



Cauberg-Huygen

Amerikalaan 14

6199 AE MAASTRICHT - AIRPORT

6200 AL MAASTRICHT

T +31 (0)43-3467878

E maastricht.ch@dpa.nl

www.dpa.nl/cauberg-huygen

K.v.K 58792562

IBAN NL71 RABO 0112 075584

**Onderzoek relatie trillingssterkte en rijsnelheid treinen:  
locatie Rosmalen**

**Datum 9 februari 2018**

**Referentie 00131-13058-11**

Referentie 00131-13058-11  
Rapporttitel Onderzoek relatie trillingssterkte en rijsnelheid treinen:  
locatie Rosmalen  
Datum 9 februari 2018

Opdrachtgever ProRail  
Leefomgeving, Juridische zaken en Vastgoed  
Postbus 2038  
3500 GA UTRECHT  
Contactpersoon De heer H. Zandberg

Behandeld door C.J. Ostendorf  
DPA Cauberg-Huygen B.V.  
Amerikalaan 14  
6199 AE MAASTRICHT - AIRPORT  
Telefoon 043-3467878  
Fax 043-3476347

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Opzet onderzoek</b>	<b>4</b>
2.1	Algemeen	4
2.2	Meetposities	4
2.3	Gebruikte meetapparatuur	8
<b>3</b>	<b>Analyses</b>	<b>9</b>
3.1	Rijsnelheden	9
3.2	Goederentreinen rijsnelheid versus trillingssterkte	10
3.3	DDAR rijsnelheid versus trillingssterkte	11
3.4	Goederentreinen relatie trillingssterkte en aslast	14
3.5	Relatie aslast, rijsnelheid en trillingssterkte	16
<b>4</b>	<b>Samenvatting en conclusie</b>	<b>18</b>

## Bijlagen

### Bijlage I

Bijlage I-1 Trendlijnen voor de relatie rijsnelheid en trillingsniveau van goederentreinen

### Bijlage II

Bijlage II-1 Trendlijnen voor de relatie rijsnelheid en trillingsniveau van DDAR treinen

## **1 Inleiding**

In 2015 is door DPA Cauberg-Huygen en Level Acoustics & Vibration een trillingsonderzoek<sup>1</sup> uitgevoerd in Rosmalen. Ten behoeve van dit onderzoek zijn trillingsmetingen uitgevoerd op maaiveld op 25 meter afstand van het spoor. Bij deze metingen is niet alleen de trillingssterkte op datum en tijd geregistreerd maar zijn ook camerabeelden vastgelegd van de treinpassages en is de rijsnelheid gemeten en opgeslagen.

In het kader van het onderzoek “Gedifferentieerd rijden” hebben wij in opdracht van ProRail aanvullende analyses uitgevoerd op de verzamelde meetgegevens. Het gaat hierbij om:

1. Een mogelijke relatie tussen trillingssterkte en rijsnelheid voor de goederentreinen.
2. Een mogelijke relatie tussen trillingssterkte en aslast voor de goederentreinen.
3. Een mogelijke relatie tussen trillingssterkte en rijsnelheid voor de DDAR getrokken door een 1700 loc.

Voorliggende rapportage beschrijft de onderzoeksresultaten. De wijze van onderzoek is vermeld in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 gaat in op de verschillende analyses en een conclusie van het onderzoek is opgenomen in hoofdstuk 4.

---

<sup>1</sup> Postdictie trillingen Rosmalen, rapport 00131-10942-06 d.d. 5 april 2016.

## 2 Opzet onderzoek

### 2.1 Algemeen

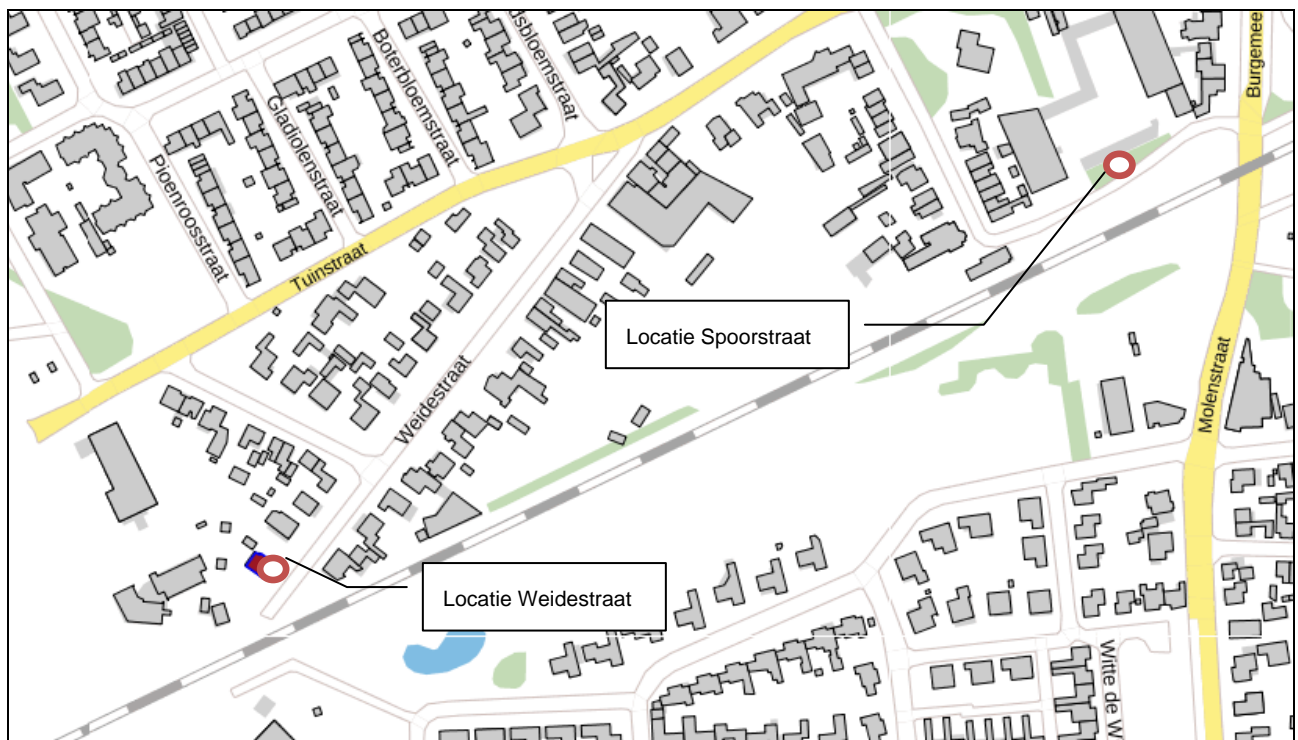
De gekozen onderzoekslocaties zijn voor een ander doel gekozen dan voorliggend onderzoek maar de registraties van trillingssterkte, rijsnelheid en de aslast uit het QuoVadis systeem van ProRail zorgen dat de meetgegevens wel gebruikt kunnen worden voor het onderzoek naar de snelheidsrelaties.

Ten behoeve van het onderzoek is op basis van de camerabeelden onderscheid gemaakt tussen de gevraagde treintypen. Per treinpassage is de trillingssterkte  $v_{\text{eff,max}}$  (de hoogste trillingssterkte van die passage ongeacht de trillingsrichting) en de rijsnelheid aan elkaar gekoppeld. Vervolgens is onderzocht in hoeverre een relatie bestaat tussen de genoemde grootheden. Voor de bepaling van de relaties is gebruik gemaakt van de gebruikte relaties uit het dGmR onderzoek naar gedifferentieerd rijden<sup>2</sup> zodat de resultaten vergelijkbaar zijn.

Voor de goederentreinen zijn de QuoVadis gegevens gebruikt die ten behoeve van het onderzoek in 2015 al in ons bezit waren. Hieruit zijn de gegevens van de aslasten afgeleid. De meetperiode bedroeg 5 weken in de periode juli-augustus 2015.

### 2.2 Meetposities

De onderzoekslocaties zijn weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1: Meetlocaties Weidestraat en Spoorstraat

<sup>2</sup> Rapport "Onderzoek effect rijsnelheid goederentreinen op trillingsopwekking in de bodem", nummer T.2016.0727.00.R002 d.d. 4 mei 2017.

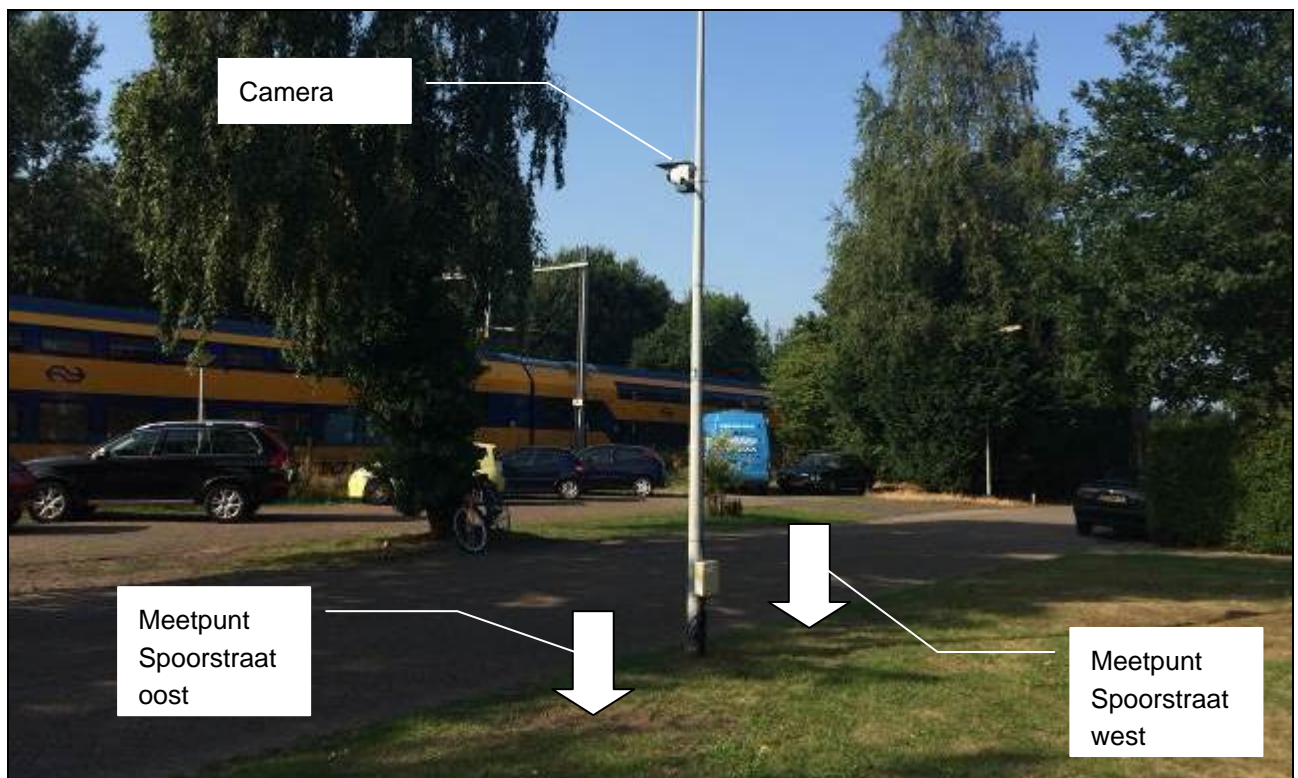
Op elk adres zijn twee trillingsmeters geplaatst op een afstand van 5 meter uit elkaar, allebei op 25 meter afstand tot het spoor. Hiermee is onderzocht in hoeverre een kleine afwijking in positie van het meetpunt invloed heeft op de trillingssterkte. In totaal zijn dus vier meetpunten in het onderzoek meegenomen.

De trillingsmeters zijn op circa 0,5 meter diepte in de bodem ingegraven waarbij de meters voorzien zijn van extra massa om een goede koppeling met de bodem te bewerkstelligen. De grond bovenop de trillingsmeters is weer terug aangebracht en goed aangestampt. Figuur 2.2 geeft een beeld van de wijze waarop de trillingsmeters in de bodem zijn aangebracht.



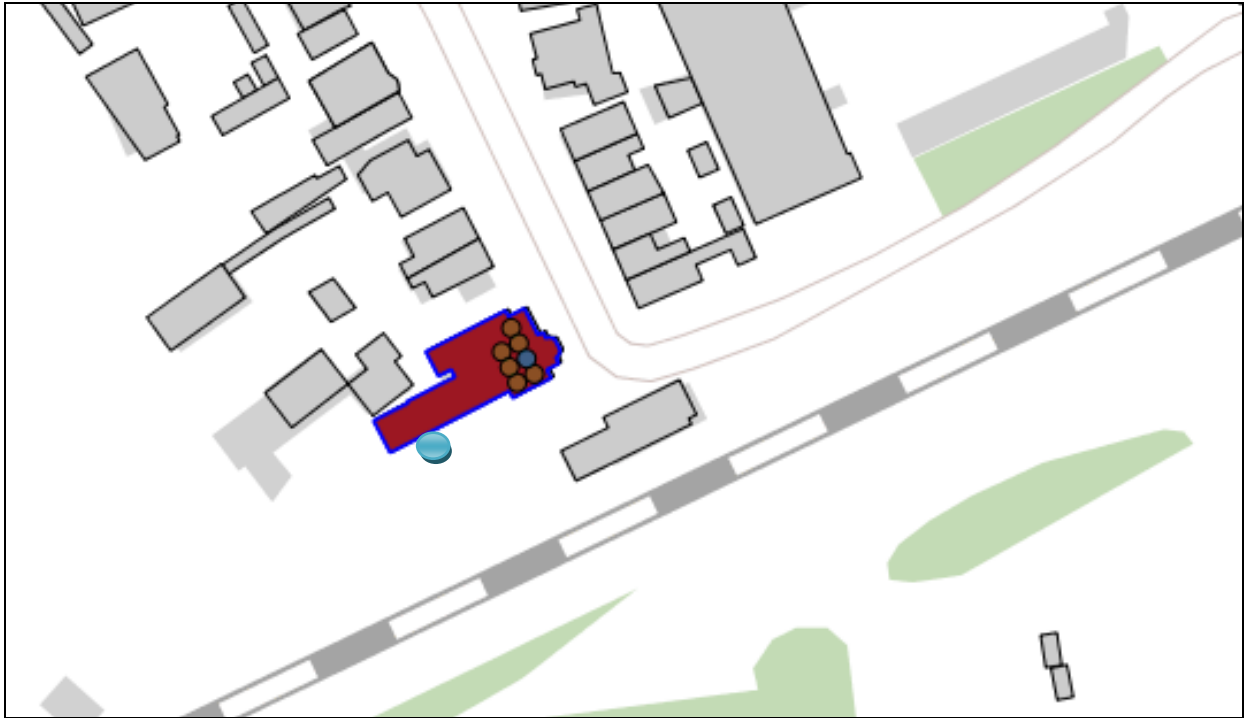
Figuur 2.2: Aanbrengen trillingsmeter in de bodem


Figuur 2.3 toont de posities van de trillingsmeters voor de locatie Spoorstraat 1.



Figuur 2.3: Meetposities Spoorstraat 1

De radar diende dicht bij het spoor te worden geplaatst om een grotere zichthoek tot het spoor te krijgen. Daarom is de radar geplaatst bij de Stationsstraat 21A. Figuur 2.4 toont de positie en figuur 2.5 het zicht op het spoor.



Figuur 2.4: Positie radar Stationsstraat 21A ten behoeve van meetpunt Spoorstraat 1 aangegeven met 



Figuur 2.5: Zicht radar Stationsstraat 21A op spoor

In de praktijk bleek de zichthoek tot het spoor nog niet optimaal waardoor niet van alle treinpassages de snelheid kon worden vastgelegd.

De meetposities voor de Weidestraat 42B zijn aangegeven in figuur 2.6. Ook voor deze locatie lagen de meetposities 5 meter uit elkaar en parallel aan het spoor op een afstand van 25 meter. Figuur 2.7 toont de positie van de camera en radar.



Figuur 2.6: Meetpunten Weidestraat 42B

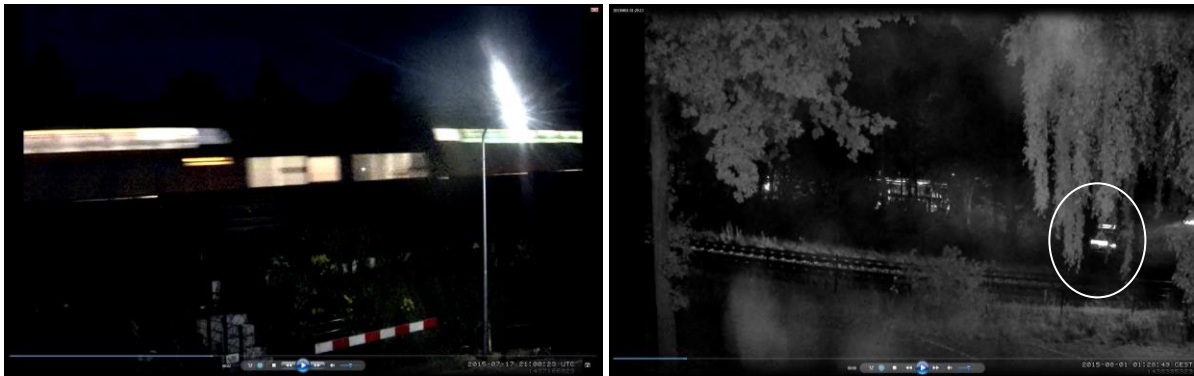


Figuur 2.7: Locatie camera en radar voor Weidestraat 42B



De camera maakt een korte video-opname op het moment dat een verandering in het beeld wordt geconstateerd. In de nacht is er weinig licht waardoor er weinig veranderingen in het beeld optreden. Als reizigersmaterieel in de nacht passeert, is dat (meestal) verlicht en de passerende verlichting zorgt voor voldoende verandering zodat een video-opname wordt gemaakt. Goederentreinen voeren echter weinig verlichting, alleen de koplampen zorgen voor een beperkte verandering in het beeld. Dit kan betekenen dat de camera in een aantal gevallen geen video heeft opgeslagen. Een geluidopname is dan meestal wel aanwezig.

Figuur 2.8 geeft twee voorbeelden van het videobeeld in de nacht.



Figuur 2.8: Voorbeelden videobeeld passage reizigerstrein (links) en goederentrein (rechts) in de nacht

### 2.3 Gebruikte meetapparatuur

Voor de metingen is gebruik gemaakt van apparatuur van Sensornet. Iedere locatie bevat twee trillingsmeters, een camera en een radar ter bepaling van de richting en de snelheid van de trein. De camera maakt niet alleen videobeelden maar ook een geluidopname die onafhankelijk van het camerabeeld is opgeslagen. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.

Tabel 2.1: Gebruikte meetapparatuur maaiveld metingen

Omschrijving	Merk	Type	Opmerking
Radar	Viaradar	Oem speed radar VR1	
Camera	AVTECH,	Camera AVM542B	
Trillingsmeter	Sensornet	B3	
Trillingssensor	Visong	16500 T	versnelling

De trillingsmeters zijn gekalibreerd bij Sonor Kalibraties en voldoen aan de eisen uit SBR richtlijn B.

### 3 Analyses

#### 3.1 Rijsnelheden

Na visuele identificatie van de verschillende treintypen is een verdeling in snelheden gemaakt voor alle meetpunten. In totaal zijn circa 145 goederentreinen gemeten en 1900 passages van de DDAR. Voor de Spoorstraat is niet voor elke treinpassage een betrouwbare snelheid gemeten omdat de opstelling van de radar niet ideaal was. Dit heeft geresulteerd in circa 1000 snelheidsregistraties voor de Spoorstraat. Voor de Weidestraat is van alle passages van goederentreinen de snelheid vastgelegd.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de snelheidsverdelingen voor de beide locaties en elk type trein. Hierbij is per snelheidsklasse het percentage van het aantal passages weergegeven. De snelheidsklassen zijn per 10 km gekozen waarbij gezien het beperkte aantal waarnemingen, de klassen 30 t/m 60 km/uur zijn samengevoegd evenals de klassen 120 t/m 150 km/uur.

Tabel 3.1: Verdeling rijsnelheden goederentreinen en DDAR

Snelheidsklasse [km/uur]	Goederentreinen		DDAR	
	Weidestraat [%]	Spoorstraat [%]	Weidestraat [%]	Spoorstraat [%]
Geen meting	0	47	0	47
30 – 60	3	3	0	1
60 – 70	7	3	0	1
70 – 80	16	9	2	7
80 – 90	32	24	2	16
90 – 100	42	14	9	18
100 – 110	0	0	22	8
110 – 120	0	0	40	1
120 – 150	0	0	25	1

Uit tabel 3.1 volgt dat de spreiding in rijsnelheid relatief klein is. Voor de goederentreinen valt 90% van de passages binnen het snelheidsbereik van 70 tot 100 km/uur.

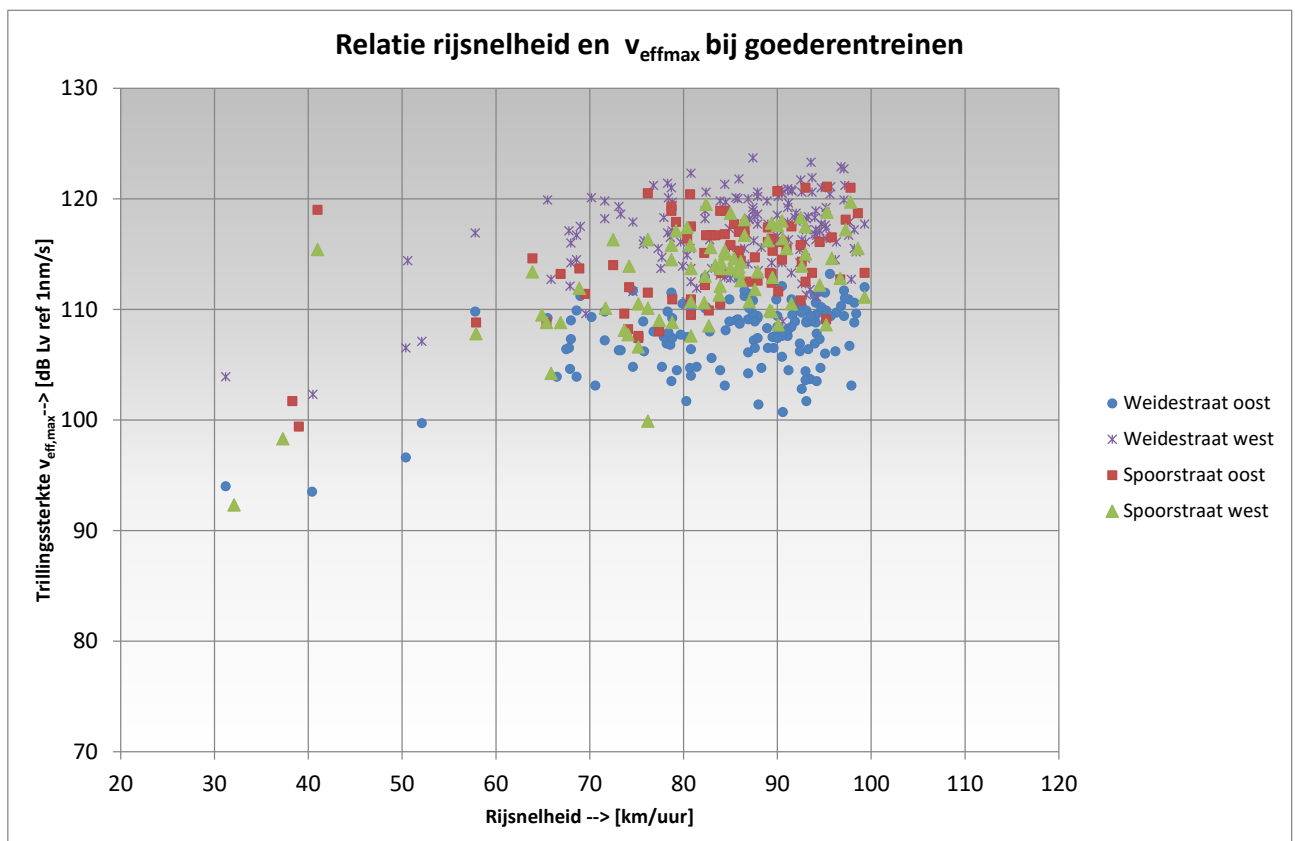
Voor de DDAR is bij de Weidestraat de spreiding eveneens relatief klein: 96% van de gemeten treinen heeft een rijsnelheid tussen de 90 en 130 km/uur. Voor de Spoorstraat treedt er meer spreiding op.

In alle snelheidsklassen komen waarnemingen voor hoewel het absolute aantal waarnemingen soms beperkt is. In de klasse van 50 tot 60 km/uur is voor de Spoorstraat bijvoorbeeld slechts 1 passage geregistreerd. De grotere spreiding bij de Spoorstraat is een gevolg van het nabij gelegen station waardoor met name de DDAR treinen afremmen en optrekken. Bij de Weidestraat zijn de treinen al (of nog) op snelheid.

De beperkte spreiding in rijsnelheid zorgt ervoor dat de relatie tussen trillingssterkte en rijsnelheid alleen in dat gebied bepaald kan worden. Extrapolatie naar andere snelheidsbereiken levert een lagere betrouwbaarheid voor de snelheidsrelatie op.

### 3.2 Goederentreinen rijsnelheid versus trillingssterkte

Voor de vier meetpunten is de rijsnelheid per passage uitgezet tegen de trillingssterkte  $v_{\text{eff,max}}$  per passage. Figuur 3.1 toont het resultaat. Op de x-as staat de rijsnelheid aangegeven in km/uur. Op de y-as is de trillingssterkte  $v_{\text{eff,max}}$  per passage weergegeven in dB (referentie 1 nm/s). Een  $v_{\text{eff,max}}$  van 100 dB komt overeen met 0,1 (gewogen milimeters per seconde). Een  $v_{\text{eff,max}}$  van 106 dB is gelijk aan 0,2 (gewogen mm/s).



Figuur 3.1: Relatie rijsnelheid en trillingssterkte voor goederentreinen

Uit figuur 3.1 volgt dat de snelheidsverandering tussen de 70 en 100 km/uur weinig invloed heeft op de trillingssterkte. De puntenwolk ligt voor ieder meetpunt horizontaal. Een veel lagere snelheid (30 tot 40 km/uur) leidt wel tot een duidelijk lagere trillingssterkte maar ook hier komen uitschieters voor, zelfs al bij het betrekkelijk kleine aantal waarnemingen.

In het onderzoek gedifferentieerd rijden van dGmR is voor de trendlijn een 3<sup>e</sup> orde polynoom genomen. Ook voor de Rosmalen datasets is deze polynoom gekozen om de trend in afname van de trillingssterkte getalsmatig te kunnen bepalen. Hierbij is, conform het dGmR rapport, de reductie ten opzichte van een rijsnelheid van 80 km/uur bepaald. Tabel 3.2 toont het resultaat. Per locatie is de afname weergegeven.

Tabel 3.2: Trend afname trillingssterkte in dB Lv (referentie 1 nm/s) door verlaging rijsnelheid goederentreinen

Locatie	Verschil $v_{effmax}$ ten opzichte van 80 km/uur [dB Lv [ref 1nm/s]		
	70 km/uur	60 km/uur	50 km/uur
Weidestraat oost	-1	-3	-6
Weidestraat west	-1	-4	-7
Spoorstraat oost	-3	-6	-9
Spoorstraat west	-1	-3	-6

Globaal gezien betekent een snelheidsafname van 80 naar 50 km/uur op basis van de meetgegevens uit figuur 3.1 ongeveer een afname van 6 dB (factor 2) in trillingssterkte. Alleen Spoorstraat Oost wijkt hierin af met een reductie van 9 dB (circa factor 3). Opgemerkt moet worden dat de data in de lagere snelheidsklassen beperkt is en de betrouwbaarheid van de trendlijn in dat bereik discutabel.

Tabel 3.3 toont de trendlijnfunctie en de waarde voor  $R^2$  van de trendlijn voor de locaties. De figuren met de trendlijnen zijn opgenomen in bijlage I.

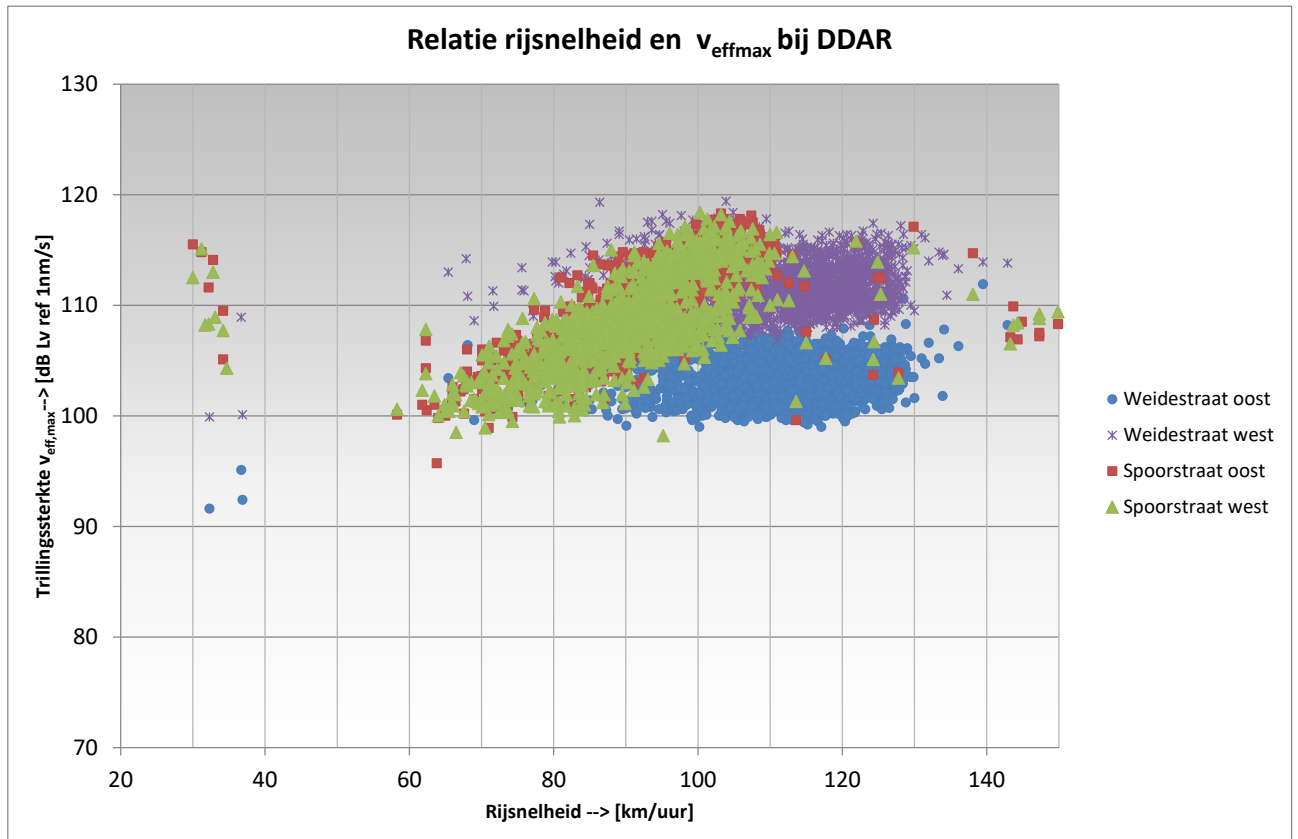
Tabel 3.3: Gevonden trendlijnen en waarden voor  $R^2$  voor goederentreinen

Locatie	Functie	$R^2$
Weidestraat oost	$y = 7E-05x^3 - 0,0192x^2 + 1,7923x + 51,394$	0,32
Weidestraat west	$y = 9E-06x^3 - 0,0065x^2 + 0,9573x + 77,538$	0,28
Spoorstraat oost	$y = -4E-06x^3 - 0,0005x^2 + 0,2949x + 95,364$	0,25
Spoorstraat west	$y = 8E-05x^3 - 0,0191x^2 + 1,6366x + 62,025$	0,38

De waarde voor  $R^2$  is een maat voor de betrouwbaarheid van de relatie tussen snelheid en trillingssterkte. Hoewel er geen absoluut oordeel over de waarde valt te geven, betekent een hogere waarde voor  $R^2$  een betere correlatie dan een lagere waarde. Een  $R^2$  kleiner dan 0,1 wordt beschouwd als een slechte correlatie. De berekende waarden van  $R^2$  zitten daar boven maar er is nog steeds geen sprake van een betrouwbare correlatie. Dat is ook niet vreemd gezien de grote spreiding in de waarnemingen.

### 3.3 DDAR rijsnelheid versus trillingssterkte

Ook voor de DDAR is een grafiek opgesteld waarin de datasets van de vier meetpunten zijn samengevat. Figuur 3.2 toont het resultaat.



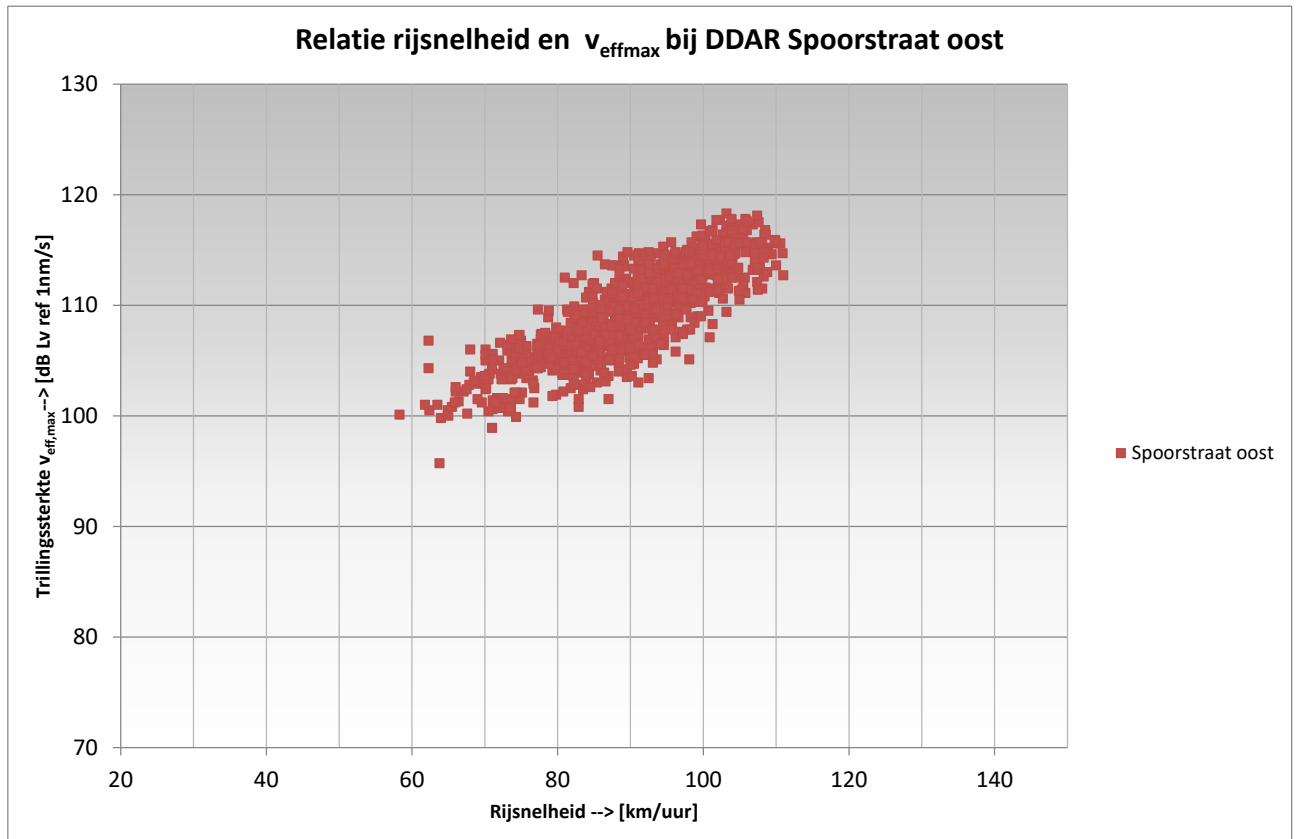
Figuur 3.2: DDAR relatie rijnsnelheid en trillingssterkte  $v_{\text{effmax}}$  per passage

Uit figuur 3.2 volgt dat voor de Weidestraat rechtlopende puntenwolken zichtbaar zijn die in trillingsniveau boven elkaar liggen. De rechte puntenwolken betekenen dat er geen bruikbare relatie bestaat tussen de trillingssterkte en de rijnsnelheid voor deze locaties binnen het snelheidsgebied van 70 tot 130 km/uur. Daarom is geen trendlijn bepaald voor de locaties aan de Weidestraat.

Bij de Spoorstraat is een schuiner liggende puntenwolk zichtbaar. De puntenwolken voor beide meetpunten aan de Spoorstraat liggen over elkaar heen. De schuine puntenwolk toont in algemene zin aan dat er een relatie bestaat tussen de trillingssterkte en de rijnsnelheid. Een lage rijnsnelheid levert over het algemeen ook een lagere trillingssterkte.

Voor beide meetpunten aan de Spoorstraat is een zeer beperkt aantal metingen beschikbaar in de lage snelheden (tussen de 30 en 40 km/uur) en bij de hogere snelheden (tussen de 120 en 140 km/uur). In het snelheidsbereik tussen de 60 en 110 km/uur zijn bijna 1000 metingen beschikbaar. Daarom is de snelheidsrelatie alleen bepaald voor dit snelheidsbereik.

Figuur 3.3 toont als voorbeeld de gebruikte datapunten voor de locatie Spoorstraat oost. Voor de Spoorstraat west is de verdeling vergelijkbaar.



Figuur 3.3: Verdeling rijnsnelheid en  $v_{effmax}$  per passage voor DDAR locatie Spoorstraat oost voor het gefilterde snelheidsbereik

Op basis van de data in figuur 3.3 zijn drie trendlijnen bepaald:

- Lineair ( $R^2 = 0,70$ )
- Exponentieel ( $R^2 = 0,70$ )
- Logaritmisch ( $R^2 = 0,69$ )

De verschillen tussen de drie methoden zijn klein. Daarom is gekozen voor de meest eenvoudige relatie, de lineaire trendlijn. Omdat voor de Spoorstraat west van dezelfde snelheidsdata gebruik is gemaakt, is ook voor dit meetpunt uitgegaan van een lineaire trendlijn.

Als referentiepunt is uitgegaan van 100 km/uur. Tabel 3.4 toont het resultaat. Per meetpunt aan de Spoorstraat is de afname in trillingsniveau Lv (dB ref 1nm/s) weergegeven. Bijlage II toont de grafieken met de verschillende trendlijnen.

Tabel 3.4: Trend afname trillingssterkte door verlagings rijnsnelheid DDAR ten opzichte van 100 km/uur voor de Spoorstraat

Locatie	Verschil $v_{effmax}$ ten opzichte van 100 km/uur [dB Lv [ref 1nm/s]				
	110 km/uur	90 km/uur	80 km/uur	70 km/uur	60 km/uur
Spoorstraat oost (lineaire trend)	+3	-3	-7	-10	-13
Spoorstraat west (lineaire trend)	+3	-3	-6	-9	-12

Uit tabel 3.4. volgt dat per 10 km/uur de trillingssterkte met circa 3 dB (factor 1,4) af- of toeneemt ten opzichte van de referentiesnelheid van 100 km/uur.

In tabel 3.5 zijn de gebruikte functies en waarden voor  $R^2$  opgenomen.

Tabel 3.5: Gebruikte lineaire functies rijsnelheid DDAR ten opzichte van 100 km/uur voor de Spoorstraat

Locatie	functie	$R^2$
Spoorstraat oost (lineaire trend)	$y = 0,3421x + 78,571$	0,70
Spoorstraat west (lineaire trend)	$y = 0,3108x + 80,449$	0,57

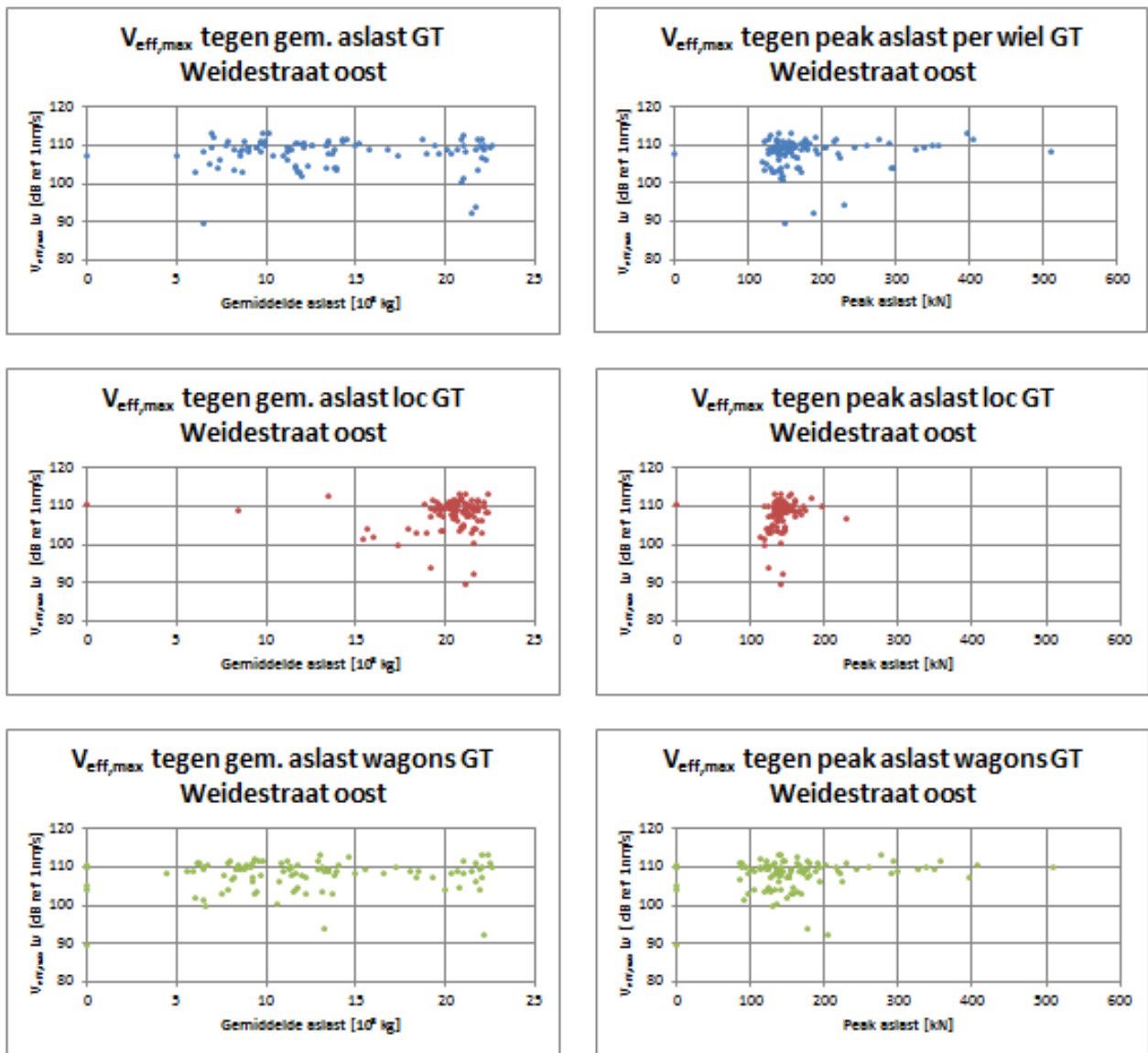
Tabel 3.5 laat zien dat de waarden voor  $R^2$  veel hoger zijn dan bij de goederentreinen. Dit betekent dat de correlatie tussen rijsnelheid en trillingsniveau groter is voor de DDAR aan de Spoorstraat dan voor de goederentreinen. Dit is een logisch gevolg van de homogeniteit van de DDAR groep. Dat zijn allemaal dezelfde soort rytuigen en locomotieven terwijl bij de goederentreinen veel meer spreiding optreedt in type materieel.

### 3.4 Goederentreinen relatie trillingssterkte en aslast

Door ProRail is op basis van het QuoVadis systeem informatie aangeleverd over de aslasten van de goederentreinen in de gemeten periode. Voor de locaties Weidestraat oost en Spoorstraat oost zijn de gegevens geanalyseerd. Hierbij is gekeken naar de relatie tussen het trillingsniveau en:

- de gemiddelde aslast voor de gehele trein, alleen de wagons of alleen de locomotief;
- de piek aslast per wiel voor de gehele trein, alleen de wagons of alleen de locomotief.

Figuur 3.4 toont de resultaten voor de goederentreinen gemeten op de locatie Weidestraat oost in zes grafieken. De linker kolom geeft de resultaten voor de gemiddelde aslasten, de rechter kolom voor de piek aslasten. De bovenste rij geldt voor de gehele trein, de middelste rij voor de locomotief en de onderste rij voor de wagons.

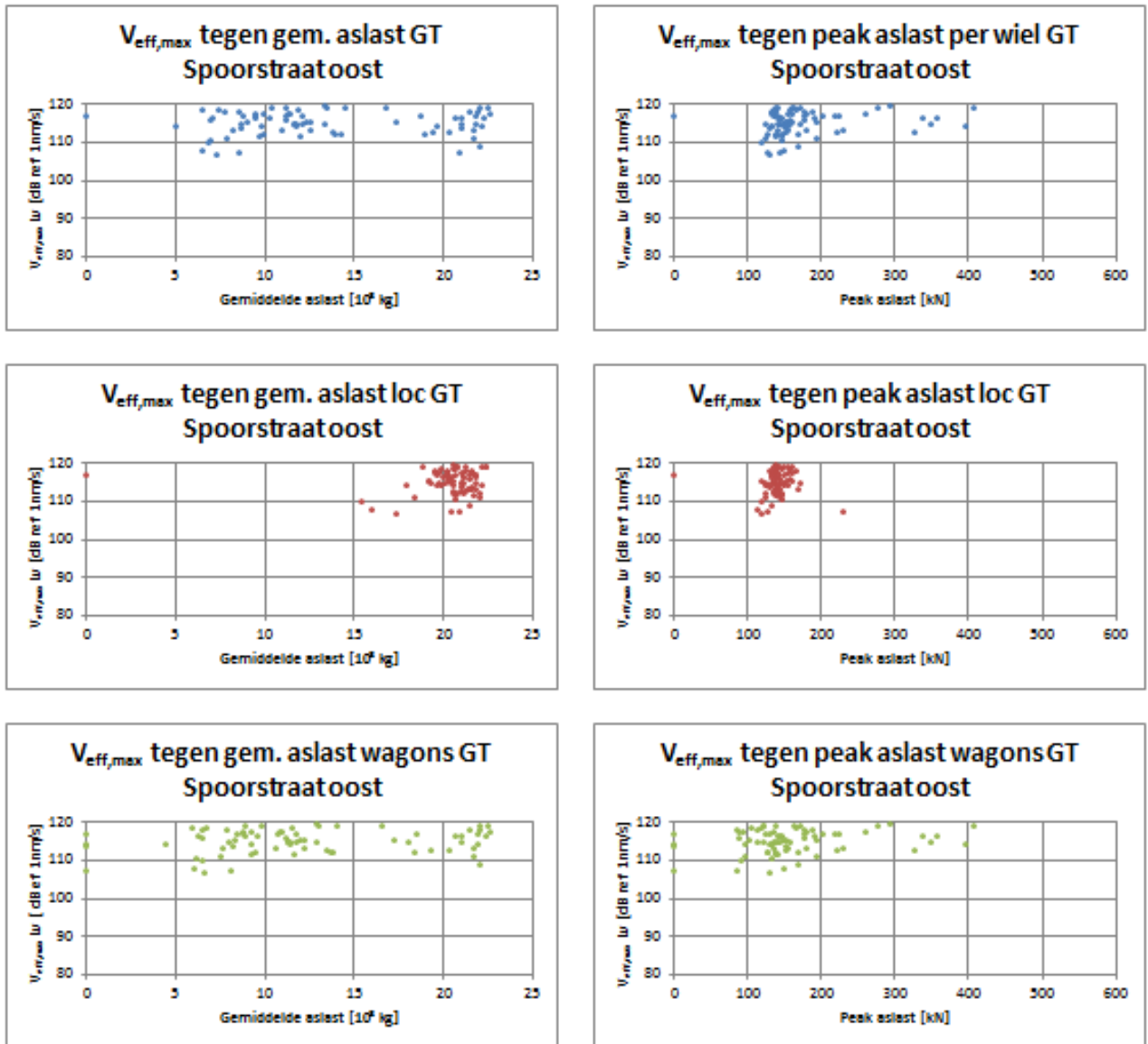


Figuur 3.4: Aslasten goederentreinen in relatie tot trillingssterkte voor de locatie Weidestraat oost

Uit figuur 3.4 blijkt een grote spreiding in aslast voor de gehele trein waarbij die spreiding vooral voor rekening komt van de wagons. De locomotieven geven veel minder spreiding. De grafieken tonen ook aan dat voornamelijk sprake is van rechtgelegen puntenwolken zodat er geen directe relatie valt te leggen tussen de aslast en de trillingssterkte.

De resultaten voor Spoorstraat oost zijn weergegeven in figuur 3.5. Zij tonen hetzelfde beeld.

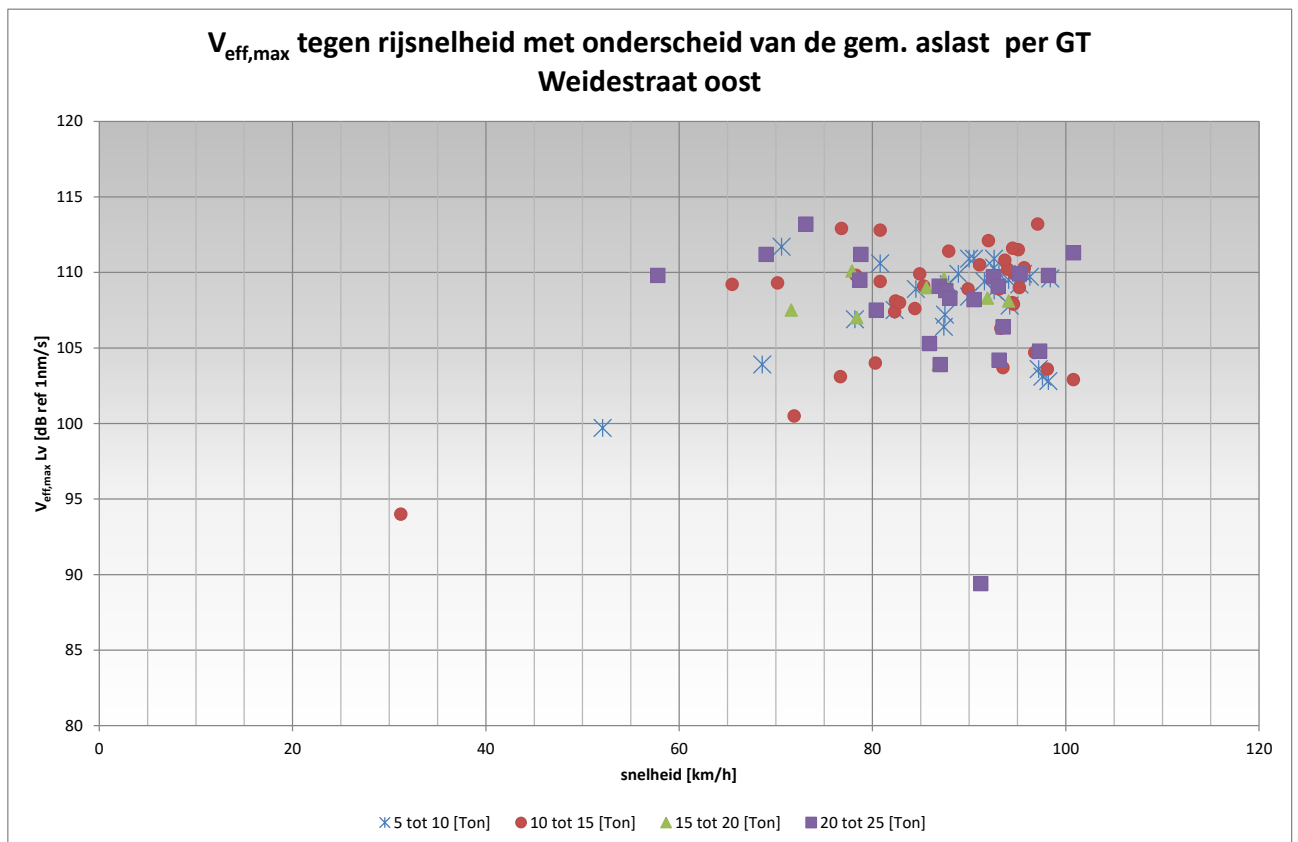




Figuur 3.5: Aslasten goederentreinen in relatie tot trillingssterkte voor locatie Spoorstraat oost

### 3.5 Relatie aslast, rijnsnelheid en trillingssterkte

Voor locatie Weidestraat oost is aanvullend ter verkenning nog onderzocht of een relatie bestaat tussen de rijnsnelheid en de trillingssterkte als rekening wordt gehouden met de aslast. Daartoe is per treinpassage de gemiddelde aslast bepaald en per trein verdeeld in verschillende categorieën: 5 tot 10 ton, 10 tot 15 ton, 15 tot 20 ton en 20 tot 25 ton. Vervolgens is per passage de betreffende trillingssterkte en rijnsnelheid vermeld. Figuur 3.6 toont het resultaat.



Figuur 3.6: Relatie rijnsnelheid en trillingssterkte per categorie gemiddelde aslast goederentrein voor Weidestraat oost

Ook uit dit figuur volgt geen duidelijke relatie tussen trillingssterkte en rijnsnelheid. Per categorie gemiddelde aslast treedt steeds veel spreiding op in de trillingssterkte waarbij een bepaalde rijnsnelheid zowel relatief lage als hoge waarden voor  $V_{\text{eff,max}}$  kan bevatten. Daarom is geen verder onderzoek uitgevoerd naar de invloed van de aslast op de trillingssterkte.

#### 4 Samenvatting en conclusie

In opdracht van ProRail is door DPA Cauberg-Huygen onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen rijnsnelheid van treinen en de trillingssterkte op maaiveld op 25 meter afstand van het spoor. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van vier datasets die zijn verzameld ten behoeve van een ander trillingsonderzoek dat in 2015 is uitgevoerd in Rosmalen waarbij op twee locaties trillingsmetingen zijn uitgevoerd. De snelheidsrelaties zijn onderzocht voor de goederentreinen en de DDAR treinen (getrokken reizigersmaterieel door een 1700 loc). De datasets bevatten 145 passages van goederentreinen en 1900 passages van DDAR treinen. Voor de goederentreinen is tevens onderzocht of een relatie is te leggen tussen de trillingssterkte en de aslasten.

##### Relatie rijnsnelheid trillingssterkte goederentreinen (paragraaf 3.2)

Uit de datasets blijkt dat de trillingssterkte in algemene zin afneemt bij afnemende rijnsnelheid maar dat de mate van afname afhankelijk is van de specifieke dataset. Drie van de vier datasets laten zien dat een snelheidsafname van de goederentreinen van 80 naar 50 km/uur ongeveer een afname van 6 dB (factor 2) in trillingssterkte oplevert. Eén dataset wijkt hierin af met een reductie van 9 dB (circa factor 3). Opgemerkt moet worden dat de data in de lagere snelheidsklassen beperkt is en de betrouwbaarheid van de trendlijn in dat bereik discutabel.

##### Relatie rijnsnelheid trillingssterkte DDAR (paragraaf 3.3)

Voor twee van de vier datasets (locatie Weidestraat) blijkt geen relatie vast te kunnen worden gesteld tussen rijnsnelheid en trillingssterkte. De trillingssterkten bij lage en hoge rijnsnelheden liggen in hetzelfde bereik. Voor de twee andere datasets (locatie Spoorstraat) is wel een relatie bepaald. Beide datasets laten zien dat ten opzichte van een referentiesnelheid van 100 km/uur elke 10 km/uur verlaging een reductie van circa 3 dB in trillingssterkte oplevert. Dit betekent dat een verlaging van de rijnsnelheid van 100 naar 80 km/uur zorgt voor een halvering van de trillingssterkte op maaiveld. Bij de bepaling van deze relatie zijn de beperkte waarnemingen bij hele lage en hele hoge snelheden buiten beschouwing gelaten waardoor de gevonden relatie als vrij betrouwbaar kan worden beschouwd voor de gebruikte datasets. De gevonden relatie is geldig in het snelheidsbereik tussen 110 en 60 km/uur.

##### Relatie trillingssterkte en aslast goederen trein (paragraaf 3.4 en 3.5)

Gebruikmakend van de QuoVadis gegevens van de gemeten goederentreinen is onderzocht of een relatie is vast te stellen tussen aslast en trillingssterkte. Deze relatie is niet gevonden. De spreiding in de data is te groot om een betrouwbare relatie vast te kunnen stellen.

DPA Cauberg-Huygen B.V.

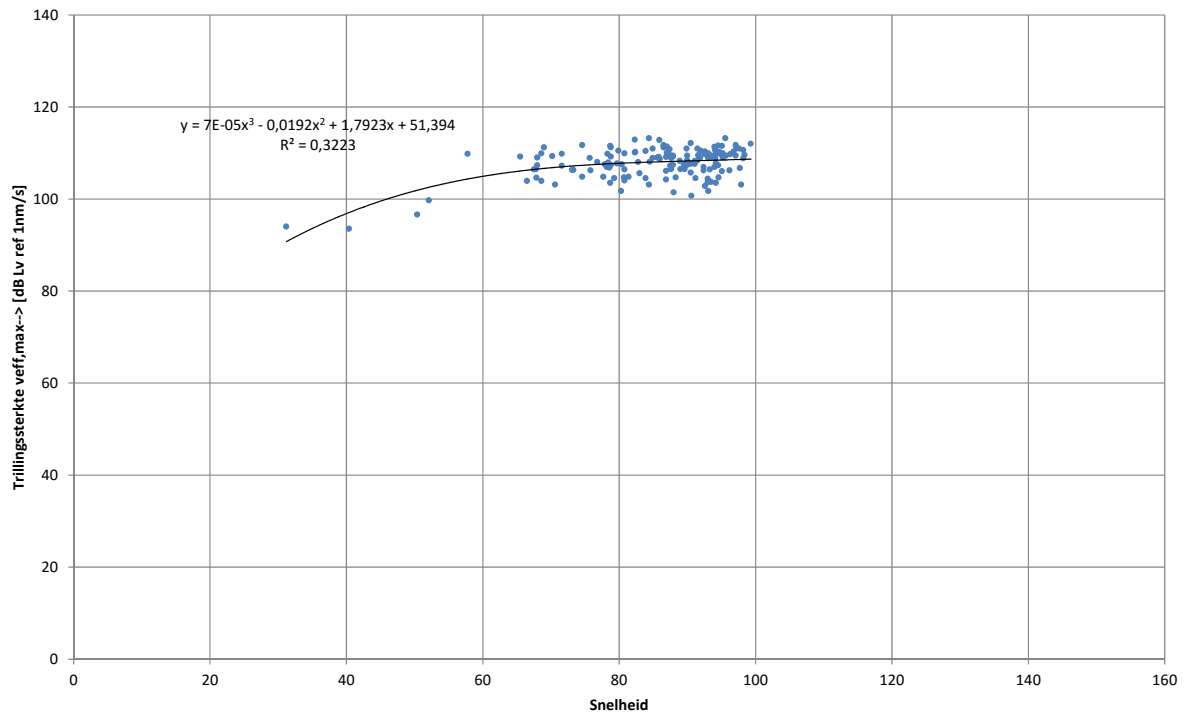


C.J. Ostendorf  
Senior Adviseur

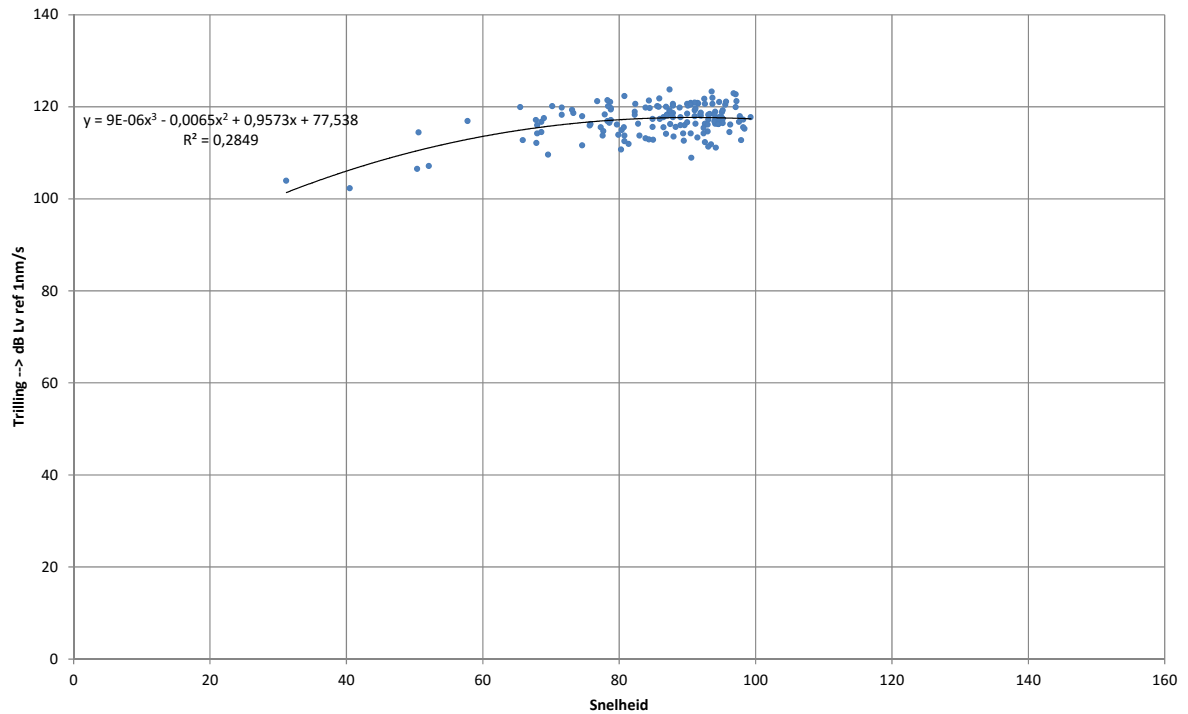
**Bijlage I**

Bijlage I-1 Trendlijnen voor de relatie rijsnelheid en trillingsniveau van goederentreinen

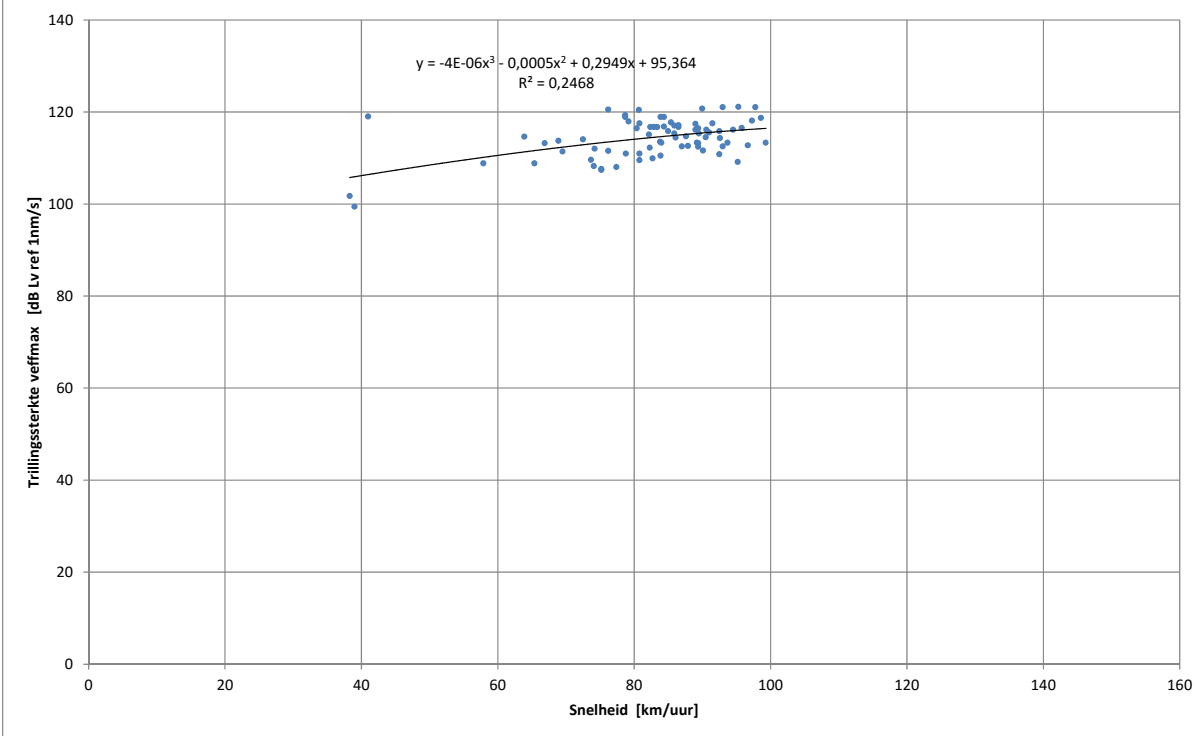
### Weidestraat oost Spreiding Goederentreinen



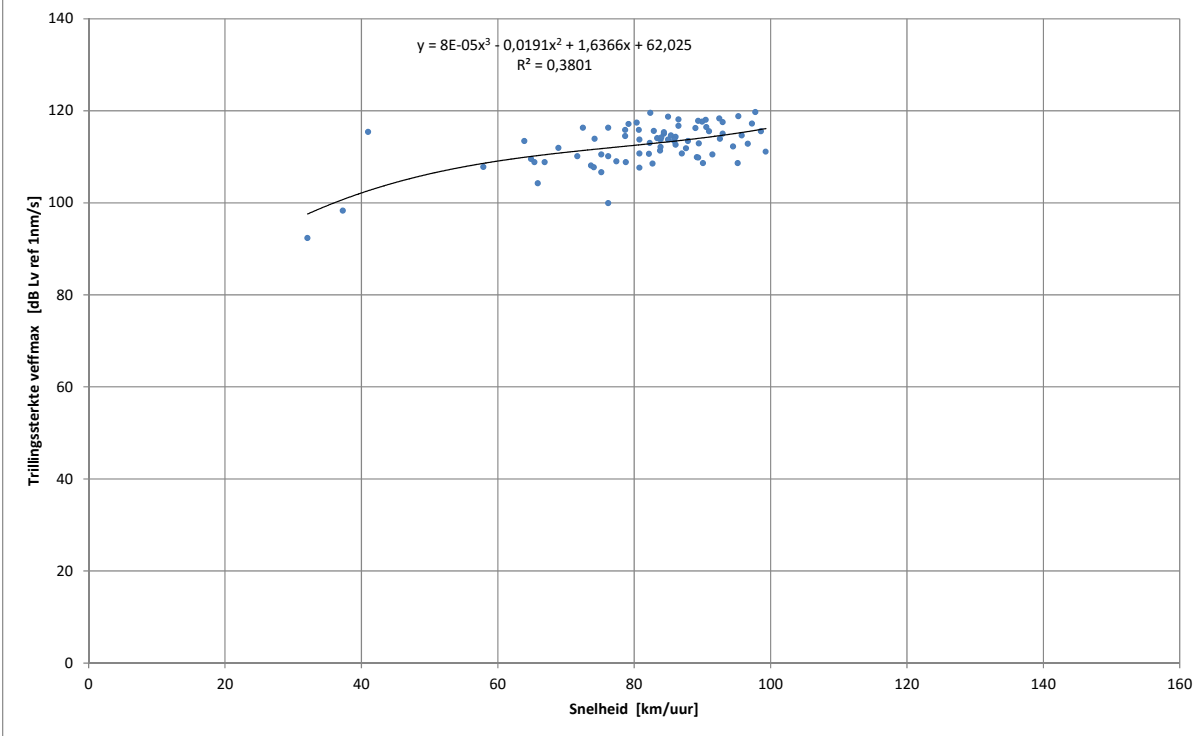
### Weidestraat west Spreiding Goederentreinen



### Spoorstraat oost Spreiding Goederentreinen



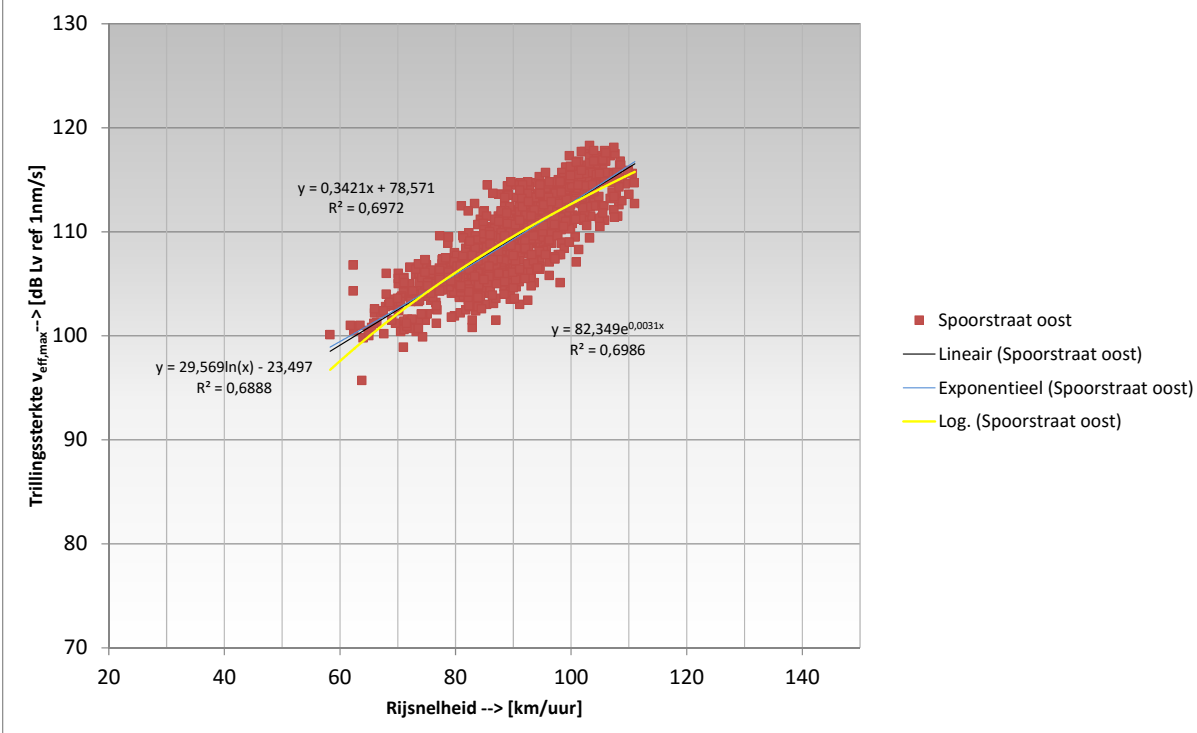
### Spoorstraat west Spreiding Goederentreinen



**Bijlage II**

Bijlage II-1 Trendlijnen voor de relatie rijsnelheid en trillingsniveau van DDAR treinen

### Relatie rijnsnelheid en $v_{\text{effmax}}$ bij DDAR Spoorstraat oost



### Relatie rijnsnelheid en $v_{\text{effmax}}$ bij DDAR Spoorstraat west

