

Trillingsmeting en -prognose Bosstraat 30-32 Roosendaal

Gevolgen aanleg goederenspoorlijn Borchwerf

Opdrachtgever **Gemeente Roosendaal**
K. Kools

Ondertekenaar **Movares Nederland B.V.**
ir. P.M. Boon
Kenmerk GEO-PB-110012753 - Versie 1.0

Utrecht, 14 juni 2011
vrijgegeven

© 2011, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel	7
1.3 Opzet van het onderzoek	7
1.4 Uitgangspunten	8
2 Situatiebeschrijving en meetlocatie	9
2.1 Meetlocatie Roosendaal	9
2.2 Meetlocatie Havenspoorlijn	10
3 Toetsingskader	11
4 Meet- en berekeningsmethodiek	13
4.1 Trillingsmetingen voor vaststellen huidige trillingsniveau	13
4.2 Bepalen toetswaarde voor toekomstige trillingsniveau	15
4.3 Berekenen toekomstige trillingsniveau	15
4.3.1. <i>Bepalen overdracht buiten – meetpositie bij Bosstraat 30-32</i>	15
4.3.2. <i>Bepalen spectrum treinpassages Havenspoorlijn</i>	15
4.3.3. <i>Bepalen van trillingsniveau bij Bosstraat 30-32</i>	16
5 Meetresultaten	17
5.1 Metingen Bosstraat 30-32 in Roosendaal	17
5.1.1. <i>Vaststelling nulsituatie</i>	18
5.1.2. <i>Vaststelling overdrachten</i>	18
5.2 Metingen Havenspoorlijn in Rotterdam	20
6 Predictie toekomstige situatie	23
7 Conclusies en aanbevelingen	27
Colofon	28

Bijlage I Sonderingen

Bijlage II Locatiefoto's Bosstraat 30-32 Roosendaal

Bijlage III Locatiefoto's Havenspoorlijn

Bijlage IV Voorbeeldsignalen

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het nieuwe bedrijvenpark Borchwerf II in Roosendaal wordt in de toekomst ontsloten door een nieuwe spoorverbinding, die het bedrijvenpark verbindt met het huidige spoor. Deze spoorverbinding komt langs het pand Bosstraat 30-32 in Roosendaal. Dit bedrijf vreest trillingen, gezien het feit dat zij met enige regelmaat reparatiewerkzaamheden uitvoeren op microscopische schaal.

In de huidige situatie is dit pand gelegen langs de doorgaande spoorlijn Roosendaal – Dordrecht en de Bosstraat, in de toekomst komt de nieuw aan te leggen goederenspoorlijn tussen de Bosstraat en dit pand in te liggen.

1.2 Doel

Doel van dit onderzoek is om vast te stellen of de trillingen ten gevolge van het nieuw aan te leggen bedrijfsspoor geen toename veroorzaken in de trillingssituatie ter plaatse van het pand Bosstraat 30-32.

1.3 Opzet van het onderzoek

In de omgeving van het bedrijfspand zijn al diverse trillingsbronnen aanwezig, zoals het huidige spoor en de Bosstraat, die ook bereden wordt door zwaar verkeer. Om vast te kunnen stellen of het trillingsniveau in de toekomst de werkzaamheden van genoemd bedrijf bemoeilijkt doordat het trillingsniveau toeneemt, is het eerst noodzakelijk om de huidige trillingsniveaus vast te stellen als zogenaamde nulmeting.

Aan de hand van de huidige trillingsniveaus wordt een toetswaarde vastgesteld en wordt de toekomstige situatie getoetst.

Onze aanpak is als volgt:

1. Vaststellen van het huidige trillingsniveau in het bedrijfspand ten gevolge van vrachtverkeer en de doorgaande spoorlijn Roosendaal – Dordrecht. De metingen zijn verricht met behulp van trillingssensoren om de trillingsniveaus vast te stellen. Daarnaast zijn twee camera's gebruikt om de trillingen te kunnen koppelen aan een trillingsbron (bijvoorbeeld vracht- of treinverkeer). Hierbij is de ene camera op het spoor en de andere op de Bosstraat gericht.
2. Voor de werkzaamheden die genoemd bedrijf uitvoert is geen specificatie van het toegestane trillingsniveau beschikbaar. Omdat er daarnaast geen toename mag zijn van de trillingshinder (voor personen) wordt getoetst op het trillingsniveau v_{eff} , conform de SBR B richtlijn. Het maximaal toegestane trillingsniveau in dit bedrijfspand voor de toekomstige situatie wordt vastgesteld op basis van het trillingsniveau in de huidige situatie.

3. Prognose van de toekomstige trillingsniveaus ten gevolge van het aan te leggen bedrijfsspoor. Aan de hand van metingen langs de Havenspoorlijn, waarop treinen rijden die vergelijkbaar zijn met de aan te leggen spoorlijn, wordt een prognose gemaakt van het toekomstige trillingsniveau.

1.4 Uitgangspunten

Als uitgangspunten dienen de door de gemeente Roosendaal aangeleverde plattegronden met daarop aangegeven de positie van het aan te leggen goederenspoor, zie ook het volgende hoofdstuk.

Om het trillingsniveau in de toekomst nauwkeurig te voorspellen wordt gebruik gemaakt van de trillingsniveaus ten gevolge van treinen op een vergelijkbare spoorlijn. Hiervoor wordt de Havenspoorlijn in Rotterdam gebruikt, waarvoor een positie wordt gekozen waarop de treinen vergelijkbare snelheden (10-20 km/h) hebben en de bodemsamenstelling vergelijkbaar is met die van Roosendaal ter plaatse van de meetlocatie, zie bijlage I.

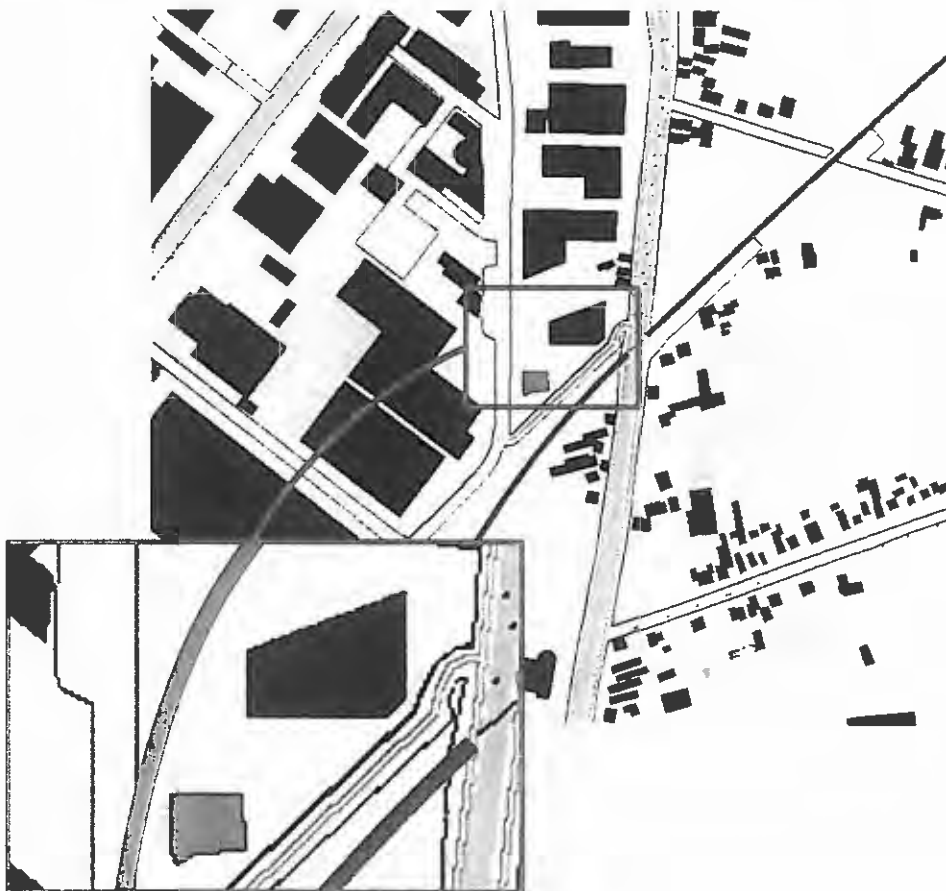
De goederentreinen die in de toekomst over deze spoorlijn rijden hebben een beperkt aantal wagons, een beperkte aslast (relatief lichte bulkgoederen zoals hout) en snelheden tussen de 10 en 20 kilometer per uur. Hierdoor zullen de gebruikte locomotieven bepalend zijn voor de trillingsniveaus, omdat deze de hoogste aslast hebben bij het transport van lichte bulkgoederen.

2 Situatiebeschrijving en meetlocatie

2.1 Meetlocatie Roosendaal

De aan te leggen spoorlijn wordt gerealiseerd om het nieuw aan te leggen bedrijventerrein Borchwerf II. De spoorlijn buigt ter hoogte van de Bosstraat af van de doorgaande spoorlijn Roosendaal – Dordrecht en gaat langs het pand Bosstraat 30-32, zie Figuur 1, waar de bestaande spoorlijn in paars en de nieuw aan te leggen spoorlijn ter hoogte van de meetlocatie in rood is aangegeven. De meetlocatie is in roze aangegeven.

Sinds ongeveer een jaar vindt er veelvuldig overslag van afvalcontainers plaats op het tegenovergelegen terrein. De eigenaren van het pand Bosstraat 30-32 geven daarom aan dat ze een nulmeting niet representatief vinden als het vrachtverkeer naar deze locatie wordt meegenomen, omdat ten tijde van de planning van de spoorlijn dit bedrijf daar nog niet was gevestigd. Men vreest dat dit vrachtverkeer voor aanzienlijk hogere trillingsniveaus zorgt dan het overige verkeer. Daarom zal het vrachtverkeer naar dit overslagterrein apart worden meegenomen in de metingen.

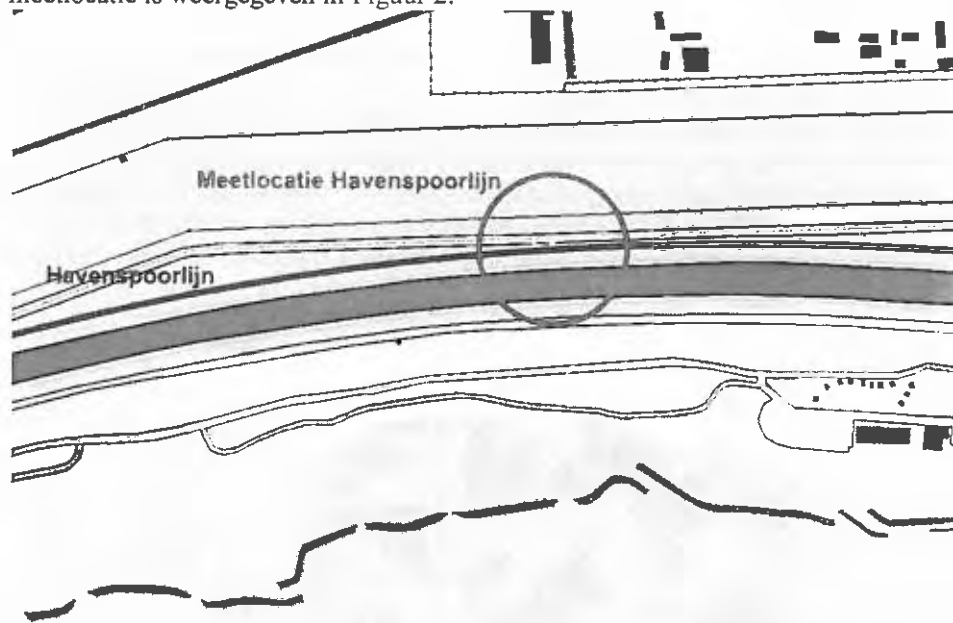


Figuur 1 Meetlocatie en sporen

De meetlocatie betreft een pand waar met enige regelmaat werkzaamheden op microscopische schaal worden uitgevoerd. De meetlocatie is een bedrijfspand met slechts één verdieping.

2.2 Meetlocatie Havenspoorlijn

De metingen bij de Havenspoorlijn hebben plaatsgevonden op een positie langs de spoorlijn waar de bodem vergelijkbaar is met de bodem op de meetlocatie (zie Bijlage I) en waar de treinen zoveel mogelijk vergelijkbare snelheden halen. De meetlocatie is weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2 Meetlocatie Havenspoorlijn

De metingen zijn uitgevoerd bij het laatste gedeelte van de Havenspoorlijn, om zo laag mogelijke snelheden van de treinen te krijgen. Dit laatste gedeelte van de Havenspoorlijn is tweesporig en op maaiveldniveau. Achter de spoorlijn loopt de N15 richting Europoort, met veel vrachtverkeer richting de ECT-terminal. Over het spoor rijden vooral losse locomotieven, volle en lege ertstreinen en volle en lege containertreinen. Op de toekomstige spoorlijn in Roosendaal zullen voornamelijk lichte goederen worden vervoerd, overeenkomend met lege ertstreinen en containertreinen. Volle ertstreinen geven aanzienlijk hogere trillingsniveaus en zijn niet representatief voor de situatie in Roosendaal. Deze treinen worden daarom niet meegenomen in de berekeningen.

De snelheid van de treinen is gemiddeld hoger dan in Roosendaal, maar er zijn ook enkele treinen gemeten met lagere snelheden. Uit deze treinpassages is een relatie tussen de snelheid en het trillingsniveau afgeleid.

3 Toetsingskader

Treinverkeer, maar bijvoorbeeld ook bouwwerkzaamheden en wegverkeer, kunnen aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot schade of hinder. Om trillingen te kunnen beoordelen zijn de SBR richtlijnen opgesteld.

Tot op heden zijn deze richtlijnen nog niet vastgelegd in wetgeving, maar de richtlijnen worden veelvuldig gebruikt. Ook de Raad van State baseert zich bij zijn oordeelsvorming deels op de richtlijnen ten aanzien van trillingen.

De SBR richtlijn bestaat uit 3 delen:

- Deel A: Schade aan gebouwen
- Deel B: Hinder voor personen in gebouwen
- Deel C: Verstoring van apparatuur

In dit onderzoek worden deze richtlijnen alleen gebruikt om de trillingsniveaus te bepalen, niet om deze te beoordelen. Beoordeling zal plaatsvinden op basis van het stand-still principe, zodat er geen toename is toegestaan in het trillingsniveau.

Omdat er geen specificaties beschikbaar zijn van de (incidenteel) in het gebouw aanwezige gevoelige apparatuur, wordt de toetscriteria van de SBR C richtlijnen niet gehanteerd. In plaats daarvan wordt de effectieve trillingssnelheid v_{max} , een dimensieloze indicatie van het trillingsniveau, gemeten. Deze grootheid beschrijft de hinder voor personen en is ook indicatief voor eventuele verstoring van apparatuur.

De metingen vinden gedurende een dag plaats, waarbij elke trein- of vrachtautopassage een trillingssignaal geeft dat wordt waargenomen door de sensoren. Per 30 seconden wordt, conform de SBR richtlijnen, de maximale waarde van het voortschrijdend gemiddelde genomen. Op basis van de vijftien hoogst gemeten waarden wordt een statistische berekening uitgevoerd met als resultaat de trillingssterkte die niet wordt overschreden door 95 procent van de passerende treinen. Deze zogenaamde 95 procentswaarde is de v_{eff} in de huidige situatie. Deze waarde geldt als de toetswaarde voor de toekomstige situatie. In de toekomstige situatie mag het trillingsniveau deze toetswaarde niet overschrijden.

4 Meet- en berekeningsmethodiek

Het vaststellen van het huidige trillingsniveau op de meetlocatie vindt plaats middels metingen. Door metingen uit te voeren op representatieve tijdstippen en aan de hand van deze metingen een maximaal te verwachten trillingsniveau te herleiden middels een statistische analyse, kan het huidige trillingsniveau betrouwbaar worden vastgesteld.

Het onderzoek bestaat uit een aantal stappen, zoals beschreven in hoofdstuk 1. Deze stappen zijn hieronder verder toegelicht.

4.1 Trillingsmetingen voor vaststellen huidige trillingsniveau

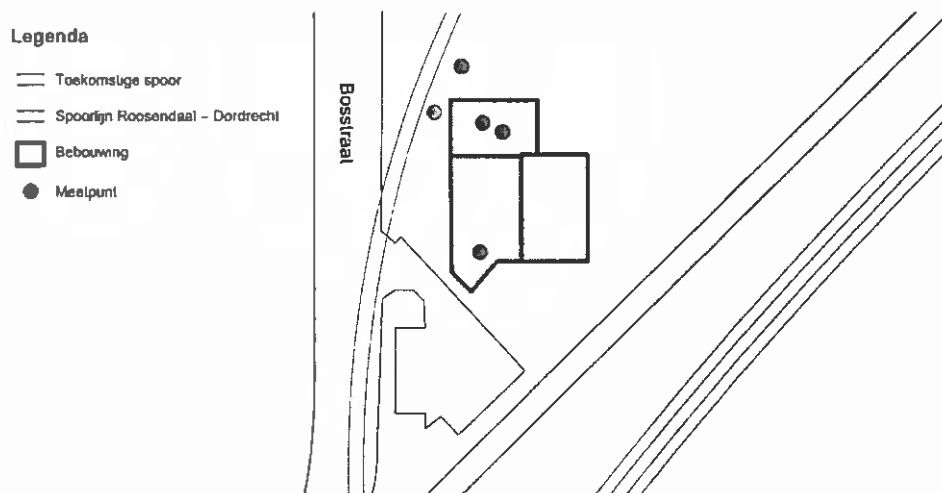
Voor de trillingsmetingen wordt gebruik gemaakt van een systeem bestaande uit:

1. Meetcomputer met een analoog-digitaal (A/D)-converter. Voor dit onderzoek worden twee verschillende meetcomputers gebruikt:
 - a. 16 kanaals 24 bit Dewetron 1201 meetcomputer.
 - b. 8 kanaals 24 bit Dewetron 101 meetcomputer.
2. Webcam gekoppeld aan het meetprogramma dat treinen en passerend verkeer op de Bosstraat registreert. De filmbeelden worden gebruikt om de ruwe data te filteren en treinen te herkennen.
3. Trillingsopnemers (geofoons) die voldoen aan de voorwaarden gesteld in de SBR normen. Deze trillingsopnemers registreren de trillingen in drie richtingen (horizontaal parallel aan het spoor, horizontaal dwars op het spoor en verticaal). Het signaal van deze trillingsopnemers wordt continue opgeslagen.

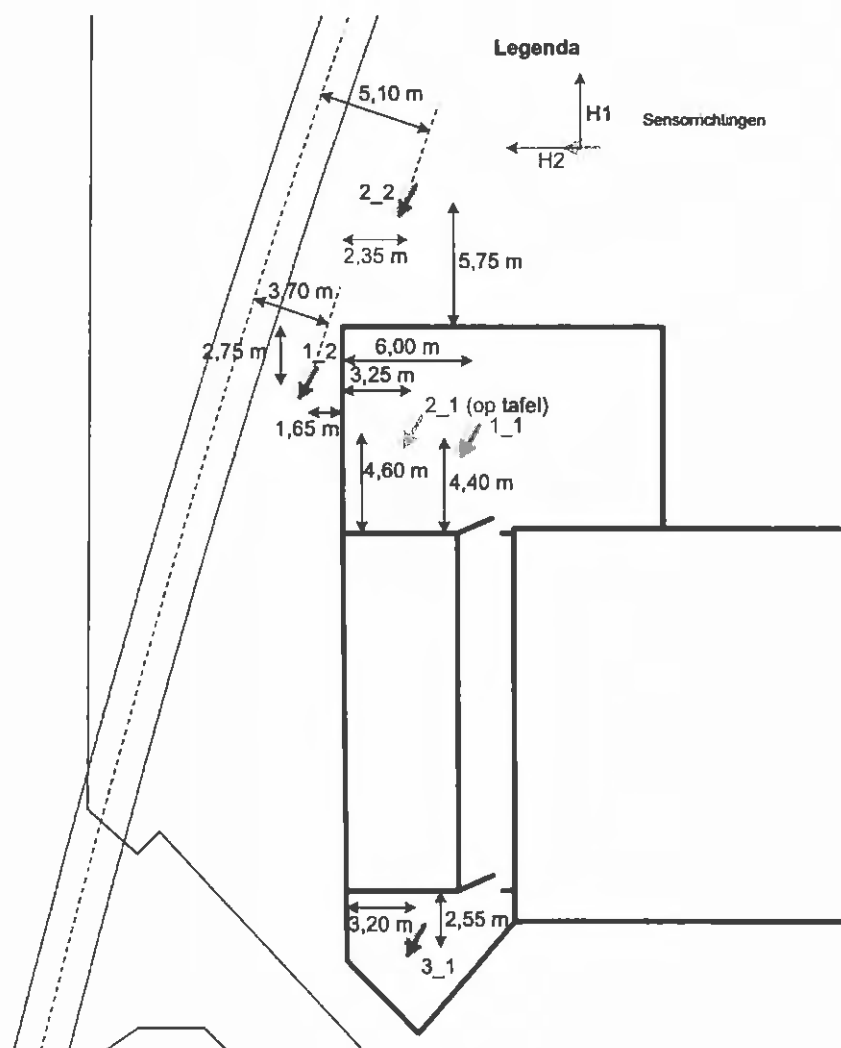
Dit trillingsonderzoek is gericht op het bepalen van het huidige trillingsniveau ten gevolge van passerend verkeer, zowel (vracht)auto's als treinen op de spoorlijn Roosendaal – Dordrecht. Alle overige trillingsbronnen, zoals voetstappen, worden uitgefilterd middels een rekenkundig proces.

Om de trillingsniveaus vast te stellen is op diverse locaties in het bedrijfspand gemeten gedurende een dag (ongeveer 24 uur), waarbij camera's zijn gericht op de doorgaande spoorlijn Roosendaal – Dordrecht en de Bosstraat om trillingen ten gevolge van auto- en treinverkeer te kunnen onderscheiden.

Daarnaast zijn sensoren buiten het bedrijfspand geplaatst op ongeveer 5 meter afstand van het hart van de aan te leggen spoorlijn. De meetposities zijn weergegeven in Figuur 3 en Figuur 4. Indien in de toekomst evaluatiemetingen worden uitgevoerd, dienen bij voorkeur de sensoren opnieuw op deze posities te worden geplaatst.



Figuur 3 *Situatie en meetpunten*



Figuur 4 *Exacte locaties meetpunten*

4.2 Bepalen toetswaarde voor toekomstige trillingsniveau

Het vaststellen van het maximaal toegestane toekomstige trillingsniveau vindt plaats op basis van de trillingssterkte v_{max} . De bepaling van deze grootte wordt hieronder kort samengevat. Meer informatie kunt u vinden in de SBR B normen, hoofdstuk 9.

Het afleiden van de trillingssterkte vindt plaats door het door de meetcomputer gemeten spanningssignaal om te rekenen naar een snelheidssignaal. Vervolgens wordt dit signaal gecorrigeerd met een frequentieafhankelijke weegfunctie, waarna een voortschrijdende effectieve waarde wordt bepaald van het trillingsniveau, de zogenaamde v_{eff} .

Van dit signaal wordt vervolgens per meetpunt en per richting de maximale waarde per trillingsbron (auto- of treinpassage) bepaald, de zogenaamde $v_{eff,max}$. De grootste waarde van deze $v_{eff,max}$ over de gehele meetduur, per meetpunt en per richting, is het maximaal gemeten trillingsniveau v_{max} .

Vervolgens wordt per meetpunt en per meetrichting het statistisch maximum bepaald. Hiervoor worden de 15 maximaal gemeten $v_{eff,max,30}$ genomen, waarbij alle waarden die lager zijn dan de helft van de maximaal gemeten waarde v_{max} niet mee worden genomen. Indien minder dan 15 treinen zijn gepasseerd, wordt dit conform de SBR B richtlijn gecorrigeerd met een spreidingsfactor die toeneemt naarmate minder treinen zijn gepasseerd.

4.3 Berekenen toekomstige trillingsniveau

Het berekenen van het toekomstige trillingsniveau vindt plaats in drie stappen. Deze stappen worden hieronder kort toegelicht.

4.3.1. Bepalen overdracht buiten – meetpositie bij Bosstraat 30-32

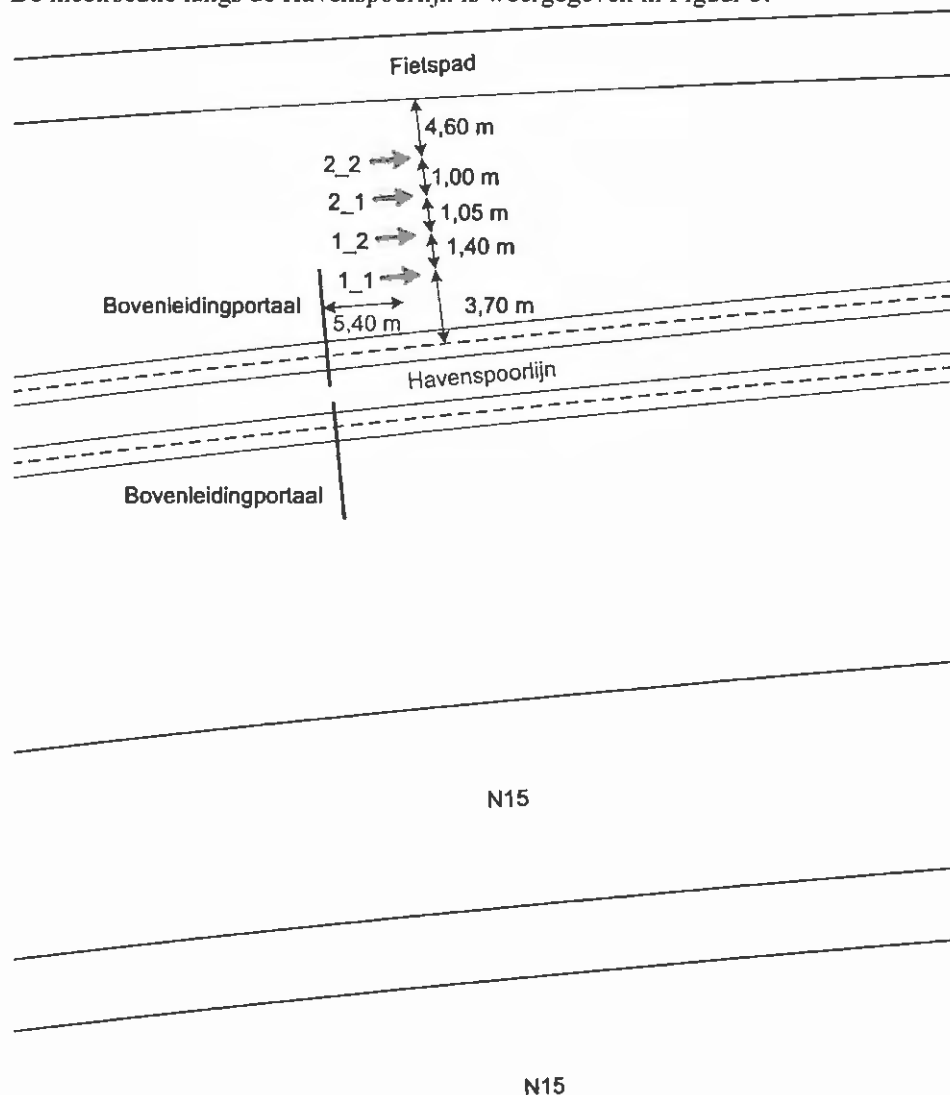
Bij de trillingsmetingen aan de Bosstraat 30-32 zijn zowel binnen als buiten sensoren geplaatst. De sensoren buiten zijn geplaatst op ongeveer 5 meter vanaf het hart van de toekomstige spoorlijn, zie ook de situatiebeschrijving in hoofdstuk 2. Met behulp van deze sensoren wordt de overdracht van het trillingsniveau van buiten naar binnen en vice versa bepaald. Deze overdracht wordt bepaald als tertsbandspectrum en is verschillend voor verschillende posities in het gebouw.

4.3.2. Bepalen spectrum treinpassages Havenspoorlijn

Vervolgens wordt van een aantal vergelijkbare treinpassages op de Havenspoorlijn het trillingsniveau van de treinpassage bepaald. Daarnaast wordt het trillingsspectrum bepaald. Dit zal later worden gebruikt om het trillingsniveau aan de Bosstraat 30-32 in Roosendaal in de toekomstige situatie te bepalen.

Om de invloed van de bodem zoveel mogelijk te neutraliseren zijn de meetpunten bij de Havenspoorlijn op ongeveer dezelfde positie gekozen van het hart van het spoor als die bij de metingen in Roosendaal. Omdat er twee sporen liggen bij de Havenspoorlijn, is ervoor gekozen om meerdere sensoren te plaatsen op verschillende afstanden van het spoor, zodat de exacte meetlocaties (3.70 meter en 5.10 meter hart spoor) zo goed mogelijk kunnen worden benaderd.

De meetlocatie langs de Havenspoorlijn is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Meetlocatie bij de Havenspoorlijn

4.3.3. Bepalen van trillingsniveau bij Bosstraat 30-32

Met behulp van de spectra van een aantal treinpassages en de overdrachtsspectra kan nu het trillingsniveau in de Bosstraat 30-32 ten gevolge van goederentreinen op de toekomstige spoorlijn naar het bedrijventerrein worden bepaald. Hiervoor worden de spectra van de treinpassages vermenigvuldigd met de overdrachtsspectra van buiten naar de meetlocaties, zoals bepaald onder stap 1.

Hierna worden de tijdsafhankelijke signalen bepaald door middel van een omgekeerde Fourier-transformatie. Uit deze tijdsafhankelijke signalen wordt de v_{max} bepaald, waarna deze wordt getoetst aan het huidige trillingsniveau.

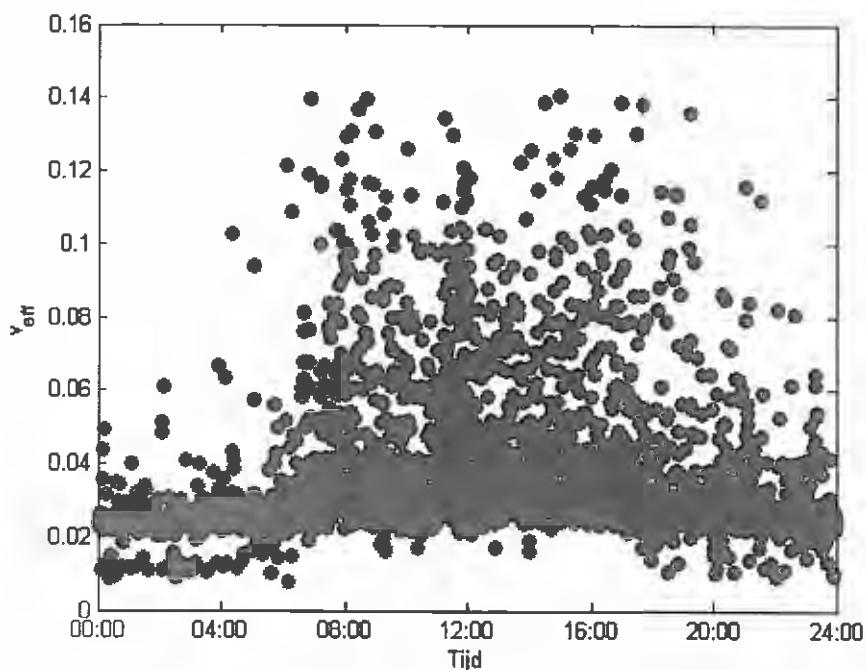
5 Meetresultaten

De metingen bestaan uit twee onderdelen: een meting om de nulsituatie in het pand Bosstraat 30-32 in Roosendaal en het uitvoeren van een referentiemeting aan de Havenspoorlijn. De resultaten van beide onderzoeken worden in dit hoofdstuk gepresenteerd.

5.1 Metingen Bosstraat 30-32 in Roosendaal

De metingen aan de Bosstraat 30-32 in Roosendaal hebben plaatsgevonden gedurende ruim 24 uur, van 31 mei 2011 10:00 tot 1 juni 2011 12:00. De meetcomputer die opgesteld was in de werkruimte (met sensoren 1_1, 1_2, 2_1 en 2_2) heeft door een interne fout gemeten van 31 mei 2011 10:00 tot 31 mei 2011 18:30, de andere computer heeft de gehele tijd gemeten.

Uit de resultaten van de computer die de gehele tijd heeft gemeten blijkt dat de grootste trillingsniveau gedurende de dag optreden (ten gevolge van vrachtverkeer op de Bosstraat), zie Figuur 6. De kortere meetduur van de ene meetcomputer doet daarom geen afbreuk aan de representativiteit van de metingen.



Figuur 6 *Trillingsniveaus gedurende de dag, sensor 3_1, verticaal*

Tijdens de nulmeting is daarnaast de overdracht van de sensoren buiten (1_2 en 2_2) naar de overige sensoren binnen (1_1, 2_1 en 3_1) bepaald. Deze overdracht kan al in een kort tijdsbestek van een uur voldoende nauwkeurig worden bepaald.

5.1.1. Vaststelling nulsituatie

In Tabel 1 zijn per sensor en per richting de statistische bepaalde trillingsniveaus weergegeven. Deze trillingsniveaus geven aan dat 95 procent van de trillingsniveaus lagere waarden heeft dan de aangegeven waarde. Ter vergelijking zijn ook de maximaal gemeten trillingsniveaus weergegeven in Tabel 2. De richting van de horizontale componenten H1 en H2 is terug te vinden in Figuur 4. V is de verticale component.

Tabel 1 Statistisch bepaalde trillingsniveaus

	3.70 m		Werkruimte			Tafel			5.10 m		Kantoor		
	Sensor 1_2		Sensor 1_1			Sensor 2_1			Sensor 2_2		Sensor 3_1		
	V	H1	H1	H2	V	H1	H2	V	V	H1	H1	H2	V
Containers	0.09	0.09	0.03	0.03	0.07	0.49	0.92	0.41	0.09	0.08	0.02	0.05	0.09
Bosstraat	0.31	0.44	0.08	0.06	0.19	2.28	4.14	0.89	0.26	0.20	0.04	0.08	0.13
Treinen	0.20	0.30	0.07	0.05	0.13	1.62	3.17	1.15	0.19	0.20	0.03	0.06	0.14
Combinaties	0.23	0.38	0.07	0.08	0.14	1.22	2.05	2.41	0.22	0.19	0.03	0.08	0.10

Tabel 2 Maximaal gemeten trillingsniveaus.

	Sensor 1_2		Sensor 1_1		Sensor 2_1			Sensor 2_2		Sensor 3_1			
	V	H1	H1	H2	V	H1	H2	V	V	H1	H1	H2	V
Containers	0.09	0.08	0.03	0.03	0.07	0.35	0.67	0.32	0.09	0.07	0.02	0.05	0.10
Bosstraat	0.30	0.52	0.09	0.06	0.20	1.85	3.39	0.79	0.27	0.23	0.04	0.08	0.14
Treinen	0.19	0.28	0.07	0.05	0.11	1.06	1.99	0.78	0.15	0.14	0.03	0.07	0.14
Combinaties	0.20	0.30	0.06	0.07	0.12	0.61	1.13	1.06	0.19	0.14	0.03	0.07	0.09

In zowel Tabel 1 als in Tabel 2 is zichtbaar dat het vrachtverkeer in de Bosstraat de hoogste trillingsniveaus geeft, hoger dan de treinen die passeren op de spoorlijn. Dit geldt voor alle sensoren, hoewel de sensor dichtbij het spoor (3_1) vergelijkbare trillingsniveaus geeft voor treinen als voor vrachtverkeer op de Bosstraat.

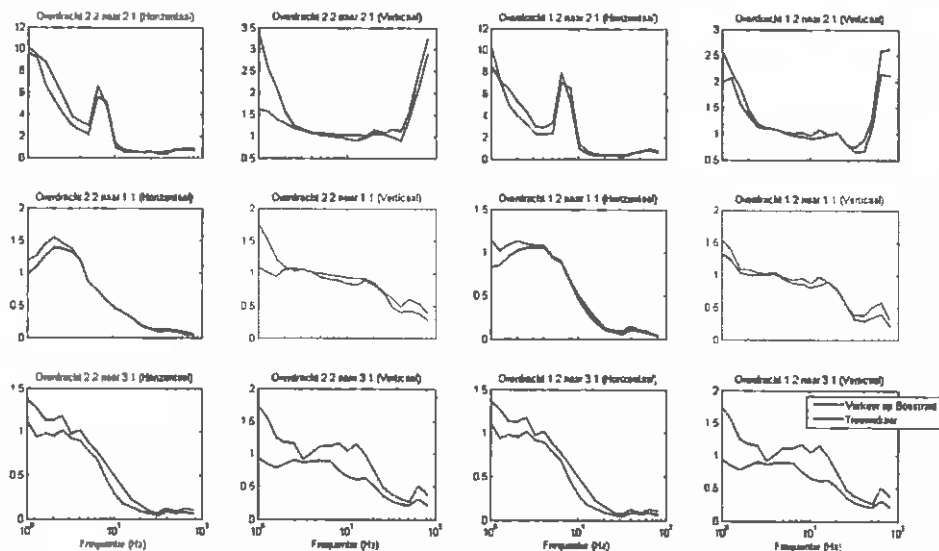
Containers, een categorie die staat voor alle vrachtverkeer naar het tegenover de meetlocatie gelegen bedrijf waar afvalcontainers worden overgeslagen, geven een beduidend lager trillingsniveau dan het overige vrachtverkeer op de Bosstraat. Dit komt door de lage snelheid van deze (afslaande) vrachtauto's. Het trillingsniveau in het pand Bosstraat 30-32 is door de komst van dit bedrijf dus niet toegenomen. Enkele zwaarbeladen vrachtauto's zorgen voor de grootste trillingsniveaus.

Verder is goed zichtbaar dat sensor 1_2, die dicht bij de Bosstraat is gepositioneerd, beduidend hogere trillingsniveaus geeft dan sensor 2_2. De dominante trillingsfrequenties van het passerende vrachtverkeer worden blijkbaar snel uitgedempt door de bodem.

5.1.2. Vaststelling overdrachten

Uit eerdere onderzoeken is gebleken dat de overdracht van trillingen frequentie-afhankelijk is, maar constant wanneer deze wordt gerepresenteerd als tertsbandspectrum. De overdracht van de sensoren buiten naar de diverse in het pand gepositioneerde sensoren is weergegeven in Figuur 7. Hierbij is onderscheid

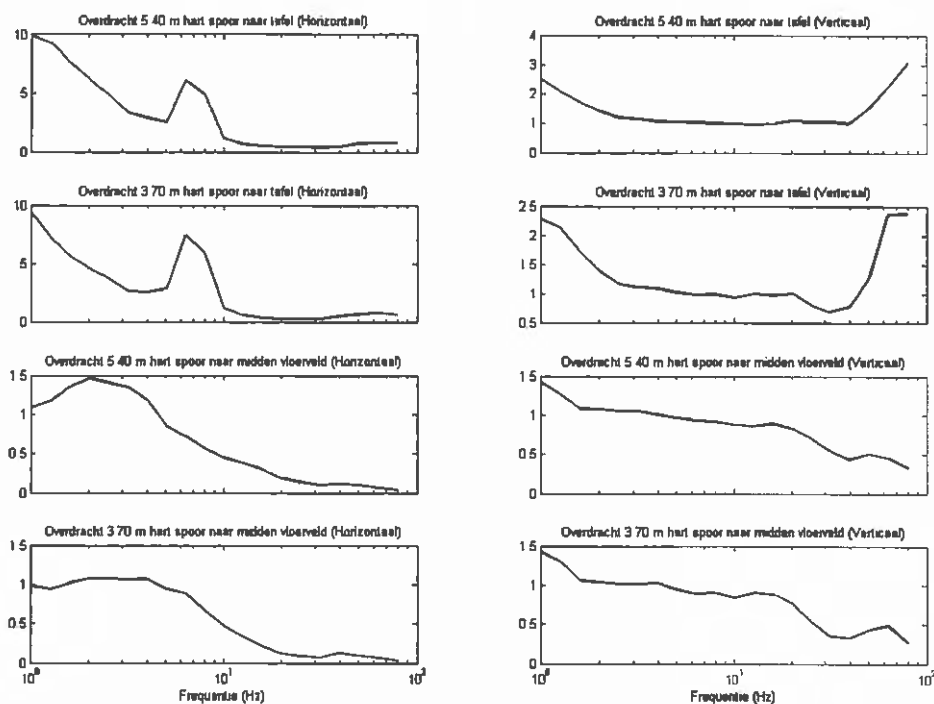
gemaakt tussen treinverkeer op de spoorlijn en verkeer op de Bosstraat, omdat de sensoren buiten achter het pand staan, gezien vanaf de spoorlijn. Niettemin blijkt uit Figuur 7 dat er slechts een verwaarloosbaar verschil is tussen de twee types trillingsbronnen. Alleen voor sensor 3_1, die vrij ver van de sensoren buiten is gelegen, is een afwijking zichtbaar tussen trillingen veroorzaakt door verkeer op de Bosstraat en treinen op de spoorlijn Dordrecht – Roosendaal.



Figuur 7 Overdrachten

Omdat er geen verschil is voor de sensoren in de werk- en reparatieruimte voor de overdracht van buiten naar binnen tussen verkeer op de Bosstraat en treinverkeer, wordt voor de definitieve overdracht de gemiddelde waarde gehanteerd. Voor sensor 3_1 wordt de overdracht gebruikt ten gevolge van verkeer op de Bosstraat, omdat de toekomstige spoorlijn ongeveer de Bosstraat volgt. Deze overdrachten zijn dus betrouwbaarder dan de overdrachten ten gevolge van het treinverkeer.

De uiteindelijk gebruikte overdrachten voor de sensoren 1_1 en 2_1 zijn weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Gemiddelde overdrachten voor sensoren 1_1 (midden vloerveld) en 2_1 (tafel)

De overdrachtsfuncties zullen worden vermenigvuldigd met de Fourier-getransformeerde signalen van de treinen op de Havenspoorlijn om het trillingsniveau in de toekomstige situatie vast te stellen.

5.2 Metingen Havenspoorlijn in Rotterdam

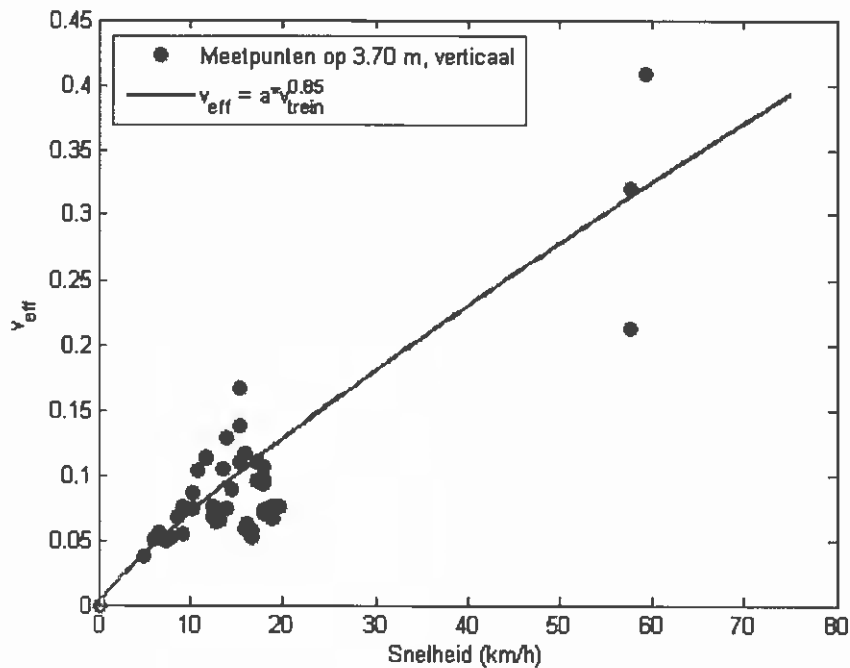
Uit de metingen aan de Havenspoorlijn valt op dat voor vrijwel alle treinen, volle ertstreinen uitgezonderd, de locomotieven de hoogste trillingsniveaus geven. Voor de bepaling van de trillingsniveaus in de toekomstige situatie in Roosendaal zijn daarom niet alleen containertreinen, maar ook losse locomotieven voldoende representatief in trillingsniveau.

Voor de meest representatieve treinen zijn de (nog niet voor snelheid gecorrigeerde) frequentiespectra vastgesteld. Een aantal van deze voorbeeldspectra met bijbehorende trillingssignalen in de tijd zijn weergegeven in bijlage IV. Deze signalen zijn gebruikt om de toekomstige trillingsniveaus vast te stellen.

De snelheden van de treinen op de Havenspoorlijn zijn hoger dan van de treinen op de toekomstige spoorlijn in Roosendaal (50-70 km/uur i.p.v. 10-20 km/uur). De relatie tussen snelheid en trillingsniveau als functie van de frequentie is weergegeven in Figuur 9. Het trillingsniveau (zowel de gemiddelde als de minimale en maximale trillingsniveaus volgen de in rood aangegeven curve:

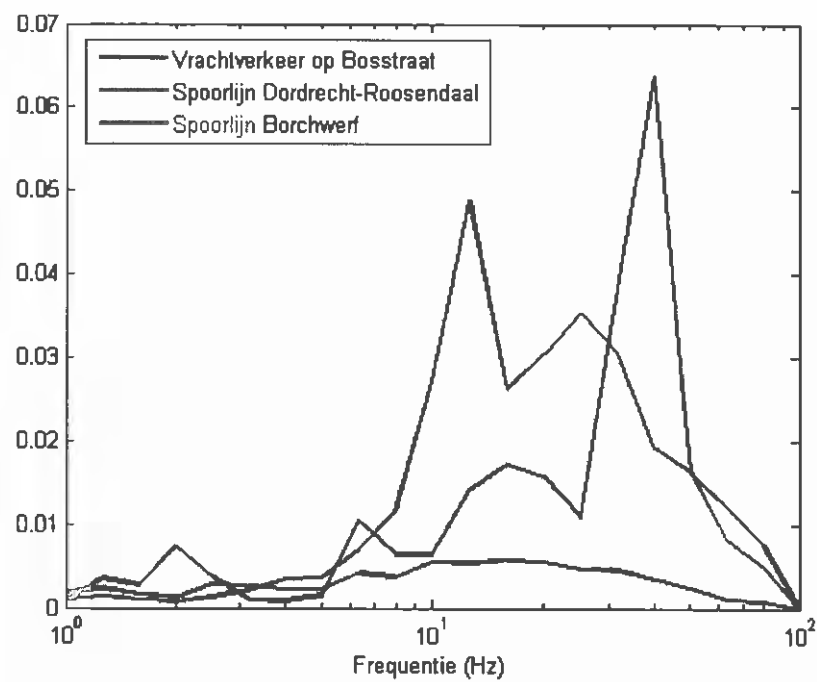
$$v_{eff} = a \cdot v_{train}^{0.85}$$

De factor a is een schaalfactor die verschillend is per treinonderdeel (locomotief, wagon) en experimenteel kan worden bepaald.



Figuur 9 Relatie tussen trillingsniveau en snelheid, hier getoond voor de verticale richting op 3.70 meter van het hart van het spoor

Door sneller rijdende treinen te corrigeren voor de snelheid naar 20 km per uur wordt voldoende representatieve data verkregen. De gecorrigeerde spectra in de toekomstige situatie voor de sensor op 3.70 meter afstand van het spoor zijn weergegeven in Figuur 10. De treinen op de aan te leggen spoorlijn hebben vooral hoogfrequent een hogere trillingsenergie. Deze energie wordt echter relatief sterk uitgedempt door de bodem en het gebouw, zie ook Figuur 7 en Figuur 8.



Figuur 10 Tertsbandspectra voor toekomstige situatie

6 Predictie toekomstige situatie

Met behulp van de overdrachtsfuncties die zijn vastgesteld tijdens de nulmeting in Roosendaal en de treinsignalen van de Havenspoorlijn kan het trillingsniveau in de toekomstige situatie in Roosendaal nauwkeurig worden vastgesteld. Hiervoor worden de frequentiespectra van de treinen op de Havenspoorlijn vermenigvuldigd met de overdrachtsfuncties. Hiermee kunnen de signalen in het pand ter plaatse van de sensoren 1_1, 2_1 en 3_1 worden vastgesteld, en daarmee de trillingsniveaus in de toekomstige situatie.

De tertsbandspectra van representatieve passages in de toekomstige situatie zijn weergegeven in Figuur 11.

De trillingsniveaus in de toekomstige situatie zijn weergegeven in. In deze tabel zijn naast de trillingsniveaus ten gevolge van treinen op de nieuwe spoorlijn ook de huidige trillingsniveaus weergegeven, waarbij de aanname wordt gemaakt dat deze niet zullen wijzigen in de toekomst. Deze aanname is gerechtvaardigd onder een aantal condities:

- Er zullen geen andere types treinen gaan rijden op de spoorlijn Dordrecht – Roosendaal.
- Er zal geen zwaardere vrachtverkeer gaan rijden over de Bosstraat.
- De toekomstige spoorlijn naar het bedrijventerrein loopt niet door de Bosstraat zelf. Indien dit wel het geval is zal het trillingsniveau ten gevolge van passerend vrachtverkeer sterk toenemen, doordat het vrachtverkeer over de spoorstaven rijdt. Deze onderbrekingen in het wegdek zorgen voor aanzienlijk hogere trillingsniveaus.
- Er zullen geen (fundamentele) wijzigingen aan de meetlocatie plaatsvinden.

Tabel 3 Statistisch bepaalde trillingsniveaus, toekomstige situatie.

	3.70 m		Werkruimte		Op tafel			5.10 m		Kantoor			
	Sensor 1_2		Sensor 1_1		Sensor 2_1			Sensor 2_2		Sensor 3_1			
	V	H1	H1	H2	V	H1	H2	V	V	H1	H1	H2	V
Containers	0.09	0.09	0.03	0.03	0.07	0.49	0.92	0.41	0.09	0.08	0.02	0.05	0.09
Bosstraat	0.31	0.44	0.08	0.06	0.19	2.28	4.14	0.89	0.26	0.20	0.04	0.08	0.13
Treinen	0.20	0.30	0.07	0.05	0.13	1.62	3.17	1.15	0.19	0.20	0.03	0.06	0.14
Combinaties	0.23	0.38	0.07	0.08	0.14	1.22	2.05	2.41	0.22	0.19	0.03	0.08	0.10
Nieuwe spoorlijn	0.42	0.58	0.08		0.19	0.49		0.47	0.42	0.53	0.06		0.11

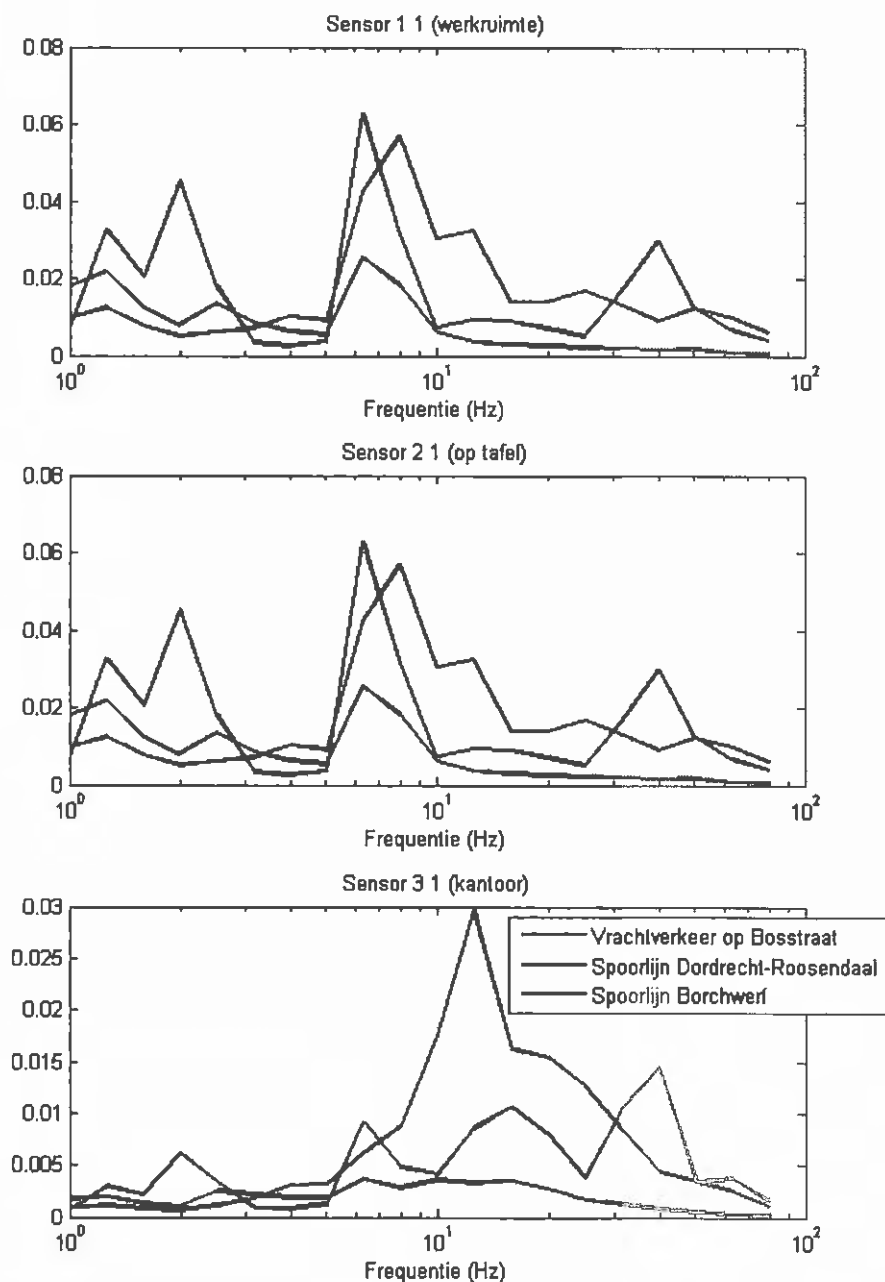
De horizontale H2 component is niet bepaald in de toekomstige situatie, maar is bij treinen vrijwel altijd lager dan de H1 component.

Een toename van het trillingsniveau is in Tabel 3 in rood weergegeven.

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het trillingsniveau in de werkruimte (sensoren 1_1 en 2_1) niet toe zal nemen door de aanleg van de spoorlijn in de toekomst. In het kantoor aan de spoorzijde zal het trillingsniveau licht stijgen. Het trillingsniveau is

echter nog dermate laag dat het conform de SBR B richtlijnen als 'geen hinder' valt te kwalificeren.

Verder geldt dat bij het beoordelen van trillingshinder doorgaans wordt aangenomen dat een toe- of afname van het trillingsniveau van 30 procent niet waarneembaar zal zijn. De berekende toename van het trillingsniveau valt binnen deze bandbreedte en zal daarom ook niet waarneembaar zijn.



Figuur 11 Tertsbandspectra van representatieve passages in toekomstige situatie

Het trillingsniveau buiten neemt wel sterk toe (zie sensoren 1_2 en 2_2), maar dit heeft geen gevolgen aan de binnenzijde omdat de piekniveaus in het

trillingsspectrum van de passerende treinen bij relatief hoge frequenties (20-40 Hz) optreden. Deze hogere frequenties worden relatief slecht doorgegeven van buiten naar binnen, zie hiervoor de overdrachtsfuncties in Figuur 7 en Figuur 8.

7 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is de nulsituatie van het trillingsniveau vastgesteld voor de locatie Bosstraat 30-32 in Roosendaal. Uit deze nulmeting blijkt dat passerend vrachtverkeer over de Bosstraat de belangrijkste bron van trillingen is. Dit vrachtverkeer veroorzaakt maximale trillingsniveaus in de werkruimte van 0.19.

Voor de toekomstige situatie geldt dat het trillingsniveau in de werkruimte niet zal toenemen door de aanleg van de nieuwe spoorlijn naar het bedrijventerrein Borchwerf. In het kantoor zal het trillingsniveau licht toenemen.

De trillingsniveaus ten gevolge van treinverkeer op de nieuw aan te leggen spoorlijn zijn grotendeels gelijk aan de trillingsniveaus ten gevolge van vrachtverkeer op de Bosstraat. Een afwijking van de in dit rapport weergegeven uitgangspunten kan voor een hoger trillingsniveau zorgen en daarmee een overschrijding van de toetswaarden veroorzaken.

Mogelijk afwijkingen in uitgangspunten zijn onder meer de inpassing van wissels in het spoor (hogere trillingsniveaus door de treinen) of de aanleg van een spoorwegovergang in de onmiddellijke nabijheid van de meetlocatie (hogere trillingsniveaus door vrachtverkeer op de Bosstraat).

Naar aanleiding van dit rapport is het niet noodzakelijk om trillingsmaatregelen te nemen bij de aanleg van de spoorlijn. Wel wordt aanbevolen om na aanleg van de spoorlijn opnieuw metingen uit te laten voeren om de eindsituatie vast te stellen.

Colofon

Opdrachtgever Gemeente Roosendaal
K. Kools

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Infra
Geo Engineering & Ondergrondse Inrichting

Daalse Kwint G 3.00
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 030-265 5322
Telefax 030-265 5051

Ondertekenaar ir. P.M. Boon
Adviseur Dynamica en Modellerings

Projectnummer IN177043

Bijlage I Sonderingen

De sonderingen voor de locatie Bosstraat 30-32 zijn opgenomen in Figuur 12 tot en met Figuur 15. Duidelijk zichtbaar is dat onder de eerste teeltlaag een gemengd pakket (zand en klei) aanwezig is tot ongeveer -3 meter NAP. Daaronder is een zandbodem aanwezig.

Voor de Havenspoorlijn zijn de sonderingen ter hoogte van de meetlocatie opgenomen in Figuur 16 en Figuur 17. Ook hier is onder de teeltlaag een gemengd pakket aanwezig van zo'n 3 meter dik, met daaronder een zandbodem.

Beide meetlocaties hebben dus een vergelijkbare bodem en zullen dus voor vergelijkbare trillingstransmissies zorgen.

14129

goorbergh geotest

RUDOLPH 2 - 4824 AJ BREDA

POSTBUS 2218 - 4800 CE BREDA

TELEFOON 076-418600

Bosstraat.

OTIE: Dimensie

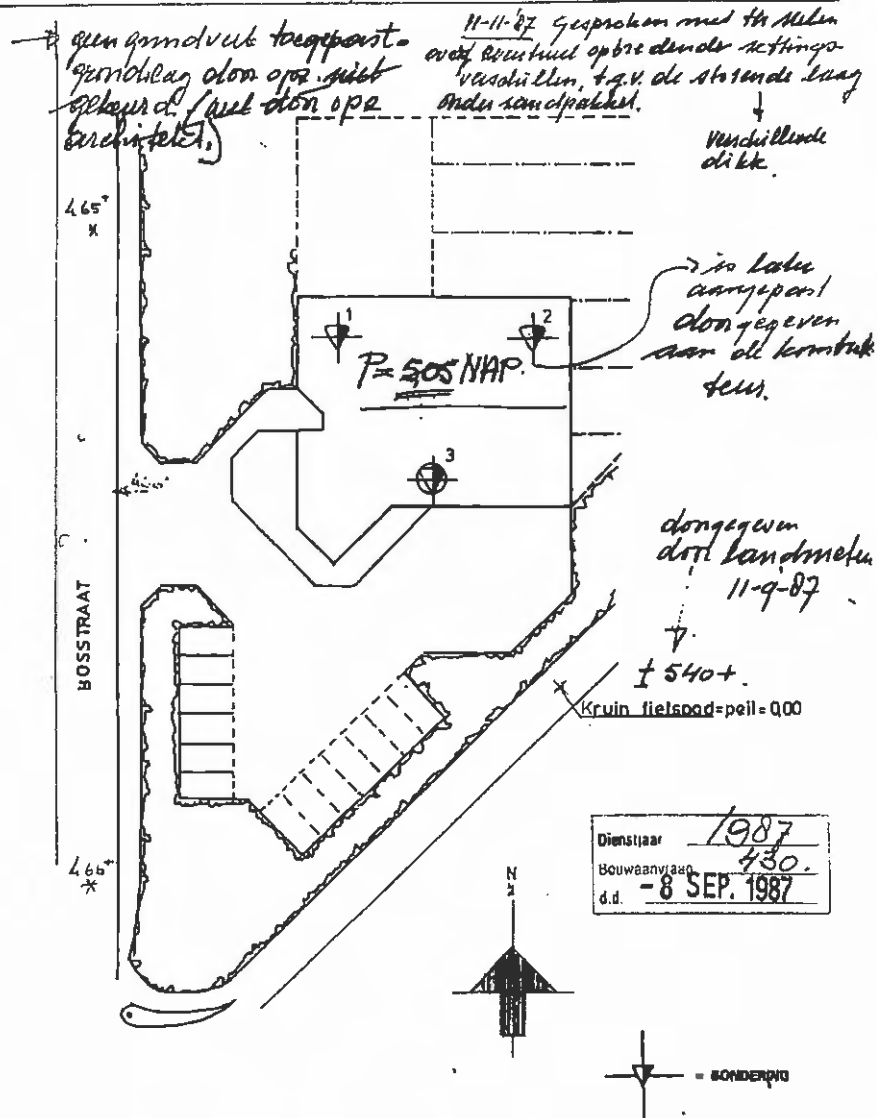
WERK: Waterschap De Maas-Vlietlanden

DATUM: 07-07-1987 OPDR. NR. 104932gB

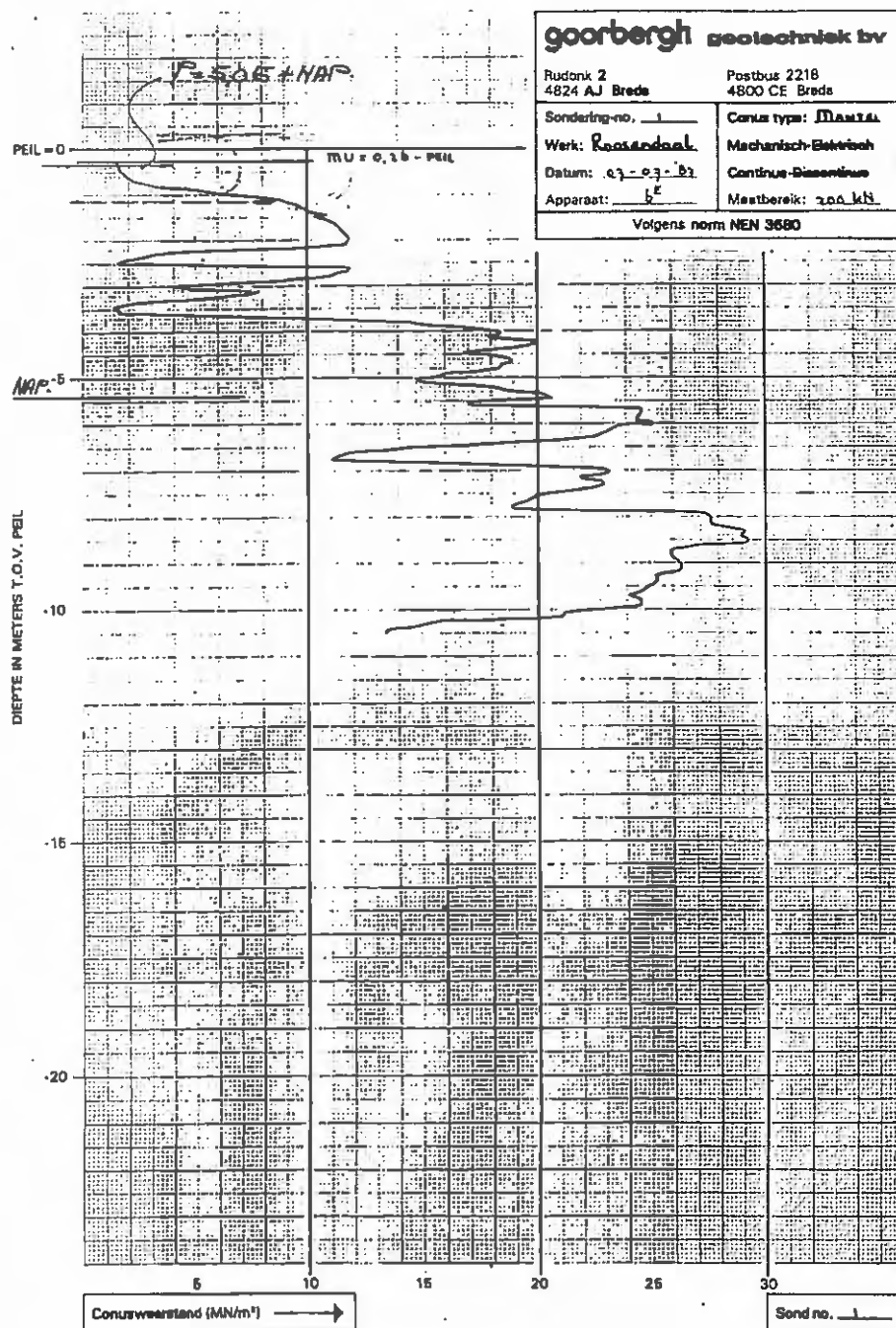
OPDRACHTGEVER: Stuam Architecten

Vughtsteaat 15

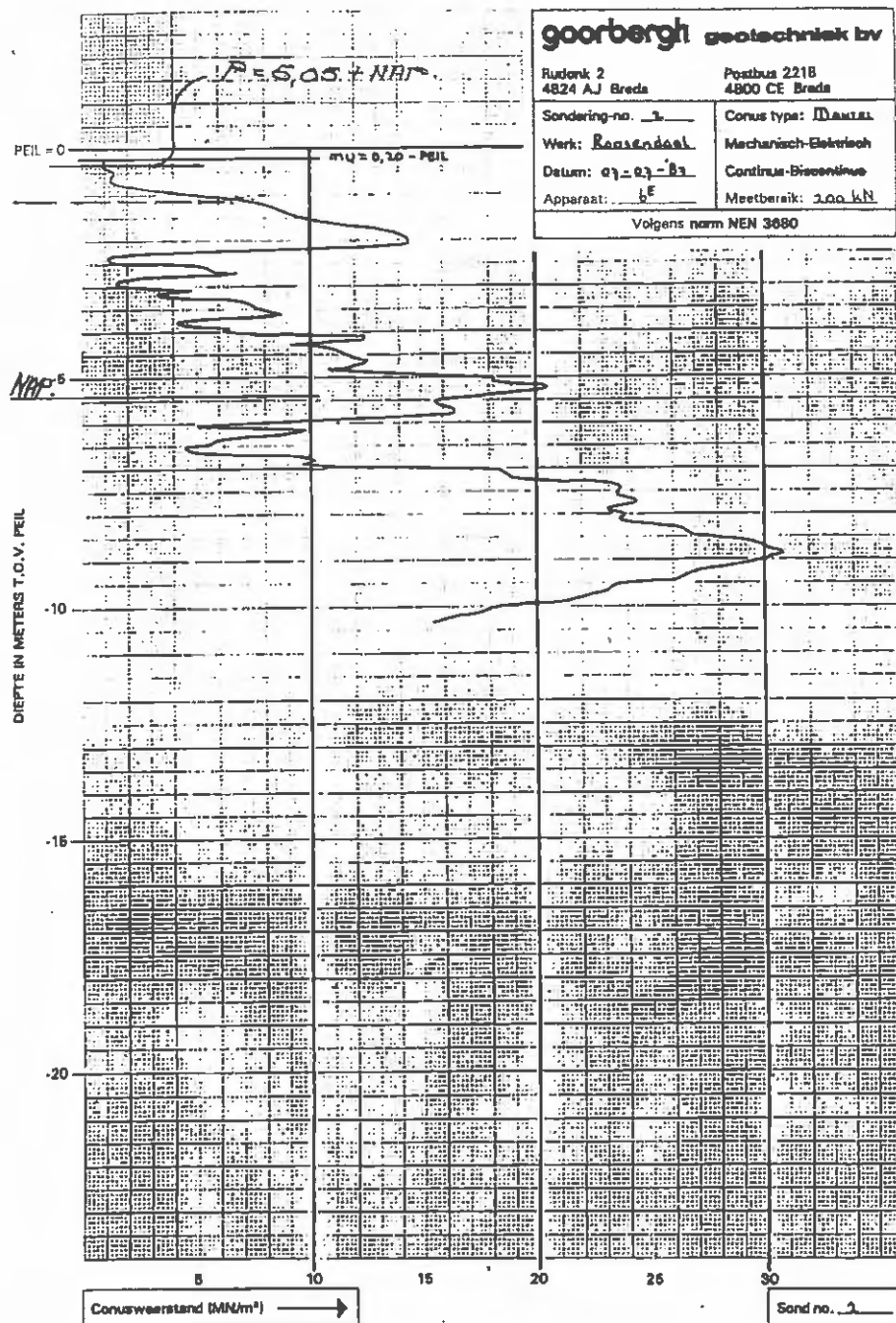
4301 NJ Roosendaal



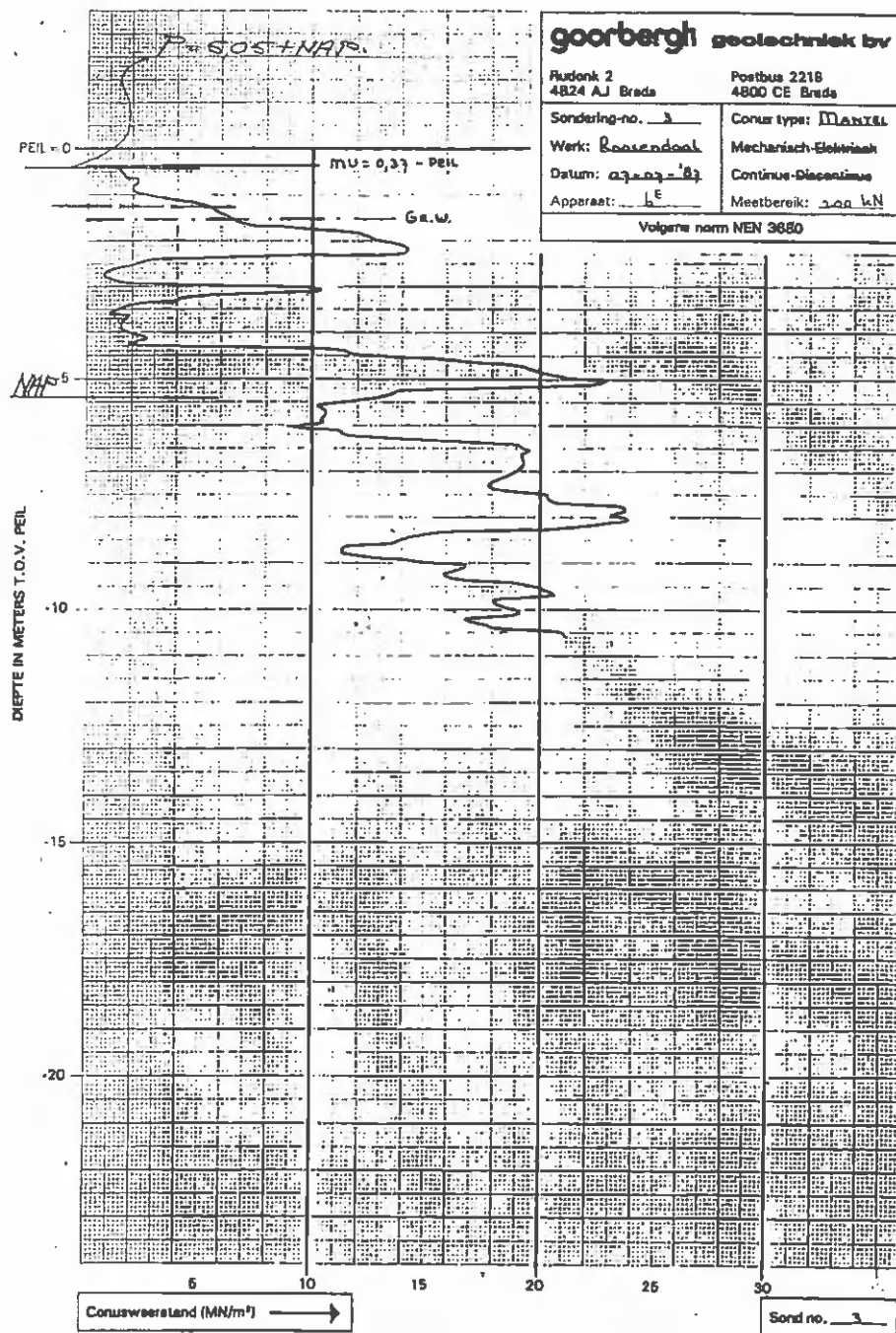
Figuur 12 Sonderingsposities



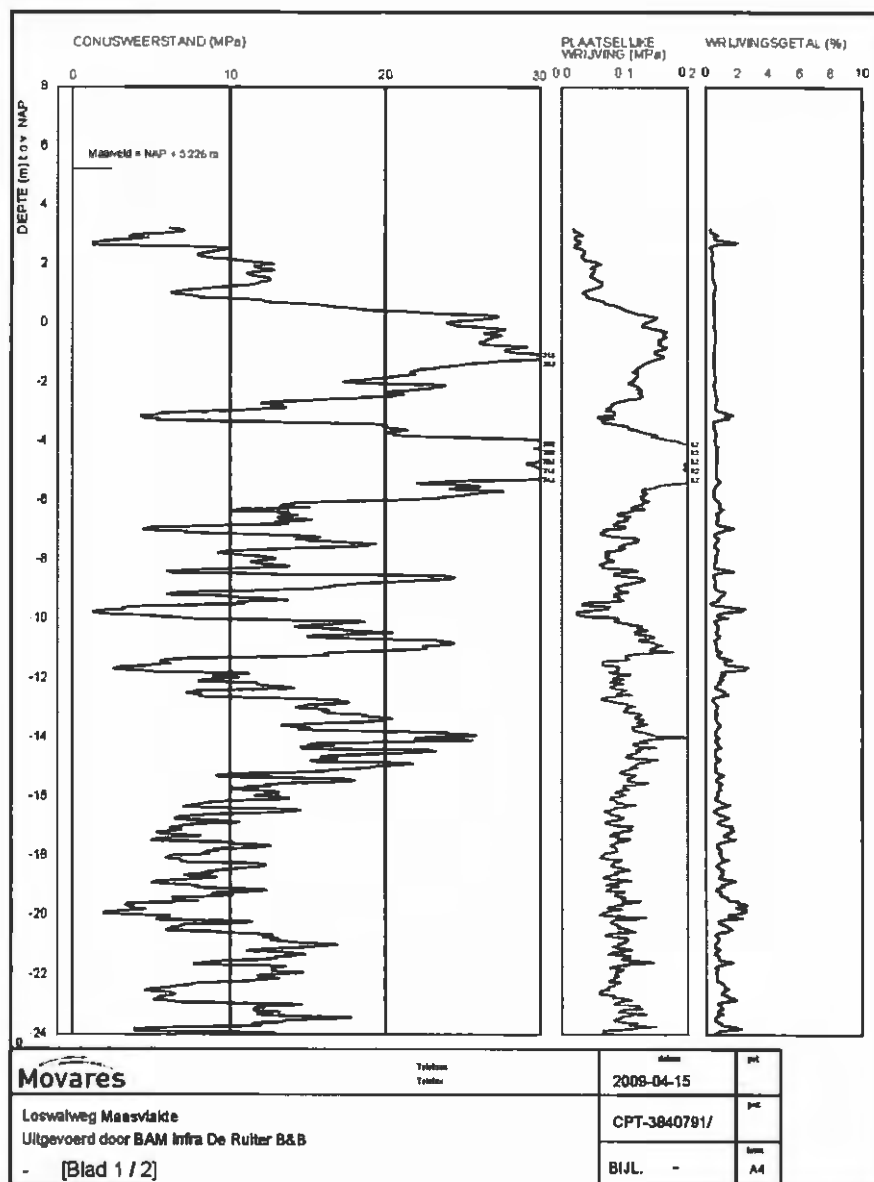
Figuur 13 Sondering op positie 1



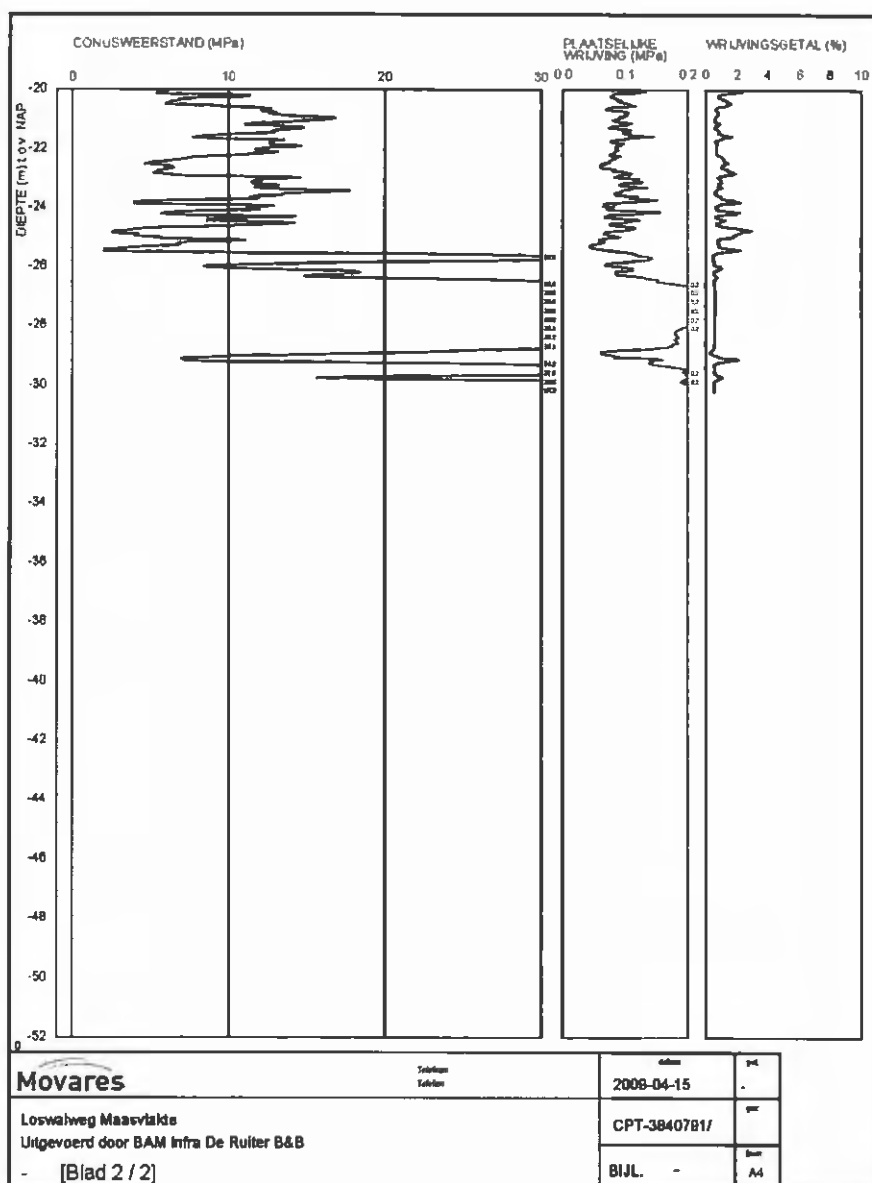
Figuur 14 Sondering op positie 2



Figuur 15 *Sondering op positie 3*



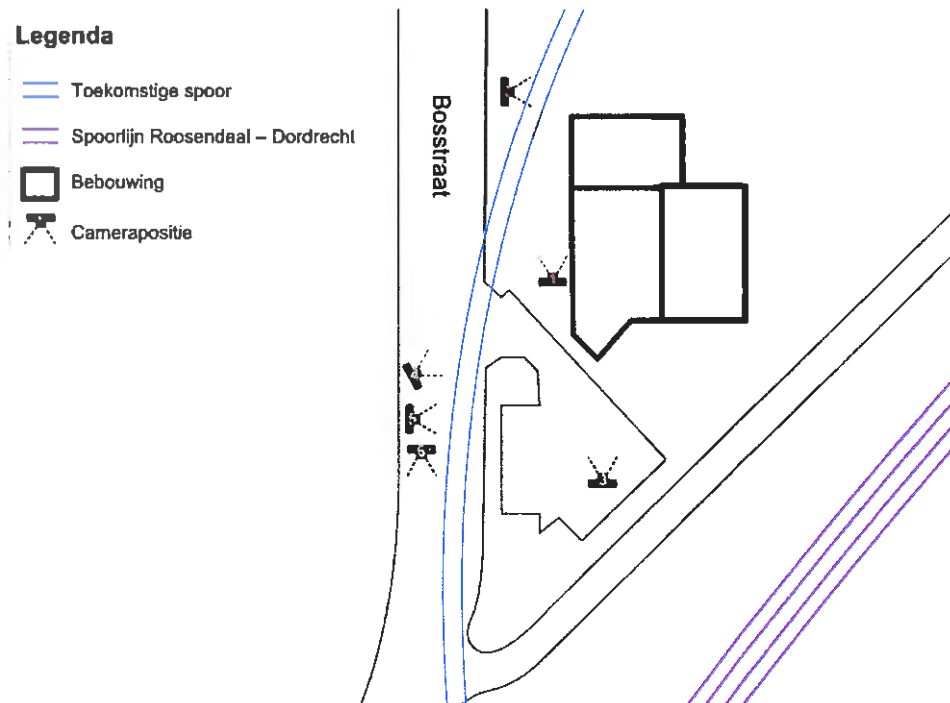
Figuur 16 *Sondering Havenspoorlijn op meetlocatie*



Figuur 17 Sondering Havenspoorlijn op meetlocatie (vervolg).

Bijlage II Locatiefoto's Bosstraat 30-32 Roosendaal

De meetlocatie Bosstraat 30-32 is vastgelegd middels een aantal foto's. De opnameposities van de foto's zijn weergegeven in Figuur 18.



Figuur 18 *Cameraposities*

De bijbehorende foto's zijn weergegeven in Figuur 19 tot en met Figuur 24.



Figuur 19 Foto voorzijde pand, camerapositie 1. Rechts van de steen bij de hoek van het pand (midden foto) ligt opnemer 1_2.



Figuur 20 Foto zijkant pand, camerapositie 2. Links ligt opnemer 2_2.



Figuur 21 Foto zijkant pand aan de spoorzijde, camerapositie 3.



Figuur 22 Foto voorzijde pand, camerapositie 4. De spoorlijn is gepland op de

plaats van de boom met de rode bladeren (links in beeld).



Figuur 23 Foto voorzijde pand, camerapositie 5. De spoorlijn Dordrecht – Roosendaal is rechts in beeld zichtbaar.



Figuur 24 Foto Bosstraat, camerapositie 6. De straat bestaat uit klinkers. Links is de spoorlijn Dordrecht – Roosendaal zichtbaar.

Bijlage III Locatiefoto's Havenspoorlijn

De meetlocatie aan de Havenspoorlijn is vastgelegd middels een aantal foto's, zie Figuur 25 tot en met Figuur 27.



Figuur 25 Havenspoorlijn in westelijke richting. De trein rijdt op het dichtstbijzijnde spoor.



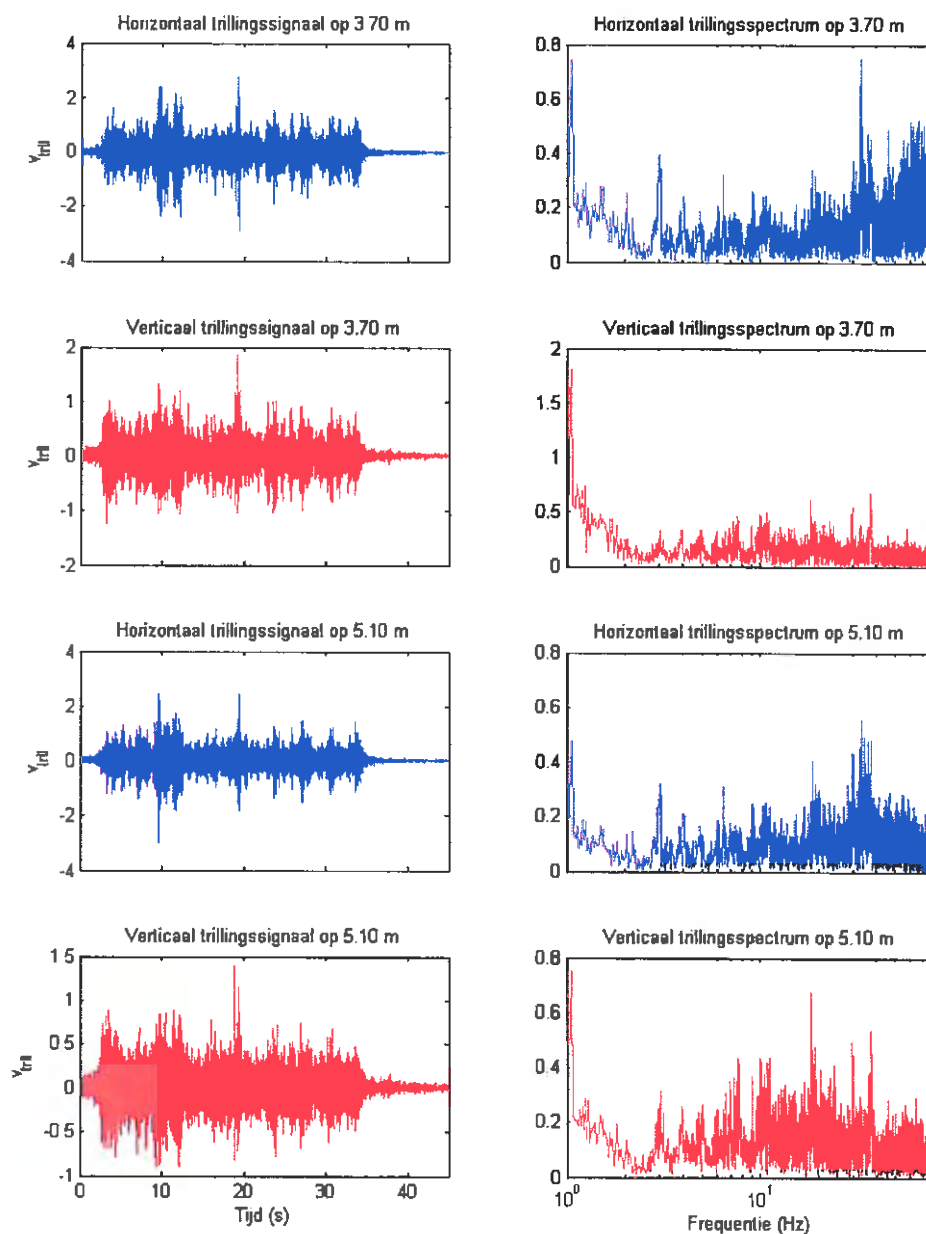
Figuur 26 Havenspoorlijn in oostelijke richting, met op de achtergrond de N15.



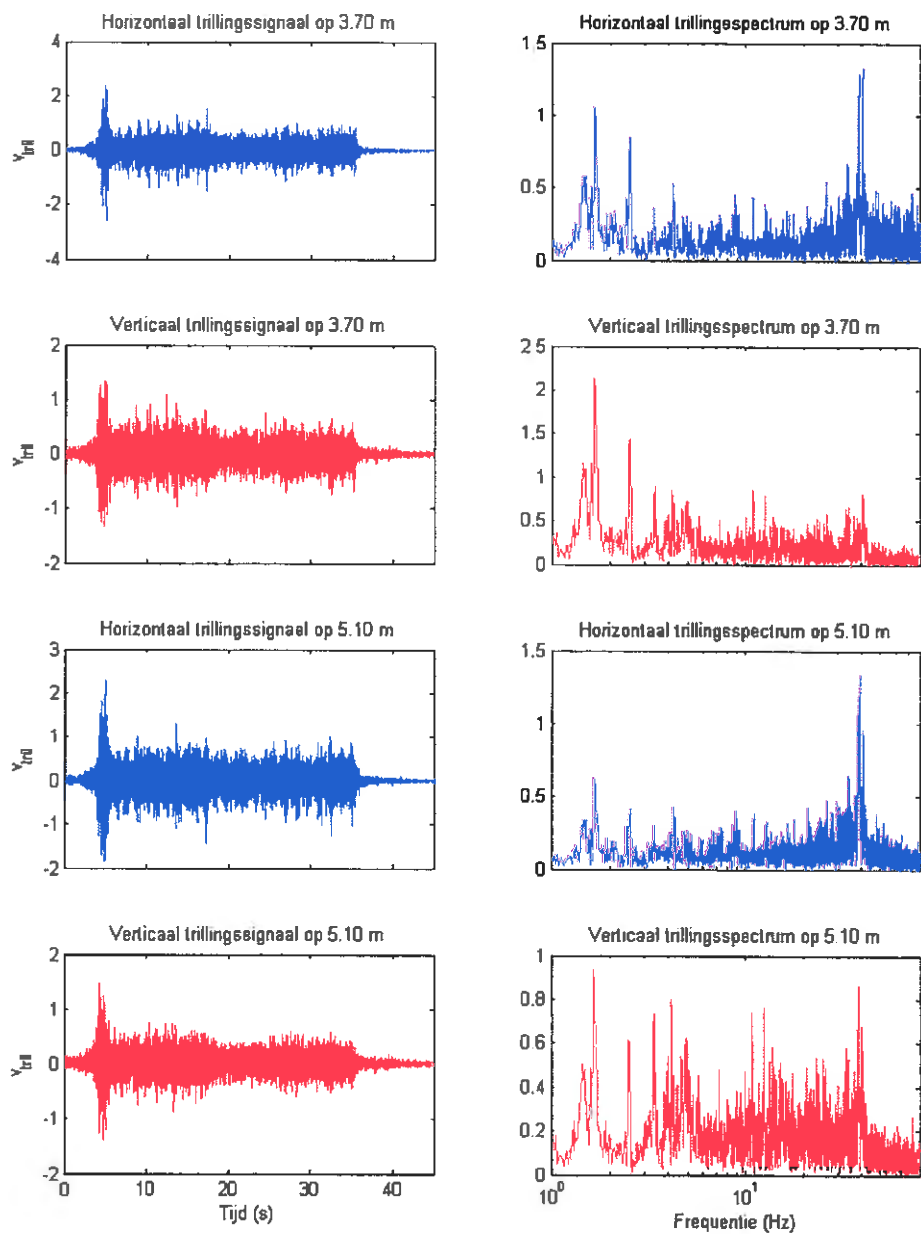
Figuur 27 Opnemerposities

Bijlage IV Voorbeeldsignalen

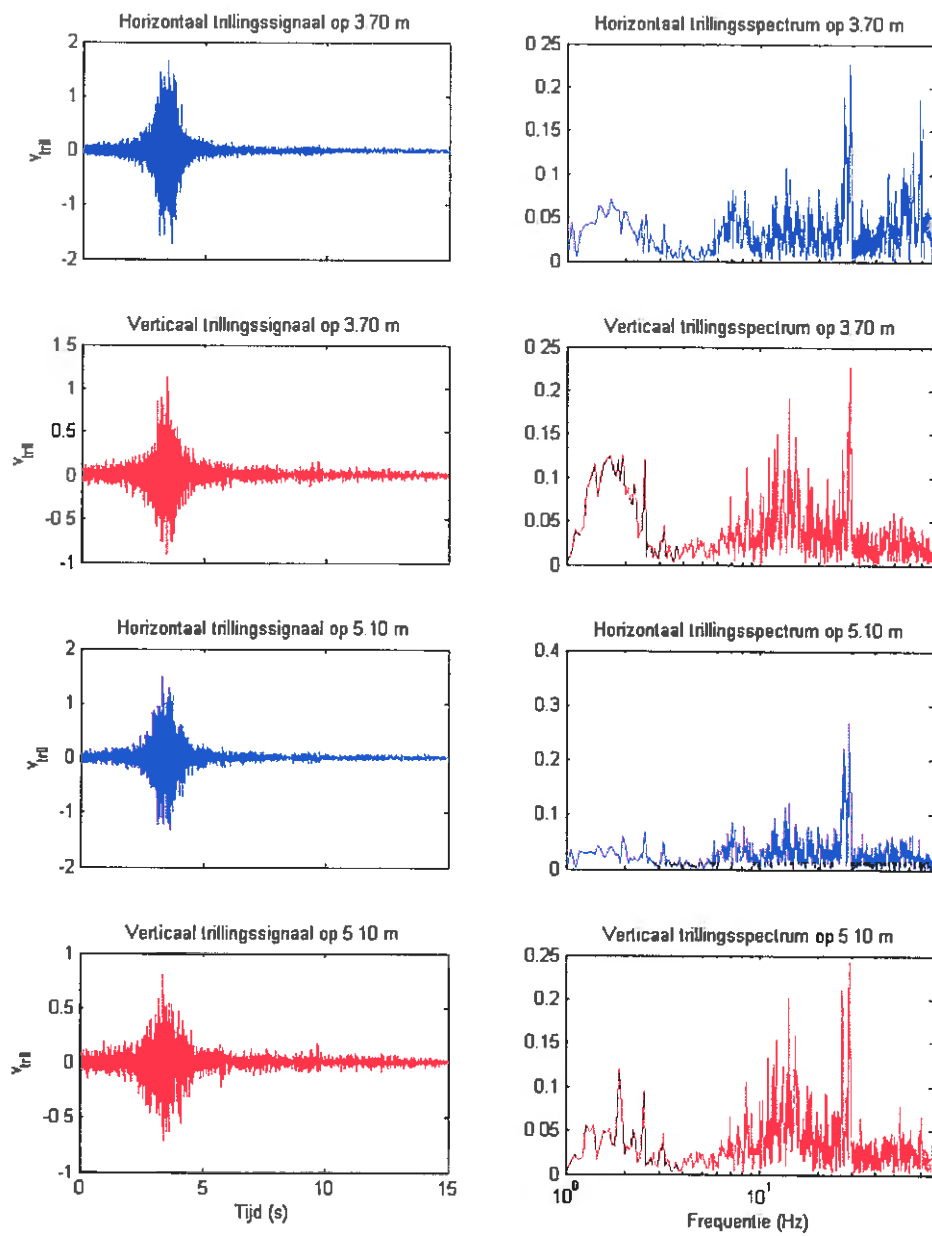
Enkele voorbeeldsignalen van treinen zijn weergegeven in Figuur 28 tot en met Figuur 31. Wat opvalt is dat in de meeste gevallen de locomotief voor de hoogste trillingsniveaus zorgt. Zeker voor minder zware goederen heeft een locomotief de hoogste aslast en daardoor ook het hoogste trillingsniveau.



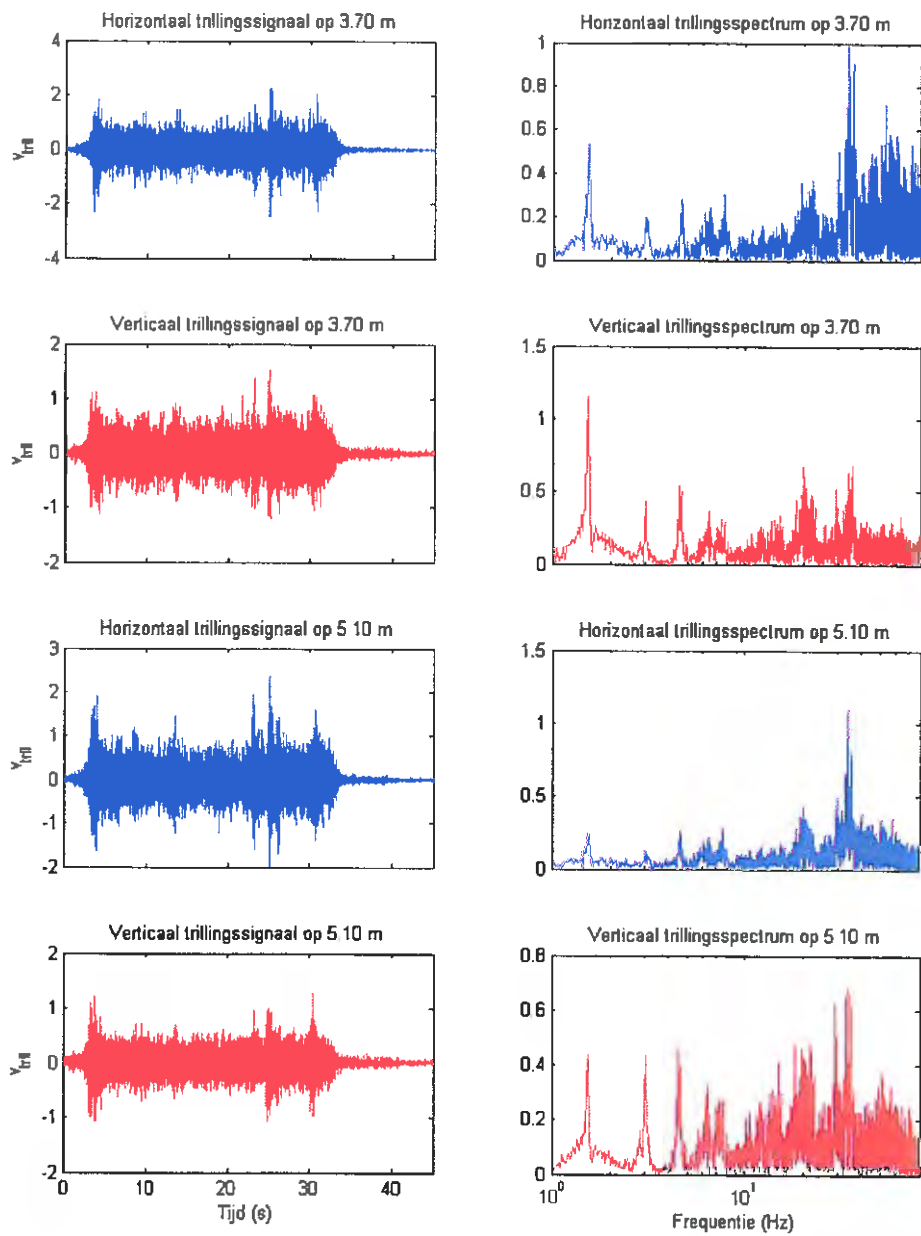
Figuur 28 Containertrein met grote variatie in trillingsniveau door slechte wagons.



Figuur 29 *Containertrein met weinig variatie in trillingsniveau*



Figuur 30 *Losse locomotief*



Figuur 31 *Ertstrein*

