

# Verkeersbelastingen meten met de WIM-FO

M. Huurman<sup>1</sup>, M.J. van der Hoek<sup>2</sup>, R.W. van Niekerk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>BAM Wegen

<sup>2</sup>VanderHoekPhotonics

<sup>3</sup>BAM Infratechniek Mobiliteit, [r.van.niekerk@bam.nl](mailto:r.van.niekerk@bam.nl)

## Samenvatting

In Nederland wordt een mechanistische ontwerpstrategie gevolgd voor het ontwerp van asfaltwegen. Bij de gevolgde ontwerpstrategie is input over de verkeersbelasting in sterke mate bepalend voor het uiteindelijk laagdikte-ontwerp. Vooral hoge aslasten zijn desastreus en verkorten de levensduur van wegen. Natuurlijk is de verkeersbelasting ook bepalend voor de ontwikkeling van schade in bestaande verhardingen.

Om de verkeersbelasting beter te kennen en overbelading terug te dringen worden in Nederland steeds vaker op vaste meetpunten aslastmetingen uitgevoerd.

Bestaande systemen zijn uitgerust met piëzo sensoren die in het wegoppervlak worden ingebouwd. Met de inbouw van deze sensoren wordt het wegdek beschadigd, bovendien leidt de fysieke aanwezigheid van deze sensoren in het wegdek tot een discontinuïteit. Gecombineerd leidt dit tot een sterke reductie van de levensduur van de deklaag direct naast deze sensoren. Soms moet al binnen een maand worden overgegaan tot herstel van het wegdek rond de sensoren. Piëzo sensoren geven onder invloed van druk een elektrisch signaal af. De omvang van dit signaal is afhankelijk van de aangebrachte belasting en niet afhankelijk van het lastoppervlak of de lastpositie.

De WIM-FO (WIM-Fibre Optic) sensor van BAM werkt op basis van een optisch meetprincipe, wordt onder de deklaag ingebouwd en verstoort de deklaag dus niet. Hierdoor is de levensduur van de WIM-FO sensor veel langer dan die van bestaande sensoren. Bovendien bestaat de sensor uit een groot aantal kleine sensoren waardoor niet alleen de lastgrootte, maar ook de lastpositie en het lastoppervlak worden gemeten. Hierdoor wordt de verkeersbelasting veel nauwkeuriger vastgelegd en kan ook de mate van versporing en het bandtypen worden gemeten. De WIM-FO sensor biedt hiermee een aantal forse voordelen ten opzichte van bestaande systemen.

In de bijdrage wordt ingegaan op de ontwikkeling en de werking van de WIM-FO sensor, waarbij ook enkele unieke kenmerken van geregistreerde aslasten van een in de A12 ingebouwde WIM-FO sensor worden toegelicht. Hoewel de nadruk ligt op de wegbouwkundige aspecten wordt ook aandacht geschonken aan nieuwe mogelijkheden die de Fibre Optic sensortechnologie techniek biedt ter ondersteuning aan de ontwikkeling en 'lifetime monitoring' van geavanceerde wegebouwconstructies.

## 1. INLEIDING

Weigh In Motion systemen, WIM, worden in Nederland toegepast om de verkeersbelasting van wegen vast te leggen zonder de verkeersstroom te hinderen. Bestaande systemen maken gebruik van Piëzo sensoren die in het wegoppervlak worden ingebouwd. Deze systemen hebben een aantal problemen.

Het eerste en meest belangrijke nadeel van deze systemen is dat de sensoren in het wegoppervlak worden ingebouwd. Hierdoor ontstaat een discontinuïteit in de deklaag die aanleiding geeft tot de ontwikkeling van schade aan zowel de sensor als het wegdek. Vooral bij open, geluidsreducerende deklagen ontwikkeld deze schade zich erg snel.

De schade aan wegdek en sensor moet hersteld worden en dat zorgt voor kosten en verkeershinder. Bovendien worden de metingen verstoort door uitval van het WIM station.



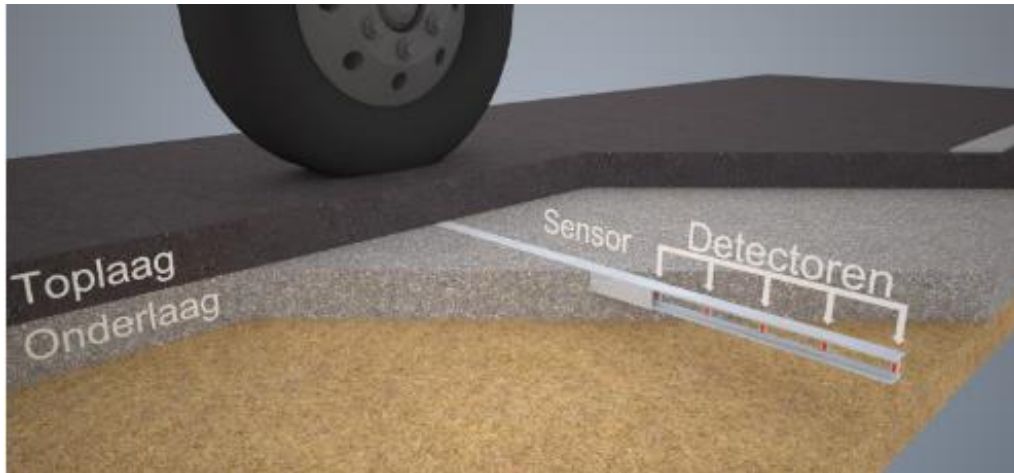
*Figuur 1. Een WIM-sensor in het wegoppervlak geeft vaak te snel aanleiding tot schade aan wegdek en sensor.*

Een tweede belangrijk nadeel van een sensor in het wegoppervlak is de fysieke aanwezigheid van de sensor in het langsprofiel van de weg. De sensor moet perfect op het wegdek aansluiten om juist te kunnen meten. Om dit te bereiken wordt de sensor bijgeslepen zodanig dat deze vlak in het wegdek ligt. Echter, de weg bestaat uit viskeus en daarmee vervormbaar asfalt. De sensor is echter niet vervormbaar en tekent zich dus snel weer af. In de rijsporen komt de sensor al snel iets boven het wegdek te liggen en dat beïnvloed de metingen. In Figuur 1 is te zien dat de laag die wordt weggeslepen gedeeltelijk is verdwenen.

Een laatste nadeel van gangbare Piëzo sensoren is dat deze alleen gevoelig zijn voor de lastgrootte en niet voor lastpositie of lastoppervlak. Piëzo sensoren meten hierdoor alleen de aslastgrootte.

## **2. WIM-FO**

In samenwerking met VanderHoekPhotonics ontwikkelde en patenteerde BAM haar WIM-FO sensor. De sensor bestaat uit een aluminium carrier die is geplaatst in een U-profiel. De carrier bestaat uit een bovenflens die het U-profiel aan de bovenzijde sluit. De onderflens van de carrier rust op de bodem van het U-profiel. De boven- en onderflens zijn elke 10 cm met een kolommetje met elkaar verbonden. Als er een belasting op de bovenflens wordt aangebracht vervormen deze kolommetjes en juist deze vervormingen worden optisch gemeten. Op elke kolom zijn twee optische sensoren aanwezig. Een sensor met een lengte van iets meer dan 3.6 m is dus uitgerust met 72 individuele sensoren. Figuur 2 geeft een impressie van de WIM-FO sensor.



*Figuur 2. De WIM-sensor functioneert volgens mechanische principes en is uitgerust met optische sensoren die de vervormingen van de sensor onder belasting registreren.*

### **3. ONDER DE DEKLAAG**

De WIM-FO sensor heeft een zeer lange levensduur. De vervormingen in de carrier blijven zeer gering en sluiten schade door vermoeiing uit. Ook glasvezel heeft een zeer lange levensduur en gecombineerd leidt dit tot de verwachting dat de sensor een levensduur heeft die de levensduur van deklagen ver overstijgt.



*Figuur 3. Inbouw van een rijstrook brede WIM-FO sensor in de tussenlaag van een snelweg. De sensor ligt verdiept in de tussenlaag.*

De sensor wordt onder de deklaag in de tussenlaag ingebouwd. Hierdoor zal de sensor de deklaag niet beschadigen en blijft schade aan deze laag uit. Bovendien zal de sensor zich niet of veel minder aftekenen in het langsprofiel waardoor metingen in potentie nauwkeuriger zijn dan metingen met bestaande systemen. Tenslotte garandeert inbouw in de tussenlaag dat ten volle wordt geprofiteerd van de verwachte lange levensduur van de WIM-FO sensor. De sensor wordt hierom verdiept in de tussenlaag ingebouwd en wel zodanig dat de sensor ook bij het frezen van de deklaag onbeschadigd blijft.

#### 4. METEN MET DE WIM-FO, *mechanica*

Bij de ontwikkeling van de WIM-FO sensor werd al snel duidelijk dat de optische meettechniek naar behoren functioneerde. Bij de passage van een belasting werden mooie signalen gemeten met een fantastische signaal ruisverhouding. Interpretatie van de signalen bleek echter moeilijk. De oorzaak hiervan ligt voor een deel in het feit dat de sensor onder de deklaag ligt. Daarnaast maakt ook de mechanica van de sensor zelf interpretatie van meetsignalen lastig. De meetsignalen geven immers een beeld van sensor vervormingen en die zijn niet direct gerelateerd aan lastgrootte.

Om met de WIM-FO sensor te kunnen meten is dus software nodig die gemeten signalen omzet naar lastgroottes. De transfer-functie die in de software moest worden ingebouwd is ontwikkeld doormiddel van simulaties van het volledige meetsysteem, d.w.z. de verharding met daarin opgenomen de WIM-FO sensor. Hierbij is gebruik gemaakt van de eindige elementen methode. De simulaties zijn gemaakt met ABAQUS. Bij alle simulaties zijn de visco-elastische eigenschappen van asfalt nauwkeurig gesimuleerd. Simulaties zijn gemaakt voor diverse asfalt-temperaturen en lastsnelheden.

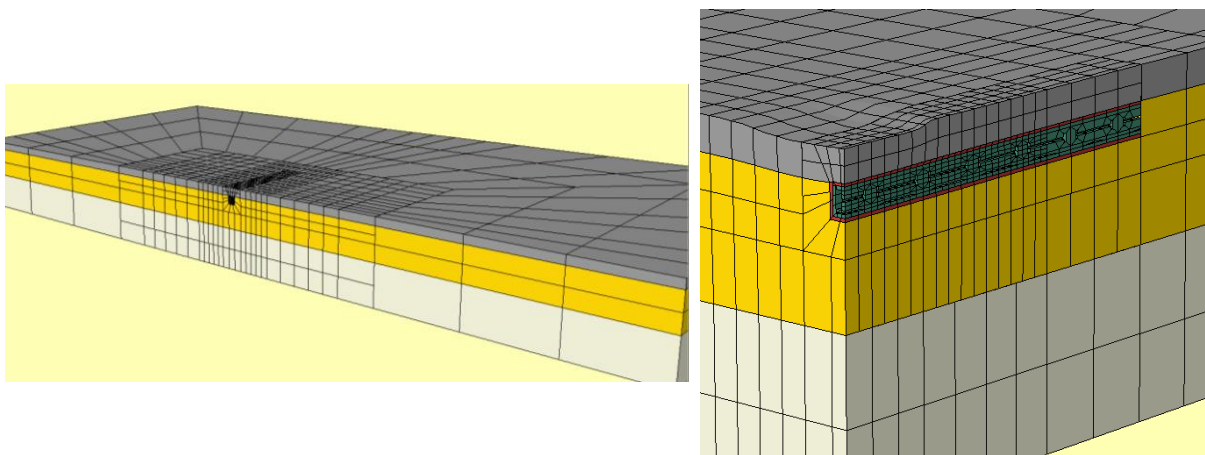
Figuur 4 geeft een beeld van het eindige elementen model dat voor de simulaties is gebruikt.

De sensor is modelmatig ingebouwd in de volgende wegconstructie, van boven naar beneden.

ZOAB: 50 mm  
STAB: 200 mm  
AGRAC: 250 mm

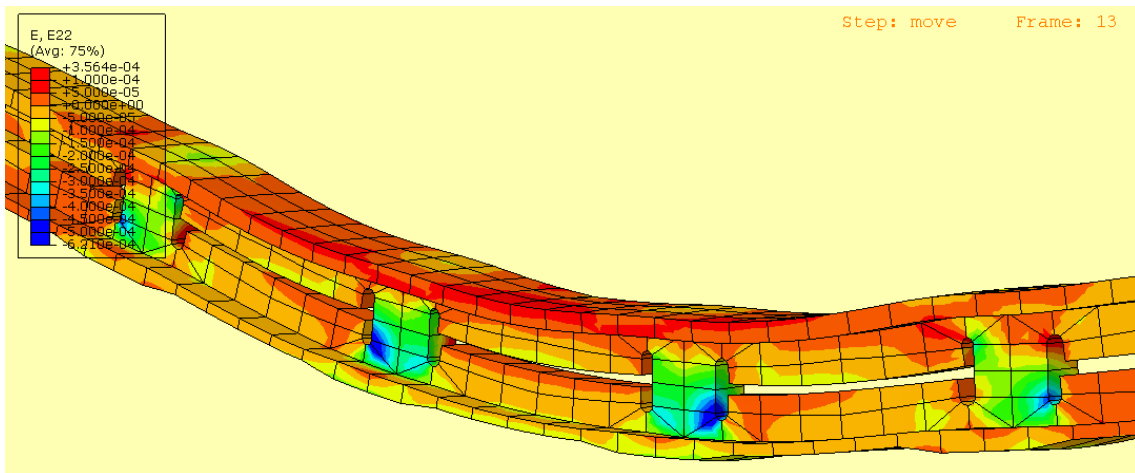
Ondergrond

Het totale model heeft een lengte van 5000 mm en een breedte van 4600 mm, zie Figuur 4. Opgemerkt wordt dat het model verend ondersteund is opgelegd. Een dergelijke oplegging staat bekend als Winkler-fundering. De Winkler-fundering is niet zichtbaar, maar gedraagt zich als een ondergrond met  $E=200$  MPa.



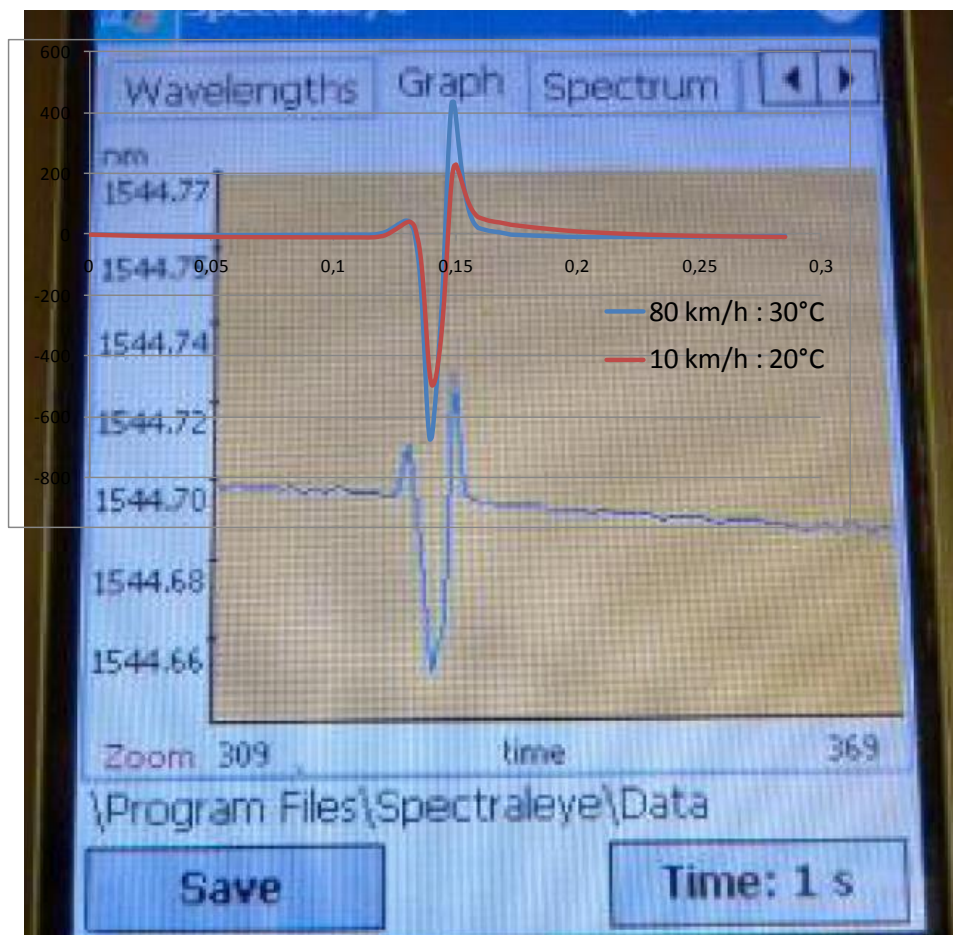
*Figuur 4. Met simulaties is de transfer-functie die meetsignalen vertaald naar lastgroottes bepaald. De simulaties omvatten de verharding met daarin de WIM-FO sensor. Hier twee afbeeldingen van het eindige elementen model.*

Het model berekent de vervormingen van de sensor onder een bewegende last rekening houdend met de visco-elastische eigenschappen van asfalt. Figuur 5 geeft een indruk van de rekenresultaten en toont de vervormde carrier.



*Figuur 5. Als alleen de carrier wordt weergegeven toont het model het bovenstaande beeld van de vervormde carrier. Vervormingen zijn sterk overdreven. Kleuren geven een indruk van de rekken in de carrier.*

Het model geeft onder andere inzicht in het verloop van rekken ter plaatse van de optische rekstrookjes. Zoals is te zien in Figuur 6 lijken de berekende signalen heel sterk op de gemeten signalen.

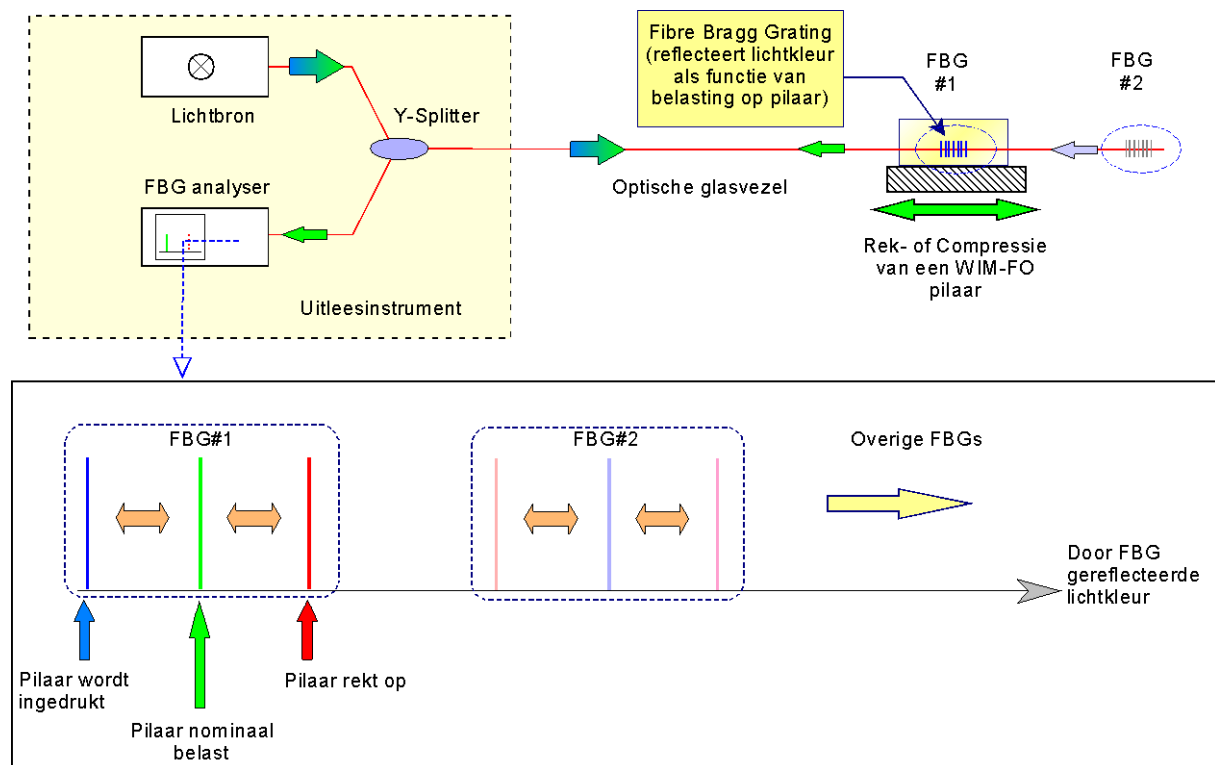


*Figuur 6. Een gemeten signaal in vergelijking met twee berekende signalen (80 km/h: 30°C en 10 km/h: 20°C).*

De verdere afleiding van de transfer-functie valt buiten de scope van deze bijdrage. Duidelijk zal zijn dat de stimuleringen het opstellen van zo'n functie mogelijk maakt.

### 5. METEN MET DE WIM-FO, fibre optics & elektronica

De belasting van elke pilaar wordt gemeten met optische glasvezeltechnieken ('Fibre Optics – FO'), gebaseerd op het gebruik van zgn Fibre Bragg Gratings (FBGs). Dit zijn sensorelementen in de vorm van een 'streepjespatroon' dat met een speciale belichtingstechniek wordt aangebracht in de kern van de glasvezel. De werking van een FBG-gebaseerde sensor wordt vereenvoudigd weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7. Vereenvoudigde voorstelling van de werking van de WIM-FO sensorelementen.

Het uitleesinstrument brengt licht in de glasvezel en een FBG reflecteert een bepaalde golflengte ('kleur') van het licht dat vanuit het uitleesinstrument door de glasvezel naar de WIM-FO wordt getransporteerd. Wanneer een pilaar wordt belast zal ook de daarop aangebrachte glasvezel - met de daarin op die plaats aangebracht FGB - deze belasting ondervinden, waardoor de gereflecteerde lichtkleur verandert. Een FBG kan worden beschouwd als het optische equivalent van een elektrisch rekstrookje- maar dan met vele voordelen. Voor de WIM-FO zijn er in een enkele glasvezel vele FBGs op 'pilaarafstanden' aangebracht, waardoor er maar enkele glasvezels nodig zijn voor het uitlezen van in totaal 72 FBGs. Omdat elke FBG een eigen unieke reflectiekleur heeft kan het uitleesinstrument - door analyse van het gereflecteerde kleurspectrum - de belasting op elke pilaar bepalen. Omdat de belasting op elke pilaar wordt 'gecodeerd' als lichtkleur -en niet als lichtvermogen- is het lichtverlies tussen het uitleesinstrument en de WIM-FO – binnen bepaalde grenzen- niet van belang. Daardoor ontstaan ook nieuwe configuraties voor plaatsing van (centrale) uitleesapparatuur voor een of meerdere WIM-FO sensoren, welke niet mogelijk zijn met elektrische WIM systemen.

Door de inherente ongevoeligheid van de sensor en bekabeling voor elektromagnetische storingen en het feit dat de WIM-FO sensor zelf geen elektrische componenten bevat - en dus geen voeding nodig heeft - kan er een zeer lange glasvezel (tot wel 50 km) tussen een WIM-

FO en het uitleesinstrument worden toegepast. Dit maakt het mogelijk om vanuit een gunstig gelegen centraal punt (bijvoorbeeld op een complex verkeersplein met vele secundaire wegen) meerdere WIM-FO sensoren uit te lezen. Voor de verbinding tussen uitleespunt en een WIM-FO sensor kan een aparte glasvezelkabel worden aangelegd of gebruik worden gemaakt van een nog niet in gebruik zijnde glasvezel (zgn 'dark fiber') in een reeds geïnstalleerde glasvezelkabel van bijvoorbeeld een wegwijknetwerk.

Het gebruik van optische sensortechnologie in de WIM-FO, met de daaraan verbonden enorme voordelen, is slechts een enkel voorbeeld van de enorme invloed die deze innovatieve meettechniek nu al heeft – en steeds meer zal hebben – op vele facetten van o.a. het meten en bewaken van het gedrag en de belasting op bijvoorbeeld wegen, dijken, tunnels, pijpleidingen, windturbines, hoogspanningskabels, enzovoort.

## **6. MOGELIJKHEDEN VAN DE WIM-FO**

Met de WIM-FO sensor worden alle grootheden die ook met Piëzo sensoren worden gemeten vastgelegd. De WIM-FO sensor wordt, net als bestaande systemen, ondersteund door twee detectielussen. Ook deze lussen liggen bij de WIM-FO sensor echter onder de deklaag. Door de informatie uit de lussen en de sensor te combineren worden de volgende grootheden vastgelegd.

### **Aslastgrootte**

De omvang van passerende aslasten worden met de WIM-FO sensor vastgelegd.

### **Snelheid**

De snelheid van passerende voertuigen wordt bepaald.

### **Type voertuig**

Het type voertuig dat over de sensor rijdt wordt bepaald, een indeling naar voertuig-klasse is mogelijk.

### **Statistiek**

Naast de hiervoor genoemde karakteristieken van passerende voertuigen wordt ook de datum en het tijdstip van passage geregistreerd. Met software wordt het mogelijk om verschillende tabellen te genereren.

Doordat een rijstrookbrede WIM-FO sensor 72 individuele opnemers bevat meet de WIM-FO niet alleen de lastgrootte, maar ook de plaatsen waar de sensor wordt belast en hoe zwaar die belasting is. Dit biedt meerdere extra's die standaard systemen niet bieden.

### **Versporing**

Met de WIM-FO sensor kan de dwarspositie van elk passerend wiel eenvoudig worden bepaald. Er kan dus een verdeling worden gemaakt van de lastposities. Inzicht in de mate van versporing wordt hiermee verkregen.

Het moet duidelijk zijn dat versporing in belangrijke mate bepalend is voor de ontwikkeling van schade aan de verharding. Door de mate van versporing te registreren wordt de verkeersbelasting dus veel beter in beeld gebracht.

### **Type band**

Er worden vier typen vrachtwagenbanden onderscheiden: EnkelLucht (EL), DubbelLucht (DL), BreedBand (BB) en Super Breedband (SB). Afhankelijk van het type band wordt een verharding meer of minder belast. Doordat de WIM-FO sensor niet alleen de dwarspositie van een last meet, maar ook de breedte ervan, kan met de WIM-FO sensor worden bepaald welk type band passeert.

### Contactdruk

De WIM-FO sensor meet lastgrootte, lastbreedte en lastlengte. Uit deze gegevens kan, bij benadering, worden afgeleid hoe groot de contactdruk van een passerende belasting is.

### Asfalt Temperatuur

De WIM-FO sensor meet de temperatuur van de carrier. Het hart van de sensor ligt ongeveer 7 cm onder het wegoppervlak waardoor de temperatuur van de carrier een goede indruk geeft van de temperatuur van het hart van het asfaltpakket.

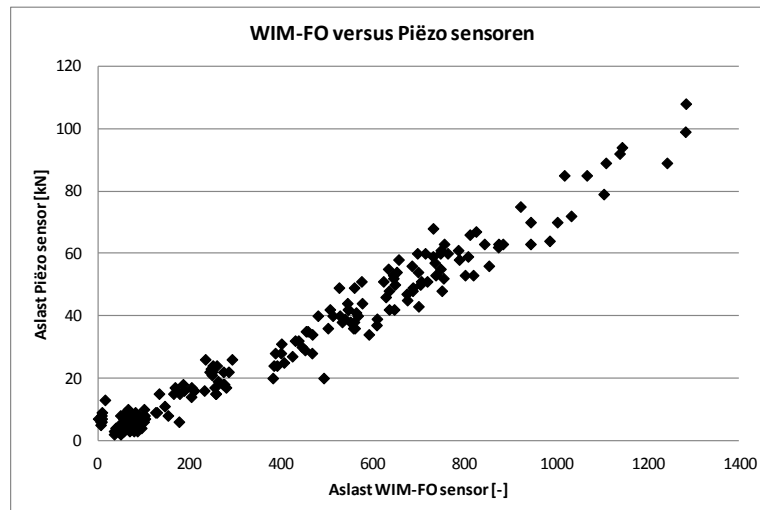
### Wiellast

De WIM-FO sensor meet de omvang van individuele lasten. Eigenlijk meet de WIM-FO sensor wielasten. Deze wielasten worden opgeteld om de aslast te krijgen. Hierdoor kan de WIM-FO sensor de verkeersbelasting van het rechter en het linker wielspoor onafhankelijk van elkaar bepalen.

## 7. NAUWKEURIGHEID

De nauwkeurigheid van WIM-FO systemen is niet eenvoudig vast te stellen. Gangbare systemen hebben een nauwkeurigheid die vastligt met de COST 323 klasse B(10). De nauwkeurigheid van de WIM-FO sensor wordt conform de voorschriften in COST 323 bepaald en zal naar verwachting niet zeker lager zijn dan een klasse B(10). De nauwkeurigheid van een WIM systeem is ook afhankelijk van de locatie condities. De WIM-FO sensor is ingebouwd op de A12. Voor de aanleg van de sensor zijn op deze locatie valgewichtdeflectiemetingen uitgevoerd. De resultaten van deze meting geven deze locatie "klasse" Good (Excellent). Deze uitkomst is goed voor COST 323 klasse B(10), maar niet voor hoger.

Proefnemingen in een vroeg stadium van de ontwikkeling van de WIM-FO sensor hebben een zeer sterk verband aangetoond tussen de aslast gemeten met een gekalibreerd Piëzo systeem en de aslast gemeten met een ongekalibreerd WIM-FO systeem. Het WIM FO systeem ligt 10 meter vanaf het Piëzo systeem. Het verband treft u hieronder aan.



*Figuur 8. Een ongekalibreerd WIM-FO systeem versus aslasten gemeten met een gekalibreerd Piëzo systeem.*

De spreiding van de data in Figuur 8 kan ontstaan door onnauwkeurigheid in het Piëzo systeem en door onnauwkeurigheid in het WIM-FO systeem. Omdat de nauwkeurigheid van Piëzo systemen niet bekend is kan de nauwkeurigheid van het WIM-FO systeem niet uit de data worden herleid.



## 8. WIM-FO IN DE PRAKTIJK

In juli 2012 is de WIM FO sensor op de pilot locatie A12 ter hoogte van HMP 88.00 geïnstalleerd. Na het ontwikkelen en samenstellen van de hardware en het ontwikkelen van de software functioneert het WIM FO systeem vanaf juni 2013. Het WIM FO systeem registreert elke passage zodat op elk gewenst tijdstip analyse uitgevoerd kunnen worden. De software genereert basis statistieken.

Naast het vergelijken met het Piëzo systeem zijn onderzoeken met testruns uitgevoerd. Bij testruns wordt gebruikgemaakt van statisch gewogen voertuigen. Voor het statisch wegen van voertuigen worden wiellastmeters op één van de naweeglocaties van Rijkswaterstaat gebruikt.

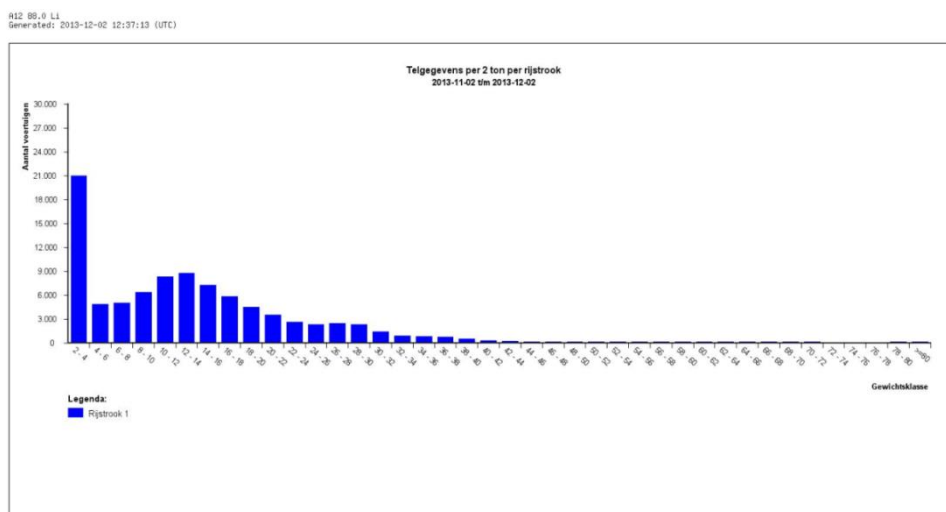
In juni 2013 zijn 3 testruns uitgevoerd waarbij de snelheid werd gevarieerd tussen 58 en 85 km/h. De afwijking varieerde een aantal procenten. Er was geen verband zichtbaar tussen snelheid en gewichtsmeting. Bij deze metingen was het WIM FO niet gekalibreerd.

In juli 2013 zijn op een zonnige zaterdag 28 testruns uitgevoerd waarbij de asfalttemperatuur varieerde tussen 22 °C en 32 °C. De afwijking varieerde een aantal procenten. Er was geen verband zichtbaar tussen temperatuur en gewichtsmeting. Bij deze metingen was het WIM FO niet gekalibreerd.

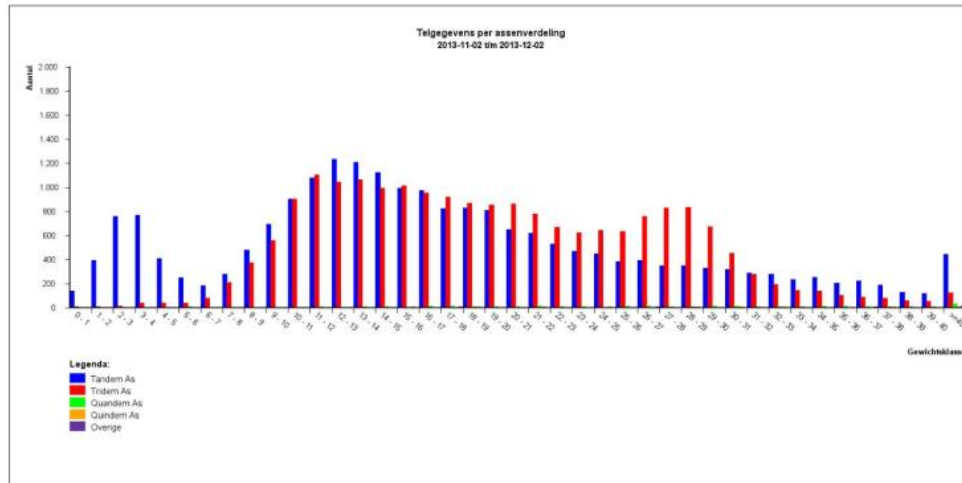
Na het uitvoeren van de testruns is een automatisch kalibratie functie geïmplementeerd. De automatische kalibratie functie berekent de correctiefactor op basis van een karakteristiek voertuig.

In het 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> kwartaal van 2014 staat een externe toetsing gepland. Bij deze toetsing wordt de conditie van de pilot locatie onderzocht en zal met behulp van testruns de nauwkeurigheid worden bepaald. Het aantal testruns zal tientallen zijn en worden uitgevoerd met verschillende voertuigen.

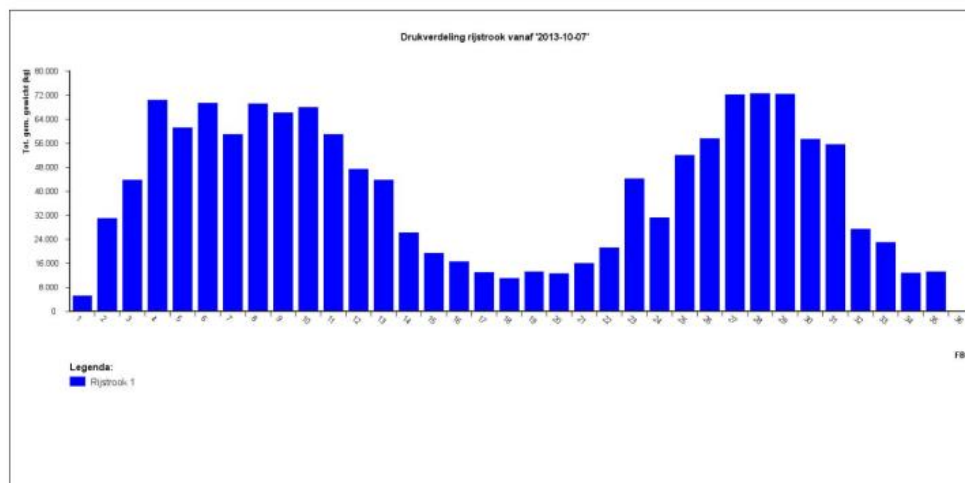
Het WIM FO systeem functioneert en verzamelt gegevens van de pilot locatie zoals de telgegevens per 2 ton, telgegevens per asverdeling en versporingsverdeling over de rijstrook.



Figuur 9 De telgegevens per 2 ton op pilot locatie A12



Figuur 10 De telgegevens per asverdeling op pilot locatie A12



Figuur 11 De versporingsverdeling op pilot locatie A12

## 9. CONCLUSIES

Samen met VanderHoekPhotonics heeft BAM een nieuw type WIM sensor ontwikkeld; de WIM-FO sensor. Deze heeft ten aanzien van bestaande Piëzo systemen de volgende voordelen.

- Door toepassing van fibre optics, is de sensor uiterst nauwkeurig en heeft deze een zeer goede signaal-ruisverhouding.
- Door de nauwkeurigheid van de fibre optic technologie kunnen de vervormingen in de sensor erg klein blijven waardoor deze een zeer lange levensduur heeft.
- De sensor wordt onder de deklaag ingebouwd. Hierdoor blijft schade aan het wegdek achterwege. De sensor kan bij vervanging van de deklaag blijven liggen waardoor de volledige levensduur van de sensor wordt gebruikt.
- Een rijstrookbrede WIM-FO sensor is uitgerust met 72 individuele sensoren. De sensor meet hierdoor de dwarspositie van de belastingen die erop worden aangebracht.
- Hierdoor kan de sensor de wegbelasting in veel meer detail vastleggen dan bestaande systemen: versporing, bandtype, wegbelasting per wielspoor, indicatie contactspanning.

- De sensor meet de temperatuur in het asfaltpakket op ca. 7 cm diepte. Gecombineerd met de gedetailleerde informatie over de bandbelasting (omvang, contactdruk en snelheid) biedt de WIM-FO sensor de mogelijkheid om de wegbelasting ten aanzien van spoorvorming vast te leggen.
- De nauwkeurigheid van de sensor is nog niet bekend, maar deze zal minimaal voldoen aan COST 323 klasse B(10).
- De sensor wordt gefaseerd geïntroduceerd. De ontwikkelde software maakt het op dit moment mogelijk om de volgende grootheden te registreren; Datum, Tijd, Snelheid, Voertuiglengte, Voertuigtype, Wiellastgrootten, Aslastgrootten, Totaalgewicht, Wielpositie, Wielcontact breedte en Wielcontact lengte.
- De WIM-FO sensor is door haar lange levensduur en het wegblijven van schade aan de deklaag goedkoper dan bestaande systemen.