

**(Ontwerp) Tracébesluit
Spooromgeving Geldermalsen**

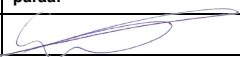
Maatregelrapport trillingsonderzoek



**(Ontwerp) Tracébesluit
Spooromgeving Geldermalsen**

Maatregelrapport trillingsonderzoek

referentie	projectcode	status
RIS437-7/pouc/005	RIS437-7	definitief 1.0
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. E.J. Vlijm	ir. J.L.C.M. van Daelen	15 november 2016

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. E.J. Vlijm	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Doelstelling maatregelrapport	1
1.3. Structuurbeschrijving	1
2. AFWEGING MAATREGELEN	3
2.1. Doelmatigheidsafweging maatregelen trillingsonderzoek OTB	3
2.2. Toepassing aanvullende maatregelen	3
3. NADER ONDERZOEK MAATREGELEN	4
3.1. Nader onderzochte locaties	4
3.1.1. Trillingsbelasting spooromgeving	4
3.1.2. Maatgevende locaties	6
3.2. Nader onderzochte maatregelen	8
3.2.1. Keuze aanvullende maatregelen	8
3.2.2. Ondergronds trillingsreducerende wand: 3D modellering	8
3.2.3. Kwantitatieve invloed stootplaten overgangen	9
4. ONDERGRONDS TRILLINGSREDUCERENDE WAND: 3D MODELLERING	11
4.1. Voorziene locatie ondergronds trillingsreducerende wand	11
4.1.1. Eerstelijnsbebouwing te mitigeren zone	11
4.1.2. Grondopbouw te mitigeren zone	12
4.2. Beschrijving 3D model	13
4.2.1. Modelleerwijze belasting	13
4.2.2. Numerieke modeleigenschappen	15
4.3. Berekeningsresultaten 3D model	16
4.3.1. Verwerking van modelresultaten	16
4.3.2. Modelvalidatie op basis van afstandsdemping	18
4.3.3. Berekeningsresultaten effectiviteit wand	19
4.3.4. Jetgrouten wand versus diepwand	23
4.3.5. Effect op woningen aan andere zijde spoor	26
4.4. Nadere uitwerking details wand	27
4.4.1. Benodigde overstek wand	27
4.4.2. Aansluiting bij ongelijkvloerse kruising	27
4.4.3. Kosten	28
4.5. Beoordeling resultaten	29
5. INVLOED STOOTPLATEN TER PLAATSE VAN OVERGANGEN	30
5.1. Invloed wissels als basis voor invloed stootplaten	30
5.2. Indicatieve invloed stootplaten op trillingsbelasting	31
5.3. Beoordeling resultaten	32
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	33
6.1. Conclusies	33
6.2. Aanbevelingen	34
7. REFERENTIES	35
laatste bladzijde	39

BIJLAGEN

- I Sonderingen ter plaatse van Willem Mechteldstraat
- II Bepaling dynamische bodemparameters
- III Invloed wissel bepaald uit metingen
- IV Uiteenzetting kostenraming diepwand en jetgrouten wand

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

In het kader van het project (Ontwerp) Tracébesluit Spooromgeving Geldermalsen is onderzoek uitgevoerd naar de mate van trillingsbelasting ten gevolge van treinverkeer in de woningen in en rondom het projectgebied. In het onderzoek is een prognose van optredende trillingsniveaus gemaakt en zijn waar nodig maatregelen afgewogen [ref. 4]. Uit het trillingsonderzoek volgt dat voor één woning een overschrijding van de toegepaste Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) wordt gevonden op basis van toetsing van het gemiddelde trillingsniveau (V_{per}). Voor alle andere woningen langs het spoor in het projectgebied wordt geen overschrijding van de Bts gevonden. Dat er slechts één overschrijding wordt gevonden is het gevolg van het feit dat enkel het gemiddelde trillingsniveau V_{per} toeneemt door het project. Wordt naar het maximale optredende trillingsniveau (V_{max}) gekeken, dan neemt dit niet toe als gevolg van het project: doorgaande goederentreinen zijn in de huidige én in de plansituatie maatgevend. Voor deze goederentreinen worden geen wijzigingen voorzien (zoals snelheidswijzigingen), waardoor het maximale optredende niveau niet wijzigt.

Voor de locatie waar een overschrijding wordt gevonden zijn in het trillingsonderzoek [ref. 4] maatregelen afgewogen. Uit de afweging volgt dat er geen doelmatige maatregelen gevonden worden en toegepast, op het toepassen van een optimalisatie van de stootplaat ter plaatse van de toekomstige ongelijkvloerse kruising in de Lingedijk na. Van de optimalisatie van de stootplaat is de effectiviteit moeilijk met zekerheid te bepalen, maar omdat de bijkomende kosten beperkt worden verondersteld (er wordt immers toch een nieuwe stootplaat toegepast) wordt in [ref. 4] aanbevolen de maatregel toe te passen.

Er is in een eerdere fase van het project (in 2014-2015) door bevoegd gezag al onderkend dat ondanks dat het aantal woningen waarvoor een overschrijding wordt gevonden beperkt is, de trillingsbelasting ook al in de huidige situatie voor de woningen langs het spoor in met name Tricht hoog is. Dit heeft er toe geleid dat gezocht is naar aanvullende te treffen maatregelen om de trillingsbelasting te reduceren. Hierbij is gezocht naar maatregelen welke met het oog op een beperkt budget het beste kunnen worden toegepast. Aanvullend op de optimalisering van de nieuwe stootplaat is besloten een ondergronds trillingsreducerende constructie toe te passen. In dit maatregelrapport wordt de effectiviteit van zowel de ondergronds trillingsreducerende constructie als de stootplaten nader onderzocht.

1.2. Doelstelling maatregelrapport

De doelstelling van het maatregelrapport is om de maatregelen voortvloeiend uit de toepassing van de Bts (zie [ref. 4]) en de maatregel voortvloeiend uit de bestuurlijke afspraken (ondergronds trillingsreducerende constructie in de vorm van een jetgrouten wand) nader te onderzoeken, de effectiviteit ervan uit te werken en daarmee nader te onderbouwen.

1.3. Structuurbeschrijving

Hoofdstuk 2 bespreekt de afweging van maatregelen uit [ref. 4]. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de onderbouwing van de toe te passen (aanvullende) maatregelen en de betreffende locaties. In hoofdstuk 4 wordt het onderzoek naar de effectiviteit van de trillingsreducerende wand middels een 3D rekenmodel besproken. In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op de verwachte afname van trillingsbelasting als gevolg van het optimaliseren van de stootplaat.

Hier toe wordt eerst de invloed van een wissel besproken op basis waarvan de invloed van de stootplaten is bepaald. Hoofdstuk 6 sluit het rapport af met conclusies en aanbevelingen. Afweging maatregelen.

2. AFWEGING MAATREGELN

2.1. Doelmatigheidsafweging maatregelen trillingsonderzoek OTB

In het kader van het (Ontwerp) Tracébesluit Spooromgeving Geldermalsen is onderzoek uitgevoerd naar de mate van trillingsbelasting ten gevolge van treinverkeer in de woningen in en rondom het projectgebied [ref. 4]. Hierbij is een prognose van trillingsniveaus in zowel de huidige als de plansituatie gemaakt welke is getoetst aan de Beleidsregel trillinghinder spoor. Uit de toetsing volgt voor één woning een overschrijding, namelijk Lingedijk 116. Voor deze woning zijn maatregelen onderzocht en afgewogen. Uit een quickscan van alle in beginsel mogelijke maatregelen volgde dat twee maatregelen nader onderzoek verdienen:

- 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 Lingedijk 116 waarvoor een overschrijding is gevonden;
- het verstijven van vloeren.

Vanwege het te verwachten lokale effect wordt in [ref. 4] aanbevolen de stootplaten te optimaliseren, ondanks dat geen volledige zekerheid gegeven kan worden ten aanzien van de te bereiken effectiviteit.

Er is naast het optimaliseren van de stootplaten gekeken naar het verstijven van vloeren voor Lingedijk 116. Dit is echter enkel effectief wanneer er sprake is van lokale opslingering van een vloer. Uit trillingsmetingen uitgevoerd in 2016 blijkt dat de dominante meetrichting horizontaal is en niet verticaal [ref. 4]. Hieruit volgt dat er geen sprake is van opslingering. Het verstijven van vloeren is daarom geen effectieve maatregel.

2.2. Toepassing aanvullende maatregelen

Uit een eerdere fase van het project (in 2014-2015) kwamen uit de onderzoeksresultaten nog meerdere overschrijdingslocaties naar voren, waarvoor geen doelmatige maatregelen te treffen waren. Dit betrof de locatie aan de Willem Mechteldstraat. Mede op basis van deze conclusie zijn bestuurlijke afspraken gemaakt die ertoe strekken desalniettemin maatregelen te treffen in verband met het reduceren van het trillingsniveau. De uitkomsten van het trillingsrapport uit 2016 [ref. 4] hebben geen aanleiding gegeven om deze afspraken te wijzigen. De maatregelen betreffen:

- het toepassen van een jetgrouten wand tussen woningen aan de oostzijde van het spoor en het spoor. De voorziene wand scheidt het spoor en de woningen aan de Willem Mechteldstraat en Johannes Wigeliusstraat met het spoor evenals de woningen juist ten zuiden van de spoorkruising met de Nieuwsteeg. Het mitigerende effect van de wand is in 2014-2015 in eerste instantie onderzocht met behulp van een 2D-rekenmodel. Er heeft vervolgens een nadere uitwerking van het effect van de wand plaatsgevonden op basis van een 3D rekenmodel;
- het toepassen van de geoptimaliseerde stootplaten nabij de ongelijkvloerse kruising van zowel de Nieuwsteeg als de Lingedijk.

3. NADER ONDERZOEK MAATREGELLEN

De twee maatregelen beschreven in het vorige hoofdstuk zijn nader onderzocht, namelijk de ondergrondse trillingsreducerende constructie en de optimalisatie van de stootplaten. Dit nadere onderzoek heeft plaatsgevonden eind 2015 en begin 2016 en is op basis van het meest actuele trillingsonderzoek [ref. 4] opnieuw bekeken en onderbouwd. In dit hoofdstuk worden de onderzochte maatregelen beschreven.

3.1. Nader onderzochte locaties

Voor het toepassen van een ondergronds trillingsreducerende constructie is opnieuw gekeken naar de locatie waar deze het beste kan worden toegepast. Hierbij is in het licht van de bestuurlijke afspraken over een ondergronds trillingsreducerende constructie naar de mate van optredende trillingsbelasting gekeken en derhalve niet alleen of er sprake is van een overschrijding van de Bts.

3.1.1. Trillingsbelasting spooromgeving

Uit de toetsing van het trillingsonderzoek [ref. 4] volgt dat het gemiddelde trillingsniveau V_{per} tot één overschrijding leidt. Toetsing van het maximale trillingsniveau leidt niet tot een overschrijding omdat er geen toename wordt verwacht. In de toetsing van trillingsniveaus wordt in [ref. 4] per deelgebied het aantal woningen met een mate van trillingsbelasting weergegeven waarbij een indeling in deelgebieden is gemaakt zoals weergegeven in afbeelding 3.1. Dezelfde indeling wordt in dit rapport gehanteerd.

Afbeelding 3.1. Indeling projectgebied in deelgebieden (subindeling Tricht rechts)



In tabellen 3.1 en 3.2 worden het aantal overschrijdingen van de grenswaarde voor de nachtperiode voor woningen weergegeven. De grenswaarde bedraagt 0,4. Daarnaast wordt ook het aantal overschrijdingen van de waarde van 1,2 getoond. De waarde van 1,2 is gekozen omdat overschrijdingen van deze waarde een beeld geven op welke locaties de hoogste trillingsbelasting optreedt.¹

Tabel 3.1. Aantal woningen V_{max} boven grenswaarde nachtperiode

gebied	aantal woningen $V_{max} > 0,4$	aantal woningen $V_{max} > 1,2$
gebied 1.1	69	25
gebied 1.2	12	0
gebied 1.3	6	0
gebied 1.4	4	4
gebied 1.5	20	0

Tabel 3.2. Aantal woningen V_{max} boven grenswaarde nachtperiode

gebied	aantal woningen $V_{max} > 0,4$	aantal woningen $V_{max} > 1,2$
gebied 3 oost	31	0
gebied 3 west	1	0
gebied 4 (oost)	0	0
gebied 5 oost (tot aan projectgrens)	1	0
gebied 5 west (tot aan projectgrens)	4	2

Voor het project (Ontwerp) Tracébesluit Spooromgeving Geldermalsen geldt dat er geen toename in V_{max} wordt verwacht en dat de uiterste toelaatbare 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. Er is echter in Tricht wel sprake van een maximaal trillingsniveau boven de 0,4 voor 111 woningen. De grenswaarde 0,4 wordt gehanteerd voor de nachtperiode.

Wordt naar de gemiddelde trillingsbelasting in de plansituatie gekeken dan volgt één enkele overschrijding in deelgebied 1.4 zoals reeds vermeld in het vorige hoofdstuk.

Tabel 3.3. 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

Tabel 3.4. 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

¹ De waarde 1,2 betreft de grenswaarde voor V_{max} voor de nachtperiode voor gebouwen met een functie onderwijs, kantoren en bijeenkomst en geldt dus niet voor woningen. De waarde is gekozen om de locaties met hoogste trillingsbelasting inzichtelijk te maken.

3.1.2. Maatgevende locaties

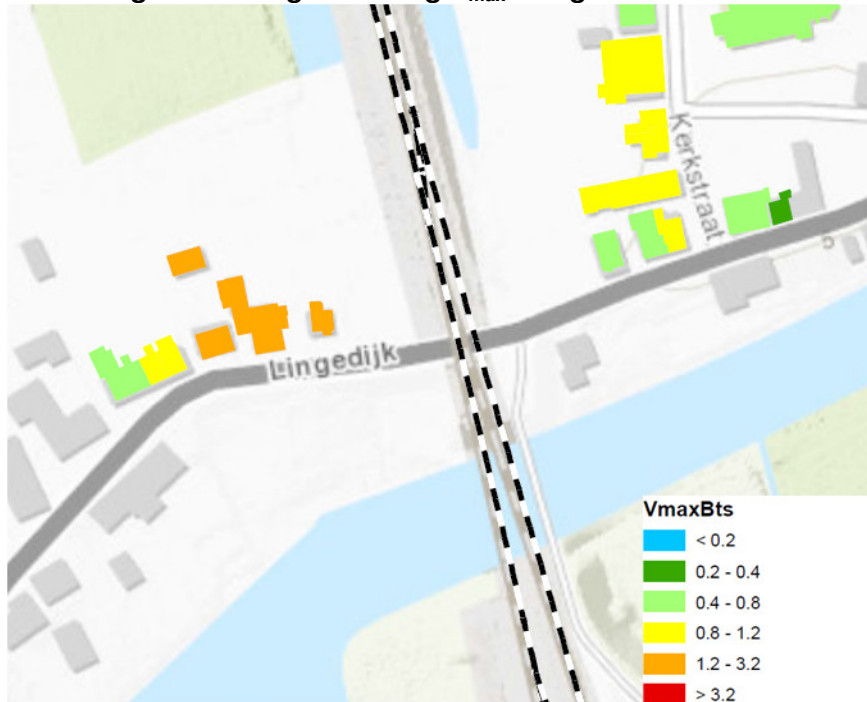
Uit de vorige paragraaf volgt dat de locaties waar de meeste woningen met de hoogste trillingsbelasting V_{max} worden gevonden in Tricht liggen, namelijk in deelgebieden 1.1 en 1.4. Daarnaast wordt voor deelgebied 5 west ook voor een aantal woningen langs het spoor een hoger maximaal trillingsniveau verwacht dan voor de overige woningen (boven $V_{max}=1,2$). In afbeeldingen 3.2 t/m 3.4 worden de maatgevende locaties weergegeven.

Afbeelding 3.2. Trillingsbelasting V_{max} deelgebied 1.1

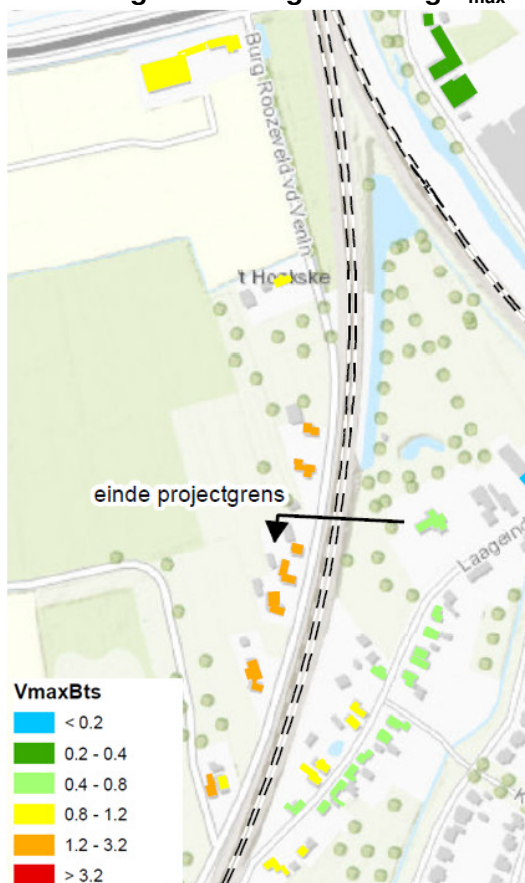


Uit de afbeeldingen 3.2 t/m 3.4 volgt dat het meeste aantal woningen waarvoor een trillingsbelasting V_{max} boven de 1,2 wordt gevonden in deelgebied 1.1 ligt. Van dit deelgebied betreft de eerstelijnsbebouwing de woningen aan de Willem Mechteldstraat. De overige twee maatgevende locaties zijn ter plaatse van de Lingedijk een drietal woningen en nabij de zuidelijke projectgrens een zevental woningen.

Afbeelding 3.3. Trillingsbelasting V_{max} deelgebied 1.4



Afbeelding 3.4. Trillingsbelasting V_{max} deelgebied 5 west



3.2. Nader onderzochte maatregelen

3.2.1. Keuze aanvullende maatregelen

Uit de resultaten van de vorige paragraaf blijkt dat de maatgevende locatie om zoveel mogelijk trillingsbelasting te reduceren ligt ter plaatse van de Willem Mechteldstraat. Dit is niet gewijzigd ten opzichte van de conclusies uit de onderzoeken uit 2015. Het plaatsen van een ondergronds trillingsreducerende constructie in de vorm van een jetgrouten wand tussen het spoor en de Willem Mechteldstraat lijkt ook op basis van het vernieuwde onderzoek de meest kansrijke maatregel om de trillingsbelasting te reduceren¹. Naast het optimaliseren van de stootplaat, wordt in dit maatregelrapport deze maatregel ter plaatse van de Willem Mechteldstraat daarom nader uitgewerkt.

3.2.2. Ondergronds trillingsreducerende wand: 3D modellering

3D modellering

In de eerdere fase van het trillingsonderzoek is het trillingsreducerende effect bepaald van een in de grond gevormde wand middels de jetgrout-techniek. Hiertoe een tweedimensionaal rekenmodel opgesteld waarbij is gekeken naar trillingen met een frequentie van 4, 6 en 8 Hz. De nadruk heeft gelegen op 6 Hz. Deze frequentie is gekozen omdat uit de metingen bleek dat maatgevende goederentreinpassages structureel een dominante frequenties tussen de 5,5 en 7 Hz laten zien ter plaatse van de Willem Mechteldstraat.

In eerste instantie is gerekend met een enkele rij kolommen. Dit leverde echter op basis van de 2D-rekenmodellen de verwachting dat de wand onvoldoende effectief zou zijn. Het toepassen van een dubbele rij kolommen tot een diepte van 15 m onder maaiveld liet meer trillingsreductie zien en zou mogelijk voldoende effectief zijn. Dit is echter een stuk duurder waardoor de kosten gelijk zijn aan of meer zijn dan die van een diepwand van 10 m diep. In het onderzoek is aangegeven dat de gekozen modelleringwijze middels een tweedimensionaal rekenmodel een benadering is omdat:

- de trillingsreducerende wand in de lengte richting een eindige stijfheid kent;
- een passerende trein in werkelijkheid geen oneindige lijnlast is;
- niet kan worden bepaald hoeveel meter de wand voorbij de te mitigeren woning moet 'uitsteken' zodat woningen nabij de uiteinden van de wand ook voldoende reductie ondervinden.

In de nadere uitwerking zijn deze aspecten daarom bepaald middels een driedimensionaal rekenmodel waarin de beweging van een aslast van een trein over de baan kan worden gemodelleerd. Zodoende is de effectiviteit nader in kaart gebracht en zijn de optimale wandeigenschappen nader uitgewerkt.

Gewenste mitigerende zone op basis van hoogste trillingsbelasting

Om trillingsreductie bij de woningen met de hoogste trillingsbelasting V_{max} te realiseren wordt een ondergronds trillingsreducerende constructie voorzien tussen het spoor en de Willem Mechteldstraat.

¹ De twee andere locaties met hoge trillingsbelasting (afbeeldingen 3.3 en 3.4) tonen minder woningen met een hoog niveau. Het toepassen van een ondergronds trillingsreducerende constructie ter plaatse van de Willem Mechteldstraat heeft dan ook op meer woningen effect dan ter plaatse van de andere twee locaties en wordt zodoende aangeduid als meest kansrijk om trillingsbelasting te reduceren.

Wordt naar de V_{\max} belasting gekeken (afbeelding 3.2), dan zou de ondergronds trillingsreducerende constructie van de huidige spoorwegovergang Nieuwsteeg lopen tot ten noorden van de Johannes Wigeliusstraat (de huidige spoorwegovergang wordt in de plansituatie een ongelijkvloerse kruising. Hierdoor worden de woningen aan de oostzijde dicht aan het spoor ten noorden van de Nieuwsteeg gemitigeerd. Wordt naar de gemiddelde trillingbelasting V_{per} gekeken op deze locatie dan liggen er juist ten zuiden van de toekomstige ongelijkvloerse kruising enkele woningen welke ook een relatief hoge gemiddelde trillingsbelasting tonen ($0,05 < V_{\text{per}} < 0,07$), zie afbeelding 3.5. Deze woningen worden eveneens gemitigeerd wanneer de ondergronds trillingsreducerende constructie doorgetrokken wordt ten zuiden van de toekomstige ongelijkvloerse kruising. In het nadere onderzoek van de ondergronds trillingsreducerende constructie is daarom het te mitigerende gebied aangehouden inclusief de groep woningen aan de Nieuwsteeg juist ten zuiden van de toekomstige ongelijkvloerse kruising zoals weergegeven in afbeelding 3.5 aan de rechterzijde.

Afbeelding 3.5. Trillingsbelasting V_{per} deelgebied 1.1 en 1.2



3.2.3. Kwantitatieve invloed stootplaten overgangen

In het trillingsonderzoek (Ontwerp) Tracébesluit Spooromgeving Geldermalsen [ref. 4] worden mogelijke maatregelen besproken. Hierbij wordt ingegaan op de invloed van een gewijzigd ontwerp van de stootplaten van de toekomstige ongelijkvloerse kruisingen. Ter plaatse van nieuw te realiseren ongelijkvloerse kruisingen wordt in Nederland tegenwoordig een standaard stootplaat toegepast. Vanuit het trillingsonderzoek is een aantal ontwerpwijzigingen voorgesteld om de stootplaat 'trillingsarmer' te maken. De invloed van deze ontwerpwijzigingen is nog niet volledig kwantitatief te bepalen omdat er een aantal factoren meespeelt in de mate van de trillingsbelasting waarvan de grootte van de invloed onbekend is, namelijk de stijfheid van de ondergrond, de kwaliteit van het ballast, de mogelijk optredende verschilzetting en de interactie van de treinbelasting met de ondergrond en de stootplaat.

Voor de stootplaat geldt dat het trillingsreducerende effect een lokaal effect betreft. Dit is vergelijkbaar met een wissel, omdat beide puntbronachtige fenomenen zijn. Een eerste schatting van de reikwijdte van het effect is circa 50 op basis van de invloed van een wissel. De invloed van een wissel is in kaart gebracht met metingen aan het wissel nabij de Willem Mechteldstraat. Een invloedsgebied van 50 meter betekent dat het toepassen van de geoptimaliseerde stootplaten enkel effect heeft voor woningen in de nabijheid van de overgangsconstructie. Op basis van de aanname dat de invloed van stootplaten vergelijkbaar is met die van het wissel, is een indicatief beeld gekregen van het mogelijke effect van het toepassen van trillingsarme overgangen op de nabijgelegen woningen.

4. ONDERGRONDS TRILLINGSREDUCERENDE WAND: 3D MODELLERING

4.1. Voorziene locatie ondergronds trillingsreducerende wand

4.1.1. Eerstelijnsbebouwing te mitigeren zone

Bij toepassing van een ondergronds trillingsreducerende constructie geldt de verwachting dat woningen gelegen direct achter de constructie het meest worden gemitigeerd. In de voorziene zone (zie afbeelding 3.5) betreft dit de eerstelijnsbebouwing aan de Willem Mechteldstraat, (een 3-tal 2-ondereenkap woningen en een blok van 4 woonhuizen die parallel aan het spoor staan) en een viertal 2-ondereenkap woningen (Johannes Wigeliusstraat 46 en 48, Nieuwsteeg 22 en 24, Nieuwsteeg 21 en 23 en Nieuwsteeg 33 en 35. Afbeelding 4.1 geeft de locatie weer met de twee woningen uitgelicht waarin binnen het trillingsonderzoek [ref. 4] trillingsmetingen zijn uitgevoerd.

Afbeelding 4.1. Woonhuis Willem Mechteldstraat 8 en Nieuwsteeg 21



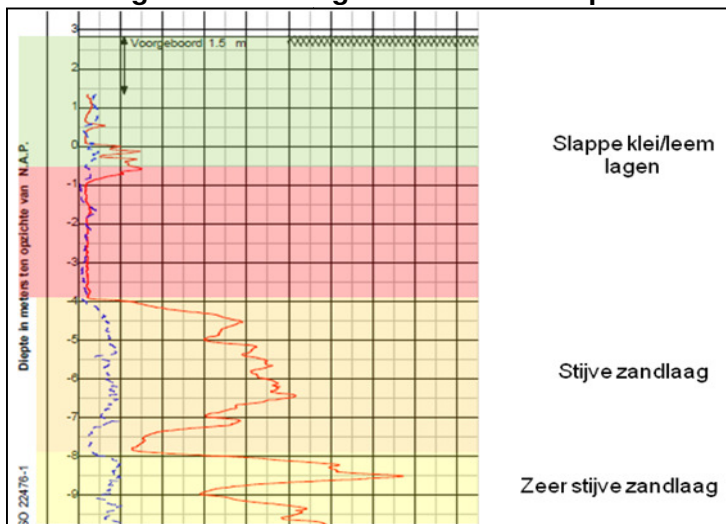
In de afbeelding is met een gele stippellijn weergegeven waar de trillingsreducerende wand wordt voorzien. Hoe lang de wand precies moet zijn volgt uit de berekeningen met het 3D-model. In bovenstaande afbeelding is de wand slechts indicatief weergegeven. Voorzien wordt dat de wand op een afstand van circa 5 meter van buitenzijde spoor wordt gerealiseerd¹.

¹ Wanneer dicht op het spoor bouwwerkzaamheden plaatsvinden, dient aandacht te worden besteed aan het voorkomen van zakking van de grond en de baan. Verwacht wordt dat het bouwen van een wand op 5 meter van spoor mogelijk is binnen de te stellen eisen aan toelaatbare zetting. Bij een nader ontwerp van de wand dient er ook nadere aandacht aan dit aspect te worden geschonken.

4.1.2. Grondopbouw te mitigeren zone

In de rapportage van het trillingsonderzoek is de grondopbouw ter plaatse beschreven op basis van gegevens van het Dinoloket [ref. 4]. Binnen het project is echter nader grondonderzoek uitgevoerd waarbij ook een 3-tal sonderingen tussen het spoor en de Willem Mechteldstraat is uitgevoerd. Zie bijlage I voor de sondeergegevens. De sonderingen bevestigen de eerder bepaalde grondopbouw. In afbeelding 4.2 wordt schetsmatig weergegeven hoe de grondopbouw eruit ziet op basis van één van de beschikbare sonderingen.

Afbeelding 4.2. Sondering DKM046 tussen spoor en Willem Mechteldstraat



In het 3D-rekenmodel is de grondopbouw ingevoerd waarbij onderscheid is gemaakt tussen slappe en stijve grondlagen. De inschatting van grondlagen is in afbeelding 4.2 aan de rechterzijde weergegeven. Op basis van de sondeergegevens is een nadere schatting van de dynamische eigenschappen van de grondlagen gemaakt. In bijlage II is een nadere onderbouwing van deze parameters gegeven welke in tabel 4.1 worden gepresenteerd.

Tabel 4.1. Overzicht grondparameters

Top [m]	Bottoms [m]	Thickness [m]	q_c [MPa]	Type soil	E_{dyn} [MPa]	Poisson ratio	Density [kg/m ³]
+2.85	-0.75	3.6	0.5	Klei	15	0.4	1700
-0.75	-4	3.25	0.75	Leem	20	0.4	1900
-4	-8	4	8	Zand	100	0.35	2039
-8	-90	82	20	Zand	150	0.35	2039

Uit peilbuismetingen in de regio rondom Tricht blijkt dat over het algemeen 2 verschillende stijghoogteniveaus van het grondwater worden aangetroffen. Het diepe grondwater wordt geregistreerd in de filters die beneden NAP -5,0 m zijn aangebracht. De stijghoogten hierin variëren tussen circa NAP +0,7 m en circa NAP +1,0 m met een seizoensfluctuatie van $\pm 0,2$ m. Hieruit blijkt dat alle grondlagen verzadigd zijn. Verwacht wordt dat de grondlagen undrained gedrag vertonen bij een dynamische belasting. Dit resulteert in Poisson ratio's rond de 0,35 en 0,4. De resulterende golfsnelheden worden in tabel 4.2 gegeven.

Tabel 4.2. Golfsnelheden grondlagen

Top [m]	Bottom [m]	Thickness [m]	Vs (schuifgolfsnelheid) [m/s]	Vp (drukgolfsnelheid) [m/s]
+2.85	-0.75	3.6	56,1	137,5
-0.75	-4	3.25	61,3	150,2
-4	-8	4	134,8	280,6
-8	-90	82	165,1	343,6

De grondlagenopbouw en bijbehorende parameters op basis van het nadere grondonderzoek wijken niet sterk af van de gehanteerde parameters in het tweedimensionale model uit de vorige fase van het onderzoek. Wel zijn aan de zandlagen een hogere stijfheid toegekend dan eerder aangenomen.

4.2. Beschrijving 3D model

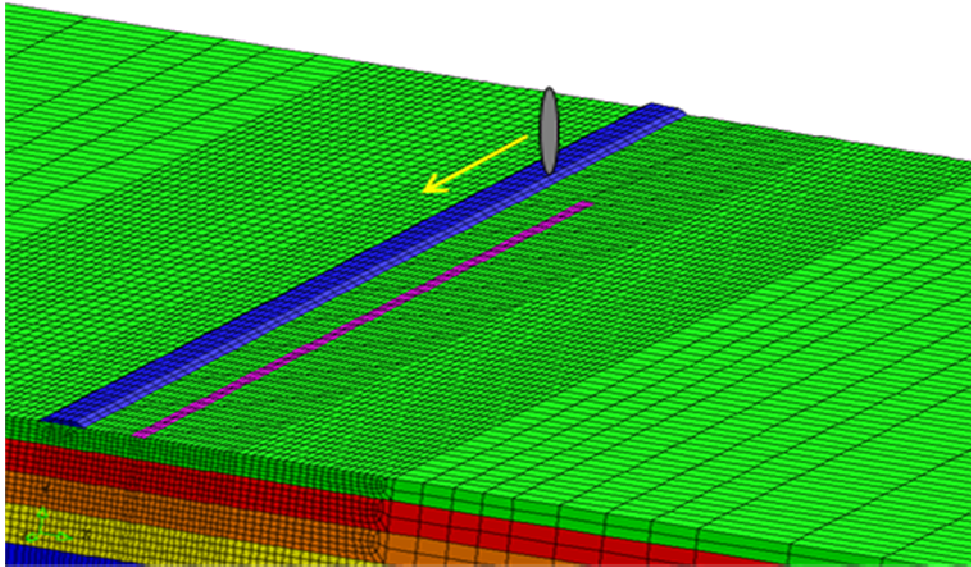
4.2.1. Modellerwijze belasting

Bij een treinpassage oefent de trein via het wielcontact een belasting uit op de baan. Deze belasting is tijdsafhankelijk en hangt van een groot aantal parameters af waaronder:

- gewicht van het voertuig;
- afgeveerde versus onafgeveerde massa;
- snelheid van het voertuig;
- onregelmatigheden aan het wiel;
- onregelmatigheden het spoor;
- grondopbouw;
- afstand dwarsliggers.

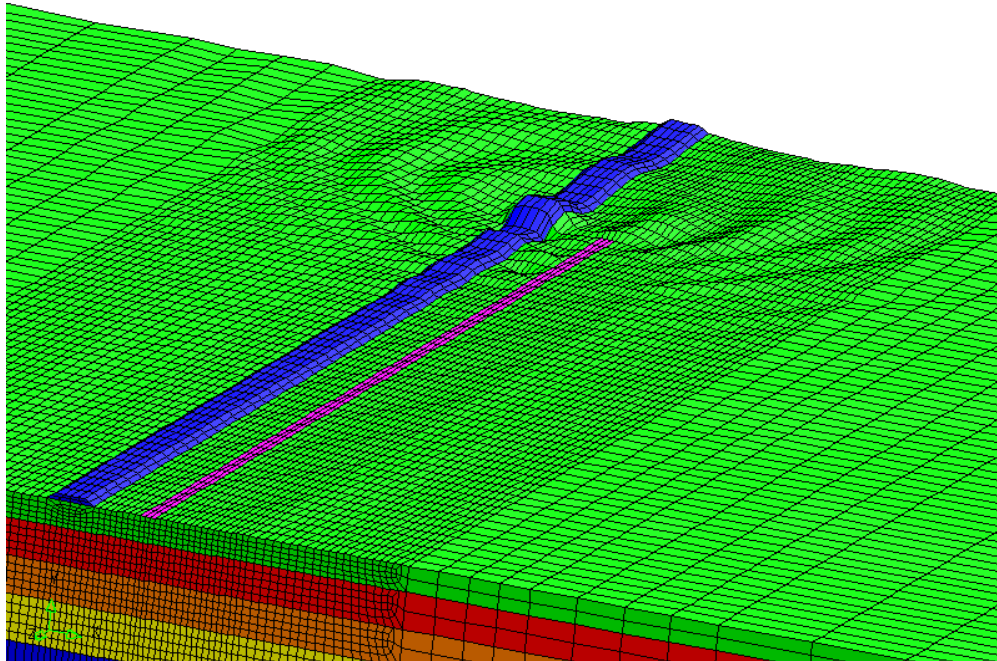
Bovenstaande aspecten resulteren in een complex interactief spel tussen voertuig en baan wat een zeer complex rekenmodel oplevert. Een vereenvoudigde weergave is door het voertuig te vervangen door een belasting welke fluctueert in de tijd. In het driedimensionale rekenmodel is deze vereenvoudiging doorgevoerd waarbij het voertuig is vervangen door een harmonische belasting. In afbeelding 4.3 wordt dit schematisch weergegeven.

Afbeelding 4.3. Aslast bewegende over het ballastbed



De harmonische belasting bestaat in werkelijkheid een breed spectrum aan frequenties. In het huidige model is de harmonische belasting echter een specifieke frequentie gegeven, namelijk 6 Hz. Deze frequentie bleek tijdens de metingen in Tricht consequent dominant te zijn in de gemeten trillingssignalen ten gevolge van passerende goederentreinen [ref.4]. Dit geldt zowel voor de maatgevende niveaus aan de fundering alsook in de woningen. Bij een harmonische belasting van 6 Hz welke over het ballastbed voortbeweegt, treden golven op die zich door de grond en op maaiveld voortbewegen. Dit wordt weergegeven in afbeelding 4.4.

Afbeelding 4.4. Optredende golven bij een voortbewegende harmonische belasting



De wijze waarop deze golven zich door de grond voortbewegen hangt af van de grondopbouw en of er mogelijke obstakels aanwezig zijn. Van dit tweede is voor zover bekend tussen het spoor en de Willem Mechteldstraat geen sprake.

4.2.2. Numerieke modeleigenschappen

Bij het opstellen van het rekenmodel en het uitvoeren van de tijdsafhankelijke (dynamische) analyse geldt een aantal belangrijke randvoorwaarden om de nauwkeurigheid te waarborgen:

- grootte van het model: de randen van het rekenmodel moeten ver genoeg weg liggen van het gebied van interesse;
- tijdstapgrootte moet klein genoeg zijn (afhankelijk van frequentie);
- de elementgrootte moet klein genoeg zijn om optredende golven goed te kunnen 'vangen';
- randvoorwaarden moeten energieabsorberend zijn.

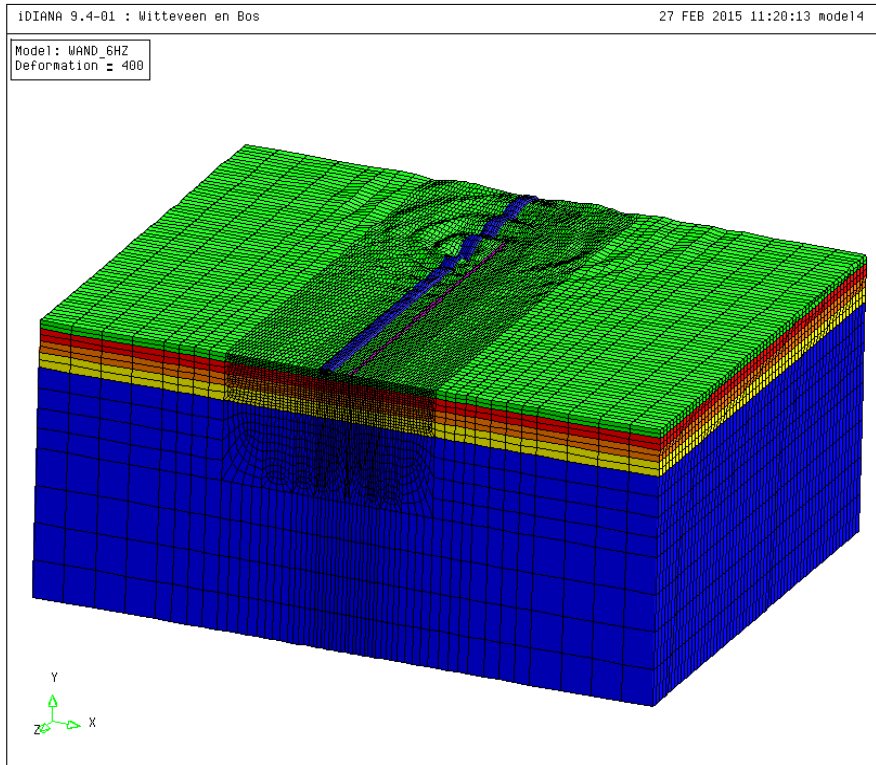
Bovenstaande aspecten resulteren in een rekenmodel en vervolgens in een analyse die veel rekentijd vergt (enkele dagen). De eigenschappen van het model worden weergegeven in tabel 4.3.

Tabel 4.3. Eigenschappen 3D rekenmodel DIANA

elementtype grond	HX24L (volume elementen)
aantal elementen	186.000
tijdstapgrootte	0.02
aantal tijdstappen	320
lengte x breedte x hoogte model	160 m x 160 m x 90 m
tijdsintegratie	Newmark ($\gamma=0,5$ en $\beta=0,5$)

In afbeelding 4.5 wordt het volledige rekenmodel weergegeven. Het model is geoptimaliseerd door het elementennet nabij het spoor (tot 50 m buiten het spoor) fijner te maken dan daarbuiten. Hetzelfde is gedaan voor de diepte. Zodoende wordt het gebied waarvoor de bepaling van de effectiviteit het meest belangrijkst is, ook het meest nauwkeurig berekend.

Afbeelding 4.5. 3D rekenmodel DIANA



In het rekenmodel is de trillingsreducerende wand aanwezig in driekwart van de lengterichting van het model. De wand is niet over de hele lengte in het model aanwezig zodat ook het effect nabij de uiteinde van de wand gesimuleerd wordt. Hierdoor kan worden bepaald hoeveel verder de wand voor de te mitigeren woningen moet doorlopen (overstek).

4.3. Berekeningsresultaten 3D model

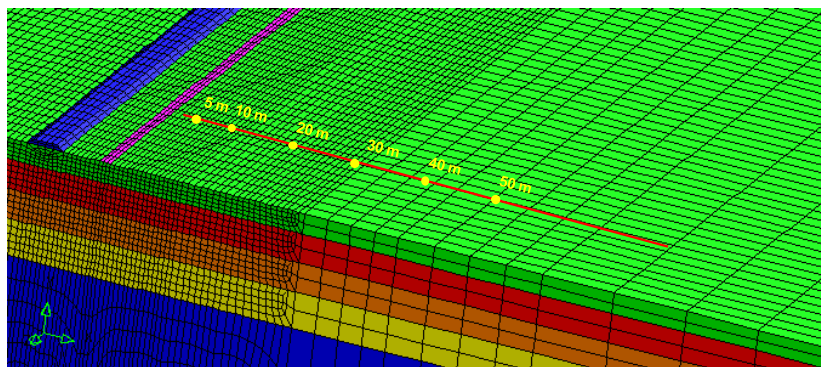
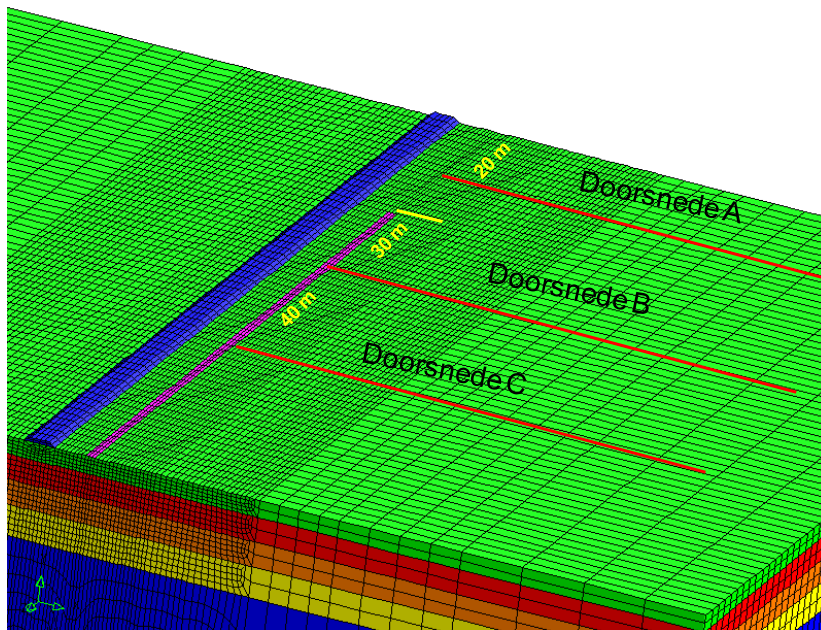
4.3.1. Verwerking van modelresultaten

De resultaten van het rekenmodel zijn stapsgewijs onderzocht:

1. voor een 3-tal doorsneden (A tot en met C) is het trillingssignaal als gevolg van de passerende harmonische belasting uitgevraagd op verschillende afstanden van de wand;
2. per trillingssignaal is het signaal omgerekend naar een voortschrijdende effectieve tijdsafhankelijke waarde;
3. de maximale optredende waarde van het voortschrijdende effectieve signaal (V_{max}) is voor alle locaties bepaald;
4. stappen 1 - 3 zijn uitgevoerd voor een 2-tal rekenmodellen: een model zonder wand en een model met wand;
5. voor elke locatie zijn de V_{max} niveaus met en zonder wand vergeleken. Hiermee wordt de effectiviteit van de wand berekend.

In onderstaande afbeelding worden de 3 gekozen doorsneden weergegeven. Voor doorsnede A geldt dat er geen wand tussen het spoor en de ontvangerpunten aanwezig is in zowel het rekenmodel met als het rekenmodel zonder wand. Doorsnede B is gekozen op 30 m afstand van de rand van de trillingsreducerende wand omdat op voorhand is geschat dat een 'overstek' van 30 m nodig is. Doorsnede C bevindt zich in de volledige luw zone die de wand creëert. Op een 6-tal verschillende afstanden tot het spoor zijn de berekende trillingssignalen geanalyseerd, namelijk 5, 10, 20, 30, 40 en 50 m afstand van de wand. In afbeelding 4.6 worden de 3 doorsneden weergegeven.

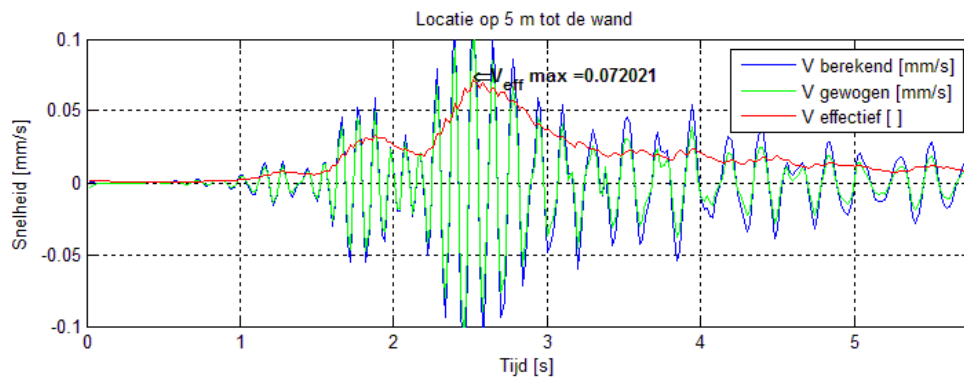
Afbeelding 4.6. Gekozen doorsneden voor uitvoer



Afbeelding 4.7 geeft het trillingssignaal in verticale richting voor een specifieke locatie wanneer geen dempende wand aanwezig is. In de afbeelding wordt het originele signaal, het gewogen en het effectieve signaal getoond. Deze signaalverwerking is nodig om de hinder-toetsing conform de Bts te kunnen uitvoeren.¹ Het maximum van het effectieve signaal betreft de te toetsen V_{max} waarde conform de Bts.

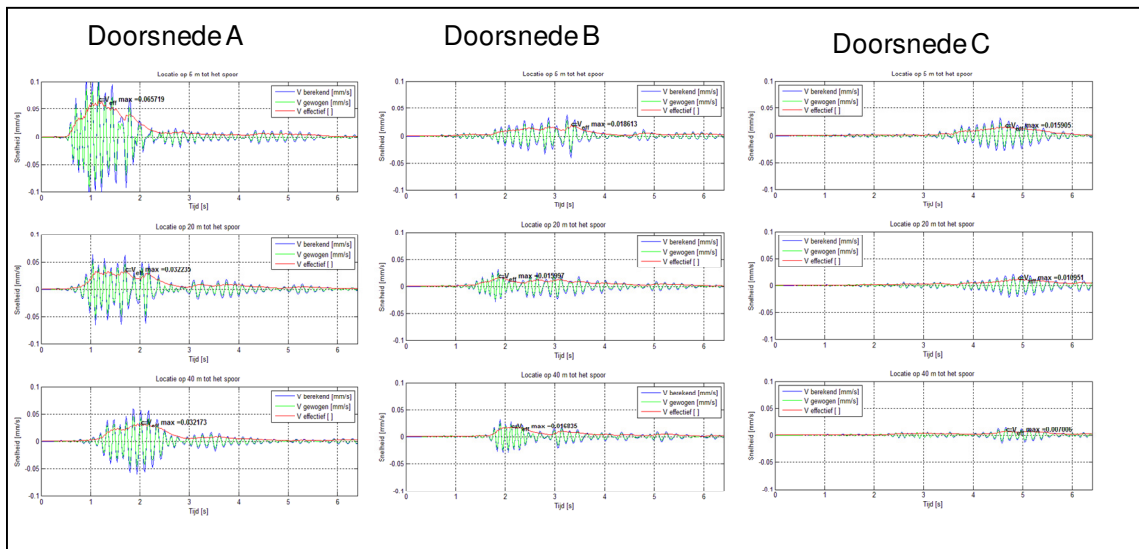
¹ Voor deze signaalverwerking verwijst de Bts naar de SBR-richtlijn Trillingen deel B: Hinder voor personen in gebouwen [ref. 4].

Afbeelding 4.7. Trillingsignaal op 5 meter afstand van wand (wand is eigenschappen van grond gegeven in deze berekening)



Het signaal uit afbeelding 4.7 is het gevolg van een passerende harmonische belasting. Uit de afbeelding is duidelijk het ‘Doppler effect’ te zien. Dit houdt in dat de frequentie van het signaal enigszins hoger is wanneer de belasting naar het ontvangerpunt toe beweegt dan wanneer de belasting van het ontvangerpunt af beweegt. Voor een berekening waarin de invloed van de wand wordt berekend (waarbij een stijfheid van beton aan de wand is toegekend), worden in afbeelding 4.8 de signalen op verschillende afstanden en verschillende doorsneden gegeven.

Afbeelding 4.8. Trillingssignalen verschillende doorsneden op respectievelijk 5 m, 20 m en 40 m van de wand af



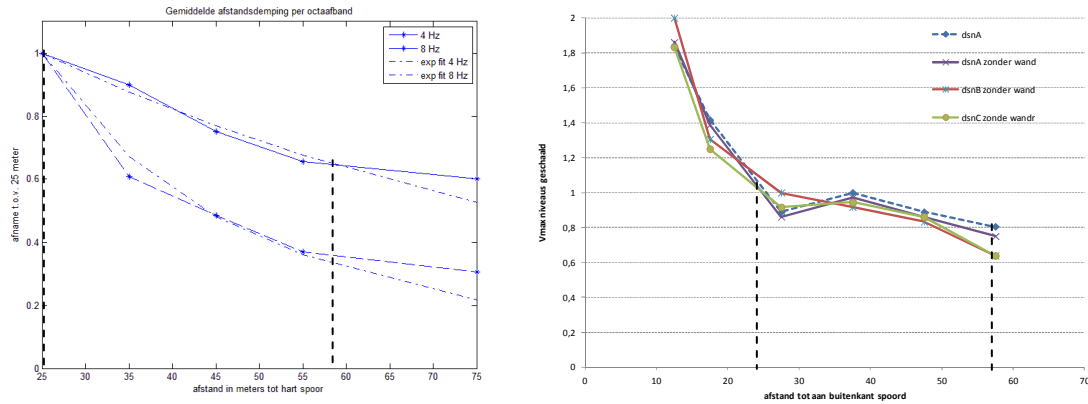
Uit afbeelding 4.8 volgt dat in doorsnede A geen demping wordt ondervonden terwijl dit in doorsnede B en C wel wordt ondervonden. Ook vindt de piek in doorsnede A eerder plaats dan in doorsnede B en C. De belasting passeert eerst doorsnede A dan B en dan C.

4.3.2. Modelvalidatie op basis van afstandsdemping

De berekeningsresultaten van het model waarbij geen wand aanwezig is, zijn vergeleken met de afstandsdemping die op basis van metingen in het trillingsonderzoek is bepaald [ref. 4]. In afbeelding 4.9 worden de curves uit de meting vergeleken met die van de berekening.

De berekende waarden zijn hierbij geschaald ten op zichte van de waarde op 25 m afstand. De demping in het afstandsgebied tussen 25 m en bijna 60 m kunnen zodoende met elkaar vergeleken worden.

Afbeelding 4.9. Vergelijking dempingcurve meting en berekening



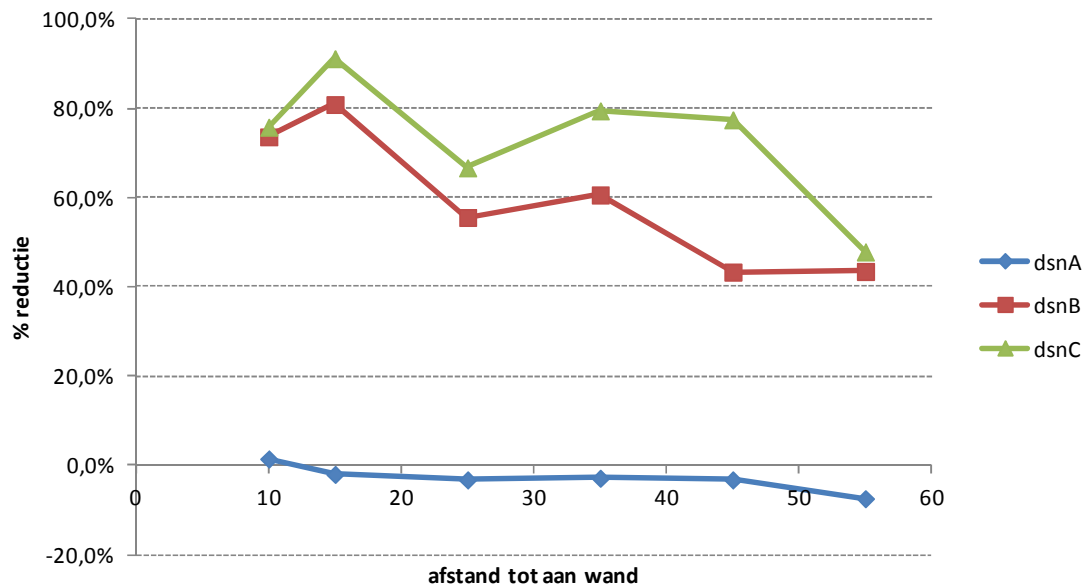
Uit de afbeelding blijkt dat de berekende dempingscurves een demping laten zien die vrij goed overeen lijkt te komen met de 4 Hz octaafband curve uit de meting. De 4 Hz octaafband curve is in de vorige fase ook steeds gehanteerd als curve te gebruiken voor goedertreinen.

4.3.3. Berekeningsresultaten effectiviteit wand

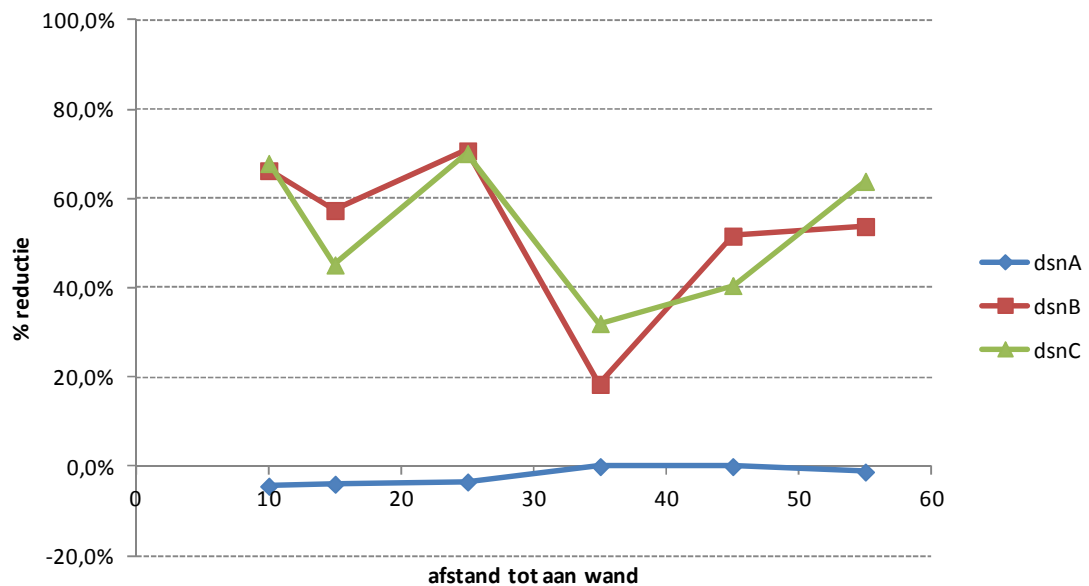
Effectiviteit wand 15 m diep en 1,5 m dik

Het eindresultaat uit het onderzoek met het tweedimensionale rekenmodel is als startpunt genomen voor het driedimensionale rekenmodel. Uit de conclusies van het tweedimensionale rekenmodel volgde dat een wand van 15 m diep mogelijk voldoende effectief is. Er is daarom gestart met een berekening waarin de wand 15 m diep en 1,5 m breed is. In afbeelding 4.10 en 4.11 zijn de berekende effectiviteit in respectievelijk de verticale en horizontale richting gegeven. Bij de berekeningen is een materiaalstijfheid van 25.000 MPa aan de wand toegekend.

Afbeelding 4.10. Effectiviteit verticaal 15 m diep 1,5 m dik



Afbeelding 4.11. Effectiviteit horizontaal 15 m diep 1,5 m dik



Uit afbeeldingen 4.10 en 4.11 blijkt dat voor doorsnede A een reductie van rond de 0 % wordt gevonden. Ter plaatse van deze doorsnede is er geen wand aanwezig waardoor er vrijwel geen verschil wordt gevonden tussen de berekening met en zonder wand.¹ Voor doorsnede B wordt voor de verticale richting een reductie tussen de 80 en 40 % gevonden, waarbij de reductie van V_{max} afneemt met afstand tot de wand.

¹ Het verschil is niet helemaal nul. De aanwezigheid van de wand heeft mogelijk een kleine invloed in een gebied voor de wand.

Voor doorsnede B is mogelijk nog een randwerking van de wand te verwachten waardoor nog niet de volledige trillingsreducerende werking wordt gevonden. Doorsnede C bevindt zich verder bij de rand vandaan en voor deze doorsnede wordt de volledige trillingsreducerende werking verwacht. Dit blijkt ook uit de afbeelding. Doorsnede C toont voor de zone 10 tot 50 meter achter de wand een iets hogere reductie dan doorsnede B.

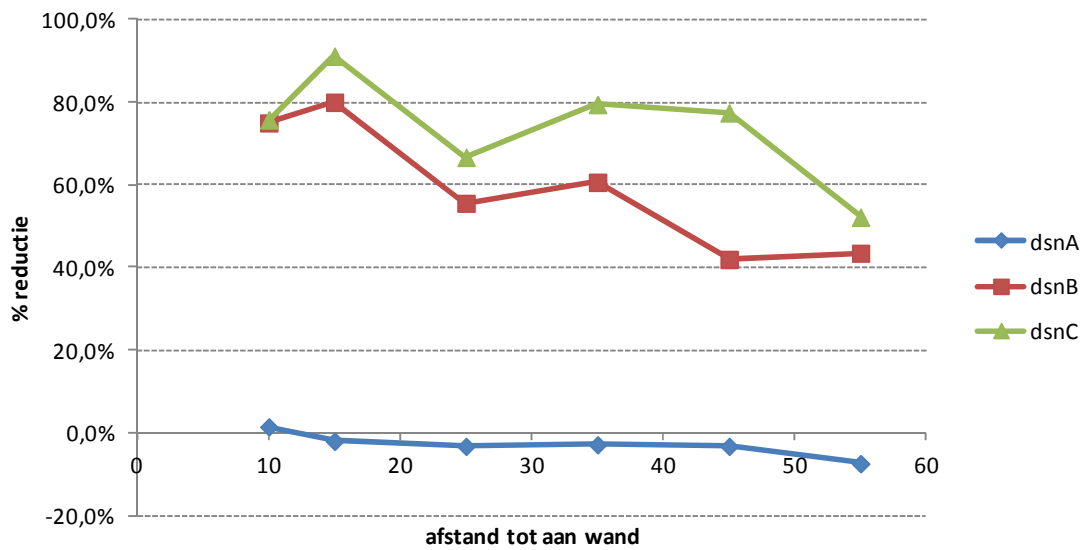
Wordt naar de horizontale trillingsreducerende werking gekeken dan wordt voor zowel doorsnede B als doorsnede C een effectiviteit van 40 % of meer verwacht met uitzondering van een zone op 35 m achter de wand. Nabij het uiteinde van de wand (doorsnede B) wordt in de zone rond 35 m achter de wand een reductie van ongeveer 20 % gevonden, terwijl in doorsnede C iets meer dan 30 % wordt gevonden. De wand blijkt trillingen in verticale richting beter te reduceren dan in horizontale richting. De maatgevende woningen aan de Willem Mechteldstraat staan in de zone 25 tot 35 m van de wand. Dit is precies op de locatie waarin de effectiviteit van de wand in met name horizontale richting een dip laat zien. Het verplaatsen van de wand verder van het spoor en dicht op de woningen zou op basis van de grafieken een logische keuze zijn. Echter, wanneer de wand verder van het spoor komt te staan dan zal de algehele werking van de wand minder zijn omdat trillingen met grote golflengtes in dat geval meer ruimte krijgen zich om de wand heen te buigen. Grafiek 4.11 zou dan niet meer representatief zijn. Vanwege de effectiviteit en ook vanwege de ruimtelijke inpassing is besloten de wand dicht op het spoor te plaatsen.

De trillingsreducerende werking blijkt ten opzichte van de berekeningen in de eerdere fase (het tweedimensionale rekenmodel) te zijn toegenomen. Verwacht wordt dat dit voor een groot deel komt door de aangehouden hogere stijfheid van de zandlagen op basis van de sondeergegevens. Hierdoor is het inklemmend effect van de wand en daarmee ook afschermend effect op trillingen groter. Vanwege deze resultaten is gekeken of een wand met een dikte van 1 m en een diepte van 10 m alsnog niet voldoende trillingsdempend effect realiseert.

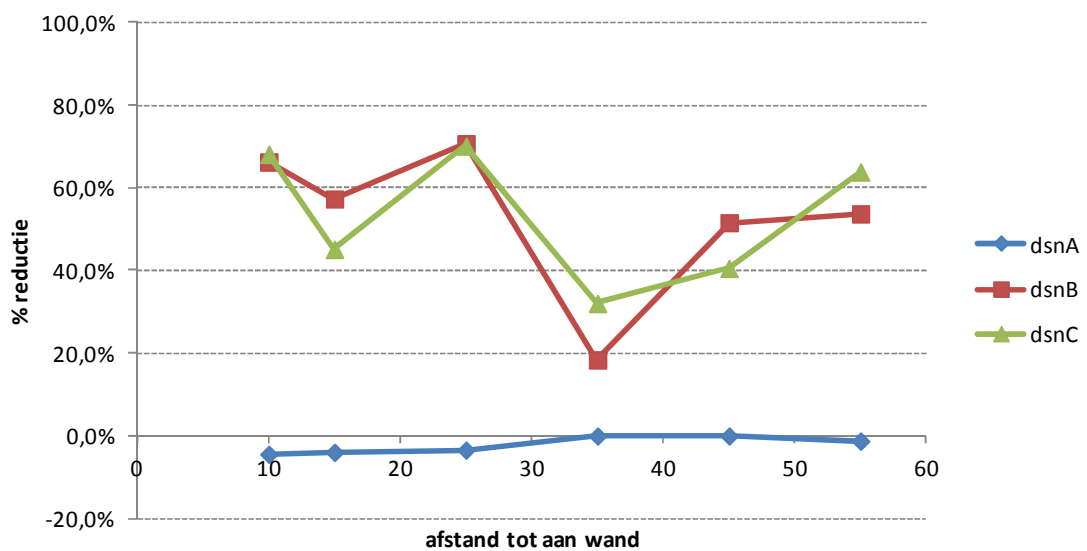
Effectiviteit wand 10 m diep en 1,0 m dik

In afbeeldingen 4.12 en 4.13 wordt de effectiviteit van een 10 m diepe en 1 m dikke wand gegeven voor respectievelijk de verticale en horizontale richting. De afbeeldingen tonen een vergelijkbare reductie als de 15 m diepe en 1,5 m dikke wand. Er is nauwelijks verschil in reductie. Daar waar in de eerdere fase van het onderzoek verwacht werd dat de 10 m diepe wand mogelijk tot te weinig trillingsreductie zou leiden geven de resultaten op basis van het 3D model waarin de zandlagen een hogere stijfheid zijn toegekend een ander beeld. De 10 m diepe wand is effectiever door de hogere stijfheid van met name de stijve zandlaag van - 4 m tot -8 m +NAP dan waarmee in de eerdere fase met het tweedimensionale rekenmodel is gerekend.

Afbeelding 4.12. Effectiviteit verticaal 10 m diep 1 m dik



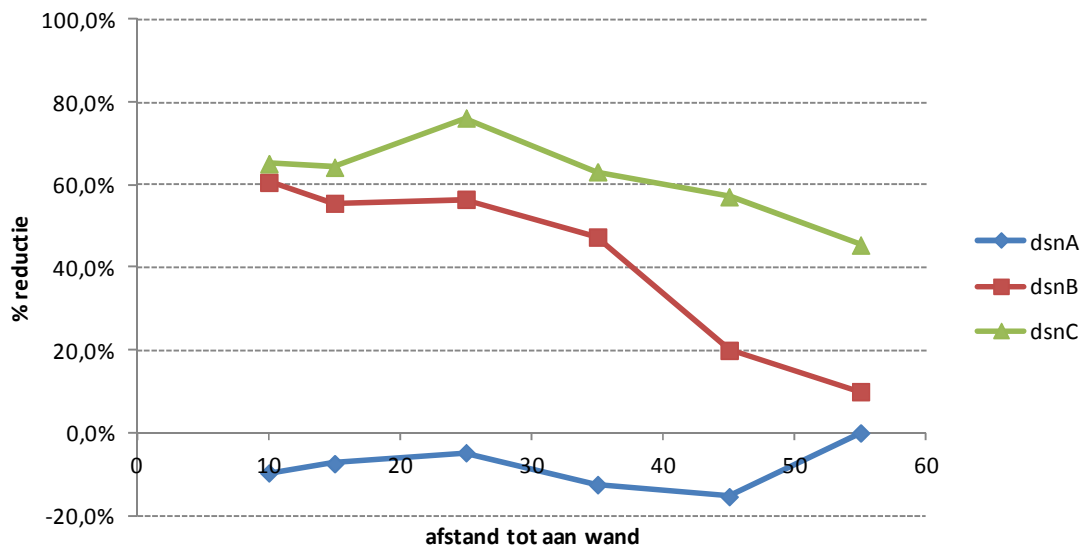
Afbeelding 4.13. Effectiviteit horizontaal 10 m diep 1 m dik



Stijfheid kleilagen verhoogd

Ondanks dat de stijfheid van de grondlagen middels enkele sonderingen op locatie beter in beeld is gebracht blijft de dynamische stijfheid van met name de slappe kleilagen een schatting. Er is daarom ook een berekening uitgevoerd waarin de bovenste slappe lagen een tweemaal hogere stijfheid is toegekend.

Afbeelding 4.14. Effectiviteit verticaal stijfheid bovenste kleilagen 2 maal hoger



Uit afbeelding 4.14 volgt dat er minder reductie wordt gevonden bij een hogere stijfheid van de bovenste kleilagen en dat de reductie sterker afneemt naarmate men zich verder van de wand af bevindt. Dit is in lijn met de verwachtingen omdat stijvere kleilagen tot gevolg hebben dat het zogenaamde impedantieverschil door het toepassen van de wand minder groot wordt. Hiermee neemt de effectiviteit van de wand af.

4.3.4. Jetgrouten wand versus diepwand

In de voorgaande berekeningen is uitgegaan van een wandstijfheid van $E=25.000\text{MPa}$. Dit komt overeen met een lage betonkwaliteit. Naast het nadere onderzoek naar de grondeigenschappen op basis van sondeergegevens is ook nader onderzoek uitgevoerd naar de te verwachten kwaliteit van de jetgrouten wand. Het garanderen van de kwaliteit van het jetgrout is namelijk een punt van aandacht. In [ref. 1] is uitgebreid onderzoek gedaan naar de kwaliteit van jetgrouten kolommen binnen het project NoordZuidlijn Amsterdam. De materiaaleigenschappen van het jetgrout blijken sterk af te hangen van de het grondtype. Jetgrout is hoofdzakelijk geschikt voor zandgronden vanwege de relatief grote korrels en daarmee de injecteerbaarheid. Voor kleigronden geldt het tegenovergestelde. In tabel 4.4 wordt een indicatief overzicht van de gevonden materiaalstijfheid gegeven die bepaald is op basis van monsters van verschillende grondlagen in [ref. 1].

Tabel 4.4. Indicatieve gemiddelde Stijfheidmodulus (E_{cm}) groutkolom Amsterdam uit [ref. 1]

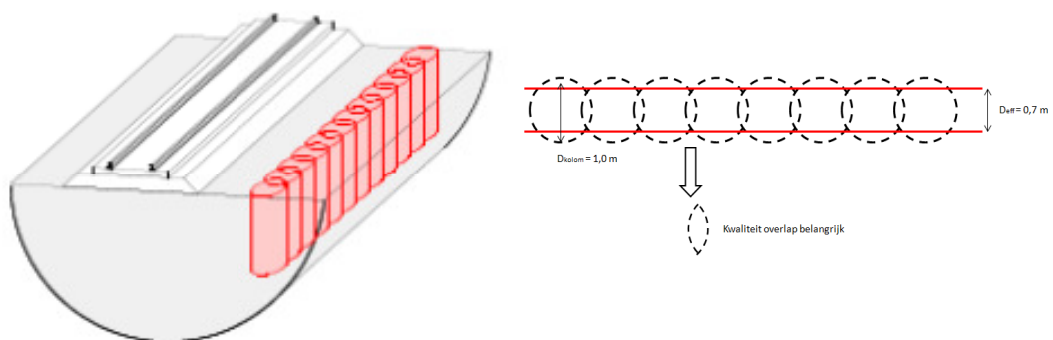
grondlaag	MPa
veen	374-1365
bovenste kleilaag	982-2050
2 ^e kleilaag	886-1839
1 ^e zandlaag	924-3449
tussenlaag	1737-5222
bovenste gedeelte 2 ^e zandlaag	2479-5222
onderste gedeelte 2 ^e zandlaag	2237- niet gegeven

De waarden uit tabel 4.4 zijn slechts indicatief en kunnen derhalve niet worden toegepast voor de Trichtse situatie.

Echter, de waarden geven wel aan dat te verwachten is dat de stijfheid van de jetgrouten kolommen met name voor de kleilagen zeer beperkt kan zijn wanneer dit wordt vergeleken met een diepwand. Voor een diepwand geldt dat een betonstijfheid van minimaal 25.000 MPa kan worden aangenomen. Voor een jetgrouten wand ligt deze stijfheid eerder in de orde van 1000-2000 MPa. Dit grote verschil in stijfheid is het gevolg van de uitvoeringsmethode. Bij jetgrouten wordt de grond geïnjecteerd en zodoende ontstaat er een grond-grout-mengsel, terwijl bij een diepwand een betonnen wand wordt gerealiseerd waar ook een wapeningskorf in wordt geplaatst.

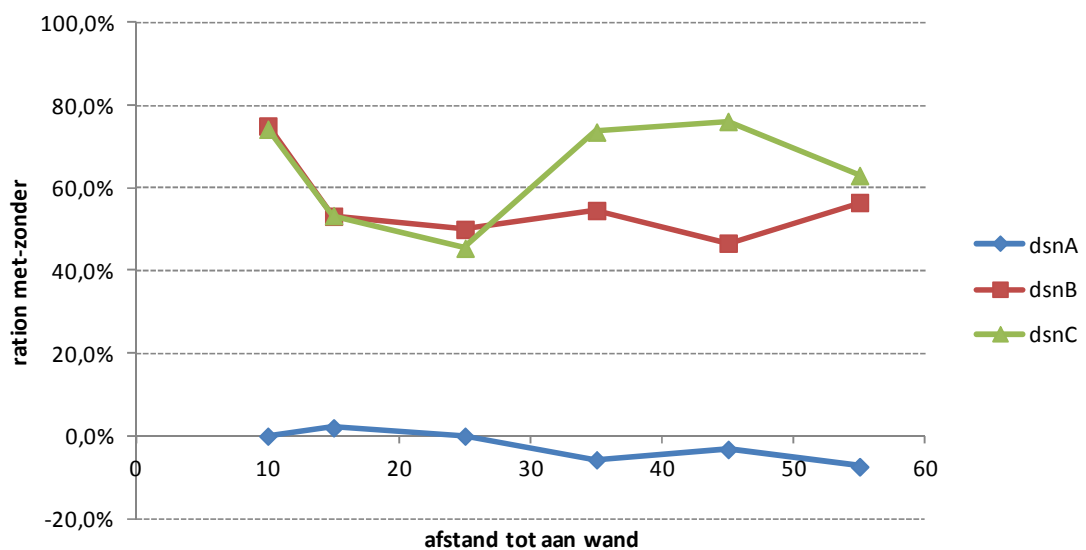
Naast de te realiseren stijfheid van het materiaal speelt de vraag bij jetgrouten of na de uitvoering alle kolommen samenwerken als een integrale constructie of dat de kolommen los van elkaar kunnen bewegen. De ervaring leert dat met name in kleilagen de oversnijding van kolommen tijdens het jetgrouten een kwalitatief slechte verbinding op kan leveren. Afbeelding 4.15 geeft een schematische weergave van de jetgrouten wand.

Afbeelding 4.15. Schematische weergave jetgrouten wand

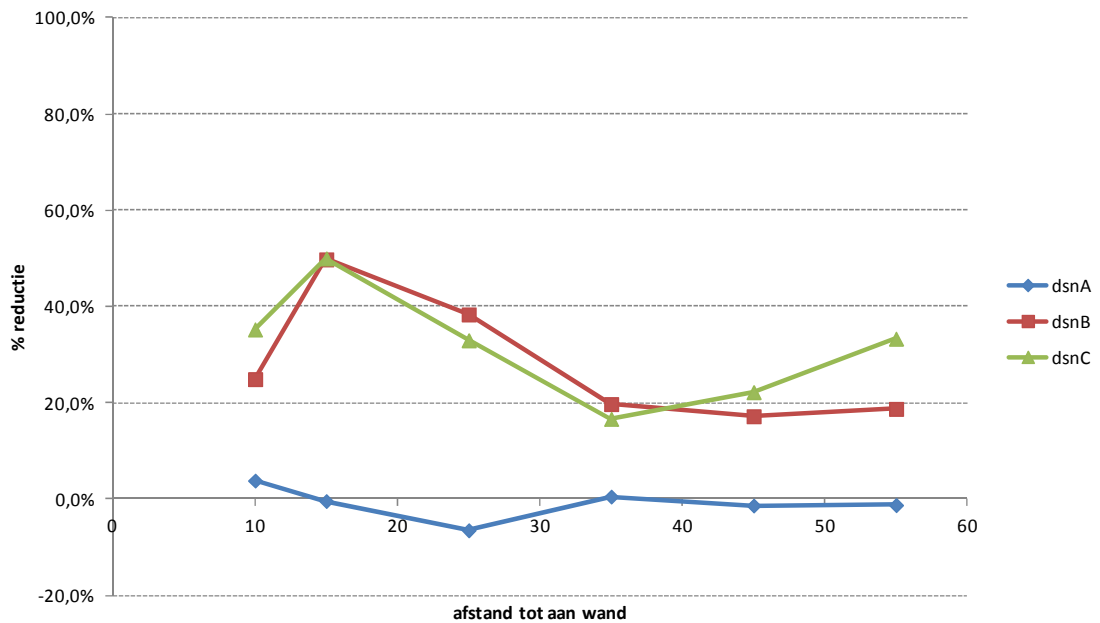


Om een indruk te krijgen wat de invloed is op de effectiviteit van een jetgrouten wand met relatief slechte verbinding tussen de verschillende kolommen, is een berekening uitgevoerd waarin de trillingsreducerende wand in lengte richting van het spoor een lage stijfheid is toegekend en de schuifstijfheid in de richting loodrecht op het spoor ook een lage stijfheid is toegekend. De jetgrouten wand is in de andere richting een stijfheid van 1000 MPa toegekend.

Afbeelding 4.16. Effectiviteit verticaal matige jetgroutkwaliteit

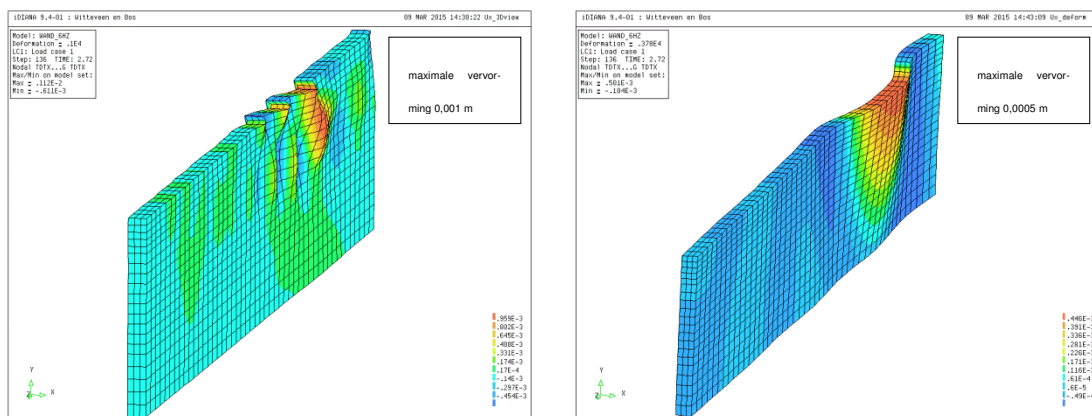


Afbeelding 4.17. Effectiviteit horizontaal matige jetgroutkwaliteit



Uit afbeeldingen 4.16 en 4.17 blijkt dat bij een matige uitvoering van de jetgrouten wand er in verticale richting nog behoorlijk wat reductie te verwachten is. De jetgrouten kolommen reageren in verticale richting stijf waardoor deze reductie te behalen valt. Echter in horizontale richting is de effectiviteit afgenomen omdat de wand weinig weerstand levert aan golven die parallel vanuit de spoorbaan zich door de grond voortplanten. Wanneer de vervorming van de wand uit de berekening wordt vergeleken met die van de berekening waarin met een betonstijfheid van 25.000 MPa wordt gehanteerd, blijkt deze lagere weerstand. Zie afbeelding 4.18.

Afbeelding 4.18. Horizontale vervorming wand op t=2,72 sec. links lage kwaliteit jetgrout, rechts betonkwaliteit wand



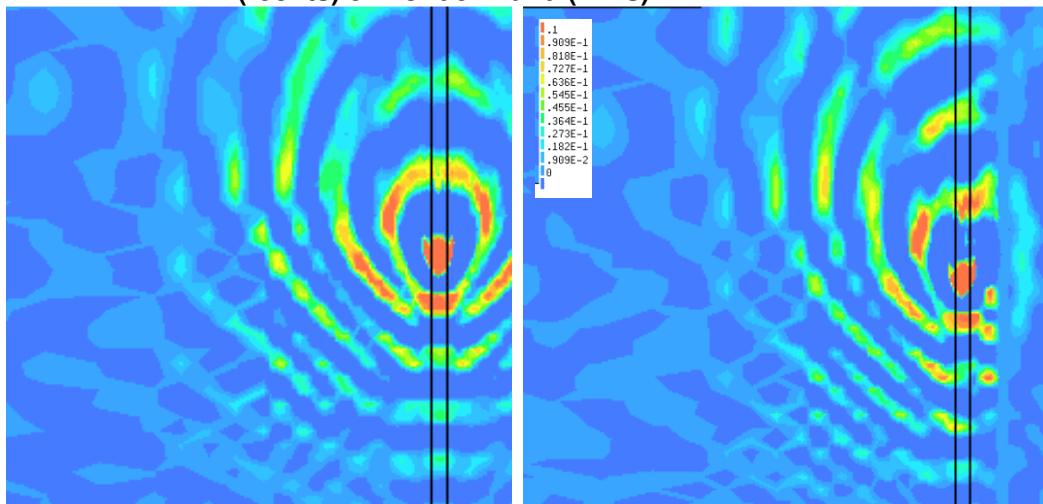
De resultaten tonen aan dat bij de keuze van een jetgrouten wand boven een diepwand de waarborging dat er een integrale wand wordt gerealiseerd van belang is om trillingsreductie te realiseren. Trillingsreductie in met name de horizontale richting neemt af wanneer de wand niet als integrale constructie fungeert, maar als losstaande kolommen.

4.3.5. Effect op woningen aan andere zijde spoor

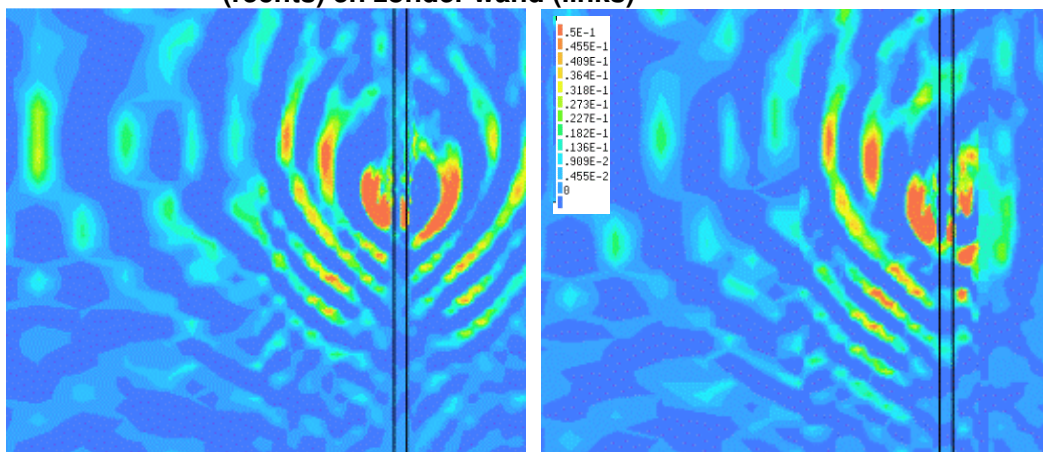
De Willem Mechteldstraat bevindt zich aan de oostelijke zijde van het spoor. Aan de westelijke zijde zijn slechts enkele woningen aanwezig, waarvan de meeste op grotere afstand van het spoor staan dan aan de oostelijke zijde. Enkel de Nieuwsteeg 57 staat op beperkte afstand van het spoor. Er wordt daarom enkel aan de oostelijke zijde van het spoor een wand voorzien.

Er is onderzocht of het plaatsen van de wand aan de oostelijke zijde effect heeft op de optredende trillingsniveau aan de westelijke zijde. Het is namelijk onwenselijk dat aan de westelijke zijde van het spoor de trillingsniveaus toenemen door het plaatsen van een wand aan de oostelijke zijde. Om een mogelijke invloed van de wand aan de westelijke zijde van het spoor te bepalen is het trillingsniveaus op maaiveld bekeken met en zonder wand. In onderstaande afbeeldingen worden de resultaten weergegeven.

Afbeelding 4.19. Contourlevels verticale trillingsnelheid andere zijde spoor met (rechts) en zonder wand (links)



Afbeelding 4.20. Contourlevels horizontale trillingsnelheid andere zijde spoor met (rechts) en zonder wand (links)



Er blijkt nauwelijks verschil te worden gevonden op maaiveld aan de westelijke zijde van het spoor tussen de situatie met en zonder wand aan de oostelijke zijde.

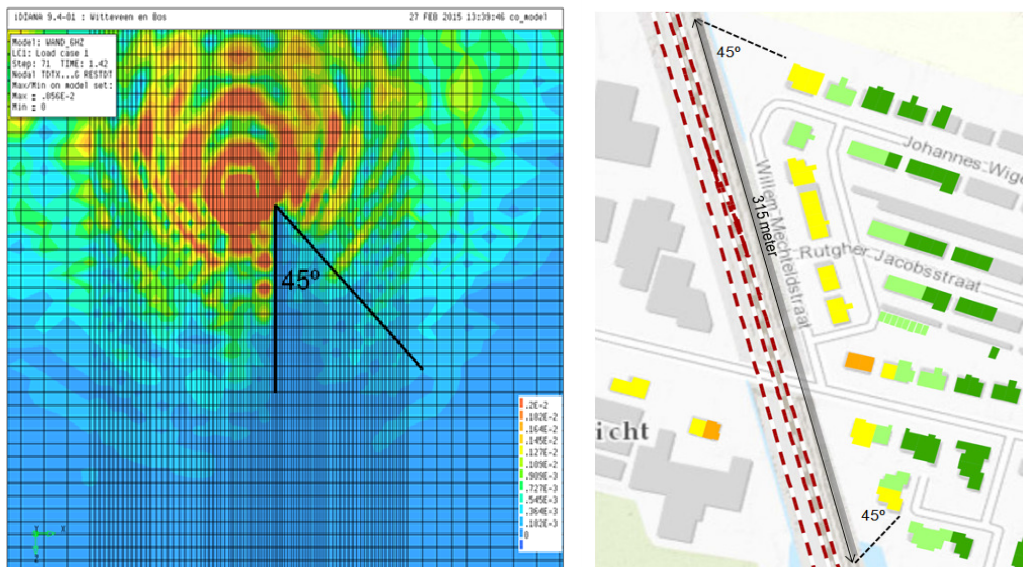
Aangezien de Nieuwsteeg 57 gefundeerd is op staal, is de daarom verwachting dat er geen negatief effect optreedt voor dit adres als gevolg van het plaatsen van de ondergronds trillingdempende wand aan de oostelijke zijde van het spoor.

4.4. Nadere uitwerking details wand

4.4.1. Benodigde overstek wand

Om te bepalen hoeveel 'overstek' de wand nodig heeft is naast dat de resultaten op de doorsneden B en C zijn vergeleken, ook naar de optredende trillingsniveaus op maaiveld gekeken wanneer de passerende belasting zich rond het punt bevindt waar de rand van de trillingsreducerende wand is. Uit de afbeelding van contourniveaus (afbeelding 4.21) blijkt dat de luwe zone achter de wand onder een hoek van circa 45 graden met de wand aanwezig is. Op te merken valt dat deze hoek afhangt van onder andere de snelheid van de trein. Ingeval de snelheid de golfvoortplantingssnelheid zou benaderen zou een geheel ander gedrag te verwachten zijn¹. Hier is echter zeker bij goederentreinpassages geen sprake van.

Afbeelding 4.21. Luwe zone nabij randen wand (links model, rechts inpassing ter plaatse van Willem Mechteldstraat)



Wordt rekening gehouden met deze luwe zone en worden de 2 2-ondereenkapwoningen ten zuiden van de spoorwegovergang Nieuwsteeg ook meegenomen dan wordt de lengte van de wand circa 315 m.

4.4.2. Aansluiting bij ongelijkvloerse kruising

De spoorwegovergang in de Nieuwsteeg wordt in de plansituatie vervangen door een ongelijkvloerse kruising voor fietsers en voetgangers. Deze ongelijkvloerse kruising bevindt zich op dezelfde locatie als waar de trillingsreducerende wand wordt voorzien. De voorziene fiets- en voetgangerstunnel zal de trillingsreducerende wand daarom doorsnijden. De

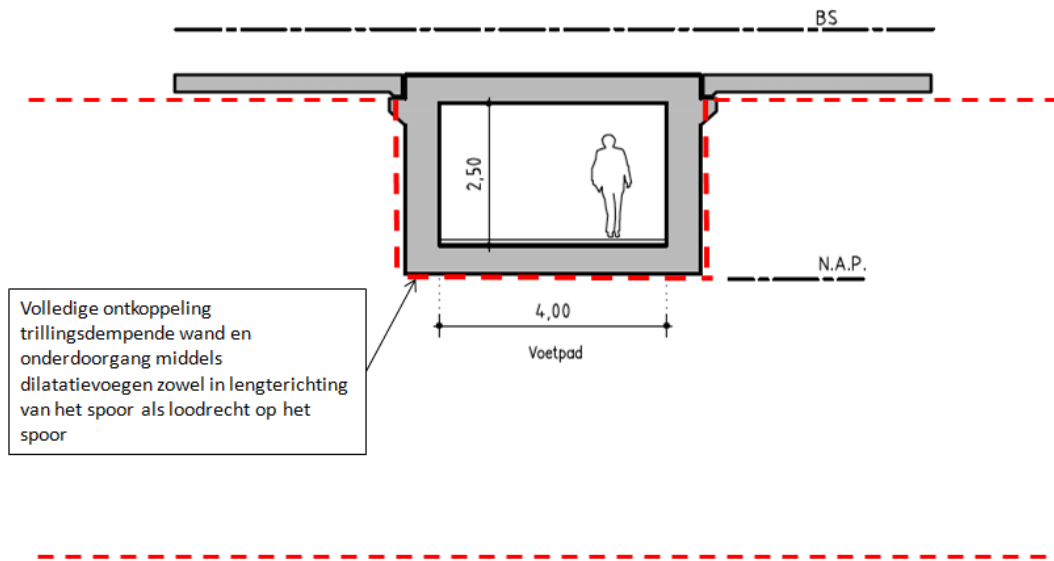
¹ Hier kan sprake van zijn bij hogesnelheidslijnen. Er treedt dan een zogenaamde schokgolf op in het grondmedium wat tot verhoging van trillingsniveaus kan leiden.

trillingsreducerende wand is echter het meest effectief wanneer deze geen onderbrekingen kent zodat er geen 'lekken' ontstaan.

Hierbij wordt met een lek een locatie bedoeld waar trillingen alsnog makkelijk kunnen worden doorgegeven. De aansluiting van de wand met de ongelijkvloerse kruising is daarom een aandachtspunt waarbij dient te worden gewaarborgd dat de onderdoorgang volledig wordt ontkoppeld van de wand middels dilatatievoegen.

In afbeelding 4.22 wordt dit schematisch weergegeven. In de richting dwars op het spoor dient eveneens een dilatatievoeg een ontkoppeling tussen de wand en de onderdoorgang te bewerkstelligen.

Afbeelding 4.22. Aansluiting trillingsreducerende wand en onderdoorgang



Dwarsdoorsnede onderdoorgang Nieuwsteeg

schaal 1:100

4.4.3. Kosten

In het trillingsonderzoek [ref. 4] is in de quickscan van maatregelen een kostenschattting gegeven van de verschillende maatregelen op basis van een lengte van 100 m. Uit afbeelding 4.21 blijkt echter dat de wand 315 m lang dient te zijn ingeval rekening wordt gehouden met de benodigde 'overstek' alsook dat de wand ten zuiden van de Nieuwsteeg doorloopt. De kostenramingen voor de uitvoering van een diepwand en een jetgrouten wand zijn daarom op deze dimensies aangepast.

Tabel 4.5. Kostenschattting jetgrouten wand en diepwand¹

	kosten in EUR
jetgroutenwand 315 m	1.191.000,--
diepwand 315 m	1.826.000,--

¹ In de kostenraming is het prijspeil van 2014 gehanteerd. De richtprijs van EUR 47.000,-- per woning geldt namelijk ook voor het prijspeil van 2014.

In bijlage IV wordt de kostenraming nader uiteengezet.

4.5. Beoordeling resultaten

De maatgevende woningen aan de Willem Mechteldstraat staan op een afstand van circa 25 tot 35 m van de wand (30 tot 40 m van het spoor). Voor deze locatie wordt voor trillingen in de verticale richting een reductie verwacht tussen de 50 % en 80 % (afbeelding 4.12) afhankelijk van de doorsnede waarnaar gekeken wordt. Dit geldt voor een diepwanduitvoering. Ingeval een jetgrouten wand wordt gerealiseerd ligt de verwachte effectiviteit tussen de 40 % en 70 % (afbeelding 4.16). Hierbij is aangenomen dat de kolommen van de jetgrouten wand niet tot een gehele integrale constructie leiden. In alle berekeningen is gekeken naar een frequentie van 6 Hz.

Voor de horizontale richting geldt dat de diepwanduitvoering een trillingsreductie van circa 30 % laat zien op een afstand tussen de 25 en 35 m van de wand. De jetgrouten wand laat in de horizontale richting een reductie van 20 % zien op een afstand tussen de 25 en 35 m van de wand. Voor zowel de verticale als de horizontale richting presteert de diepwand beter wat betreft trillingsreductie dan de jetgrouten wand. Daarbij geldt voor de uitvoering dat de kwaliteit van de diepwand veel beter gegarandeerd kan worden dan die van de jetgrouten wand.

Er blijkt verschil in effectiviteit van de wand tussen de horizontale en de verticale richting. De maatgevende goederentreinen resulteren zowel in maatgevende niveaus in verticale richting als in horizontale richting. Bij een mogelijke keuze in toe te passen wand (diepwand of jetgrouten wand) dient rekening te worden gehouden met het verschil in mate van trillingsreductie tussen beide richtingen. De reducerende werking van een jetgrouten wand in horizontale richting is beperkt en minder zeker dan die van een diepwand. De kosten van een diepwand liggen daarentegen een factor 1,53 hoger.

De benodigde lengte van de wand is bepaald op 315 m indien alle woningen in deelgebied 1.1 en ook de woningen dicht aan het spoor van deelgebied 1.2 dienen te worden gemittigeerd.

5. INVLOED STOOTPLATEN TER PLAATSE VAN OVERGANGEN

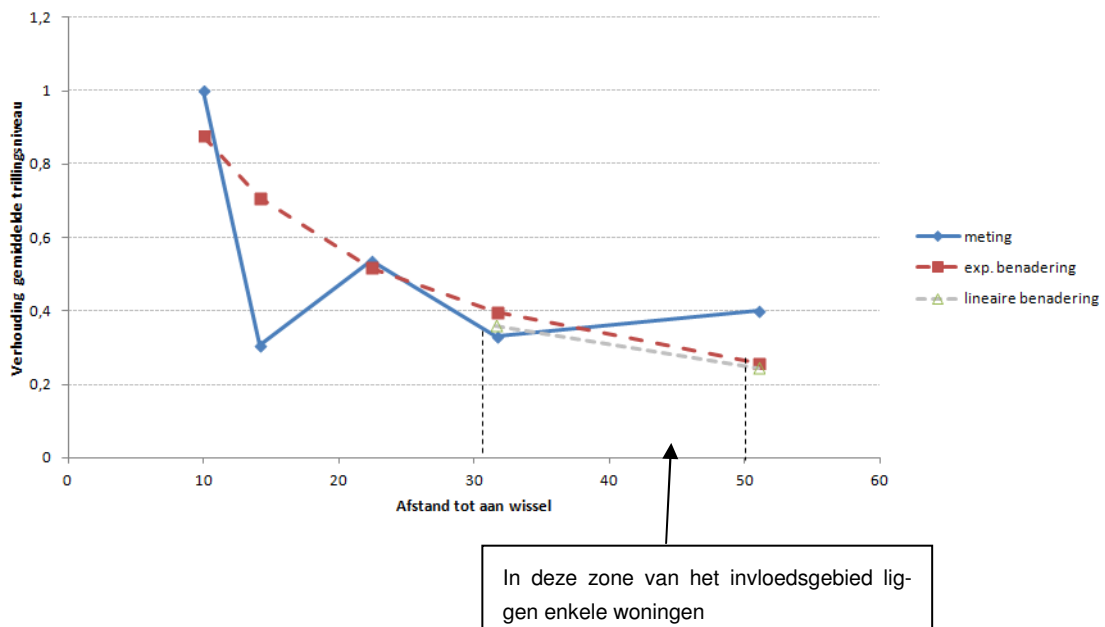
Het optimaliseren van een stootplaat ter plaatse van de toekomstige spoorwegovergang Lingedijk in Tricht wordt in het trillingsonderzoek als toe te passen maatregel aangeduid. De werkelijke effectiviteit van de maatregel is echter moeilijk kwantitatief te bepalen. In dit hoofdstuk is een beeld van de effectiviteit van het optimaliseren van een stootplaat geschetst met de aanname dat er bij een stootplaat eenzelfde type bonwerking is als bij een wissel. Als eerste wordt daarom de invloed van een wissel besproken. Vervolgens wordt de stootplaat besproken.

5.1. Invloed wissels als basis voor invloed stootplaten

Voor de bepaling van de invloed van het wissel ter plaatse van de Willem Mechteldstraat is in 2014 tijdens een dagdeel aan de westzijde van het spoor gemeten [ref. 4]. Hierbij is op een 5-tal locaties aan de westelijke zijde naast het spoor op verschillende afstanden van het aanwezige wissel gemeten. De afstand tot aan het spoor is hierbij constant op 10 m gehouden. In bijlage III wordt de nadere uiteenzetting gegeven.

Om de invloed van het wissel te bepalen is gekeken naar treinverkeer over enkel het westelijke spoor. Ter plaatse van het wissel is een discrete overgang in de rails aanwezig wat tot een puntbron leidt. Er is daarom een exponentiële benadering van de gemiddelde trillingsniveaus van de meetresultaten gemaakt (zie rode gestreepte lijn in afbeelding 5.1). Met name meetpunt 2 op circa 14 m afstand van het wissel blijkt behoorlijk af te wijken. Mogelijk is een lokaal effect in de ondergrond hier de oorzaak van.

Afbeelding 5.1. Resultaten metingen wissel



Uit de meetresultaten blijkt dat vlakbij het wissel (10 m of minder) de toename in trillingsniveaus behoorlijk kan oplopen. De invloed van het wissel neemt snel af met afstand tot het wissel. Voor de opgestelde prognose van optredende trillingsniveaus als gevolg van treinverkeer is op basis van bovenstaande grafiek gekozen om een invloedsgebied van 50 m aan te houden [ref. 4].

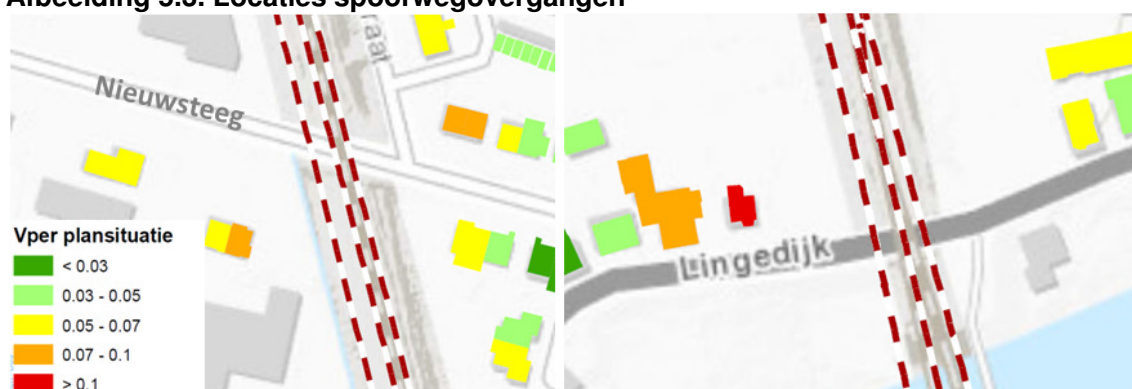
5.2. Indicatieve invloed stootplaten op trillingsbelasting

Ter plaatse van nieuw te realiseren ongelijkvloerse kruisingen wordt in Nederland tegenwoordig standaard een stootplaat toegepast. Vanuit het trillingsonderzoek is een aantal ontwerpwijzigingen voorgesteld om de stootplaat 'trillingsarmer' te maken [ref. 4]. De invloed van deze ontwerpwijzigingen en van de stootplaat zelf is niet met volledige zekerheid kwantitatief te bepalen omdat er een aantal factoren meespeelt in de grootte van de trillingsbelasting welke onbekend zijn, waaronder de stijfheid van de ondergrond, de kwaliteit van het ballast, de mogelijk optredende verschildzetting en de interactie van de treinbelasting met de ondergrond en stootplaat.

Voor de stootplaat geldt dat het trillingsreducerende effect een lokaal effect betreft. De reikwijdte van het effect wordt geschat op circa 50 m (vergelijkbaar met het wissel, beide zijn puntbronachtige fenomenen). Dit betekent dat het toepassen van de stootplaten enkel effect heeft voor woningen in de nabijheid van de overgangsconstructie.

Omdat er dermate veel onbekenden aanwezig zijn in een mogelijke bepaling van de invloed van de stootplaat, is een scan gemaakt van de invloed van de stootplaat met als uitgangspunt dat de invloed van de stootplaat eenzelfde karakter heeft als die van het wissel ter plaatse van de Willem Mechteldstraat. Onder deze aanname kan worden bepaald welke mate van reductie wordt gerealiseerd voor woningen in de nabijheid van de overgangen. Afbeelding 5.3 geeft de 2 locaties weer.

Afbeelding 5.3. Locaties spoorwegovergangen



Voor de situatie dat de huidige in slechte staat verkerende spoorwegovergangen een gelijke invloed zouden hebben wat betreft extra trillingsbelasting als een wissel en deze overgangen volledig trillingsvrij worden gerealiseerd in de plansituatie, is een bepaling van het effect op nabijgelegen woningen gemaakt. Dit wordt in tabel 5.1 weergegeven. Hierbij is zowel naar de overgang in de Lingedijk als de overgang in de Nieuwsteeg gekeken.

Tabel 5.1. Inschatting invloed stootplaten o.b.v. wisselinvloed

adres	afstand tot spoor	afstand tot spoorweg-overgang	factor
<i>locatie Nieuwsteeg</i>			
Nieuwsteeg 35	22,1	35,1	1,149
Willem Mechteldstraat 2	29,4	33,5	1,165
Willem Mechteldstraat 4	29,4	37,5	1,125
Willem Mechteldstraat 6	28,6	45,7	1,043
Nieuwsteeg 57	29,8	32,9	1,171

adres	afstand tot spoor	afstand tot spoorweg- overgang	factor
<i>locatie Lingedijk</i>			
Lingedijk 116	35,5	35,5	1,145

In tabel 5.1 is uitgegaan van trillingsvrije stootplaten. Aangezien in de praktijk de aangepaste stootplaat trillingsarm zal zijn, en niet volledig trillingsvrij, zal het te bereiken effect van de aangepaste stootplaten mogelijk iets lager zijn dan de in tabel gepresenteerde factor.

Voor de Lingedijk wordt in de plansituatie volgens [ref. 4] een V_{per} verwacht van 0,12. Het toepassen van een trillingsarme stootplaat zou op basis van de factor uit tabel 5.2 resulteren in een V_{per} welke net boven de grenswaarde van 0,1 ligt. Het valt daarom te betwijfelen of de maatregel voldoende reductie oplevert om onder de grenswaarde te komen.

Voor de locatie Nieuwsteeg volgt de verwachting dat het toepassen van een trillingsarme stootplaat invloed heeft op circa 5 woningen. Dit resultaat kent een indicatief karakter. Voor de Nieuwsteeg 57 en 35 en Willem Mechteldstraat 2 worden de hoogste factoren gevonden, wat het resultaat is van het feit dat deze woningen het dichtst bij liggen.

5.3. Beoordeling resultaten

Voor de bepaling van de invloed van de stootplaten is de aanname gedaan dat de invloed hetzelfde is als die van het wissel in het spoor nabij de Willem Mechteldstraat. Onder die aanname blijkt dat voor de stootplaten nabij de overgang bij de Nieuwsteeg verwacht wordt dat voor een vijftal woningen de optimalisatie een effect heeft tussen de 4 % en 17 %. Voor de overgang bij de Lingedijk wordt enkel effect verwacht voor de woning aan Lingedijk 116. Het geschatte effect van 14,5 % is niet groot genoeg om de overschrijding van het gemiddelde trillingsniveau (V_{per}) aan Lingedijk 116 weg te nemen.

De invloed van het wissel is bepaald op basis van een kortdurende meting. De gemeten invloed bleek sterk te fluctueren met afstand tot het wissel daar waar vanuit de theorie een exponentiële afname te verwachten is. Er is daarom een mate van onnauwkeurigheid in de bepaalde invloed aanwezig welke wordt versterkt door het feit dat over een korte tijd is gemeten waardoor enkel reizigerstreinen zijn meegenomen in de invloedsbepaling. De resultaten van de invloed van het wissel hebben daarom een indicatief karakter. Dit geldt nog meer voor de invloed van de stootplaten, vanwege de aanname dat de invloed van de stootplaten hetzelfde is als van het wissel.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Dit hoofdstuk bespreekt de conclusies van het aanvullende onderzoek naar maatregelen. In het onderzoek is de effectiviteit van het toepassen van een maatregel welke onderdeel is van het project (Ontwerp) Tracébesluit Spooromgeving Geldermalsen nader onderzocht, alsook de door bevoegd gezag gekozen aanvullende maatregel in de vorm van een ondergronds trillingsreducerende constructie. Uit het onderzoek volgen enkele aanbevelingen over de realisatie van de voorziene maatregelen.

6.1. Conclusies

3D-rekenmodel trillingsreducerende ondergrondse wand

Er wordt een ondergronds trillingsreducerende constructie in de vorm van een jetgrouten wand voorzien tussen het spoor en de Willem Mechteldstraat in Tricht welke ten zuiden van de toekomstige ongelijkvloerse kruising in de Nieuwsteeg een circa honderdtal meter doorloopt. De jetgrouten wand is in dit onderzoek vergeleken met een diepwand. Op basis van het 3D-rekenmodel volgt de verwachting dat voor trillingen in verticale richting een diepwand een trillingsreductie tot gevolg heeft tussen de 50 % en 80 %. Voor de jetgrouten wand is dit tussen de 40 % en 70 %. De effectiviteit geldt voor de eerstelijnsbebouwing. Met grotere afstand tot aan de wand neemt de effectiviteit af.

Wordt naar trillingen in de horizontale richting gekeken dan wordt een lagere effectiviteit op een afstand van 25 tot 35 m van de wand verwacht. Voor de diepwand wordt een reductie van 30 % gevonden terwijl voor de jetgrouten wand een reductie van 20 % wordt gevonden. Dit verschil komt door de lagere stijfheid van jetgrout dan van beton. Omdat bij een diepwand volledig wordt ontgraven en beton wordt gestort, terwijl bij jetgrout de wand uit een grond-groutmengels bestaat, is de gewenste stijfheid van de wand bij uitvoering van een diepwand makkelijker te waarborgen en hoger dan bij jetgrout. Het waarborgen van de beoogde stijfheid is bij de jetgrouten wand een belangrijk aandachtspunt.

De maatgevende trillingsniveaus in de woningen langs het spoor in Tricht worden door goederentreinen veroorzaakt welke niet alleen in verticale maar ook in horizontale richting optreden (zie [ref. 4]). De verwachting bestaat dan ook dat toepassing van een diepwand de maatgevende passages sterker zal reduceren dan de jetgrouten wand. De bijbehorende kosten van een diepwand zijn daarentegen hoger dan die van de jetgrouten wand. De kosten voor een diepwand worden geschat op circa 1,5 - 1,8 miljoen EUR afhankelijk van de gekozen lengte terwijl voor de jetgrouten wand de kosten worden geschat tussen de circa 1,0 en 1,2 miljoen EUR.

Invloed stootplaten op trillingsbelasting

Als maatregel is in het trillingsonderzoek [ref. 4] benoemd het optimaliseren van de stootplaten om de overgang van de nieuwe kunstwerken naar de aardebaan trillingsarm te realiseren. Voor de stootplaten blijkt dat voor de overgang bij de Nieuwsteeg verwacht wordt dat voor een vijftal woningen de optimalisatie een effect heeft tussen de 4 % en 17 % afhankelijk van naar welke woning wordt gekeken. Voor de overgang bij de Lingedijk wordt enkel effect verwacht voor de woning aan Lingedijk 116. De afstand van Lingedijk 116 tot aan het spoor in de plansituatie bedraagt 35,5 meter. De verwachte invloed van de stootplaten bedraagt 14,5%. De bepaalde invloed heeft een indicatief karakter vanwege de aanname dat bij stootplaten eenzelfde werking optreedt als bij een wissel. Het effect is niet groot genoeg om de overschrijding van het gemiddelde trillingsniveau (V_{per}) aan Lingedijk 116 weg te nemen.

6.2. Aanbevelingen

De resultaten leiden tot de volgende aanbevelingen:

- voor de jetgrouten wand geldt dat om voldoende reductie van trillingsniveaus te realiseren er veel aandacht dient te worden besteed aan een nauwkeurige uitvoering;
- om trillingen te reduceren aan woningen nabij de ongelijkvloerse kruising van de Nieuwsteeg wordt aanbevolen een trillingsarme stootplaat toe te passen;
- voor de ongelijkvloerse kruising in de Lingedijk geldt dat een effect voor Lingedijk 116 wordt verwacht. Ook voor kruising met de Lingedijk wordt aanbevolen de trillingsarme stootplaat toe te passen.

7. REFERENTIES

- [ref. 1] A.E.C. van der Stoel, Proefschrift: Grouting For Pile Foundation Improvement (2001). Delft University Press. ISBN: 90-407-2223-4
- [ref. 2] Movares Nederland BV, Nulsituatie trillingsmetingen spoorweg te Tricht (2007). Kenmerk: IN-WG-070011149 Versie 1.0.
- [ref. 3] Cauberg-Huygen Raadgevende ingenieurs, Onderzoek trillingsschade en -hinder door spoor in Tricht; hoofdrapport (2012). Referentie 20112083-04.
- [ref. 4] Railinfra Solutions, (Ontwerp) Tracébesluit Spooromgeving Geldermalsen, trillingsonderzoek (2016). Kenmerk: RIS437-7/beii/005
- [ref. 5] 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.

BIJLAGE I SONDERINGEN TER PLAATSE VAN WILLEM MECHELDSTRAAT

Foto 22

DKM019

Foto 23

overgang
il openen
k (1915 cal)

852k (1810 cal)

B009
B009PB01

DKM020

HB005

onderhoudspad

overgang
profiel openen

Nieuwsteeg spoorwegovergang tussen 2 sporen

Buiten bedrijfsspoor

DKP004 en DKP005
Nieuwsteeg, westzijde spoorwegovergang
Lingedijk
Asfaltboring (A/S-beem = smal)

Foto 44

Foto 21

HB002

335k (1520 cal)

Foto 43

59
57

Foto 42

336k (14070 cal)

HB006

DKM021

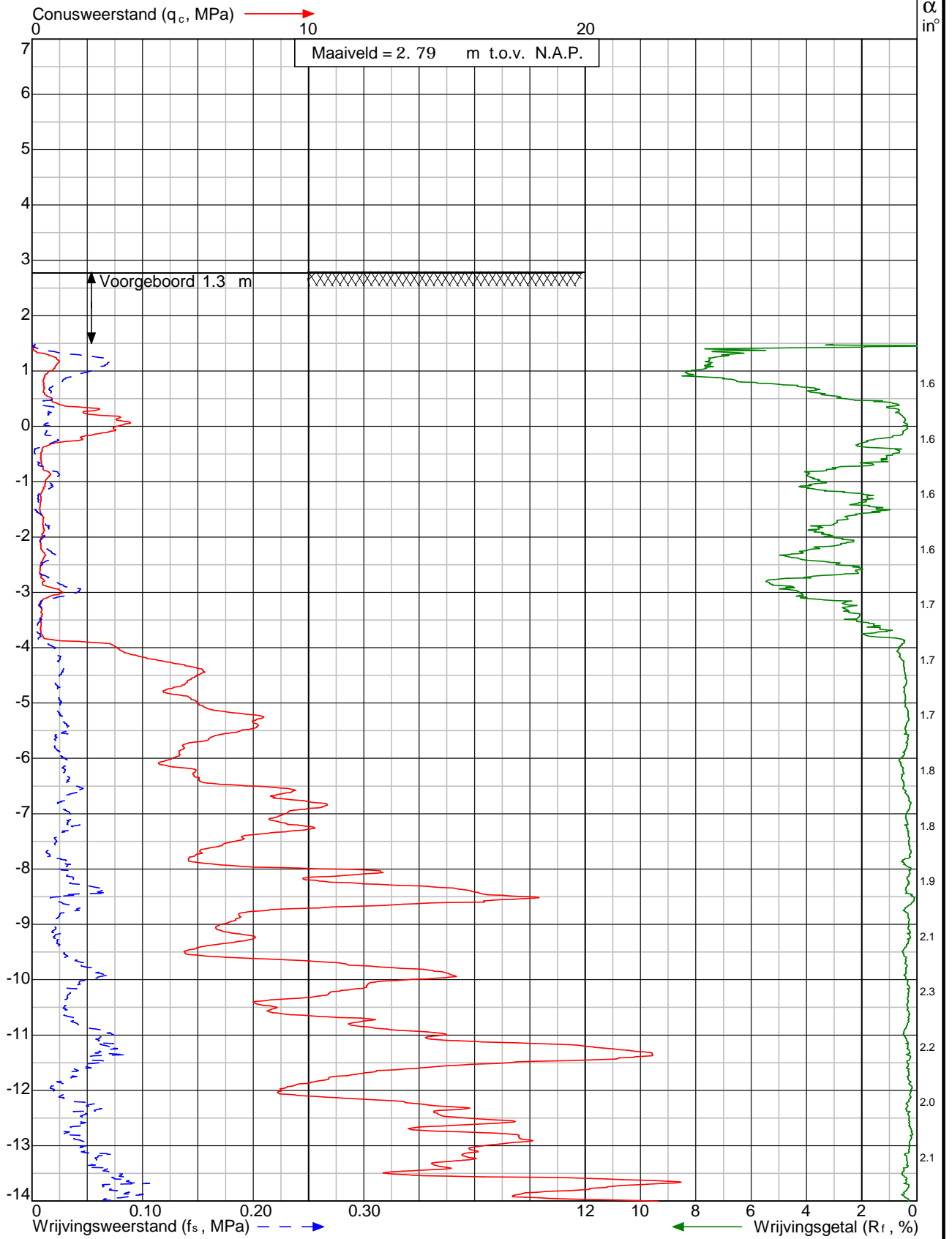
mais er af

dijk en Nieuwsteeg, westzijde spoor
zijde spoorwegovergang, zuidwaarts



Klasse: 3
 Conus type: cilindrisch elektrisch SUBP-15
 Conusserienummer: 000833
 Conusserienummer: 000833
 Afwijking van de verticaal α : Afwijking van de verticaal

Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.



Project: Verleggen Merwede-Linge lijn
 te **Tricht**

Sondering: DKM045

x = 146759

y = 433838

Blad: 1 van 2

Opdr.nr: VN-60036-1

Datum: 19-1-2015

Klasse: 3

Conusweerstand (q_c, MPa)

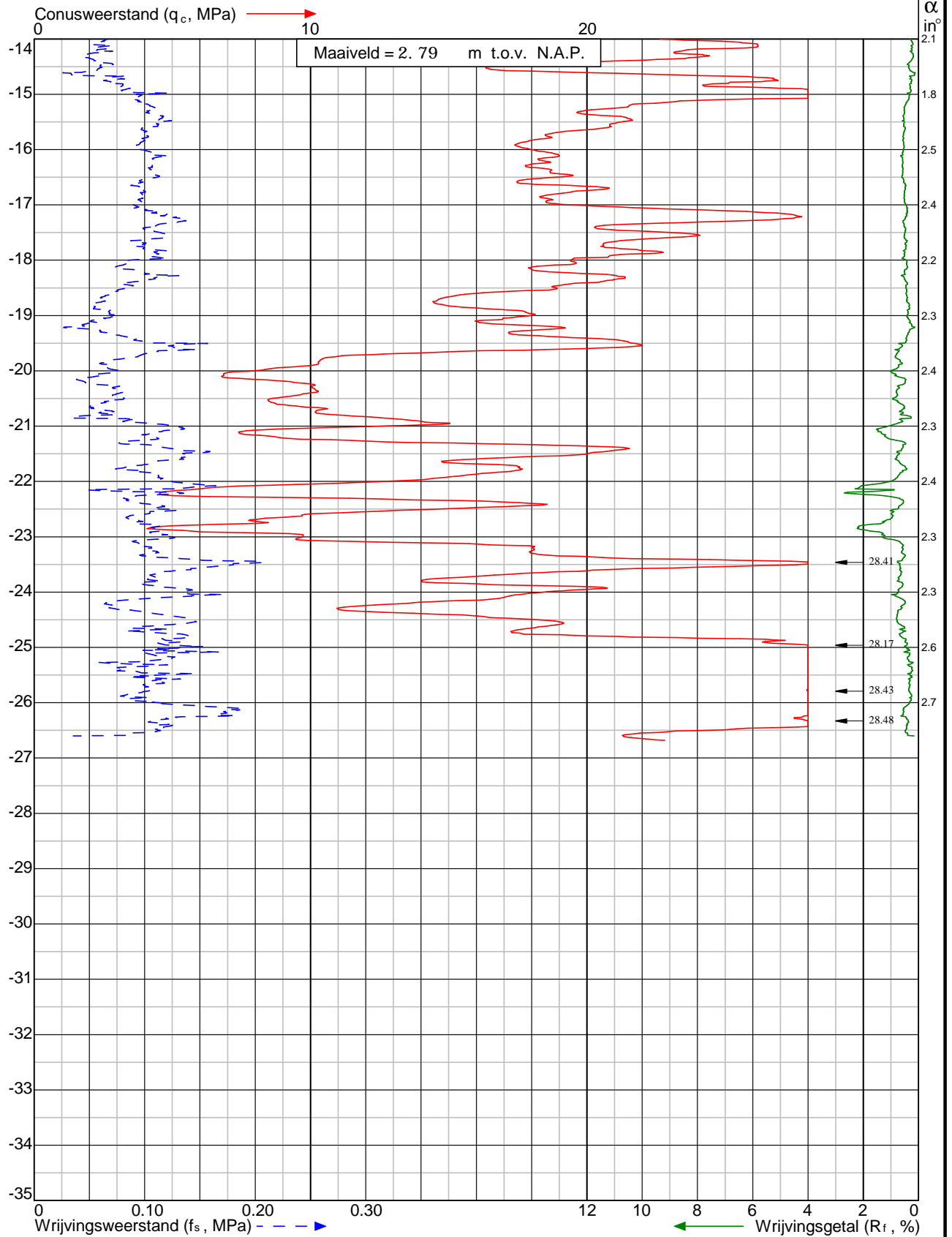
Conusweerstand (q_c, MPa)

Conusweerstand (q_c, MPa)

Conusweerstand (q_c, MPa)

Conusweerstand (q_c, MPa)

Conusweerstand (q_c, MPa)



Project: Verleggen Merwede-Linge lijn
te **Tricht**

Sondering: DKM045

x = 146759

y = 433838

Blad: 2 van 2

Opdr.nr: VN-60036-1

Datum: 19-1-2015

Klasse: 3

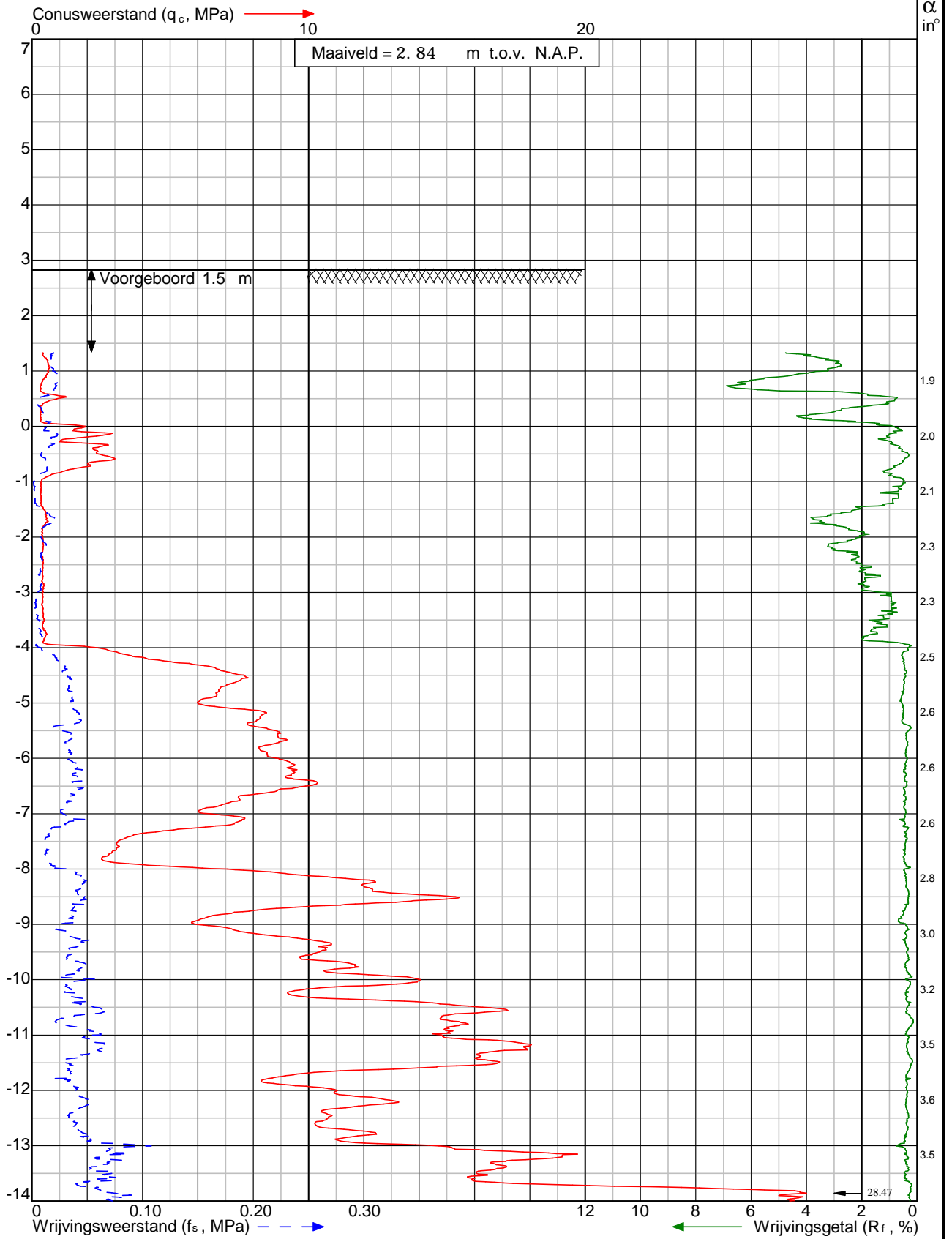
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1

Conustype: cilindrisch elektrisch SUBP-15

Conusserienummer: 000833

α : Afwijking van de verticaal

Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.



Project: Verleggen Merwede-Linge lijn
te **Tricht**

Sondering: DKM046

x = 146770

y = 433779

Blad: 1 van 2

Opdr.nr: VN-60036-1

Datum: 19-1-2015

Klasse: 3

Conusweerstand (q_c, MPa)

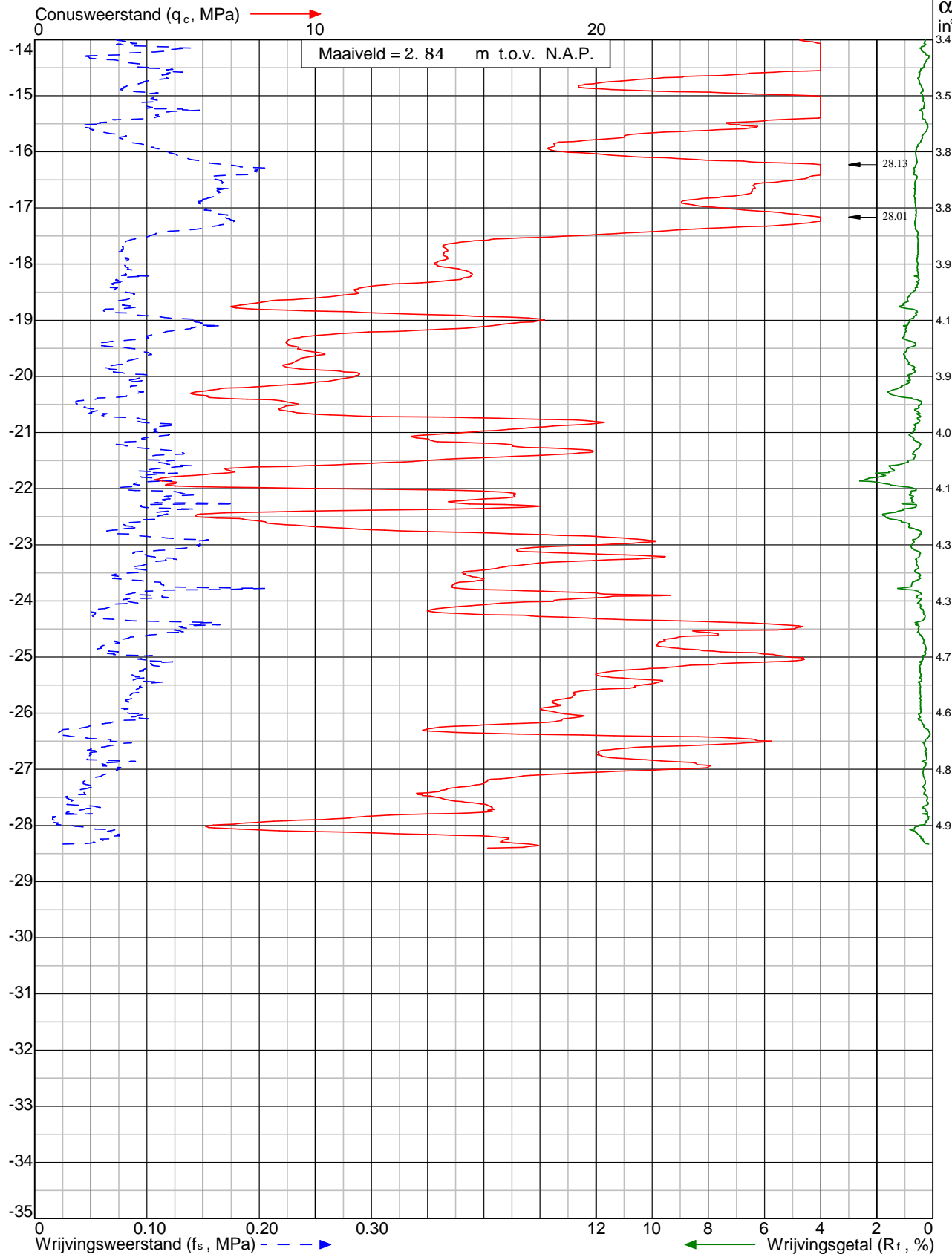
Conusweerstand (q_c, MPa)

Wrijvingsweerstand (f_s, MPa)

Conusweerstand (q_c, MPa)

Wrijvingsweerstand (f_s, MPa)

Wrijvingsgetal (R_f, %)



Project: Verleggen Merwede-Linge lijn
te **Tricht**

Sondering: DKM046

x = 146770

y = 433779

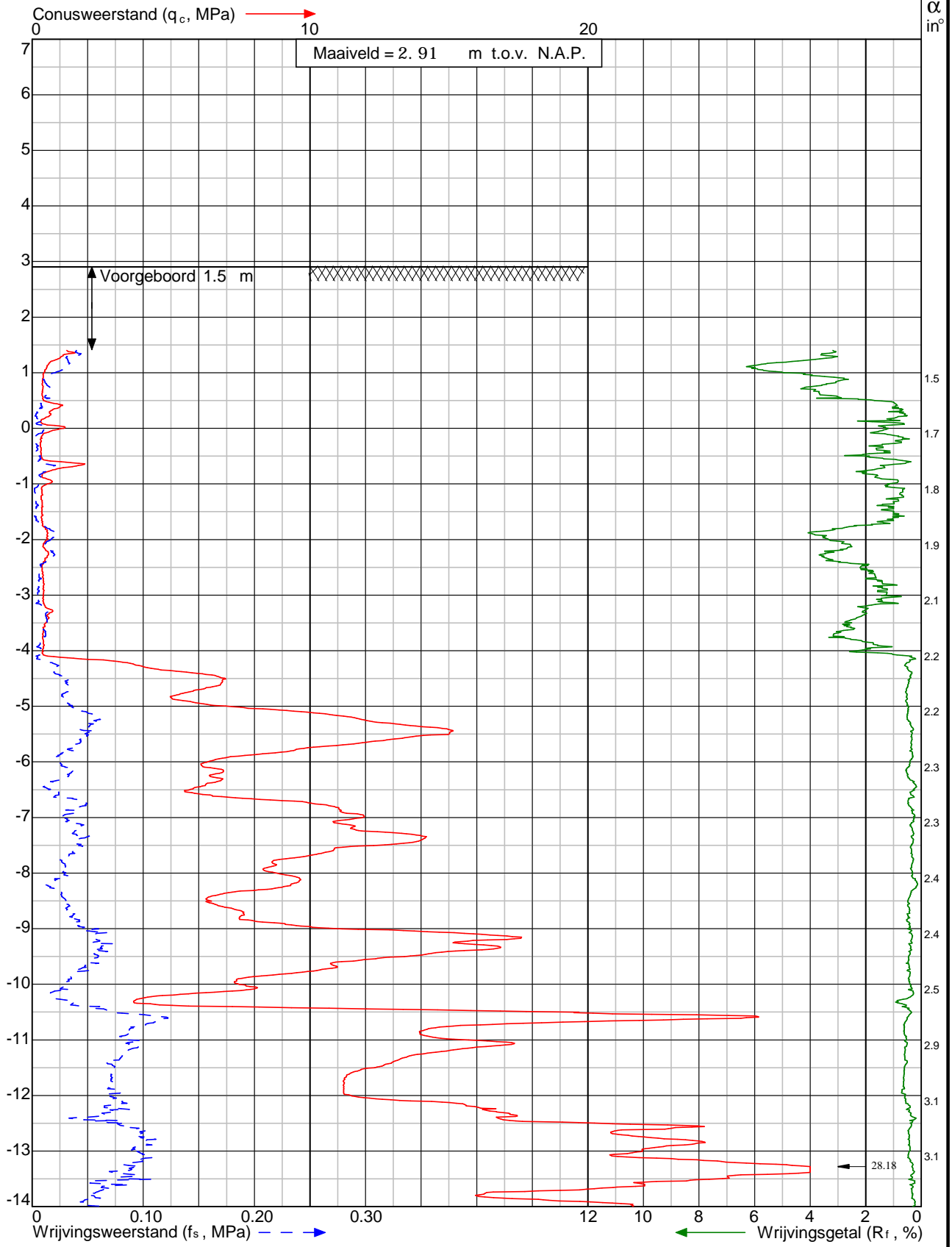
Blad: 2 van 2

Opdr.nr: VN-60036-1

Datum: 19-1-2015

Klasse: 3
 Conus type: cilindrisch elektrisch SUBP-15
 Conusserienummer: 000833
 Conusserienummer: 000833
 Conus: Afwijking van de verticaal
 Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.

Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1



Project: Verleggen Merwede-Linge lijn te Tricht

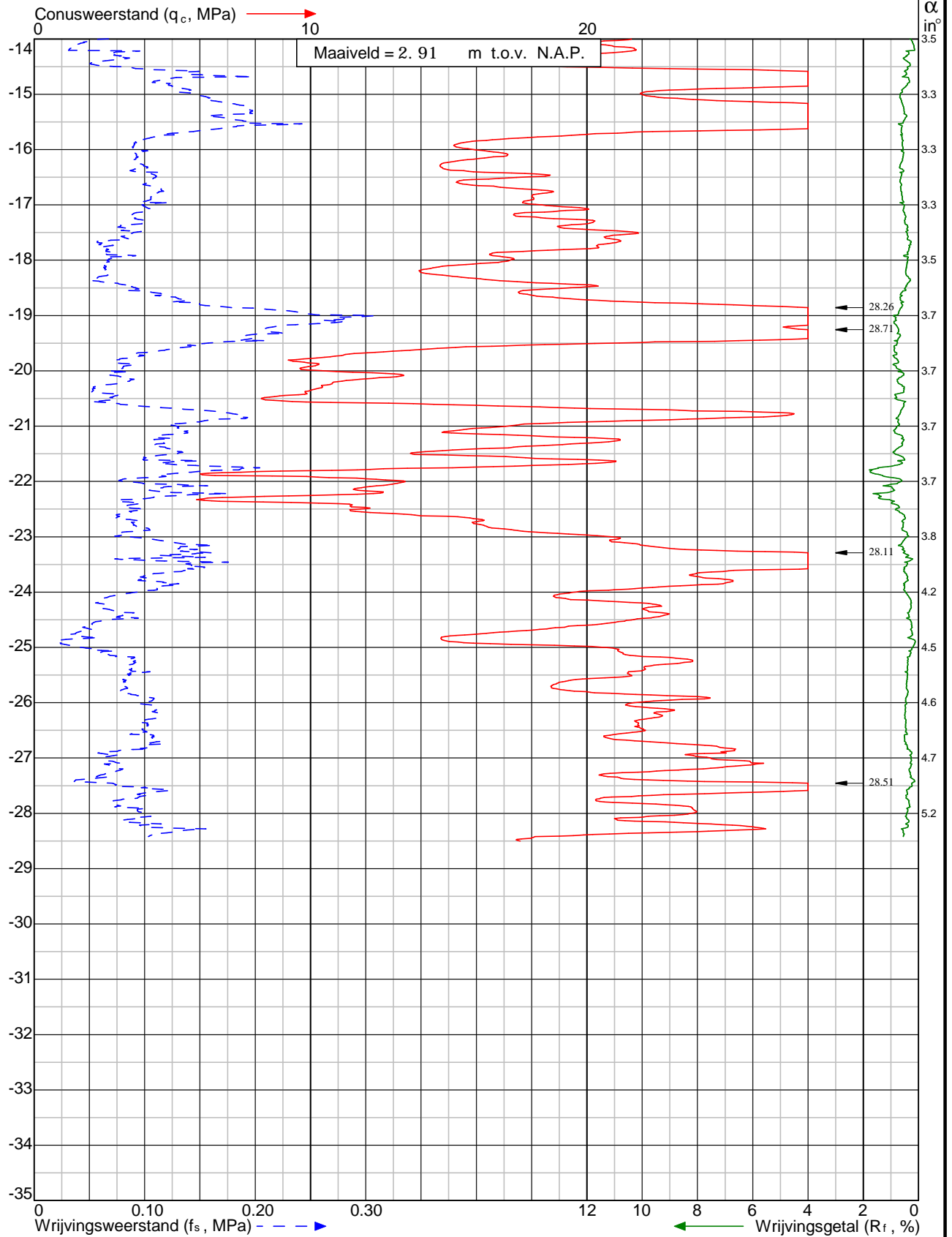
Sondering: DKM047

x = 146783
 y = 433723
 Blad: 1 van 2

Opdr.nr: VN-60036-1
 Datum: 19-1-2015

Klasse: 3
 Conuswering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Conuswering: cilindrisch elektrisch SUBP-15
 Conusweringnummer: 000833
 Afwijking van de verticaal α : Afwijking van de verticaal

Diepte in meters ten opzichte van N.A.P.



Project: Verleggen Merwede-Linge lijn
 te **Tricht**

Sondering: DKM047

x = 146783

y = 433723

Blad: 2 van 2

Opdr.nr: VN-60036-1

Datum: 19-1-2015

BIJLAGE II BEPALING DYNAMISCHE BODEMPARAMETERS

Er zijn drie sonderingen in het gebied van het project uitgevoerd (zie Bijlage I). Op basis van de resultaten van de sonderingen is de grondgesteldheid afgeleid. De grond is in vier verschillende lagen ingedeeld. De bovenste laag is een slappe laag (klei) tot niveau -0.75m, daarna verschijnt een laag met leem tot niveau -4m. Vervolgens bevindt zich een zandlaag (matig tot grof) tot -8m die gevolgd is bij een diepere en gepakte zandlaag pakket.

De soortelijke dichtheid van alle lagen is ingeschat op basis van de conusweerstand volgens tabel 2.b van NEN 9997-1. Om de dynamische grondeigenschappen (poisson ratio en stijfheid) te bepalen zijn twee verschillende benaderingen gehanteerd om de grondstijfheden af te leiden, afhankelijk van de grondsoort. Voor de kleilagen wordt de methode volgens de NEN 9997-1 gebruikt. In deze aanpak wordt de stijfheid in de tabel 2.b van de NEN 9997-1 vertaald naar het niveau van de effectieve verticale korrelspanning in het midden van de gekozen grondlaag.

Eerst zijn de waarden van de conusweerstand uit de sonderingen vermenigvuldigd met een factor om dynamische effecten te beschouwen (unloading-reloading gedrag voor lage rekken). Hiervoor wordt een factor (f) gehanteerd van 8 voor 'normally consolidated' klei en 5 voor 'overconsolidated' klei. Vervolgens worden de formules volgens de NEN 9997-1 gebruikt:

$$E_{un} = (f * q_{c,terrein})$$

De statische E-modulus is dan afgeleid als:

$$E_{50,ref} = \frac{E_{un} C_{qc}}{2}$$

$$\text{waar } C_{qc} = \left(\frac{100}{\sigma'_v}\right)^{0.67}$$

Op basis van geotechnische literatuur is aangenomen dat de dynamische E-modulus in kleilagen ongeveer 1.5 keer de statische E-modulus is.

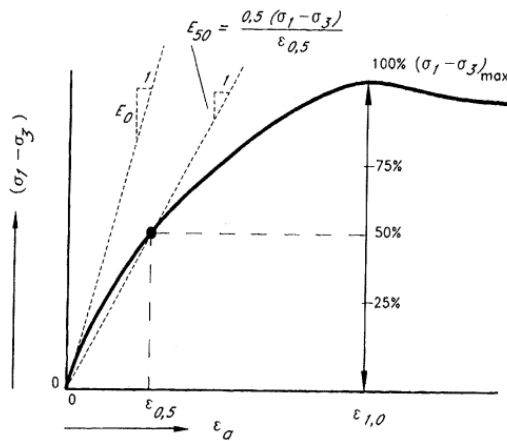
De tweede aanpak is gebruikt voor zandgronden en is gebaseerd op de CUR 2003-7. Op basis van deze richtlijn (zie tabel II.1.) worden de verschillende E-moduli ($E_{oed,ref}$, $E_{50,ref}$ en $E_{ur,ref}$) bepaald afhankelijk van de korrelspanningen en de conusweerstand. De waarde van E_0 is ingeschat voor de situatie met kleine rekken (unload reload tak). E_0 is de hellingshoek van de curve in de oorsprong (zie afbeelding II.1.).

Tabel II.1. Extract van CUR 2003-7 (benadering voor zandlagen)

Tabel 31. Richtlijnen voor E waarden (vuistregels) ten behoeve van het Hardening Soil Model.

	$E_{ed,ref}$	$E_{50,ref}$	$E_{dyn,ref}$
klei (OCR = 1)	< 5 $\approx 50000 / (w_L - 10)$ $\approx 50000 / I_p$ $\approx 100/\lambda^*$	$\approx 2E_{ed,ref}$	$\approx 8 E_{50,ref}$ $\geq 5 E_{50,ref}$ (klei/ silt)
klei (OCR > 1) en silt	10 - 25 $\approx 50000 / (w_L - 10)$ $\approx 50000 / I_p$	$\approx E_{ed,ref}$	$\approx 4 E_{50,ref}$
zand (OCR = 1)	20 - 60 $\approx 3q_c \sqrt{p_{ref}/\sigma_v}$	$\approx E_{ed,ref}$ $\approx 60000 R_c$	$\approx 4 - 5 E_{50,ref}$

Afbeelding II.1. E0-modulus Vs. E50-modulus



Omdat de waarde voor de E-modulus op basis van correlaties is verkregen, is er mogelijk een mate van onzekerheid in deze parameter aanwezig. Daarom zijn de verschillende grondparameters gevarieerd zodat de invloed hiervan wordt beschouwd. De basis set van grondparameters die invoer is voor de driedimensionale eindige-elementenmodellen wordt hieronder weergegeven.

Tabel II.2. Overzicht grondparameters

Top [m]	Bottom [m]	Thickness [m]	q_c [MPa]	Type soil	E_{dyn} [MPa]	Poisson ratio	Density [kg/m ³]
+2.85	-0.75	3.6	0.5	Klei	15	0.4	1700
-0.75	-4	3.25	0.75	Leem	20	0.4	1900
-4	-8	4	8	Zand	100	0.35	2039
-8	-40	32	20	Zand	150	0.35	2039

Uit peilbuismetingen in de regio rondom Tricht blijkt dat in het algemeen 2 verschillende stijghoogteniveaus van het grondwater worden aangetroffen. Het diepe grondwater wordt geregistreerd in de filters die beneden NAP -5,0 m zijn aangebracht. De stijghoogten hierin variëren tussen circa NAP +0,7 m en circa NAP +1,0 m met een seizoensfluctuatie van ±0,2 m. Hieruit blijkt dat alle grondlagen verzadigd zijn.

Verwacht wordt dat de grondlagen undrained gedrag vertonen op dynamische belasting. Dit resulteert in Poisson ratio's rond de 0,35 en 0,4. De resulterende golfsnelheden worden in tabel 0.3 gegeven.

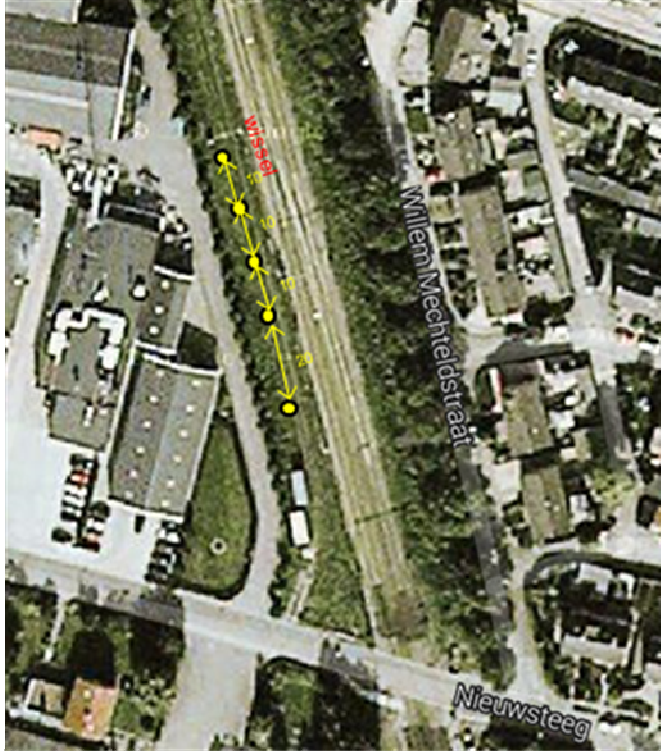
Tabel II.3. Golfsnelheden grondlagen

Top [m]	Bottom [m]	Thickness [m]	Vs (schuifgolfsnelheid)	Vp (drukgolfsnelheid)
+2.85	-0.75	3.6	56,1	137,5
-0.75	-4	3.25	61,3	150,2
-4	-8	4	134,8	280,6
-8	-90	32	165,1	343,6

BIJLAGE III INVLOED WISSEL BEPAALD UIT METINGEN

Voor de bepaling van de invloed van het wissel is tijdens een dagdeel aan de westzijde van het spoor gemeten. Hierbij is op een 5-tal locaties naast het spoor op verschillende afstanden van het wissel gemeten. De afstand tot aan het spoor is hierbij constant op 10 m gehouden. In onderstaande afbeelding wordt de meetopstelling weergegeven.

Afbeelding V.1. Opstelling meting wissel



Om de invloed van het wissel te bepalen is gekeken naar treinverkeer over enkel het westelijke spoor. In het oostelijke spoor is namelijk 20-tal m zuidelijker een wissel aanwezig waardoor treinverkeer over het oostelijke spoor tot een andere verdeling van trillingsniveaus over het 5-tal meters volgt.

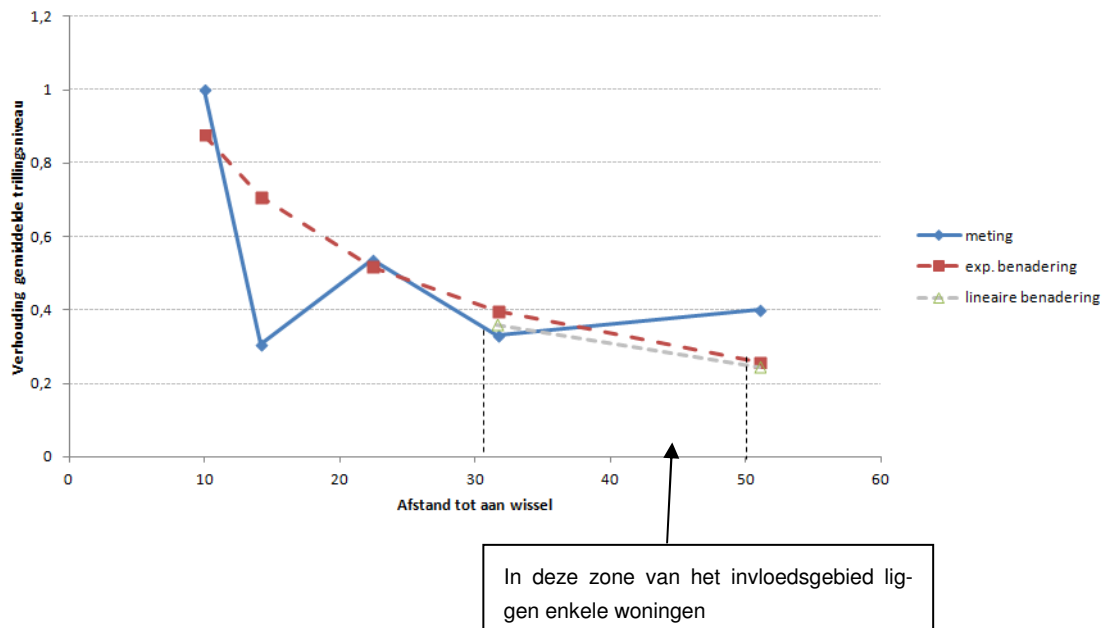
In tabel V.1. worden de gemeten niveaus weergegeven. Van de opnemers 2 tot en met 5 is de verhouding ten op zichte van opnemer 1 bepaald. Vervolgens is over het zestiental passages een gemiddelde verhouding bepaald. Deze verhouding is uitgezet tegen de afstand tot aan het wissel. In afbeelding VIII.2 wordt deze gemiddelde verhouding weergegeven met een blauwe lijn. Vanuit theoretisch oogpunt wordt een exponentiële afname verwacht. Ter plaatse van het wissel is namelijk een discrete overgang in de rails aanwezig wat tot een puntbron leidt. Er is daarom in eerste instantie een exponentiële benadering van de resultaten gemaakt (zie rode gestreepte lijn). Met name meetpunt 2 op circa 14 m van het wissel blijkt behoorlijk af te wijken. Mogelijk is een lokaal effect in de ondergrond hier de oorzaak van.

Uit de resultaten blijkt dat vlakbij het wissel (10 m of minder) de toename in trillingsniveaus behoorlijk kan oplopen. Echter het verschil ten opzichte van het reguliere spoor neemt snel af. Voor de prognose is gekozen om een invloedsgebied van 50 m aan te houden. Omdat slechts enkele woningen binnen een gebied van 50 m van een wissel staan, waarbij de afstand minimaal 30 m is, is in de bepaling van trillingsniveaus voor deze woningen gerekend met een lineair verband.

Tabel V.2. Meetresultaten (V_{max}) meting wissel

passagetijd	1	2	3	4	5
2014-04-17 14:38:00Z	2,41	0,672	1,575	0,718	1,138
2014-04-17 14:49:00Z	2,93	0,599	0,923	0,607	1,046
2014-04-17 14:52:30Z	3,13	0,952	1,647	1,093	0,917
2014-04-17 15:07:30Z	3,06	0,914	1,922	1,113	1,085
2014-04-17 15:24:30Z	2,85	0,837	1,757	0,962	0,881
2014-04-17 15:40:00Z	2,87	0,69	0,949	0,607	0,877
2014-04-17 15:53:00Z	2,62	0,672	1,188	0,74	0,883
2014-04-17 16:07:00Z	2,74	0,848	1,614	0,845	0,967
2014-04-17 16:24:30Z	2,84	0,766	1,367	0,964	1,090
2014-04-17 16:37:00Z	2,51	0,888	1,396	0,851	0,884
2014-04-17 16:57:30Z	2,70	0,863	1,617	0,938	1,144
2014-04-17 17:19:00Z	2,52	0,895	1,664	0,937	1,130
2014-04-17 17:34:00Z	1,22	0,49	0,634	0,474	0,419
2014-04-17 17:43:00Z	1,72	0,609	0,812	0,613	1,095
2014-04-17 17:53:30Z	2,58	0,863	1,712	1,067	1,274
2014-04-17 18:08:00Z	2,46	0,79	1,36	0,93	1,30

Afbeelding V.3. Resultaten metingen wissel



**BIJLAGE IV UITEENZETTING KOSTENRAMING DIEPWAND EN JETGROUTEN
WAND**

PROJECT: SPOOROMGEVING GELDERMALSEN
PROJECTFASE (ONTWERP) TRACEBESLUIT

Scopebeschrijving en/of uitgangspunten

Uitgegaan van:

- Deterministische raming van investeringskosten (§ 7.1 lid 2.4 en 2.5)
- Bedrijfseconomische raming (§ 7.1 lid 1.7)
- Raming RIS437-1-41_SSK-raming_concept 04_20150319 d.d. 19 maart 2015
- Kabels en Leidingen maken geen onderdeel uit van deze raming
- Deterministische raming met een geschatte variatiecoëfficiënt tussen de 25% en 30%

Risico's:

- Risico's niet gekwantificeerd (kans x gevolg), geen risicosessies gehouden (§ 7.1 lid 2.2)
- In de objecten is rekening gehouden met objectgebonden risico's, het betreft een voorziening voor met name technische risico's
- Er is geen rekening gehouden met projectgebonden risico's, het betreft hier met name overige risico's zoals juridische, organisatorische, maatschappelijke, ruimtelijke en financiële risico's

Dit betreft een raming ter vergelijking van de varianten. Kostentechnische verschillen van de varianten worden met deze ramingen inzichtelijk gemaakt. Deze vergelijking is nadrukkelijk **niet geschikt** voor een budgetaanvraag.

Niet inbegrepen zijn kosten voor:

Bouwkosten

- Niet inbegrepen zijn kosten voor:
- Bodem en grondwater onderzoek / sanering
- Asbest
- Bodemvreemde materialen / NGE / archeologie

Vastgoedkosten

- Grondverwerving
- Planschade
- Nadeelcompensatie

Engineeringkosten

- Onderzoekskosten
- Archeologisch onderzoek

Overige bijkomende kosten

- Landschappelijke inpassingen
- Mitigerende maatregelen
- Kabels en leidingen

Levensduurkosten (§ 7.1 lid 2.1)

- Beheer en onderhoud
- (grote) vervangingen
- Exploitatiekosten
- Sloopkosten (einde levensduur)
- Rentekosten

Overige (scope) uitsluitingen

- Onzekerheidsreserve
- Reservering scopewijzigingen
- BTW

Colofon

Projectleider: ir. E.J. Vlijm
Projectdirecteur: ir. J.L.C.M van Daelen
Projectdirecteur: CROW Publicatie 137 (2010) [genoemde § nummers refereren hiernaar]
Referentienummer: W+B SSK-2010 Rekenmodel 3.05a (04-08-2016)

Opdrachtgever ProRail	Prijspeil: 2014	Datum: 15-11-2016
Project: Spooromgeving Geldermalsen	Versie: 01	Projectcode: RIS437-7
(Deel)raming: Jetgrouten muur 315 m	Status: Definitief	Auteur: ing. H. Bakker-Wester

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs	totaal
2					
INVESTERINGSKOSTEN		315 m	€	3.781,68	
10	Sloop-/ herstelwerkzaamheden				
100220	Verwijderen bomerij (hoh 10m, stamdikte 0,3 / 0,5m)	315,00	m	€ 10,00	€ 3.150,00
100230	Herstellen bomerij (hoh 10m, stamdikte 12 / 14cm)	315,00	m	€ 75,00	€ 23.625,00
100240	Overige herstelwerkzaamheden omgeving	10.000,00	EUR	€ 1,00	€ 10.000,00
	Totaal sloop-/ herstelwerkzaamheden			€ 36.775,00	
50	Jetgrouten muur				
500210	Aan/afvoer equipment	1,00	pst	€ 40.000,00	€ 40.000,00
500220	Opstellen equipment	1,00	pst	€ 10.000,00	€ 10.000,00
500230	Aanbrengen groutkolommen (10 - 15 m per dag, bij 10m lange palen)	31,50	dag	€ 4.000,00	€ 126.000,00
500240	Menginstallatie	31,50	dag	€ 2.000,00	€ 63.000,00
500250	Groutmengsel	3.780,00	m ³	€ 110,00	€ 415.800,00
500290	NVW (Normen kader veilig werken)	36,50	dgn	€ 600,00	€ 21.900,00
500300	Monitoring	31,50	dgn	€ 600,00	€ 18.900,00
500310	Veiligheidsvoorzieningen	1,00	pst	€ 2.500,00	€ 2.500,00
	Totaal Jetgrouten muur			€ 698.100,00	
Benoemde directe bouwkosten				€	734.875
NTD021	Nader te detailleren bouwkosten	10,0%	€	734.875	€ 73.488
Directe bouwkosten				€	808.363
IK0210	Algemene kosten	8,0%	€	808.363	€ 64.669
IK0211	Winst	3,0%	€	873.032	€ 26.191
IK0212	Risico	2,0%	€	873.032	€ 17.461
Indirecte bouwkosten				€	108.321
VZBK Voorziene bouwkosten				€	916.683
RBK023	Niet benoemd objectrisico bouwkosten	15,0%	€	916.683	€ 137.502
RBK Risico's bouwkosten				€	137.502
BK02 Bouwkosten Jetgrouten muur 315 m				€	1.054.186
VK02 Vastgoedkosten Jetgrouten muur 315 m				€	-
EK02 Engineeringskosten Jetgrouten muur 315 m				€	84.335
OBK02 Overige bijkomende kosten Jetgrouten muur 315 m				€	52.709
INV02 Totaal investeringskosten Jetgrouten muur 315 m				€	1.191.230

Opdrachtgever: ProRail	Prijspeil: 2014	Datum: 15-11-2016
Project: Spooromgeving Geldermalsen	Versie: 01	Projectcode: RIS437-7
(Deel)raming: Diepwand 315 m	Status: Definitief	Auteur: ing. H. Bakker-Wester

code post	omschrijving post	hoeveelheid	eenheid	prijs	totaal
4					
INVESTERINGSKOSTEN		315 m	€	5.796,53	
10	Sloop-/ herstelwerkzaamheden				
100420	Verwijderen bomenrij (hoh 10m, stamdikte 0,3 / 0,5m)	315,00	m	€ 10,00	€ 3.150,00
100430	Herstellen bomenrij (hoh 10m, stamdikte 12 / 14cm)	315,00	m	€ 75,00	€ 23.625,00
100440	Overige herstelwerkzaamheden omgeving	10.000,00	EUR	€ 1,00	€ 10.000,00
Totaal sloop-/ herstelwerkzaamheden				€ 36.775,00	
70	Diepwand (wave impendend)				
700410	Uitzetten	315,00	m	€ 3,00	€ 945,00
700420	Ontgraven+afvoeren, tot diepte 1m	1.260,00	m ³	€ 7,50	€ 9.450,00
700420	Stabiliseren met zand/cement	1.260,00	m ³	€ 60,00	€ 75.600,00
700420	Geleidebalken	315,00	m	€ 70,00	€ 22.050,00
700420	Aan-/afvoer materieel	1,00	pst	€ 25.000,00	€ 25.000,00
700420	Productie diepwand, diep 10m	42,00	dgn	€ 7.000,00	€ 294.000,00
700420	Steunvloeistof	3.150,00	m ³	€ 30,00	€ 94.500,00
700420	Afvoer grond	3.622,50	m ³	€ 4,00	€ 14.490,00
700430	Wapeningskorf (40kg/m2)	126,00	ton	€ 1.350,00	€ 170.100,00
700440	Betonvulling	3.150,00	m ³	€ 80,00	€ 252.000,00
700450	Verwijderen geleidebalken/ slopen diepwand / herstellen wapening	315,00	m	€ 240,00	€ 75.600,00
700460	NVW (Normen kader veilig werken)	47,00	dgn	€ 600,00	€ 28.200,00
700470	Monitoring	42,00	dgn	€ 600,00	€ 25.200,00
700480	Veiligheidsvoorzieningen	1,00	pst	€ 2.500,00	€ 2.500,00
Totaal Diepwand (wave impendend)				€ 1.089.635,00	
Benoemde directe bouwkosten				€	1.126.410
NTD041	Nader te detailleren bouwkosten	10,0%	€	1.126.410	€ 112.641
Directe bouwkosten				€	1.239.051
IK0410	Algemene kosten	8,0%	€	1.239.051	€ 99.124
IK0411	Winst	3,0%	€	1.338.175	€ 40.145
IK0412	Risico	2,0%	€	1.338.175	€ 26.764
Indirecte bouwkosten				€	166.033
VZBK Voorziene bouwkosten				€	1.405.084
RBK043	Niet benoemd objectrisico bouwkosten	15,0%	€	1.405.084	€ 210.763
RBK Risico's bouwkosten				€	210.763
BK04 Bouwkosten Diepwand 315 m				€	1.615.846
VK04 Vastgoedkosten Diepwand 315 m				€	-
EK04 Engineeringskosten Diepwand 315 m				€	129.268
OBK04 Overige bijkomende kosten Diepwand 315 m				€	80.792
INV04 Totaal investeringskosten Diepwand 315 m				€	1.825.906