


**(Ontwerp) Tracébesluit
Spooromgeving Geldermalsen**

Trillingsonderzoek



**(Ontwerp) Tracébesluit
Spooromgeving Geldermalsen**

Trillingsonderzoek

referentie	projectcode	status
RIS437-7/beii/004	RIS437-7	definitief 1.0
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. E.J. Vlijm	ir. J.L.C.M. van Daelen	8 november 2016
autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. E.J. Vlijm	

INHOUDSOPGAVE	blz.
SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Doelstelling trillingsonderzoek	1
1.3. Structuurbeschrijving	1
1.4. Status onderzoek november 2016	1
2. PROJECTOMSCHRIJVING	3
2.1. Huidige situatie projectgebied	3
2.2. Plansituatie projectgebied	4
2.2.1. Deelgebied 1: Tricht	4
2.2.2. Deelgebieden 2 en 3: Nieuwbouw Lingedonk en stationsgebied	5
2.2.3. Deelgebieden 4 en 5: Geldermalsen Zuid/Meteren Noord	6
2.3. Toekomstige treinaantallen	6
3. AANPAK TRILLINGSONDERZOEK	8
3.1. Aanpak op basis van trillingsmetingen	8
3.2. Metingen referentiewoningen	9
3.3. Kortdurende (24 uren) metingen verfijnde aanpak deelgebied 1	11
3.4. Overzicht gemeten woningen	12
3.5. Bepaling invloed wissel	13
3.6. Bepaling afstandsdemping	13
3.7. Extrapoleren gemeten niveaus referentiewoningen naar andere woningen	14
4. BEOORDELINGSKADER TRILLINGEN	15
4.1. Inleiding	15
4.2. SBR-richtlijn trillingen deel A: Schade	15
4.3. Beleidsregel Trillinghinder Spoor (Bts)	15
4.3.1. Toetsing aan de Bts	15
4.3.2. Toetsing V_{max} (artikel 6 Bts)	16
4.3.3. Toetsing V_{per} (artikel 7 Bts)	17
4.3.4. Bts gepubliceerd op 26 maart 2014	18
4.4. SBR deel C: Trillingsgevoelige apparatuur	19
5. UITVOERING TRILLINGSMETINGEN	20
5.1. Gebruikte meetapparatuur	20
5.2. Referentiemetingen	21
5.2.1. Referentiemetingen deelgebied 1	21
5.2.2. Referentiemetingen deelgebieden 3 en 5	22
5.3. Kortdurende metingen deelgebied 1	23
5.4. Dwarsraaimeting	24
5.5. Meting aan wissel	24
6. RESULTATEN TRILLINGSMETINGEN	25
6.1. Beschikbare meetresultaten	25
6.2. Referentiemetingen 2014	25
6.2.1. Maximale trillingsniveaus V_{max}	26
6.2.2. Gemiddelde trillingsniveaus V_{per}	27
6.3. Kortdurende 24-uursmetingen 2016 in deelgebied 1	28
6.4. Berekende niveaus clusterwoningen	34

6.4.1.	V_{\max} clusterwoningen	34
6.4.2.	V_{per} clusterwoningen	34
6.5.	Afstandsdemping	35
6.6.	Invloed wissel	37
7.	PROGNOSE PLANSITUATIE EN TOETSING	38
7.1.	Maximale trillingsniveaus huidige situatie	38
7.1.1.	Deelgebied 1	38
7.1.2.	Deelgebieden 2 tot en met 5	39
7.2.	Maximale trillingsniveaus plansituatie	40
7.2.1.	Deelgebied 1	40
7.2.2.	Deelgebied 2 tot en met 5	41
7.3.	Gemiddelde trillingsniveaus huidige situatie	41
7.3.1.	Deelgebied 1	41
7.3.2.	Deelgebied 2 tot en met 5	41
7.4.	Gemiddelde trillingsniveaus plansituatie	42
7.4.1.	Toename V_{per} in plansituatie	42
7.4.2.	Deelgebied 1	42
7.4.3.	Deelgebieden 2 tot en met 5	43
7.4.4.	Nieuwbouw	43
7.5.	Samenvatting resultaten meetlocaties	43
7.6.	Toetsing schade	44
8.	AFWEGING TRILLINGSREDUCERENDE MAATREGELEN	45
8.1.	Resultaten huidig onderzoek	45
8.2.	Overschrijdingen in deelgebieden	45
8.3.	Richtbedrag maximale maatregelkosten per woning	46
8.4.	Beoogde reductie van trillingsniveaus overschrijdingslocaties	46
8.5.	Overzicht mogelijke maatregelen	47
8.5.1.	Overgangsplaten nieuwe kunstwerken	49
8.5.2.	Verstijven van vloeren	50
8.6.	Afweging per deelgebied	50
8.6.1.	Afweging deelgebied 1	50
8.6.2.	Afweging deelgebied 2	51
8.6.3.	Afweging deelgebied 3	51
8.6.4.	Afweging deelgebied 4	51
8.6.5.	Afweging deelgebied 5	51
9.	BETROUWBAARHEID RESULTATEN	52
9.1.	Betrouwbaarheid metingen en prognoseberekningen	52
9.2.	Invloed op toetsing	52
9.2.1.	Deelgebied 1	52
9.2.2.	Deelgebieden 2 tot en met 5	53
10.	CONCLUSIES	54
11.	REFERENTIES	55
	laatste bladzijde	58
BIJLAGEN		aantal blz.
I	Resultaten metingen referentiewoningen	
II	Resultaten metingen clusterwoningen	

III	Gemeten verhoudingen clusterwoningen en referentiewoningen
IV	Toename V_{per} plansituatie
V	Verhouding V_{max} goederentrein Spurt deelgebied 1
VI	Prognose trillingsniveaus woningen
VII	Overdrachten Clusterwoningen
VIII	Invloed wissel
VIX	Clusterindeling
X	Treintypen
XI	Fit afstandsdemping
XII	Kaarten resultaten prognose huidige en plansituatie
XIII	Projectgebied met kilometreering

SAMENVATTING

In het kader van het project Spooromgeving Geldermalsen is onderzoek uitgevoerd naar de mate van trillingsbelasting ten gevolge van treinverkeer in de woningen in en rondom het projectgebied. In dit document zijn de resultaten van dit onderzoek weergegeven.

Doel onderzoek

Het doel van het onderzoek is de bepaling van de invloed van het project Spooromgeving Geldermalsen op de trillingsbelasting in het projectgebied door de trillingsbelasting in zowel de huidige situatie als de plansituatie in kaart te brengen. De trillingsniveaus zijn getoetst aan de Beleidsregel trillinghinder spoor. Indien een overschrijding is vastgesteld zijn trillingsreducerende maatregelen onderzocht op basis van effectiviteit, haalbaarheid en kosten.

Projectgebied en werkzaamheden

Het projectgebied strekt zich uit van de noordzijde van Tricht tot aan de zuidzijde van Geldermalsen/noordzijde van Meteren. In de huidige situatie takt ten noorden van Tricht de MerwedeLingeLijn aan op de 2-sporige doorgaande lijn Utrecht - 's Hertogenbosch. In de plansituatie wordt extra capaciteit gerealiseerd op de doorgaande lijn Utrecht-'s Hertogenbosch, door de MerwedeLingeLijn tot aan het station Geldermalsen vrij te leggen. Over dit vrij te leggen spoor gaat alleen materieel van de MerwedeLingeLijn rijden. Ter plaatse van het station Geldermalsen wordt in de plansituatie een aantal wissels verlegd. Daarnaast zal er een aanpassing worden gemaakt in de boogstraal van de lijn Geldermalsen - Tiel, waardoor de ligging van het spoor beperkt wijzigt.

In het trillingsonderzoek is het projectgebied opgedeeld in een vijftal deelgebieden:

Deelgebied 1	:	Tricht;
Deelgebieden 2 en 3	:	Nieuwbouw Lingedonk en Stationsgebied;
Deelgebied 4 en 5	:	Geldermalsen ten zuiden van stationsgebied.

De genoemde wijzigingen aan het spoor leiden tot extra capaciteit die nodig is om het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) mogelijk te maken. Het PHS is onderdeel van de plansituatie en verschilt ten aanzien van de huidige situatie in de aantallen treinpassages als volgt:

- het aantal Sprinters vanuit Utrecht naar Geldermalsen en andersom neemt toe van 4 naar 6 per uur;
- het aantal intercity's op het baanvak Utrecht - 's-Hertogenbosch neemt toe van 4 naar 6 per uur;
- het gemiddelde aantal goederentreinpassages neemt toe tot 19,68 goederentreinen voor de dagperiode, 7,2 voor de avondperiode en 8,96 voor de nachtperiode. Het aantal goederenpaden blijft gelijk en bedraagt 2 per uur¹.

Om de invloed van het project Spooromgeving Geldermalsen op de optredende trillingsbelasting te bepalen is een prognose gemaakt van de optredende trillingsniveaus in de huidige en plansituatie op basis van verschillende trillingsmetingen. Gezien het grote aantal woningen in het projectgebied is een stapsgewijze aanpak gehanteerd:

1. de woningen langs het spoor zijn opgedeeld in een 5-tal deelgebieden;

¹ Voor de plansituatie wordt met een maximaal aantal goederentreinpassages gerekend gebaseerd op de bovengrens van CRS-prognoses van Prorail. In de huidige situatie is deze ruimte ook gereserveerd omdat de goederentreinpaden reeds beschikbaar zijn.

2. in 5 maatgevende woningen zijn referentiemetingen van minimaal een week uitgevoerd op maaiveld, fundering, begane grond en eerste verdieping;
3. de afname van trillingsniveaus met afstand tot het spoor is bepaald middels een dwars-raaimeting;
4. voor de meeste woningen nabij het spoor is een bovengrensbepaling gehanteerd doordat een maximale overdrachtsfactor van fundering naar maatgevende vloer van 3,0 is aangehouden. Voor woningen in Tricht is de prognose verfijnd middels een aantal 24-uursmetingen ter bepaling van de gebouwoverdrachten;
5. per woning is op basis van afstand tot aan het spoor, het maatgevende niveau van de referentiewoning, en de overdrachtsfactor een schatting van het maximaal optredende trillingsniveau gemaakt.

De trillingsbelasting als gevolg van treinpassages in de plansituatie, is getoetst aan de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts, 2014). De Bts is opgesteld om spoorse Tracébesluiten te kunnen toetsen op rechtmatigheid ten aanzien van de aanvaardbaarheid van trillingen en het al dan niet treffen van maatregelen. De Bts toetst een maximaal optredend trillingsniveau (V_{max}) en een gemiddeld optredend trillingsniveau (V_{per}). V_{max} wordt statistisch bepaald op basis van de maatgevende treinpassages. V_{per} is een periodiek gemiddelde.

Invloed vrijleggen MerwedeLingeLijn

Het vrijleggen van de MerwedeLingeLijn heeft tot gevolg dat het spoor in Tricht aan de westzijde dichter op de bebouwing komt te liggen. Over de toekomstige vrijgelegde MerwedeLingelijn rijden enkel treinen van het type Spurt. Uit de metingen blijkt dat Spurt-passages tot veel lagere trillingsniveaus leiden dan goederentreinpassages over het doorgaande spoor. De toename als gevolg van het vrijleggen van de MerwedeLingeLijn blijkt minder groot dan het verschil in trillingsniveau tussen de Spurt- en goederentreinpassages. Hieruit volgt dat het maximale trillingsniveau V_{max} in de woningen niet wijzigt als gevolg van het vrijleggen van de MerwedeLingeLijn. Het gemiddelde trillingsniveau V_{per} in de woningen aan de westzijde van het spoor ondervinden wel een beperkte toename als gevolg het vrijleggen van de MerwedeLingeLijn.

Toetsing V_{max}

Volgens de Bts kunnen maatregelen achterwege blijven bij een toename van V_{max} van 30 % of minder, mits de uiterste toelaatbare waarde van 3,2 niet wordt overschreden.

Voor de plansituatie spooromgeving Geldermalsen is geen toename van V_{max} in woningen te verwachten omdat:

- de maatgevende goederentreinen in de huidige situatie en in de plansituatie over de doorgaande sporen rijden (Spurt-passages over de toekomstige vrijgelegde MerwedeLingelijn zijn niet maatgevend);
- de inlegsnelheid van goederentreinen in de toekomstige situatie niet toeneemt ten opzichte van de huidige situatie¹;
- er geen wissels worden gewijzigd in de nabijheid van woningen.

Dit betekent dat de toetsing van V_{max} volgens de Bts voor de woningen in het plangebied geen aanleiding geeft om maatregelen af te wegen. De referentiemetingen laten geen overschrijdingen van de bovenste toelaatbare waarde van $V_{max} = 3,2$ zien. Voor de maatgevende gemeten V_{max} -niveaus blijkt dat de datasets een reproduceerbaarheid tonen tussen de circa 10 % en 16 %.

¹ De inlegsnelheid in de huidige situatie bedraagt 95 km/h.

Toetsing V_{per}

De Bts hanteert een grenswaarde van 0,1 voor V_{per} . Dit geldt voor zowel de huidige- als de plansituatie. Op basis van de meetresultaten en de extrapolatie naar de andere woningen is de huidige situatie in kaart gebracht. Voor de metingen op maaiveld en aan de fundering van de referentiewoningen is bepaald welk aandeel de verschillende type treinen hebben in de optredende waarde van V_{per} . Met behulp van de verwachte toename in treinaantallen is bepaald welke V_{per} in de plansituatie te verwachten is.

Resultaten deelgebied 1

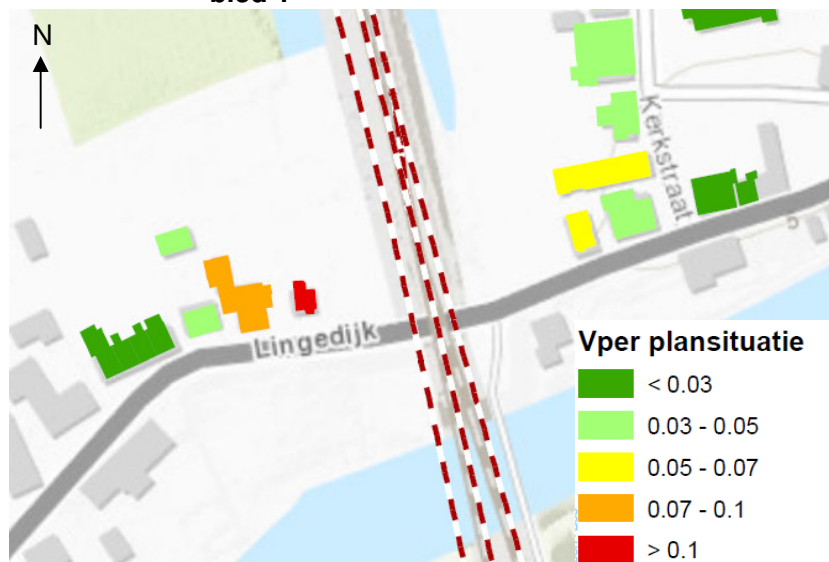
In onderstaande tabel worden de aantallen woningen per deelgebied gegeven waar een overschrijding van de grenswaarde van 0,1 wordt gevonden. Uit de tabel volgt voor de plansituatie dat in deelgebied 1 (Tricht) er één overschrijding van de grenswaarde in de plansituatie te verwachten is. Volgens de Bts moeten maatregelen voor deze woning worden afgewogen.

Tabel 0.1. Aantal woningen V_{per} boven grenswaarde plansituatie deelgebied 1

deelgebied 1 ¹	aantal woningen $V_{per} > 0,1$
deelgebied 1.1	0
deelgebied 1.2	0
deelgebied 1.3	0
deelgebied 1.4	1
deelgebied 1.5	0

In afbeelding 0.1 wordt weergegeven waar welk gemiddeld trillingsniveaus (V_{per}) wordt verwacht in de plansituatie. Uit de afbeelding blijkt dat een overschrijding van de grenswaarde van 0,1 te verwachten is voor Lingedijk 116.

Afbeelding 0.1. Locatie met overschrijding grenswaarde V_{per} in plansituatie deelgebied 1



¹ Deelgebied 1 kent een subindeling. Zie afbeelding 7.1.

Resultaten deelgebied 2 t/m 5

Voor de deelgebieden 3 t/m 5 zijn in onderstaande tabel de aantallen woningen per deelgebied gegeven waar een overschrijding van de grenswaarde van 0,1 wordt verwacht. Uit de tabel (en ook uit afbeelding 0.2) volgt voor de plansituatie dat er geen overschrijdingen van de grenswaarde wordt verwacht.

Tabel 0.2. Aantal woningen V_{per} boven grenswaarde plansituatie deelgebied 3 t/m 5

gebied	aantal woningen $V_{per} > 0,1$
gebied 3 oost	0
gebied 3 west	0
gebied 4 (oost)	0
gebied 5 oost	0
gebied 5 west	0

Voor de geplande nieuwbouwwijk Lingedonk (deelgebied 2) geldt dat de toekomstige maatgevende woningen minimaal 50 m van het spoor komen te staan. Op basis van de prognose bestaat de verwachting dat van een overschrijding van de grenswaarde van V_{per} geen sprake is. De Bts geeft daarom geen aanleiding tot het afwegen van maatregelen.

Toetsing Schade

Ter voorkoming van schade aan gebouwen als gevolg van trillingen is door de Stichting Bouw Research (SBR) een richtlijn (deel A) opgesteld waarin grenswaarden worden gepresenteerd voor toelaatbare trillingsniveaus [ref. 7]. In de SBR richtlijn deel A wordt onderscheid gemaakt in type gebouw en of het trillingsignaal kortdurend, herhaald kortdurend of continu is. De voorgeschreven grenswaarden hangen hierbij af van de frequentie van het trillingssignaal en de staat van een gebouw. De in dit onderzoek gemeten trillingsniveaus aan de fundering van de gebouwen liggen onder de onderste grenswaarde voor gebouwen uit de meest maatgevende categorie 3 (slecht onderhouden of monumentale panden). De richtlijn geeft aan dat in dit geval de kans op schade als gevolg van de gemeten trillingsniveaus kleiner is dan 1 %. Opgemerkt wordt dat bij toetsing van trillingsschade naar topwaarden dient te worden gekeken (en niet naar V_{max} -niveaus).

Voor zover bekend is er geen sprake van locaties in het projectgebied met trillingsgevoelige apparatuur aanwezig. Dit geldt eveneens voor kritische werkruimtes, waarvan bijvoorbeeld sprake kan zijn bij ziekenhuizen of laboratoria.

Afweging van maatregelen

Voor de woning aan Lingedijk 116 is op basis van een quickscan bepaald of er mogelijk doelmatige maatregelen te treffen zijn. Uit de quickscan volgt dat vrijwel alle beschikbare maatregelen veel te duur zijn in verhouding tot het beschikbare budget. Het budget betreft de richtprijs per woning van EUR 47.000,-- inclusief PEAT en BTW en wordt door ProRail en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu als richtbedrag in heel Nederland gehanteerd. De volgende maatregelen zouden doelmatig kunnen zijn:

- het optimaliseren van de stootplaten om de overgang van de nieuwe kunstwerken naar de aardebaan trillingsarm te realiseren. Met deze maatregel is mogelijk trillingsreductie te realiseren voor de woning aan de Lingedijk 116 nabij de overgangen waarvoor een overschrijding is gevonden;
- het verstijven van vloeren.

Uit de nadere afweging van deze twee maatregelen volgt uiteindelijk dat enkel de ontwerpoptimalisatie van de overgangsplaat ter plaatse van de toekomstige ongelijkvloerse kruising van de Lingedijk als doelmatig wordt beschouwd, ondanks dat de effectiviteit van de maatregel onzeker is.

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Het project Spooromgeving Geldermalsen bestaat uit de wijziging van een landelijke spoorweg, waarmee wordt beoogd de bruikbaarheid van die spoorweg te verbeteren. De wijziging bestaat uit een geheel van samenhangende maatregelen aan het spoor, op en in de omgeving van het station en emplacement Geldermalsen. De maatregelen hebben als doel te komen tot een betrouwbare dienstregeling op de spoorlijn Geldermalsen - Dordrecht (MerwedeLingeLijn) en het knooppunt Geldermalsen aan te passen ten behoeve van het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer. Het project omvat een wijziging in de spoorlay-out. Ook wordt binnen het project rekening gehouden met toename in aantallen treinen conform de prognoses van het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS). Zowel een wijziging in spoorlay-out als een wijziging in treinaantallen resulteert mogelijk in een toename van trillingsbelasting. Er is daarom een onderzoek uitgevoerd naar de trillingsniveaus als gevolg van treinverkeer in de woningen langs het spoor voor zowel de huidige als de toekomstige situatie.

1.2. Doelstelling trillingsonderzoek

De doelstelling van het trillingsonderzoek betreft het bepalen van de effecten van het (Ontwerp)Tracébesluit Spooromgeving Geldermalsen op de trillingsbelasting in de omgeving en daar waar nodig het bepalen van het effect van maatregelen en de afweging van deze maatregelen. Hierbij wordt de Beleidsregel trillinghinder Spoor uit 2014 als toetsingskader gehanteerd, waaruit volgt dat bij overschrijdingen trillingsreducerende maatregelen dienen te worden afgewogen.

1.3. Structuurbeschrijving

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het project Spooromgeving Geldermalsen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 besproken welke aanpak is gehanteerd om tot optredende trillingsniveaus in de huidige en plansituatie te komen. Vervolgens bespreekt hoofdstuk 4 het beoordelingskader, waarna in hoofdstuk 5 ingegaan wordt op de uitgevoerde trillingsmetingen die ten grondslag liggen aan de bepaling van trillingsniveaus. Hoofdstuk 6 bespreekt de meetresultaten en de verwerking ervan, waarna hoofdstuk 7 de toetsing van de referentiesituatie en de plansituatie beschrijft. In hoofdstuk 8 wordt voor de locatie waar een overschrijding wordt gevonden maatregelen afgewogen. In hoofdstuk 9 wordt ingegaan op de betrouwbaarheid van de resultaten waarna het rapport afsluit met conclusies in hoofdstuk 10.

1.4. Status onderzoek november 2016

Op basis van trillingsmetingen in 2014 is er in een eerdere fase van het project een prognose van te verwachten trillingsniveaus gemaakt. Naar aanleiding van de resultaten uit de eerdere fase en mede omdat door bewoners meerdere malen is benadrukt dat er sterke mate van hinder wordt ervaren, is door de Gemeente Geldermalsen naar mogelijkheden gezocht om de trillingsbelasting in Tricht te reduceren. Binnen het project Spooromgeving Geldermalsen zijn volgend op de eerdere fase ontwerp wijzigingen voorzien ter hoogte van het station Geldermalsen ter optimalisatie van het functioneel ontwerp van het spoor. Daarnaast zijn de trillingsmetingen uit 2014 aangevuld met metingen in augustus en september 2016 zodat het onderzoek aan de richtlijnen van de Bts voldoet. De wijzigingen en aanvullingen zijn verwerkt in het huidige bijgewerkte onderzoek. Voorliggende rapportage beschrijft de resultaten van het bijgewerkte onderzoek.

De metingen uit 2016 voldoen aan de richtlijnen van de Bts door:

- 24-uurs overdrachtmetingen uit te voeren in deelgebied 1, Tricht;
- de gebouwoverdrachten voor deelgebied 1 per octaafband te bepalen conform de Bts en achterliggend memo van Level Acoustics [ref. 4];
- in de toetsing van het gemiddelde trillingsniveau V_{per} uit te gaan van weekdaggemiddelde waarden voor de drie toetsperioden dag, avond en nacht om beter aan te sluiten bij de Bts, bij de SBR-methodiek en jurisprudentie. In het onderzoek uit 2014 zijn de maatgevende dag-, avond, of nachtperiode gedurende de meetweek beoordeeld.

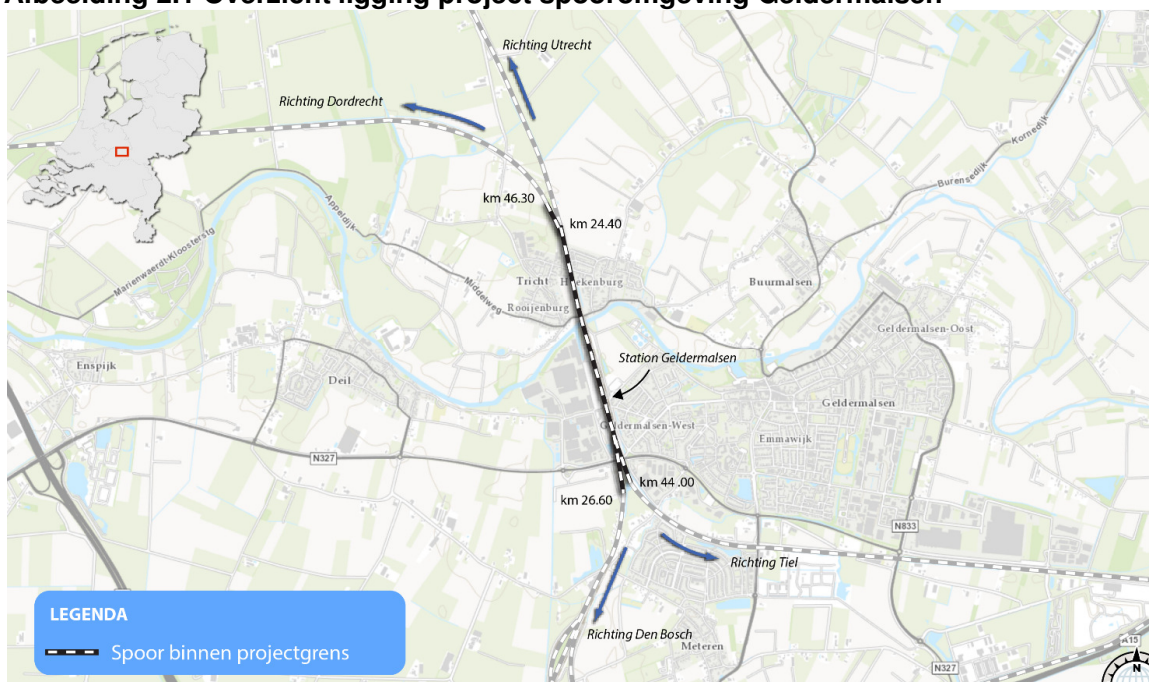
De huidige onderzoeksresultaten bevestigen het beeld wat uit de eerder fase van het onderzoek is gekregen, namelijk dat er mogelijk sprake is van hinder op meerdere locaties wanneer naar de optredende V_{max} niveaus wordt gekeken. De niveaus treden echter zowel in de huidige situatie als in de plansituatie op. De Bts geeft wanneer er geen toename te verwachten is geen aanleiding om maatregelen af te wegen, omdat naar de bijdrage van het project wordt gekeken. In dit rapport staat de toetsing van het project Spooromgeving Geldermalsen aan de Bts centraal.

2. PROJECTOMSCHRIJVING

2.1. Huidige situatie projectgebied

Geldermalsen is een knooppunt in de spoorlijnen Utrecht-'s Hertogenbosch, Dordrecht-Geldermalsen en Tiel-Geldermalsen. Te Geldermalsen ligt een eilandperron tussen de doorgaande sporen van de lijn Utrecht-'s Hertogenbosch. Dit betekent dat de treinen van en naar Dordrecht en de treinen van en naar Tiel bij aankomst en vertrek te Geldermalsen de sporen Utrecht-'s Hertogenbosch moeten kruisen. Deze kruising beïnvloedt de spoorcapaciteit nadelig en gaat daarom in de toekomst verdwijnen. Ten noorden van station Geldermalsen is het spoor in de huidige situatie 2-sporig. Aan de noordelijke zijde van Tricht takt het spoor vanuit Dordrecht (de MerwedeLingeLijn) aan op het westelijke spoor van de 2-sporige lijn Utrecht - s' Hertogenbosch. Onderstaande afbeelding geeft de projectsituatie weer.

Afbeelding 2.1 Overzicht ligging project spooromgeving Geldermalsen



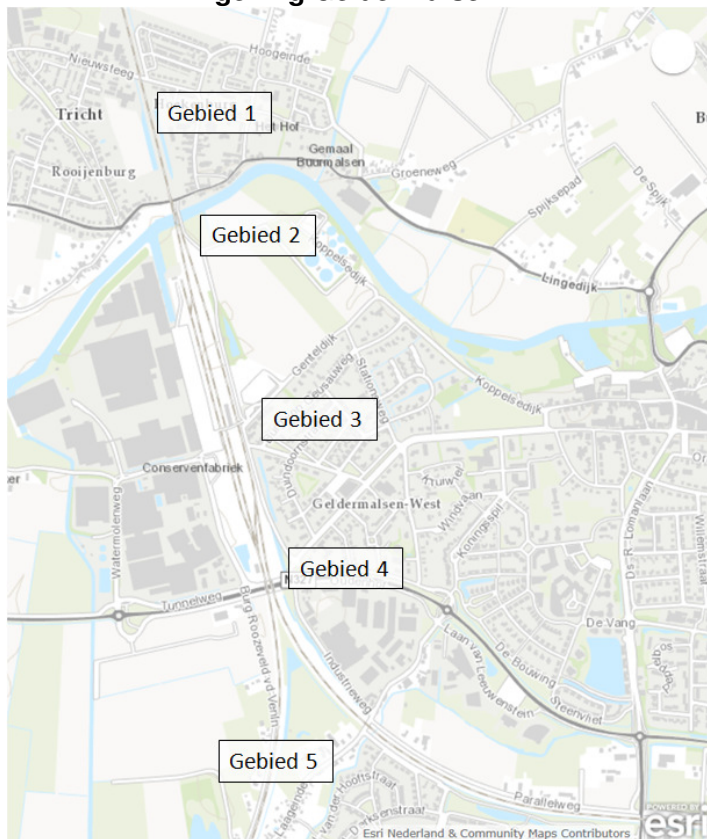
(Bron Sweco 2016)

Het (Ontwerp)tracébesluit heeft betrekking op een wijziging van de spoorlijn vanuit Geldermalsen richting (zie bijlage XIII) :

- Utrecht tot km 24,40;
- Dordrecht tot km 46,30;
- Tiel tot km 44,00;
- 's-Hertogenbosch tot km 26,60.

Ten behoeve van het trillingsonderzoek is het projectgebied onderverdeeld in een vijftal deelgebieden. In onderstaande afbeelding wordt het projectgebied met deze indeling weergegeven. In de volgende paragraaf wordt de plansituatie (toekomstige situatie) per deelgebied besproken.

Afbeelding 2.2. Indeling projectgebied ten behoeve van trillingsonderzoek spooromgeving Geldermalsen



2.2. Plansituatie projectgebied

2.2.1. Deelgebied 1: Tricht

In de plansituatie wordt extra capaciteit op de doorgaande sporen gecreëerd door de MerwedeLingeLijn tot aan het station Geldermalsen vrij te leggen. Het station Geldermalsen wordt hiervoor uitgebreid met een extra perron. In onderstaande afbeelding worden zowel de huidige als de ontwerpsituatie schematisch weergegeven.

Afbeelding 2.3. Schematische weergave huidige situatie (links) en plansituatie (rechts)



Het project spooromgeving Geldermalsen omvat het vrijleggen van de MerwedeLingeLijn en het Programma Hoogfrequent Spoorvervoer en heeft binnen dit deelgebied de volgende spoorse wijzigingen tot gevolg:

- de huidige 2 overwegen komen te vervallen en er wordt een 3-tal ongelijkvloerse kruisingen aangelegd;
- de brug over de Linge wordt uitgebreid van 2 naar 3 sporen;
- locaties van wissels wijzigen nabij de aftakking van de MerwedeLingeLijn;
- het aantal treinen per uur neemt toe (zie paragraaf 2.3).

2.2.2. Deelgebieden 2 en 3: Nieuwbouw Lingedonk en stationsgebied

Deelgebied 2 Nieuwbouw Lingedonk

Aan de noord/oostelijke zijde van het stationsgebied te Geldermalsen is nieuwbouw voorzien. In de huidige situatie is geen bebouwing aanwezig. Voor deze nieuwbouw is reeds een bestemmingsplan vastgesteld. In het bestemmingsplan wordt het thema trillingshinder door treinverkeer niet besproken. In het trillingsonderzoek Spooromgeving Geldermalsen is daarom de nieuwbouw meegenomen in het onderzoek als ware het bestaande bouw. Indien mogelijke trillingsreducerende maatregelen moeten worden onderzocht, is wellicht aanpassing van het woningontwerp(en) een reële optie. In afbeelding 2.4 wordt een weergave van de toekomstige bebouwing gegeven.

Afbeelding 2.4. Ontwerp stationsgebied oost Geldermalsen Lingedonk



Nabij het stationsgebied in deelgebied 2 en 3 worden een aantal wijzigingen aan het spoor doorgevoerd (zie ook tekening in bijlage XIII):

- er wordt een extra perron op station Geldermalsen gecreëerd;
- aan de westelijke zijde van het spoor wordt vanaf station Geldermalsen tot aan de huidige aftakking van de MerwedeLingeLijn (ten noorden van Tricht) een extra spoor aangelegd;
- de locaties van wissels wijzigen op het emplacement nabij station;
- het aantal treinen per uur neemt toe (zie paragraaf 2.3).

2.2.3. Deelgebieden 4 en 5: Geldermalsen Zuid/Meteren Noord

Voor deelgebieden 4 en 5 geldt dat enkel aan de bocht van de spoorlijn richting Tiel een kleine wijziging in radius wordt doorgevoerd om zodoende een snelheidsverhoging van de sprinters mogelijk te maken, zie afbeelding 2.2. De belangrijkste wijziging in de plansituatie ten opzichte van de huidige situatie is een toename in aantallen treinen als gevolg van PHS en een verwachte toename in goederenvervoer.

2.3. Toekomstige treinaantallen

De beoogde productverbetering Spooromgeving Geldermalsen zal leiden tot de volgende eindsituatie:

- 6 Intercity's;
- 6 Sprinters;

- 2 goederentreinpaden.

Bovengenoemde aantallen zijn representatief voor de corridor Amsterdam - Geldermalsen - Betuweroute/Eindhoven. Hoeveel goederentreinen in de situatie 2020/2030 gaan rijden wordt gegeven in de prognose conform het CRS (specificaties Prorail)¹. Hierin worden ook de verwachte aantallen reizigerstreinen per periode uiteengezet. In onderstaande tabellen worden de te hanteren aantallen op basis van de CRS voor de referentie- en de plansituatie weergegeven.

Tabel 2.1. Treinintensiteiten in de referentie situatie (2013)

huidige situatie (2013) trajectdeel	treintype	intensiteit (beide richtingen samen)		
		dagperiode	avondperiode	nachtperiode
(Utrecht Vaartse Rijn)- Geldermalsen aansluiting*	reizigers	181,08	45,88	25,36
	goederen	7,92	3,8	2,72

* In beide tabellen (2.1 en 2.2) is de MerwedeLingelijn niet meegenomen. De Spurt, wat het materieel van de MerwedeLingelijn betreft, rijdt tweemaal per uur per richting.

Tabel 2.2. Treinintensiteiten in de toekomstige situatie (2030)

plansituatie (2030) trajectdeel	treintype	intensiteit (beide richtingen samen)		
		dagperiode	avondperiode	nachtperiode
(Utrecht Vaartse Rijn)- Geldermalsen aansluiting	reizigers	288	96	61,76
	goederen	19,68	7,2	8,96

Uit tabel 2.1 volgt dat voor de plansituatie op een gemiddelde weekdag er in totaal over 24 uur ($19,68+7,2+8,96 = 35,84$) afgerond 36 goederentreinen rijden. Voor de referentiesituatie volgt dat er op een gemiddelde weekdag ($7,92+3,8+2,72 = 14,44$) afgerond 14 goederentreinen rijden.

De gemiddelde treinintensiteiten in de referentiesituatie blijken niet overeen te komen met de gevonden aantallen ten tijde van de trillingsmetingen. De gemeten aantallen zijn hoger. De toename in aantallen ten opzichte van de gemeten huidige situatie zullen daarom kleiner zijn dan wanneer de plansituatie met de referentiesituatie wordt vergeleken. In hoofdstuk vier wordt nader ingegaan op de werkelijk gereden treinaantallen.

¹ De goederenprognoses voor PHS zijn op 28 maart 2013 naar de Tweede Kamer verzonden als bijlage bij de beantwoording op vragen van de vaste commissie Infrastructuur en Milieu over de toelichting op de invulling van de bezuinigingen op het infrastructuurfonds (*kamerstuk 33-400-A, nr. 48, Verwerking herijkte goederenprognoses PHS, ProRail, EDMS 3235055 V1-2, 22 maart 2013*). De herijking van de goederenprognoses is gebaseerd op het rapport "Lange termijn perspectief goederenvervoer per spoor" van TNO uit 2012 (*kamerstuk 32-404, nr. 57, 12 juli 2012*). In augustus 2015 is een versie 4.0 uitgekomen. Voor de reizigersprognoses geldt de Prognose Lange Termijn Spoor Agenda deel II, kamerstuk 29 894, nr. 474, d.d. 28 maart 2014.

3. AANPAK TRILLINGSONDERZOEK

3.1. Aanpak op basis van trillingsmetingen

Het trillingsonderzoek is grotendeels gebaseerd op trillingsmetingen. Er is een meetcampagne uitgevoerd in 2014 en in 2016. De meetcampagne van 2016 betrof 24uursmetingen in deelgebied 1 om de metingen van 2014 aan te vullen.

Om mogelijk optreden van trillingshinder in kaart te kunnen brengen, is het van belang voor alle woningen langs het spoor in het projectgebied de mate van trillingsbelasting te bepalen. Dit dient voor zowel de huidige situatie als voor de toekomstige situatie te worden gedaan. Gezien het grote aantal woningen is een stapsgewijze aanpak gehanteerd:

1. de woningen langs het spoor tot een afstand van 100 meter zijn opgedeeld in een 5-tal deelgebieden die reeds zijn beschreven in het vorige hoofdstuk¹;
2. in 5 woningen zijn referentiemetingen van minimaal een week uitgevoerd op maaiveld, fundering, begane grond en eerste verdieping, de zogenaamde referentiewoningen;
3. de afname van trillingsniveaus in relatie tot de afstand van het spoor is bepaald middels een dwarsraaimeting (tussen de 25 en 75 meter van het spoor) ;
4. voor woningen nabij het spoor in deelgebied 2 tot en met 5 is een bovengrensbepaling gehanteerd doordat een maximale overdrachtsfactor van fundering naar maatgevende vloer van 3,0 is aangehouden. Voor deelgebied 1 (Tricht) is de prognose verfijnd middels kortdurende 24-uursmetingen zoals hieronder beschreven;
5. per woning is op basis van afstand tot aan het spoor, maatgevende niveau referentiewoning en overdrachtsfactor een berekening gemaakt van het maximaal optredende trillingsniveau.

Verfijnde aanpak onderzoek gebouwoverdrachten deelgebied 1

Omdat in deelgebied 1 (Tricht) een grootschalige wijziging aan het spoor plaatsvindt als gevolg van het vrijleggen van de MerwedeLingelijn en omdat in deelgebied 1 (Tricht) de meest maatgevende trillingsniveaus worden verwacht, is voor dit gebied een gedetailleerde bepaling van de gebouwoverdrachten bepaald middels kortdurende 24-uursmetingen. In deelgebied 1 blijkt een circa 200-tal woningen op een afstand van 100 m of minder van het spoor te staan. Voor deze woningen is de volgende stapsgewijze aanpak gehanteerd:

1. alle woningen nabij het spoor zijn op basis van een karakteristieken (waaronder type woning (vrijstaand, 2-onder-1-kap, of rijtjes), bouwjaar, positionering t.o.v. spoor etc.) in clusters ingedeeld, in totaal 9;
2. per cluster is een clusterwoning geselecteerd;
3. van de 5 referentiewoningen, genoemd in bovenstaande opsomming, staan er 2 in Tricht in afzonderlijke deelgebieden. Aan deze twee referentiewoningen zijn referentiemetingen van minimaal een week uitgevoerd op maaiveld, fundering, begane grond en 1e verdieping. Deze 2 referentiewoningen betreffen eveneens 2 van de clusterwoningen;
4. in 7 overige clusterwoningen zijn in 2016 24-uursmetingen uitgevoerd;
5. tijdens de kortdurende 24-uursmetingen is ook aan de fundering van de twee referentiewoningen gemeten. Hierdoor kan een verband worden gelegd tussen de opgetreden trillingsniveaus gemeten aan de fundering van de referentiewoning en gemeten aan de fundering van de 7 clusterwoningen;

¹ Er is onderzoek gedaan naar woningen tot 100 meter van het spoor omdat op voorhand voorzien werd dat de toetsing van V_{per} leidend zou zijn. De ervaring leert dat er sprake is van mogelijke overschrijdingen van V_{per} enkel op dichte afstand van het spoor waarbij 100 meter een bovengrens is. Dit is achteraf getoetst en bevestigd middels het prognosemodel.

6. middels dit verband wordt vervolgens een verwachting gekregen welk maximaal trillingsniveau in de clusterwoning is opgetreden, bij de maatgevende treinpassages die middels de weeklange referentiemeting is bepaald;
7. de afname van trillingsniveaus in relatie tot de afstand tot het spoor is bepaald middels een dwarsraaimeting;
8. voor alle andere woningen in het cluster wordt op basis van het maximale trillingsniveau in de clusterwoning en de gevonden afstandsverzwakking tot aan het spoor het maximale trillingsniveau bepaald.

In de volgende paragraaf wordt de gehanteerde aanpak stapsgewijs nader besproken.

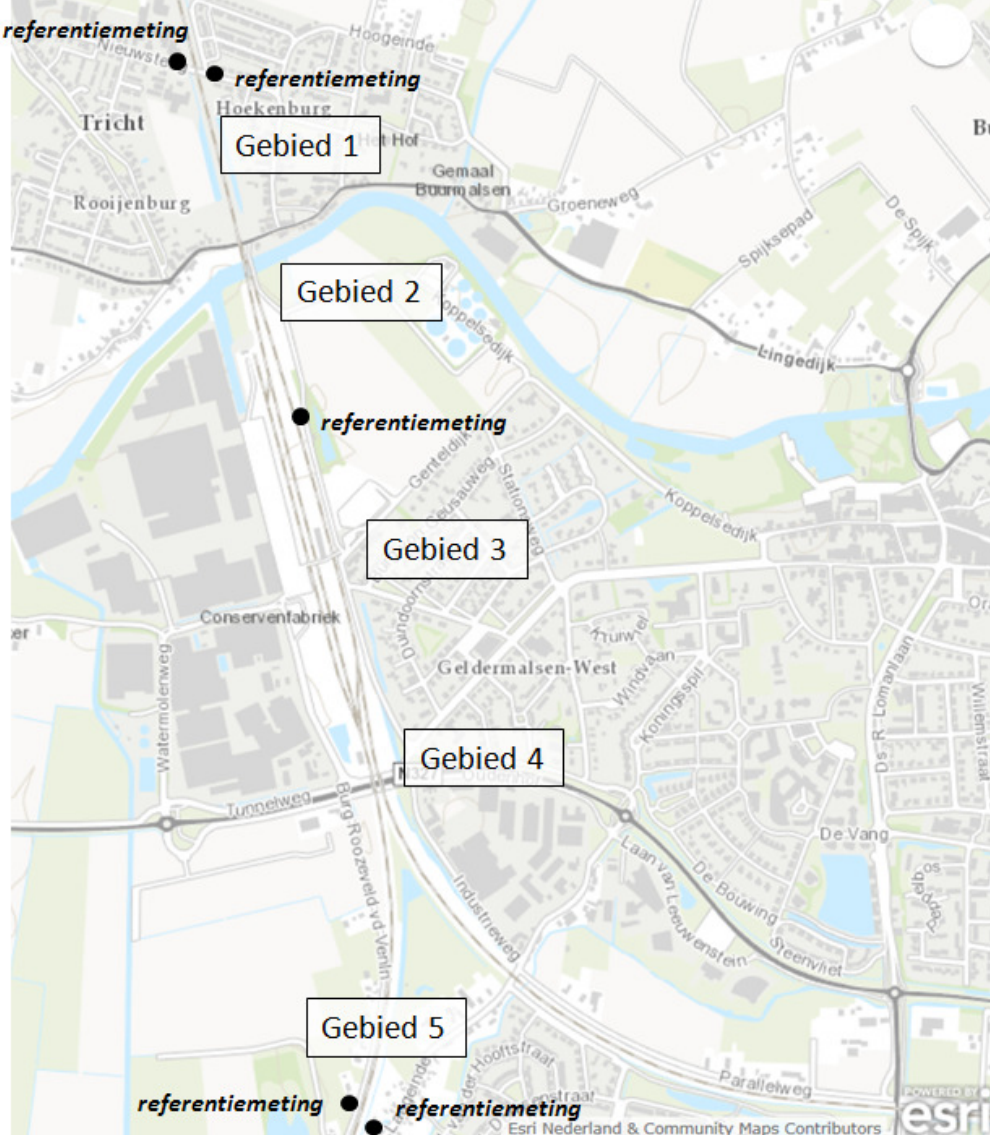
3.2. Metingen referentiewoningen

Er is op basis van geografie en verwachte wijzigingen aan het spoor een indeling van deelgebieden gemaakt. Per deelgebied wordt onderscheid gemaakt in de oostelijke en westelijke zijde van het spoor. Een vijftal woningen is geselecteerd om referentiemetingen uit te voeren. Hierbij is gekeken naar maatgevendheid van woningen als gevolg van:

- afstand tot het spoor;
- te verwachten wijzigingen aan het spoor nabij de woning;
- snelheid van de treinen ter plaatse van de woning.

In onderstaande afbeelding worden de locaties waar referentiemetingen zijn uitgevoerd middels zwarte stippen weergegeven. Omdat de meeste treinen halteren op het station Geldermalsen is voor de woningen in Geldermalsen de locatie in deelgebied 5 als een maatgevende locatie gekozen. De passerende treinen hebben in deelgebied 5 snelheid gemaakt en de afstand tot aan de woningen is relatief klein.

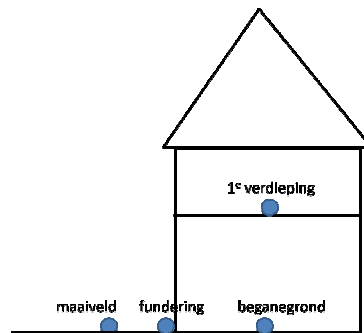
Afbeelding 3.1. Deelgebieden trillingsonderzoek Spooromgeving Geldermalsen



Volgens de Beleidsregel trillinghinder spoor (par. 4.3) dient voor de bepaling van het maximale optredende trillingsniveau in een woning, als gevolg van treinverkeer, minimaal een week te worden gemeten. Er is daarom in 2014 minimaal een week gemeten. Hierbij is bij de 2 referentiewoningen in Tricht (deelgebied 1), en bij 1 woning vlakbij het station Geldermalsen (deelgebied 3) en bij 2 woningen in deelgebied 5 een opnemer op maaiveld geplaatst aan de zijde van het spoor op circa 1 tot 2 m van de gevel. Ook is een trillingsmeter aan de fundering geplaatst (bijvoorbeeld een stijf hoekpunt in de kelder), op de begane grond en op de 1e verdieping. De twee woningen in deelgebied 5 vallen buiten het projectgebied, maar zijn gekozen omdat deze twee woningen relatief dicht op het spoor staan en tot een goed maatgevend beeld van optredende trillingsniveaus leiden.

Daarnaast is een camera geplaatst gericht op het spoor en waarvan de tijd is gesynchroniseerd met de trillingsopnemers. Dit is zowel bij de referentiemetingen in deelgebied 1 als in deelgebied 5 uitgevoerd. Afbeelding 3.2 geeft een schematische weergave van de verschillende locaties nabij een woning waar een opnemer is geplaatst.

Afbeelding 3.2. Weergave locatie trillingsopnemers referentiemetingen (en ook kortdurende metingen)



3.3. Kortdurende 24 uurs-metingen verfijnde aanpak deelgebied 1

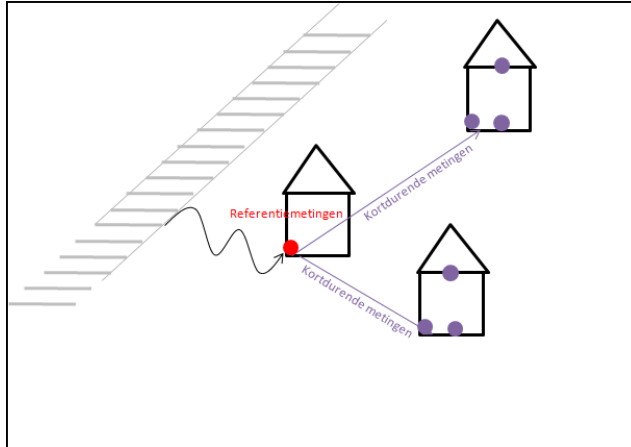
Voor deelgebied 1 is voor een aantal woningtypen de woningoverdracht nader bepaald middels metingen. De woningen die op beperkte afstand van het spoor staan zijn hierbij ingedeeld in een 9-tal clusters. In bijlage IX wordt op deze clusterindeling ingegaan. De clusters zijn gekozen op basis van een visuele inspectie, hierbij is rekening gehouden met:

- type woningconstructie;
- bouwjaar;
- type fundering;
- locatie van de woning en oriëntatie ten opzichte van het spoor.

Tijdens de kortdurende 24-uursmetingen in augustus 2016 zijn op dezelfde locaties opnemers geplaatst als bij de referentiemetingen uit 2014 met uitzondering van het maaiveldpunt (afbeelding 3.2). De aanpak en de gekozen tijdsduur zijn zo gekozen dat aangesloten wordt op Bts en bijbehorende memo van Level Acoustics [ref. 4].

Tijdens de kortdurende 24-uursmetingen zijn volledige trillingssignalen opgeslagen met een hoge sampledichtheid. Hierdoor kunnen de signalen achteraf spectraal worden geanalyseerd. Dit is van belang om mogelijke opslingering bij bepaalde frequenties te identificeren. Conform de memo van Level Acoustics zijn per octaafband gebouwfactoren bepaald, genoemd H_f . Middels deze factoren kan het maximale niveau op de fundering worden omgerekend naar een maximaal niveau in de woning. Er is daarom ook een verhouding tussen het niveau aan de fundering van de clusterwoning en het niveau aan de fundering van de referentiewoning bepaald. Hierbij is onderscheid gemaakt in goederentreinen en reizigers-treinen. In afbeelding 3.3 worden de relaties tussen referentiewoning en clusterwoningen weergegeven. In paragraaf 6.2 wordt nader ingegaan op de uitgevoerde metingen.

Afbeelding 3.3. Referentie- en kortdurende metingen



3.4. Overzicht gemeten woningen

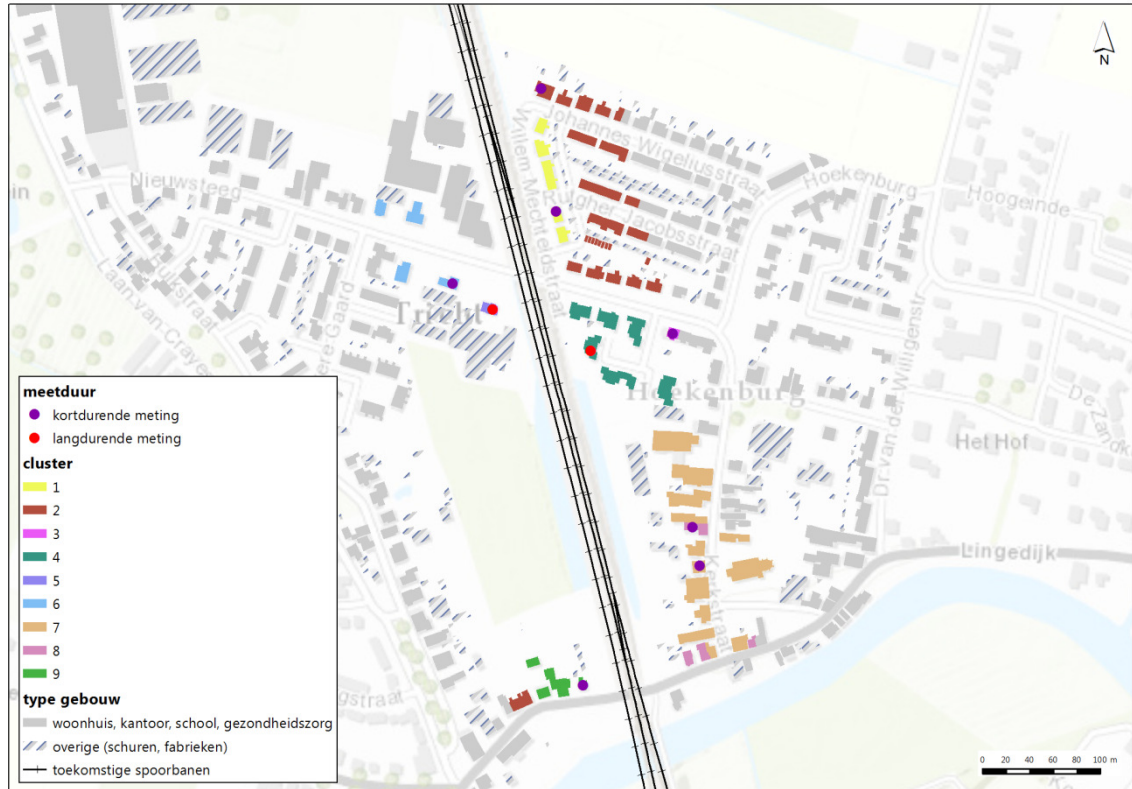
In tabel 3.1 wordt een overzicht gegeven van de gemeten woningen met de afstand tot aan het spoor. Een vijftal adressen betreft een referentiemeting van minimaal een week, een 7-tal adressen een kortdurende meting.

Tabel 3.1. Overzicht gemeten adressen

adressen	deelgebied	cluster	type meting	afstand tot spoor huidig [m]	afstand tot spoor plan [m]
W. Mechteldstraat 8	1	1	kortdurende meting	28,55	28,55
J. Wigeliusstraat 46	1	2	kortdurende meting	46,70	46,70
Nieuwsteeg 7	1	3	kortdurende meting	97,55	97,55
Nieuwsteeg 21	1	4	referentiemeting	26,51	26,51
Nieuwsteeg 57*	1	5	referentiemeting	29,85	23,10
Nieuwsteeg 61*	1	6	kortdurende meting	55,78	49,19
Kerkstraat 11	1	7	kortdurende meting	68,57	68,57
Kerkstraat 17	1	8	kortdurende meting	71,30	71,30
Lingedijk 116*	1	9	kortdurende meting	35,47	28,52
Trichtsevoetpad 1	3	n.v.t.	referentiemeting	19,44	19,44
Burg. Roozeveld van der Venlaan 27	5	n.v.t.	referentiemeting	28,53	28,53
Laageinde 35	5	n.v.t.	referentiemeting	19,80	19,80

* Deze woningen staan aan de westzijde van het spoor waarvoor geldt dat het vrijleggen van de MerwedeLingelijn een wijziging in afstand tot spoor tot gevolg heeft.

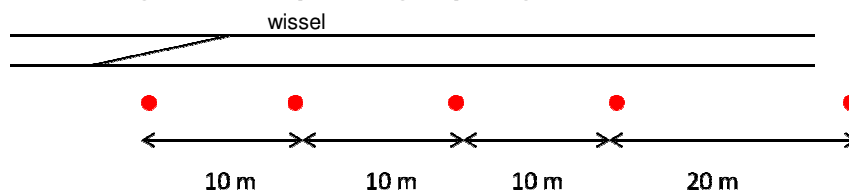
Afbeelding 3.4 Indeling deelgebied 1: Clusters en meetlocaties



3.5. Bepaling invloed wissel

Op een aantal locaties in het projectgebied zijn in het huidige spooreplacement wissels aanwezig nabij bebouwing. De invloed van deze wissels is indicatief in beeld gebracht middels een trillingsmeting. In onderstaande afbeelding wordt de meetopstelling weergegeven. Door de trillingssignalen van de verschillende opnemers voor dezelfde treinpassages te vergelijken wordt een beeld verkregen van een mogelijke verhoging van het trillingsniveau en binnen welk invloedsgebied dit plaatsvindt. In paragraaf 6.6 wordt nader ingegaan op de bepaling van de wisselinvloed op het optredende trillingsniveau. In de prognose van optredende trillingsniveaus in woningen is daar waar woningen binnen het invloedsgebied liggen de invloed meegenomen.

Afbeelding 3.5. Meetopstelling bepaling invloed wissel



3.6. Bepaling afstandsdemping

Om te bepalen hoe trillingen als gevolg van treinverkeer afnemen naar mate men zich verder van het spoor bevindt, is een dwarsraaimeting uitgevoerd. Bij deze meting zijn op verschillende afstanden van het spoor over circa 4 uur treinpassages gemeten. De treinpassages zijn met een hoge sampledichtheid opgeslagen zodat spectraal kan worden bepaald wat de afname van de trillingsniveaus is.

Deze spectrale benadering is gekozen omdat trillingen met lage frequenties (en daarmee grote golflengtes) minder snel uitdempen dan trillingen met hoge frequenties. Per octaafband is de afname van trillingsniveau met afstand op logaritmische schaal bepaald. Goederentreinen resulteren in trillingen met overwegend lage frequenties terwijl Intercity's en met name Sprinters trillingssignalen met hogere frequenties genereren. Trillingen veroorzaakt door goederentreinen blijken daarom over het algemeen minder snel uit te dempen met toenemende afstand tot aan het spoor dan trillingen veroorzaakt door Sprinters of Intercity's¹.

3.7. Extrapoleren gemeten niveaus referentiewoningen naar andere woningen

Middels de referentiemetingen is een beeld verkregen van de maatgevende trillingsniveaus in de referentiewoningen. Dit geldt voor zowel de maatgevende V_{\max} als de maatgevende V_{per} . Vervolgens zijn deze gevonden maximale niveaus per deelgebied geëxtrapoleerd naar de andere woningen binnen dat deelgebied op basis van afname in trillingsniveaus als gevolg van verschil in afstand tot het spoor ten opzichte van de gemeten referentiewoning en de gehanteerde overdrachtsfactor. Voor deelgebied 1 (Tricht) is hierbij een tussenstap uitgevoerd middels de kortdurende 24-uursmetingen per woningcluster.

¹ Er zijn uitzonderingen aangezien het materiaal en de staat van onderhoud van het materieel ook een rol speelt.

4. BEOORDELINGSKADER TRILLINGEN

4.1. Inleiding

Dit hoofdstuk bespreekt het beoordelingskader waaraan wordt getoetst. In geval van het toetsen van schade is enkel de SBR-richtlijn deel A beschikbaar [ref. 7]. Voor het beoordelen van trillinghinder van het project Spooromgeving Geldermalsen wordt getoetst aan de Beleidsregel Trillinghinder Spoor (Bts, maart 2014). De Beleidsregel trillinghinder spoor is namelijk opgesteld om spoorse Tracébesluiten te kunnen toetsen op rechtmatigheid ten aanzien van het al dan niet treffen van maatregelen en de aanvaardbaarheid van trillinghinder.

4.2. SBR-richtlijn trillingen deel A: Schade

Ter voorkoming van schade aan gebouwen als gevolg van trillingen is door de SBR een richtlijn opgesteld waarin grenswaarden worden gepresenteerd voor toelaatbare trillingsniveaus. In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt in type gebouw en of het trillingsignaal kortdurend, herhaald kortdurend of continu is. De voorgeschreven grenswaarden hangen hierbij af van de frequentie van het trillingssignaal. De onderste grenswaarde voor een optredend trillingsniveau aan de fundering van een gebouw bedraagt volgens de richtlijn 3 mm/s. De waarde geldt voor gebouwen uit categorie 3 (slecht onderhouden monumentale panden). De grenswaarde geldt voor een trillingssignaal met zeer lage frequenties tussen de 0 en 10 Hz. Voor hogere frequenties loopt de grenswaarde op. De trillingsmetingen uitgevoerd in het huidige onderzoek zijn verwerkt met het oog op trillinghinder (V_{\max} en V_{per}). Voor trillingsschade dient naar topwaarden te worden gekeken. V_{\max} en V_{top} waarden zijn echter aan elkaar gerelateerd.

4.3. Beleidsregel Trillinghinder Spoor (Bts)

De Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) is opgesteld om spoorse Tracébesluiten te kunnen toetsen op rechtmatigheid ten aanzien van het al dan niet treffen van maatregelen en de aanvaardbaarheid van trillingen. Daartoe vult de Beleidsregel op een aantal onderdelen de SBR-richtlijn B aan en bevat op een aantal onderdelen een nadere uitwerking van beleid.

4.3.1. Toetsing aan de Bts

De Bts verwijst voor de meetprocedure ter bepaling van trillingsniveaus naar de SBR-richtlijn deel B. Deze richtlijn is een meet- en beoordelingsrichtlijn opgesteld ter toetsing van hinder van personen in gebouwen door trillingen [ref. 1]. In de richtlijn wordt beschreven hoe op basis van een optredend trillingssignaal in een woning het maximum van een gewogen voortschrijdende effectieve waarde (V_{\max}) kan worden berekend. Als tweede toetsingsparameter wordt een gemiddeld trillingsniveau (V_{per}) bepaald. Het gemiddelde trillingsniveau is afhankelijk van het aantal passages. Een toename van het vervoersaanbod resulteert in een hogere waarde van V_{per} .

De Bts presenteert streef- en grenswaarden die afhankelijk zijn van de gebouwfunctie (onder andere gezondheidszorg, wonen, kantoor). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een bestaande, gewijzigde en nieuwe situatie. Er geldt een dagperiode van 07.00 - 19.00, een avondperiode van 19.00 - 23.00 en een nachtperiode van 23.00 - 07.00. Voor de toetsing van V_{\max} is een onderste streefwaarde A_1 gedefinieerd en een grenswaarde A_2 . Voor de toetsing van V_{per} is enkel een grenswaarde A_3 gedefinieerd.

De Bts geeft in artikel 4 aan dat ingeval er een nieuwe situatie wordt onderzocht er een beschrijving van de optredende V_{max} in de plansituatie bij het Tracébesluit dient te worden toegelicht. Ingeval er een bestaande situatie wordt onderzocht bevat het Tracébesluit volgens de Bts de toelichting:

- de V_{max} en de V_{per} in de bestaande situatie;
- de V_{max} en de V_{per} in de plansituatie;
- de toename van V_{max} in de plansituatie ten opzichte van de bestaande situatie.

Voor de nieuwe situatie (artikel 5) en bestaande situatie (artikel 6) worden toetsingswaarden voor V_{max} gegeven. De te hanteren grenswaarde voor V_{per} is gelijk voor een bestaande en nieuwe situatie en wordt in artikel 7 besproken. Aangezien in het trillingsonderzoek Spooromgeving Geldermalsen een gebied wordt onderzocht waar reeds een spoorlijn aanwezig is die tot trillingen in de omgeving leidt, is er sprake van een bestaande situatie. Om deze reden wordt nader ingegaan op artikel 6 en artikel 7.

4.3.2. Toetsing V_{max} (artikel 6 Bts)

Volgens artikel 6 mogen maatregelen ter beperking van trillingshinder achterwege blijven indien:

- de V_{max} in de plansituatie voldoet aan de streefwaarden zoals opgenomen in tabel 4.1;
- de toename van de trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de bestaande situatie 30 % of minder bedraagt.

De door de Bts gestelde streef- en grenswaarden voor een bestaande situatie worden in tabel 4.1 weergegeven.

Tabel 4.1. Grens- en streefwaarden V_{max} bestaande situatie¹

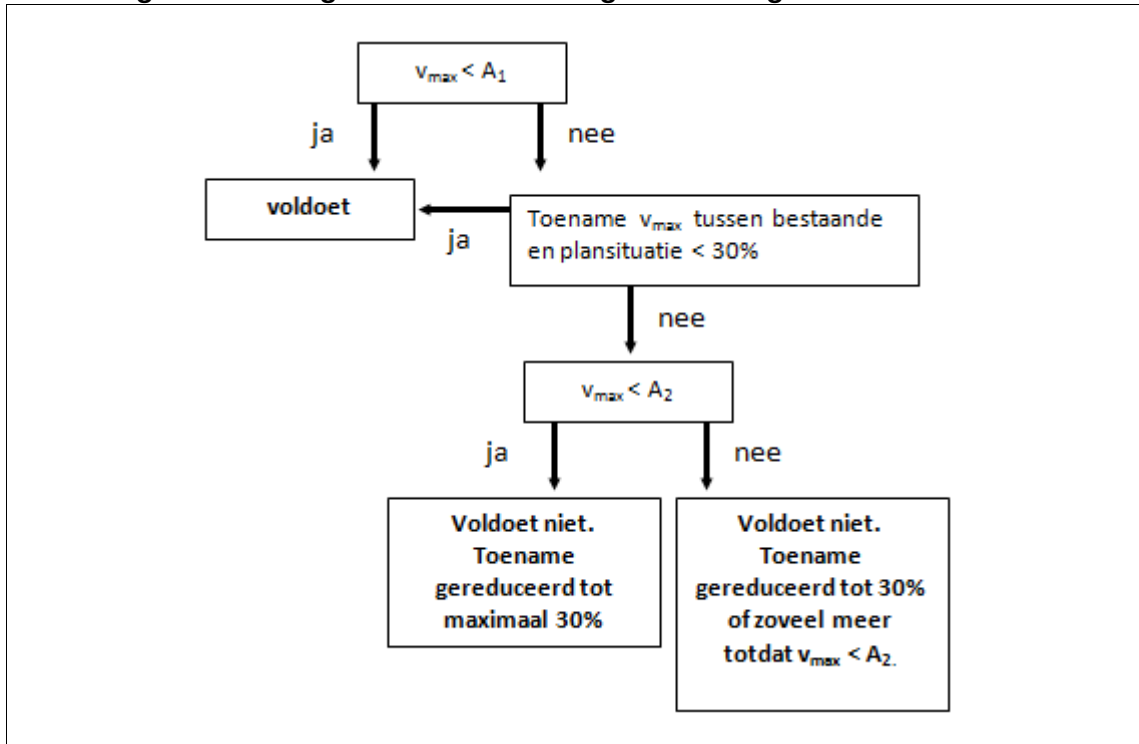
gebouwfunctie	dag en avond		nacht	
	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂
gezondheidszorg en woonruimte	0,2	0,8	0,2	0,4
onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,3	1,2	0,3	1,2
kritische werkruimte	0,1	0,1	0,1	0,1

Indien V_{max} in de plansituatie groter is dan de streefwaarde A₁, kleiner is dan grenswaarde A₂ maar meer dan 30 % toeneemt ten opzichte van de bestaande situatie, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename wordt gereduceerd tot maximaal 30 %.

Indien V_{max} in de plansituatie groter is dan A₁, groter is dan A₂ en meer dan 30 % toeneemt ten opzichte van de bestaande situatie bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename wordt gereduceerd tot maximaal 30 % of zoveel meer als nodig om overschrijding van A₂ te voorkomen. Afbeelding 4.1 geeft bovengenoemde toetsing in een stroomschema weer.

¹ De grens- en streefwaarden komen overeen met de grens- en streefwaarden voor de bestaande situatie volgens SBR-deel B.

Afbeelding 4.1. Toetsingschema V_{max} trillingshinder volgens Bts bestaande situatie



4.3.3. Toetsing V_{per} (artikel 7 Bts)

Volgens artikel 7 mogen maatregelen ter beperking van trillingshinder achterwege blijven indien V_{per} in de plansituatie voldoet aan de grenswaarden opgenomen in tabel 4.2.

Tabel 4.2. Grenswaarden V_{per} bestaande situatie

gebouwfunctie	dag en avond	nacht
		A ₃
gezondheidszorg en woonruimte	0,1	0,1
onderwijs, kantoor en bijeenkomst	0,15	0,15

Indien in de bestaande situatie de optredende waarde van V_{per} voldoet aan de grenswaarden opgenomen in tabel 4.2, maar in de plansituatie niet, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename van de trillingssterkte tot die grens wordt teruggebracht.

Indien in de bestaande situatie en in de plansituatie de optredende waarde van V_{per} niet voldoet aan de grenswaarden opgenomen in tabel 4.2, bevat het Tracébesluit maatregelen waarmee de toename van trillingssterkte wordt voorkomen.

De bepaling van V_{per} dient volgens de Bts conform de SBR-richtlijn deel B te geschieden.

De definitie volgens de SBR-richtlijn luidt:

$$v_{per} = v_{per,meet} \cdot \sqrt{\frac{T_b}{T_0}}$$

waarbij:

- T_b = totale tijdsduur trillingsbron;
- T₀ = tijdsduur beoordelingsperiode;

- $V_{\text{per,meet}}$ = de gemiddelde effectieve waarde over de meetperiode.

De meetperiode bedraagt (minimaal) een week als gevolg van de bepaling van V_{max} . Voor de bepaling van V_{per} is als meetperiode ook een week aangehouden om aan te sluiten bij de Bts, bij de SBR-methodiek en jurisprudentie.¹

4.3.4. Bts gepubliceerd op 26 maart 2014

Op 26 maart 2014 is een besluit tot wijziging van de Bts gepubliceerd. De wijzigingen gaan hoofdzakelijk in op de verwerking van en de eisen aan de meetdataset en de beschrijving van doelmatigheid van maatregelen.

In de wijziging wordt een aantal aspecten beschreven van de uitvoering en verwerking van trillingsmetingen:

- de meetduur dient minimaal een week te bedragen;
- er dient een statistisch maximum te worden bepaald volgens een iteratieve procedure;
- ook dient er een reproduceerbaarheid van het gevonden resultaat te worden bepaald. Deze reproduceerbaarheid dient bij voorkeur 10 % of minder te bedragen.

De bepaling van het maximum vindt middels een statistische verwerking plaats. Middels de statistische verwerking volgt eveneens een reproduceerbaarheid. De statische verwerking wordt niet in de Bts zelf beschreven. Hiervoor is door Level Acoustics een achtergronddocument opgesteld, zie [ref. 4]. De procedure tot bepaling van het maximum trillingsniveau V_{max} en de reproduceerbaarheid is toegepast in dit onderzoek.

Bepaling V_{max}

De procedure tot bepaling van V_{max} volgens [ref. 4] welke in dit onderzoek is toegepast kent een iteratieproces om tot de set aan gemeten trillingsniveaus te komen op basis waarvan een statistisch maximum wordt bepaald. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in meetrichting.

Het iteratieproces start met de 50 % hoogst gemeten trillingsniveaus over de meetperiode (die minimaal een week bedraagt). In deze set zijn stoortrillingen² verwijderd. De set van trillingsniveaus wordt benaderd met een lognormale verdeling. Ook wordt een betrouwbaarheidscoëfficiënt bepaald. Vervolgens wordt gekeken of de set aan een 2-tal iteratiecriteria voldoet. Zo niet, dan worden dezelfde stappen doorlopen voor 25 % hoogste waarden, daarna 12,5 % enzovoort.

Uit de set die wel voldoet aan de iteratiecriteria volgt het statistisch maximum V_{maxBTS} en volgt ook een reproduceerbaarheid R. Hoe lager de waarde van R, hoe hoger de reproduceerbaarheid van V_{maxBTS} . Gestreefd dient te worden naar een waarde van R onder de 10 %. Is de waarde van R hoger dan 10 % dan kan worden besloten de meetduur te verlengen of de toetswaarde te verzwaren middels een verrekening van R.

Verrekening van de reproduceerbaarheid in de toetswaarde van V_{max} vindt als volgt plaats:

- V_{maxBTS} indien $R \leq 10 \%$;

¹ Zie de uitspraak van de Raad van State van woensdag 10 februari 2016 in het project Doorstroom Station Utrecht, met als kenmerk 20155856/1/R6

² Stoortrillingen zijn bijvoorbeeld trillingen door lopen van bewoners of andere bronnen.

- $(1+R/100\%) \cdot V_{\max\text{BTS}}$ indien $R > 10\%$.

In deze rapportage wordt $V_{\max\text{BTS}}$ waarin de reproduceerbaarheid is verwerkt aangeduid als V_{\max} , het maximale trillingsniveau.

Bovenste toelaatbare waarde V_{\max}

In de Bts wordt een bovenste toelaatbare waarde van V_{\max} beschreven waarboven het treffen van maatregelen niet achterwege dient te blijven. De waarde bedraagt 3,2.

4.4. SBR deel C: Trillingsgevoelige apparatuur

Voor zover bekend is er geen sprake van locaties in het projectgebied met trillingsgevoelige apparatuur aanwezig. Dit geldt eveneens voor kritische werkruimtes, waarvan bijvoorbeeld sprake kan zijn bij ziekenhuizen of laboratoria.

5. UITVOERING TRILLINGSMETINGEN

5.1. Gebruikte meetapparatuur

Bij alle referentiemetingen is gebruik gemaakt van Profound Vibra+ meetsystemen. Deze systemen voeren trillingsmetingen uit conform de SBR-richtlijn, zodat uit het gemeten trillingsignaal direct de $V_{\max,30,i}$ waarde wordt bepaald. $V_{\max,30,i}$ betreft het maximale gewogen effectieve trillingsniveau per 30-secondeinterval zoals gedefinieerd door de SBR-richtlijn¹. Het is echter ook mogelijk om traces (het trillingsignaal zelf) met een sampledichtheid van 1.024 Hz op te slaan. Deze functie is gebruikt bij de dwarsraaimetingen en bij de kortdurende metingen.

Afbeelding 5.1 Opstelling fundering profound systeem



Voor de kortdurende 24uursoverdrachtsmetingen is gebruikt gemaakt van een Brüel&Kjær Pulse data-acquisitiesysteem. Hierbij is een negental B&K 8340-accelerometers ingezet. Per adres zijn drie groepen van drie accelerometers geplaatst (drie richtingen per meetpunt). Alle accelerometers zijn gekoppeld met elkaar met behulp van de LAN XI data acquisitie hardware. Een drempelniveau is ingesteld ter plaatse zodat alleen de signalen met trillingsniveaus hoger dan de drempelwaarde worden opgeslagen. Het resultaat van de metingen is een aantal bestanden met ruwe meetdata en een hoge samplefrequentie (> 2000 Hz) voor de negen kanalen.

Afbeelding 5.2 Opstelling data acquisitie kortdurende 24-uursmeting



¹ Voor met name langere goederentreinen komt het voor dat er meerdere $V_{\max,30,i}$ waarden als gevolg van één treinpassage in de meetdataset aanwezig zijn.

5.2. Referentiemetingen

5.2.1. Referentiemetingen deelgebied 1

De referentiemetingen in deelgebied 1 zijn uitgevoerd aan de adressen Nieuwsteeg 57 en Nieuwsteeg 21 te Tricht. In onderstaande tabel wordt weergegeven tussen welke tijdstippen de referentiemetingen zijn uitgevoerd.

Tabel 5.1. Overzicht referentiemetingen maart 2014

adres	datum meting	gelegen zijde t.o.v. spoor
Nieuwsteeg 57	17 maart 11.00 - 26 maart 08.00	west
Nieuwsteeg 21	17 maart 10.00 - 26 maart 09.00	oost

Afbeeldingen 5.3 en 5.4 tonen respectievelijk Nieuwsteeg 21 en Nieuwsteeg 57. In bijlage IX worden de gebouwkenmerken beschreven.

Afbeelding 5.3. Voor- en achterzijde Nieuwsteeg 21, spoor is achterzijde



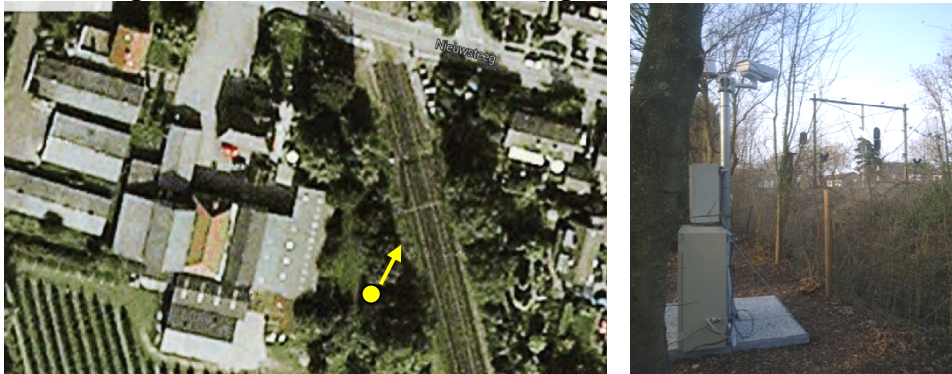
Afbeelding 5.4. Voorzijde en zijkant Nieuwsteeg 57, spoor is aan de zijkant



In de meetdataset van de opnemers die op de begane grond en 1e verdieping zijn geplaatst zijn veel stoortrillingen aanwezig. Dit is hoofdzakelijk het resultaat van lopen van bewoners. Om deze stoortrillingen uit de meetdataset te kunnen filteren is op voorhand gekozen om een camera te plaatsen. De camera slaat bewegingsgestuurd videobeelden op zodat van elke treinbeweging ten tijde van de referentiemetingen videobeelden zijn opge-

slagen. De camera is geplaatst op het erf van Nieuwsteeg 57 aan de spoorzijde. In afbeelding 5.5 wordt aangegeven waar en hoe de camera is geplaatst.

Afbeelding 5.5. Locatie camera Nieuwsteeg 57



5.2.2. Referentiemetingen deelgebieden 3 en 5

De referentiemetingen zijn uitgevoerd aan de adressen Laageinde 35, Burgemeester Roozeveld van der Venlaan 27 en het Trichtsevoetpad 1. In onderstaande tabel wordt weergegeven tussen welke tijdstippen de referentiemetingen zijn uitgevoerd.

Tabel 5.2. Overzicht referentiemetingen maart 2014

adres	datum meting	gelegen zijde t.o.v. spoor
Laageinde 35	4 maart 15.00 - 11 maart 15.00	oost
Burgemeester Roozeveld van der Venlaan 27	4 maart 16.00 - 11 maart 16.00	west
Trichtsevoetpad 1	4 maart 17.00 - 11 maart 17.00	oost

Afbeeldingen 5.6 en 5.7 tonen respectievelijk de woning aan de Laageinde 35, aan de Burgemeester Roozeveld van der Venlaan 27 en aan het Trichtsevoetpad 1.

Afbeelding 5.6. Achterzijde Laageinde 35 (links), spoor is aan achterzijde en Voorzijde Burg. Roozeveld van der Venlaan 27 (rechts), spoor is aan voorzijde



Afbeelding 5.7. Voorzijde Trichtsevoetpad 1, spoor is aan voorzijde



Ook ten tijde van de metingen in deelgebieden 3 en 5 zijn camerabeelden gemaakt. De camera is hierbij geplaatst op het erf van Laageinde 35 aan de spoorzijde. In afbeelding 5.8 wordt aangegeven waar en hoe de camera is geplaatst.

Afbeelding 5.8. Locatie camera Laageinde 35



5.3. Kortdurende 24-uursmetingen deelgebied 1

De kortdurende 24-uursmetingen zijn in augustus/september 2016 uitgevoerd in een 7-tal clusterwoningen in deelgebied 1. In onderstaande tabel worden de adressen en de meettijden gepresenteerd. In bijlage IX wordt een nadere omschrijving van de clusterwoningen gegeven.

Tabel 5.3. Overzicht kortdurende metingen clusterwoningen*

adres	datum meting	dagdeel	cluster
Willem Mechteldstraat 8	23-08-2016 10:04	24-08-2016 14:25	1
Nieuwsteeg 61	24-08-2016 16:24	25-08-2016 17:25	6
Johannes Wigeliusstraat 46	25-08-2016 18:39	26-08-2016 19:12	2
Kerkstraat 11	29-08-2016 10:04	30-08-2016 10:29	7
Lingedijk 116	30-08-2016 12:21	31-08-2016 13:35	9
Kerkstraat 17	31-08-2016 15:53	01-09-2016 15:21	8
Nieuwsteeg 7	01-09-2016 17:43	02-09-2016 18:39	3

* Cluster 4 en 5 betreffen de referentiewoningen

5.4. Dwarsraaimeting

Op woensdag 26 maart 2014 is een dwarsraaimeting uitgevoerd in de boomgaard aan de achterzijde van Nieuwsteeg 57. Op een 5-tal afstanden van het spoor zijn de optredende trillingssignalen als gevolg van treinpassages gemeten. De afstanden bedroegen respectievelijk circa 25, 35, 45, 55 en 75 m van het hart buitenste spoor. In afbeelding 5.9 wordt de locatie van de meetraai aangegeven. Uit een scan van de grondopbouw in Tricht en Geldermalsen blijkt dat de grondlagenopbouw redelijk constant is langs de spoorlijn. De dwarsraaimeting ter plaatse van de boomgaard geeft daarom een goede indicatie van de afstandsdemping langs het gehele spoor in het projectgebied. In de bepaling van de afstandsdemping is een gemiddelde logaritmische afname per octaafband bepaald. Paragraaf 6.5 gaat hier op in.

Afbeelding 5.9. Opstelling dwarsraaimeting boomgaard Nieuwsteeg 57



5.5. Meting aan wissel

Op 17 april 2014 is een meting nabij het wissel in het westelijke spoor 100 m ten noorden van de overweg van de Nieuwsteeg uitgevoerd. Dit betreft een 1:15 wissel. De meting aan het wissel is op vergelijkbare wijze als de dwarsraaimeting uitgevoerd. Hierbij is echter niet op verschillende afstanden van het spoor gemeten maar op dezelfde afstand van het spoor maar op verschillende afstanden van het wissel (langsrichting van het spoor). Zodoende is de toename bepaald van trillingsbelasting nabij een wissel ten opzichte van de reguliere spoorbaan. De gevonden toename, welke afhankelijk is van de afstand tot aan het wissel, is als toeslagfactor gehanteerd op de woningen welke binnen het gevonden invloedsgebied van 50 meter staan.

6. RESULTATEN TRILLINGSMETINGEN

6.1. Beschikbare meetresultaten

Er zijn zowel van de meetcampagne in 2014 als de meetcampagne in 2016 meetresultaten beschikbaar en gebruikt in het trillingonderzoek. Als eerste worden in dit hoofdstuk de meetresultaten uit 2014 besproken waarmee de referentieniveaus in een vijftal woningen zijn bepaald over een meetperiode van minimaal een week, zodat deze direct kunnen worden getoetst aan de Bts. Dit geldt voor zowel het maximale trillingsniveau V_{max} als het gemiddelde trillingsniveau V_{per} . Vervolgens worden de meetresultaten van 2016 beschreven waarin specifiek voor deelgebied 1 (Tricht) voor een zevental clusterwoningen middels 24-uursmetingen gebouwoverdrachten zijn bepaald. Ook is met de 24-uursmetingen per clusterwoning een relatie gelegd tussen funderingsniveau van de betreffende clusterwoning en de referentiewoning in Tricht aan dezelfde zijde van het spoor. Met deze relaties en de gebouwoverdrachten wordt tot vloerniveaus in de clusterwoningen gekomen. Het hoofdstuk sluit af met meetresultaten uit 2014 ten behoeve van de invloed van een wissel en meetresultaten ter bepaling van de afstandsdemping.

6.2. Referentiemetingen 2014

Voor het 5-tal referentiewoningen is op 4 posities gemeten, namelijk maaiveld, fundering, begane grond en eerste verdieping (zie afbeelding 3.2). De datasets van de opnemers op de begane grond en de eerste verdieping laten veel stoortrillingen zien. De stoortrillingen worden hoofdzakelijk veroorzaakt door het lopen van de bewoners binnenshuis. Om deze stoortrillingen te verwijderen is een aantal filteringen toegepast:

1. er is een grenswaarde gehanteerd waarboven alles wordt gefilterd¹ (grenswaarde is per set handmatig bepaald en varieert dus per locatie);
2. van ProRail (Prestatie Analyse Bureau, PAB) is een overzicht gekregen van alle treinen die het meetpunt Geldermalsen passeerden: alle waarden die meer dan 1 minuut verschillen met PAB treinpassages zijn verwijderd. Hierbij is er op gelet dat er geen langzame of stilstaande (goederen)treinen worden verwijderd;
3. van de 4 hoogste trillingsniveaus per uur is op basis van het signaal (tijdsinhoud en frequentie-inhoud) bepaald of er sprake is van een stoortrilling of van een treinpassage. Al deze stoortrillingen zijn uit de dataset gefilterd;
4. per gemeten trillingsniveau is gekeken naar de frequentie-inhoud: De dominante frequenties bij goederentreinpassages bleken consequent tussen de 5,5 tot 7,5 Hz te liggen, bij Sprinters en Intercity's bleek de dominante frequentie meer te variëren tussen de 5 en 10 tot 15 Hz. Waarden met dominante frequenties boven de 20 Hz bleken stoortrillingen te zijn en zijn er uitgefilterd;
5. indien er relatief hoge trillingsniveaus op begane grond of 1e verdieping zijn gemeten, terwijl deze niet op maaiveld en fundering zijn gemeten, dan zijn deze gemeten waarden als stoortrillingen aangeduid en uit de dataset gefilterd.

De hoogste waarden die na bovenstaande filteringen in de dataset aanwezig zijn, zijn handmatig gecontroleerd met de beschikbare videobeelden van treinpassages.

¹ Dit is om bijvoorbeeld trillingsniveaus die zijn gegenereerd tijdens het plaatsen van de meters of andere storingen er uit te filteren.

6.2.1. Maximale trillingsniveaus V_{max}

Nadat stoortrillingen uit de datasets zijn gefilterd is per dataset de iteratieve procedure conform de memo van Level Acoustics [ref. 4] toegepast om tot een bepaling van V_{max} te komen. In tabel 6.1 en 6.2 worden respectievelijk de resultaten voor de referentiewoningen in deelgebieden 1, 3 en 5 weergegeven.

In bijlage I wordt per meetpunt een nadere uitwerking gegeven. In de waarden is bij een reproduceerbaarheid R boven de 10 % de verdiscontering van de reproduceerbaarheid toegepast (zie par. 4.3.3). In tabellen 6.1 en 6.2 worden de resultaten weergegeven. Zo geldt voor Nieuwsteeg 21 maaiveld dat gemeten V_{max} 0,97 bedraagt en de R-waarde boven de 10% ligt, namelijk 13,44. Het toetsniveau bedraagt daarom $0,97 \cdot 1,13 = 1,10$ (zie par. 4.3). Voor de meetrichting geldt dat X de horizontale richting parallel aan het spoor betreft, Y de horizontale richting loodrecht op het spoor en Z de verticale richting.

Tabel 6.1. Resultaten V_{max} deelgebied 1

	V_{max}	R	toetsniveau	meetrichting
Nieuwsteeg 21				
maaiveld	0,97	13,44	1,10	Z
fundering	0,52	15,54	0,60	Z
begane grond	0,48	16,39	0,56	X
eerste verdieping	0,56	15,17	0,64	X
Nieuwsteeg 57				
maaiveld	1,10	13,21	1,24	Z
fundering	0,63	11,87	0,71	Z
begane grond	0,77	14,96	0,88	X
eerste verdieping	0,72	7,46	0,72	Z

In de tabellen 6.1 en 6.2 wordt de maximale waarde in de woning dikgedrukt weergegeven. Dit betreft de waarde die aan de BTs getoetst moet worden.

Tabel 6.2. Resultaten V_{max} deelgebied 3 en 5

	V_{max}	R	toetsniveau	meetrichting
Laageinde 35				
maaiveld	0,38	10,04	0,41	Z
fundering	0,34	11,45	0,38	Z
begane grond	0,32	10,75	0,36	Z
eerste verdieping	0,51	12,61	0,58	Y
Burg. Roozeveld van der Venlaan 27				
maaiveld	0,47	17,89	0,56	X
fundering	0,42	12,03	0,47	Z
begane grond	¹	-	-	-
eerste verdieping	0,74	10,22	0,82	Z
Trichtsevoetpad 1				
maaiveld	0,56	9,21	0,56	Z
fundering	0,30	6,88	0,30	Z
begane grond	0,57	9,39	0,57	Z

¹ De meetdataset van de begane grond van de burg. Roozeveld van der Venlaan 27 is niet aanwezig.

	V_{max}	R	toetsniveau	meetrichting
eerste verdieping	0,74	10,58	0,81	Y

Uit tabel 6.1 volgt dat voor deelgebied 1 vrijwel alle meetposities een reproduceerbaarheid van boven de 10 % vertonen. Enkel voor de eerste verdieping van Nieuwsteeg 57 is een reproduceerbaarheid van minder dan 10 % gevonden. Ook blijkt uit de metingen dat voor zowel Nieuwsteeg 21 als Nieuwsteeg 57 er geen sprake is van daadwerkelijke opslingering, omdat de maximale niveaus op fundering en op begane grond en eerste verdieping niet veel verschillen.

Uit tabel 6.2 blijkt dat ook voor deelgebieden 3 en 5 veel meetlocaties een reproduceerbaarheid van boven de 10 % vertonen. Worden de 2 tabellen met elkaar vergeleken dan volgt dat op maaiveld en fundering de hoogste niveaus in deelgebied 1 (Tricht) zijn gemeten. Voor de opnemers in de woning blijkt dit niet het geval. Ook blijkt dat er voor de referentiewoningen in deelgebieden 3 en 5 mogelijk wel opslingering is.

6.2.2. Gemiddelde trillingsniveaus V_{per}

Het gemiddelde trillingsniveau V_{per} wat in een woning optreedt wordt bepaald door alle treinpassages die een niveau binnen een 30-seconde-interval ($V_{eff,max,30,i}$) boven de 0,1 tot gevolg hebben. De waarde van V_{per} bedraagt vervolgens:

$$V_{per,meet} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^N v_{eff,max,30,i}^2 \right]}$$

Hierin is n het aantal 30-secondenintervallen in de meetperiode. Voor de bepaling van V_{per} zijn dus niet alleen de maatgevende treinpassages die V_{max} bepalen van belang, maar een grotere verscheidenheid aan treinpassages. De V_{per} in de referentiewoningen is volgens bovenstaande formule bepaald voor de gehele weekperiode voor de dag- avond en nachtperiode afzonderlijk. Hierbij is onderscheid gemaakt in meetrichting. In bijlage I wordt een uitwerking gegeven van de berekende niveaus van V_{per} per opnemer per dagdeel. In onderstaande tabellen zijn de maatgevende niveaus samengevat. Uit de resultaten volgt dat de dagperiode maatgevend is en veelal de Z-richting (verticale meetrichting).

Tabel 6.3. Meetresultaten V_{per} deelgebied 1

	dag		avond		nacht	
	V_{per}	meetrichting	V_{per}	meetrichting	V_{per}	meetrichting
Nieuwsteeg 21						
maaiveld	0,06	Z	0,05	Z	0,04	Z
fundering	0,02	Z	0,01	Z/Y	0,02	Z
begane grond	0,04	Z	0,04	Z	0,02	Z
eerste verdieping	0,03	Z	0,02	Z	0,02	X
Nieuwsteeg 57						
maaiveld	0,08	Z	0,07	Z	0,05	Z
fundering	0,04	Z	0,03	Z	0,03	Z
begane grond	0,05	Z	0,04	Z	0,02	Z
eerste verdieping	0,06	Z	0,06	Z	0,04	Z

Tabel 6.4. Meetresultaten V_{per} deelgebied 3 en 5

	dag		avond		nacht	
	V_{per}	meetrich- ting	V_{per}	meetrich- ting	V_{per}	meetrich- ting
Laageinde 35						
maaiveld	0,05	Y	0,04	Y	0,03	Y
fundering	0,03	Z	0,03	Z	0,02	Z
begane grond	0,02	Z	0,01	Z	0,01	Z
eerste verdieping	0,05	Y	0,05	Y	0,03	Y
Burg. Roozeveld van der Ven- laan 27						
maaiveld	0,04	Z	0,03	Z	0,03	Z
fundering	0,02	Z	0,02	Z	0,02	Z
begane grond	- ¹	-	-	-	-	-
eerste verdieping	0,05	Z	0,04	Z	0,03	Z
Trichtsevoetpad 1						
maaiveld	0,06	Z	0,05	Z	0,03	Z
fundering	0,02	Z	0,02	Z	0,02	Z
begane grond	0,05	Z	0,04	Z	0,03	Z
eerste verdieping	0,06	Z	0,05	Z	0,04	Y

6.3. Kortdurende 24-uursmetingen 2016 deelgebied 1

In augustus/september 2016 zijn trillingsmetingen uitgevoerd in 7 clusterwoningen in deelgebied 1. Hierbij is naast dat aan de clusterwoningen is gemeten ook aan de fundering van de twee referentiewoningen gemeten. De metingen uit 2016 zijn uitgevoerd om te waarborgen dat de gebouwoverdrachten van de clusterwoningen voldoende nauwkeurig en conform de Bts (specifiek conform de achterliggende memo van Level Acoustics, [ref. 4]) zijn bepaald.

Omdat de gemeten trillingsniveaus (uit 2014) in de twee referentiewoningen een week of meer beslaan, kunnen de niveaus in de referentiewoningen direct worden getoetst aan de streef- en grenswaarden van de Bts. Dit geldt niet voor de clusterwoningen, omdat daar niet een hele week gemeten is, maar over een periode van 24 uur.

Per clusterwoning zijn over 24 uur treinsignalen op fundering, begane grond en 1^e verdieping gemeten. Om voor de clusterwoningen tot een toetsniveau van V_{max} en V_{per} te komen (die representatief is voor de hele week) is een 3-tal stappen gezet:

1. bepalen verhouding trillingsniveaus fundering tussen clusterwoningen en referentiewoning aan dezelfde zijde van het spoor;
2. controle V_{per} -bepaling door vergelijking berekening en 24-uursmeting;
3. bepaling van gebouwoverdrachten volgens memo van Level Acoustics in clusterwoning.

De stappen worden in onderstaande subparagrafen nader uitgewerkt.

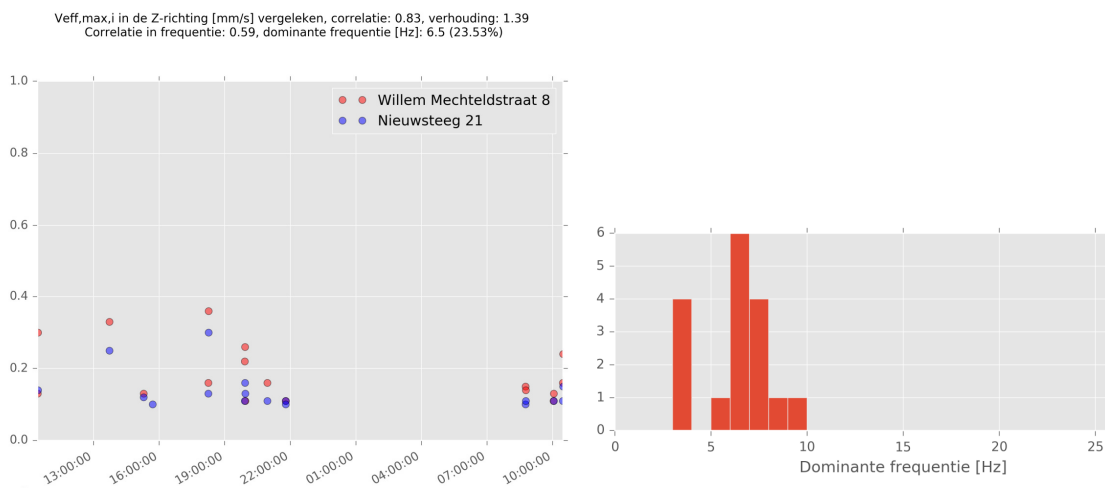
Verhouding fundering clusterwoning met fundering referentiewoning

Tijdens de 24 uur durende metingen is aan de fundering van de clusterwoning het optredende V_{max} -niveau per 30 seconden gemeten. Tijdens diezelfde 24 uur zijn ook in de refe-

rentiewoning aan de fundering de V_{\max} -niveaus gemeten. Aan de referentiewoning is in 2014 echter al langer gemeten, namelijk minimaal een week. Dit om te waarborgen dat een voldoende representatieve dataset is verkregen. Immers, het kan zijn dat een bepaalde maatgevende trein niet vaak passeert, waardoor in de 24-uursmeting deze niet aanwezig is, terwijl in de meting aan de referentiewoning van meer dan een week deze wel aanwezig is. Om te waarborgen dat de trillingsniveaus aan de fundering van de clusterwoning ook voldoende representatief zijn (oftewel dat er minimaal een week aan treinpassages aan ten grondslag ligt), is onderzocht of en welke verhouding er tussen de niveaus op fundering tussen referentiewoning en clusterwoning kan worden gevonden.

De dataset van 24-uursmetingen aan de fundering van zowel de referentiewoning als de clusterwoning is gefilterd op stoortrillingen door eenzelfde filtering toe te passen als beschreven in paragraaf 6.2. Vervolgens is afzonderlijk voor reizigers- en goederentreinen per clusterwoning bepaald wat de gemiddelde factor is ten opzichte van de referentiewoning. Deze aanpak gaat er van uit dat er een lineaire verhouding is tussen de niveaus aan de fundering van de cluster- en referentiewoning. Deze veronderstelling is getoetst door de correlatie te berekenen. Er is in de bepaling van de verhoudingen onderscheid gemaakt tussen goederen- en reizigerstreinpassages. Dit mede met het oog op de bepaling van V_{per} in de clusterwoningen. Bij de bepaling van de verhoudingen is gekeken naar de correlatie per adres en ook is gekeken naar de dominante frequentie. De correlaties voor goederentreinen blijkt relatief goed te zijn, voor reizigerstreinen blijkt er een minder goede correlatie te worden gevonden. In afbeelding 6.1 wordt de bepaling van de verhouding voor Willem Mechteldstraat 8 weergegeven. In bijlage III worden de resultaten van alle clusterwoningen weergegeven.

Afbeelding 6.1 Voorbeeld bepaling gemiddelde verhouding V_{\max} goederentreinen Willem Mechteldstraat 8 (links gemeten niveaus, rechts dominante frequenties)



In bijlage III worden de berekende verhoudingen van alle clusterwoningen gegeven voor zowel reizigerstreinen als goederentreinen. In onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat.

Tabel 6.5. Berekende verhouding in $V_{\text{eff,max},30,i}$ bij treinpassages

Adres clusterwoning	Adres referentiewoning	Gemiddelde verhouding bij goederentreinpassages	Gemiddelde verhouding bij reizigerstreinpassages
1. Willem Mechteldstraat 8	Nieuwsteeg 21	1,39	1,53
6. Nieuwsteeg 61	Nieuwsteeg 57	0,83	0,9
2. Johannes Wigeliusstraat 46	Nieuwsteeg 21	1,34	0,99
7.Kerkstraat 11	Nieuwsteeg 21	0,75	0,68
9.Lingedijk 116	Nieuwsteeg 57	1,41	1,04
8.Kerkstraat 17	Nieuwsteeg 21	0,79	0,67
3. Nieuwsteeg 7	Nieuwsteeg 21	0,82	0,83

Uit de berekende verhoudingen blijkt dat Willem Mechteldstraat 8, Johannes Wigeliusstraat 46 en Lingedijk 116 de maatgevende verhoudingen laten zien. Hierbij geldt dat gemiddeld de verhouding voor goederentreinen hoger ligt dan voor reizigerstreinen. Voor Willem Mechteldstraat 8 en Nieuwsteeg 61 is dit niet het geval. De berekende verhoudingen voor Willem Mechteldstraat 8 geven aan dat er aan de fundering van Willem Mechteldstraat 8 hogere niveaus optreden voor zowel goederentreinen als reizigerstreinen dan aan de fundering voor Nieuwsteeg 21.

Uit de gegevens van Prorail betreffende het aantal opgetreden treinpassages blijkt dat er in elk 24-uursvenster minimaal 15 goederentreinpassages hebben plaatsgevonden. Hierdoor bestaat de verwachting dat er telkens voldoende goederentreinen zijn gemeten om een gemiddelde te kunnen bepalen. Het aantal reizigerstreinen per dag is constant en bedraagt meer dan een 300-tal passages.

Uit bijlage III blijkt dat de gevonden correlaties voor reizigerstreinen veel minder zijn dan voor goederentreinen. Dit geeft de verwachting dat de berekende verhouding (en lineair relatie) tussen funderingsniveau referentiewoning en clusterwoning voor de reizigerstreinen minder nauwkeurig is dan voor goederentreinen. Omdat de berekening van V_{max} gedomineerd wordt door goederentreinpassages wordt verwacht dat de bepaling van V_{max} op fundering van de clusterwoningen op basis van de berekende verhouding nauwkeurig is. Voor de bepaling van V_{per} is echter het aandeel van reizigerstreinen ook van belang. Er is daarom aanvullend gekeken in hoeverre de berekende verhoudingen (voor met name reizigerstreinen) tot een juist beeld van V_{per} leiden.

Nader onderzoek bepaling V_{per} op basis van verhoudingen funderingsniveaus

Gedurende de 24-uursmetingen zijn zowel op fundering van de referentiewoning als op de fundering van de clusterwoning de optredende V_{max} -niveaus gemeten. Op basis van deze gegevens zijn de verhoudingen van zowel reizigers als goederentreinpassages bepaald zoals besproken in de vorige paragraaf. Van beide punten is ook de opgetreden waarde van V_{per} in de betreffende dag-, avond- en nachtperiode bepaald. Hierbij is onderscheid gemaakt in het aandeel reizigers- en goederentreinen. Door de opgetreden V_{per} -niveaus over 24 uur op de fundering van de referentiewoning om te rekenen volgens de verhoudingen om tot niveaus op fundering van de clusterwoning te komen en deze niveaus te vergelijken met de werkelijk gemeten niveaus, wordt een indruk verkregen of het hanteren van verhoudingen tot een juist beeld leidt wanneer deze voor de meting over de gehele week worden gehanteerd. Tabel 6.6 geeft de resultaten.

Tabel 6.6. Vergelijking Vper-niveau fundering clusterwoning op basis van berekening van fundering referentiewoning en 24uursmeting aan clusterwoning zelf

Adres clusterwoning	Verhouding berekening/meting reizigerstreinen	Verhouding berekening/meting goederentreinen
1. Willem Mechteldstraat 8	0,53	0,96
2. Johannes Wigeliusstraat 463.	1,22	0,98
3. Nieuwsteeg 7	0,66	1,16
6. Nieuwsteeg 61	0,95	0,93
7. Kerkstraat 11	1,76	1,20
8. Kerkstraat 17	-	1,07
9. Lingedijk 116	0,99	0,92

In de tabel wordt de minimale verhouding getoond van de drie perioden gezamenlijk (dag, avond en nacht). Dit geeft de mogelijke onderschatting weer.

Uit de resultaten blijkt voor woningen waar in het totaal lagere trillingsniveaus optreden dan in de referentiewoning wanneer naar reizigerstreinen wordt gekeken, het hanteren van de verhoudingen tot een goede (rond de 1) of een overschatting (boven de 1) van de gemiddelde V_{per} -niveaus leidt. Enkel voor Nieuwsteeg 7 en Willem Mechteldstraat 8 blijkt dit niet het geval. Voor Nieuwsteeg 7 geldt dat reizigerspassages tot lage niveaus leiden en slechts enkele boven de 0,1 uitkomen. De relatief lage verhouding is gebaseerd op enkele treinpassages en heeft dan ook weinig invloed.

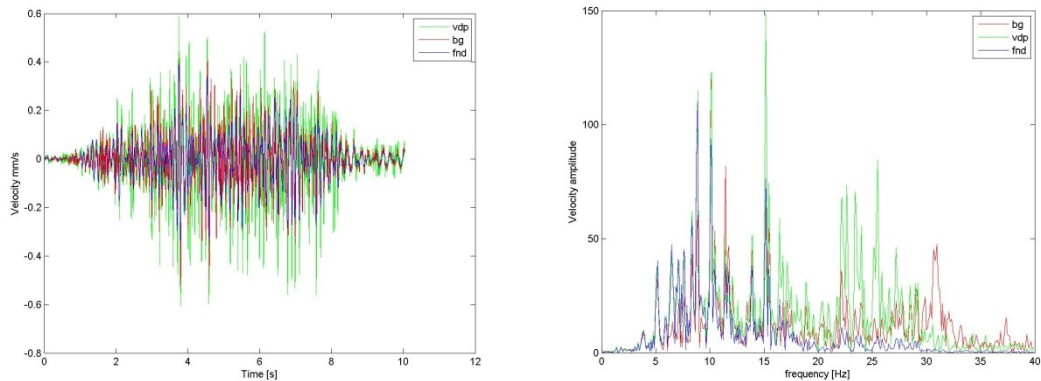
Voor het cluster aan de Willem Mechteldstraat blijkt ook een lage verhouding te zijn gevonden. Dit heeft naar verwachting een andere oorzaak; het is het gevolg van de drempelwaarde van 0,1 waarboven treinpassages wel mee tellen en waaronder niet. Deze discrete drempel resulteert in het feit dat enkel schaling op basis van de verhouding voor Willem Mechteldstraat 8 een onvoldoende juist beeld geeft omdat de niveaus juist wat hoger liggen dan bij de referentiewoning. De verhouding voor reizigerstreinen in de bepaling van V_{per} voor Willem Mechteldstraat 8 is daarom aangepast met een factor 1/0,53. Zodoende wordt het zojuist beschreven effect in rekening gebracht.

Gebouwoverdrachten clusterwoningen

Met de berekende verhoudingen tussen fundering referentiewoning en fundering clusterwoning kan het toetsniveau in de huidige situatie op fundering van de referentiewoning worden omgerekend naar het toetsniveau op de fundering van de clusterwoning. Het niveau op fundering dient echter te worden omgerekend naar een niveau in de woning op de maatgevende vloer om te kunnen toetsen aan de Bts. Hiertoe is conform optie 2 van de memo van Level Acoustics (welke als achtergronddocument dient voor de Bts) per octaafband de maatgevende overdrachtsfactor bepaald.

De procedure om tot deze gebouwfactoren te komen wordt beschreven in de memo van Level Acoustics. Als vertrekpunt dienen gemeten treinsignalen op fundering en op vloerniveau (beganegrond en eerste verdieping) over een periode van 24 uur beschikbaar te zijn. In afbeelding 6.2 is ter illustratie een signaal van de Lingedijk weergegeven (blauw is fundering, rood is beganegrond en groen is eerste verdieping). In de afbeelding wordt het gemeten trillingssignaal in z-richting gegeven.

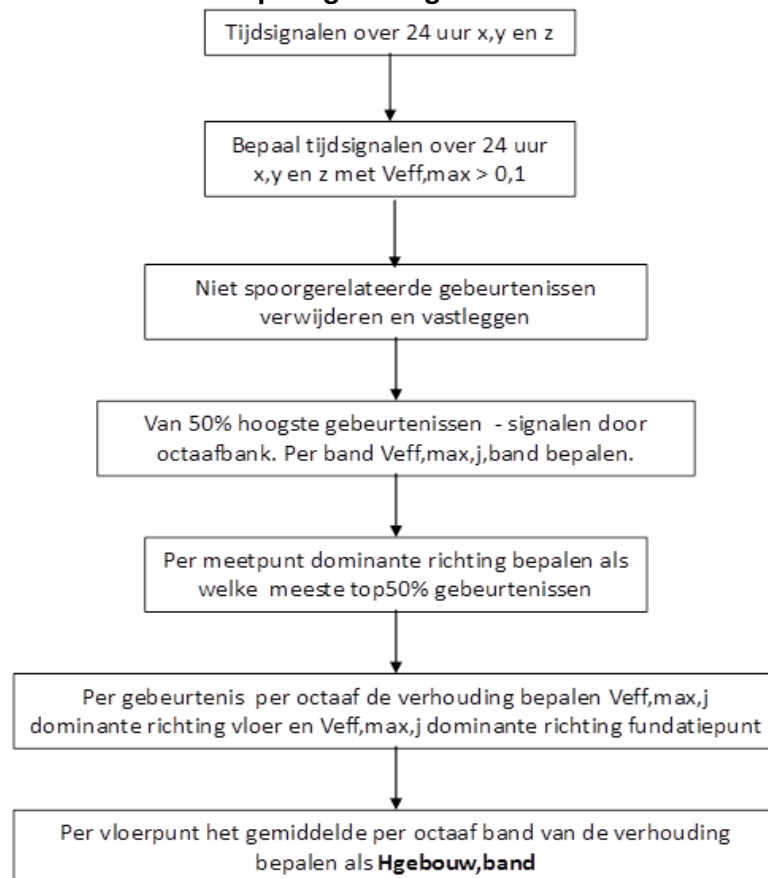
Afbeelding 6.2 Voorbeeld signaal Lingedijk 116 (links tijdsignaal, rechts frequentie-spectrum)



Het aantal beschikbare gemeten trillingssignalen als gevolg van treinpassages over 24 uur hangt sterk af van de hoogte van de trillingsniveaus. Zo zijn voor Willem Mechteldstraat 8 en Lingedijk 116 ten op zichte van de andere adressen het grootste aantal signalen beschikbaar uit de 24 uursmeting. Voor Johannes Wigeliusstraat 46 bleken er echter weinig signalen beschikbaar. Er bleken tijdens de betreffende 24 uur relatief weinig goederentreinen te zijn gepasseerd.

De procedure welke per clusterwoning is doorlopen om tot een H_{gebouw} (overdrachtsfactor) te komen is weergegeven in onderstaande afbeelding.

Afbeelding 6.3. Procedure ter bepaling van H_{gebouw}



In bijlage II worden de resultaten per cluster uiteengezet voor de octaafbanden 2 t/m 63 Hz. Hierbij worden ook de dominante richtingen per octaafband weergegeven. In onderstaande tabel worden de berekende overdrachten samengevat.

Tabel 6.7. Resultaten overdrachtsfactoren per octaafband

adres	aantal trein-passages (top #50%)	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz
Willem Mechteldstraat 8							
<i>fund->bg</i>	86	-	-	-	-	-	-
<i>fund -> vdp</i>	86	1,31	1,61	1,55	2,36	5,10	2,58
Johannes Wigeliusstraat 46							
<i>fund->bg</i>	5	1,90	1,06	0,78	1,59	4,07	1,63
<i>fund -> vdp</i>	5	1,06	1,76	0,71	1,56	5,50	1,50
Nieuwsteeg 7							
<i>fund->bg</i>	26	0,96	1,10	1,08	0,96	6,77	10,18
<i>fund -> vdp</i>	26	1,10	0,98	1,48	1,05	1,92	1,75
Nieuwsteeg 61							
<i>fund->bg</i>	57	1,01	1,02	0,87	1,76	10,56	7,03
<i>fund -> vdp</i>	57	1,25	1,06	1,34	2,76	9,08	10,50
Kerkstraat 11							
<i>fund->bg</i>	6	0,96	1,67	1,20	1,89	2,01	2,39
<i>fund -> vdp</i>	6	1,07	1,30	1,66	1,28	4,01	8,71
Kerkstraat 17							
<i>fund->bg</i>	23	0,96	1,17	1,39	5,38	7,16	7,45
<i>fund -> vdp</i>	23	1,08	1,12	2,32	3,28	12,79	9,45
Lingedijk 116							
<i>fund->bg</i>	89	1,00	1,16	0,72	1,40	7,41	1,10
<i>fund -> vdp</i>	89	1,25	1,26	1,90	2,32	7,15	11,43

Per adres is de maximale overdracht van de octaafbanden 4 en 8 Hz dikgedrukt. Deze waarden worden in de prognoseberekeningen meegenomen.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat voor de clusterwoningen die dicht op het spoor staan en waar hoge niveaus optreden (Willem Mechteldstraat en Lingedijk) ook het meeste aantal treinpassages beschikbaar zijn (top #50 %). Dit komt doordat zowel goederentreinen als reizigerstreinen tot goede meetsignalen leiden. Voor de Johannes Wigeliusstraat valt op dat er slechts vijf signalen uit de procedure volgen op basis waarvan de overdrachtsfactoren zijn bepaald. Voor de Johannes Wigeliusstraat blijkt dat enkel goederentreinen tot niveaus leiden welke in de procedure meegenomen worden. Dit blijkt ook uit bijlage III, waarin de niveaus over de 24 uur worden gepresenteerd separaat voor reizigers- en goederentreinen. Daarnaast zijn tijdens de 24-uursperiode van de Johannes Wigeliusstraat relatief weinig goederentreinen gepasseerd en allemaal overdag zodat deze makkelijker zijn verstoord. Voor Kerkstraat 11 blijkt het aantal passages ook beperkt. De reden hiervoor is de grotere afstand tot het spoor en het beperkte aantal goederentreinpassages tijdens de 24-uursmeting. De nauwkeurigheid van de berekende overdrachten voor Kerkstraat 11 en Johannes Wigeliusstraat 46 zijn daarom minder dan voor de overige woningen.

Wordt gekeken naar de overdrachtsfactoren dan valt op dat de hoge frequentiebanden (31,5 en 63 Hz banden) structureel hoge overdrachten laten zien. Dit volgt ook uit frequen-

tie-inhoud van de meetsignalen (afbeelding 6.2 rechter figuur). Op fundering blijken hoge frequenties structureel minder aanwezig in de signalen dan op de begane grond en eerste verdieping. Omdat de dominante frequenties van de treinsignalen niet in deze banden liggen hebben de hoge overdrachten in deze banden geen invloed op de bepaling van de trillingsniveaus op vloerniveau.

6.4. Berekende niveaus clusterwoningen

6.4.1. V_{\max} clusterwoningen

Uit de referentiemetingen blijkt dat het maximale trillingsniveau gedomineerd wordt door goederentreinpassages. Voor de bepaling van V_{\max} over een week aan de fundering van de clusterwoning wordt daarom de verhouding tussen fundering referentiewoning en clusterwoning voor goederentreinpassages genomen (zie bijlage III). Afhankelijk van de dominante frequentie van de goederentreinsignalen op fundering is de overdrachtsfactor H_{gebouw} gekozen uit tabel 6.7.¹ In tabel 6.8 worden de berekende vloerniveaus voor V_{\max} in de clusterwoningen weergegeven.

Tabel 6.8. Berekende V_{\max} -niveaus clusterwoningen

adres	V_{\max} refwoning fundering*	verhouding funderingsniveaus	V_{\max} clusterwoning fundering	factor H_{gebouw}	V_{\max} clusterwoning vloer
Willem Mechteldstraat 8	0,60	1,39	0,83	1,61	1,35
Johannes Wigeliusstraat 48	0,60	1,34	0,80	1,76	1,41
Nieuwsteeg 7	0,60	0,82	0,49	1,48	0,73
Nieuwsteeg 61	0,71	0,83	0,59	1,34	0,79
Kerkstraat 11	0,60	0,75	0,45	1,70	0,76
Kerkstraat 17	0,60	0,79	0,47	1,17	0,56
Lingedijk 116	0,71	1,41	1,00	1,90	1,90

* Voor Nieuwsteeg 57 is voor de fundering een maximum niveau van 0,71 en voor Nieuwsteeg 21 een niveau van 0,60 gevonden, beide in Z-richting, zie bijlage I.

Lingedijk 116 laat het hoogste niveau zien. Willem Mechteldstraat 8 en Johannes Wigeliusstraat 46 laten niveaus boven de 1 zien. Naarmate de woningen verder van het spoor staan neemt het maximale berekende niveau V_{\max} af.

6.4.2. V_{per} clusterwoningen

De waarde van V_{per} hangt van alle treinpassages af met een trillingsniveau $V_{\max,30,i}$ boven de 0,1. Voor de verhouding van V_{per} aan de fundering tussen de referentiewoning en de clusterwoning is daarom niet enkel de verhouding tussen goederentreinen, maar ook die van reizigerstreinen van belang. De bepaling van V_{per} aan de fundering van de clusterwoning is daarom opgesplitst in een deel goederen en een deel reizigers:

$$V_{\text{per}, \text{cluster}} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^N v_{\text{eff}, \text{max}, 30, i, \text{goederen}, \text{cluster}}^2 \right] + \left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^N v_{\text{eff}, \text{max}, 30, i, \text{reizigers}, \text{cluster}}^2 \right]}$$

¹ Zo blijken voor de Kerkstraat 11 en 17 uit bijlage III dat voor goederentreinen de dominante frequentie rond de 5 Hz ligt welke in de 4 Hz band valt (4 Hz band loopt van 2,8 tot 5,7 Hz), terwijl voor bijvoorbeeld de Willem Mechteldstraat de dominante frequentie vaak tussen de 6 en 7 Hz ligt welke in de 8 Hz band valt.

Beide termen zijn eerst voor meer dan een 1 week durende referentiemeting bepaald, waarna op basis van de gemiddelde verhoudingen beide termen afzonderlijk voor de clusterwoning zijn berekend. Zo volgt voor het aandeel goederentreinen:

$$V_{per, referentie, goederen} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^N v_{eff,max,30,i,goederen, referentie}^2 \right]}$$

De waarde $V_{per,ref,goederen}$ betreft hiermee het opgetreden V_{per} -niveau als ware er enkel goederentreinen gepasseerd en geen enkele andere trein. Voor het aandeel reizigerstreinen geldt dezelfde berekening. Door vervolgens de aandelen bij elkaar op te tellen (wortel van de kwadraten) volgt de totale waarde van V_{per} . De resultaten worden in onderstaande tabel weergegeven. In het aandeel reizigers zijn alle andere typen passages ook meegenomen. Het aandeel reizigers kent dus ook enkele onderhoudstreinen of leeg materieel.

Tabel 6.9. Berekende V_{per} -niveaus fundering clusterwoningen

adres	$V_{per,ref,GO}^*$	$V_{per,ref,RZ}^*$	verhouding GO	verhouding RZ	$V_{per,cl,GO}$	$V_{per,cl,RZ}$
Willem Mechteldstraat 8	0,02	0,01	1,39	1,53	0,02	0,03
Johannes Wigeliusstraat 48	0,02	0,01	1,34	0,99	0,02	0,01
Nieuwsteeg 7	0,02	0,01	0,82	0,83	0,01	0,01
Nieuwsteeg 61	0,02	0,03	0,83	0,90	0,02	0,03
Kerkstraat 11	0,02	0,01	0,75	0,68	0,01	0,01
Kerkstraat 17	0,02	0,01	0,79	0,67	0,01	0,01
Lingedijk 116	0,02	0,03	1,41	1,04	0,03	0,03

* In bijlage VII worden de niveaus nader uiteengezet.** Voor Willem Mechteldstraat 8 is de verschaling voor reizigerstreinen toegepast beschreven in paragraaf 6.3.

Om tot toetsniveaus in de woningen op vloerniveau te komen, zijn de funderingsniveaus van de clusterwoningen omgerekend naar vloerniveau op basis van de berekende woningoverdrachten H_{gebouw} . In onderstaande tabel worden de resultaten weergegeven. Om tot een totaalniveau te komen dient de wortel te worden genomen van het kwadraat van beiden termen (reizigers en goederen) bij elkaar opgeteld.

Tabel 6.10. Berekende V_{per} -niveaus vloerniveau clusterwoningen

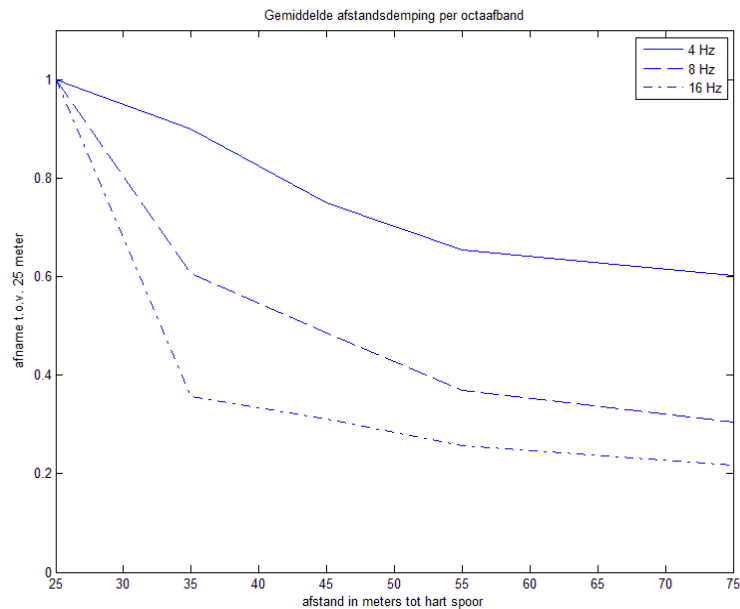
adres	H_{gebouw} GO	H_{gebouw} RZ	$V_{per,cl,GO}$ vloer- niveau	$V_{per,cl,RZ}$ vloer- niveau	$V_{per,cl}$ vloerni- veau
Willem Mechteldstraat 8	1,61	1,61	0,03	0,04	0,05
Johannes Wigeliusstraat 48	1,76	1,76	0,04	0,02	0,04
Nieuwsteeg 7	1,48	1,48	0,02	0,01	0,02
Nieuwsteeg 61	1,34	1,34	0,03	0,04	0,05
Kerkstraat 11	1,97	1,66	0,02	0,01	0,02
Kerkstraat 17	1,17	2,32	0,01	0,01	0,02
Lingedijk 116	1,90	1,90	0,06	0,07	0,09

6.5. Afstandsdemping

De afname van trillingsniveau met afstand tot aan het spoor, de afstandsdemping, is per octaafband bepaald. Voor de bepaling van de afstandsdemping is een 43-tal treinpassages gebruikt. Afbeelding 6.4 geeft voor de 4, 8 en 16 Hz-octaafbanden de gemiddelde afname

ten opzichte van 25 m weer.¹ Per treinpassage is gekeken naar de afstandsdeмпing per frequentieband. Vervolgens is per frequentieband gemiddeld over alle treinpassages. Zodoende is een gemiddelde afstandsdeмпing per frequentieband gevonden.

Afbeelding 6.4. Gemiddelde afstandsdeмпing per octaafband



Omdat trillingen als gevolg van goederentreinpassages in de regel lagere dominante frequenties hebben dan trillingen als gevolg van Intercity- of Sprinterpassages, volgt uit bovenstaande afbeelding dat trillingen als gevolg van goederentreinen minder snel uitdempen dan trillingen als gevolg van Sprinters of Intercity's.

Uit de meetresultaten van de referentiemetingen volgt dat de passerende goederentreinen een dominante frequentie laten zien veelal tussen de 5,5-7,5 Hz. De 4 Hz octaafband kent een onder- en bovengrens van respectievelijk 2,8 Hz en 5,7 Hz. De 8 Hz band loopt van 5,7 tot 11,3 Hz. Voor de goederentreinen en daarmee het maximale trillingsniveau V_{max} is gekozen voor de 4 Hz band deмпingkarakteristiek, omdat de 4 Hz karakteristiek minder snel dempt. Zodoende wordt voor de waarde van V_{max} de worstcase karakteristiek aangehouden.

Voor het gemiddelde trillingsniveau V_{per} geldt dat zowel goederentreinpassages, als Intercity en Sprinters bijdragen aan het totale niveau. Dit wordt in bijlage IV uiteengezet. Voor afstandsdeмпing van V_{per} is daarom een gemiddelde van de 4 en 8 Hz band afstandsdeмпing genomen.

Voor het uitvoeren van de prognoseberekeningen voor alle woningen in het gebied rondom het spoor zijn bovenstaande gevonden afstandsdeмпingkarakteristieken gefit om zodoende voor elke willekeurige afstand van het spoor tot een deмпingsniveau te komen. In bijlage VI wordt de fit weergegeven.

¹ 25 meter is als referentiepunt gekozen omdat de dichtstbijgelegen opnemer op 25 meter van het spoor is geplaatst.

6.6. Invloed wissel

De resultaten van de meting aan het wissel worden in bijlage VIII weergegeven. Van een 16-tal treinpassages over het westelijke spoor is de gemiddelde toename in trillingsniveaus met afname in afstand tot het wissel bepaald. Vanuit de theorie wordt een exponentiële toename verwacht omdat de discrete overgang in de rails werkt als een puntbron. De meetresultaten laten een dergelijk verloop zien, maar met een behoorlijke spreiding. Op basis hiervan is een invloedsgebied van 50 m bepaald. Er zijn enkele woningen aan de Willem Mechteldstraat die binnen dit invloedsgebied liggen en waarvoor de invloed van het wissel is verwerkt. Op andere locaties in het onderzoeksgebied waar wissels aanwezig zijn in het spoor (waaronder in de stationsomgeving) is geen bebouwing binnen het invloedsgebied van 50 m aanwezig. Zie bijlage VIII voor een nadere uitwerking.

7. PROGNOSE PLANSITUATIE EN TOETSING

In het vorige hoofdstuk zijn de resultaten van de verschillende trillingsmetingen besproken. Middels de meetresultaten is het optredende maximale en gemiddelde trillingsniveau bepaald voor de referentiewoningen en vervolgens ook voor de clusterwoningen in deelgebied 1. Middels de op basis van metingen bepaalde afstandsrelatie is vervolgens voor alle woningen langs het spoor in het projectgebied het gemiddelde en maximale trillingsniveau bepaald. Hierbij is voor deelgebieden 2 tot en met 5 met een bovengrensbepaling voor de overdracht van fundering naar woningvloer gerekend van 3,0 en voor deelgebied 1 is gerekend met de overdrachten bepaald voor de clusterwoningen. In bijlage V en VI worden per woning de berekende waarden gepresenteerd. In dit hoofdstuk worden de resultaten weergegeven.

7.1. Maximale trillingsniveaus huidige situatie

7.1.1. Deelgebied 1

Het te toetsen maximale trillingsniveau V_{max} is bepaald volgens de Bts. De resultaten worden per gebied besproken en niet per cluster. De keuze voor de gebiedsindeling is gemaakt met het oog op mogelijk te nemen maatregelen. In de onderstaande afbeelding wordt de indeling weergegeven.

Afbeelding 7.1. Subindeling deelgebied 1 (Tricht)



De grenswaarde voor V_{\max} in woningen tijdens de nachtperiode bedraagt 0,4 (zie par. 4.3.2). Uit de resultaten van de toetsing van V_{\max} volgt dat er in een groot aantal woningen, een trillingsniveau wordt verwacht wat boven deze grenswaarde ligt. In onderstaande tabel wordt het aantal woningen per gebied weergegeven.

Tabel 7.1. Aantal woningen V_{\max} boven grenswaarde nachtperiode

gebied	aantal woningen $V_{\max} > 0,4$
gebied 1.1	69
gebied 1.2	12
gebied 1.3	6
gebied 1.4	4
gebied 1.5	20

De Bts geeft bij de toetsing van V_{\max} in een gewijzigde situatie als regel dat het afwegen van maatregelen achterwege mag blijven als er een toename van minder dan 30 % in V_{\max} wordt verwacht. Hierbij geldt dat V_{\max} de waarde van 3,2 niet mag worden overschreden. Uit de resultaten blijkt dat voor alle woningen geen overschrijding van deze bovenste toelaatbare waarde wordt gevonden.

7.1.2. Deelgebieden 2 tot en met 5

Aangezien in het spoorontwerp van de plansituatie de huidige wissels aanwezig blijven en de inlegsnelheid van de maatgevende goederentreinen in de huidige situatie 95 km/h bedraagt en in de plansituatie niet toeneemt, is er geen wijziging van maximale trillingsniveaus V_{\max} te verwachten ten opzichte van de huidige situatie.¹

De grenswaarde voor V_{\max} in woningen tijdens de nachtperiode bedraagt 0,4. Uit de resultaten van de toetsing van V_{\max} volgt dat ook in deelgebieden 2 tot en met 5 er in een groot aantal woningen een waarde boven deze grenswaarde wordt gevonden. In onderstaande tabel wordt het aantal woningen per gebied weergegeven.

Tabel 7.2. Aantal woningen $V_{\max,BTS}$ boven grenswaarde nachtperiode

gebied	aantal woningen $V_{\max} > 0,4$
gebied 3 oost	31
gebied 3 west	1
gebied 4 (oost)	0
gebied 5 oost (tot aan projectgrens)	1
gebied 5 west (tot aan projectgrens)	4

Ook hier geldt dat de Bts geen toename in V_{\max} wordt verwacht en dat de waarde van 3,2 niet wordt overschreden. Voor alle woningen wordt aan beide criteria voldaan. Op basis van toetsing van V_{\max} volgens de Bts mag het afwegen van maatregelen daarom achterwege blijven.

¹ De invloed van de voorziene kunstwerken in de plansituatie (onderdoorgangen) op de optredende trillingsniveaus zijn in het huidige onderzoek niet kwantitatief beoordeeld. In de huidige situatie blijken de spoorwegovergang Nieuwsteeg en Lingedijk echter in slechte staat. Een kwalitatieve beoordeling van het ontwerp van de kunstwerken wordt uitgevoerd waarbij getracht wordt een zo trillingsarm mogelijke oplossing te realiseren zodat verbetering ten opzichte van de huidige situatie wordt verwacht.

7.2. Maximale trillingsniveaus plansituatie

7.2.1. Deelgebied 1

In de toekomstige situatie is de MerwedeLingeLijn vrijgelegd. Hierdoor neemt de afstand tot aan de woningen aan de westelijke zijde van het spoor af met maximaal 6,95 m. Over het vrij te leggen spoor gaat in de plansituatie enkel materieel van de MerwedeLingeLijn rijden. Dit betreft de Spurt (zie bijlage X voor een afbeelding). Dit materieel is relatief licht en resulteert in veel lagere trillingsniveaus dan de maatgevende goederentreinpassages. Uit een vergelijking tussen opgetreden trillingsniveaus op maaiveld als gevolg van maatgevende goederentreinpassages en maatgevende Spurtpassages blijkt dat goederentreinpassages tot minimaal een factor 3 hogere trillingsniveaus leiden.

Op basis van de gevonden afstandsdemping kan de toename in trillingsniveau als gevolg van treinpassages over de MerwedeLingeLijn worden berekend. In tabel 7.3 worden de resultaten voor zowel de 4 als de 8 Hz band gegeven. Hierbij worden de 2 maatgevende woningen (dichtst op het spoor) getoond.

Tabel 7.3. Berekende toename als gevolg van Vrijleggen MerwedeLingeLijn

adres	afstand tot spoor huidig	afstand tot aan spoor plan	4 Hz toename	8 Hz toename
Nieuwsteeg 57	29,85 m	23,10 m	9,6 %	34 %
Lingedijk 116	35,47 m	28,52 m	9,7 %	30 %

Op basis van de afstandsdemping is voor de maatgevende woning (Nieuwsteeg 57) bepaald dat de afstandsafname als gevolg van het vrijleggen tot maximaal 34 % toename leidt. Hierbij wordt uitgegaan van de 8 Hz octaafband omdat Spurt-treinen enigszins hogere dominante frequenties bezitten dan goederentreinen. Wordt echter naar het absolute verschil in maximaal optredend trillingsniveau gekeken, dan blijken goederentreinen tot veel maatgevendere niveaus te leiden. Voor de meting op maaiveld ter plaatse van Nieuwsteeg 57 worden de maximaal gemeten 30-secondenintervalniveaus gegeven in tabel 7.4 voor de maatgevende (verticale) richting. In bijlage V worden ook de resultaten voor Nieuwsteeg 21 gegeven.

Tabel 7.4. Verschil in gemeten 30-secondeninterval trillingsniveaus maaiveld Nieuwsteeg 57 goederentreinen en Spurt

	maximale niveau goederentreinen ($V_{max,30,i}$)	maximale niveau Spurt ($V_{max,30,i}$)
dag 20 ^{ste} maart	1,01	0,20
avond 17 ^e maart	0,56	0,18
nacht 19 ^e maart	0,79	0,14

Uit de tabel blijkt dat de goederentreinpassages tot een factor 3 hogere trillingsniveaus leiden dan Spurt passages. Omdat de toename in trillingsniveau als gevolg van het vrijleggen van de MerwedeLingeLijn een factor 1,34 bedraagt, blijkt dat het goederenvervoer over de doorgaande sporen verreweg maatgevend is in zowel de huidige als de plansituatie. Voor deelgebied 1 wordt daarom voldaan aan de toetsing van het maximale trillingsniveau V_{max} volgens de Bts.

7.2.2. Deelgebied 2 tot en met 5

Aangezien in het spoorontwerp van de plansituatie de huidige wissels aanwezig blijven en de inlegsnelheid van de maatgevende goederentreinen in de huidige situatie 95 km/h bedraagt en in de plansituatie niet toeneemt, is er geen wijziging van maximale trillingsniveaus V_{\max} te verwachten ten opzichte van de huidige situatie. Voor deelgebieden 2 t/m 5 wordt daarom ook voldaan aan de toetsing van het maximale trillingsniveau V_{\max} volgens de Bts.

7.3. Gemiddelde trillingsniveaus huidige situatie

Het gemiddelde trillingsniveau V_{per} betreft een kwadratisch gemiddeld niveau per dag-avond- en nachtperiode. Voor de referentiewoningen geldt dat meer dan een week is gemeten. Voor de referentiewoningen volgt uit de meetresultaten een gemiddelde waarde van V_{per} over de gehele week.

7.3.1. Deelgebied 1

De Bts hanteert een grenswaarde van 0,1 voor V_{per} . In tabel 7.5 wordt het aantal woningen waarvoor een overschrijding van deze grenswaarde wordt gevonden getoond. Uit de tabel blijkt dat er geen overschrijdingen van de grenswaarde in de huidige situatie worden verwacht.

Tabel 7.5. Aantal woningen V_{per} boven grenswaarde huidige situatie

gebied	aantal woningen $V_{\text{per}} > 0,1$
gebied 1.1	0
gebied 1.2	0
gebied 1.3	0
gebied 1.4	0
gebied 1.5	0

7.3.2. Deelgebied 2 tot en met 5

In tabel 7.6 wordt voor de huidige situatie het aantal woningen weergegeven waarvoor een overschrijding wordt gevonden van de grenswaarde van 0,1. Uit de tabel volgt dat er geen overschrijdingen worden gevonden.

Tabel 7.6. Aantal woningen V_{per} boven grenswaarde huidige situatie

gebied	aantal woningen $V_{\text{per}} > 0,1$
gebied 3 oost	0
gebied 3 west	0
gebied 4 (oost)	0
gebied 5 oost	0
gebied 5 west	0

7.4. Gemiddelde trillingsniveaus plansituatie

7.4.1. Toename V_{per} in plansituatie

De gemiddelde trillingsniveaus V_{per} per periode (dag, avond en nacht) hangen af van het aantal voorkomende treinp passages in de betreffende periode met een trillingsniveau V_{max} boven de 0,1¹. Om de toename in V_{per} als gevolg van een toename in treinaantallen te bepalen is daarom de contributie van de verschillende treinen bepaald. In bijlage IV wordt op basis van het aandeel van reizigerstreinen en het aandeel van goederentreinen in de totale waarde van V_{per} en de toename in treinaantallen de verwachte toename in V_{per} bepaald. Per referentie- en clusterwoning is zodoende op vloerniveau de verwachte toename bepaald. De resultaten worden weergegeven in tabel 7.7.

Tabel 7.7. Verwachte toename in aandeel in V_{per} reizigers- en goederentreinen in maatgevende periode (vloerniveau)

adres	$V_{per,totaal}$ huidig	$V_{per,totaal}$ plan	toename tov huidig* (gemeten waarden)
Willem Mechteldstraat 8	0,05	0,07	28,0%
Johannes Wigeliusstraat 48	0,04	0,05	39,4%
Nieuwsteeg 7	0,02	0,03	36,8%
Nieuwsteeg 21	0,04	0,05	22,0%
Nieuwsteeg 57	0,06	0,07	21,9%
Nieuwsteeg 61	0,05	0,06	25,8%
Kerkstraat 11	0,02	0,03	39,2%
Kerkstraat 17	0,02	0,03	30,8%
Lingedijk 116	0,09	0,12	30,7%
Laageinde 35	0,05	0,06	15,2%
Burg. Roozeveld van der Venlaan 27	0,05	0,06	17,9%
Trichtsevoetpad 1	0,06	0,07	17,7%

* Voor berekening van toenames zie bijlage IV. De toenames zijn berekend op basis meer cijfers achter de komma.

Uit de bovenstaande tabel volgt dat de toename in V_{per} naar verwachting ligt tussen de 20 en 40 % voor de woningen in Tricht (deelgebied 1). Voor de woningen in Geldermalsen is de toename minder en ligt deze tussen de 15 en 20 %. Dit verschil is met name het gevolg van het feit dat er ten tijde van de referentiemetingen in Geldermalsen gemiddeld meer goederentreinen hebben gereden. De procentuele toename neemt daardoor af. Omdat voor de toetsing van V_{per} een grenswaarde van 0,1 wordt gehanteerd, is de toetsing van de plansituatie van belang.

7.4.2. Deelgebied 1

Op basis van de bepaalde afstandsdeemping voor de 8 Hz-band zijn de V_{per} -niveaus voor zowel de huidige, gemeten, situatie als de plansituatie voor alle woningen in een cluster bepaald op basis van de waarde van de maatgevende gemeten clusterwoning. In bijlage VI wordt de prognose voor alle woningen weergegeven. In tabel 7.8 worden de gevonden overschrijdingen van de grenswaarde van V_{per} weergegeven.

¹ Trillingsniveaus met een waarde onder de 0,1 worden conform de SBR-richtlijn deel B (en daarmee ook de Bts) niet meegenomen in de bepaling van V_{per} .

Tabel 7.8. Aantal woningen V_{per} boven grenswaarde plansituatie

gebied	aantal woningen $V_{per} > 0,1$
gebied 1.1	0
gebied 1.2	0
gebied 1.3	0
gebied 1.4	1
gebied 1.5	0

Uit de tabel volgt voor de plansituatie dat voor één woning in deelgebied 1.4 een overschrijding wordt gevonden. Het betreft Lingedijk 116 waarvoor een V_{per} niveau wordt verwacht in de plansituatie van 0,12.

7.4.3. Deelgebieden 2 tot en met 5

De prognoses van trillingsniveaus voor de deelgebieden 2 t/m 5 zijn gebaseerd op de woningen aan de Laageinde 35, de Burgemeester Roozeveld van der Venlaan 27 en het Trichtsevoetpad. In de onderstaande tabel worden de resultaten voor de plansituatie gepresenteerd.

Tabel 7.9. Aantal woningen V_{per} boven grenswaarde plansituatie

gebied	aantal woningen $V_{per} > 0,1$
deelgebied 3 oost	0
deelgebied 3 west	0
deelgebied 4 (oost)	0
deelgebied 5 oost	0
deelgebied 5 west	0

Uit de tabel volgt voor de plansituatie dat de deelgebieden 2 t/m 5 geen overschrijdingen worden gevonden.

7.4.4. Nieuwbouw

De in paragraaf 2.3.2 besproken nieuwbouwwijk Lingedonk wordt in deelgebied 2 gerealiseerd. De meting aan het Trichtsevoetpad 1 kan hiervoor als referentiewoning worden gehanteerd. De minimale afstand van de nieuw te bouwen woningen bedraagt circa 50 m tot aan het spoor. Hierdoor bestaat de verwachting dat van een overschrijding van V_{per} van de grenswaarde van 0,1 geen sprake is. De Bts geeft daarom geen aanleiding to het overwegen van maatregelen.

In de prognose is voor deelgebieden 2 tot en met 5 gerekend met een opslingeringsfactor van 3,0. Wordt in de nieuwbouw rekening gehouden met trillingsgevoeligheid dan kan een nog veel lagere trillingsbelasting worden gerealiseerd. Dit kan mogelijk worden gerealiseerd doordat de dominante frequentie van de maatgevende goederentreinen bekend is. Er kan bijvoorbeeld in het ontwerp rekening gehouden worden met de eis dat de eigenfrequenties van vloeren niet tussen de 5-7 Hz mogen liggen. Dit is voor ontwerp van de woningen aan te bevelen.

7.5. Samenvatting resultaten meetlocaties

Voor de locaties waar metingen zijn uitgevoerd wordt in tabel 7.10 een samenvatting gegeven van de resultaten voor zowel de huidige als de plansituatie.

Tabel 7.10. Samenvatting resultaten metingen

deelgebied	adres	V_{max}			V_{per}		
		locatie	ref en-plan ¹	R-waarde	locatie	ref.	plan
<i>referentiemeting adressen</i>							
1 (CL4)	Nieuwsteeg 21	1 ^e vdp	0,64X	15,17	bg	0,04	0,05
1 (CL5)	Nieuwsteeg 57	bg	0,88X	14,96	bg	0,06	0,07
3	Laageinde 35	1 ^e vdp	0,58Y	12,60	1 ^e vdp	0,05	0,06
3	Burg. Roozeveld van der Venlaan 27	1 ^e vdp	0,82Z	10,22	1 ^e vdp	0,05	0,06
5	Trichtsevoetpad 1	1 ^e vdp	0,81Y	10,57	1 ^e vdp	0,06	0,07
<i>kortdurende overdrachtsmeting adressen</i>							
1 - CL1	W. Mechteldstraat 8	-	1,35	-	1 ^e vdp	0,05	0,07
1 - CL2	Johanes Wigeliusstraat 48	-	1,41	-	1 ^e vdp	0,04	0,05
1 - CL3	Nieuwsteeg 7	-	0,73	-	1 ^e vdp	0,02	0,03
1 - CL6	Nieuwsteeg 61	-	0,79	-	1 ^e vdp	0,05	0,06
1 - CL7	Kerkstraat 11	-	0,76	-	bg	0,02	0,03
1 - CL8	Kerkstraat 17	-	0,56	-	1 ^e vdp	0,02	0,03
1 - CL9	Lingedijk 116	-	1,90	-	1 ^e vdp	0,09	0,12

Uit Tabel 7.10 blijkt dat voor de vijf referentiewoningen in het projectgebied de R-waarde boven de 10% ligt. Omdat de maximale niveaus in de clusterwoningen zijn bepaald op basis van de gevonden verhoudingen met de 2 referentiewoningen in Tricht, is de reproduceerbaarheid voor de clusterwoningen niet beschikbaar. In drie clusterwoningen in Tricht worden de hoogste waarden gevonden welke boven de 1,2 liggen. Lingedijk 116 blijkt de woning met de hoogste niveaus voor zowel V_{max} als V_{per} .

7.6. Toetsing schade

Aangezien de maximale trillingsniveaus die volgen uit de uitgevoerde metingen onder de laagste grenswaarde voor schade liggen wordt voldaan aan de SBR-richtlijn deel A. De verwachting is daarom dat de kans op schade aan woningen als gevolg van treinverkeer in het projectgebied zeer klein is (<1 %).

¹ In deze waarde is de verdiscontering van de R-waarde volgens [ref. 4] toegepast.

8. AFWEGING TRILLINGSREDUCERENDE MAATREGELEN

8.1. Resultaten huidig onderzoek

De resultaten van het huidige onderzoek hebben tot gevolg dat er voor één adres een overschrijding van de grenswaarde van V_{per} wordt voorzien. Dit adres betreft Lingedijk 116. Voor dit adres dienen maatregelen te worden afgewogen.

In de afweging van maatregelen is als eerste gekeken op welke locaties op basis van de resultaten van het onderzoek maatregelen afgewogen dienen te worden. Vervolgens is een quickscan gemaakt van alle in beginsel toe te passen maatregelen. Deze maatregelen zijn vervolgens getoetst op ingeschatte effectiviteit, kosten en maakbaarheid. Dit resulteert in een trechtering waaruit potentiële doelmatige maatregelen volgden die nader zijn onderzocht op verwachte effectiviteit en waarvan een nadere doelmatigheidsafweging is gemaakt. Het hoofdstuk eindigt met een afweging van deze maatregelen per deelgebied.

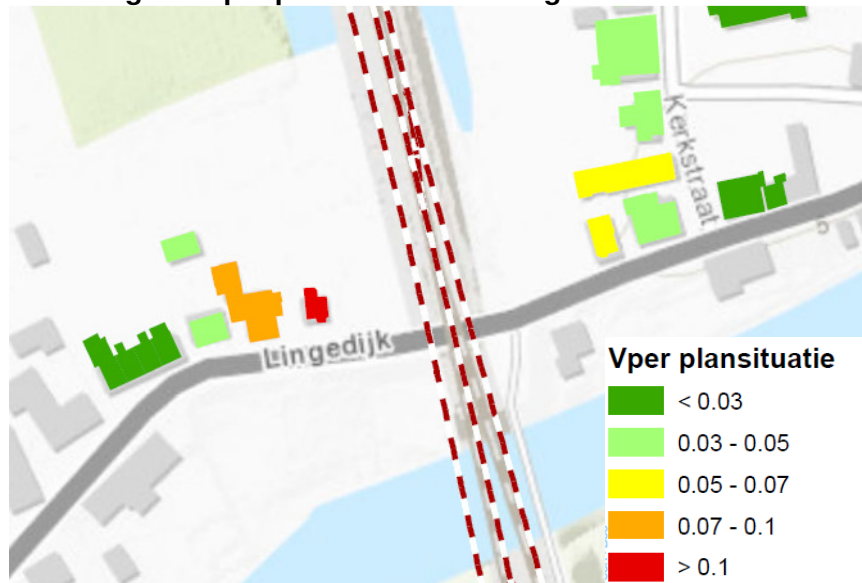
8.2. Overschrijdingen in deelgebieden

Uit de toetsing in hoofdstuk 7 blijkt dat er op één locatie een overschrijding van de grenswaarde van V_{per} te verwachten is. Toetsing aan V_{max} resulteert in het gehele gebied niet tot een afweging van maatregelen. Op de overschrijding in deelgebied 1 wordt nader ingegaan.

Deelgebied 1

Uit de toetsing in hoofdstuk 7 blijkt dat overschrijding van de grenswaarde van V_{per} van 0,1 plaatsvindt in de verschillende subdeelgebieden in subdeelgebied 1.4: de woning aan de Lingedijk 116 ten westen van het spoor.

Afbeelding 8.1. V_{per} plansituatie subdeelgebied 1.4



Deelgebieden 2 t/m 4

Voor de deelgebieden 2 t/m 4 worden geen overschrijdingen verwacht op basis van de prognose.

Deelgebied 5

Voor deelgebied 5 wordt geen overschrijdingen verwacht op basis van de prognose.

8.3. Richtbedrag maximale maatregelkosten per woning

Om tot een afweging te komen of een maatregel doelmatig is wordt een richtbedrag per woning gehanteerd. Dit richtbedrag bedraagt EUR 47.000,- per woning inclusief PEAT en BTW en wordt door ProRail en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu als richtbedrag in heel Nederland gehanteerd.

8.4. Beoogde reductie van trillingsniveaus overschrijdingslocaties

Uit de toetsing blijkt dat overschrijding van de grenswaarde van V_{per} te verwachten is in deelgebied 1. De toename van V_{per} van huidige situatie naar plansituatie blijkt voor Lingedijk 116 circa 31 % te zijn.

Deze toename is het gevolg van meer reizigerstreinen (van 4 naar 6 per uur per richting, voor zowel intercity's als sprinters), maar ook het gevolg van een toename van goederentreinen. Zie bijlage IV voor een nadere uiteenzetting van de verwachte toename.

De toename in V_{per} is berekend door de som van het kwadraat van de gemeten trillingsniveaus $V_{max,30,i}$ van de verschillende type treinen, per dagdeel, evenredig te verhogen met de verwachte toename in treinaantallen waarna vervolgens de wortel wordt getrokken, omdat V_{per} is gedefinieerd als:

$$V_{per,meet} = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n V_{eff,max,30,i}^2 \right]}$$

Om V_{per} te reduceren is het dus van belang de trillingsniveaus als gevolg van de verschillende treinpassages te reduceren. Uit de metingen volgt dat de goederentreinpassages de maatgevende treinpassages betreffen.

Worden de maatgevende trillingsniveaus als gevolg van goederentreinen gereduceerd, dan wordt de waarde van V_{per} ook gereduceerd. Het aandeel van de goederentreinen in de totale waarde van V_{per} blijkt af te hangen van de beoordelingsperiode (het aandeel is groter in de nachtperiode dan in de dagperiode). Voor alle beoordelingsperioden is echter het aandeel in V_{per} van de goederentreinen aanmerkelijk (zie tabel 6.9). Er is daarom gezocht naar maatregelen waarbij trillingsniveaus als gevolg van goederentreinen effectief worden gedempt.

Over het algemeen geldt dat maatregelen die effectief zijn voor goederentreinen ook effectief zijn voor reizigerstreinen, terwijl maatregelen waarmee mogelijk trillingsniveaus als gevolg van reizigerstreinen worden gereduceerd mogelijk niet tot reductie van trillingen als gevolg van goederentreinen leiden. Met dergelijke maatregelen zou V_{per} in de dagperiode dan wel worden gemitigeerd, terwijl V_{per} in de nachtperiode (goederentreinen domineren sterk in de nachtperiode) dan niet wordt gemitigeerd.

Bodemopbouw

Uit het trillingsonderzoek blijkt dat de dominante frequenties in optredende trillingen als gevolg van goederentreinpassages tussen 5,5-7,5 Hz ligt. Daarom moeten de gekozen maatregelen effectief zijn voor deze frequenties. De effectiviteit van een maatregel hangt sterk samen met de grondopbouw.

Het projectgebied kenmerkt zich door een bodemopbouw waarbij de bovenste laag een relatief slappe bovenlaag betreft. Op een diepte van 7 tot 8 m onder maaiveld begint een stijvere zandlaag. In onderstaande tabel wordt een globaal overzicht gegeven.

Tabel 8.1. Bodemopbouw projectgebied¹

bodemsoort	niveau top [+m NAP]	niveau onderzijde [+m NAP]
klei, sterk siltig	+2	-1
klei, zand en interactie	-1	-2.5
leem	-2.5	-5
zand, matig grof tot grof	-5	-8
zand, zeer grove fractie	-8	-17 (einde boring op -17.20)

Vanwege deze bodemopbouw is een aantal maatregelen aan de overdracht mogelijk effectief, omdat de relatief slappe bovenlaag kan worden doorbroken door een trillingsdempende ondergrondse wand en zodoende trillingen worden ingesloten/afgeschermd.

De effectiviteit hangt hierbij samen met het type fundering van de woningen. Een groot aantal woningen in deelgebied 1(Tricht) is op staal gefundeerd, waaronder ook Lingedijk 116. Hierdoor zou een trillingsdempende wand in de bodem mogelijk een effectieve maatregel betreffen omdat bij toepassing van een dergelijke wand de slappe bovenlaag wordt onderbroken. Echter, dat de woningen op staal gefundeerd zijn geeft ook de indicatie dat de bovenlaag niet zeer slap is, waardoor het 'insluitend effect' van de wand mogelijk minder is en de wand daardoor minder effectief is dan verwacht.

8.5. Overzicht mogelijke maatregelen

Er is een quickscan uitgevoerd van alle in beginsel mogelijke maatregelen. In de quickscan is op basis gegevens uit de maatregelencatalogus van Prorail, eigen ervaring en gegevens van maatregelproducenten en overige literatuur een schatting van verwachte effectiviteit en kosten gemaakt van alle in beginsel mogelijke maatregelen. Met de resultaten is een eerste afweging gemaakt om te bepalen of er maatregelen zijn die nadere uitwerking verdienen omdat ze mogelijk doelmatig zijn. In onderstaande tabel wordt per maatregel ingegaan op de uitvoerbaarheid, de effectiviteit en de kosten. Hieruit volgt of de maatregel nader onderzoek verdient of niet.

Tabel 8.2. Quickscan in beginsel mogelijke maatregelen

maatregel	uitvoerbaar?	effectiviteit reizigerstrein	effectiviteit goederentrein	kosten	nader onderzoeken?
bronmaatregelen				<i>kosten over 150 meter</i>	
onderstoppen (tamping)	ja	0 (tijdelijk)	0	-	nee
kwaliteitsverbetering van het materiaal/afwijkende wielen	--	+	+	-	nee
vermindering van railruwheid	-	+	+	-	nee
verlaging van de onafgeveerde massa treinen	--	++	++	-	nee
under sleeper pads op ballast spoor	ja	0/+	0	-	nee
under rail pads op ballast spoor	ja	0/+	0	-	nee

¹ Grondopbouw is bepaald op basis van gegevens uit Dinoloket.

maatregel	uitvoerbaar?	effectiviteit reizigerstrein	effectiviteit goederentrein	kosten	nader onderzoeken?
rail fastening systeem	ja	0/+	0	-	nee
ballastmatten	-	0/+	0	-	nee
betonplaat met ballast (Ballast trough) + ballastmat	--	+	0/+	-	nee
slab track	--	+ /++	+	>1,5mEU R	nee
slab track met ballastmat	--	++	+ /++	>1,5mEU R	nee
wide-sleeper-spoor	--	0/+	0	-	nee
ladder track	--	+	0/+	-	nee
H-shaped sleeper	--	0	0/+	-	nee
verplaatsen van wissels	ja	-	-	>1mEUR	nee
saneren wissel				300- 500kEU	nee
	ja	+		R	
snelheidswijziging goederentrein	n.v.t.	n.v.t.	+	-	nee
optimaliseren overgang aardebaan				-	ja
kunstwerken (ontwerp stootplaat)	ja	+	+ /0		
zettingvrije plaat onder spoor	--	+	+	>1,5MEu r	nee
maatregelen overdracht				<i>kosten over 150 meter</i>	
met elastisch materiaal opgevulde geul			+ /++	>750kEU R	nee
open trench (smalle geul)	ja	++	++	>750kEU R	nee
jetgrouten muur	ja	++	+	>510kEU R	nee
damwand	ja	+ /++	0	360kEU R	nee
gabion muur ¹	ja	0/+	0	-	nee
diepwand	ja	+	+ /++	>850kEU R	nee
diepwand + elastisch materiaal (Verschillende lagen WIB)	lastig	++	+ /++	>1mEUR	nee
maatregelen woning				<i>kosten per woning</i>	
vloeren verstijven	zeer ingrijpend	+	0/+	20- 80kEUR	ja
paalfundering toepassen	zeer ingrijpend	+	0/+	>75kEU R	nee
amoveren	zeer ingrijpend	++	++	150kEU R-	nee

¹ Een gabion muur betreft een muur op maaiveld van schanskorven.

maatregel	uitvoerbaar?	effectiviteit reizigerstrein	effectiviteit goederentrein	kosten	nader onderzoeken?
fundering inpakken	ingrijpend	0/+	0	300kEU R >50kEU R	nee

Toelichting: De schatting van effectiviteit is als volgt opgedeeld: 0 = geen verwacht effect of zelfs negatief, 0/+ mogelijk een kleine reductie, + = een reductie van ca. 0 - 20%, ++ = een verwachte reductie van ca. 20-40%, +++ reductie van mogelijk > 40%.

Vanwege het feit dat het om slechts een enkele woning gaat en daardoor een budget van EUR 47.000,- beschikbaar is, vallen vrijwel alle maatregelen direct af. Er is echter een tweetal maatregelen dat nader is onderzocht:

- het optimaliseren van de stootplaat om de overgang van de nieuwe ongelijkvloerse kruising naar aardebaan trillingsarm te realiseren;
- het verstijven van vloeren.

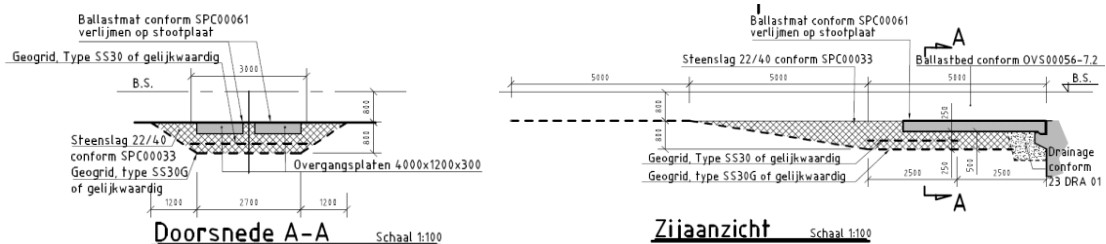
8.5.1. Overgangsplaten nieuwe kunstwerken

Als nader te onderzoeken maatregel volgt het optimaliseren van het ontwerp van de overgangsplaten bij de nieuwe voorziene kunstwerken. Door Deltares [ref. 6] is een onderzoek uitgevoerd naar overgangsconstructies en het resulterende trillingsgedrag. Een toename van trillingsniveaus bij het passeren van een trein over de overgangsconstructie is hoofdzakelijk het gevolg van een verschil in stijfheid van ondersteuning van het spoor. Dit stijfheidsverschil dient zo geleidelijk mogelijk in lengterichting van het spoor op te treden. Uit het onderzoek [ref. 6] blijkt dat opgetreden verschilzetting vaak de oorzaak is van een toename in dit stijfheidsverschil en daarmee in een toename van het optredende trillingsniveau. Verschilzetting dient zoveel mogelijk te worden vermeden door:

- aandacht te besteden aan de ontwatering van de baan;
- maatregelen toe te passen om mogelijk materiaalverlies onder bijvoorbeeld paalfunderingen van het kunstwerk tegen te gaan;
- de stootvloer te verbreden;
- het wapenen van de grond met geotextiel.

In het trillingsonderzoek is vervolgens gekeken naar de standaardoplossing zoals deze in de praktijk wordt toegepast. In onderstaande afbeelding wordt de standaardoplossing voor een overgangsplaat weergegeven.

Afbeelding 8.2. Standaardoplossing overgangsplaat



Op basis van de aanbevelingen van Deltares en het feit dat een zo geleidelijk mogelijk overgang dient te worden gerealiseerd, worden de volgende ontwerpwijzigingen voorzien:

- verlengen overgangsplaten van 4 naar 8 m;
- 2 afzonderlijke overgangsplaten per rail integreren naar 1 brede overgangsplaat;
- dikte overgangsplaat vergroten.

Door de ontwerpaanpassingen wordt een trillingsarme oplossing voorzien waarmee zoveel mogelijk onregelmatigheid in de overgang wordt vermeden. De verwachting bestaat daarom dat lokaal ter plaatse van de overgangen in de nieuwe situatie een reductie van trillingsniveaus wordt gerealiseerd. De exacte mate van reductie is zeer lastig in te schatten. De kosten zijn echter ook beperkt waardoor de ontwerpwijzigingen doelmatig worden geacht.

8.5.2. Verstijven van vloeren

Het verstijven van vloeren is mogelijk een effectieve maatregel wanneer er sprake is van opslinging. Er is sprake van opslinging wanneer op een vloer in verticale richting een hoger niveau wordt gevonden dan op de fundering. Opslingering vindt plaats wanneer de eigenfrequentie van een vloer wordt aangestoten en vindt daardoor plaats bij specifieke frequenties. Omdat de overdrachtsfactoren voor de beganegrond en eerste verdieping van Lingedijk 116 zijn bepaald met de 24-uursmetingen kan worden nagegaan of er sprake is van opslinging. Bijlage II toont naast de berekende overdrachtsfactoren ook de dominante richting. Voor Lingedijk 116 blijkt voor de octaafbanden 4 en 8 Hz (waarin de maatgevende goedetreinpassages trillingen genereren) dat de dominante richting juist horizontaal is. Dit geeft de indicatie dat er geen sprake is van opslinging van de vloer zelf, maar dat de gehele woning een beweging maakt. Het verstijven van vloeren is in dit geval geen effectieve maatregel en wordt daarom niet doelmatig geacht.

8.6. Afweging per deelgebied

Per deelgebied wordt in de volgende paragrafen de afweging van kansrijke maatregelen samengevat.

8.6.1. Afweging deelgebied 1

Afweging subdeelgebied 1.1 t/m 1.3

In subdeelgebieden 1.1 t/m 1.3 bevinden zich geen woningen met een overschrijding van V_{\max} of V_{per} . Voor deze subdeelgebieden geeft de Bts daarom geen aanleiding tot het afwegen van maatregelen.

Afweging subdeelgebied 1.4

Het aanbrengen van verlengde overgangsplaten heeft naar verwachting een merkbaar effect op de woning van Lingedijk 116. De huidige spoorwegovergang laat behoorlijk wat beweging zien tijdens een treinpassage. Of de verwachte trillingsreductie echter voldoende is om de overschrijding weg te halen is niet zeker. Gezien het feit dat de verwachte meerkosten als gevolg van de ontwerpaanpassing beperkt zijn, wordt de maatregel als doelmatig beschouwd¹. Het verstijven van een vloer wordt niet doelmatig geacht omdat deze maatregel niet effectief is vanwege de dominante horizontale richting van de optredende trillingen.

Afweging subdeelgebied 1.5

In subdeelgebied 1.5 bevinden zich geen woningen met een overschrijding van V_{\max} of V_{per} . Voor dit subdeelgebied geeft de Bts daarom geen aanleiding tot het afwegen van maatregelen.

¹ Er is gekeken naar de effectiviteit van het optimaliseren van de stootplaten wanneer eenzelfde soort werking als dat van een wissel zou optreden met eenzelfde invloedgebied. Hierdoor is een indicatie van mogelijk verwacht effect verkregen, zie [ref. 5]. De indicatie kent een mate van onnauwkeurigheid vanwege onzekerheden en gehanteerde aannames.

8.6.2. Afweging deelgebied 2

Deelgebied 2 betreft Lingedonk, de toekomstige nieuwbouwwijk. De meting aan het Trichtsevoetpad 1 is hiervoor als referentiewoning gehanteerd. De minimale afstand van de nieuw te bouwen woningen bedraagt circa 50 m tot aan het spoor. Hierdoor bestaat de verwachting dat van een overschrijding van V_{per} van de grenswaarde van 0,1 geen sprake is. De Bts geeft daarom geen aanleiding tot het afwegen van maatregelen.

8.6.3. Afweging deelgebied 3

Voor de woningen in de stationsomgeving Geldermalsen worden geen overschrijdingen verwacht. De Bts geeft daarom geen aanleiding tot het afwegen van maatregelen.

8.6.4. Afweging deelgebied 4

Voor de woningen in het deelgebied 4 in Geldermalsen worden geen overschrijdingen verwacht. De Bts geeft daarom geen aanleiding tot het afwegen van maatregelen.

8.6.5. Afweging deelgebied 5

Voor de woningen in het deelgebied 5 in Geldermalsen worden geen overschrijdingen verwacht. De Bts geeft daarom geen aanleiding tot het afwegen van maatregelen.

9. BETROUWBAARHEID RESULTATEN

De gemiddelde en maximale trillingsniveaus die optreden in woningen langs het spoor als gevolg van treinpassages zijn bepaald middels metingen en aanvullende berekeningen. Hieruit volgt een beeld van locaties waar overschrijdingen van de Bts te verwachten zijn. Dit hoofdstuk beprekt de betrouwbaarheid van de prognoseberekningen welke gestoeld zijn op metingen. Vervolgens wordt ingegaan op de invloed die dit heeft op de toetsing.

9.1. Betrouwbaarheid metingen en prognoseberekningen

Referentiemetingen 2014

De referentiemetingen zijn uitgevoerd in een vijftal woningen over een periode van zeven of negen dagen. Uit de berekende reproduceerbaarheid van de verschillende opnemers blijkt dat deze vaak net boven de 10 % ligt. Door de reproduceerbaarheid te verdisconteren in de toetswaarden is gewaarborgd dat een voldoende hoge waarde wordt getoetst. De gemeten funderingsniveaus uit 2016 aan Nieuwsteeg 57 en 21 over een periode van 11 dagen zijn, als aanvullende toets, ook statistisch verwerkt zodat een V_{\max} is bepaald. Hieruit bleek dat de niveaus nauwelijks afweken van de niveaus uit 2014. Dit geeft aanvullende zekerheid over de betrouwbaarheid van de maximale niveaus V_{\max} van de referentiemetingen. De referentiemetingen zijn gefilterd op de aanwezigheid van stoortrillingen. Mochten er onverhoopt toch nog enkele stoortrillingen in de datasets aanwezig zijn, dan resulteert dit erin dat zowel de V_{\max} - als V_{per} -waarden mogelijk enigszins worden overschat

Overdrachten kortdurende 24uursmetingen en afstandsdeмпing

De afstandsdeмпing en de overdrachten bepaald met de kortdurende metingen zijn bepaald per octaafband. Voor het maximale trillingsniveaus is uiteindelijk de 4 Hz octaafband aangehouden als representatief omdat de goederentreinpassages dominante frequenties in die band laat zien. Voor het gemiddelde trillingsniveau is een gemiddelde van de 4 Hz en 8 Hz band aangehouden, omdat in V_{per} zowel goederentreinen als reizigerstreinen (die vaak hogere dominante frequenties laten zien dan de goederentreinen) een aandeel hebben. Voor de maatgevende V_{\max} -waarden geldt dat voor woningen op beperkte afstand van het spoor hogere frequenties niet dominant zijn maar wel in het trillingssignaal aanwezig zijn. De afstandsdeмпing op basis van enkel de 4 Hz band is hierdoor mogelijk enigszins conservatief (deмпing wordt mogelijk te laag ingeschat). Dit levert mogelijk een overschatting van V_{\max} voor woningen die verder van het spoor liggen.

Verhouding kortdurende metingen en referentiemetingen deelgebied 1

De gehanteerde verhoudingen tussen funderingsniveau van referentiewoning en clusterwoning zijn opgesplitst in verhoudingen voor goederentreinen en reizigerstreinen afzonderlijk. Voor beide verhoudingen zijn voor de 24uursmetingen berekende waarden vergeleken met gemeten waarden en aangepast waar nodig om tot een nauwkeurige bepaling van V_{per} te komen in de clusterwoningen (zie paragraaf 6.2).

9.2. Invloed op toetsing

9.2.1. Deelgebied 1

Voor de meeste woningen wordt met de prognose eerder een overschatting dan een onderschatting van de trillingsniveaus gekregen. Dit geldt met name voor V_{\max} en in mindere mate voor V_{per} . De toetsing van V_{\max} levert geen overschrijding van de Bts op omdat er geen toename van 30% wordt verwacht. Dit verandert niet wanneer onverhoopt de optredende maximale trillingsniveaus enigszins af blijken te wijken van de prognose.

Voor de toetsing van V_{per} blijkt dat de grenswaarde van 0,1 op één enkel adres wordt overschreden. Zouden de werkelijke optredende niveaus onverhoopt afwijken van de prognose, dan zou dit mogelijk tot enkele extra overschrijdingen kunnen leiden. Enkele extra overschrijdingen zouden niet tot een andere afweging leiden. Gezien de (hoge) kosten van mogelijke maatregelen zou er mogelijk pas sprake van een andere afweging zijn wanneer er fors meer overschrijdingen worden gevonden (in de orde van 10 - 20 woningen). Er wordt daarom niet verwacht dat een onverhoopte beperkte afwijking van V_{per} tot een andere afweging leidt.

9.2.2. Deelgebieden 2 tot en met 5

In het onderzoek is een maximale overdrachtsfactor van 3,0 gehanteerd. Dit is voor veel gevallen (met name voor V_{per}) een overschatting. De verwachting is daarom dat de overdrachtsfactor van 3,0 die gehanteerd is voor alle woningen in Geldermalsen tot een overschat beeld wat betreft trillingsniveaus leidt. Zou in een groot aantal woningen trillingsmetingen worden uitgevoerd, dan bestaat de verwachting dat lagere niveaus worden gevonden dan volgens de prognose.¹ De prognose resulteert voor deelgebieden 2 tot en met 5 in een overschatting.

¹ Op mogelijk enkele individuele uitzonderingen na waar wel opslingering plaatsvindt.

CONCLUSIES

Op basis van de onderzoeksresultaten kan een aantal conclusies worden getrokken over het effect van het project Spooromgeving Geldermalsen op de trillingsbelasting van de omgeving.

Toetsing deelgebied 1, Tricht:

- omdat de Bts een toename in V_{\max} van maximaal 30 % toelaat geeft de toetsing van V_{\max} voor de plansituatie geen aanleiding tot het afwegen van maatregelen, er is namelijk geen toename in maatgevende trillingsniveaus van 30 % of meer te verwachten. De uiterste toelaatbare waarde van 3,2 wordt in geen geval overschreden;
- op basis van toetsing van de gemiddelde trillingsniveaus V_{per} blijkt dat er 1 overschrijding wordt verwacht. De overschrijding wordt verwacht voor Lingedijk 116. Op basis van de Bts dienen voor alle woningen met een overschrijding maatregelen te worden overwogen.

Toetsing deelgebieden 2 tot en met 5:

- de toename van het trillingniveau als gevolg van het gebruik door reizigerstreinen op de vrijgelegde MerwedeLingelijn bedraagt een factor 1,34 en leidt niet tot een toename van V_{\max} omdat het goederenvervoer hier verreweg maatgevend is. Dit geldt zowel in de huidige situatie als in de plansituatie;
- op basis van toetsing van de gemiddelde trillingsniveaus V_{per} blijkt dat voor de plansituatie geen overschrijdingen worden verwacht.

Voor de woning aan de Lingedijk 116 is op basis van een quickscan bepaald of er mogelijk doelmatige maatregelen te treffen zijn. Uit de quickscan volgt dat vrijwel alle beschikbare maatregelen veel te duur zijn in verhouding tot het beschikbare budget. Het budget betreft de richtprijs per woning van EUR 47.000,- inclusief PEAT en BTW en wordt door ProRail en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu als richtbedrag in heel Nederland gehanteerd. De volgende maatregelen zouden doelmatig kunnen zijn:

- het optimaliseren van de stootplaten om de overgang van de nieuwe kunstwerken naar de aardebaan trillingsarm te realiseren. Met deze maatregel is mogelijk trillingsreductie te realiseren voor de woning aan de Lingedijk 116 nabij de overgangen waarvoor een overschrijding is gevonden;
- het verstijven van vloeren.

Uit de nadere afweging van deze twee maatregelen volgt uiteindelijk dat enkel de ontwerpoptimalisatie van de overgangsplaat ter plaatse van de toekomstige ongelijkvloerse kruising van de Lingedijk als doelmatig wordt beschouwd, ondanks dat de effectiviteit van de maatregel onzeker is.

10. REFERENTIES

- [ref. 1] Waarts P.H., Ostendorf C.J., SBR-richtlijn Trillingen deel B Hinder voor personen in gebouwen (2002). Stichting Bouw Research, Delft. Artikelnummer. 002.03. ISBN 90-5367-080-7.
- [ref. 2] Beleidsregel trillinghinder spoor, Staatscourant d.d. 16 maart 2014. Nr. 8251.
- [ref. 3] Cauberg-Huygen Raadgevende ingenieurs, Onderzoek trillingsschade en -hinder door spoor in Tricht; hoofd rapport (2012). Referentie 20112083-04.
- [ref. 4] Level Acoustics (2014) Reparatie BTS, referentie LA.131001a.M04.
- [ref. 5] (Ontwerp) Tracébesluit Spooromgeving Geldermalsen, Maatregelrapport trillingsonderzoek. Kenmerk: RIS437-7/pouc/005.
- [ref. 6] Evaluatierapport DC onderzoek naar overgangsconstructies (2010). Delta-res. Kenmerk 1001069-020-GEO-0001.
- [ref. 7] Waarts P.H., Ostendorf C.J., SBR-richtlijn Trillingen deel A Schade aan gebouwen (2002). Stichting Bouw Research, Delft. Artikelnummer. SBR 001. ISBN 90-5367-079-7.
- [ref. 8] Railinfra Solutions, OTB Spooromgeving Geldermalsen, Maatregelrapport trillingsonderzoek, definitief 1.0. Kenmerk: RIS437-7/beii/005.

