

# Verkeersbelasting meten met WIM-ROAD en WIM-BRIDGE systemen in een binnenstedelijke omgeving

---

Maarten Soudijn<sup>1</sup>, Sebastiaan van Rossum<sup>1</sup> en Ane de Boer<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ingenieursbureau - gemeente Amsterdam

<sup>2</sup>Ane de Boer Technisch Advies

Contact: [m.soudijn@amsterdam.nl](mailto:m.soudijn@amsterdam.nl)

## Samenvatting

In deze paper laten we gewichtsmetingen van binnenstedelijk zwaar verkeer zien waarbij twee “Weigh in Motion” (WIM) systemen met elkaar vergeleken worden. Het ene systeem is een WIM-ROAD systeem dat gebruik maakt van Lineas quartz sensoren in het weg oppervlak. Het andere systeem is een WIM-BRIDGE systeem dat gebruik maakt van reksensoren op basis van optische fiber-technologie welke onder het brugdek van één overspanning zijn geplaatst. Ons onderzoek is ontworpen om vast te kunnen stellen of en zo ja welk systeem het meest bruikbaar is voor verkeersbelastingmetingen in de rest van Amsterdam. Hierbij hebben we in het bijzonder aandacht voor de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid die ieder systeem kan bereiken. We onderzoeken dit met behulp van een uitgebreid kalibratie programma. Ons uiteindelijke doel is om een realistisch verkeersbelastingmodel voor de gemeente Amsterdam op te kunnen stellen. Dit model zal onderdeel worden van de toetskaders Amsterdamse bruggen en kademuren die Amsterdam gebruikt bij het zo nauwkeurig mogelijk (her)beoordelen van de constructieve veiligheid van het areaal.

**Trefwoorden:** Weigh in Motion; zwaar verkeer; bruggen; reksensoren; druksensoren; gewichtsdata; voertuig last; aslast; wiellast.

## 1 Introductie

Amsterdam heeft een enorme infrastructurele uitdaging voor de boeg. Veel van de historische bruggen en kademuren van de stad zijn twee of drie eeuwen geleden op houten paalfunderingen gebouwd. Ze zijn niet ontworpen op het zware verkeer van vandaag de dag. De stad heeft circa 830 oude bruggen en 200 km kademuren waar de invloed van verkeer (mede) bepalend is. Naar schatting is een aanzienlijk deel hiervan in slechte staat door een combinatie van te (veel) zwaar verkeer en achterstallig onderhoud. Hoeveel van deze kunstwerken precies in slechte staat zijn weten we niet. Op dit moment worden ze onderzocht volgens de geldende normen en toetskaders om erachter te komen hoe slecht de staat werkelijk is. Tevens onderzoeken we wat ze nog aankunnen aan verkeersbelasting en we onderzoeken hoe zwaar dat verkeer dat de stad in komt werkelijk is. Dat doen we niet alleen met de traditionele rekenmodellen, maar ook met praktijkproeven. Met alle gegevens die we zo verzamelen hebben we een veel preciezer en reëler beeld van welke objecten urgent actie vragen en welke wat later in de tijd onderhoud of vernieuwing nodig hebben. Zo kan Amsterdam de projecten binnen deze enorme opgave beter plannen over de komende decennia, want alles tegelijk doen is door een veelheid van redenen niet mogelijk.

### 1.1 Toetskaders voor Amsterdamse Bruggen en Kademuren

Vanuit het Ingenieursbureau (IB) van de gemeente Amsterdam en als onderdeel van het Programma Bruggen & Kademuren ontwikkelt het IB een Toetskader Amsterdamse Bruggen (TAB) en een Toetskader Amsterdamse Kademuren (TAK) om de constructieve veiligheid van de Amsterdamse kunstwerken te kunnen beoordelen. Binnen deze toetskaders wordt aandacht besteed aan zowel de berekeningen van de daadwerkelijke

(materiaal)sterktes als ook de belasting – permanente en verkeersbelasting – van bestaande constructies. Binnen het onderzoekstraject ‘Meten Verkeersbelasting’ ligt de focus op het vaststellen van een potentiële reductie op de normatieve verkeersbelasting; gebaseerd op het daadwerkelijke huidige gebruik van de bruggen en kademuren in Amsterdam.

We verwachten dat de huidige normen een ontwerp aslast en voertuiggewicht voorschrijven die veel hoger zijn dan wat zou volgen uit een onderzoek van het daadwerkelijke huidige gebruik. Binnen de geldende wet- en regelgeving is ruimte om de constructieve veiligheid te toetsen aan het daadwerkelijke huidige gebruik, aangenomen dat deze voldoende nauwkeurig en betrouwbaar gemeten is. Binnen ons onderzoek is het doel dan ook om dergelijke metingen uit te voeren en in te zetten voor de stad Amsterdam.

### 1.2 Doelen en middelen

Het hoofddoel (van TAB/K) is “het toetsen van bruggen en kademuren op basis van realistische metingen en berekeningen”. In ons geval gaat het hierbij in het bijzonder om aslasten. Aangezien de huidige normen waarschijnlijk zullen leiden tot het onterecht afkeuren van kunstwerken is het voor Amsterdam van belang dat er een verbeterd en nauwkeuriger toetskader wordt opgesteld. Om dat toetskader te voeden zijn aslast metingen van binnenstedelijk verkeer noodzakelijk.

#### 1.2.1 Onderzoeksvraag

Meetsystemen die gebruikt worden om de daadwerkelijke verkeersbelasting te meten worden over het algemeen aangemerkt als “Weigh in Motion” (WIM) systemen [1], [2]. Tot nu toe zijn met name WIM-ROAD systemen gebruikt om verkeersbelasting te meten voor het Nederlandse wegennet. Als we dit systeem vergelijken met een WIM-BRIDGE systeem is het over het algemeen duurder en heeft het meer impact op de omgeving (vereiste werkzaamheden)

om te installeren. Het voordeel van WIM-ROAD is dat het systeem over het algemeen verder is doorontwikkeld en het systeem (en de meetdata) makkelijker te gebruiken is. Om de twee systemen 1-op-1 te kunnen vergelijken en om te onderzoeken hoe toepasbaar een WIM-BRIDGE systeem op dit moment is hebben we besloten om de twee systemen achter elkaar op één locatie te laten installeren. Hiermee zijn de resultaten van beide systemen direct te vergelijken op basis van:

- Meetsysteem  
nauwkeurigheid/betrouwbaarheid;
- Bereikte meetresultaten;
- Kosten van de meetlocatie;
- Beschikbaarheid van de weg voor eindgebruikers.

We verwachtten grote verschillen te vinden op een of meer van deze factoren.

### 1.2.2 Gewenste effect

Om tot een zo laag mogelijke en toch realistische verkeersbelasting te komen voor het TAB en TAK moet het daadwerkelijke verkeer in kaart gebracht worden door middel van aslast metingen van het binnenstedelijke verkeer. De verzameling van individueel gemeten aslasten, asafstanden, snelheden en passagetijden moeten resulteren in een dataset die gerelateerd moet kunnen worden aan gepasseerde voertuigen. Deze stroom aan data moet kunnen worden gemonitord, opgenomen en geanalyseerd.

Via twee opdrachtnemers willen we de nauwkeurige en betrouwbare ruwe meetdata van aslasten verzamelen. We richten ons op het maken van een verkeersspectrum gebaseerd op de verkregen meetdata voor de stad Amsterdam.

Dit verkeersspectrum moet uiteindelijk leiden tot ontwerp-/toetswaarden voor de verkeersbelasting die gebruikt kunnen worden om de constructieve veiligheid van de bruggen en kademuren in Amsterdam te toetsen. De

verkeersbelastingmetingen zullen worden gevalideerd door TNO op het gebied van bruikbaarheid voor de relevante gebieden binnen Amsterdam, wat een wettelijke basis legt voor het toepassen van de ontwerpwaarden in de huidige aanbevelingen [3], [4].

### 1.2.3 Middelen van het onderzoek

Het huidige onderzoeksproject is in maart 2018 door de gemeente Amsterdam opgestart. In 2019 (mei 2019 voor WIM-ROAD/september 2019 voor WIM-BRIDGE), zijn met twee opdrachtnemers onafhankelijk van elkaar contracten gesloten via een raamovereenkomst 'Meten Verkeersbelasting AI-2018-0348' voor perceel 1 (WIM-BRIDGE) en voor perceel 2 (WIM-ROAD).

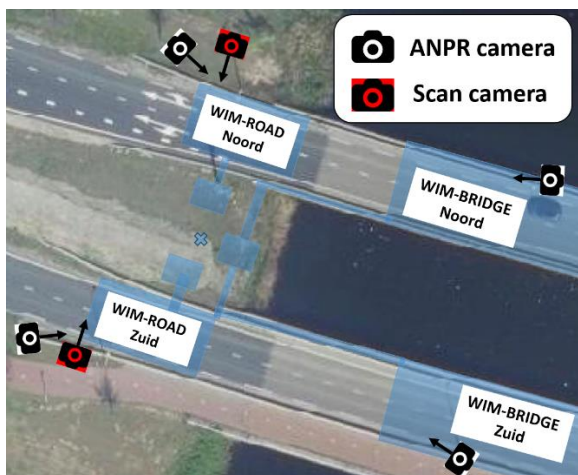
## 2 Meetmethoden en pilot locatie

Op basis van de projectdoelen is een pilot locatie gekozen: “de verificatie en vergelijking van de gekozen WIM-systemen” en “het bepalen van de optimale nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van elk systeem”. Om de vergelijking te kunnen maken met WIM-ROAD systemen die gebruikt worden op de snelwegen, welke de basis vormen voor de huidige ontwerp-/toetswaarden in de norm, was een locatie uitgekozen met zo veel mogelijk van de volgende eigenschappen:

- binnenstedelijk gebied;
- veel middel zwaar tot zeer zwaar verkeer;
- een zo vlak en recht mogelijke wegvak;
- zo ver mogelijk van verkeerslichten;
- en een zo vlak mogelijk brugdek voor het WIM-BRIDGE systeem.

### 2.1 Pilot locatie en algemene setup

De optimale combinatie van bovenstaande eigenschappen kwam samen bij brug 2200 aan de Westpoortweg over zijkanaal F in het Westelijk havengebied. In Figuur 1 staat een overzicht van de pilot locatie met zowel de indeling van de WIM systemen als ook de posities van de camera's.



Figuur 1: Pilot locatie, Westpoortweg, brug 2200, de indeling van de WIM systemen is aangegeven.

De weg bestaat uit 2 rijbanen met twee rijstroken per rijrichting die aangegeven zijn met “Noord” – westelijke rijrichting naar IJmuiden – en “Zuid” – oostelijke rijrichting naar Amsterdam centrum. De brug over het kanaal bestaat uit twee aparte kunstwerken, “Noord” en “Zuid”, ieder met 4 overspanningen. De zuidzijde kent eveneens nog een fietsstrook met 2 rijrichtingen.

## 2.2 WIM-ROAD

Het WIM-ROAD systeem is gebaseerd op Lineas-quartz druksensoren en inductielussen die in het wegdek worden geïnstalleerd. Een datalogger die in een weggantkast is geïnstalleerd verzamelt de meetdata vanuit de sensoren en vertaalt deze naar de gewenste informatie: snelheid, lengte, gewicht, aslasten, wiellasten, asafstanden en de links-rechtsbalans per aslast van het passerende voertuig. Vooraf aan de installatie is de weg opnieuw geasfalteerd om tot een “Uitstekende” IRI indicatie van de wegvakken te komen bij meting van de vlakheid. Figuur 2 geeft de noordelijke WIM-ROAD opstelling weer zoals deze in het wegdek is geïnstalleerd. Het zuidelijke WIM-ROAD systeem bestaat uit een kopie van deze opstelling (zie ook Figuur 1). Rechtsboven in Figuur 2 staat een weergave van een Lineas quartz sensor zoals die in het wegdek zit. Deze sensoren zijn 1,5 m lang en dekken de helft van een

rijstrook af. Iedere wielpassage kan daardoor individueel worden gemeten.

### 2.2.1 Opstelling met hoge nauwkeurigheid

Zoals ook in Figuur 2 te zien is, zijn per rijstrook 4 rijen aan sensoren toegepast. Dit is de WIM-ROAD configuratie met de hoogst mogelijke nauwkeurigheid. Voor deze pilotlocatie is daarvoor gekozen om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van welke nauwkeurigheid gehaald kan worden met dit systeem. Het systeem gebruikt dus 8 Lineas quartz sensoren per rijstrook, wat betekent dat ieder wiel gemeten wordt door 4 individuele druksensoren om de wiellast te kunnen bepalen. De leverancier geeft aan dat op deze manier een nauwkeurigheid van 2-3% voor het voertuiggewicht gehaald wordt.



Figuur 2: WIM-ROAD Noord systeem bestaat uit 8 Lineas quartz sensoren (rechtsboven) per rijstrook met 4 sensoren per wiel om de hoogst mogelijke nauwkeurigheid te bereiken.

### 2.2.2 Inzicht in meetnauwkeurigheid

Omdat een van de hoofddoelen van de pilot is om inzicht te krijgen in de meetnauwkeurigheid en betrouwbaarheid wilden we ook inzicht krijgen in de ruwe data en hoe verschillende samenstellingen van het WIM-ROAD systeem zich zouden gedragen. Als onderdeel van het project wordt ruwe data verzameld van een selectie aan passages zodat deze op een later moment nader bekeken kunnen worden.

Een tweede manier om inzicht in de meetnauwkeurigheid van het WIM-ROAD systeem

te krijgen is door de prestaties van configuraties waarbij minder sensoren gebruikt worden in kaart te brengen. Dit hebben we gedaan door tijdens de maandelijkse kalibratie procedure van de systemen gebruik te maken van virtuele rijstroken. Dit is een instelling van de datalogger waarbij de sensoren in één rijstrook worden opgedeeld in groepjes van 2, 4 of 6 sensoren waarbij de datalogger doet alsof deze in verschillende rijstroken liggen. Er zijn verschillende combinaties mogelijk zoals bijvoorbeeld 2 virtuele rijstroken, een met 2 sensoren en een met 6 sensoren. Deze metingen en de resultaten worden nader toegelicht in [hoofdstuk 3](#).

## 2.3 WIM-BRIDGE

Het WIM-BRIDGE systeem is gebaseerd op fiber-optische reksensoren. Het idee is dat er sensoren worden geplaatst aan de onderzijde van één overspanning van de brug. Op het moment dat een voertuig over de overspanning rijdt zal deze doorbuigen wat als rek kan worden gemeten door de reksensoren. Hoe zwaarder het voertuig hoe groter de vervorming en dus ook de rek die gemeten kan worden. Het signaal dat uit deze sensoren komt is sterk afhankelijk van het gedrag van de brug en ons onderzoek bij dit systeem is er dan ook op gericht om de relatie te leggen tussen de gemeten rek en de gewichten van de voertuigen die over de brug rijden.

### 2.3.1 Een set reksensoren op elke ligger

De verwachting is dat de hoogste rekwaarde optreedt in het midden van de overspanning. Figuur 3 laat zien waar de sensoren gemonteerd zijn. Aangezien de brug bestaat uit een serie van voorgespannen betonnen liggers (breedte ~ 1 m per ligger) is besloten om de 8 liggers die zich direct onder de rijbaan van elke brug bevinden, te voorzien van sensoren. Elke ligger is voorzien van een lengte en een breedte sensor welke als kruis gemonteerd zijn op de ligger, zie rechtsboven in Figuur 3. Elke sensor heeft een lengte van 0,25 m.



Figuur 3: Het WIM-BRIDGE systeem zoals deze op de Noord brug is geïnstalleerd onder de 3<sup>e</sup> overspanning in de rijrichting. De fiber-optische reksensoren (rechts boven) zijn in het midden van de brug gemonteerd op  $\frac{1}{2} L$  van de overspanning voor een maximaal effect. Op  $\frac{1}{4} L$  en  $\frac{3}{4} L$  zijn extra lengte sensoren per rijstrook geplaatst voor de snelheidsbepaling.

Het idee bij de breedte sensoren is dat het signaal uit die sensoren zou moeten helpen bij het bepalen van de breedte positie bij de passage van het voertuig binnen de rijstrook/rijbaan op de brug. Er zijn extra lengte sensoren geplaatst op  $\frac{1}{4}$  en  $\frac{3}{4}$  van de overspanning - één set per rijstrook - om de snelheidsbepaling te kunnen doen. Beide bruggen zijn zo voorzien van ieder 20 reksensoren.

### 2.3.2 Temperatuur gecorrigeerde rekken

De reksensoren zitten verpakt in metalen buisjes zoals is te zien rechtsboven in Figuur 3. Elk buisje bevat een sensor die direct verbonden is met (vast zit aan) de brug en een sensor die als het ware los in het buisje ligt en niet wordt beïnvloed door de vervormingen van de brug. Die tweede sensor wordt gebruikt om de variatie in rek ten gevolgen van de lokale temperatuur fluctuaties te bepalen. De metingen van de primaire sensor worden vervolgens gecorrigeerd met de metingen van deze secundaire sensor zodat een temperatuur gecorrigeerde rekmeting ontstaat. Daardoor zou de invloed van de temperatuur op de (kwaliteit van de) rekmetingen minimaal moeten zijn.

Daarnaast is het mogelijk om de temperatuur uit de meting van deze secundaire sensoren te

extraheren en om de ongecorrigeerde reksensormetingen te registreren. Voor een selectie van sensoren worden deze meetgegevens geregistreerd en verzameld zodat deze later kunnen bijdrage aan het vaststellen van de precisie van de metingen of als blijkt dat nader onderzoek naar fluctuaties in de metingen door temperatuurveranderingen nodig is.

## 2.4 Camera's

De WIM-systemen meten en registreren in principe alle passerende voertuigen via hun sensoren. De resulterende meetdata bevat echter niet alle benodigde gegevens om een compleet beeld te krijgen voor de verkeersbelasting metingen zoals we die willen doen. Bijvoorbeeld het precieze type voertuig kan niet altijd uit deze metingen worden gehaald. Bovendien is het mogelijk dat er foutieve metingen optreden, bijvoorbeeld door onregelmatig rijgedrag en wisselingen van rijstrook bijvoorbeeld. Het is daarom van belang om met behulp van camera gegevens dergelijke metingen te kunnen controleren en waar mogelijk weg te filteren.

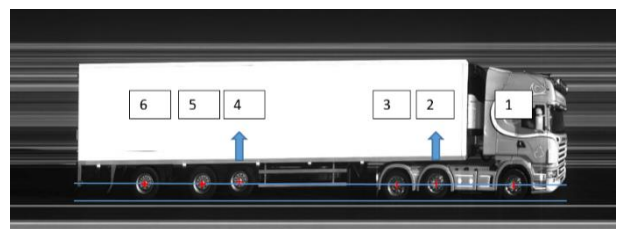
### 2.4.1 RDW-data via ANPR camera's

We gebruiken 4 ANPR camera's om RDW-data te kunnen verzamelen van alle passerende voertuigen. In het bijzonder hebben we hier belang bij de metingen van voertuigen zwaarder dan 35 kN 'maximaal (gecombineerd) voertuiggewicht'. Alle voertuigen die, bij maximale belading, onder dat gewicht uitkomen worden gezien als licht verkeer waarbij vooral het totale aantal en de intensiteiten van belang zijn. Die gegevens zijn van belang voor het bepalen van de gemiddelde en de minimale afstanden tussen de zwaardere voertuigen. Tevens helpen deze gegevens bij het kunnen controleren van de WIM-Systemen. We verkrijgen extra voertuiginformatie via de kentekens van zowel de voorkant als ook de achterkant van ieder voertuig, mits die laatste verschilt van de eerste zoals bij trekker-oplegger combinaties. Op basis van de kentekens halen we

uit de RDW-database naast voertuig- ook as-informatie. Het doel is om deze gegevens te koppelen aan de voertuigen die gedetecteerd zijn door de WIM-systemen om zo analyses en cross-checks uit te kunnen voeren.

### 2.4.2 Opgetrokken assen detectie via line-scan camera

De RDW-database kan ons vertellen wat het aantal assen is dat een voertuig maximaal zou moeten hebben. Het kan ons echter niet vertellen of een vrachtwagen of een trekker-oplegger combinatie, met 3 of meer assen, 1 of meer van die assen heeft opgetrokken omdat het voertuig licht beladen is. Om deze reden hebben we ook twee line-scan camera's opgesteld om een nauwkeurige opname te maken van de zijkant van deze vrachtwagens. Die opnames zijn precies genoeg om vast te kunnen stellen of één of meer assen van de vrachtwagen zijn opgetrokken zoals te zien is in Figuur 4. Op de zijscanfoto is bij nadere inspectie te zien dat zowel as 2 als ook as 4 van deze trekker oplegger combinatie zijn opgetrokken. Discrepanties tussen de WIM meting en de corresponderende RDW data kunnen zo verklaard worden.



Figuur 4: Zijscanfoto van een passerend voertuig

### 2.4.3 Koppelen van RDW-data aan WIM metingen

Binnen ons team wordt momenteel hard gewerkt om de koppeling tussen de WIM metingen en de RDW data tot stand te brengen. De eerste resultaten vanuit deze werkzaamheden zijn dat we met de camera's in een maand waarin alle systemen goed functioneren een totaal aantal voertuigen registreren wat overeenkomt met >85% van het totale aantal dat het WIM-systeem

registreert. We verwachten dat de camera's een deel missen door afscherming op de snelle rijbaan en motoren worden ook niet geregistreerd door het camera systeem terwijl die wel kunnen worden geregistreerd door het WIM-systeem. Verder kan het WIM-systeem een dubbeling geven bij een rijstrookwisseling waardoor een voertuig op 2 rijstroken deels wordt geregistreerd. Dit gebeurt niet bij de camera's. We verwachten daarom dat de verschillen na filtering van motoren en dubbele registraties kleiner zullen zijn.

### 3 Kalibratieprocedure en resultaten

Elke meetmaand begint met een kalibratieprocedure om de prestaties van de WIM-systemen op dat moment vast te stellen. Een reeks van deze kalibraties kan worden gebruikt om te bepalen of de prestaties in de loop van de tijd achteruit gaan. Dit hoofdstuk beschrijft de details van de kalibratieprocedure. Tijdens de kalibratieprocedure worden de volgende referentievoertuigen gebruikt:

- Een twee-assige bakwagen (totaal 200 kN);
- Een drie-assige bakwagen (totaal 300 kN) met een tandem aslastconfiguratie
- Een trekker met twee assen en een oplegger met tridem aslastconfiguratie (totaal 400 kN)
- Een trekker met twee assen en een oplegger met een enkele en een tandem aslastconfiguratie (totaal 500 kN)
- Een vier-assig kraanvoertuig met een asafstand > 1,8 m tussen de 2e en 3e as (totaal 500 kN mobiele kraan)

#### 3.1 Statische kalibratiemetingen

##### 3.1.1 Procedure (statisch)

Voorafgaand aan de dynamische kalibratiemetingen wordt de conventionele werkelijke waarde van de massa en asbelastingen

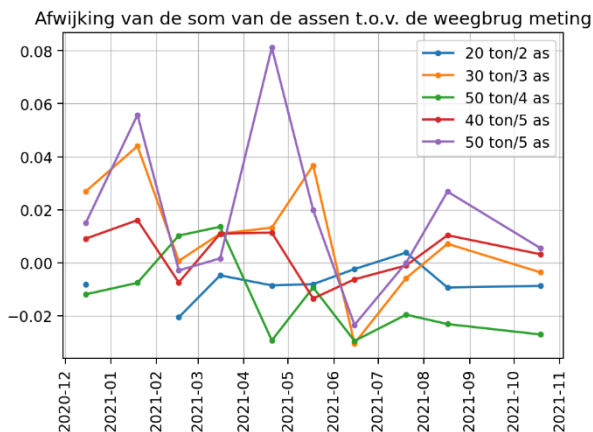
van elk referentievoertuig bepaald door middel van statische weging. In de middag van de kalibratiedag wordt de totale voertuigmassa bepaald door middel van een weegbrug meting van de beladen referentievoertuigen in stilstand. De assen worden voor elk voertuig meerdere keren gewogen. Nadat elke wielprint is gewogen, wordt de voertuigmassa berekend door de optelling van de gemiddelde van de geregistreerde waarden per wielprint (voorheen de optelling van asmetingen die het dichtst bij de weegbrug meting in de buurt kwam). De individuele wielprint metingen worden vervolgens gecorrigeerd met de factor die ontstaat door de weegbrugmeting te delen door de optelsom van de gemiddelde wielprint metingen. Deze gecorrigeerde wielprinten worden gezien als de conventionele werkelijke waarde. Daarnaast worden de exacte asafstanden gemeten met een meetlint en worden de kentekenplaten vastgelegd voor toekomstig gebruik.

##### 3.1.2 Resultaten (statisch)

Aanvankelijk kon het verschil tussen de optelling van de aslasten en het gemeten voertuiggewicht bij de weegbrug meting oplopen tot ongeveer 6% a 8% die vooral voor kwam bij de 500 kN oplegger-trekker combinatie. Voor alle andere referentievoertuigen was het verschil meestal kleiner dan 2%.

Met enige verbetering in de meetopstelling van de statische wielprintweging om een vlakker oppervlak te krijgen en met meer herhalingen van de metingen, en het nemen van een gemiddelde hiervan kan het verschil tussen de som van de wielprintmetingen en de weegbrug meting worden teruggebracht tot 2% a 3% en wordt de maandelijkse variatie ook een stuk kleiner, zoals is te zien in Figuur 5 vanaf de kalibratie in juni.

Door vervolgens dit verschil te corrigeren met de weegbrug meting kan voor elke as een zo realistisch mogelijke waarde worden verkregen.



Figuur 5: Afwijking van de som van de assen t.o.v. de weegbrug meting

Naast het (in lengte richting) centraal plaatsen van de wielen op de weegplaten is een nader aandachtspunt bij de statische metingen de breedte van de dubbellucht wielen in relatie tot de breedte van de weegplaat. In de voorbereiding is het goed om te zorgen voor een brede weegplaat zodat ook een dubbellucht configuratie hierop past. In Figuur 6 is te zien dat de weegplaten te smal zijn waardoor de 2<sup>e</sup> band uitsteekt. Het is dan zaak er bij elke meting op te letten dat deze niet de grond raakt, maar ook dat de 1<sup>e</sup> band niet op het vaste deel aan de buitenkant van de weegplaat komt te staan.



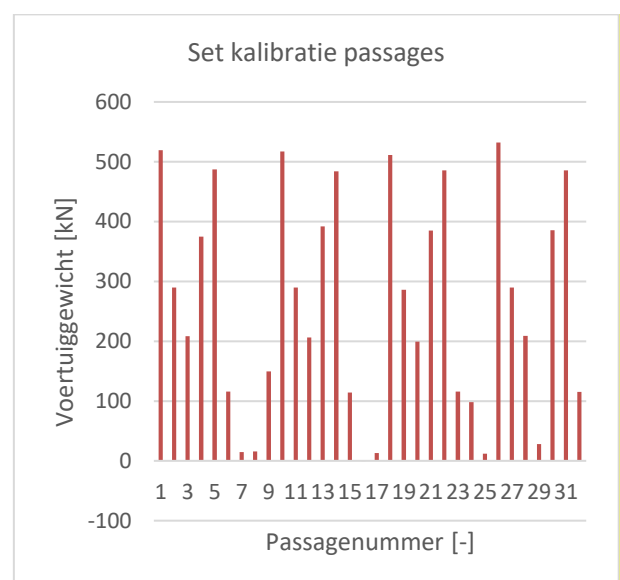
Figuur 6: Positionering dubbellucht wielen op weegplaten

## 3.2 Dynamische kalibratiemetingen

### 3.2.1 Procedure (dynamisch)

Na het statisch wegen van de voertuigen heeft elk referentievoertuig 4 testritten per rijstrook uitgevoerd met elk van de volgende snelheden: 20 km/u, 30 km/u, 40 km/u en 50 km/u. Voor 5 voertuigen, 4 rijstroken (2 voor elke richting), 4

snelheden en 4 testritten resulteerde dit in een totaal van 320 kalibratiemetingen in 160 rondes. Deze wordt maandelijks 's nachts uitgevoerd om extra overlast voor de overige weggebruikers te voorkomen. Er worden twee sets kalibratievoertuigen gevormd, een set voertuigen met een kraan van 500 kN, een voertuig van 300 kN en een botsabsorber van 200 kN. De tweede set voertuigen telt de voertuigen van 400 kN, 500 kN en een botsabsorber van 100 kN. Deze volgorde van sets is te zien in Figuur 7. Telkens wanneer een referentievoertuig de weeginstrumenten passeerde, werd de passagetijd genoteerd om het voertuig in de meetgegevens achteraf te kunnen identificeren.



Figuur 7: Passages van sets kalibratievoertuigen

Figuur 7 laat ook zien dat er weinig voertuigen zijn die het kalibratieproces verstoren tijdens deze set in de nacht. Van de 32 voertuigen zijn er 24 (8 sets van 3) kalibratievoertuigen. Gemiddeld zit er dus maar 1 voertuig tussen iedere set van 3 en het zijn vaak niet meer dan 3 andere (vracht)voertuigen die tussen de verschillende rondes doorrijden.

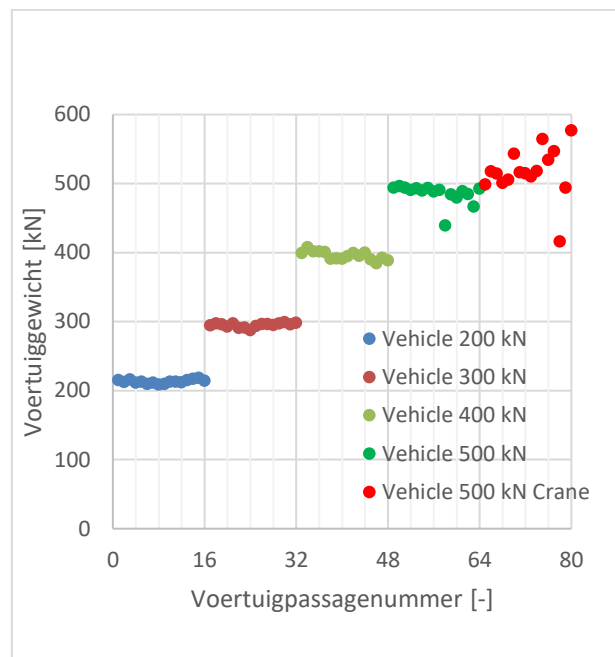
Vanaf dit punt is er een verschil tussen de WIM-ROAD beoordeling en de WIM-BRIDGE beoordeling.

Voor WIM-ROAD worden de dynamische meetresultaten vergeleken met de conventionele werkelijke waarde om de maximale fout en de betrouwbaarheid van het systeem te bepalen. Ook moet worden opgemerkt dat het WIM-ROAD-systeem automatisch wordt afgesteld vóór de kalibratieprocedure van de eerste maanden door één van de referentievoertuigen een minimum aantal malen over de meetsystemen te sturen, waarbij de statische meetwaarden als bekende waarden worden ingevoerd. Het WIM-ROAD systeem bepaalt vervolgens automatisch de aslasten.

Voor WIM-BRIDGE moet echter handmatig met de onbewerkte gegevens worden gewerkt. Hierbij wordt de maximale fout en betrouwbaarheid bepaald door de ruwe data van de verschillende testrondes ten opzichte van elkaar te evalueren. Vervolgens wordt met een zekere betrouwbaarheid bepaald welke rekwaarde en vorm van de brugvormingen bij welk referentievoertuig horen. Als deze betrouwbaarheid voldoende is, waarvan de criteria nog moeten worden bepaald, kunnen de kalibratiegegevens vervolgens worden gebruikt om het totaal gewicht en de aslasten van onbekende voertuigen te voorspellen.

### 3.2.2 Eerste dynamische resultaten WIM-ROAD

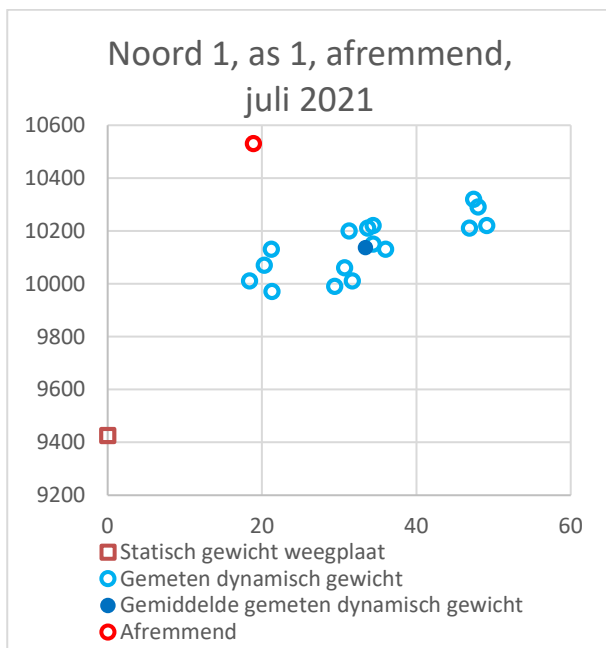
De eerste resultaten van de 4 passages, de 4 verschillende snelheden en de 5 verschillende kalibratievoertuigen zijn weergegeven in Figuur 8. Elk voertuig heeft zijn eigen beladingsgraad, die wordt aangegeven in de primaire instelling van 16 passages. De secundaire instelling toont de snelheden 20, 30, 40 en 50 km/h.



Figuur 8: Spreidingsdiagram gemeten voertuiggewichten kalibratievoertuigen

De laag beladen voertuigen laten mooie stabiele resultaten zien, de hoger beladen voertuigen zijn niet erg stabiel, waar het kraanvoertuig veel spreiding laat zien.

Aanvullend op de reguliere kalibratierondes zijn éénmalig enkele rondes met optrekkende en afremmende voertuigen gedaan met het voertuig van 300 kN. Bij de rondes met het optrekkende voertuig lag het gewogen gewicht dicht bij het gemeten gemiddelde dynamisch gewicht. De rondes met het afremmende voertuig lag hier iets verder vandaan, maar vertoont geen significante afwijking. De aslasten wijken echter wel duidelijk af. Er is een duidelijk patroon te zien waarbij de voorste as relatief zwaarder wordt gewogen (zie Figuur 9) en de achterste assen relatief lichter worden gewogen in het geval van remmen en vice versa in het geval van optrekken, doch minder significant.



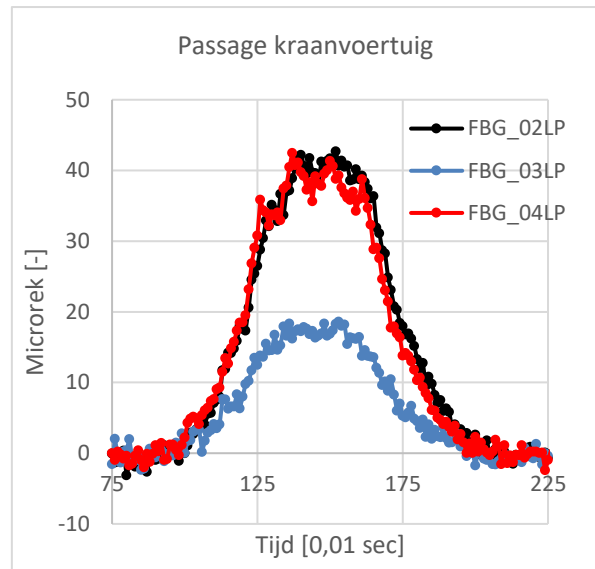
Figuur 9: Afremmend voertuig as 1 in relatie tot de reguliere kalibratiemetingen op rijstrook Noord 1

Tot slot is ook gebleken dat incidenteel één zijde van een kalibratievoertuig niet goed wordt gemeten. Dit is in de meetdata terug te zien door een veel lichter linker- of rechterwiel ten opzichte van andere rondes met hetzelfde wiel en ten opzichte van het andere wiel. Hieruit blijkt het belang van sensoren die bij voorkeur iets breder zijn dan de rijstrook.

### 3.2.3 Eerste dynamische resultaten WIM-BRIDGE

Het WIM-BRIDGE systeem is aan de onderzijde van voorgespannen liggers gemonteerd. De wielen van de kalibratievoertuigen lopen net als alle andere voertuigen over meerdere voorgespannen liggers. Deze liggers hebben een hart op hart afstand van 1,0 meter. De breedte van de voertuigen is meestal 2,5 m, wat betekent dat 3-5 liggers de passerende wielen kunnen dragen. Figuur 10 toont de microrek resultaten van 3 liggers die een rijstrook in één richting kunnen dragen. De snelheid van het bij Figuur 10 behorende kraanvoertuig is 50 km/u. De tweede en vierde FBG-sensor laten een goede overeenkomst zien, waar de middelste sensorlocatie, FBG-03, een minder hoog microrek

resultaat laat zien in vergelijking met de 02 en 04 sensoren. Ook zijn de vier afzonderlijke assen van de kraan te zien in Figuur 10.



Figuur 10: Rekwaarden van een kalibratiepassage van de mobiele kraan van 500 kN op de zuidelijke brug gemeten door 3 FBG-sensoren

Om een goede balans te vinden tussen nauwkeurigheid en hoeveelheid data is bij verschillende kalibraties gevarieerd in meetfrequentie. De volgende mogelijkheden zijn uitgevoerd: 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz en 1000 Hz. In de gevallen onder de 1000 Hz is het nodig om te kiezen tussen een intervalwaarde of een gemiddelde waarde. In het geval van een intervalwaarde neemt het systeem elke  $x^{de}$  meetwaarde welke wordt opgeslagen. En in het geval van de gemiddelde waarde neemt het systeem het gemiddelde over de afgelopen  $x$  waarden welke wordt opgeslagen.

De metingen bij de verschillende frequenties hebben laten zien dat in het geval van een lagere frequentie door het gebruik van een intervalwaarde, de ruis een steeds storendere factor wordt doordat er minder meetpunten zijn, maar de ruis vergelijkbaar is met een meting bij 1000 Hz. Door het middelen wordt de ruis minder en blijven individuele assen beter zichtbaar in de data. Uit vervolgonderzoek moet nog blijken bij

welke frequentie de aslasten nog voldoende nauwkeurig bepaald kunnen worden.

### 3.3 Indicatie van betrouwbaarheid en meetnauwkeurigheid

Bij de maandelijkse kalibratiemomenten zijn elke maand 5 voertuigen ingezet, die ieder met verschillende aslast configuraties 4 maal elke rijstrook met 4 verschillende snelheden zijn gepasseerd. Op basis van de verkregen passage resultaten kan voor beide systemen de nauwkeurigheid bepaald worden van de snelheid, het voertuiggewicht, de aslastgewichten en indien aanwezig de totaal gewichten van 2 aslast configuraties, te weten een tandem en een tridem. Bovendien kan de onnauwkeurigheid in beeld gebracht worden. Voor ieder deelsysteem per rijstrook kunnen deze gegevens opgesteld worden, terwijl voor de rijrichting de nauwkeurigheid van belang is voor het toekomstige eindresultaat, een verkeersbelastingmodel voor een (binnen)stedelijk gebied.

In het offerte stadium van het inkoopproces van de meethabitat is aangegeven dat de nauwkeurigheid afhankelijk mocht worden aangeboden van het aantal meetbalken of het aantal sensoren. De leverancier van WIM-ROAD heeft deze wens t.a.v. nauwkeurigheid in zijn offerte inderdaad afhankelijk gemaakt van het aantal meetbalken. De keuze van Amsterdam was vervolgens de hoogste nauwkeurigheid (maximaal aantal van 8 meetbalken) om de mogelijkheid te krijgen om bij bepaalde kalibratiemomenten te kunnen variëren met het aantal meetbalken. De hoogste nauwkeurigheid, die gehaald kon worden is 2-3%. Bij het WIM-BRIDGE systeem is gekozen voor een systeem met op elke voorgespannen ligger, halverwege de overspanning (1/2L), een lengte- en een breedtesensor. Dit noemen we ook Tabel 1.

wel de hoofdraai. Voor de snelheidsbepaling is op een kwart (1/4L) en driekwart (3/4L) van de overspanning eveneens per rijstrook 1 extra sensor. Dit zijn de subraaien. Daarmee zou de nauwkeurigheid van 10% gehaald kunnen worden.

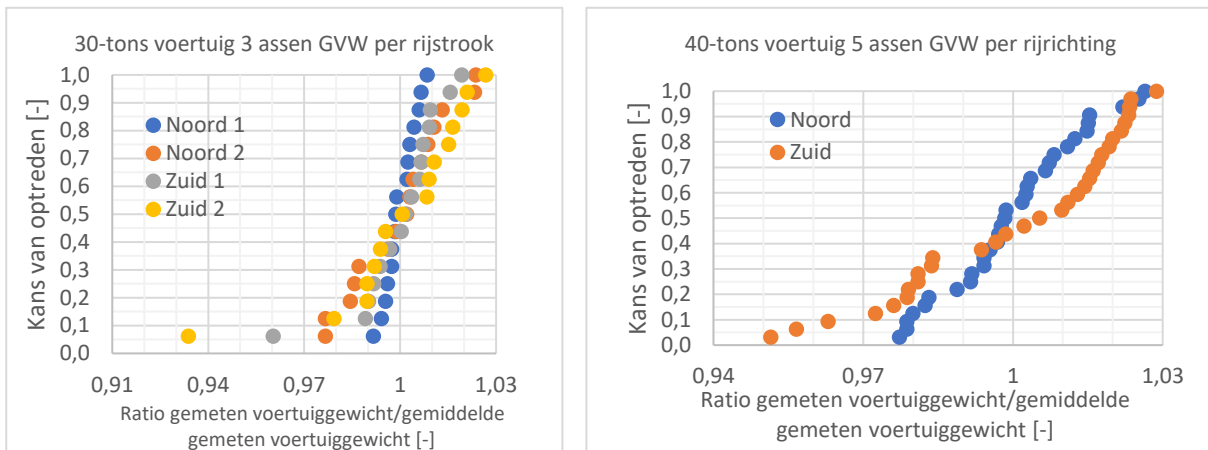
#### 3.3.1 Nauwkeurigheid WIM-ROAD

De snelheid wordt via de meetbalken per as gemeten. Binnen deze meethabitat is er geen alternatief meetinstrument naast gezet ter vergelijking. Per as verschillen de gemeten snelheden zeer weinig. Dit is terug te zien bij de gemeten tussenafstanden van de assen. De verschillen tussen de verschillende passages zijn minimaal en bedragen 1-3 cm. Van dit resultaat worden dan ook geen figuren of tabellen weergegeven.

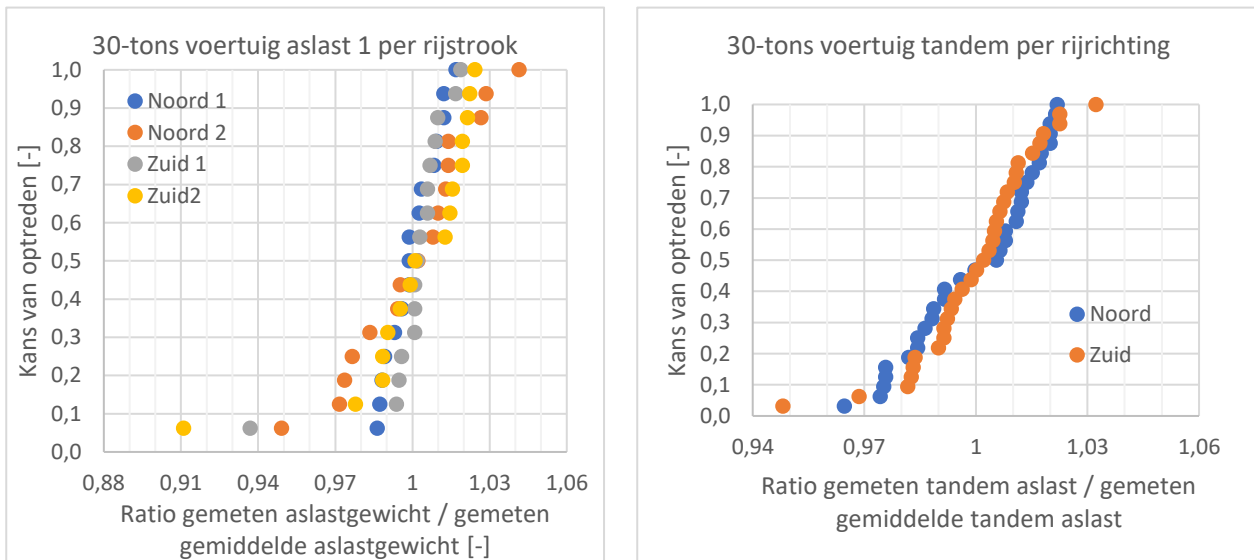
Allereerst worden er van 2 kalibratievoertuigen 2 figuren gegeven van de nauwkeurigheid van het voertuiggewicht: één figuur voor de rijstrook en één figuur voor de rijrichting.

In Figuur 11 zijn er steeds 16 passages voor elke rijstrook opgenomen, terwijl er per rijrichting 32 passages zijn opgenomen. Ook is duidelijk te zien dat er, bij beide figuren, enkele passages buiten de 3% marge vallen én dat deze betrekking hebben op de ondergrens van het gemeten voertuiggewicht. Voor de aslasten en tandem- of tridem aslastconfiguraties kan een soortgelijke figuur opgesteld worden. Dit is weergegeven in Figuur 12.

Ook in Figuur 12 zien we dat er vooral bij de rijstrook indeling aan de onderzijde enkele aslasten buiten de 3% ondergrens vallen. Voor de tandem aslastconfiguratie is dit eveneens het geval. Wel blijven de marges binnen de OIML grenzen van 10%! Om een breder beeld te krijgen van de nauwkeurigheid zijn er eveneens tabellen opgesteld, waarin vooral de aantallen genoemd worden die buiten de 3% grens vallen. Dit overzicht is voor één kalibratiemoment opgenomen in



Figuur 11: Nauwkeurigheid voertuiggewicht 30-tonner per rijstrook (links) en 40-tonner per rijrichting (rechts)



Figuur 12: Nauwkeurigheid 1e aslast per rijstrook (links) en tandem per rijrichting 30-tonner (rechts)

Opvallend in Tabel 2 is dat de aslasten bij het kraanvoertuig behoorlijk buiten de gestelde grenzen van 3% vallen met een maximaal percentage van 29% van de metingen. Deze afwijking komt wel overeen met metingen van passages van bouwvoertuigen gedaan op het rijkswegennet bij de WIM-ROAD systemen. De kolommen met minimale en maximale waarden geven aan dat bij het voertuiggewicht het totale bereik ligt tussen 7,2% lichter en 3,4% zwaarder ten opzichte van het gemiddelde van de metingen. Deze waarden voldoen daarmee aan de OIML R 134 richtwaarden [2] van een maximale afwijking van 10%. Voor de aslasten is het bereik iets groter: namelijk tussen 11,6% lichter en 8,2% zwaarder. Bij de huidige meetbalkindeling valt dit

buiten de 5% nauwkeurigheid, echter nog wel ruim binnen de maximale 16% richtwaarden voor de aslasten en aslastgroepen van [2]. De tandem aslastgewichten vallen buiten de richtwaarden van [2] met een overschrijding van 5,9%, terwijl de tridem aslasten er ruim binnen vallen.

### 3.3.2 Voorlopige conclusies WIM-ROAD

- De huidige WIM-ROAD meethabitat levert nauwkeurige meetwaarden op voor zowel het voertuiggewicht, de aslasten en de tridem aslastgewichten
- Het tandem aslastgewicht kent een te hoge onnauwkeurigheid voor dit kalibratiemoment. Nagegaan moet worden of dit voor de overige kalibratiemomenten ook geldt

- De snelheid en asafstanden van de aslasten laten een zeer hoge nauwkeurigheid zien.
- Over het algemeen wordt voldaan aan de OIML R 134 eisen [2] t.a.v. nauwkeurigheid, binnen de restricties die de OIML R 134 stelt aan de randvoorwaarden van de locatie van de meethabitat.
- Wanneer alle data van kalibratiemomenten beschikbaar komt kan eveneens de betrouwbaarheid van dit meetsysteem over een bepaalde periode bepaald worden.

Tabel 1: Overzicht voertuiggewicht aantallen buiten de 3% grens bij één kalibratiemoment

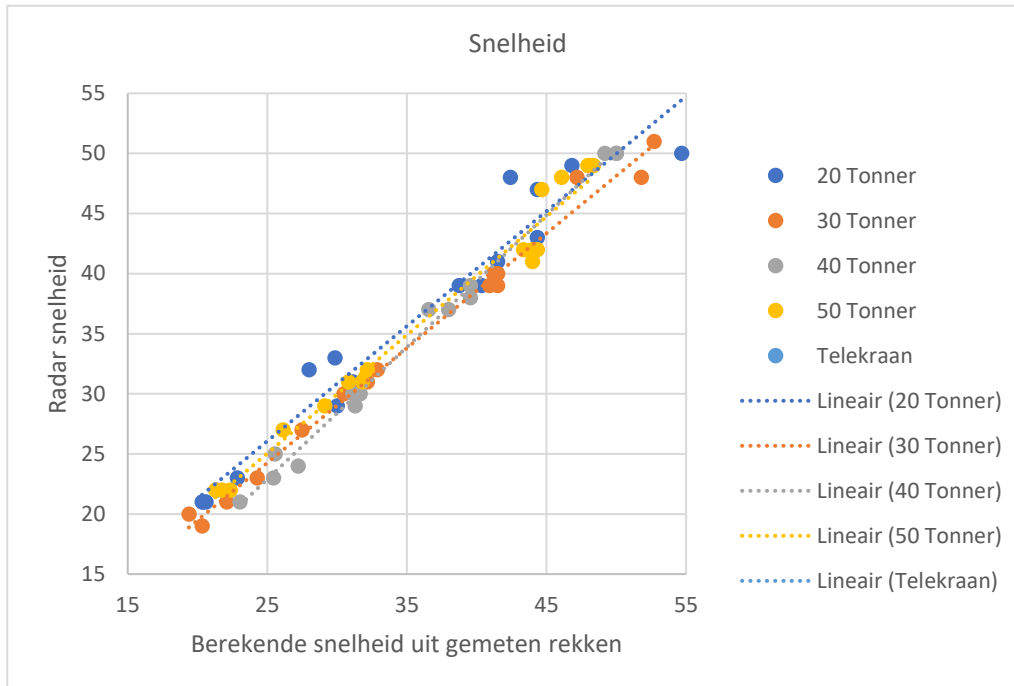
| Voertuig-<br>gewicht | Minimum<br>waarde | Maximum<br>waarde | Aantal<br>passages<br>< 3% | Aantal<br>passages<br>> 3% | Totaal<br>aantal<br>passages | Percentage<br>buiten de<br>3% |
|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 20 ton/2 as          | 0,968             | 1,019             | 1                          | 0                          | 16                           | 6,3%                          |
| 30 ton/3 as          | 0,933             | 1,027             | 1                          | 0                          | 16                           | 6,3%                          |
| 40 ton/5 as          | 0,991             | 1,010             | 0                          | 0                          | 16                           | 0,0%                          |
| 50 ton/4 as          | 0,972             | 1,034             | 0                          | 1                          | 16                           | 6,3%                          |
| 50 ton/5 as          | 0,928             | 1,023             | 2                          | 0                          | 16                           | 12,5%                         |

Tabel 2: Overzicht aantallen aslasten alle rijstroken buiten de 3% grens bij één kalibratiemoment

| Alle rijstroken<br>Alle Assen | Minimum<br>waarde | Maximum<br>waarde | Aantal<br>passages<br>< 3% | Aantal<br>passages<br>> 3% | Totaal<br>aantal<br>passages | Percentage<br>buiten de<br>3% |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 20 ton/2 as                   | 0,8845            | 1,0389            | 6                          | 3                          | 128                          | 7,0%                          |
| 30 ton/3 as                   | 0,9784            | 1,0384            | 6                          | 4                          | 192                          | 5,2%                          |
| 40 ton/5 as                   | 0,9640            | 1,0273            | 13                         | 8                          | 320                          | 6,6%                          |
| 50 ton/4 as                   | 0,9413            | 1,0816            | 36                         | 39                         | 256                          | 29,3%                         |
| 50 ton/5 as                   | 0,9378            | 1,0318            | 20                         | 23                         | 320                          | 13,4%                         |

Tabel 3: Overzicht aantallen tandem en tridem aslastconfiguraties buiten de 3% grens

| Overzicht nauwkeurigheid tandem aslastgewicht voertuigen op basis van indeling rijstroken |                   |                   |                            |                            |                              |                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Voertuigtype                                                                              | Minimum<br>waarde | Maximum<br>waarde | Aantal<br>passages<br>< 3% | Aantal<br>passages<br>> 3% | Totaal<br>aantal<br>passages | Percentage<br>buiten de<br>3% |
| 30 ton/ 3 as                                                                              | 0,945             | 1,029             | 1                          | 0                          | 64                           | 1,6%                          |
| 50 ton/ 4 as                                                                              | 0,930             | 1,074             | 13                         | 15                         | 128                          | 21,9%                         |
| 50 ton/ 5 as                                                                              | 0,780             | 1,033             | 4                          | 3                          | 64                           | 10,9%                         |
| Overzicht nauwkeurigheid tridem aslastgewicht voertuigen op basis van indeling rijstroken |                   |                   |                            |                            |                              |                               |
| Voertuigtype                                                                              | Minimum<br>waarde | Maximum<br>waarde | Aantal<br>passages <<br>3% | Aantal<br>passages ><br>3% | Totaal<br>aantal<br>passages | Percentage<br>buiten de<br>3% |
| 40 ton/ 5 as                                                                              | 0,965             | 1,034             | 3                          | 2                          | 64                           | 7,8%                          |



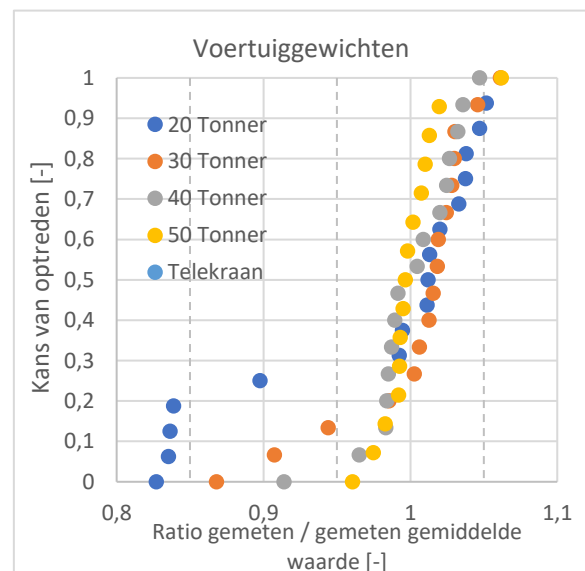
Figuur 13: Correlatie tussen gemeten radarsnelheid en de berekende snelheid uit de sensoren

### 3.3.3 Nauwkeurigheid WIM-BRIDGE

Bij de WIM-BRIDGE meethabitat is sprake van een extra basisgegevens, die eerst bepaald moet worden wil men uiteindelijk komen tot voertuiggewichten en aslasten en dat is de snelheid van het passerende voertuig. Er zijn daartoe 2 systemen ingericht, een radar systeem om bovenop het rijdek de snelheid te meten en onder het brugdek met enkele extra optische sensoren op 1/4L en 3/4L van de overspanning. De correlatie van beide snelheidsmetingen is te zien in Figuur 13.

Figuur 13 laat zien dat het goed mogelijk is om de berekende snelheid uit de sensor rekmetingen te halen en dat de correlatie een lineair verloop geeft, ervan uitgaande dat de radarsnelheid betrouwbaar genoeg is. De correlatielijnen liggen in deze maand juni dicht bij elkaar, wat ook weer prettig is voor de betrouwbaarheid van de nog te berekenen grootheden die hierop gebaseerd zijn. Echter, er is gebleken dat als de 3/4L sensoren uitval vertonen de berekende snelheid uit de sensor resultaten slecht kan worden. Er wordt aangeraden om uit te gaan van de snelheid

verkregen via het radar meetinstrument en de verkregen meetdata te verrijken met de berekende snelheid uit de rekwaardes.



Figuur 14: Overzicht nauwkeurigheid berekende voertuiggewichten per rijstrook

Vanuit de gemeten of berekende snelheid kan het voertuiggewicht berekend worden via het oppervlak van de rekwaardes bij een passage van een voertuig. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** geeft een weergave van de 5

kalibratievoertuigen bij de passage van 1 rijstrook in mei 2021. Deze rijstrook (Zuid 2) is gekozen vanwege de aanwezigheid van alle 16 passages van elk kalibratievoertuig bij zowel de radar installatie als bij de sensoropstelling. Opgemerkt dient te worden dat er hier één passage, met een factor 1,51 (voor de 20-tonner) op de horizontale as, als uitbijter aangemerkt moet worden binnen een totaal van 80 passages. Omwille van de leesbaarheid van de rest van de passages valt deze passage buiten de getoonde grafiek.

**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** laat zien dat de nauwkeurigheid van 10% aan de onderzijde niet gehaald wordt bij een 6-tal passages. Dit is bij 5 passages van de 20-tonner en 1 passage van de 30-tonner. Nagegaan dient te worden of er een relatie bestaat tussen de nauwkeurigheid van de 20-tonner en de berekende of gemeten snelheid. Bovendien staat in de legenda wel de mobiele kraan vermeld, maar is er nog geen enkel voertuiggewicht voor opgenomen, aangezien de ontwikkeling van de evaluatiesoftware voor dit type voertuig nog niet volledig is doorgevoerd.

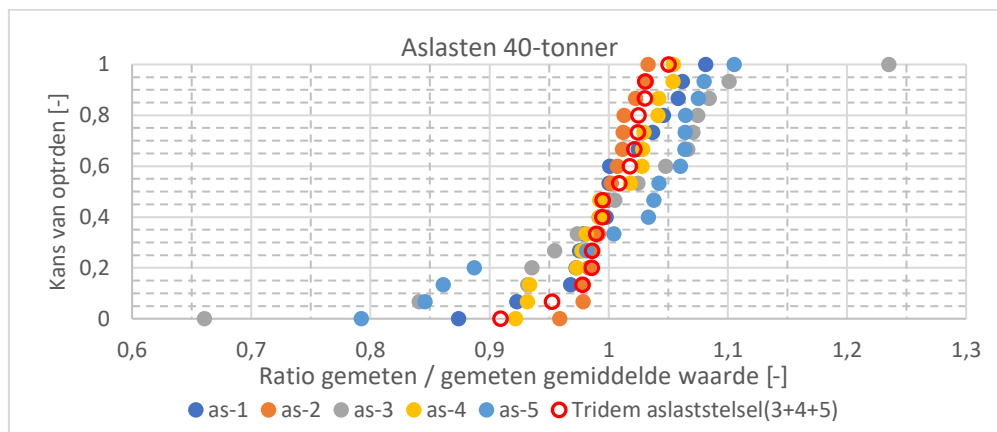
Overeenkomstig de WIM-ROAD indeling kan er voor dit kalibratiemoment eveneens een tabel gevuld worden met percentages kleiner en groter dan 10% nauwkeurigheid.

**Fout! Ongeldige bladwijzerverwijzing.** geeft eveneens aan dat er geen mobiele kraan is opgenomen. De 20-tonner kent een te hoog uitval percentage, terwijl de 30-, 40- en 50-tonner deze maand juist goed presteren. Vervolgens kunnen ook de aslasten op dezelfde manier weergegeven worden. Allereerst dient dan het aantal aslasten bepaald te worden en vervolgens kan via Cauchy fitting elke aslast worden berekend uit de bijbehorende rekwaardes van de passage van het voertuig. Een weergave van de 5 aslasten en een tridem aslastconfiguratie van de 40-tonner is te zien in Figuur 15.

Uit Figuur 15 blijkt dat er van de 80 aslast passages een 4-tal buiten de 16% OIML R 134 grenswaarde [2] vallen. De 16 tridem aslast passages vallen zelfs binnen de 10% nauwkeurigheid grens. Dit is gunstig aangezien dit voor de te beoordelen brugdelen een geconcentreerd aslaststelsel inhoudt, waarbij de onzekerheid over de grootte kleiner blijkt te zijn dan bij beschouwing van één enkele aslast. De evaluatiesoftware van de meetdata heeft echter nog een extra stap nodig om te komen tot het bepalen van de aslasten en tussenafstanden van de aslasten. Vandaar dat er nog geen tabel t.a.v. de nauwkeurigheid van aslasten bij alle voertuigen opgenomen is in deze bijdrage.

Tabel 4: Overzicht voertuiggewicht aantallen buiten de 10% grens bij één kalibratiemoment

| Voertuig-<br>gewicht | Minimum<br>waarde | Maximum<br>waarde | Aantal<br>passages<br>< 10% | Aantal<br>passages<br>> 10% | Totaal<br>aantal<br>passages | Percentage<br>buiten de<br>10% |
|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 20 ton/2 as          | 0,826             | 1,513             | 5                           | 1                           | 16                           | 37,5%                          |
| 30 ton/3 as          | 0,868             | 1,061             | 1                           | 0                           | 16                           | 6,3%                           |
| 40 ton/5 as          | 0,913             | 1,047             | 0                           | 0                           | 16                           | 0,0%                           |
| 50 ton/4 as          |                   |                   |                             |                             |                              |                                |
| 50 ton/5 as          | 0,960             | 1,061             | 0                           | 0                           | 16                           | 0,0%                           |



Figuur 15: Overzicht nauwkeurigheid aslasten en tridem aslastconfiguratie bij een 40-tonner

### 3.3.4 Voorlopige conclusies WIM-BRIDGE

- Mits de snelheid van de voertuigen is bepaald, hetzij via de radarinstallatie of via de sensoren, kan het voertuiggewicht bepaald worden. Beide mogelijkheden laten instabiliteit zien, waardoor er nog geen goed beeld is te geven van alle kalibratiemomenten.
- Daar waar het voertuiggewicht wel bepaald kan worden lijkt vooral het 20-tonner gewicht buiten de OIML R 134 richtwaardes [2] te vallen, de overige kalibratievoertuigen zijn met voldoende nauwkeurigheid te meten.
- De evaluatiesoftware heeft nog een correctie nodig t.a.v. het mobiele kraangewicht, de aslasten en de daaraan gekoppelde afstanden tussen de aslasten.
- Vooralsnog lijken de resultaten van dit type meethabitat hoopgevend, terwijl de getoonde resultaten eveneens binnen de OIML R 134 richtwaardes vallen.
- Nadat de evaluatiesoftware aangepast is, kan de vergelijking gemaakt worden met WIM-ROAD om te bepalen of de WIM-BRIDGE meethabitat inzetbaar is bij verkeersbelasting metingen voor (binnen) stedelijk gebied. Dit zodat ook bekend wordt hoe WIM-ROAD en WIM-BRIDGE zich tot elkaar verhouden, gegeven de restricties in de OIML R 134 aan de locatie t.a.v. een meethabitat.

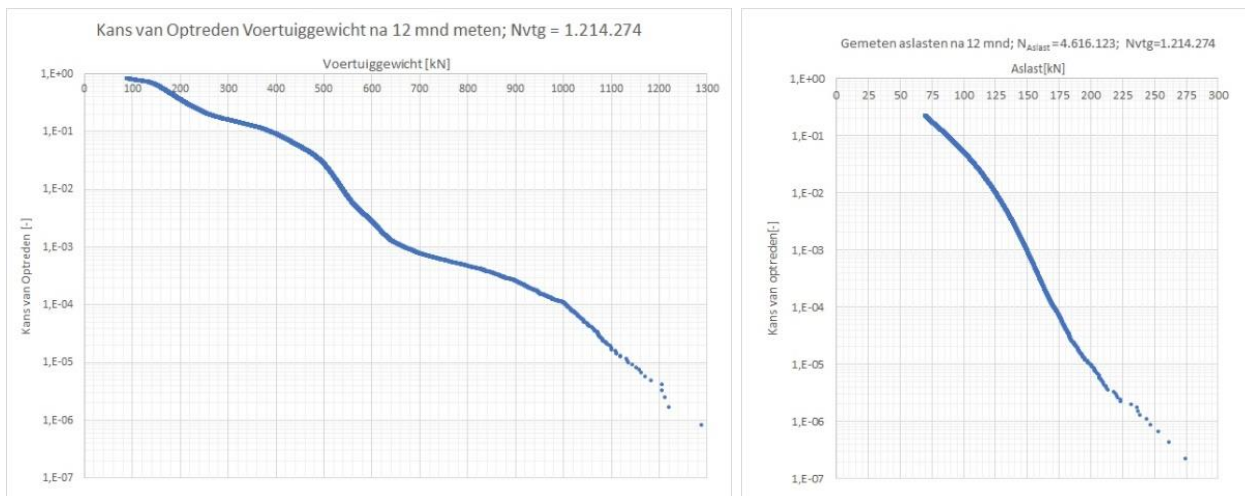
## 4 Voorlopige verkeersbelasting resultaten na 1 jaar meten

### 4.1 Vergelijking RWS en Amsterdamse metingen

De Eurocode 1991-2 en het achtergrondrapport van het NEN wijzigingsblad voor het onderliggende wegennet laat figuren zien van de kans van optreden van het voertuiggewicht, de bijbehorende aslasten en het tandem aslaststelsel. De figuren in het achtergrondrapport zijn gebaseerd op 1 maand meten bij rijksweg 16L in 2008 en 2013. De meetdata van 2008 is aangemerkt als de meest betrouwbare meetdata voor de Nederlandse situatie, aangezien achteraf de meetdata van 2013 met de 'oude' WIM-ROAD meetsystemen, waarschijnlijk vanwege onderhoud achterstand, als minder nauwkeurig moest worden aangemerkt.

In totaal waren er in 2008 een 238.133 passages van vrachtvoertuigen, die t.b.v. het onderliggende wegennet gefilterd zijn tot een niveau van 237.810 passages. Het aantal tandem aslasten ligt rond de 285.000, kortom een factor 1,2 t.o.v. het aantal vrachtwagen passages.

Op basis van deze set gefilterde vrachtvoertuigen zijn vervolgens de bovengenoemde figuren met kans van optreden gemaakt.



Figuur 16: Kans van optreden van voertuiggewichten (links) en aslasten (rechts) meethabitat Westpoortweg

Het aantal voertuigen binnen het wijzigingsblad voor het onderliggende wegennet is vastgesteld op maximaal 125.000 passages per rijstrook per jaar. De veiligheidsmarge met een waarde van  $1,0 \times 10^{-4}$  en trendfactoren zijn gehandhaafd, overeenkomstig de factoren, die gelden voor het rijkswegennet.

## 4.2 Resultaten kans van optreden

### 4.2.1 Voor vrachtwagengewicht

In het eerste jaar van meten aan de Westpoortweg zijn er in totaal iets meer dan 1,2 miljoen vrachtwagens gepasseerd. Dit aantal komt overeen met de verkeerstellingen, die regelmatig uitgevoerd worden in Amsterdam. Er is geen restrictie op dit wegvak t.a.v. bijzonder transport en dat is dan ook te zien in Figuur 16 (links), waarin de kans van optreden van het vrachtwagengewicht is weergegeven. Een overeenkomstige figuur is eveneens weergegeven voor de gemeten bijbehorende aslasten, zie Figuur 16 (rechts).

Evenals op het rijkswegennet laat ook de meethabitat Westpoortweg tot 600 kN voertuiggewicht een duidelijke afname zien van de kans, gevolgd door een curve, die de voertuigen met een permanente vergunningen

weergeeft. Bij een voertuiggewicht van boven de 1100 kN komen er nog sporadisch enkele voertuigen voor, die of als éénmalige vergunning voertuig of als overbeladen voertuig (eventueel met een permanente vergunning) aangemerkt mag worden. Als er alleen sprake zou zijn van overbelading, dan kan gesteld worden dat hier een overbelading van 30% opgetreden is.

### 4.2.2 Voor aslasten

De kans van optreden van aslasten laat een redelijk continue curve zien, die vanaf een aslastgewicht boven de 215 kN ook nog enkele aslastgewichten aangeeft tot een maximum van 275 kN. De factor tussen het aantal aslasten en het aantal voertuigen ligt rond de 4, wat eveneens overeenkomstig is met het rijkswegennet.

## 4.3 Zone zwaar verkeer

De gemeenteraad van Amsterdam heeft in oktober 2021 gekozen voor de aanscherping en uitbreiding van de 7,5 tonszone (7,5 ton = 75 kN) voor de binnenstad. De maximale lengte van het voertuig is beperkt tot 10 meter. Een permanente vergunning kan afgegeven worden tot een maximum voertuiggewicht van 300 kN. Er is hierbij geen restrictie op de aslast aangegeven.

Om een eerste indicatie en indruk te verkrijgen van het effect van deze 7,5 tonszone maatregel, is de dataset van de Westpoortweg gefilterd op voertuiggewichten tot 390 kN. De maximale overbelading is hier eveneens aangehouden op 30%. Voor handhaving wordt gebruik gemaakt van ANPR-camera's op alle toegangswegen tot de zone én handhavingsteams met weegplaten controleren potentieel te zware voertuigen door ze ter plaatse statisch te meten. Daarmee lijkt een marge van 30% overbelading acceptabel.

Deze filtering zorgt ervoor dat er van de 1,2 miljoen vrachtvoertuig passages er een 0,47 miljoen voertuigen overblijven. Tabel 5 geeft aan wat het verschil is in n-assige voertuigen tussen de gefilterde 2008 RW16L database en de 0,47 miljoen database.

Tabel 5 laat zien dat de gebruikte database voor het onderliggende wegennet nog een groot percentage kent van 5-assige voertuigen, de zgn. truck met de 3-assige oplegger. Dit type voertuig komt nog voor 2.3% voor in de gefilterde Westpoortweg database voor, terwijl de 2-assige voertuigen met 69% voorkomen nog niet de norm bereiken van 80% voorkomen, echter het komt al redelijk dichtbij. Wanneer men zich strikt zou houden aan de 300 kN voertuiggewicht, wat veelal neerkomt op maximaal 3-assige voertuigen, dan komt men op een ratio uit van 82% 2-assige voertuigen en 18% 3-assige voertuigen. De 4-

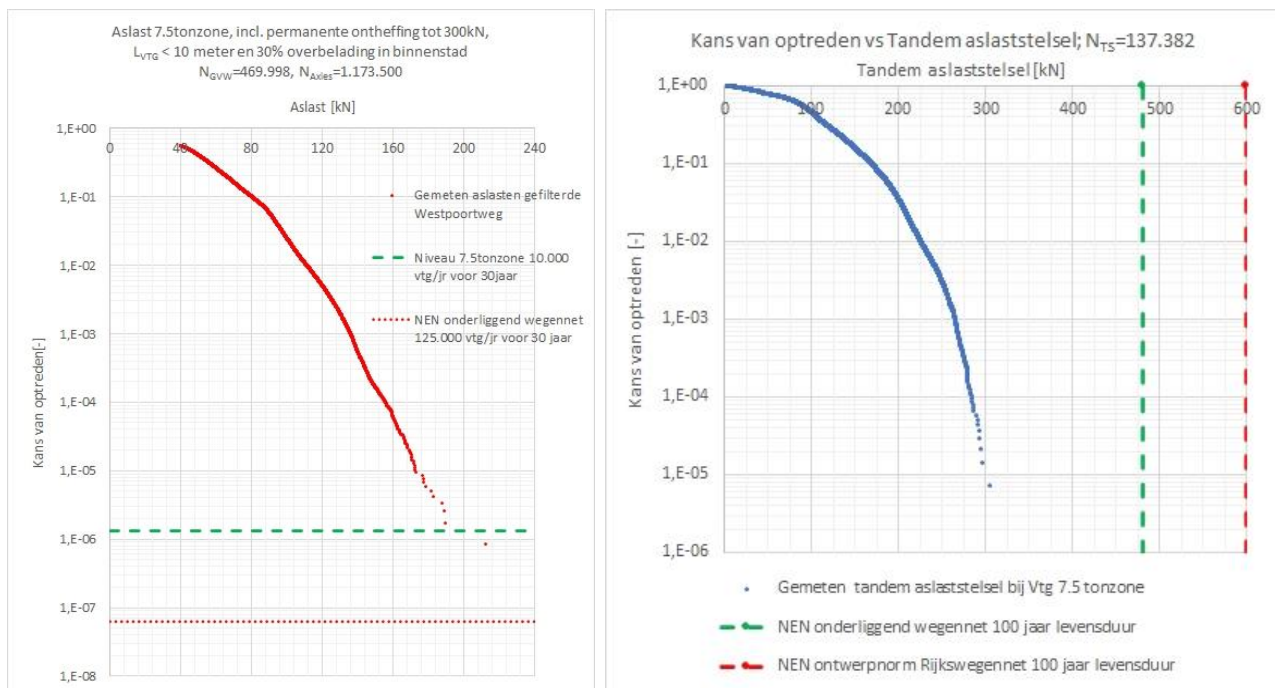
assige voertuigen, die vooral voorkomen t.b.v. bevoorrading supermarkten zullen er hier en daar nog wel zijn, maar zullen geen relevant percentage in het totaal krijgen. Daarnaast is het aantal aslast passages bij het onderliggende wegennet database gemiddeld 4.3 aslast per voertuig. Bij de gefilterde Westpoortweg database is dit 2.5 aslast per voertuig, terwijl bij de norm voor het lokale verkeer de gemiddelde eveneens 2.5 aslast per voertuig bedraagt. Het aantal wisselingen bij vermoeiing neemt dus aanzienlijk af.

Uit de verkeerstellingen komt naar voren dat er een 10.000 passages in de binnenstad voorkomen, kortom dit zou een restlevensduur van 47 jaar op kunnen leveren, als het gemeten gefilterde spectrum van vrachtwagens overeenkomt met het spectrum in de binnenstad. Deze tellingen geven echter ook aan dat het percentage van licht verkeer eerder 95% bedraagt. Daarmee gaat het aantal wisselingen nog meer naar beneden, wat weer gunstiger is voor de restlevensduur van de constructie, als vermoeiing het bezwijkcriterium van de constructie maatgevend is.

De kans van optreden van het voertuiggewicht is uiteraard niet zo spectaculair, aangezien er een filtering is doorgevoerd op 390 kN voertuiggewicht. Wel is de kans van optreden van de bijbehorende aslasten én het tandem aslaststelsel van belang.

Tabel 5: Overzicht gemeten n-assige voertuigen onderliggende wegennet database en de gefilterde Westpoortweg database

| Type voertuig | NEN onderliggend wegennet | Perc. [%] | Westpoortweg gefilterd | Perc. [%] | Percentage Norm [%] |
|---------------|---------------------------|-----------|------------------------|-----------|---------------------|
| 2-assig       | 28.633                    | 12.0      | 323.851                | 69.0      | 80                  |
| 3-assig       | 15.211                    | 6.4       | 69.907                 | 14.9      | 5                   |
| 4-assig       | 57.934                    | 24.4      | 65.220                 | 13.9      | 5                   |
| 5-assig       | 119.985                   | 50.5      | 10.743                 | 2.3       | 5                   |
| 6-assig       | 14.371                    | 6.0       | 277                    |           | 5                   |
| > 6-assig     | 1.676                     |           | nvt                    |           |                     |
| Totaal        | 237.810                   | 100.0     | 469.998                | 100.1     | 100                 |



Figuur 17: Kans van optreden van een aslast (links) en een tandem aslaststelsel (rechts) t.b.v. 7,5 tonszone

De indicatieve curve van de kans van optreden van een aslast binnen de 7,5 tonszone in Figuur 17 op basis van de gefilterde meetdata uit de Westpoortweg laat zien dat er een continu verloop is tot 175 kN en dat er vervolgens enkele aslasten voorkomen tussen 175 kN en de maximaal gemeten aslast met een waarde van 215 kN. Bovendien snijdt de meetdata het niveau van de 7,5 tonszone bij 10.000 voertuigpassages per jaar bij een gangbare constructieve beoordeling van een brug voor de komende 30 jaar. Voor de volledigheid is tevens het niveau meegenomen bij 125.000 voertuigpassages eveneens beoordeeld voor 30 jaar restlevensduur. Bij dit beoordelingsniveau hoort een aslast waarde van 240 kN. Het lijkt erop, dat als het spectrum voertuigpassages van de binnenstad gelijkwaardig is aan de gefilterde meetdata van de Westpoortweg, de maximale aslast lager zal uitkomen dan de huidige 240 kN, geldend voor het onderliggende wegennet.

Hoeveel het precies zal worden kan in elk geval door meten in de binnenstad bekrachtigd worden. In de fiuur is de extra veiligheidsmarge van 1,0E-4

nog niet meegenomen. Vervolgmetingen van 1-2 jaar bij de Westpoortweg kunnen eveneens deze eerste indicatie versterken.

Het gemeten tandem aslaststelsel kent binnen deze eerste indicatie voor de binnenstad een maximale waarde van 305 kN, wat aanmerkelijk lager ligt dan de 480 kN, die in het huidige wijzigingsblad voor het onderliggende wegennet geldt. Aanvullend is de 600 kN grens van het rijkswegennet opgenomen in Figuur 17. Aangezien dit tandem aslaststelsel van belang is bij de aanwezige kleinere overspanningen in de 7,5 tonszone is dit wellicht nog belangrijker voor de constructieve beoordeling van de bruggen in de binnenstad. Ook hier geldt dat dit via metingen in de 7,5 tonszone aangetoond dient te worden.

Verder kan er nog opgemerkt worden, dat het aantal tandem aslaststelsels bij de 0,47 miljoen voertuigpassages zeer laag is. Bij de database van het onderliggende wegennet lag deze nog op een ratio van  $300/237,81 = 1,26/1,0$ ; bij de gefilterde 7,5 tonszone is de ratio gezakt naar  $137,4/470 = 0,3/1,0$ . De kans van optreden van het aantal tandemaslaststelsels is daarmee met een factor 4

verminderd. Ook in deze figuur is de extra veiligheid van  $1,0E-4$  nog niet meegenomen. Aangezien de curve van meetresultaten al voor 47 jaar zou kunnen gelden voor de binnenstad met een gelijksoortig verkeerssamenstelling is het aan te bevelen de metingen op de Westpoortweg voort te zetten met 1-2 jaar.

De focus lag tot nu toe vooral op de maximale gemeten aslasten en tandemaslasten. Bij het bepalen van de samenstelling is het echter ook van belang te kijken naar de ondergrens van het voertuiggewicht, nl. de 35 kN ondergrens. Ook de voertuigen onder de 35 kN voertuiggewicht kunnen overbeladen zijn. Met de beschikbare EURO13 classificatie kan de ondergrens van vrachtvoertuigen eveneens zuiverder gemaakt worden, wat vervolgens weer invloed heeft op de samenstelling. Daarmee zal het percentage van waarschijnlijk de 2-assige voertuigen iets lager komen te liggen. Een eerste inschatting laat een 26.000 voertuigpassages Class 1 zien, die voertuigen bevat zoals een personenauto met aanhanger of caravan(1- of 2-assig) en een lichte bestelauto(busje). Hoe groot de vermindering in aantallen zal zijn in relatie tot de 2- to 4-assige voertuigen in tabel 5 wordt nog nader onderzocht.

## 5 Toepasbaarheid voor gemeentes/provincies

### 5.1 Inleiding

In aanvulling op de Eurocode Verkeersbelasting is er in 2019 in Nederland een NEN wijzigingsblad gepubliceerd t.a.v. verkeersbelasting voor het onderliggende wegennet [3]. Dit NEN wijzigingsblad is onderbouwd in de publicatie van Steenberg en anderen in 2018 [5]. Dit rapport heeft betrekking op de verkeersbelasting in het onderliggende wegennet. Zoals de titel van het TNO rapport al aangeeft, zijn er ook een aantal restricties toegevoegd aan de toepasbaarheid van

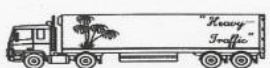
dit wijzigingsblad, o.a. de jaarontheffingen. Het onderliggende wegennet kan verder opgesplitst worden naar stedelijk en binnenstedelijk gebieden. Voorafgaand aan de verkeersbelasting metingen in Amsterdam zijn er dan ook een aantal mogelijkheden om de verkeersbelasting voor het binnenstedelijke gebied te verlagen. Dit onderzoek draagt bij aan de verlenging van de restlevensduur van de binnenstedelijke constructies zoals bruggen en kademuuren. Daaropvolgend zijn er nu achteraf eveneens nog mogelijkheden op basis van voortschrijdend inzicht t.a.v. de toekomst van binnen stedelijk gebieden.

### 5.2 Voorafgaand aan de metingen

Het aantal vrachtwagen passages per rijstrook bedraagt maximaal 125.000 passages per jaar bij het onderliggende wegennet. Hieraan voldoet de binnenstad van Amsterdam op enkele toegangsroutes na, die meer passages op jaarbasis kennen. De verkeersstellingen op de grachtengordel wijzen echter uit dat er maximaal 10.000 vrachtwagen passages per jaar geteld worden.

Dezelfde reguliere verkeersstellingen in de stad Amsterdam wijzen ook uit dat er maximaal 5% vrachtverkeer is in de categorie middel en zwaar vrachtverkeer. Tabel 6 geeft in de Eurocode 1991-2 echter 20% middel en zwaar vrachtverkeer. Dit betekent dat er 95% licht vrachtverkeer met 2-assige voertuigen in de binnenstad zouden rondrijden. Vervolgens betekent dit ook dat er nog maar 5% voertuig passages een tandem aslastconfiguratie waargenomen kunnen worden. Kortom het aandeel aslastgewicht bij een tandem aslastconfiguratie is zeker geen 50% aandeel in de verkeersbelasting, aangezien niet alle 3-assige voertuigen een tandem aslastconfiguratie zullen bezitten.

Tabel 6: Verkeerstype indeling Eurocode 1991-2

| Type voertuig                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                              |                             | Verkeerstype            |                     |                |                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|----------------|-----------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2                            | 3                           | 4                       | 5                   | 6              | 7                     |
| Afbeelding van de vrachtwagen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Afstand tussen de assen      | Gelijkwaardige aslast (kN)  | Lange afstand           | Middellange afstand | Lokaal verkeer | Wieltype              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                              |                             | Percentage vrachtwagens |                     |                |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4,50                         | 70<br>130                   | 20,0                    | 50,0                | 80,0           | A<br>B                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4,20<br>1,30                 | 70<br>120<br>120            | 5,0                     | 5,0                 | 5,0            | A<br>B<br>B           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3,20<br>5,20<br>1,30<br>1,30 | 70<br>150<br>90<br>90<br>90 | 40,0                    | 20,0                | 5,0            | A<br>B<br>C<br>C<br>C |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3,40<br>6,00<br>1,80         | 70<br>140<br>90<br>90       | 25,0                    | 15,0                | 5,0            | A<br>B<br>C<br>C      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 4,80<br>3,60<br>4,40<br>1,30 | 70<br>130<br>90<br>80<br>80 | 10,0                    | 10,0                | 5,0            | A<br>B<br>C<br>C<br>C |
| <p><b>OPMERKING</b> Voor de keuze van een verkeerstype mag ruwweg het volgende in aanmerking zijn genomen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- "Lange afstand" betekend honderden kilometers en behoort te zijn gecombineerd met verkeerscategorie 1</li> <li>- "Middellange afstand" betekend 50 km tot 100 km en behoort te zijn gecombineerd met verkeerscategorie 2 en 3 uit tabel 4.5(n).NB.</li> </ul> <p>In werkelijkheid kunnen verschillende verkeerstypes naast elkaar voorkomen.</p> |                              |                             |                         |                     |                |                       |

De huidige Eurocode verkeersbelasting kent tabellen met restricties voor overspanningen die beginnen bij een lengte van 20 meter. De binnenstad kent over het algemeen overspanningslengtes van 5-15 meter, aangezien de bruggen in het verleden vooral niet gebouwd werden als een doorgetrokken overspanning. Daardoor kunnen de bruggen beschouwd worden als statisch bepaalde constructies.

Binnen Amsterdam bestonden er voor de start van de verkeersbelasting metingen plannen om de echte binnenstad vanuit het oogpunt van leefbaarheid te vrijwaren van middel en zwaar vrachtverkeer. Deze planvorming helpt vervolgens eveneens bij de restlevensduur verlenging van de brugconstructies.

### 5.3 Achteraf na één jaar meten

Bij de meethabitat bij de Westpoortweg in Amsterdam, die deels industriële vrachtwagen passages en daarnaast een behoorlijke hoeveelheid provinciaal verkeer kent tussen Amsterdam en IJmuiden is meer dan 1 jaar lang gemeten. De hoeveelheid data(> 1 miljoen passages vrachtverkeer) geeft een goede indruk van verkeerstype passages, die eveneens in de binnenstad passeren.

Tevens heeft de gemeenteraad per oktober 2021 eveneens een 7,5 tonszone ingesteld voor de binnenstad met de mogelijkheid van permanente ontheffingen tot 30 ton voertuiggewicht. De Westpoortweg meethabitat dataset van passerende voertuigen kent een half miljoen

passages 40 ton voertuiggewicht. Dit voertuiggewicht komt overeen met de verkeersbelasting ontwerpklasse B, die in Amsterdam tussen 1930-1963 vooral gebruikt is voor de diverse bruggen in de binnenstad. Met het eerder aangegeven aantal passages van 10.000 vrachtovertuigen per jaar zou er geen extrapolatie nodig zijn bij een kans van optreden binnen 50 jaar restlevensduur, als deze samenstelling van voertuigen eveneens geldt voor de binnenstad. Uiteraard zal er rekening gehouden moeten worden met overbelading, echter er is nog voldoende ruimte tussen metingen en de huidige regelgeving voor het onderliggende wegennet. Dit wordt door de hierna aangegeven tandem aslast configuraties bevestigd.

Het aantal tandem aslastconfiguraties binnen de half miljoen passages database komt op 110.000 voertuigen en kent daarbij een ratio van 20%. Het maximaal gemeten tandem aslastconfiguratie gewicht bedraagt 315 kN, waarmee de 480 kN van het wijzigingsblad ruim onderschreden wordt. Aangenomen mag worden dat met de invoering van de 7,5 tonszone dit aandeel drastisch naar beneden zal gaan, zoals de verkeerspassage tellingen uit het verleden zeer waarschijnlijk gehaald zullen worden. De huidige metingen bij milieu palen laten ditzelfde beeld zien.

Gelet op de invoering van de 7,5 tonszone, is duidelijk dat de trendfactor voor de verkeersbelasting niet meer op 1,03 per jaar dient te worden aangehouden, maar dat eerder de waarde 1,0 een bovengrens hoort te zijn.

#### 5.4 Conclusies toepasbaarheid

- Algemene conclusie is wel dat de huidige tabel van voertuigtypes en dan met name de kolom van het lokale verkeer aangepast kan worden.
- Daarmee kan tevens het aantal passages met bijbehorende correctie factoren aangepast worden

- Gezien het grote aantal gemeten passages is de extrapolatie vanuit de meetresultaten naar de gebruikelijke aangehouden restlevensduur van 30 jaar bij beoordeling op constructieve veiligheid van bestaande constructies zoals bruggen en kademuren minimaal.

## 6 Conclusies en vooruitblik

De volgende conclusie en vooruitzichten kunnen worden gegeven:

1. De nauwkeurigheid van de gemeten voertuiggewichten met WIM-ROAD is vrij hoog, maar nog steeds lager dan de verwachte en beloofde nauwkeurigheidfactoren van de leveranciers. Er lopen gesprekken met de leveranciers om tot een onderbouwing te komen én om tot een hoger nauwkeurigheidsniveau te komen.
2. Tot nu toe worden slechts een minimum aan uitschieters voor het voertuiggewicht en de asdruk gemeten, wat hopelijk in de toekomst zal worden voortgezet.
3. Een eerste vergelijking van de kentekenplaten van de voertuigen met de RDW-database laat een dekking van 85% van de passerende voertuigen zien, wat als een veelbelovend resultaat kan worden aangemerkt.
4. Na 12 maanden meten van voertuigbelastingen laten de kalibratieresultaten een kleine achteruitgang van het WIM-ROAD systeem zien. Aangeraden wordt om na elke 6 maanden het systeem opnieuw te justeren.
5. De geëvalueerde asbelasting van 175 kN ligt ver onder de Eurocode 300 kN belasting en ook nog steeds lager dan de huidige Nederlandse asbelasting voor het onderliggende wegennet. De lopende metingen in de toekomst op deze locatie en op andere locaties richting

binnenstad zullen uitwijzen welke waarde leidt tot een acceptabele aslast voor de binnenstad.

wegennet zonder jaarontheffingen. Steenbergen, R.D.J.M., Allaix, D.L., la Gasse, L.C., Vervuurt, A.H.J.M.

6. Het (door)meten over bij voorkeur meerdere jaren dient overwogen te worden om op basis van de meetresultaten tot een definitieve conclusie te komen t.a.v. het opstellen van een toetskader bij de beoordeling van binnenstedelijke constructies m.b.t. de verkeersbelasting.

## 7 Dankwoord

De auteurs willen het Programma Bruggen en Kademuren van het Ingenieursbureau van de gemeente Amsterdam bedanken voor alle steun die vanuit het programma is uitgegaan naar het project “Metten Verkeersbelasting”. Daarnaast willen de auteurs ook alle leden van het project team bedanken voor alle steun, inzet voor en hun bijdragen aan dit project.

## 8 Referenties

- [1] COST 323, 2002. Weigh-in-Motion of Road Vehicles: Final Report of the COST 323 Action. Jacob, B., OBrien, E.J., Jehaes, S. (Eds.), Paris: LCPC.
- [2] OIML, 2006. R134-1: Automatic Instruments for weighing Road Vehicles in Motion and Axle Load measuring. Part 1: Metrological and technical requirements – Tests. Paris: OIML.
- [3] NEN, 2019. NEN-EN 1991-2:2003+C1:2015+NB: 2019, Belastingen op constructies - Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen. Delft: NEN
- [4] NEN, 2020. Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouwen en afkeuren - Belastingen. Delft: NEN
- [5] TNO-2017-R10614, 2018. Verkeersbelastingmodel voor wegverkeersbruggen in het onderliggend