van een verhardingsconstructie bepaald in belangrijke mate het lange termijn gedrag van verhardingsconstructies. Het is daarom raadzaam om periodiek of bij het plegen van onderhoud de draagkracht van de verhardingsconstructie te meten. Het meten van de draagkracht wordt uitgevoerd met zogenaamde valgewicht-deflectiemetingen (VGD-meting). Na het meten wordt in een nadere analyse de draagkracht van de constructie berekend en uitgedrukt in laagstijfheden en in een structurele restlevensduur. De uitvoering en analyse van valgewicht-deflectiemetingen is uitgebreid beschreven in CROW Publicatie 92 Deflectieprofiel geen valkuil meer.



In deze bijlage wordt ingegaan op het principe van valgewichtdeflectiemetingen, de apparatuur en de meetprocedure van valgewichtdeflectiemetingen. Tenslotte wordt ingegaan op de analyse van valgewichtdeflectiemetingen.

Principe valgewichtdeflectiemetingen

Het principe van valgewichtdeflectiemetingen bestaat uit het uitoefenen van een lastpuls op het wegoppervlak waarbij de doorbuiging/deflectie van het wegoppervlak op diverse afstanden van het lastmidden wordt gemeten. Aan de hand van de doorbuiging van het wegoppervlak wordt de draagkracht van een verhardingsconstructie en de ondergrond bepaald.



Figuur 1. Schematische voorstelling valgewichtdeflectiemetingen.

De lastpuls wordt gegenereerd door vanaf een bepaalde hoogte een gewicht te laten vallen op een voetplaat die op het verhardingsoppervlak rust. De lastpuls lijkt sterk op de belasting van een passerend voertuigwiel. Onder de voetplaat is een rubberen mat gemonteerd om een zo uniform mogelijke spanningsverdeling te genereren. Door de valhoogte en massa te variëren is het mogelijk verschillende belastinggroottes op te leggen. De mogelijke belastingen variëren tussen 20 en 250 kN voor de zwaardere types valgewichtdeflectiemeters. Het is daarom mogelijk om zowel belastingen van normaal wegtransport (wielbelasting van 50 kN) te simuleren als zware wiellasten van bijvoorbeeld vliegtuigen.

De doorbuiging van het wegoppervlak wordt gemeten door tenminste 7 gefoons of versnellingsopnemers die op diverse afstanden van het lastmidden zijn geplaatst. Door het integreren van de signalen worden de deflecties of doorbuigingen van het wegoppervlak bepaald. De doorbuiging wordt bepaald in µm.

Apparatuur

Unihorn heeft de beschikking over een PRIMAX2500 valgewichtdeflectiemeter (figuur 2). Dit type valgewichtdeflectiemeter heeft een belastingsbereik van 30 tot 250 kN. Dit maakt het mogelijk om zowel op normaal belaste verhardingen (wegen) als op zwaar belaste verhardingen (startbanen, industrieterreinen, containerterminals, e.d.) metingen uit te voeren bij voor deze verhardingen realistische belastingsniveaus.

De meetapparatuur is op een trailer gemonteerd. De trailer is uitgerust met een PWS raam waardoor gedurende de uitvoering een tijdelijke verkeersmaatregel conform CROW Publicatie 96b juli 2005 figuur 96b-37c uitgevoerd wordt.

Iedere 2 jaar worden diverse valgewicht-deflectiemeters onder regie van het CROW onderling gekalibreerd. De apparatuur van Unihorn is zodoende CROW gecertificeerd.



Figuur 2. Valgewichtdeflectiemeter Grontmij PRIMAX2500.

Meetprocedure

Rijstroken

Per meetpunt duurt een meting tussen 1 a 2 minuten. Het is daarom mogelijk om binnen een wegvak meerdere metingen uit te voeren, zodat een beeld wordt verkregen van de variatie in draagkracht binnen een wegvak. Metingen worden uitgevoerd op de zwaarst met vrachtverkeer belaste rijstroken van een rijbaan.

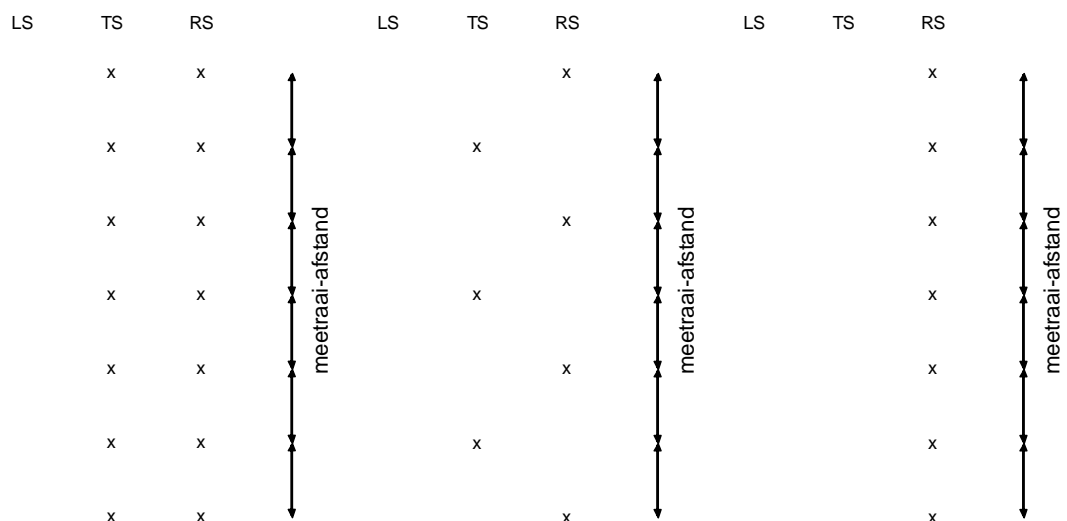
Meet- c.q. langsraaien

Valgewichtdeflectiemetingen worden standaard in meet- c.q. langsraaien uitgevoerd. Het is van belang om metingen in een Rijspoor (RS) en tussen de rijsporen (TS) uit te voeren. De metingen tussen de sporen zijn een maat voor de draagkracht van de constructie als deze nog amper belast is geweest door het verkeer.

In de figuur 3 wordt een overzicht gegeven van een aantal mogelijk meetwijzen. Het zogenaamde gepaard meten - meten in het rechterspoor (belaste spoor) en de as van de rijstrook (onbelaste spoor) – is goed toepasbaar op kleinere wegvakken (tot 500 meter). Een praktischer en voor lange vakken noodzakelijke wijze van meten is het meten in vetergang.

Op vliegvelden of haventerreinen worden weer andere meetlijnen gekozen, die dan ook overeen komen met de wielsporen van de voertuigen die gebruik maken van deze verhardingen. Voor vliegvelden biedt Federal Aviation Authority document AC 5370-11b een goede richtlijn voor de te volgen meetprocedure.

VGD metingen kunnen ook ingezet worden om de draagkracht van beton(plaat) verhardingen te meten. Er wordt dan een meetprogramma op basis van het aantal te meten platen opgesteld. Op de voegranden van de platen wordt de mater van lastoverdracht gemeten en wordt de kans op het bestaan van holtes onder de plaatranden gemeten.



Figuur 3. Voorbeelden van respectievelijk gepaard, in vetergang en in sporen meten.

Meetpunten

Binnen een uniform wegvak dient minimaal op 12 punten gemeten te worden. Indien verwacht mag worden dat het wegvak onderverdeeld moet worden in subvakken met min of meer homogene eigenschappen, moet uitgegaan worden van 12 meetpunten per subvak.

De afstand tussen de meetpunten wordt bepaald door de gewenste nauwkeurigheid van de analyse en de conditie van het verhardingsoppervlak. De afstand tussen twee opeenvolgende meetpunten in één langsgraai varieert tussen 10 en 100 m.

In het geval dat in twee langsgraaien gemeten wordt, is het aan te bevelen de tijd tussen de metingen op een bepaald meetpunt in de 'onbelaste' en 'belaste' raai te beperken. Dit in verband met eventuele veranderingen in de temperatuur. Dit betekent dat in het geval van 2 meetraaien, met een enkele uitzondering, in een vetergang gemeten moet worden. Alleen bij kleine wegvakken (wegvaklengte <400 m) mogen de langsgraaien na elkaar bemeten worden.

Meting

De valgewichtdeflectiemetingen op wegen worden standaard uitgevoerd met een belasting van 50 kN. Op wegen worden per meetpunt standaard naast een kleine zettingsbelasting 4 klappen uitgevoerd en geregistreerd. Een veel gehanteerde positionering van de geofoons op wegen is als volgt: 0, 300, 600, 900, 1200, 1500 en 1800 mm gemeten vanaf het lastcentrum. De apparatuur van Unihorn is voorzien van maximaal 10 gefoons.

Per meetpunt worden de volgende gegevens geregistreerd:

- positie t.o.v. nulpunt [m];
- meetpositie in GPS coördinaten
- meetraai
 - LS: linkerrijspoor;
 - TS: tussenspoor;
 - RS: rechterrijspoor;
- tijdstip [uren:min];
- aantal klappen [stuks];
- valhoogte [mm].

Per klap worden de volgende metingen uitgevoerd en geregistreerd:

- deflecties op de opnemers (gefoons) [μm];
- werkelijk opgelegde belasting [kN];
- luchttemperatuur [$^{\circ}\text{C}$];
- oppervlaktemperatuur [$^{\circ}\text{C}$];
- lastduur [ms].

Temperatuur

De oppervlaktetemperatuur wordt gemeten om meetresultaten om te kunnen zetten naar ontwerpcondities en om vergelijkend te kunnen rekenen met een temperatuursafhankelijk materiaal als asfalt. De asfalttemperatuur wordt dan bepaald met behulp van de methode van Bells.

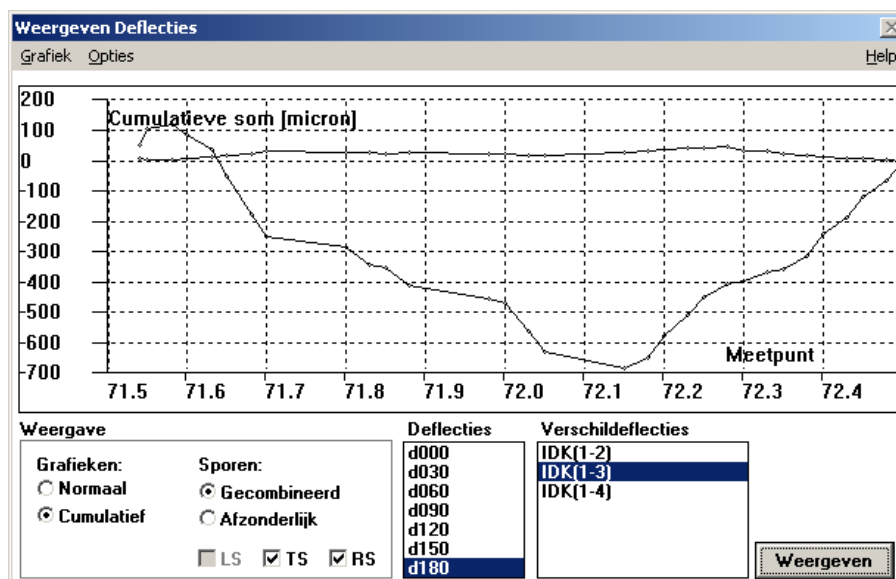
Desgewenst kan de asfalttemperatuur ook direct worden gemeten door het boren van een gaatje in het asfalt tot halverwege de totale asfaltlaagdikte, waarna na afkoeling en met behulp van een contactvloeistof de temperatuur wordt gemeten.

Analyse valgewichtdeflectiemetingen

Databehandeling

De werkelijk aangebrachte belasting varieert enigszins per meetlocatie. De metingen worden daarom genormaliseerd naar een standaard lastniveau. Voor evaluatie van verharding voor openbaar wegverkeer wordt een standaard lastniveau van 50 kN gehanteerd. De genormaliseerde deflectie wordt berekend door lineaire extrapolatie van de gemeten deflectie. Na normalisatie wordt per locatie het gemiddelde van de laatste 3 gemeten deflecties berekend.

In eerste instantie wordt op basis van de meetresultaten bepaald of er een onderscheid bestaat in wegvakken met een min of meer uniforme draagkracht. Hierbij wordt er gekeken naar de draagkracht van de ondergrond en de draagkracht van de verhardingsconstructie. De analyse wordt uitgevoerd op het bepalen van de som van de cumulatieve afwijkingen van het gemiddelde (CUMSUM methode). In figuur 4 is deze methode grafisch weergegeven. Indien de grafiek een rechte lijn vertoont zal er weinig afwijking bestaan tussen de onderlinge meetwaarden. Het gemeten wegvak in figuur 4 wordt daarom opgedeeld in 2 subvakken.



Figuur 4. Grafische weergave CUMSUM methode.

De opdeling van het gemeten wegvak in subvakken is een belangrijke stap in de optimalisatie van de uiteindelijk geadviseerde onderhoudsmaatregel.

Binnen het verdeelde subvak wordt een gemiddeld deflectieprofiel nader geanalyseerd. Aan de hand van de spreiding van meetresultaten binnen een subvak wordt een spreidingsfactor berekend. Deze factor wordt ingezet in de betrouwbaarheidsanalyse.

Analysemethode

Voor de analyse van de meetresultaten naar draagkrachtparameters zijn diverse methodes beschikbaar. Door Unihorn wordt er gebruik gemaakt van een methode op basis van een lineair elastisch meerlagenmodel of een model op basis van equivalente laagdikte en oppervlaktedeformatie.

Het gebruik van het type model is situatiegebonden. Ook komt het voor dat beide modellen worden gebruikt waarbij de resultaten vergeleken worden, voordat het advies wordt opgesteld. De meest gebruikte analysemethode is de door Rijkswaterstaat ontwikkelde methode CARE. In CARE wordt uitsluitend een lineair elastisch meerlagenmodel gebruikt.

In beide modellen wordt er gerekend met een equivalente verkeersbelasting en een correctie van de meetgegevens naar de meetcondities. Deze worden daarom als eerste besproken.

Verkeersbelasting

In het analytische verhardingsontwerp wordt verondersteld dat de draagkracht van een verharding verminderd door herhaalde wielbelastingen. Dit effect wordt vermoeiing van het verhardingsmateriaal genoemd. Het is daarom belangrijk om een goed beeld te hebben van de verkeersbelasting op het wegvak. Dit geldt voor zowel de in het verleden opgetreden verkeersbelasting als de in de toekomst verwachte verkeersbelasting.

Vermoeiing van verhardingsmaterialen per lastwisseling neemt exponentieel toe met de opgelegde lastgrootte. Er wordt daarom alleen gekeken naar vrachtwagenpassages, waarbij het ook nog van belang is wat voor een type vrachtwagens passeren. Een veelgebruikte typering is licht, middelzwaar en zwaar vrachtverkeer. De analyse wordt uitgevoerd aan de hand van een genormeerde asbelasting, normaliter uitgedrukt in equivalente 100 kN aslasten. Om de aantallen verwachte vrachtwagenpassages om te rekenen naar het aantal equivalente 100 kN aslastherhalingen wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde vrachtwagenschadefactor.

Het is bekend dat breedbanden of 'super singles' een meer beschadigend effect op de verharding hebben dan de traditionele dubbellucht assen. Dit effect wordt in rekening gebracht door een extra schadefactor die afhankelijk is van het percentage breedbanden van het totale aantal lastherhalingen.

Gedetailleerde gegevens met betrekking tot de verkeersbelasting worden ontleend aan verkeerstellingen op of nabij het onderzochte wegvak. Door verschillende tellingen in opeenvolgende jaren wordt de groei van de intensiteit bepaald. Ook kan er gebruik gemaakt worden van groeipercentages uit verkeersprognosemodellen.

De ouderdom van de verharding bepaalt de totaal opgetreden belasting in het verleden. Dit wordt weergegeven in fase 1 van de verkeersbelasting. Ten behoeve van de belasting in de toekomst wordt er als uitgangspunt een gewenste ontwerplevensduur gekozen. Dit wordt weergegeven in fase 2 van de verkeersbelasting.

Meetcondities

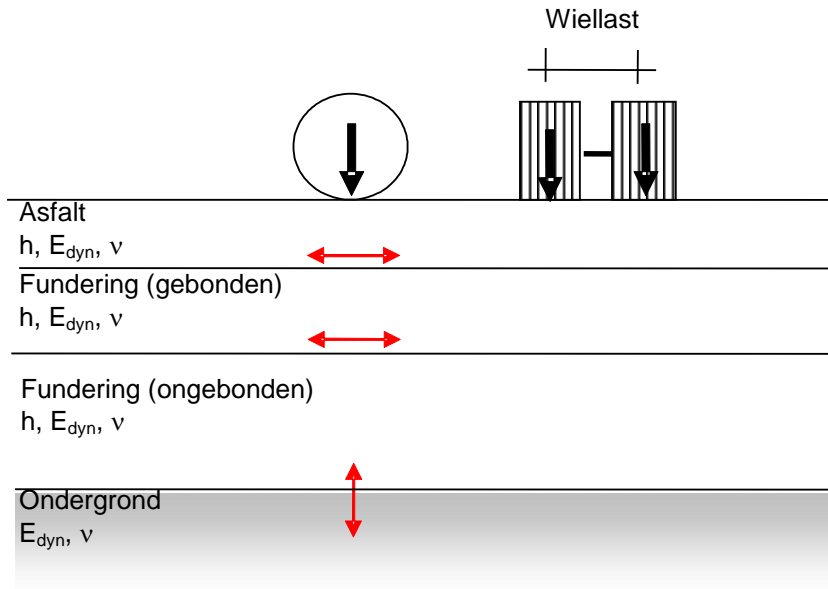
Asfalt is een materiaal, waarvan de eigenschappen afhangen van de materiaaltertemperatuur en de belastingduur. Dit houdt in dat bij de metingen zowel de temperatuur als de belastingtijd bekend moet zijn. In de belastingtijd van de lastpuls zit weinig variatie waardoor er in de analyse een vaste lastduur wordt verondersteld.

De temperatuur van de (asfalt)verharding tijdens de meting moet bekend zijn. De gemeten luchttemperatuur en de temperatuur van het verhardingsoppervlak geven niet altijd een goed beeld van de laagtemperatuur. De temperatuur van de asfaltlaag blijkt met behulp van de Bells-methode goed te voorspellen te zijn op basis van de gemeten oppervlaktetemperatuur en de gemiddelde luchttemperatuur van de dag voor het meettijdstip. Deze methode wordt daarom normaliter gebruikt om de temperatuur van de verharding te bepalen. Een andere methode om de temperatuur van de asfaltlaag te meten is met behulp van een vast temperatuur meetpunt, ook wel datalogger genoemd.

Restlevensduurbepaling en herontwerp

Een verhardingslaag wordt in een lineair elastisch meerlagenmodel geschematiseerd met een laagdikte, een elastische stijfheidsmodulus en een dwarscontractiecoëfficiënt. In het model kunnen de spanningen, rekken en verplaatsingen worden berekend.

In figuur 5 is een lineair elastisch meerlagenmodel schematisch weergegeven.



Figuur 5. Lineair elastisch meerlagenmodel.

Door middel van het berekenen van de theoretische deflecties onder de belasting van een valgewichtdeflectiemeting en deze te vergelijken met de gemeten waarden kunnen de laagstijfheden vrij nauwkeurig berekend worden.

Bij de bepaling van de restlevensduur van asfaltconstructies is in de meeste gevallen de vermoeiing van de asfaltconstructie maatgevend. Bij dunnere constructies, bijvoorbeeld op plattelandswegen, kan echter ook de vermoeiing/ het bezwijken van de ondergrond maatgevend zijn.

Vermoeiing van de asfaltconstructie

Uit de resultaten van de valgewichtdeflectiemetingen is de elastische stijfheid van de asfaltlaag berekend. Deze stijfheid is afhankelijk van de belastingtijd en de temperatuur van de asfaltlaag. De berekende stijfheid van de asfaltlaag wordt daarom gecorrigeerd naar de werkelijke optredende belastingtijd, die afhankelijk is van de snelheid van het vrachtverkeer, en een gewogen gemiddelde asfalttemperatuur.

Net zoals onder invloed van de belasting van een valgewicht de verplaatsingen kunnen worden berekend, kan ook de rek onder in een asfaltlaag worden berekend onder invloed van een 100 kN equivalente asbelasting.

Voor in Nederland gangbare asfaltmengsels kan afhankelijk van de aanlegperiode een aannname gedaan worden hoe het gedrag ten aanzien van vermoeiing is. In een vermoeiingsrelatie ligt de relatie tussen het opgelegde rekniveau en het aantal lastherhalingen totdat bezwijken van het materiaal optreedt vast. Bij asfalt ontstaat vermoeiingsschade door scheurinitiatie onder in de asfaltlaag.

Conform de hypothese van Miner brengt elke lastherhaling een klein gedeelte schade toe aan de verharding en deze schade-aandelen mogen gesommeerd worden. Het zogenaamde Miner-getal is daarmee de verhouding tussen het aantal opgetreden lastherhalingen en het aantal toelaatbare lastherhalingen.

Op basis van de berekende resultaten uit de valgewichtdeflectiemetingen en de opgetreden verkeersbelasting in het verleden wordt aan de hand van het Miner-getal berekend in welke mate vermoeiingsschade verwacht mag worden in de asfaltlaag. Vervolgens kan aan de hand van de verwachte verkeersbelasting in de toekomst berekend te worden welke schade-ontwikkeling in de toekomst te verwachten valt.

Indien het verwachte aandeel vermoeiingsschade in de toekomst te groot is, is de structurele restlevensduur ontoereikend en dient de constructie versterkt te worden. Door het aanbrengen van een overlaag wordt de rek onder in de asfaltlaag verminderd, waardoor de hoeveelheid schade door vermoeiing verminderd wordt.

In het geval er berekend wordt dat er onder invloed van de in het verleden opgetreden belasting op uitgebreide schaal vermoeiingsschade is ontstaan, is het versterken van de constructie niet meer zinvol. In dat geval wordt meestal geadviseerd om de verharding te reconstrueren.

Vermoeiing van de ondergrond

Bij dunnere constructies, bijvoorbeeld op plattelandswegen, kan echter ook de vermoeiing van de ondergrond maatgevend zijn. In dergelijke gevallen moet de restlevensduurbepaling en het herontwerp gebaseerd worden op het ondergrondstuikcriterium.

Op basis van de teruggerekende stijfheidsmoduli van de afzonderlijke lagen kan de stuik in de ondergrond berekend worden onder invloed van een 100 kN equivalente asbelasting.

Op basis van een vermoeiingsrelatie voor de ondergrond, zijnde een relatie tussen de stuik in de ondergrond en het aantal lastherhalingen tot bezwijken en de verkeersbelasting kan de structurele restlevensduur van de verhardingsconstructie op basis van het ondergrondstuikcriterium bepaald worden.

Indien de structurele restlevensduur ontoereikend is, dient de constructie versterkt te worden. Door het aanbrengen van een overlaag wordt de stuik in de ondergrond verminderd, waardoor de hoeveelheid schade door vermoeiing verminderd wordt.

Betrouwbaarheid van de berekening

In de berekening van de structurele levensduur is er sprake van onzekerheid. Dit heeft in de eerste plaats te maken met spreiding in eigenschappen van constructie en materialen en in de tweede plaats met aannames ten aanzien van bijvoorbeeld de verkeersbelasting. Er wordt rekening gehouden met deze onzekerheid door spreiding in de parameters te veronderstellen. Met behulp van spreidingsfactoren wordt in de berekening een betrouwbaarheid gehanteerd. Het te hanteren betrouwbaarheidsniveau hangt af van het belang van een weg. Voor primaire wegen wordt een betrouwbaarheid van 85% aangehouden en voor lagere orde wegen doorgaans 70 en 75%.