

Structural Dynamics
Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

TNO-rapport

www.tno.nl

TNO-060-DTM-2011-00268

**Spoor door Goes: nulmeting van
omgevingstrillingen, prognose en
snelheidsmaatregel**

T +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10
wegwijzer@tno.nl

Datum	16 december 2011
Auteur(s)	Arnold Koopman Sven Lentzen Flavio Galanti
Opdrachtgever	Dhr. A.J. Potter Gemeente Goes Afdeling Openbare Ruimte Postbus 2118 4460 MC Goes
Projectnummer	034.24288/01.01
Aantal pagina's	58 (incl. bijlagen)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2011 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
1.1	Aanleiding.....	3
1.2	Achtergrond spoorwijziging	3
1.3	Doel	3
1.4	Leeswijzer.....	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Toetsingskader	5
2.2	Methodologie.....	9
2.3	Samenwerking met Peutz en ProRail.....	10
2.4	Prognosegegevens.....	11
3	Meting	12
3.1	Meting 1.....	12
3.2	Meting 2.....	16
4	Nulsituatie en prognose	22
4.1	Resultaten	23
4.2	Beoordeling.....	26
5	Treinsnelheid.....	28
5.1	Analyse	28
5.2	Consequenties voor de beoordeling van de nulsituatie en de prognose.....	30
5.3	Snelheidsbeperking als trillingsreducerende maatregel	30
6	Conclusies en aanbevelingen.....	32
6.1	Conclusies.....	32
6.2	Aanbevelingen	32
7	Ondertekening.....	34
	Referenties	35

Bijlage(n)

- A Meting 1 – Verhouding trillingsniveau tussen woningen en referentielocaties
- B Overzicht realisatie goederentreinen in de periode van de tweede meting
- C Meting 2: relatie tussen trillingen in woningen en treinsnelheid

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Tracébesluit Sloelijn leidt tot een aanmerkelijke toename van het goederenvervoer over de Zeeuwse lijn. In de huidige situatie, waarin reeds een toename van het verkeer heeft plaatsgevonden (Cobelfret vanaf mei 2003), is er in de Gemeente Goes langs het spoor ten oosten van het station sprake van klachten over trillingen van treinen. De vraag is wat de ernst van de situatie is, in welke mate er toename van trillingshinder te verwachten is en wat voor maatregelen daartegen te treffen zijn. Sedert enige jaren is er een maatregel in the picture: het toepassen van een betonnen bak als onderbouw van de spoorconstructie. In 2010 kwam daar een andere maatregel bij: het toepassen van snelheidsverlagingen. Aan het effect van de betonnen bak is reeds onderzoek gedaan, door de firma Peutz.

TNO is gevraagd om een mening te geven over het effect van de betonnen bak. Ten behoeve hiervan heeft de gemeente TNO opdracht gegeven in samenwerking met Peutz metingen te verrichten en modelmatig onderzoek te doen om de nulsituatie en de prognose te bepalen en het effect van de betonnen bak en van snelheidsverlaging te bepalen.

De nulsituatie, de prognose en het effect van de snelheidsverlaging worden in dit rapport behandeld. De effectiviteit van de spoorbak wordt in een ander rapport behandeld, zie ref [5].

1.2 Achtergrond spoorwijziging

Er is sprake van een wijziging in het spoorgebruik reeds sinds 2001. In de verschillende studies (o.a. Tracébesluit Sloelijn 2004, MER Optimalisatie Railontsluiting Sloe), is dit jaar als referentiejaar aangeduid. De uiteindelijke situatie zal rond het jaar 2020 worden bereikt. Over het traject dat Goes betreft, is de baanvaksnelheid 100 km/u voor reizigerstreinen en 80 km/u voor goederentreinen.

In de aanloop naar het Tracébesluit heeft geluid een belangrijke rol gespeeld. Het is de bedoeling dat ten behoeve van het reduceren van de geluidsbelasting een pakket van maatregelen wordt uitgevoerd bestaande uit:

- een betonnen bak op maaiveld met betonnen dwarsliggers en raildempers.

Als alternatief hiervoor geldt een pakket bestaande uit:

- geluidschermen van 1 meter hoog
- vervanging van houten door betonnen dwarsliggers
- raildempers.

Sinds 2008 is voor goederentreinen een tijdelijke snelheidsbeperking van kracht. Er is een snelheidslimiet van 60 km/u gehanteerd die gold tot juli 2011. De snelheidsbeperking is inmiddels door de minister van Infrastructuur en Milieu verlengd tot juli 2012.

1.3 Doel

Dit onderzoek heeft als doel:

- Vaststellen en beoordelen nulsituatie

- Prognose en beoordeling toekomstige situatie (zonder maatregelen)
- Bepalen effect van treinsnelheid op trillingsniveau

1.4 Leeswijzer

In het komende hoofdstuk wordt het beoordelingskader geschetst en de methodologie toegelicht. Daarna worden in hoofdstuk 3 de metingen toegelicht. In hoofdstuk 4 wordt de nulsituatie gepresenteerd, de prognose berekend en de toekomstige situatie beoordeeld.

Het effect van de treinsnelheid wordt besproken in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies en aanbevelingen.

2 Uitgangspunten

De uitgangspunten die gelden voor het in kaart brengen van trillingshinder rond het spoor in Goes worden in dit hoofdstuk toegelicht. Allereerst wordt ingegaan op het toetsingskader waarmee de mate van trillingshinder vastgesteld wordt in de nulsituatie en toekomstige situatie.

Vervolgens beschrijft de paragraaf *Methodologie* hoe die mate van trillingshinder in de huidige en toekomstige situatie vastgesteld wordt.

Hierna gaat paragraaf *Prognosegegevens* in op de specifieke situatie die geldt in Goes. Zaken als bodem, spoorlayout, baanvaksnelheden en treinfrequenties worden hier nader bekeken. In de daarop volgende paragraaf wordt dit eveneens voor de toekomstige situatie toegelicht.

2.1 Toetsingskader

Voor trillingen zijn geen specifieke wettelijke normen vastgesteld. Wel zijn er twee relevante richtlijnen van de Stichting Bouwresearch: SBR A en B. Zie ref [2,3].

In de volgende paragrafen worden de SBR-richtlijnen toegelicht en wordt de uiteindelijke toetsingsmethode uiteengezet.

2.1.1 SBR richtlijn deel A: schade aan gebouwen

SBR trillingsrichtlijn A wordt gebruikt om de toetsingswaarden ten aanzien van schade te bepalen. De niveaus die passerende treinen veroorzaken zijn doorgaans niet zo hoog dat er schade aan gebouwen te verwachten is (richtlijn A)¹. In dit project staan geen gebouwen binnen enkele meters van het spoor en wordt geen schade verwacht ten gevolge van treinpassages. Daarom wordt in dit rapport het trillingsniveau vanwege passerende treinen niet getoetst aan SBR richtlijn A, maar de SBR trillingsrichtlijn deel B (hinder voor personen in gebouwen). Zie daarvoor de volgende subparagraaf.

2.1.2 SBR richtlijn deel B: hinder voor personen in gebouwen

Bij trillingen vanwege treinpassages is richtlijn B (hinder voor personen in gebouwen) doorgaans het meest van belang. Zoals vermeld zijn de niveaus die passerende treinen veroorzaken meestal niet zo hoog dat er schade aan gebouwen te verwachten is (richtlijn A).

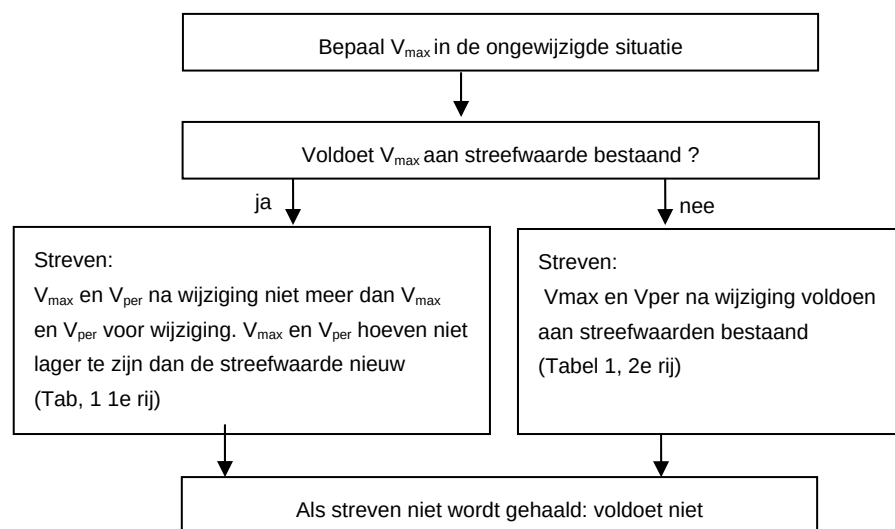
De toetsing van de trillingsniveaus aan de SBR-richtlijn B betreft de zogenoemde $V_{\max}$ en V_{per} . De $V_{\max}$ betreft de *maximale* trillingssterkte die voorkomt. Deze wordt apart getoetst voor de dagperiode, de avondperiode en de nachtperiode. De V_{per} betreft de *gemiddelde* trillingsterkte in zo'n periode. Voor de exacte definitie en bepalingsmethode van deze toetswaarden wordt verwezen naar de SBR-richtlijn.

De streefwaarden zijn er op gericht om hinder door trillingen te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van deze streefwaarden dient dan ook zoveel

¹ In het Kennisdocument “Trillingen en LF Geluid 2008”, [6], wordt mogelijke schade ten gevolge van railverkeer aan de orde gesteld. In dit document wordt geconcludeerd dat schade vanwege railverkeer nauwelijks voorkomt. Daar waar klachten zijn wordt meestal aangetoond dat trillingsniveaus onder de SBR richtlijn, deel A blijven. Spoortrillingen kunnen voelbaar zijn terwijl ze dan nog niet schadelijk hoeven te zijn. Metselwerk bouwsels dicht bij het spoor (enkele meters) hebben kans op trillingsschade, deze zijn meestal in eigendom van de spoorbeheerder.

mogelijk te worden vermeden. De situatie waaronder de te beoordelen trillingssterkte optreedt, is bij de afweging van de toe te laten trillingssterkte van belang. De SBR-richtlijn maakt daarbij onderscheid tussen een bestaande situatie, een nieuwe situatie en een gewijzigde situatie. Bij dit project kan worden gesproken van een **gewijzigde** situatie: het is een bestaande situatie waarin sprake is van een aanmerkelijke toename van het voor trillingen zeer relevante goederenvervoer (zie SBR deel B, 10.5.3.4.).

Voor de beoordeling van een gewijzigde situatie, zoals bij dit project, geldt als uitgangspunt dat de wijziging niet tot een verhoging van de reeds aanwezige trillingssterkte mag leiden (het zogeheten stand-still-principe). Dit betekent dat de trillingssterkte in de ongewijzigde situatie bekend moet zijn voordat de wijziging plaats vindt. Vervolgens dient het schema gevolgd te worden, zoals weergegeven in Figuur 1. Voor woningen gelden de streefwaarden zoals weergegeven in Tabel 1.



Figuur 1 Schema ten behoeve van toetsing voor een gewijzigde situatie

Wanneer in de nulsituatie (2001) V_{max} de streefwaarde bestaand (Tabel 1, 2e rij) overschrijdt, moet de tabel rechtersom worden gevolgd. Wanneer in de nulsituatie (2001) V_{max} onder de de streefwaarde bestaand blijft, moet de tabel linksom worden gevolgd.

Tabel 1 SBR-streefwaarden voor de dag- en avond-periode en voor de nachtperiode voor een nieuwe situatie en bestaande situatie

situatie	dag en avond (07:00 – 19:00 en 19:00 – 23:00)			nacht (23:00 – 07:00)		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Nieuwe situatie	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Bestaande situatie	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1

Er wordt voldaan aan de streefwaarden indien:
de waarde van de maximale trillingssterkte op een vloer (V_{max}) kleiner is dan A1, of als

de waarde van de maximale trillingssterkte op een vloer ($V_{\max}$) kleiner is dan A2 waarbij de trillingssterkte over de beoordelingsperiode voor deze ruimte (V_{per}) kleiner is dan A3.

De eerste kolom met A1 betreft de zogenoemde onderste streefwaarde. Als hieraan wordt voldaan dan is een nadere toetsing niet meer nodig. Dat wil dus niet zeggen dat als aan de eerste kolom niet wordt voldaan het project niet voldoet. Het wil alleen zeggen dat dan aan de tweede en derde kolom moet worden getoetst. Als dan wel aan de tweede en derde kolom wordt voldaan dan voldoet het project alsnog aan de SBR-richtlijn.

Afhankelijk van de omstandigheden dient een afweging te worden gemaakt of de te beoordelen trillingssterkte al dan niet acceptabel is. Voor deze beoordeling wordt in de SBR-richtlijn verwezen naar Bijlage 5 van de SBR-richtlijn. Daarin is aangegeven dat bij overschrijding van de streefwaarden aanvullend gebruik kan worden gemaakt van de kwalificatie van hinder zoals is aangegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Hinderclassificatie (uit SBR-richtlijn B, Bijlage 5)

$V_{\max}$	Hinderkwalificatie
<0,1	geen hinder
0,1-0,2	weinig hinder (bestaande situaties)
0,2-0,8	matige hinder
0,8-3,2	hinder
>3,2	ernstige hinder

Het accepteren van (matige) hinder door overschrijding van de streefwaarden kan onder meer afhankelijk zijn van de mate waarin trillingssterkte voorkomt, de aanwezigheid van andere trillingsbronnen (de achtergrondtrillingen), de mogelijkheid tot het treffen van trillingsreducerende maatregelen en de historie. In geval van mogelijke hinder dienen de betrokken partijen te overleggen. Ernstige hinder is niet toelaatbaar.

2.1.3 Gewijzigde situatie

Het karakter van de wijziging van de situatie in Goes is de toename in het goederenvervoer. Het is dan van belang af te spreken welke goederenintensiteit de uitgangssituatie schetst en welke goederenintensiteit er in de toekomstige situatie wordt verwacht. Bij de MER en het TB van de Sloelijn en ProRail's planbeschrijving van de Zeeuwse lijn is ten behoeve van de geluidstudies steeds uitgegaan van 2001 als referentiejaar en 2015 als toekomstig jaar. In latere geluidstudies is 2015 als verouderd beoordeeld en geldt 2020 als toekomstig jaar. Voor trillingen wordt daar nu bij aangesloten: 2001 is de uitgangssituatie (verder: de nulsituatie), 2020 de toekomstige situatie. In paragraaf 2.4 wordt dit verder ingevuld.

Er zijn in 2001 geen trillingsmetingen verricht. Onderhavige rapportage betreft metingen uit 2010. Dit is geen bezwaar: rekenkundig kan de situatie van 2001 met terugwerkende kracht worden bepaald. Alleen als er reden is om aan te nemen dat er in 2001 bijzonder trillingsopwekkende treinen hebben gereden die er nu niet meer rijden, of vice-versa, kan dat een probleem zijn. Daar zijn echter geen aanwijzingen voor. Weliswaar zijn er sinds 2001 vervoerders en type goederentreinen (zoals autotreinen) bij gekomen, maar er zijn geen aanwijzingen dat die, wat betreft trillingsniveau, vallen buiten de zeer grote bandbreedte aan goederentreinen.

2.1.4 *Stand still*

Tot slot verdient het stand-still begrip nog enige nadere toelichting. Projecten leiden soms tot geringe toenames (treinen gaan iets harder rijden of spoor komt iets dichterbij). Dit leidt tot de vraag: is een toename van, bijvoorbeeld, 0,30 naar 0,32 een reden voor maatregelen? Daar zitten twee aspecten aan:

- Afronding van meetresultaten, voor beoordeling. De streefwaarden zijn op 1 decimaal nauwkeurig, dus worden meetwaarden bij toetsing afgerond op 1 decimaal. 0,32 wordt dus 0,3.
- Perceptie. De menselijke perceptie werkt logaritmisch. Pas een toename van tenminste 30% wordt opgemerkt. Toenames van minder dan 30% zullen dus niet leiden tot een toename in trillingshinder. Gesteld kan worden dat wordt voldaan aan stand-still indien het trillingsniveau minder dan 30% toeneemt. Deze regel is in feite een toepassing van de ruimte die Bijlage 5 van de richtlijn schept bij trillingshinder van spoorlijnen ten behoeve van doelmatigheid in de afweging van maatregelen.

De logaritmische perceptie voor trillingsamplitudes zoals $V_{\max}$ is in laboratoriumstudies aangetoond. Voor tijdgemiddelde trillingsgrootheden zoals V_{per} is dat nog niet gebeurd. Een voorlopige aanname daarover introduceert echter geen groot risico gezien het relatief geringe belang van V_{per} (deze is alleen bij extreem drukbereden spoor maatgevend in de beoordeling).

In aansluiting op de manier waarop sinds enkele jaren in (O)TB's van vergelijkbare projecten wordt omgegaan (meest sprekend: OTB van Sporen in Den Bosch) wordt in dit rapport bij toetsing afgerond op 1 decimaal en worden toenames van minder dan 30% als stand-still beoordeeld.

2.1.5 *Samenvatting toetsing*

Samenvattend is het toetsschema als volgt.

De situatie in 2020 voldoet indien

$$V_{\max-2020} < (A1\text{-nieuw})$$

óf

$$V_{\max-2020} < (A2\text{-nieuw}) \text{ en } V_{\text{per}-2020} < (A3\text{-nieuw})^2$$

óf

$$V_{\max-2020} < (A2\text{-bestaand}) \text{ en } V_{\text{per}-2020} < (A3\text{-bestaand})^3 \text{ én}$$

$$V_{\max-2020} < 1,3 \cdot V_{\max-2001} \text{ en } V_{\text{per}-2020} < 1,3 \cdot V_{\text{per}-2001}^4$$

Bovenstaand toetsschema wordt voor overdag, avond en nacht apart beoordeeld.

Zijn $V_{\max-2020}$ en/of $V_{\text{per}-2020}$ hoger dan de streefwaarden voor bestaande situaties en/of nemen ze merkbaar toe boven de streefwaarden voor nieuwe situaties dan voldoet de situatie niet.

² m.a.w.: voldoet aan de streefwaarden voor nieuwe situaties

³ m.a.w.: voldoet aan de streefwaarden voor bestaande situaties ...

⁴ ... en neemt niet merkbaar toe t.o.v. 2001

2.2 Methodologie

2.2.1 Nulsituatie

Voor de bepaling van de het maatgevende maximale trillingsniveau $V_{\max}$ dient, volgens de SBR, zo lang te worden gemeten te worden dat verwacht mag worden dat het maximale trillingsniveau een keer is opgetreden. Bij spoorverkeer is daarom een meetduur van tenminste 1 week gebruikelijk, tenzij gemotiveerd kan worden dat korter mag worden gemeten. Het tijdgemiddelde trillingsniveau V_{per} kan op grond van zo'n periode ook worden bepaald.

Het trillingsniveau dient, volgens de SBR, te worden gemeten op vloeren in woningen. Omdat lopende bewoners ook voor trillingen zorgen is het echter ondoenlijk om een week in een woning te meten. Daarom wordt de meting uitgevoerd op de fundatie van een gebouw, welke veel minder gevoelig is voor trillingen uit het gebouw zelf, en worden die metingen via een zogenaamde 'overdrachtsmeting' vertaald naar de vloer. Een overdrachtsmeting is een gelijktijdige meting aan de fundering en aan de vloer, tijdens een treinpassage, welke de versterkingsfactor van de vloer bepaalt.

De constructie van de woning heeft dus invloed op het trillingsniveau, zowel de vloer als de draagconstructie. Ook is de afstand tot het spoor van groot belang. Het is echter wederom ondoenlijk in alle woningen te meten. Daarom wordt een selectie gemaakt. Uit de eerstelijns bebouwing (worst case qua afstand tot spoor) worden woningen gekozen die representatief zijn voor de variatie in bebouwing langs het traject.

De geselecteerde woningen zijn vaak, vanwege locatie en constructie, minder geschikt voor een langdurige meting. Voor die langdurige meting worden daarom twee 'referentie' panden gekozen die wel voldoen: bij voorkeur 'stevige' panden met weinig achtergrondstrillingen. In elk van de geselecteerde woningen wordt vervolgens gedurende een dagdeel de 'overdracht' gemeten tussen het dichtstbijzijnde referentiepand en de vloeren in de woning. Aangezien reizigerstreinen en goederentreinen vaak voor verschillende soorten trillingen zorgen (hoogfrequent resp. laagfrequent) wordt er naar gestreefd tenminste 1 of enkele goederentreinen voor de overdrachtsbepaling te gebruiken.

2.2.2 Naverwerking

De trillingsniveaus worden continue geregistreerd. Dat betekent dat nadien uit de resultaten de treinpassages moeten worden geselecteerd. Met behulp van de realisatietabellen (wanneer passeerde er op Goes een trein) van de Verkeersleiding van ProRail wordt gecontroleerd of de trillingsgebeurtenis inderdaad toe te schrijven is aan een trein.

De gelijktijdige registratie van passages bij een referentiepand en een woning wordt gebruikt om een overdrachtsspectrum te bepalen. Dit is een verhouding in trillingsniveau per octaafband (van 2 t/m 63 Hz).

Uit de registratie van passages op de referentiepanden wordt vervolgens ook de 'top 15' bepaald: de 15 treinen die voor de hoogste niveaus zorgen. Vanwege het grote verschil in karakter en het verschil in wat er mee gebeurt in de toekomst, wordt apart een top15 voor goederentreinen en voor reizigerstreinen bepaald.

Uit de top15 wordt een statistisch maximum bepaald op grond van de extreme waarden statistiek zoals die wordt voorgesteld in de SBR richtlijn. Dit maximum wordt vergeleken met de top1 om te beoordelen of hier sprake is van een outlyer dan wel van

een representatieve maximale treinpassage. Eventuele outliers worden bestudeerd en indien mogelijk gemotiveerd terzijde gelegd.

Van de trillingsignalen behorende bij de top15 worden vervolgens de spectra bepaald, zoals die ook voor de overdrachten zijn gemaakt. Die spectra worden vermenigvuldigd met de overdrachtsspectra, wat leidt tot een (spectrale) top15 voor elk van de woningen. Met behulp van de Rayleighverdeling worden deze spectra vertaald naar $V_{\max}$ -en, wat per woning een top15 oplevert.

Met behulp van de eerder genoemde statistiek op de top15 kan vervolgens de statistische distributie van trillingsniveau per treinpassage worden bepaald. Op grond van deze distributie wordt uit de informatie over treinfrequenties (aantallen treinen per uur) vervolgens per woning het tijdgemiddelde trillingsniveau V_{per} bepaald per dagdeel.

2.2.3 *Prognose*

De verandering naar de toekomst betreft een sterke toename van het goederenvervoer. Dat betekent dat de treinfrequentie voor dat type trein hoger wordt. Dit heeft vooral zijn uitwerking op het tijdgemiddelde trillingsniveau V_{per} . Zoals voor de nulsituatie de treinfrequenties zijn gebruikt om met de meetresultaten statistisch V_{per} te bepalen, kan ook met de toekomstige treinfrequenties V_{per} worden bepaald. En aangezien het toetsingskader uitgaat van 2001 als referentiejaar kan met terugwerkende kracht de waarde voor 2001 worden bepaald.

Bij een zo sterke toename van het goederenvervoer zoals in Goes gepland (orde factor 8) kan ook worden verwacht dat $V_{\max}$ toeneemt. De kans op een trein die nóg hogere trillingen veroorzaakt neemt nu eenmaal toe. Met de eerder genoemde statistische distributie van trillingsniveau per treintype wordt dit in rekening gebracht.

2.2.4 *Treinsnelheid*

Om de invloed van de treinsnelheid te bepalen is tijdens de trillingsmeting ook een snelheidsradar aan een bovenleidingportaal bevestigd. Bovendien is in het spoor op twee locaties een trillingsopnemer aan een dwarsligger bevestigd waardoor uit het tijdsverschil in passage de gemiddelde snelheid tussen de twee punten kan worden bepaald.

De snelheidsmetingen worden gecombineerd met de gelijktijdige metingen van de trillingsniveaus en geven zo inzicht in de relatie tussen treinsnelheid en trillingen in de omgeving. Dit wordt apart voor reizigers- en voor goederentreinen gedaan omdat de relatie daar sterk van kan afhangen.

Omdat de werking van de beperking van de snelheid van goederentreinen als maatregel tegen de toename van trillingshinder niet vaststaat, is, met medewerking van ProRail, getracht de maximum snelheid ter plekke te variëren. Voor beide meetperioden zijn afspraken gemaakt om de snelheid een deel van de periode op 60 km/uur te zetten en een deel op 80 km/uur.

2.3 **Samenwerking met Peutz en ProRail**

De firma Peutz heeft de trillingsmetingen in de woningen verricht.

Peutz levert aan TNO deze meetresultaten voor verdere verwerking (volgens bovenstaande methodiek). TNO levert zijn meetresultaten vice versa aan Peutz die deze gebruikt in een eigen bepaling van de huidige en toekomstige situatie.

ProRail heeft afspraken gemaakt voor de voorgestelde variatie in maximum trainsnelheid. Dit maximum wordt afgedwongen via het al dan niet plaatsen van 60 km-borden.

Dit is op zich ongebruikelijk maar juist in Goes wel mogelijk omdat daar reeds sinds enkele jaren op last van de Raad van State middels borden een snelheidsbeperking tot 60 km/uur wordt afgedwongen ter beperking van geluidhinder.

2.4 Prognosegegevens

De verandering naar de toekomst betreft de toename van aantallen goederentreinen. Het blijkt dat in het gunstigste scenario het aantal goederentreinen toeneemt van 7 treinen per dag (op werkdagen) in 2001 naar 35 per dag in 2020. Dat is een toename van een factor 5. Bovendien neemt de treinlengte toe van 10 bakken/trein naar 25 bakken/trein. Dat betekent dat de passageduur toeneemt met een factor 2,5.

De SBR-richtlijn werkt, bij de bepaling van het tijdgemiddelde niveau V_{per} , met tijdvakjes van 30 seconden. Het etmaal wordt in vakjes van 30 seconde gedeeld en vakje wordt het maximale niveau bepaald. Een trein die in 5 seconde passeert wordt dan dus als even zwaar meegeteld als een die in 29 seconde passeert. Een goederentrein passeert bij een snelheid van 70 km/uur met ongeveer 1 wagon per seconde. In 2001 vielen de goederentreinen dus meestal in 1 vakje van 30 seconde. In 2020 is de kans daarop klein. De toename van de treinlengte laat zich dus vertalen naar het dubbel meetellen van de goederentreinen: het aantal goederentreinen-events.

Het akoestisch spoorboekje geeft inzicht in de verdeling van die treinen over het etmaal. Onderstaande tabel vat al deze gegevens samen tot aantallen goederentreinen-events per dagdeel in 2001 en 2020.

Tabel 3: aantal goederentreinen-events per uur

Goederen Treinfrequentie	overdag	's avonds	's nachts
2001	0,20	0,55	0,32
2020	3,3	3,5	2,2

Voor reizigers verandert er niets. Wat de treinfrequenties van reizigers precies zijn is echter wel van belang in de beoordeling van de toekomstige situatie, omdat reizigerstreinen nu een belangrijke bijdrage zullen leveren aan het tijdgemiddelde V_{per} terwijl dat in de toekomstige situatie geringer zal zijn.

Tabel 4: aantal reizigerstreinen per uur

Reizigers Treinfrequentie	overdag	's avonds	's nachts
2001	4	4	1
2020	4	4	1

3 Meting

De aanpak van het onderzoek is in paragraaf 2.2 uiteengezet. Op basis van de beschreven methodologie zijn metingen verricht op verschillende locaties langs het spoor. De meting bestaat uit drie onderdelen:

- een langdurige meting (met een duur van twee weken) ten einde de top 15 van goederentreinen en de top 15 van reizigerstreinen vast te leggen
- detectie van treinpassages en bijbehorende treinsnelheid
- een meting in woningen van een tiental treinpassages, op een moment gedurende de langdurige meting, ten einde de resultaten van de langdurige meting te vertalen naar deze woningen⁵

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de langdurige meting en de meting in woningen.

Zoals in paragraaf 2.2.4 reeds aangegeven, is getracht om een variatie in treinsnelheid te realiseren, zodat het effect van een snelheidsbeperking als mogelijke trillingsmaatregel in kaart wordt gebracht. Om dit inzicht te verkrijgen zijn uiteindelijk in dit onderzoek twee metingen verricht.

De eerste meting is in de periode van 13 t/m 27 oktober uitgevoerd. De gemeente Goes heeft een afspraak gemaakt met ProRail om tijdens deze meting en gedurende een week het goederenvervoer te laten rijden met een snelheid gelijk aan baanvaksnelheid (80 km/u) in plaats van de in dat periode vigerende snelheidslimiet van 60 km/u.

Achteraf is gebleken dat te weinig treinen met deze snelheid hebben gereden en dat door technische redenen het niet gelukt was om de snelheid van alle treinen te meten. Hierdoor werd de meting met 80 km/u als niet representatief beschouwd.

Daarom is een tweede meting uitgevoerd om het effect van een snelheidsbeperking als mogelijk trillingsmaatregel vooralsnog te bepalen.

De tweede meting heeft over een periode van ongeveer drie weken plaatsgevonden van 4 april tot en met 23 april 2011. Om de relatie tussen trillingshinder en snelheid van het goederenvervoer in kaart te brengen, zijn afspraken gemaakt tussen de gemeente Goes en een van de goederenvervoerders in het Sloegebied om hun treinen te laten rijden met snelheden van 40, 60 en 80 km/uur.

3.1 Meting 1

3.1.1 Meetlocaties

Er zijn metingen in zeven woningen verricht in een gebied dat zich uitstrekt over een afstand van ongeveer 1 km langs het spoor. Deze metingen vonden plaats in dezelfde periode als de langdurige meting, opdat ze daarmee gecombineerd kunnen worden. De metingen in woningen zijn door Peutz uitgevoerd, zie [4].

Omdat de zeven woningen over een afstand van ongeveer 1 km langs het spoor, is voor de langdurige meting op twee speciaal daarvoor geselecteerd panden (de referentie-

⁵ Hierbij wordt aangenomen dat de trillingsverhouding die gevonden wordt tussen de langdurige meting en de meting in een woning ook geldt voor een top 15 van de langdurige meting, opdat zo die top 15 naar de betreffende woning kan worden vertaald.

locaties of referentiepanden) verricht. Hiermee kan naast een betere correlatie tussen referentiepand en woningen worden gelegd ook de eventuele invloed van verschillen in grondgesteldheid worden meegenomen. De referentiepanden liggen aan de randen van het interesse gebied, aan de westkant bij de van Dusseldorpstraat nr.5 en aan de oostkant bij de Koningin Wilhelminastraat 5.

Figuur 2 geeft aan de locaties van de referentiepanden. In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van alle metingen die verricht zijn en ook de periodes waarin deze plaatsvonden.



Figuur 2: Overzicht langdurige meting. Naast de referentiepanden (van Dusseldorpstraat en Koningin Wilhelminastraat) zijn de twee locaties weergegeven waar treinpassages zijn opgenomen (rode lijnen).

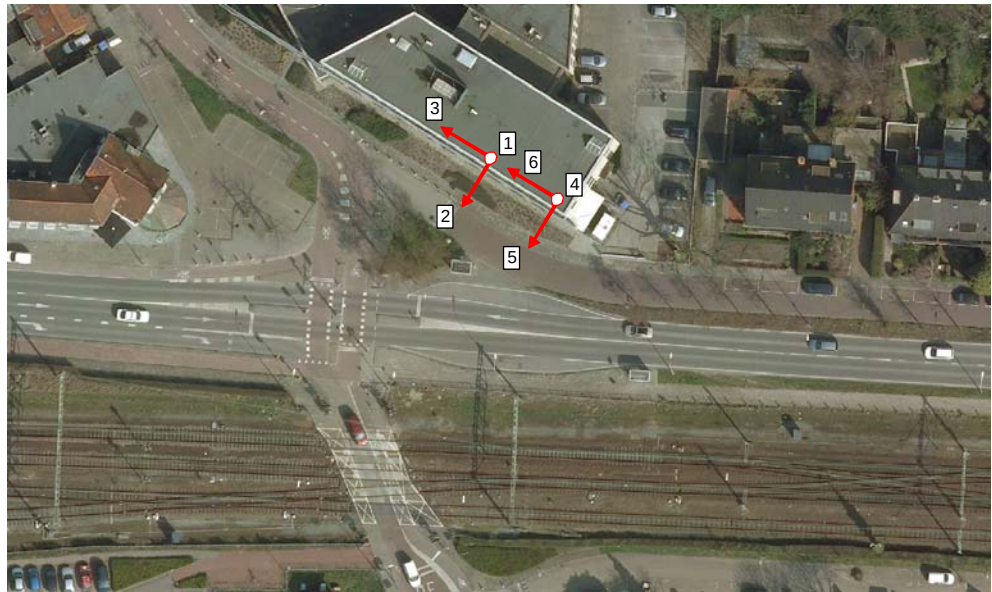
Tabel 5: Overzicht metingen.

Locatie	Adres	Kanalen aantal en type	Meting TNO	Meting Peutz
Referentiepand west		6 x versnelling	13-10-2010 tm 27-10-2010	
Referentiepand oost		6 x versnelling	13-10-2010 tm 27-10-2010	
Spoor west		1 x radar	19-10-2010 tm 2-11-2010	
		2 x versnelling spoorstaaf	18-10-2010 tm 2-11-2010	
Spoor oost		2 x versnelling spoorstaaf	18-10-2010 tm 2-11-2010	
Woning 1	Willem Zelleweg 7	2 x 3D geofoon		wo 20 okt vm
Woning 2	Patijnweg 22	2 x 3D geofoon		do 21 okt vm
Woning 3	Patijnweg 40	2 x 3D geofoon		vr 22 okt vm
Woning 4	Willem Zelleweg 59	2 x 3D geofoon		di 19 okt vm
Woning 5	Patijnweg 92	2 x 3D geofoon		vr n22 okt m
Woning 6	Parallelweg 20	2 x 3D geofoon		do 21 okt nm
Woning 7	Parallelweg 24	2 x 3D geofoon		wo 20 okt nm

3.1.2 Beïnstrumentering

3.1.2.1 Referentiepanden

Op elk van de twee referentielocaties is een meetsysteem geplaatst die gedurende de hele meetperiode alle passages loggen. Per locatie is een meetsysteem met 6 kanalen gebruikt: een 3D-trillingsmeetpunt op de begane grond aan de fundering van het pand, en om stoortrillingen te identificeren tevens een 3D-punt op de bovenste verdieping. Overzichten met de positie en oriëntatie van de versnellingsopnemers met enkele foto's van de sensoren zijn in Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5 opgenomen.



Figuur 3: Positie en richting versnellingsopnemers bij de referentieband aan de van Dusseldorpstraat 5.



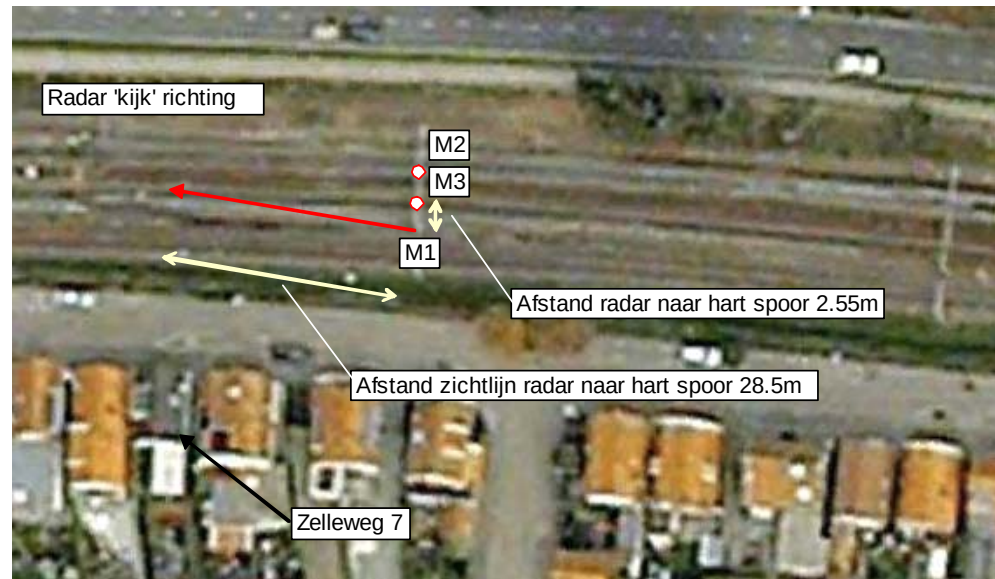
Figuur 4: Versnellingsopnemers ter plekke van de fundering (links) en op de eerste verdieping (rechts) bij de referentieband aan de van Dusseldorpstraat nr.5.



Figuur 5: Referentieband aan de Koningin Wilhelminastraat 5. Links: positie en richting versnellingsopnemers. Rechts: Versnellingsopnemers ter plekke van de fundering..

3.1.2.2 *Treinpassages en treinsnelheid*

Zoals in paragraaf 2.2.4 beschreven is, was een meting van de treinsnelheden nodig. Deze is met behulp van een radar gedaan aan de westelijke referentielocatie, zie Figuur 6 en Figuur 7. Afgezien van de bepaling van de treinsnelheid is de detectie van treinpassages straks van belang in de analyse, daar trillingen in de referentiepanelen en in de woningen moeten kunnen duidelijk toegeschreven worden aan treinpassages.



Figuur 6: Locatie treindetectie bij de van Dusseldorpstraat nr.5.

In de huidige dienstregeling, geldt er een snelheidslimiet van 80 km/h voor passagierstreinen en een limiet van 60 km/h voor goederentreinen. Deze aparte limiet is bijzonder: het betreft een tijdelijke maatregel in verband met geluidhinder en wordt geregeld middels een speciaal snelheidsbord. Ten behoeve van de vergelijking van de mogelijke hinder door goederentreinen voor twee verschillende snelheidslimieten, namelijk 60 en 80 km/h, is gedurende de periode van woensdag 13 oktober t/m dinsdag 19 oktober, de snelheidsbeperking voor goederentreinen verhoogd tot 80 km/h door tijdelijke verwijdering van het bord.

3.1.2.3 *Woningen*

De metingen in de woningen vinden plaats conform SBR B: met een 3D-punt op de vloer in de huiskamer op de begane grond en met een 3D-punt op de vloer in een slaapkamer op de bovenste verdieping. Voor meer details wordt de lezer verwezen naar het bijbehorende rapport door Peutz, zie ref. [4].

3.1.3 *Data acquisitie*

De meetsignalen in de referentiewoningen en voor de treindetectie zijn geregistreerd met Windaq-software met een sample-frequentie van 500Hz, waarbij een low-pass filter van 100Hz is toegepast. De tijdsaanduidingen geschiedt in UTC. De signalen met dit systeem zijn continu geregistreerd.

Bij de metingen in de woningen is, naast het loggen van piekwaarden, alleen van de meest significante gebeurtenissen een volledig signaal vastgelegd. Deze volledige signalen lenen zich voor een gedetailleerde analyse in samenhang met de meetsignalen

in de referentiewoningen. Een belangrijke stap in de analyse is derhalve een boekhoudkundige: het afstemmen van de signalen tussen de verschillende systemen.

3.1.4 Verwerking meetgegevens

De meetgegevens zijn geïmporteerd in en verder geanalyseerd met Matlab. Voor een beschrijving van de analyse wordt verwezen naar paragraaf 2.2.2.



Figuur 7: Radar ten behoeve van meting van de treinsnelheden.

3.2 Meting 2

3.2.1 Inleiding

Het onderzoek behelst een lange duur meting en bestaat uit 3 onderdelen:

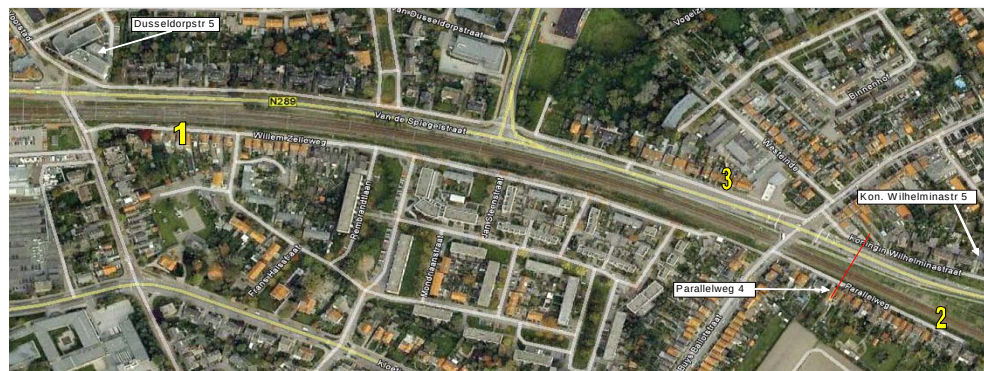
- een langdurige meting op drie locaties (3 referentiepanelen)
- detectie van treinpassages en bijbehorende treinsnelheid
- een meting in drie woningen

De eerste twee onderdelen zijn door TNO uitgevoerd en worden hier gerapporteerd. Het derde onderdeel is door Peutz verzorgd en gerapporteerd (zie ref [7])

3.2.2 Meetlocaties

In Figuur 8 en Tabel 6 worden de locaties aangegeven waar gemeten is. Er is bij dezelfde twee referentiepanelen gemeten als in de oorspronkelijke meting van oktober 2011. Als derde referentielocatie is ook gemeten bij Parallelweg 4. In de panelen wordt

alleen gemeten op de begane grond ter plaatste van de fundering (in tegenstelling tot de eerste meting waarbij ook op de eerste verdieping aan de draagconstructie werd gemeten).



Figuur 8: Overzicht van de meetlocaties. Behalve aan de referentiepanden van meting 1 (van Dusseldorpstraat en Koningin Wilhelminastraat) wordt ook aan Parallelweg 4 gemeten. Bij deze laatste locatie wordt de treinsnelheid gedetecteerd. De locaties waar Peutz heeft gemeten (zie [7]) zijn met een nummer aangegeven (1=Willem Zelleweg 7; 2=Parallelweg 20; 3=Patijnweg 92).

Tabel 6: Referentiepanden (TNO) en woningen (Peutz, zie [7]). De kanalen aan de referentiepanden betreffen sensoren aan de fundering en (bij referentie 3) aan het spoor. De kanalen in de woningen betreffen sensoren op het midden van de vloer van de eerste verdieping.

Locatie	Adres	Kanalen aantal en type
Referentiepand west, 1	Van Dusseldorpstraat 5	3 x versnelling
Referentiepand oost, 1	Kon. Wilhelminastraat 5	3 x versnelling
Referentie 3	Parallelweg 4	3 x versnelling
		1 x radar
		4 x versnelling
		2 x video
Woning 1	Willem Zelleweg 7	3D snelheid (gefoon)
Woning 2	Parallelweg 20	3D snelheid (gefoon)
Woning 3	Patijnweg 92	3D snelheid (gefoon)

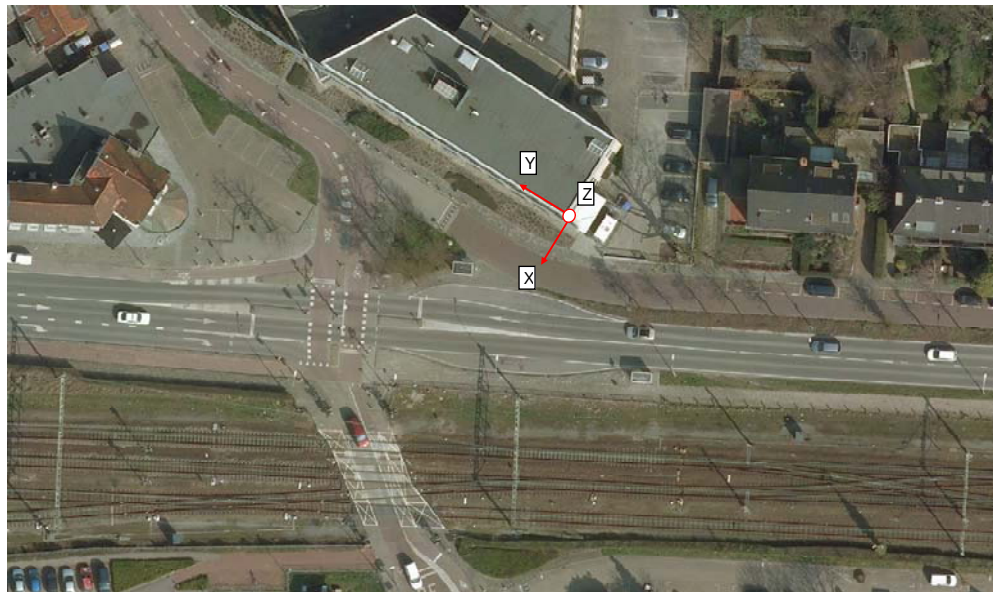
Op de verschillende locaties worden verschillende type metingen uitgevoerd zoals aangegeven in Tabel 6. Elke locatie wordt voorzien van een onafhankelijk meetsysteem. De systemen zijn gesynchroniseerd met behulp van GPS klokken.

De detectie van treinpassages is met behulp van een radar gedaan, waarmee tevens de snelheid gemeten is. Tevens worden 2 video camera's gebruikt, ter verificatie van de gemeten signalen. Bij twijfel, kan men hiermee controleren of er daadwerkelijk sprake was van een treinpassage en eventueel het type trein vaststellen. Als backup zijn op 2 locaties op 10 m afstand langs het spoor de versnellingen gemeten op de dwarsliggers van beide sporen. Hieruit kan men de snelheid afleiden in geval van problemen met de radarmeting.

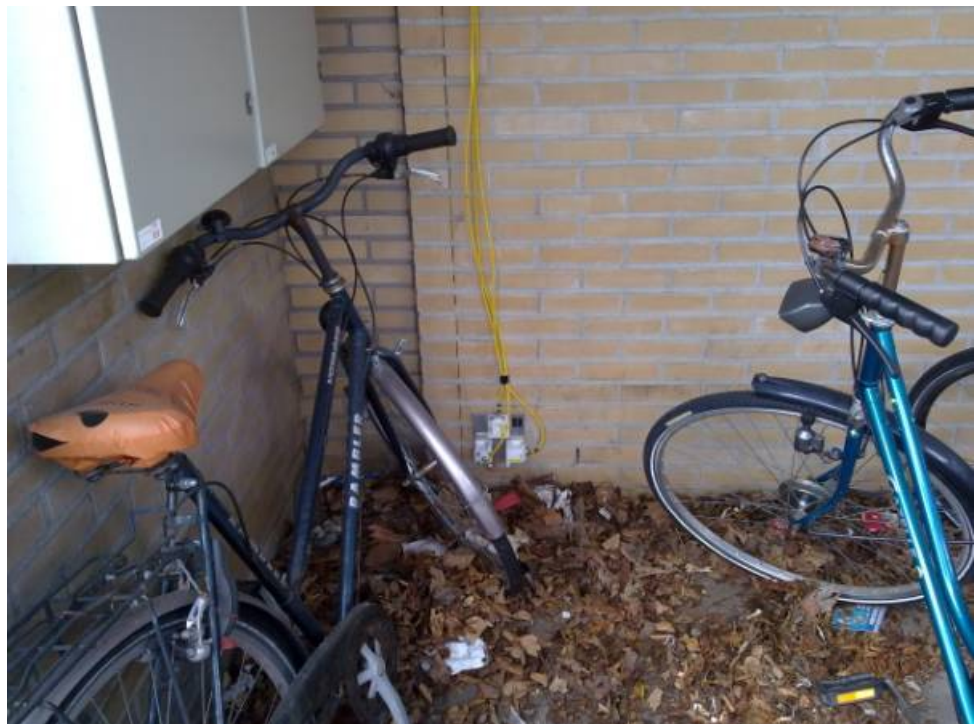
3.2.3 Referentiepanden

Op elk van de drie referentielocaties is een meetsysteem geplaatst dat gedurende de hele meetperiode alle passages logt. Per locatie is een meetsysteem met 3 kanalen gebruikt: een 3D-meetpunt op de begane grond aan de fundering van het pand.

De overzichten met de positie en oriëntatie van de versnellingsopnemers met enkele foto's van de sensoren zijn in Figuur 9, Figuur 10, Figuur 11 en Figuur 12 afgebeeld.



Figuur 9: Positie en richting versnellingsopnemers bij de referentieband aan de van Dusseldorpstraat nr.5.



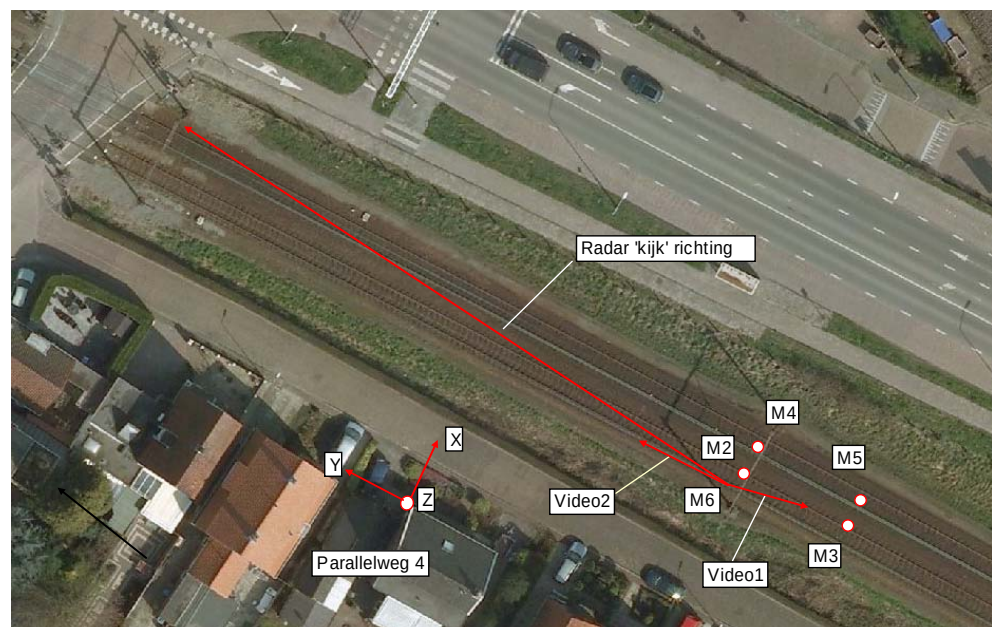
Figuur 10: Versnellingsopnemers ter plekke van de fundering (links) en op de eerste verdieping (rechts) bij de referentieband aan de van Dusseldorpstraat nr.5.



Figuur 11: Referentieband aan de Koningin Wilhelminastraat 5 (oost). Links: positie en richting van de versnellingsopnemers. Rechts: Versnellingsopnemers ter plekke van de fundering.

3.2.3.1 Woning aan Parallelweg 4 – metingen bij het spoor

Net als bij de referentiewoning, zijn bij de woning aan Parallelweg 4 de trillingen aan de fundering gemeten. Op deze locatie heeft de meting aan het spoor plaatsgevonden. Dit behelsde de meting van de snelheid van passerende treinen, de versnelling op vier dwarsdragers op het spoor en video opnames met twee camera's. Zoals eerder beschreven dient de meting op de dwarsdragers als backup van de radarmeting en de video opnames dienen voor een eventuele controle achteraf. Figuur 12 geeft een overzicht van de meting op deze locatie. Verder geeft Figuur 13 een foto weer van de meetapparatuur bij het spoor. Figuur 14 toont een enkel frame uit de video opname van de camera die naar het oosten gericht was (Video1).



Figuur 12: Overzicht meetpunten referentieband aan Parallelweg 4 (referentie 3).



Figuur 13: Apparatuur ter hoogte van het referentiepand aan Parallelweg 4. In de foto zijn de twee van de vier trillingsopnemers op de dwarsdragers van het spoor, de radar en de video camera's zichtbaar.



Figuur 14: Afbeelding uit video (camera gericht naar oost) tijdens de passage van een gastrein van Captrain België. In de achtergrond is een naderende trein te zien van DB Schenker.

3.2.4 Data acquisitie

De meetsignalen in de referentiewoningen en voor de treindetectie zijn geregistreerd met behulp van Windaq-software met een sample-frequentie van 500 Hz, waarbij een low-pass filter van 100Hz is toegepast. De tijdsaanduidingen geschiedt in UTC. De signalen met dit systeem zijn continu geregistreerd.

3.2.5 Realisatie passages goederentreinen

In de periode van 4 tot en met 23 april zijn in totaal 210 passages geregistreerd door ProRail die geen passagierstreinen waren. Het overzicht van deze passages is vervolgens bewerkt door de gemeente Goes met data over de vervoerder en de rijrichting van de trein en met informatie over de lading (inden bekend). Dit overzicht bevat 190 goederentrein passages en is in bijlage B opgenomen.

Verder heeft de gemeente Goes met de vervoerder Captrain België afspraken gemaakt omtrent het rijden met specifieke snelheden. In de twee weken van 4 tot 16 april is afgesproken dat er met een snelheid van 80 km/h gereden wordt. In de week daarna, van 18 april tot 23 april, wordt er met een snelheid van 40 km/h gereden. Een overzicht van de betreffende treinen is in Tabel 7 opgenomen.

Tabel 7: Passages van Captrain België.

Realisatietijd Goes	Rijrichting	AsAantal	gemiddelde aslast [N]	Snelheid [km/u]	Opmerking	Trein- nummer
04/04/2011 15:33	West	86	86	~*)	lege gastrein	51108
05/04/2011 03:18	Oost	114	200	77	beladen papier	48527
06/04/2011 18:31	West	108	76	52	leeg	48528
08/04/2011 01:40	Oost	104	209	69	beladen papier	48525
08/04/2011 17:57	Oost	86	208	59	beladen gastrein	51101
09/04/2011 09:55	West	84	80	39	leeg	48526
15/04/2011 01:25	Oost	84	199	75	beladen papier	48525
15/04/2011 01:28	West	86	90	52		51103
16/04/2011 11:53	West	104	78	67	leeg	48526
19/04/2011 01:44	Oost	106	196	56	beladen	48527
20/04/2011 17:30	West	94	79	52		51104

*) Bij deze passage was de radar meetapparatuur nog niet ingesteld.

4 Nulsituatie en prognose

In dit hoofdstuk worden de trillingsniveaus in woningen zowel voor de nulsituatie als voor de toekomstige situatie beoordeeld. Deze beoordeling geschiedt aan de hand van zowel de eerste meting van najaar 2010 als die van de tweede meting van voorjaar 2011

Tijdens het traject dat heeft geleid tot het Tracébesluit Sloelijn is uitgegaan van 2001 als nulsituatie (referentiejaar). In dat jaar reden de goederentreinen bij hun passage door Goes 80 km per uur. Vooral tijdens de tweede meting reden voldoende goederentreinen met een snelheid van 80 km per uur.

De nulsituatie komt verder bijna overeen met de huidige situatie (zoals in 2010 gemeten) zij het voor een klein verschil in het aantal goederentreinen.

De nulsituatie wordt bepaald door de huidige trillingsniveaus om te rekenen met een factor die het verschil in aantal treinpassages tussen 2010 en 2001 uitdrukt. Op een vergelijkbare manier wordt een factor toegepast om de toekomstige situatie in 2020 te bepalen.

De vergelijking tussen de twee situaties geschiedt aan de hand van grootheden uit de SBR, namelijk het statistische maximum van de trillingssnelheid, $V_{\max}$ en de tijdsgemiddelde trillingssnelheid, V_{per} , zie paragraaf 1.1.

De vergelijking in dit hoofdstuk is tussen resultaten die betrekking hebben op treinsnelheden die de baanvakssnelheid van 80 km per uur zo dicht mogelijk benaderen.

Uitgangspunt is dat wat er verandert tussen 2001, 2010 en 2020 alleen het aantal en de lengte van de goederentreinen is. De frequentie en lengte van de reizigerstreinen verandert niet wezenlijk, noch zullen er significante verschuivingen zijn in type goederentreinen.

De metingen leveren een trillingsmaximum op van elke treinpassage. De maxima fluctueren: er zijn tal van factoren die het maximum beïnvloeden en die voor elke passage anders zijn. Voor aan de ene kant de groep reizigerstreinen en aan de andere kant de groep goederentreinen geldt dat die fluctuaties de zogenaamde Rayleigh-verdeling volgen. De metingen van de trillingsmaxima leveren dus voor elk van de twee groepen hun specifieke Rayleighverdeling op. Uit die Rayleighverdeling kan vervolgens, gegeven het aantal passages in een week en hun duur, de SBR-toetsingsgrootheden $V_{\max}$ en V_{per} worden berekend conform hoofdstuk 9 van de SBR-richtlijn deel B. De in 2010 en 2011 gemeten distributies leveren met de passagegegevens van 2001 en 2020 voor die jaren dus de $V_{\max}$ en V_{per} op.

4.1 Resultaten

In onderstaande tabellen, per dagdeel één, worden voor elk van de woningen (waar binnen op de vloer is gemeten) voor 2001 en voor 2020 $V_{\max}$ en V_{per} bepaald en de toename daarin. In de tabel staat “wnk” voor woonkamer, “slk” voor slaapkamer. Voor de beoordeling geldt, per woning, het hoogste niveau in die woning.

De $V_{\max}$ en V_{per} zijn bepaald op grond alle beschikbare passages, zonder onderscheid naar dagdeel. Voor de presentatie per dagdeel heeft alleen een omrekening plaatsgevonden op grond van de treinfrequenties (die per dagdeel verschillen). Een treinpassage op een tijdstip overdag die hoge trillingen heeft veroorzaakt werkt dus ook door in de resultaten van 's avonds en 's nachts, aangezien niet uitgesloten kan worden dat deze trein een volgende keer in een ander dagdeel langskomt.

Een uitzondering in de tabel is het adres Parallelweg 4. Daarin is alleen aan de *fundering* (“fund”) gemeten en daarvan is ook alleen de passages van goederentreinen geanalyseerd. De oorzaak hiervan is dat dat adres pas in een laat stadium van het onderzoek, namelijk in 2011, is toegevoegd en dan alleen als logistiek punt (locatie voor apparatuur), waarbij wel in één moeite door ook de fundering van een meetpunt is voorzien. Voor de beoordeling van de nulsituatie is zo'n meting echter onvolledig: de meting dient op vloeren binnen te geschieden en daarbij dienen ook de reizigerstreinen in aanmerking te worden genomen. De reden waarom de resultaten, ondanks die onvolledigheid, toch in de tabel zijn opgenomen is dat de gemeten trillingsniveaus aan die fundering opvallend hoog zijn. Te verwachten is dat de trillingsniveaus in de woning, op de vloeren in de woonkamer en de slaapkamer(s) nog hoger zullen zijn.

Tabel 8: SBR-kentallen voor periode **overdag** in 2001 en 2020, gebaseerd op de metingen in 2010 en 2011

OVERDAG		2001		2020		Toename	
		$V_{\max}$	V_{per}	$V_{\max}$	V_{per}	$V_{\max}$	V_{per}
Willem Zelleweg 7	wnk	0,45	0,02	0,60	0,04	34%	59%
	slk	0,98	0,04	1,3	0,08	34%	86%
Patijnweg 22	wnk	0,17	0,01	0,23	0,01	34%	72%
	slk	0,24	0,01	0,33	0,02	34%	66%
Patijnweg 40	wnk	0,14	0,01	0,19	0,01	34%	85%
	slk	0,22	0,01	0,29	0,02	34%	87%
Willem Zelleweg 59	wnk	0,20	0,01	0,26	0,02	29%	42%
	slk	0,23	0,01	0,30	0,02	34%	56%
Patijnweg 92	wnk	0,74	0,05	0,74	0,05	0%	12%
Parallelweg 4	<i>fund</i>	1,2 ⁶	? ⁷	1,6 ⁶	? ⁷	34% ⁶	? ⁷
Parallelweg 20	wnk	0,58	0,04	0,58	0,05	0%	26%
	hal	0,42	0,03	0,50	0,04	20%	38%
Parallelweg 24	wnk	0,32	0,02	0,39	0,03	21%	38%
	slk	0,39	0,03	0,47	0,04	19%	38%

De streefwaarden voor overdag voor nieuwe situaties zijn 0,4 voor $V_{\max}$ en 0,05 voor V_{per} . Waardes die daarboven komen zijn in Tabel 8 **dikgedrukt**. In die gevallen moet

⁶ Dit is onder de aanname dat goederentreinen (ten opzichte van reizigerstreinen) maatgevend zijn voor dit pand. Indien dit niet zo zou zijn is het trillingsniveau $V_{\max}$ waarschijnlijk hoger. De toename in $V_{\max}$ zal dan echter geringer zijn.

⁷ De V_{per} is onbekend, aangezien de bijdrage van de reizigerstreinen niet bekend is.

bij een gewijzigde situatie worden beoordeeld of sprake is van een merkbare toename (toename van 30% of meer). Uit de tabel blijkt dat er op Willem Zelleweg 7, en waarschijnlijk op Parallelweg 4, sprake is van een merkbare toename daar waar nu de streefwaarden voor nieuwe situaties niet wordt gehaald.

In Tabel 8 wordt bovendien in **rood** overschrijdingen van de streefwaarden voor bestaande situaties aangegeven (0,8 voor $V_{\max}$, 0,1 voor V_{per}). Volgens de richtlijn is bij een gewijzigde situatie stand-still dan niet meer voldoende en moet daar gestreefd worden naar het terugbrengen van het trillingsniveau naar de streefwaarde voor bestaande situaties. Dit is het geval op Willem Zelleweg nummer 7 en op Parallelweg 4.

Wat opvalt aan het hoge niveau op de Willem Zelleweg 7 is dat deze optreedt in de slaapkamer (op de eerste verdieping), terwijl het trillingsniveau op de begane grond twee maal zo laag is. Dit valt als volgt te verklaren. Het hoge trillingsniveau in de slaapkamer treedt op in de horizontale richting (zie overdrachtsfactoren per woning, kamer en richting in Bijlage A). Dat betekent dat het gebouw aan het 'zwaaien' is. Op de begane grond is daarvan minder te merken en speelt het opslingeren van de vloeren de belangrijkste rol.

In twee woningen, Patijnweg 92 en Parallelweg 20, is er sprake van een geringe toename van V_{per} en in het geheel geen toename van $V_{\max}$. De oorzaak daarvan is dat op die vloeren niet goederentreinen maar reizigerstreinen maatgevend blijken. Dit is terug te voeren op met name 2 passages van reizigerstreinen die bij referentiepand 2 voor hoge trillingsniveaus hebben gezorgd, met name in de 8 en 16 Hz octaafbanden. Uit de overdrachtsmetingen blijkt dat bij de vloeren van deze twee woningen de 16 Hz octaafband zeer dominant is. Bij de fundatie van de referentiepanden domineert 8 Hz, zowel bij reizigerstreinen als bij goederentreinen. Reizigerstreinen hebben, vergeleken met goederentreinen, ook nog een behoorlijke bijdrage bij 16 Hz. Dit leidt ertoe dat reizigerstreinen toch maatgevend kunnen zijn: de fundering mag het hardst trillen vanwege goederentreinen, maar de vloer slingert vooral op vanwege de 16 Hz bijdrage van reizigerstreinen.

Deze twee passages van reizigerstreinen wijken sterk af van de overige passages van reizigerstreinen. Ook is hun bijdrage bij referentiepand 1 veel minder opvallend. Op Parallelweg 20 is in het verleden vaker gemeten (door AEA Technology Rail en Peutz) en steeds kwamen op dat adres de goederentreinen toch als belangrijkste bron van trillingen uit te voorschijn. De twee passages en hun effect op de twee woningen kan dus atypisch worden genoemd. Er is onvoldoende grond om de metingen terzijde te leggen. Wel moet een voorbehoud worden gemaakt als het gaat om het trekken van conclusies over de rol van reizigerstreinen.

De streefwaarden voor 's avonds voor nieuwe situaties zijn 0,4 voor $V_{\max}$ en 0,05 voor V_{per} . Uit Tabel 9 blijkt dat wederom alleen op Willem Zelleweg 7 en waarschijnlijk ook op Parallelweg 4 sprake is van merkbare toename boven de streefwaarden voor nieuwe situaties.

In de tabel wordt bovendien in rood overschrijdingen van de streefwaarden voor bestaande situaties aangegeven (0,8 voor $V_{\max}$, 0,1 voor V_{per}). Dit is wederom alleen het geval op de twee adressen.

Tabel 9: SBR-kentallen voor periode 's avonds in 2001 en 2020, gebaseerd op de metingen in 2010 en 2011

'S AVONDS		2001		2020		Toename	
		V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}
Willem Zelleweg 7	wnk	0,45	0,03	0,53	0,04	19%	50%
	slk	0,98	0,05	1,2	0,08	19%	68%
Patijnweg 22	wnk	0,17	0,01	0,21	0,02	19%	59%
	slk	0,24	0,01	0,29	0,02	19%	55%
Patijnweg 40	wnk	0,14	0,01	0,17	0,01	19%	68%
	slk	0,22	0,01	0,26	0,02	19%	69%
Willem Zelleweg 59	wnk	0,20	0,01	0,23	0,02	14%	37%
	slk	0,23	0,01	0,27	0,02	19%	48%
Patijnweg 92	wnk	0,74	0,05	0,74	0,05	0%	11%
Parallelweg 4	<i>fund</i>	1,2 ⁶	? ⁷	1,4 ⁶	? ⁷	19% ⁶	? ⁷
Parallelweg 20	wnk	0,58	0,04	0,58	0,05	0%	23%
	hal	0,42	0,03	0,44	0,04	6%	33%
Parallelweg 24	wnk	0,32	0,02	0,35	0,03	7%	34%
	slk	0,39	0,03	0,41	0,04	6%	33%

De streefwaarden voor 's nachts voor nieuwe situaties zijn 0,2 voor V_{max} en 0,05 voor V_{per}. Uit Tabel 10 blijkt dat wederom alleen op Willem Zelleweg 7 en waarschijnlijk ook op Parallelweg 4 sprake is van merkbare toename boven de streefwaarden voor nieuwe situaties.

In de tabel wordt in **rood** overschrijdingen van de streefwaarden voor bestaande situaties aangegeven (0,4 voor V_{max}, 0,1 voor V_{per}). Nu zijn er, vergeleken met de beoordeling voor overdag en 's avonds, meer woningen die niet blijken te voldoen. Naast Willem Zelleweg 7 en Parallelweg 4 gaat het nu ook om Parallelweg 20 en Patijnweg 92. Volgens de richtlijn moet in een gewijzigde situatie voor die woningen (en de naburige bouwkundig vergelijkbare woningen) worden gestreefd naar terugbrengen tot streefwaarden voor bestaande situaties.

Tabel 10: SBR-kentallen voor periode 's nachts in 2001 en 2020, gebaseerd op de metingen in 2010 en 2011

'S NACHTS		2001		2020		Toename	
		V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}	V _{max}	V _{per}
Willem Zelleweg 7	wnk	0,45	0,02	0,55	0,03	22%	85%
	slk	0,98	0,03	1,2	0,06	22%	100%
Patijnweg 22	wnk	0,17	0,01	0,21	0,01	22%	96%
	slk	0,24	0,01	0,30	0,02	22%	91%
Patijnweg 40	wnk	0,14	0,00	0,17	0,01	22%	110%
	slk	0,22	0,01	0,27	0,01	22%	110%
Willem Zelleweg 59	wnk	0,20	0,01	0,23	0,01	17%	68%
	slk	0,23	0,01	0,28	0,02	22%	83%
Patijnweg 92	wnk	0,74	0,02	0,74	0,03	0%	25%
Parallelweg 4	Fund	1,2 ⁶	? ⁷	1,5 ⁶	? ⁷	22% ⁶	? ⁷
Parallelweg 20	wnk	0,58	0,02	0,58	0,03	0%	48%
	hal	0,42	0,02	0,45	0,03	9%	63%
Parallelweg 24	wnk	0,32	0,01	0,36	0,02	10%	64%
	slk	0,39	0,01	0,42	0,02	9%	63%

4.2 Beoordeling

In de nulsituatie (2001) en in de gewijzigde situatie in 2020 wordt er in een aantal woningen langs het traject niet voldaan aan de SBR richtlijn.

Het gaat daarbij vooral om de nachtperiode (Parallelweg 20, Patijnweg 92, Willem Zelleweg 7 en Parallelweg 4).

Op Willem Zelleweg 7 en op Parallelweg 4 worden zelfs overdag de streefwaarden voor bestaande situaties overschreden.

De zeven panden waar binnen is gemeten zijn geselecteerd als representanten voor de omliggende bebouwing en de resultaten gelden dus ook voor de vergelijkbare woningen rond die adressen. Uit eerdere metingen van Peutz blijkt bijvoorbeeld dat naast Willem Zelleweg nummer 7 ook nummer 5 hoge niveaus kent.

Bij de Willem Zelleweg is er inderdaad wat aan de hand: er ligt daar een wissel 'voor de deur'.

De toename van het goederenvervoer leidt op de meeste locaties *niet* tot een merkbare toename van het maximale trillingsniveau tijdens de meest kritische periode: de nacht. Er is op de meeste adressen wel een aanmerkelijke toename van het tijdgemiddelde trillingsniveau V_{per} (gedurende het hele etmaal) maar deze voldoet ook in 2020 nog aan de streefwaarde daarvoor voor nieuwe situaties. Overdag is op de meeste adressen sprake van een net merkbare toename van het maximale trillingsniveau V_{max} maar daar wordt dan voldaan aan de streefwaarde voor nieuwe situaties. 's Avonds en 's nachts is er geen sprake van merkbare toename.

Uitzondering is Willem Zelleweg 7. Alleen op dat adres wordt niet aan stand-still voldaan. Ten opzichte van 2001 zal er in 2020 *overdag* sprake zijn van een merkbare toename van het maximale trillingsniveau V_{max} terwijl het trillingsniveau al boven de streefwaarde voor bestaande situaties ligt en zal er *het hele etmaal* een aanmerkelijke toename van het tijdgemiddelde niveau V_{per} optreden terwijl het al ligt tussen de streefwaarden voor nieuwe en bestaande situaties.

Zoals hierboven gesteld zijn op dit adres de trillingsniveaus dermate hoog dat zelfs overdag niet wordt voldaan aan de streefwaarde voor bestaande situaties. Dit kan worden toegeschreven aan het wissel in de nabijheid. Verplaatsing van dit wissel zal het trillingsniveau in de omliggende woningen aanzienlijk doen verminderen, en de situatie, zelfs bij de verwachte toename van het goederenvervoer, sterk verbeteren.

Of Parallelweg 4 nog sprake zal zijn van een merkbare toename is niet duidelijk: voor dat adres is de rol van de reizigerstreinen niet vastgesteld. Indien reizigerstreinen dominant zijn, zoals bijvoorbeeld blijkt te gelden voor de adressen die in de buurt liggen, zal intensivering van het goederenvervoer niet tot een merkbare toename leiden. De oorzaak van de hoge trillingsniveaus bij Parallelweg 4 is minder duidelijk dan bij de Willem Zelleweg 7. De meest voor de hand liggende verklaring is de spoorwegovergang die in de directe nabijheid ligt. Van spoorwegovergangen is bekend dat deze ook tot hogere trillingsniveaus aanleiding kunnen geven, bijvoorbeeld vanwege de ermee gepaard gaande stijfheidsvariatie in de onderbouw of vanwege de aanwezigheid van harde punten, zoals duikers en rioolbuizen, in relatief zachte grond. In dit geval blijkt er, volgens de Gemeente Goes, geen sprake te zijn van harde punten in de onderbouw. Wel zijn er, door Peutz, dilataties in de spoorstaven geconstateerd aan weerszijden van de overweg. Dergelijke dilataties zijn als trillingsbron vergelijkbaar met wissels en daarom in dit geval de meest waarschijnlijke oorzaak.

Aanpak van deze dilataties (door bijvoorbeeld een lasverbinding aan te leggen) zal de trillingsniveaus bij Parallelweg 4 en de andere omliggende woningen waarschijnlijk aanmerkelijk doen verminderen.

Mocht de dilataties toch niet de primaire oorzaak van trillingen blijken te zijn dan zal groot onderhoud aan de spoorwegovergang of vervanging door een andere civiele constructie het trillingsniveau waarschijnlijk doen afnemen.

Tot slot: V_{per}

Het belangrijkste verschil tussen 2001 en 2020 is het aantal goederentreinen. Dat neemt toe met een factor 5. Dat leidt ertoe dat het tijdgemiddelde trillingsniveau V_{per} tot ongeveer een factor 2 toeneemt. Dat de toename in het tijdgemiddelde niveau niet meer is komt vanwege de bijdrage van de reizigerstreinen aan het tijdgemiddelde niveau.

De toename in het tijdgemiddelde trillingsniveau heeft bij de beoordeling uiteindelijk geen consequenties: de streefwaarden voor het maximale trillingsniveau zijn relatief belangrijker dan die voor het tijdgemiddelde niveau.

Dat V_{per} geen rol speelt in de beoordeling is overigens niet specifiek voor de situatie Goes: sinds de ingebruikname van de SBR richtlijn in 1993 is V_{per} bijna nooit maatgevend gebleken bij spoorprojecten. Wat wel specifiek is voor de situatie Goes is de grote toename van V_{per} , waardoor opvalt dat V_{per} zo'n onbelangrijke rol speelt.

De vraag is of het billijk is dat het tijdgemiddelde niveau in feite geen rol speelt bij de beoordeling. Die vraag is op dit moment niet goed te beantwoorden omdat over de relatie tussen hinder en het tijdgemiddelde trillingsniveau nog onvoldoende bekend is.

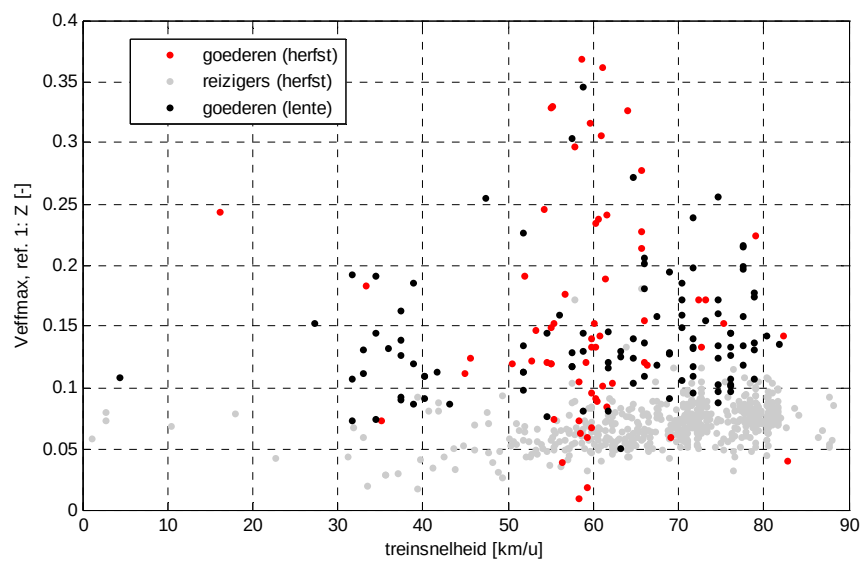
De vraag is op dit moment echter wel actueel: er vindt (internationaal) onderzoek plaats naar de relatie tussen hinder en trillingen en de verwachting is dat resultaten hiervan de komende jaren hun weg vinden naar regelgeving. Zo is de commissie van de SBR-richtlijn opnieuw geactiveerd en voornemens de resultaten te gebruiken. Verder heeft het ministerie van I&M een wet op trillingshinder in studie waarvoor ook gekeken zal moeten worden naar de rol van het tijdgemiddelde trillingsniveau.

5 Treinsnelheid

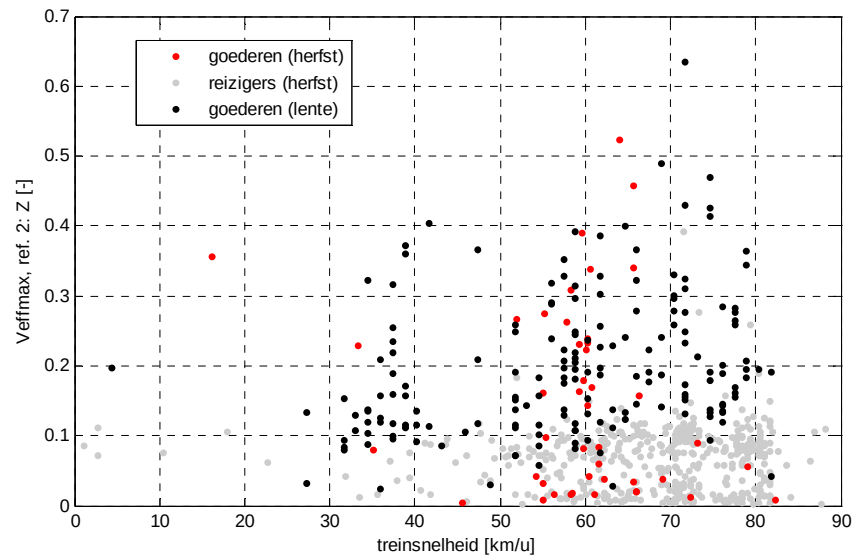
5.1 Analyse

In Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17 wordt het trillingsniveau aan de funderingen in de verticale richting bij referentiepanden 1 en 2 tegen de snelheden van de onderzochte treinen in beide meetperiodes (herfst 2010 en lente 2011) weergegeven.

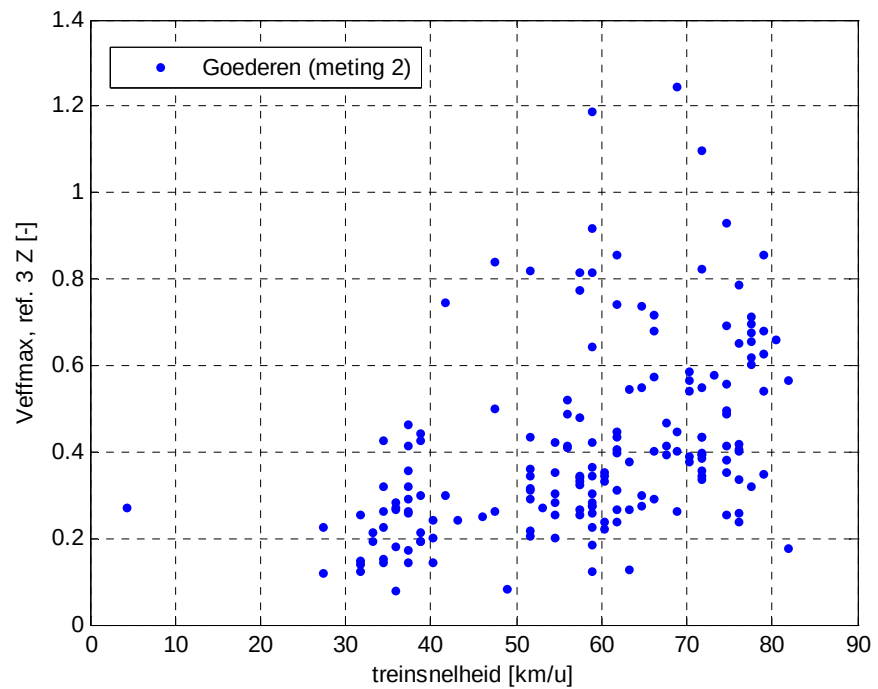
Reizigerstreinen zijn blauw, goederentreinen zijn rood voor meting 1 en zwart voor meting 2. Er zijn tijdens de tweede meetperiode meer treinen gedetecteerd met snelheden tussen 30 en 40 km/u en tussen 60 en 80 km/u. Figuur 17 geeft de trillingsniveau bij referentiepunt 3 bij de tweede meting weer.



Figuur 15: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentiepand 1 (alle onderzochte treinpassages in de twee meetperiodes).



Figuur 16: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentieband 2 (alle onderzochte treinpassages in de twee meetperiodes).



Figuur 17: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentieband 3 (alleen treinpassages in de tweede meetperiode).

Het effect van een snelheidsverlaging op V_{max} , de beoordelingsgrootheid, kan worden vastgesteld door in figuren 15, 16 en 17 de treinpassages te beschouwen die voor de hoogste trillingsniveaus zorgen.

De figuren laten zien dat er bij reizigerstreinen er een redelijk lineair verband bestaat tussen maximaal trillingsniveau en treinsnelheid. Bij goederentreinen is die relatie niet

te vinden. Andere parameters die invloed hebben op het trillingsniveau, zoals aslasten, type wagon, kwaliteit van de wielen e.d. variëren bij goederentreinen veel sterker dan bij reizigerstreinen en hebben blijkbaar een grote invloed op het trillingsniveau. Opmerkelijk is dat het maximale trillingsniveau bij 80 km/uur juist weer lager blijkt te zijn dan bij 60 km/uur, met name bij referentiepad 1 (zie figuur 15).

Uit de figuren blijkt verder dat er tijdens de eerste meting weinig goederentreinen hebben gereden met een snelheid hoger dan 60 km/uur. Het gebrek aan gegevens voor hogere snelheden is eerder in dit rapport genoemd. Tijdens de tweede meting zijn juist veel meer goederentreinen met een snelheid van hoger dan 60 km/uur gedetecteerd.

5.2 Consequenties voor de beoordeling van de nulsituatie en de prognose

In hoofdstuk 4 is de beoordeling van de nulsituatie en de toekomstige situatie besproken. De trillingsniveaus in deze twee situaties zijn berekend op basis van de gezamenlijke resultaten van de eerste en de tweede meting. Tussen de twee metingen is er geen significante toename van de trillingsniveaus geconstateerd. In lijn hiermee blijkt dat de resultaten in hoofdstuk 4 niet gewijzigd zijn ten opzichte van de voorlopige resultaten op grond van alleen de eerste meting.

5.3 Snelheidsbeperking als trillingsreducerende maatregel

Volgens de meetresultaten lijkt er, voor goederentreinpassages, weinig correlatie tussen maximale trillingssterkte en treinsnelheid te bestaan. Uit de grafieken zou men echter op het eerste gezicht kunnen concluderen dat een snelheidsbeperking wel een meetbaar effect heeft, zij het beperkt, op de trillingen in de omgeving (zie bijv. treinen die langzamer dan 40 km/uur hebben gereden). Zo heeft Peutz een relatie gelegd tussen treinsnelheid en het *gemiddelde* trillingsniveau (zie ref [7]). Een afname van trillingsniveau door afname van de treinsnelheid van 80 naar 60 is echter ook in die resultaten marginaal (ten hoogste 10%, dus niet waarneembaar). De wel substantiële afname die zich lijkt voor te doen bij een snelheidsverlaging van 60 km/uur naar 40 en lager, ook te zien in de figuren in paragraaf 5.1, betreft mogelijk een vertekend beeld, omdat in de groep treinen die met minder dan 40 km/uur hebben gereden de zwaardere treinen ontbreken (zie Figuur 27 in bijlage C.6.).

Voor de door de Gemeente Goes gerapporteerde afname in trillingshinder in de omgeving sinds de verlaging van de maximum snelheid naar 60 km/uur in 2008, kan met deze meetgegevens dus niet verklaard worden.

Er is zeker een maximum snelheid waaronder de trillingsniveaus in de omgeving voldoende laag blijven. Welke dat is hangt af van een reeks factoren en kan het beste proefondervindelijk worden vastgesteld, op de manier zoals dat in dit onderzoek is uitgevoerd. Niet vaak wordt zo uitgebreid gezocht naar de ‘snelheidsrelatie’ als nu in Goes, maar het onderzoek heeft zich beperkt tot de range 60-80 km/uur, met onvoldoende ‘bijvangst’ voor 40 km/uur en lager. Of 40 km/uur als maximum snelheid voldoende effectief is ligt dus als vraag nog open. Lagere maximum snelheden “bestaan” (nog) niet en het ligt dus niet voor de hand om die te onderzoeken.

Gegeven de lage correlatie tussen trillingsniveau en treinsnelheid wordt een snelheidsbeperking tot 60 km/uur als trillingsreducerende maatregel als weinig effectief gezien. Tot welke snelheid de treinen moeten worden beperkt om aan de richtlijn te voldoen is niet bekend. Om daar duidelijkheid over te verkrijgen zouden nieuwe metingen nodig zijn.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Nulsituatie. In de nulsituatie (2001) wordt in een gedeelte van de woningen langs het traject 's nachts niet voldaan aan de streefwaarden van de SBR richtlijn. In de buurt van het kruiswissel (Willem Zelleweg 5-7), en bij Parallelweg 4 is dat ook overdag het geval. Het gaat daarbij steeds om de streefwaarden voor het maximale trillingsniveau $V_{\max}$. Aan de streefwaarden voor het tijdgemiddelde niveau V_{per} wordt wel voldaan.

Toekomstige situatie. In 2020 zal in dezelfde woningen nog steeds niet worden voldaan aan de streefwaarden voor het maximale niveau $V_{\max}$. Alleen in de directe omgeving van het kruiswissel zal er tevens sprake zijn van een merkbare toename van $V_{\max}$ ten opzichte van 2001.

Het tijdgemiddelde niveau V_{per} zal overal merkbaar toenemen maar over het algemeen blijven voldoen aan de streefwaarde voor nieuwe situaties. Bij het kruiswissel wordt niet langer voldaan aan de streefwaarde voor V_{per} voor nieuwe situaties maar nog wel aan die voor bestaande situaties.

Goederentreinen. De toename van het aantal goederentreinen met een factor 5 heeft in de beoordeling uiteindelijk weinig consequenties. Het tijdgemiddelde trillingsniveau neemt weliswaar met een factor 2 toe maar speelt geen rol omdat de streefwaarden daarvoor relatief ruimer zijn dan die voor het maximale trillingsniveau. Volgens de SBR richtlijn is de situatie in 2020 vrijwel gelijk aan die in 2001: een situatie waar in veel woningen met name 's nachts niet wordt voldaan aan de streefwaarden.

Treinsnelheid. De meetresultaten hebben niet kunnen aantonen dat de snelheidsverlaging van 80 naar 60 km/uur tot (merkbaar) lagere trillingsniveaus leidt. Er is dus nog geen verklaring voor de door de Gemeente Goes waargenomen afname in trillingshinder in de omgeving sinds de verlaging van de maximum snelheid naar 60 km/uur in 2008.

6.2 Aanbevelingen

In woningen aan de Parallelweg, rond Patijnweg 92 en aan het begin van de Willem Zelleweg lagen de trillingsniveaus in 2001 boven de streefwaarden van de SBR richtlijn. Volgens de richtlijn dient ernaar gestreefd te worden om de trillingsniveaus op die locaties terug te brengen naar de streefwaarden voor bestaande situaties.

Bij de Willem Zelleweg en bij Parallelweg 4 is de noodzaak het grootst: daar wordt ook overdag de richtlijn overschreden en zorgt het project zelfs voor een merkbare toename in 2020.

Bij de **Willem Zelleweg** ligt de oorzaak naar alle waarschijnlijkheid in het **kruiswissel** dat daar in het spoor ligt. Het verdient daarom aanbeveling het kruiswissel aan te pakken. Een mogelijkheid is het kruiswissel te verplaatsen naar een locatie voldoende ver van woningen (zeg: 50 meter). Een andere optie is een wissel toe te passen met een

beweegbaar puntstuk (zoals bij 1:31,5-wissels), hetgeen ook de trillingen wegneemt. Als het kruiswissel als bron is weggenomen zal een aanmerkelijk reductie in trillingsniveau zijn bereikt.

De hoge trillingsniveaus bij **Parallelweg 4** zijn waarschijnlijk te verklaren door de nabij gelegen overweg. De meest voor de hand liggende bron zijn de dilataties in de spoorstaven aan weerszijden van de overweg. Aanpak van de overweg (of meer specifiek het vervangen van dilataties door lasverbindingen) zal de trillingsniveaus bij Parallelweg 4 en in de andere nabijgelegen woningen waarschijnlijk aanmerkelijk doen afnemen.

Dan resteert de nachtelijke overschrijdingen aan de **Parallelweg en rond Patijnweg 92**, in 2001 en in 2020. Een mogelijke maatregel hiervoor is verlaging van de baanvakssnelheid, tussen 23:00 uur en 7:00. Een verlaging van 80 km/uur naar 60 km/uur heeft volgens de meetresultaten echter onvoldoende effect.

Uit contacten met omwonenden is bij de Gemeente Goes de indruk ontstaan dat de situatie in de periode 2008-2010, toen de snelheid was teruggebracht naar 60 km/uur, door de bewoners als een verbetering is ervaren, hoewel het onderzoek daar dus geen fysische verklaring voor kan geven. De situatie zou ook als acceptabel worden ervaren, en mogelijk zelfs nog steeds bij toenemend goederenvervoer. Los van de vraag of de contacten met de omwonenden representatief zijn voor de hele omgeving en of deze contacten voldoende zuiver zijn om als graadmeter voor hinderbeleving te dienen, is deze discrepantie tussen beleving en fysische werkelijkheid te duiden met de psychosociale factoren die spelen rond hinderbeleving. Het is denkbaar dat de snelheidsverlaging een gevoel bij de omwonenden heeft opgeroepen dat er geluisterd wordt en acties worden ondernomen, wat een gunstig effect heeft op de hinderbeleving. Een andere factor betreft het effect van het gelijktijdig waarnemen van geluid en trillingen van treinpassages op perceptie en op hinderbeleving. Een aantal mechanismen spelen hierbij een rol. In dit geval kan het bij 60 km/uur enkele dB's lagere geluidsniveau per saldo een gunstige uitwerking op de beleving van trillingen hebben gehad.

Aangezien het uiteindelijk niet om trillingsniveaus maar om hinderbeleving gaat zou te overwegen zijn om de maximumsnelheid van 60 km/uur in te voeren op grond van een afname in hinderbeleving. De vraag is echter wel of de psycho-sociale factoren die hierbij spelen in de toekomst niet veranderen.

Kort samengevat kan het volgende worden gesteld over **maatregelen voor 2020**.

Om stand-still t.o.v. 2001 te bereiken is het voldoende om het kruiswissel en de overweg aan te pakken. Dan geldt tevens dat overdag en 's avonds aan de streefwaarde van 0,8 van de SBR wordt voldaan.

Om geheel aan de SBR-richtlijn te voldoen, dus ook aan de nachtelijke streefwaarde van 0,4, is nog een extra maatregel nodig. Een maatregel kan zijn om 's nachts de snelheid te beperken. Gebleken is dat een verlaging tot 60 km/uur daartoe onvoldoende is. Uitgezocht zou moeten worden welke maximum snelheid wel voldoende effectief is. Het alternatief voor snelheidsbeperkingen zijn civieltechnische maatregelen zoals het toepassen van een spoorbak, zie daarvoor ref. [5].

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Gemeente Goes

Dhr. A.J. Potter

Afd. Openbare Ruimte

Postbus 2118

4460 MC GOES

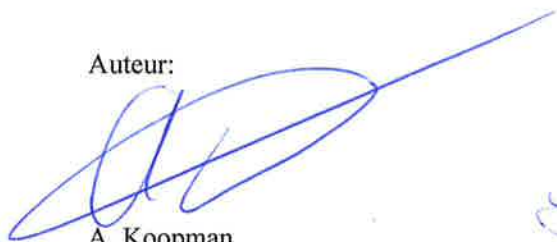
Projectteam:

Arnold Koopman

Sven Lentzen

Flavio Galanti

Auteur:



A. Koopman

Visa 2^e lezer



S. Lentzen

Goedkeuring:



P.P. van 't Veen
Research Manager

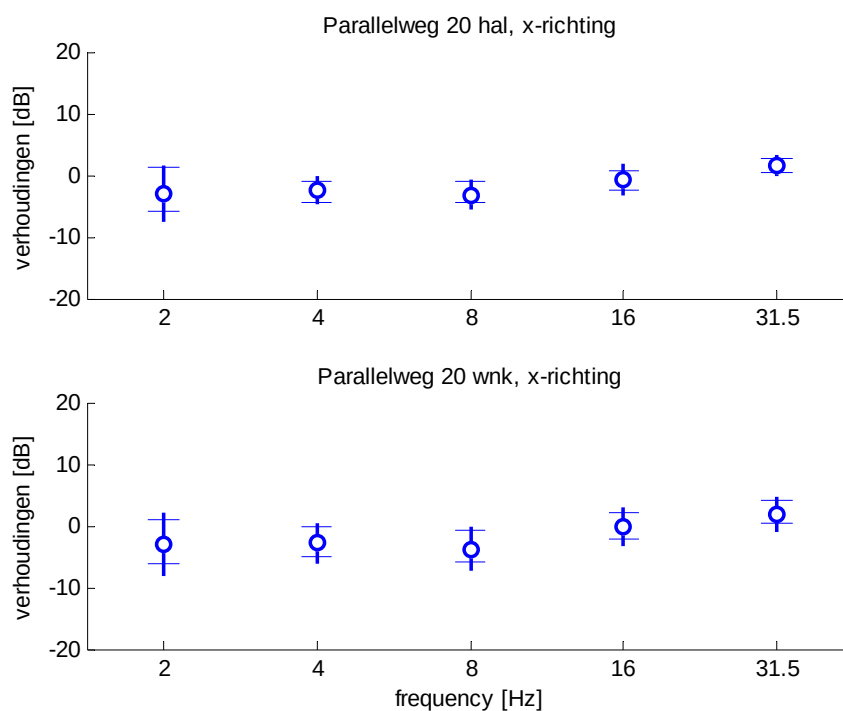
Referenties

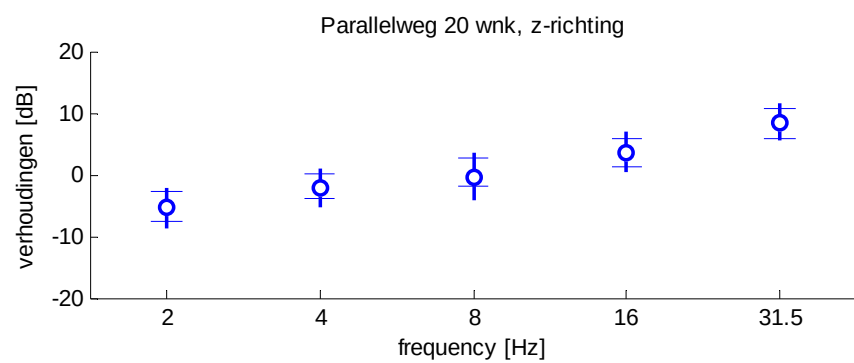
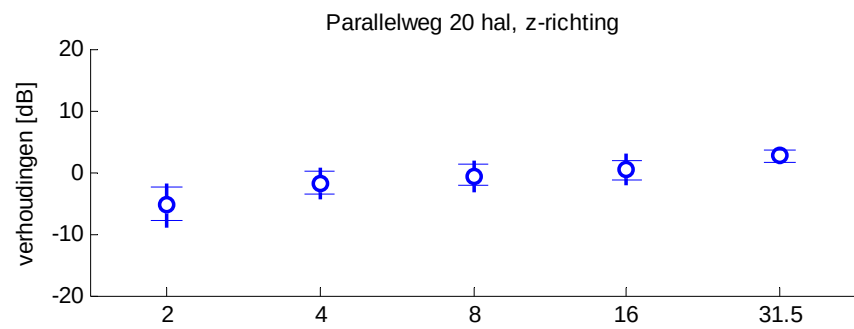
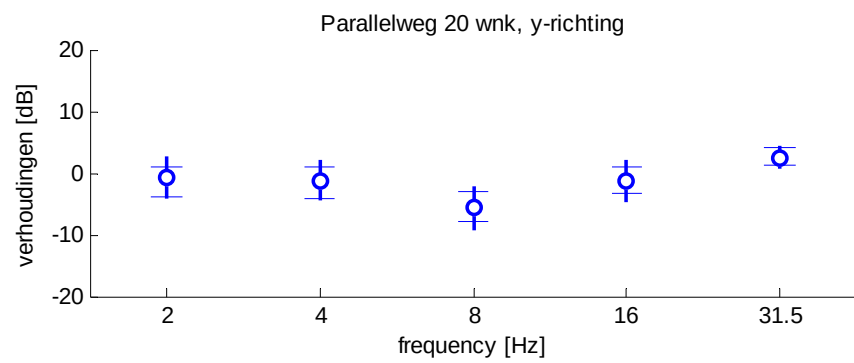
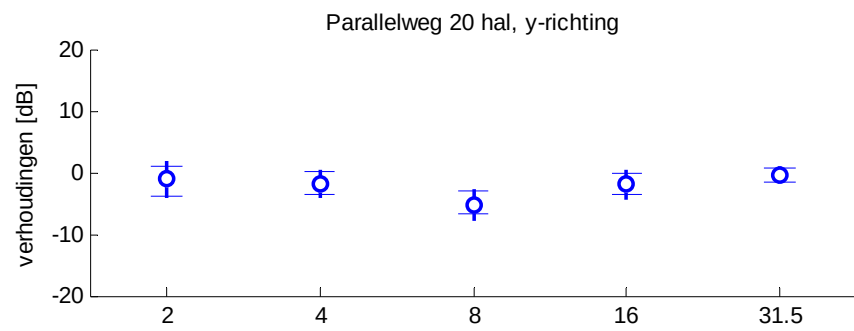
- [1] Koopman, A. e.a. *Quick-scan Goes*, TNO memo, 1 juli 2010
- [2] SBR, *Trillingen: meet en beoordelingsrichtlijnen. Deel A, Schade aan gebouwen*, 2006.
- [3] SBR, *Trillingen: meet en beoordelingsrichtlijnen. Deel B, Hinder voor personen*, 2006.
- [4] Peutz, *Trillingniveaus vanwege Zeeuwse lijn te Goes, Bemande trillingmetingen Peutz in woningen oktober 2010*, rapport VL 849-9-RA-001, 7 februari 2011
- [5] Koopman, A., Galanti, F., Burggraaf, H. *Spoor door Goes: studie naar de effectiviteit van een betonnen spoorbak op maaiveld als trillingsreducerende maatregel*, TNO Rapport TNO-060-DTM-2011-02597, oktober 2011
- [6] Koopman, A. *Trillingen en LF Geluid 2008. Kennisdocument van het Kenniscentrum Spoorgeluid*, ProRail Kenniscentrum Spoorgeluid, 15 april 2008.
- [7] Peutz, *Trillingniveaus vanwege Zeeuwse lijn te Goes, Onbemande trillingmetingen Peutz aan goederentreinen april 2011*, rapport VL 849-12-RA, 22 september 2011

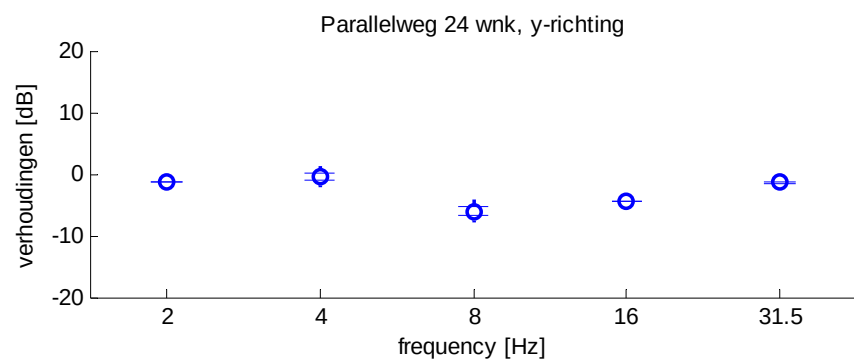
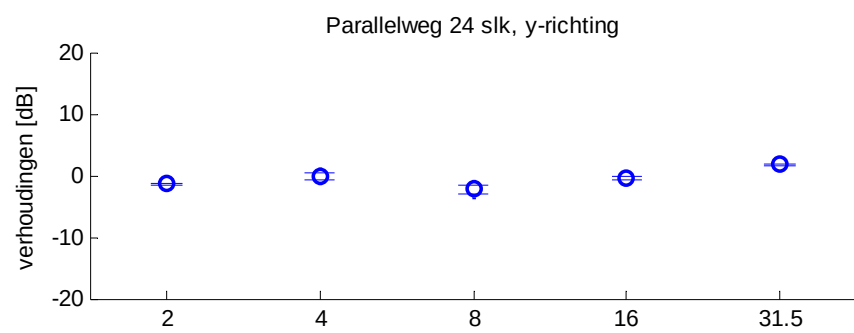
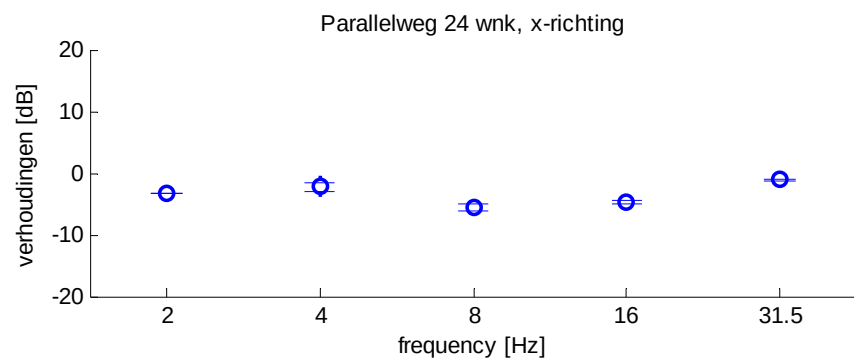
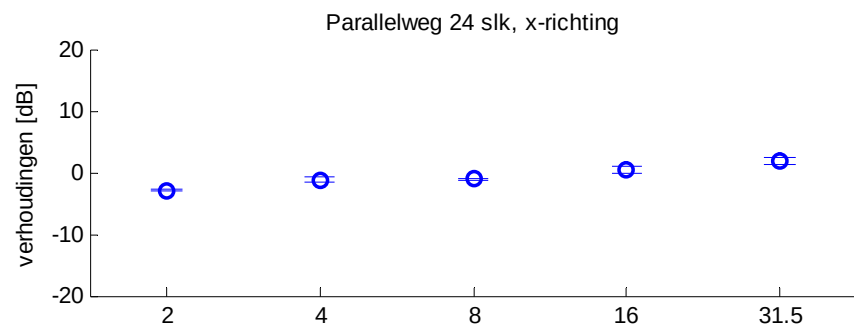
A Meting 1 – Verhouding trillingsniveau tussen woningen en referentielocaties

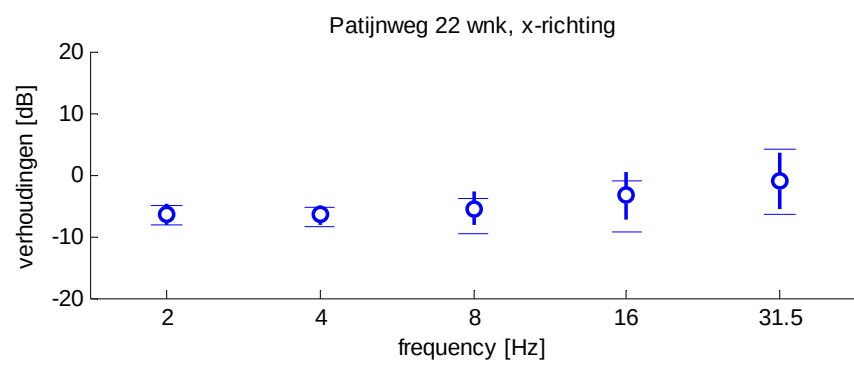
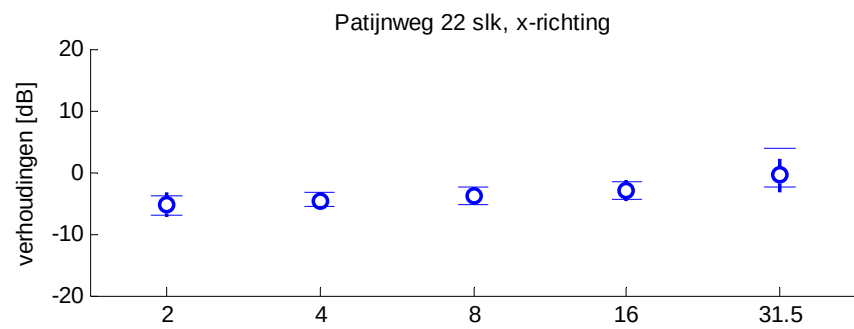
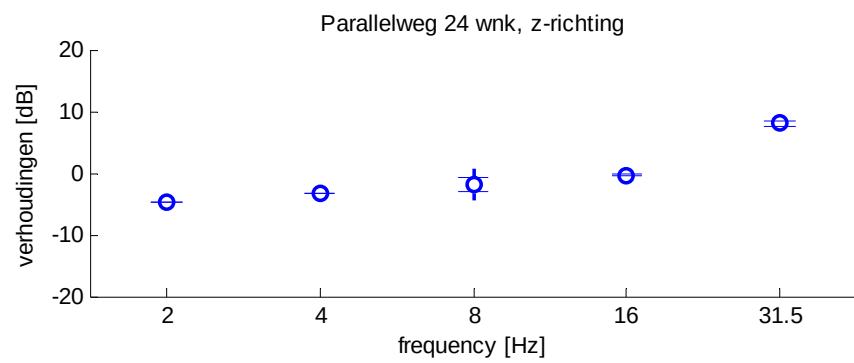
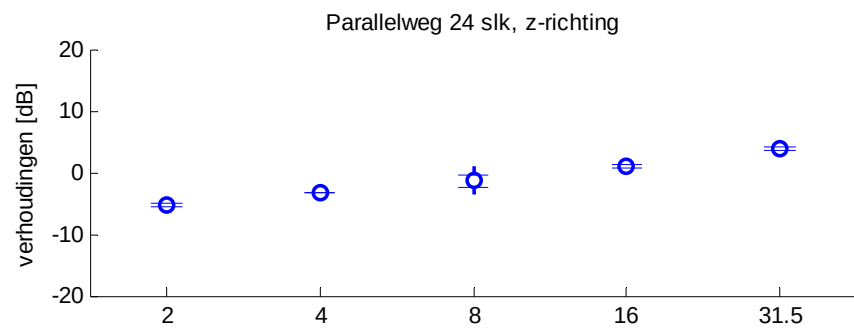
In deze bijlage worden de verhoudingen tussen het niveau gemeten in een woning en de dichtstbijzijnde referentielocatie per octaafband weergegeven.

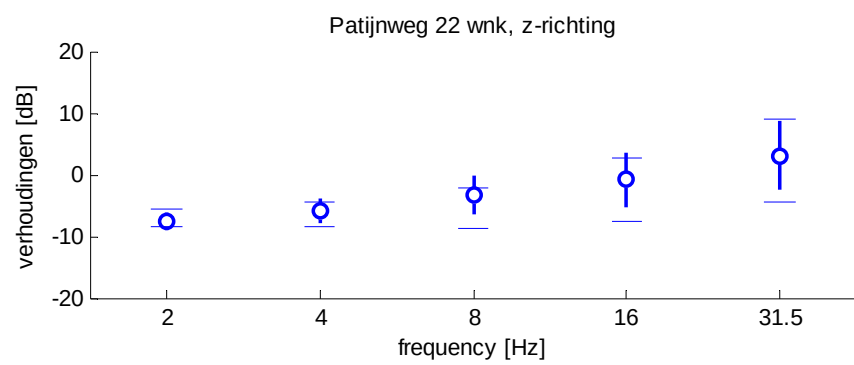
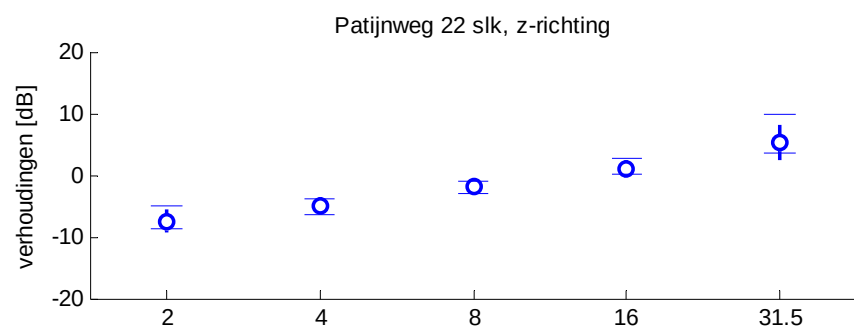
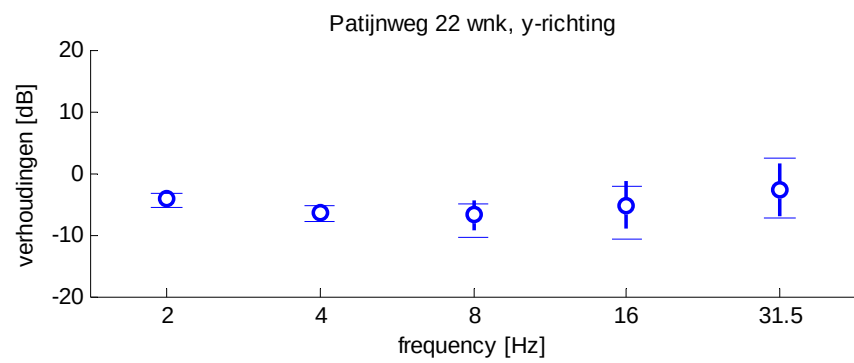
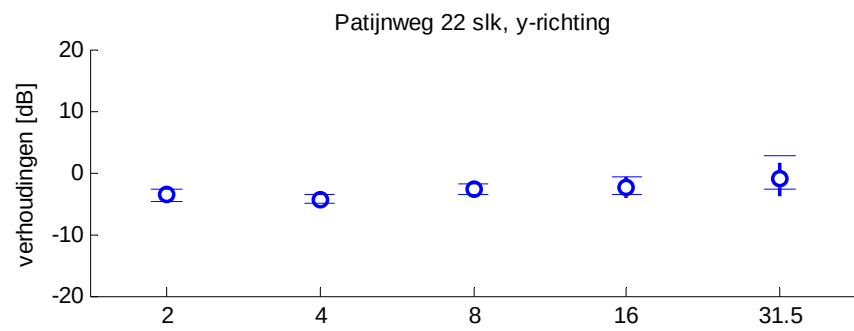
Adres	Bijbehorende referentielocatie
Willem Zelleweg 7	1 (van Dusseldorpstraat 5)
Patijnweg 22	
Patijnweg 40	
Willem Zelleweg 59	2 (Kon. Wilhelminastraat 5)
Patijnweg 92	
Parallelweg 20	
Parallelweg 24	

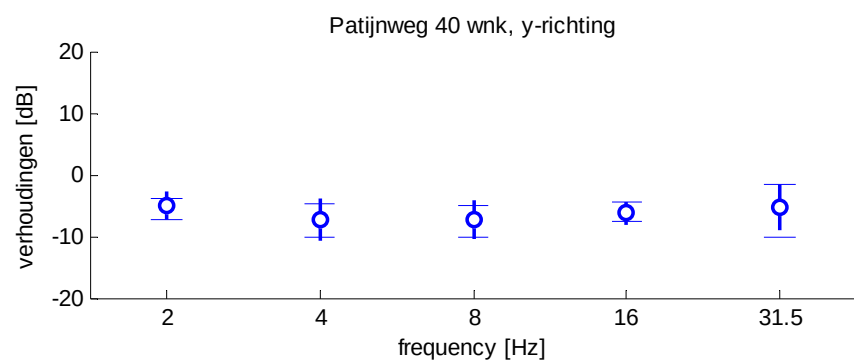
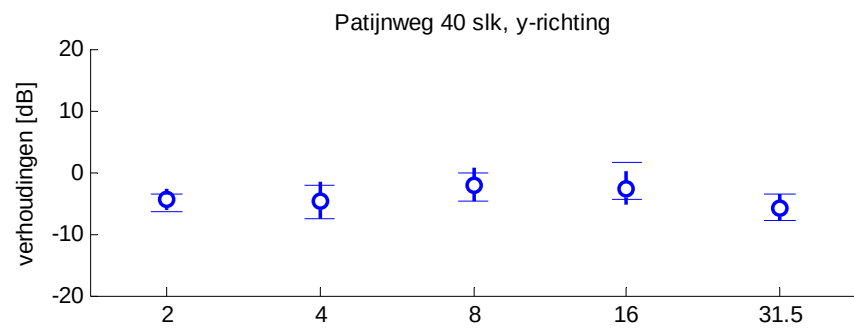
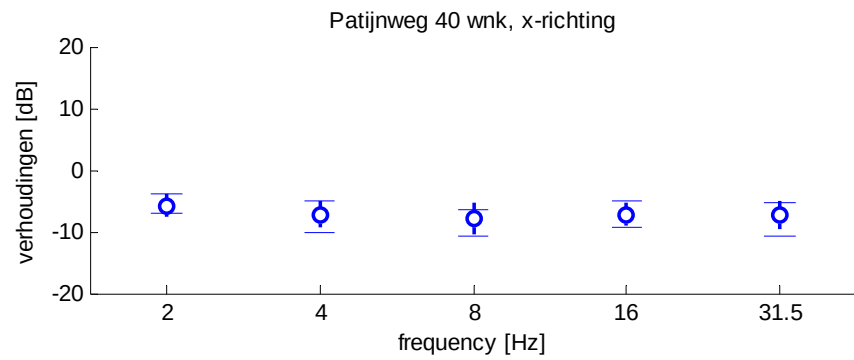
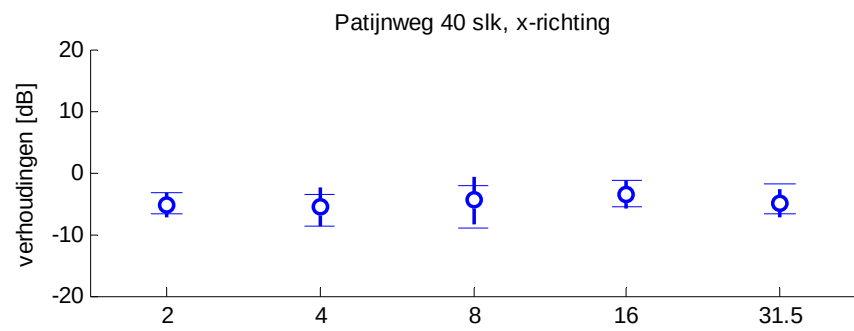


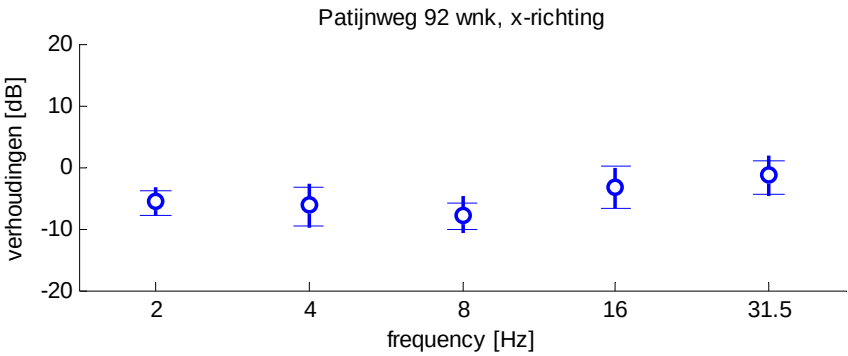
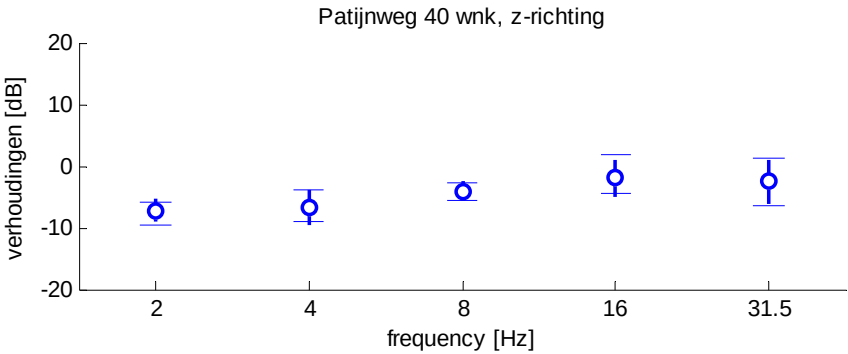
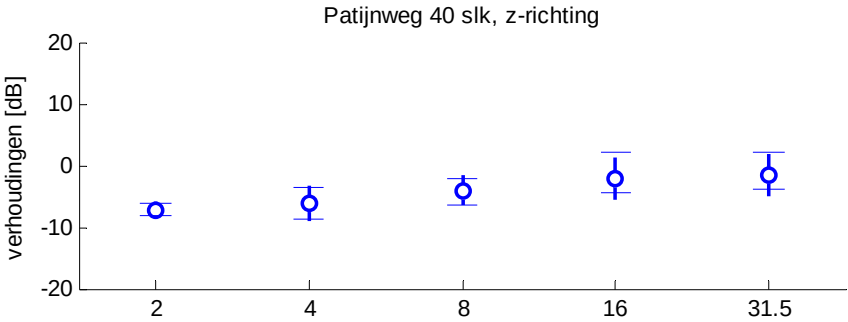


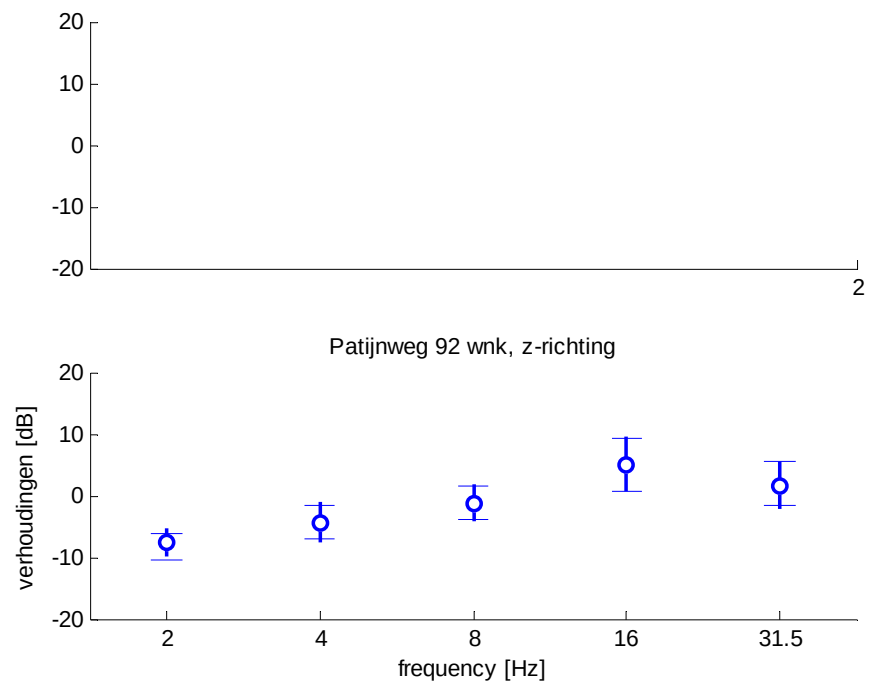
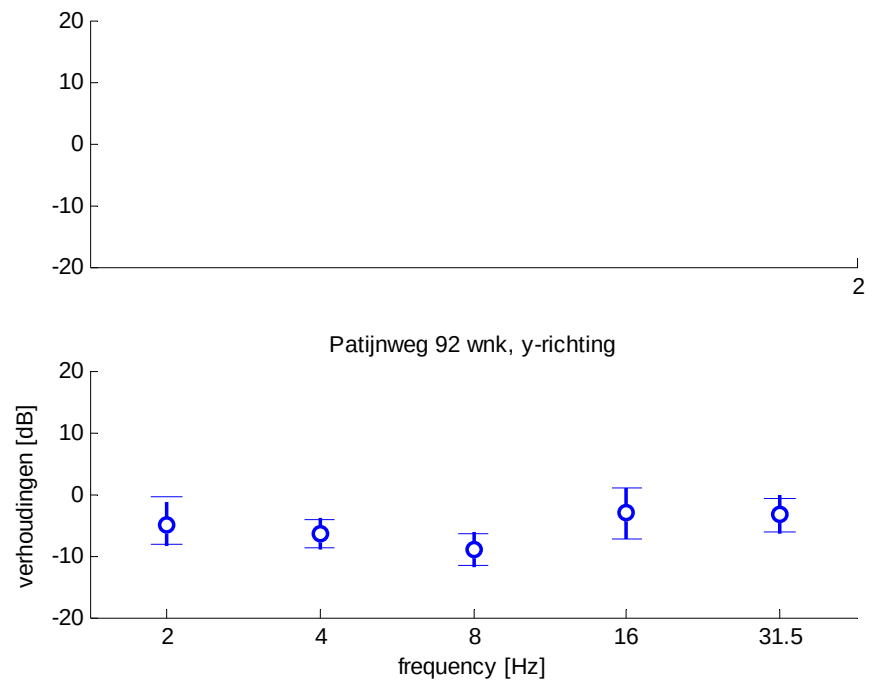


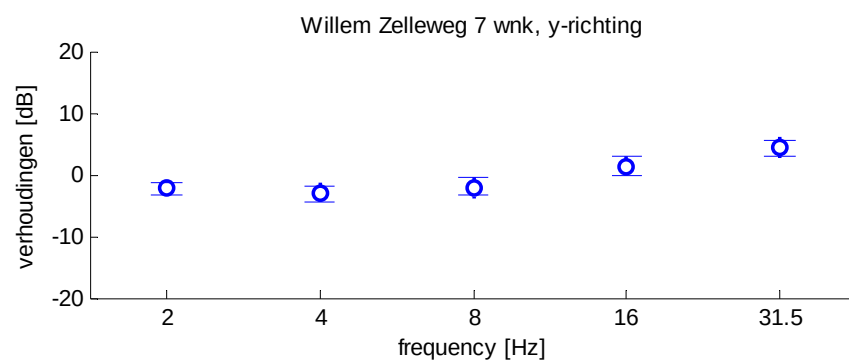
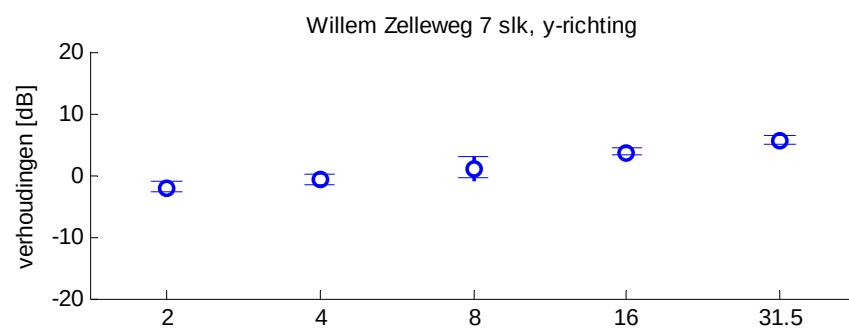
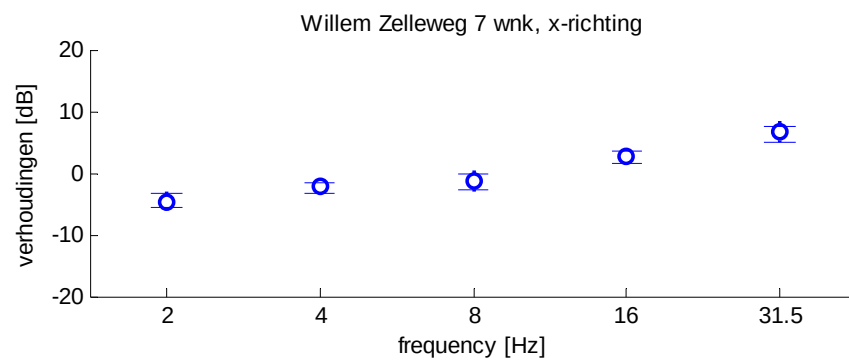
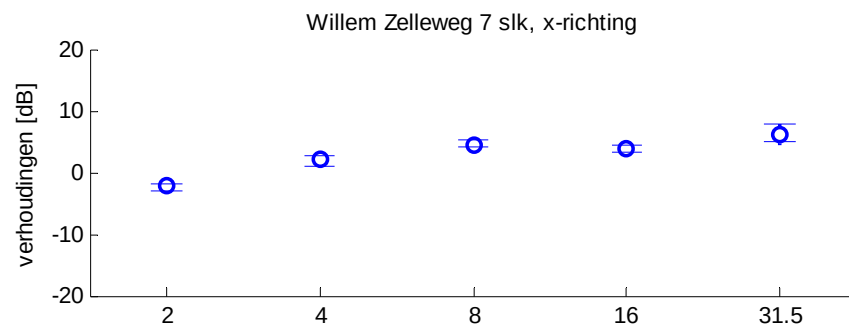


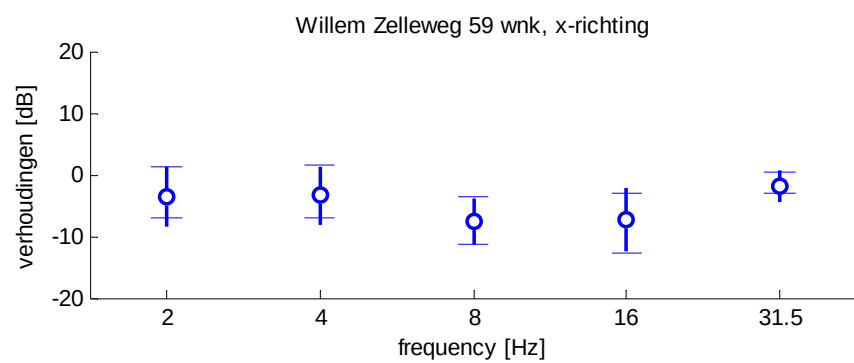
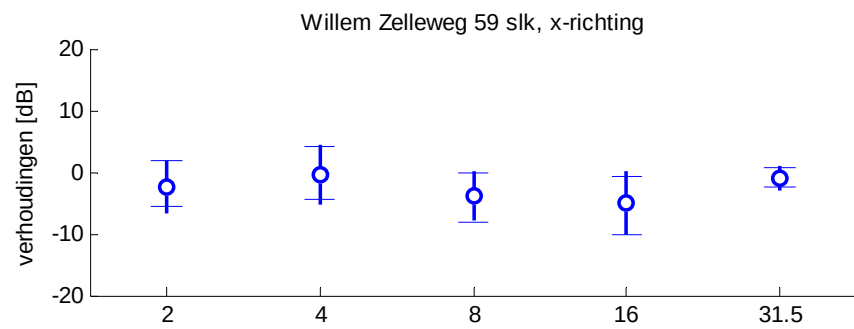
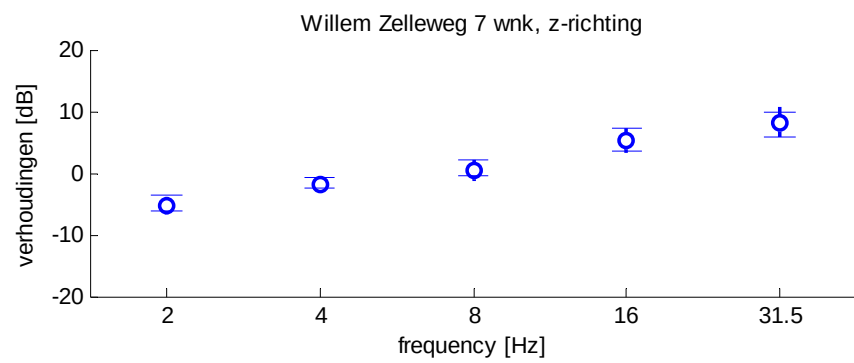
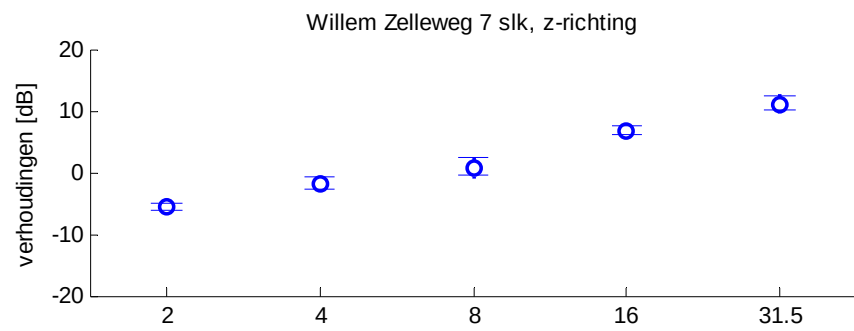


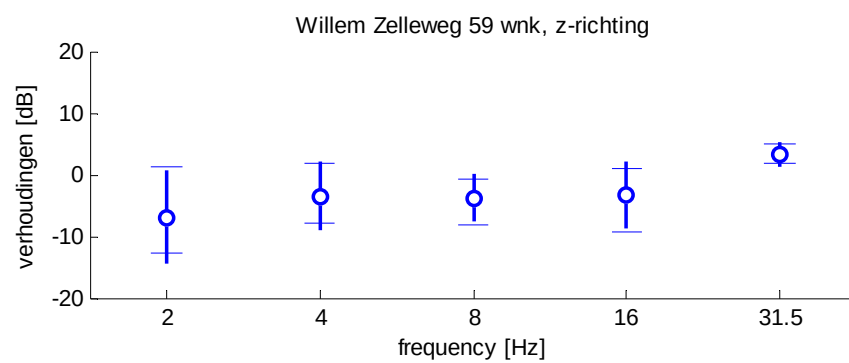
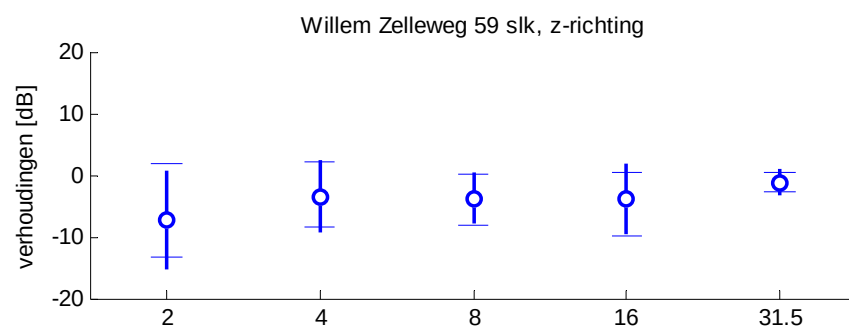
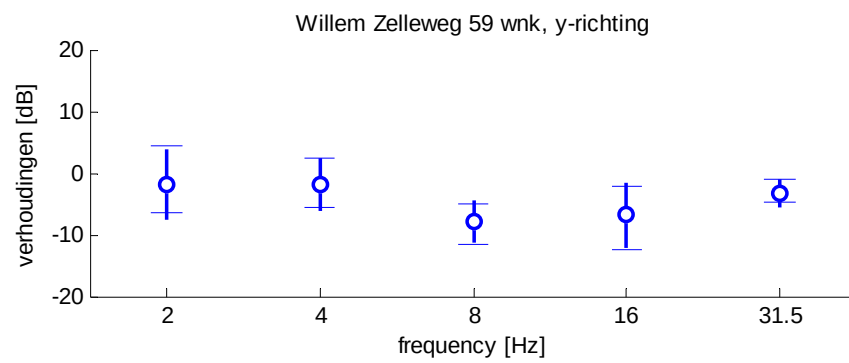
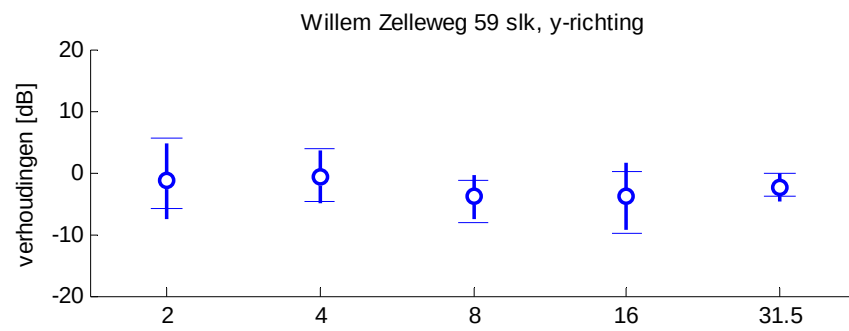












B Overzicht realisatie goederentreinen in de periode van de tweede meting

rijrichting	aantal assen	gemiddelde aslast	opmerking	trein-nummer	vervoerder	realisatietijd bij Goes
West	64	93		61072	D	04/04/2011 6:29
Oost	82	96		48681	B	04/04/2011 10:25
West	16	132		50104	A	04/04/2011 10:27
Oost	20	199		50009	A	04/04/2011 14:39
West	86	86	lege gastrein	51108	C	04/04/2011 15:33
Oost	67	93		49755	D	04/04/2011 17:43
Oost	136	204		61704	D	04/04/2011 20:21
Oost	82	93		47735	D	04/04/2011 22:42
West	114	104		61071	D	05/04/2011 0:37
Oost	20	197		61701	D	05/04/2011 2:56
Oost	114	200	beladen papier	48527	C	05/04/2011 3:18
West	80	136		50940	H	05/04/2011 4:41
West	83	128		47730	D	05/04/2011 6:28
West	4	207	loc aankomst	53124	E	05/04/2011 9:32
Oost	4	207	loc vertrek	53125	E	05/04/2011 9:59
Oost	4	201	loc aankomst	53131	E	05/04/2011 12:42
Oost	4	201	loc vertrek	53131	E	05/04/2011 12:42
West	83	129		49754	D	05/04/2011 13:34
Oost	16	191		50009	A	05/04/2011 14:18
Oost	83	91		47737	D	05/04/2011 15:42
Oost	52	189		61704	D	05/04/2011 20:19
Oost	80	101		50950	H	05/04/2011 22:19
Oost	83	91		47735	D	05/04/2011 22:43
West	96	83		61071	D	06/04/2011 0:49
Oost	52	213		61701	D	06/04/2011 2:46
West	80	136		50940	H	06/04/2011 3:53
West	100	80		61072	D	06/04/2011 7:02
West	85	130		47730	D	06/04/2011 7:30
West	16	131		50104	A	06/04/2011 10:31
Oost	16	205		50009	A	06/04/2011 14:38
West	108	76	leeg	48528	C	06/04/2011 18:31
Oost	64	160		61704	D	06/04/2011 20:22
West	81	138		49754	D	06/04/2011 21:35
Oost	80	101		50950	H	06/04/2011 22:21
Oost	85	89		47735	D	06/04/2011 22:43
West	112	78		61071	D	07/04/2011 0:43
Oost	132	184		61701	D	07/04/2011 2:51

rijrichting	aantal assen	gemiddelde aslast	opmerking	trein-nummer	vervoerder	realisatietijd bij Goes
West	84	133		47730	D	07/04/2011 6:28
West	128	95		61072	D	07/04/2011 8:04
Oost	48	212		61702	D	07/04/2011 9:24
West	16	135		50104	A	07/04/2011 9:53
West	83	129		47732	D	07/04/2011 13:30
Oost	20	193		50009	A	07/04/2011 14:20
Oost	81	93		47737	D	07/04/2011 15:43
West	124	90		61074	D	07/04/2011 19:01
Oost	72	180		61704	D	07/04/2011 20:23
West	48	89		61071	D	08/04/2011 0:32
Oost	104	209	beladen papier	48525	C	08/04/2011 1:40
West	84	134		47730	D	08/04/2011 6:28
Oost	56	208		61702	D	08/04/2011 9:19
West	20	125		50104	A	08/04/2011 10:02
West	88	80		51500	F	08/04/2011 11:51
Oost	16	201		50009	A	08/04/2011 14:40
Oost	76	90		47737	D	08/04/2011 15:43
Oost	86	208	beladen gastrein	51101	C	08/04/2011 17:57
West	132	93		61074	D	08/04/2011 18:01
Oost	91	199		61704	D	08/04/2011 20:17
West	120	117		61071	D	09/04/2011 0:32
Oost	88	220		50550	G	09/04/2011 1:22
Oost	84	202		61701	D	09/04/2011 2:37
West	92	88		61072	D	09/04/2011 6:34
West	84	80	leeg	48526	C	09/04/2011 9:55
West	80	137		47730	D	09/04/2011 10:31
Oost	84	90		47739	D	09/04/2011 11:49
West	16	99		61072	D	11/04/2011 6:34
West	16	134		50104	A	11/04/2011 9:51
Oost	20	195		50009	A	11/04/2011 14:14
Oost	100	166		61704	D	11/04/2011 20:19
Oost	80	95		47735	D	11/04/2011 22:46
West	84	131		49752	D	12/04/2011 0:17
West	72	140		50940	H	12/04/2011 4:53
West	90	70		61072	D	12/04/2011 6:31
West	82	135		47730	D	12/04/2011 7:27
Oost	28	212		61702	D	12/04/2011 9:22
West	20	125		50104	A	12/04/2011 10:29
Oost	16	203		50009	A	12/04/2011 14:46
West	83	133		47732	D	12/04/2011 16:28
Oost	84	90		47737	D	12/04/2011 18:20
Oost	100	194		61704	D	12/04/2011 20:19

rijrichting	aantal assen	gemiddelde aaslast	opmerking	trein-nummer	vervoerder	realisatietijd bij Goes
Oost	72	102		50950	H	12/04/2011 21:46
Oost	82	91		47735	D	12/04/2011 22:50
West	48	125		61071	D	13/04/2011 0:36
Oost	48	214		61701	D	13/04/2011 2:48
West	72	140		50940	H	13/04/2011 3:08
West	83	138		47730	D	13/04/2011 6:08
West	80	73		61072	D	13/04/2011 7:03
Oost	36	214		61702	D	13/04/2011 9:21
West	16	133		50104	A	13/04/2011 10:00
West	80	125		49754	D	13/04/2011 13:30
Oost	20	191		50009	A	13/04/2011 14:42
Oost	83	90		49741	D	13/04/2011 15:26
Oost	122	189		61704	D	13/04/2011 20:21
Oost	72	102		50950	H	13/04/2011 21:15
Oost	83	93		47735	D	13/04/2011 22:45
West	54	76		61071	D	14/04/2011 0:31
Oost	64	214		61701	D	14/04/2011 2:42
West	40	92		61072	D	14/04/2011 6:37
Oost	58	204		61702	D	14/04/2011 9:17
West	20	125		50104	A	14/04/2011 9:57
West	84	132		47732	D	14/04/2011 13:32
Oost	16	194		50009	A	14/04/2011 14:42
Oost	84	89		47737	D	14/04/2011 15:21
Oost	80	90		47735	D	14/04/2011 22:43
West	28	98		61071	D	15/04/2011 0:31
Oost	84	199		48525	C	15/04/2011 1:25
West	86	90		51103	C	15/04/2011 1:28
Oost	86	179		61701	D	15/04/2011 2:45
West	82	133		47730	D	15/04/2011 6:29
Oost	80	86		49743	D	15/04/2011 8:23
West	16	133		50104	A	15/04/2011 10:26
West	81	131		47732	D	15/04/2011 13:30
Oost	20	175		50009	A	15/04/2011 14:42
Oost	82	91		47737	D	15/04/2011 15:25
West	83	148		48680	B	16/04/2011 0:11
West	120	75		61071	D	16/04/2011 0:29
Oost	140	199		61701	D	16/04/2011 2:39
Oost	86	96		48681	B	16/04/2011 3:56
West	82	136		47730	D	16/04/2011 9:19
Oost	81	91		47739	D	16/04/2011 11:20
West	104	78	leeg	48526	C	16/04/2011 11:53
West	28	89		57407	I	17/04/2011 0:07

rijrichting	aantal assen	gemiddelde aslast	opmerking	trein-nummer	vervoerder	realisatietijd bij Goes
Oost	28	69	tijden?	57408	I	17/04/2011 8:26
Oost	10	155		48681	B	17/04/2011 21:50
West	100	77		61072	D	18/04/2011 6:27
Oost	20	206		61702	D	18/04/2011 8:29
West	20	125		50104	A	18/04/2011 9:55
Oost	16	200		50009	A	18/04/2011 14:42
West	100	79		61074	D	18/04/2011 17:59
Oost	116	202		61704	D	18/04/2011 20:25
Oost	82	90		47735	D	18/04/2011 22:43
West	80	74		61071	D	19/04/2011 0:30
Oost	106	196	beladen	48527	C	19/04/2011 1:44
Oost	100	203		61701	D	19/04/2011 3:02
West	82	137		50940	H	19/04/2011 4:22
West	86	125		47730	D	19/04/2011 6:29
West	4	190	loc aankomst	53124	E	19/04/2011 9:28
Oost	4	190	loc vertrek	53125	E	19/04/2011 9:57
West	9	166	locs	57659	I	19/04/2011 10:00
West	16	131		50104	A	19/04/2011 10:02
West	88	78		50550	G	19/04/2011 10:07
Oost	4	187	loc aankomst	53131	E	19/04/2011 12:51
West	81	132		47732	D	19/04/2011 13:27
Oost	20	192		50009	A	19/04/2011 14:40
Oost	86	87		47737	D	19/04/2011 15:29
Oost	81	91		47735	D	19/04/2011 22:43
West	100	74		61071	D	20/04/2011 0:27
West	70	144		48680	B	20/04/2011 0:32
West	11	147	werktrein	55831/2	J	20/04/2011 0:56
Oost	82	102		50950	H	20/04/2011 1:33
Oost	92	191		61701	D	20/04/2011 2:55
Oost	88	212		50552	G	20/04/2011 3:28
Oost	83	99		48681	B	20/04/2011 4:16
Oost	11	144	werktrein	55833/2	J	20/04/2011 5:44
West	84	130		47730	D	20/04/2011 6:22
West	72	84		61072	D	20/04/2011 6:36
West	20	186		47605	D	20/04/2011 7:04
West	78	142		50940	H	20/04/2011 7:58
Oost	16	186		60010	D	20/04/2011 9:27
West	20	123		50104	A	20/04/2011 12:15
West	83	131		47794	D	20/04/2011 13:31
Oost	84	93		49745	D	20/04/2011 15:26
Oost	16	205		50009	A	20/04/2011 15:42
West	94	79		51104	C	20/04/2011 17:30

rijrichting	aantal assen	gemiddelde aslast	opmerking	trein-nummer	vervoerder	realisatietijd bij Goes
West	32	81		50132	A	20/04/2011 17:34
Oost	68	175		61704	D	20/04/2011 20:24
Oost	83	92		47735	D	20/04/2011 22:45
Oost	78	103		50950	H	20/04/2011 23:53
West	72	85		61071	D	21/04/2011 0:41
Oost	76	215		61701	D	21/04/2011 2:49
West	88	126		47730	D	21/04/2011 6:26
Oost	11	145	werktrein aankomst	55835	J	21/04/2011 5:45
West	16	134		50103/4	A	21/04/2011 9:31
Oost	20	194		50009	A	21/04/2011 14:43
West	82	131		47732	D	21/04/2011 14:56
Oost	88	90		47737	D	21/04/2011 17:24
Oost	108	195		61704	D	21/04/2011 20:19
Oost	86	96		47735	D	21/04/2011 22:45
West	76	75		61071	D	22/04/2011 0:34
Oost	84	202		61701	D	22/04/2011 2:52
West	87	133		47730	D	22/04/2011 6:14
West	32	83		61072	D	22/04/2011 6:32
West	20	123		50104	A	22/04/2011 10:29
West	88	78		50550	G	22/04/2011 11:28
Oost	16	202		50009	A	22/04/2011 14:41
West	40	95		61074	D	22/04/2011 17:58
Oost	108	206		61704	D	22/04/2011 20:23
Oost	88	214		50551	G	23/04/2011 2:01
West	66	94		61072	D	23/04/2011 6:28
Oost	48	202		61702	D	23/04/2011 8:21
West	100	92		47796	D	23/04/2011 9:30

C Meting 2: relatie tussen trillingen in woningen en treinsnelheid

C.1 Beschikbare resultaten

De resultaten van meting 2 betreffen alleen passages van goederentrein tijdens de meetperiode. Voor deze passages zijn de volgende resultaten bepaald:

- de snelheid
- het trillingsniveau in de fundering van de referentiepanelen

Voor wat betreft de door Peutz geïnstrumenteerde woningen in de aanvullende meting worden in dit rapport geen resultaten gepresenteerd.

Beschikbaarheid data

Er zijn enkele onderbrekingen in de continue meetdata voor Ref 3, tussen 12/4 22h en 13/4 16:30h. Voor Ref. 1 is er geen data beschikbaar na 17/4 19:30h.

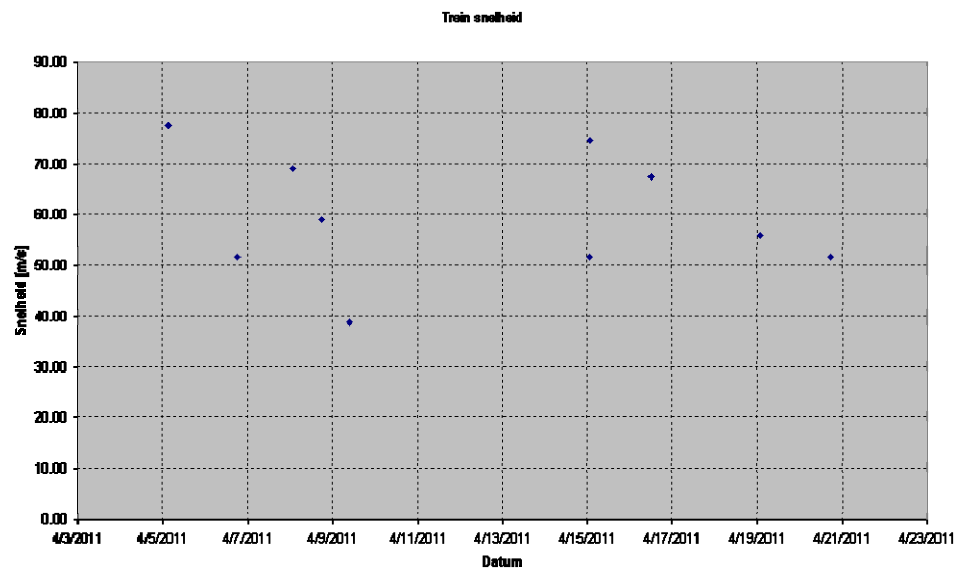
C.2 Gerealiseerde treinsnelheden

Tabel 11 geeft de treinsnelheid van de 11 passages van Captrain België in de meetperiode. Het verloop van de treinsnelheid met de tijd is in Figuur 18 te zien. Het verloop van de treinsnelheid van alle 190 goederentrein passages (volgens het overzicht van de gemeente Goes) is in Figuur 19 weergegeven.

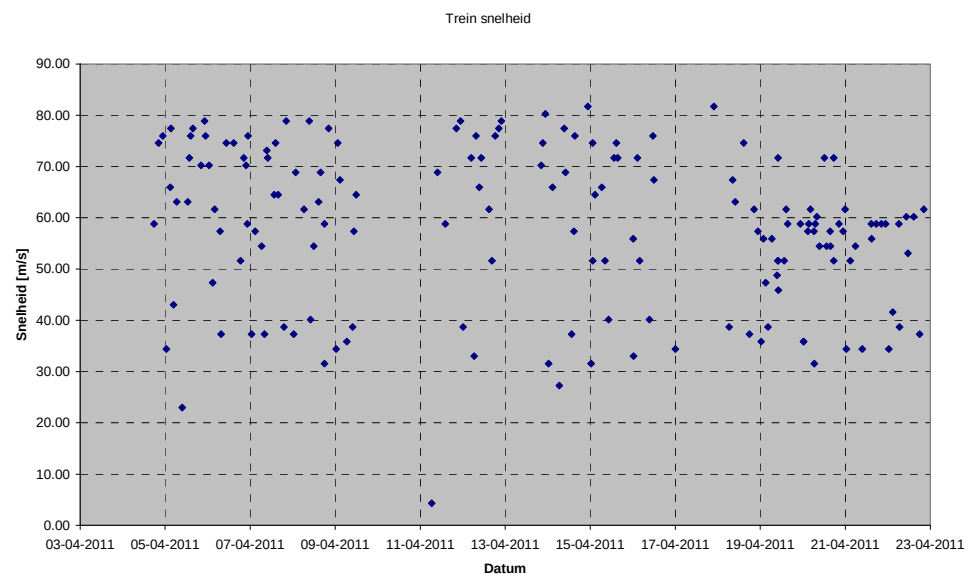
Tabel 11: Snelheid passages van Captrain België.

Realisatietijd Goes	Rijrichting	opmerking	treinnummer	Snelheid [km/h]
04/04/2011 15:33	West	lege gastrein	51108	- (*)
05/04/2011 03:18	Oost	beladen papier	48527	77
06/04/2011 18:31	West	leeg	48528	52
08/04/2011 01:40	Oost	beladen papier	48525	69
08/04/2011 17:57	Oost	beladen gastrein	51101	59
09/04/2011 09:55	West	leeg	48526	39
15/04/2011 01:25	Oost		48525	75
15/04/2011 01:28	West		51103	52
16/04/2011 11:53	West	leeg	48526	67
19/04/2011 01:44	Oost	beladen	48527	56
20/04/2011 17:30	West		51104	52

(*) Bij deze passage was de radar meetapparatuur nog niet ingesteld.



Figuur 18: Treinsnelheid treinen van Captrein België in de meetperiode.

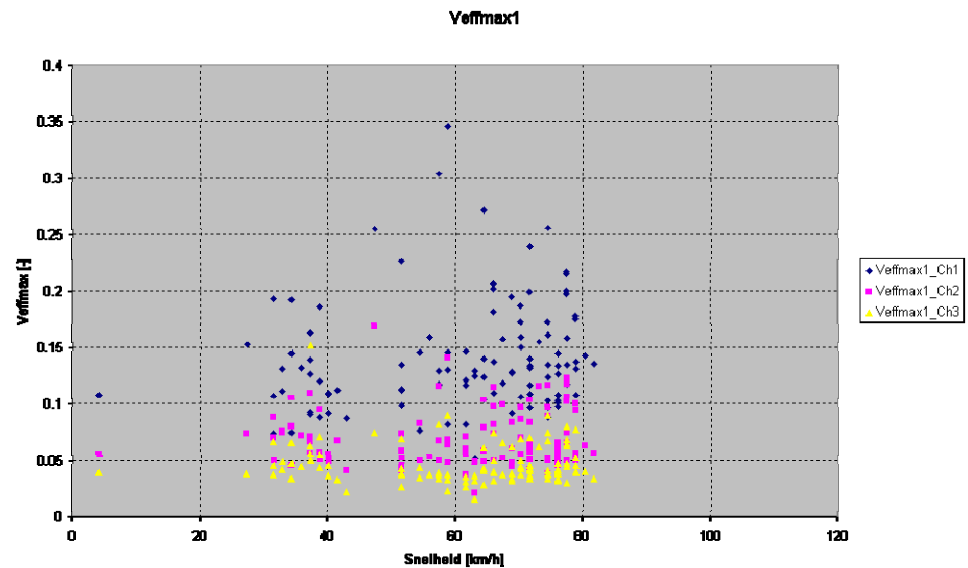


Figuur 19: Treinsnelheid van alle goederentreinen in de meetperiode.

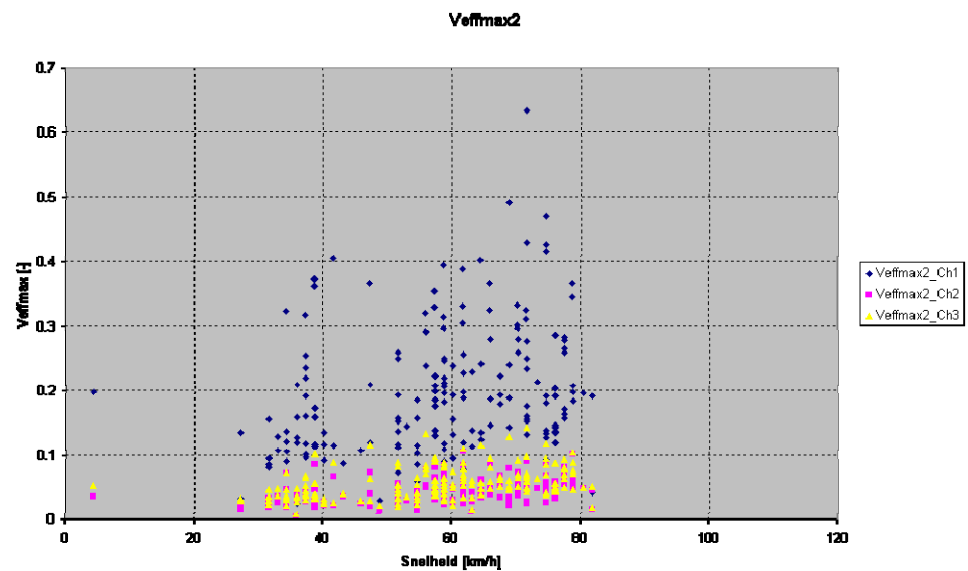
C.3 Relatie trillingsniveau – snelheid goederen trein

In Figuur 20, Figuur 21 en Figuur 22 wordt het trillingsniveau aan de fundering ($V_{\text{eff,max}}$) tegen treinsnelheid gezet. Per passage is het niveau op de drie locaties in een grafiek weergegeven ($V_{\text{eff,max}1}$ = Referentieband 1, $V_{\text{eff,max}2}$ = Ref. 2, $V_{\text{eff,max}3}$ = Ref. 3). Per grafiek is het niveau in drie verschillende richtingen weergegeven namelijk: vertikaal (Ch.1), horizontaal loodrecht op het spoor (Ch. 2) en horizontaal evenwijdig aan het spoor (Ch. 3).

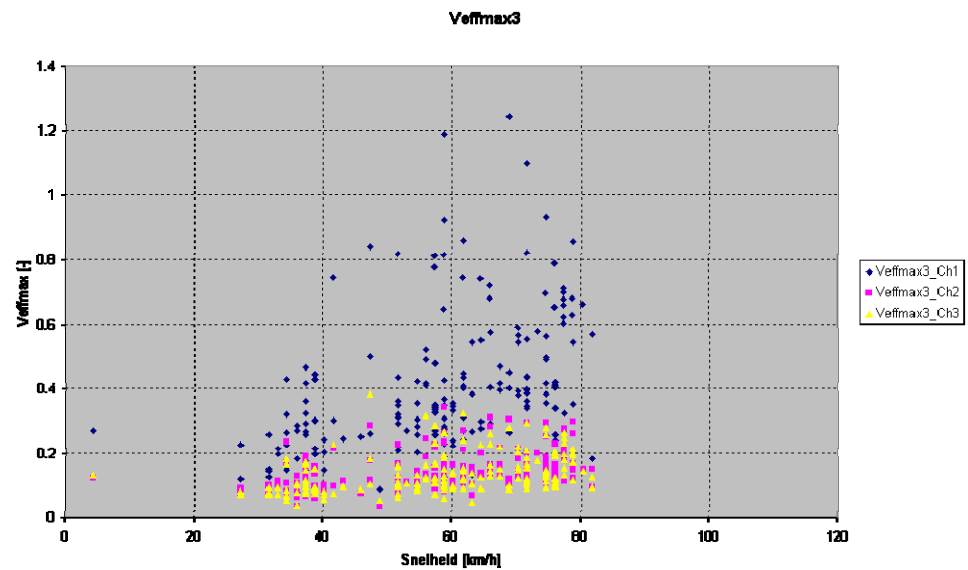
De hoogste trillingsniveaus zijn bij referentiepand 3 (Parallelweg 4) gevonden. Tevens is een verband tussen snelheid van de treinen en het trillingsniveau aan de fundering van de referentiepanden niet duidelijk herleidbaar. De niveaus lijken wel gemiddeld toe te nemen met snelheid, maar de grootste niveaus worden al bij een snelheid van 60 km/u gevonden.



Figuur 20: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentiepand 1 (alle goederentreinen in de meetperiode).



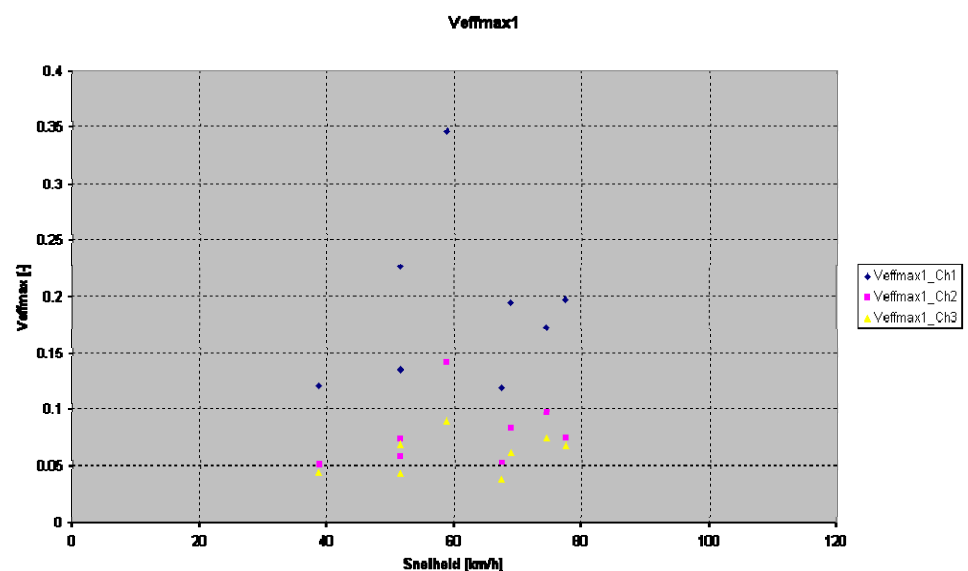
Figuur 21: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentiepand 2 (alle goederentreinen in de meetperiode).



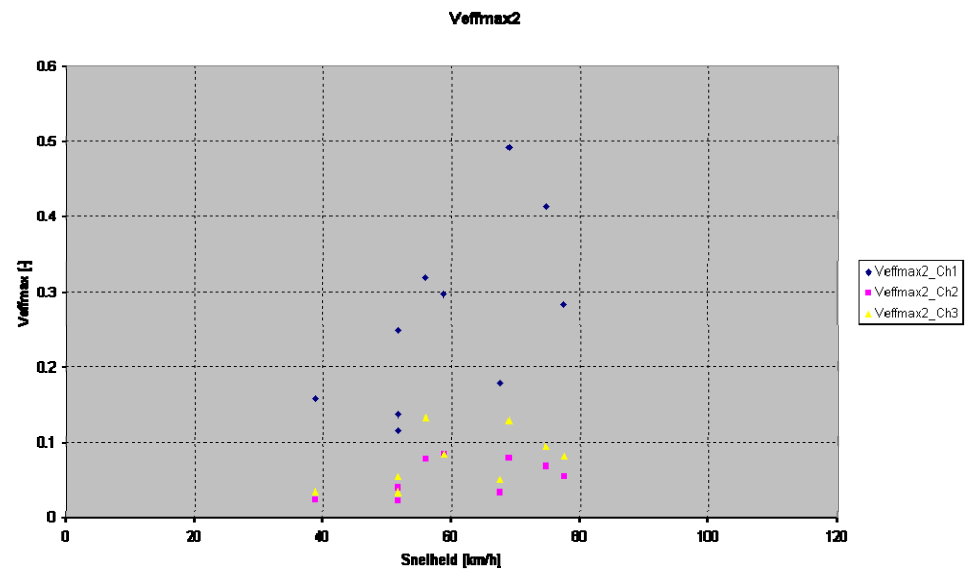
Figuur 22: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentieband 3 (alle goederentreinen in de meetperiode).

C.4 Relatie trillingsniveau – snelheid goederen trein voor Captrain België

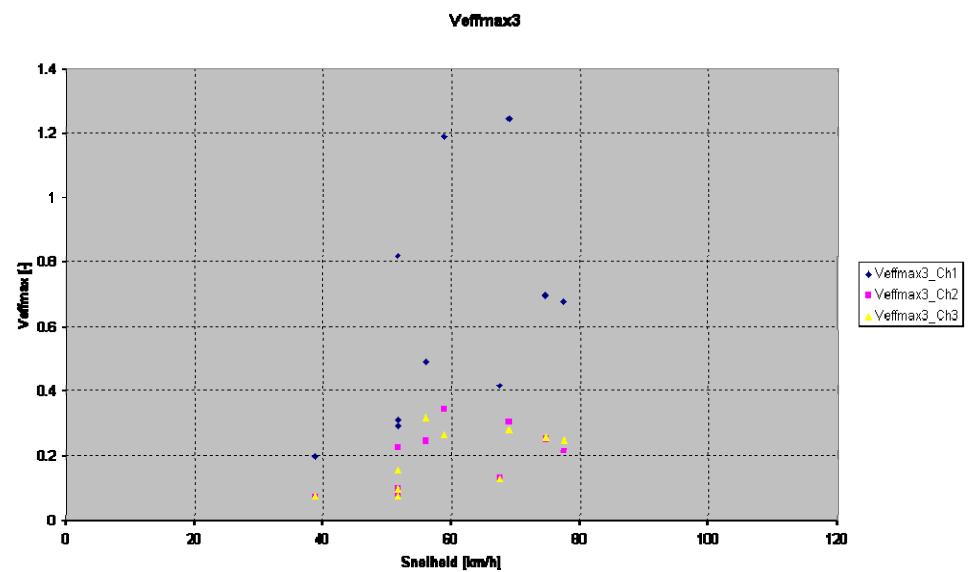
Op gelijke wijze als in de voorgaande paragraaf wordt in Figuur 23, Figuur 24 en Figuur 25 het trillingsniveau aan de fundering ($V_{\text{eff,max}}$) tegen treinsnelheid gezet, maar nu alleen specifiek voor de treinen van vervoerder Captrain België. Er is sprake van een beperkt aantal treinen met een snelheid die varieert met name tussen 40 en 80 km/u (zie ook Tabel 11). Er heeft maar één trein met een snelheid van minder dan 40 km/u gereden. Uit deze resultaten is het niet mogelijk het effect van een snelheidslimiet van 40 km/u ten opzichte van een limiet van 80 km/u te onderscheiden.



Figuur 23: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentieband 1 (voor treinpassages van Captrain België).



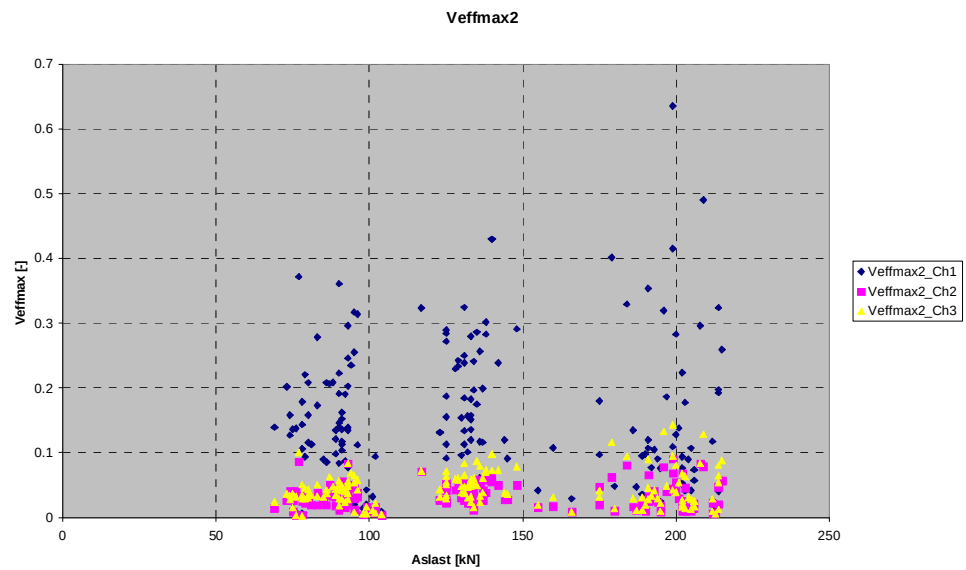
Figuur 24: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentieband 2 (voor treinpassages van Captrein België).



Figuur 25: Trillingsniveau tegen treinsnelheid bij referentieband 3 (voor Captrein België passages in de meetperiode).

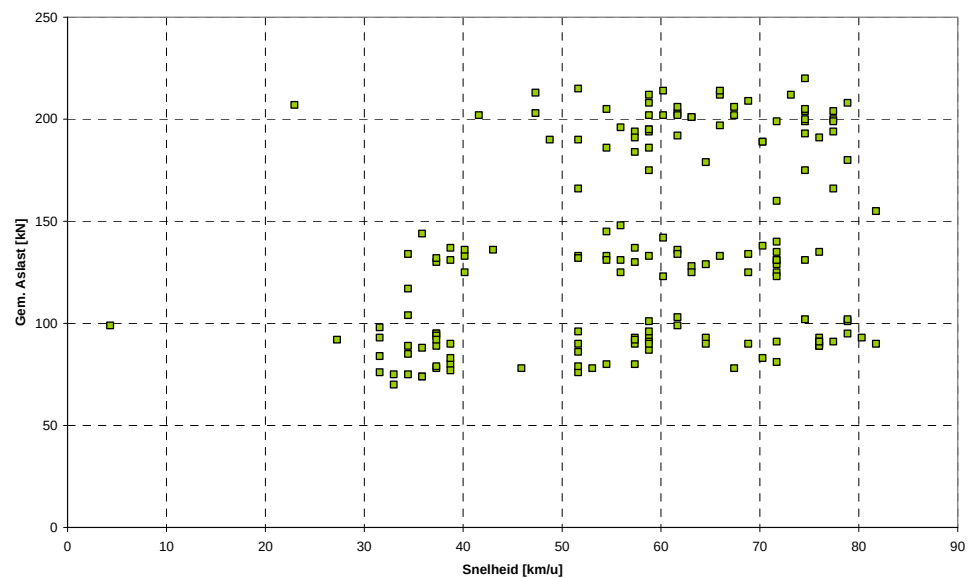
C.5 Relatie trillingsniveau – gemiddelde aslast

In Figuur 26 is het trillingsniveau in referentieband 2 tegen de gemiddelde aslast van de treinen weergegeven. Met name bij de hogere aslasten is een kleine toename in het maximale trillingsniveau te zien. Gemiddeld gezien lijkt er echter geen verband te zijn.



Figuur 26: Trillingsniveau bij referentiepand 2 tegen gemiddelde aslast (alle goederentreinpassages in de meetperiode).

C.6 Realisatie aslasten versus treinsnelheden



Figuur 27: Gemiddelde aslast tegen treinsnelheid.

C.7 Slot opmerkingen

De tweede meting is gedaan om de relatie tussen trillingsniveau en treinsnelheid beter in kaart te brengen, en om te bepalen of een snelheidsbeperking als trillingsreducerende maatregel effectief zou zijn. In een poging de meting hierop af te stemmen zijn afspraken gemaakt met één van de vervoerders om de treinen met specifieke snelheden te laten rijden, namelijk met 80 km/u in de eerste twee weken en met 40 km/u in de laatste week van de meetperiode. Deze afspraken hebben maar 11 van 190 de

treinpassages betroffen, bovendien is het blijkbaar maar een keer gelukt om met een snelheid van rond de 40 km/u te rijden. In de rest van de gevallen lagen de snelheden altijd tussen 50 en 80 km/u. Noch uit de passages van deze treinen noch uit die van de rest van de treinen is een duidelijke afhankelijkheid tussen de trillingsniveaus en de treinsnelheden te leggen.