


Trillingsonderzoek gebiedsontwikkeling Noorderhaven



Trillingsonderzoek gebiedsontwikkeling Noorderhaven

referentie ZU189-5/mome/004	projectcode ZU189-5	status definitief
projectleider ing. G.A. Krone	projectdirecteur ir. A.M. Schakel	datum 18 februari 2011

autorisatie goedgekeurd	naam ing. G.A. Krone	paraaf 
-----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------

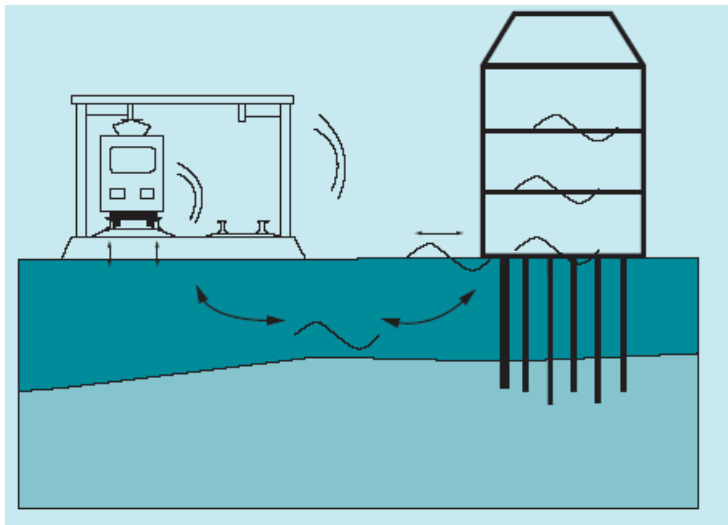
INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
2. TOETSINGSKADER	2
2.1. Wettelijke kaders	2
2.1.1. Schade aan gebouwen	2
2.1.2. Hinder voor personen	2
2.2. Voelbaarheid trillingen en hinderbeleving	3
3. UITGANGSPUNTEN VOOR HET ONDERZOEK	5
3.1. Situatiebeschrijving	5
3.2. Railverkeerintensiteiten	5
3.3. Methode van onderzoek	6
4. PROGNOSE TRILLINGSNIVEAUS	8
4.1. Uitgangspunten trillingsprognose	8
4.2. Resultaat prognose	8
5. TRILLINGSMETINGEN	11
5.1. Uitvoering trillingsmetingen	11
5.2. Resultaten trillingsmetingen	12
5.3. Inpandige trillingsmetingen	13
6. BESPREKING ONDERZOEKSRESULTATEN	16
6.1. Inleiding	16
6.2. Conclusies locatieonderzoek	16
6.3. Gevoeligheidsanalyse	17
7. ADVIES VOOR UITWERKING ONTWIKKELINGSLOCATIES	18
 laatste bladzijde	 19
 bijlagen	 aantal blz.
I Plankaart inrichting Noorderhaven	1
II Gemeten trillingen in het vrije veld	1

1. INLEIDING

Bedrijventerrein De Mars te Zutphen wordt de komende jaren herontwikkeld. In het deelgebied Noorderhaven zullen circa 1100 woningen en kantoren worden gebouwd. Het deelgebied is gelegen juist ten noorden van station Zutphen.

Niet geheel uitgesloten kan worden dat ter plaatse van de bouwlocatie verhoogde trillingen als gevolg van het railverkeer optreden. Trillingen kunnen ontstaan bij het gebruik van het spoor als gevolg van oneffenheden in de baan en verminderde rondheid van de wielen. Deze kunnen zich vervolgens voortplanten door de grond en via de fundatie en overige gebouwconstructies tot in de woonfuncties. In onderstaande afbeelding is een en ander op schematische wijze aangegeven.

afbeelding 1.1. Overdracht trillingen in algemene zin



Voor de beoordeling van deze trillingen bestaat in Nederland geen formeel wettelijk kader.

In opdracht van het programmabureau De Mars is een onderzoek uitgevoerd om meer inzicht te verkrijgen in de trillingsniveaus die ter plaatse kunnen worden verwacht. Op basis daarvan kan worden aangegeven of de kans op schade en/of hinder als gevolg van deze trillingen bij de uitwerking van het bouwplan door de projectontwikkelaar nadere aandacht behoeft. Naast een prognose op basis van ervaringscijfers zijn nabij de toekomstige ontwikkelingslocatie op 27 april 2010 ook indicatieve trillingsmetingen uitgevoerd.

2. TOETSINGSKADER

2.1. Wettelijke kaders

In Nederland bestaat geen wetgeving over hinder of schade door trillingen en het is gezien het project 'Marktwerking, deregulering en wetgevingskwaliteit' van het Ministerie van VROM ook niet te verwachten dat er op afzienbare termijn regelgeving zal worden opgesteld. Om de leemte in de wetgeving op te vullen zijn in 1993 door de Stichting Bouwresearch (SBR) richtlijnen opgesteld voor trillingshinder of schade. In augustus 2002 is door SBR een tweede uitgave gepubliceerd. In de richtlijnen worden aanwijzingen gegeven voor uitvoering van metingen en beoordeling van de meetresultaten. Voor schade aan bouwwerken door trillingen worden grenswaarden gegeven. Voor hinder voor personen worden geen harde grenswaarden genoemd maar streefwaarden. Voor storing aan apparatuur worden geen grenswaarden gegeven omdat deze apparaatspecifiek zijn. Inmiddels is het algemeen gebruikelijk om deze SBR-richtlijnen te gebruiken als beoordelingskader voor schade en of hinder door trillingen.

Hieronder volgt een samenvatting van de richtlijnen voor gebouwschade en hinder voor personen.

2.1.1. Schade aan gebouwen

In de SBR-richtlijn 'Schade aan gebouwen' (deel A) is aangegeven dat de kans op schade aan monumentale panden uitermate klein is indien de maximale snelheid van trillingen op het fundament of vloervelden niet hoger is dan de waarden zoals aangegeven in tabel 2.1. De in de tabel gegeven karakteristieke waarden zijn gegeven inclusief de zogenoemde partiële veiligheidsfactor. Deze veiligheidsfactor is voor herhaald kortdurende trillingen, zoals bij railverkeer, gelijk aan een factor 1,5. De reken- of meetwaarde van de trillingen mag dus een factor 1,5 kleiner zijn.

tabel 2.1. Overzicht karakteristieke waarden (mm/s), inclusief partiële veiligheidsfactor, per categorie gebouw en onderdeel van draagconstructie (te bepalen via een uitgebreide meting)

omschrijving	begane grondniveau			verdiepingsvloer, onderdelen draagconstructie
	1-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz	1-100 Hz
1. Goede staat draagconstructie	20	20-40	40-50	40
2. Metselwerk, goede staat	5	5-15	15-20	15
3. Monumentaal	3	3-8	8-10	8

Uit tabel 2.1 kan worden geconcludeerd dat schade aan gebouwen vrijwel uitgesloten is indien het trillingsniveau op de draagconstructie minder is dan 3 mm/s. Langs spoorwegen komen waarden van 3 mm/s zelden voor op een afstand van 10 meter of meer van de bereden rails.

2.1.2. Hinder voor personen

De SBR-richtlijn 'Hinder voor personen in gebouwen' deel B geeft streefwaarden voor trillingen. Deze streefwaarden voor trillingshinder voor personen in gebouwen zijn afhankelijk van de functie van een ruimte in een gebouw, het tijdstip en de omstandigheden waaronder de trillingen voorkomen.

Voor de aan te houden streefwaarden moet een onderscheid worden gemaakt naar de functie van het gebouw, zoals:

- gezondheidszorg;
- wonen (woningen, woongebouwen, woonwagens, logiesverblijven en logiesgebouwen);
- kantoor en onderwijs;
- bijeenkomstgebouwen (zoals bioscopen, aula's, schouwburgen en kerken);
- kritische werkruimten (zoals bepaalde ruimten in laboratoria en speciale ruimten in gezondheidszorggebouwen).

De aan te houden streefwaarden zijn te onderscheiden in drie beoordelingsperioden: dagperiode (07.00-19.00), avondperiode (19.00-23.00) en nachtperiode (23.00-07.00). De streefwaarden zijn conform de SBR-richtlijnen voor de dag- en avondperiode aan elkaar gelijk. Voor trillingen van railverkeer worden streefwaarden voor bestaande en nieuwe situaties onderscheiden. Tabel 2.2 geeft een overzicht van de streefwaarden voor bestaande en nieuwe situaties. De streefwaarden voor nieuwe situaties zijn in het algemeen een factor 2 kleiner dan voor de bestaande situatie. In de tabellen zijn de streefwaarden voor een bepaalde periode aangegeven door:

- A1 = drempelwaarde, streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} ;
- A2 = maximale waarde, hoogste streefwaarde V_{max} ;
- A3 = streefwaarde voor periode, welke berekend wordt als de drempelwaarde wordt overschreden.

De streefwaarden zijn dimensieloos.

De waarde A3 wordt in de richtlijn aangeduid als de periodewaarde V_{per} en is een gewogen 'gemiddelde' per periode. In deze studie wordt de maximale waarde van deze V_{per} in een van de drie periodes aangeduid als de gemiddelde equivalente etmaalwaarde V_{etm} .

tabel 2.2. Streefwaarden voor railverkeer (bestaande en nieuwe situaties).

gebouwfunctie	dagperiode: 07.00-19.00 uur			nachtperiode: 23.00-07.00 uur		
	avondperiode: 19.00-23.00 uur					
	A1 drempel	A2 maximum	A3 periode	A1 drempel	A2 maximum	A3 periode
BESTAANDE SITUATIES						
Gezondheidszorg						
Wonen	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
Kantoor en onderwijs						
Bijeenkomstgebouwen	0,3	1,2	0,15	0,3	1,2	0,15
Kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-
NIEUWE SITUATIES						
Gezondheidszorg						
Wonen	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Kantoor en onderwijs						
Bijeenkomstgebouwen	0,15	0,6	0,07	0,15	0,6	0,07
Kritische werkruimte	0,1	0,1	-	0,1	0,1	-

Als de drempelwaarde A1 wordt overschreden dan is de kans op trillingshinder aanwezig. V_{max} moet dan getoetst worden aan de waarden A2 en A3. Indien de waarde $V_{max} < A2$ en de waarde $V_{per} < A3$ dan wordt voldaan aan de streefwaarde. Conform de SBR-richtlijn is de kans op trillingshinder klein. Overschrijdt V_{max} de waarde A2 of is de periodewaarde (V_{per}) hoger dan de waarde van A3 dan wordt niet voldaan aan de streefwaarde en is er kans op trillingshinder. Bij wijziging van een situatie kan worden uitgegaan van de bestaande situatie met als voorkeur dat de trillingsniveaus niet toenemen.

2.2. Voelbaarheid trillingen en hinderbeleving

In de literatuur is naast de SBR-richtlijnen ook informatie bekend welke effecten kunnen optreden bij een bepaalde trillingssterkte. In afbeelding 2.1 is aangegeven welke relatie er is tussen de trillingssterkte en de voelbaarheid van trillingen.

afbeelding 2.1. Globale relatie trillingssnelheid en mate van voelbaarheid

Voelbaarheid		
trillingssnelheid v in mm/s	sneldheidsniveau L_v in dB t.o.v. 10^{-9} m/s	voelbaarheid
< 0,1	< 100	niet voelbaar
0,10 - 0,25	100 – 108	nauwelijks voelbaar
0,25 – 0,63	108 – 116	voelbaar
0,63 - 1,60	116 – 124	goed voelbaar
1,60 – 4,00	124 – 132	sterk voelbaar
≥ 4	≥ 132	zeer sterk voelbaar

De voelbaarheid van trillingen zegt nog niet alles over de hinderscore (en de kans op klachten) die in en bepaalde situatie kan worden verwacht. Dit wordt in de praktijk ook door de perceptie van individuele bewoners bepaald. Op basis van literatuurgegevens wordt verwacht dat bij 0,1 mm/s 30 % van de mensen trillingen voelt en dat circa 4 % van de mensen bij trillingsniveau van 0,1 mm/s zich ernstig gehinderd kan voelen. Bij toenemende trillingsniveaus nemen deze percentages toe.

Met betrekking tot de hinderscore en trillingssnelheid als gevolg van railverkeer is niet zo heel veel bekend. Ter informatie is in afbeelding 2.2 een relatie weergegeven die is opgesteld voor trillingen en wegverkeer.

afbeelding 2.2. Trillingssnelheid en hinderscore (wegverkeer, indicatief)

Hinderscore wegverkeer		
maximale trillingssnelheid v_{max} in mm/s	sneldheidsniveau L_v in dB t.o.v. 10^{-9} m/s	hinderscore
< 0,1	< 100	geen hinder
0,1 - 0,2	100 – 106	weinig hinder
0,2 – 0,8	106 – 118	matige hinder
0,8 – 3,2	118 – 130	hinder
$\geq 3,2$	≥ 130	ernstige hinder

3. UITGANGSPUNTEN VOOR HET ONDERZOEK

3.1. Situatiebeschrijving

Het Nieuwbouwplan Noorderhaven bestaat momenteel nog deels uit braakliggend terrein. Ter hoogte van de bestaande voetgangerstunnel onder het station is in de Havenstraat een verkeersdrempel gelegen.

Binnen het ontwikkelingsgebied is de gemeente voornemens woningbouw te realiseren op korte afstand van het station. Een overzicht van de mogelijke nieuwbouwlocaties is eveneens weergegeven in bijlage I.

Het grootste deel van het doorgaande treinverkeer maakt in de huidige situatie gebruik van de meest zuidelijk gelegen sporen, op de grootste afstand tot het Nieuwbouwplan Noorderhaven. De noordelijke sporen zijn voornamelijk in gebruik als rangeersporen en overige activiteiten behorend bij een emplacement. De kortste afstand tussen het doorgaande spoor en de gevels van de woningen binnen de bouwlocatie Nieuwbouwplan Noorderhaven bedraagt circa 30 meter. In de toekomstige situatie zal meer gebruik worden gemaakt van de sporen 4 en 5¹. Dit heeft tot gevolg dat de kortste afstand tussen het doorgaand spoor en de woningen wordt gereduceerd tot circa 18 meter.

De nieuwbouw is volgens de Richtlijn SBR-A in te delen in ofwel:

- categorie 1, zijnde een in goede staat verkerende draagconstructie uit hout of beton, ofwel;
- categorie 2, zijnde een in goede staat verkerende draagconstructie uit metselwerk.

3.2. Railverkeerintensiteiten

Voor de berekeningen van V_{per} is met name het aantal treinbewegingen van belang. In tabel 3.2 is een inschatting gemaakt van het aantal treinpassages per etmaalperiode (als jaargemiddelde). Deze inschatting is gebaseerd op een vervoersprognose 2020 van ProRail², zoals vermeld in tabel 3.1.

tabel 3.1a. Vervoersprognose 2020 ten noorden van station Zutphen (trajectcode 152, intensiteiten in bakken/uur)

periode		categorie 1	categorie 2	categorie 4	categorie 6	categorie 8
dagperiode	07.00 uur - 19.00 uur	1,28	0,23	1,16	0,07	60,44
avondperiode	19.00 uur - 23.00 uur	1,84	1,49	0,95	0,06	50,51
nachtperiode	23.00 uur - 07.00 uur	0,39	2,73	3,04	0,03	14,26

tabel 3.1b. Vervoersprognose 2020 ten zuiden van station Zutphen (trajectcode 153, intensiteiten in bakken/uur)

periode		categorie 1	categorie 2	categorie 4	categorie 6	categorie 8
dagperiode	07.00 uur - 19.00 uur	26,75	0,07	1,00	15,66	37,22
avondperiode	19.00 uur - 23.00 uur	18,83	0,10	1,12	13,03	35,35
nachtperiode	23.00 uur - 07.00 uur	5,32	0,46	2,15	1,68	7,84

¹ Volgens de verwachting van de gemeente Zutphen wordt bij invoering van PHS spoor 4 gebruikt voor doorgaand goederenverkeer en wordt spoor 5 gebruikt voor reizigerstreinen inclusief halteren.

² Volgens opgave van ProRail wordt de toekomstige intensiteit bepaald door het gemiddelde uit 2006, 2007 en 2008 te vermeerderen met 41,2 %. Omdat de gegevens over 2008 ontbreken, is dit peiljaar niet meegenomen in de berekeningen.

In het Reken- en meetvoorschrift geluidhinder zijn de in tabel 3.1 genoemde categorieën als volgt omschreven:

- categorie 1: blokgeremd reizigersmaterieel; materieel '64;
- categorie 2: schijf- en blokgeremd reizigersmaterieel, voornamelijk intercitymaterieel;
- categorie 4: goederenmaterieel met gietijzeren blokremmen;
- categorie 6: schijfgeremd dieselmaterieel; Wadloper en Buffel;
- categorie 8: schijfgeremd reizigersmaterieel, onder andere intercitymaterieel.

Gebaseerd op tabel 3.1 een vast aantal bakken per trein kan een inschatting worden gemaakt van het aantal treinen per periode per baanvak.

tabel 3.2. Aantallen treinen per etmaalperiode in 2020 (jaargemiddelde)

	dagperiode	avondperiode	nachtperiode
noordelijk baanvak (152):			
- goederentreinen	ca. 0	ca. 0	ca. 1
- reizigerstreinen	ca. 77	ca. 23	ca. 15
zuidelijk baanvak (153):			
- goederentreinen	ca. 0	ca. 0	ca. 1
- reizigerstreinen	ca. 188	ca. 51	ca. 21

Opmerking: In de huidige situatie is het aantal goederentrein passages heel beperkt. In de vervoersprognose is er voorsnog vanuit gegaan dat het aantal goederentreinpassages in de toekomst op het traject Arnhem - Deventer v.v. niet in een relevante mate zal toenemen³. In paragraaf 6.3. (Gevoelighedsanalyse) wordt nader ingegaan op de effecten die kunnen worden verwacht in het geval het aantal (zware) goederentreinen in de toekomst verder zou toenemen,

Vrijwel alle reizigerstreinen halteren bij het station Zutphen. Daarom is de snelheid van alle reizigerstreinen nu en in de toekomst in de directe omgeving van het station Zutphen beperkt.

Op het emplacement Zutphen vinden rangeerbewegingen plaats. In het algemeen is de rijnsnelheid tijdens het rangeren ook beperkt.

3.3. Methode van onderzoek

Voor een eerste inschatting van de kans op schade en/of hinder wordt is een beperkt onderzoek uitgevoerd, met de volgende aanpak:

1. predictie op basis van ervaringscijfers;
2. nadere toetsing op basis van metingen ter plekke en in de directe omgeving.

ad 1.

Witteveen+Bos heeft de beschikking over een meetbestand waarin langs verschillende spoorwegtrajecten op verschillende afstanden en bij verschillende opbouw van de grondlagen de V_{max} is bepaald middels metingen. Op basis van dat bestand wordt een eerste voorspelling gedaan van de V_{max} in een bepaald gebied en op een bepaalde afstand. Op basis van ervaringscijfers kan worden aangegeven in welke mate in een concreet gebouw demping dan/wel opslinging is te verwachten. Op basis van de aantallen treinpassages kan vervolgens ook een eerste inschatting van de waarde V_{eff} worden gedaan. Hiermee wordt een eerste inschatting verkregen in welke mate zich problemen met trillingen in de gebruiksfase kunnen voordoen.

³ In het kader van alternatieven voor de Noord Oostelijke Verbinding zijn er in het verleden scenario's ontwikkeld van maximaal 21 goederentreinen in de dagperiode tot in totaal circa 90 goederentreinen over de gehele etmaalperiode. De Noord Oostelijke Verbinding wordt niet gerealiseerd. In de Ministerraad is recent het Programma Hoogfrequent Spoor vastgesteld. In dat kader zijn echter nog geen concrete vervoersaantallen bekend.

ad 2.

Een verdere verbetering van de effectvoorspelling is mogelijk door ter plaatse enkele trillingsmetingen uit te voeren. Hierbij zijn gedurende 1 dagperiode bemande trillingsmetingen uitgevoerd, waarbij trillingsniveaus van passages van reizigersmaterieel is gemeten. Daarmee is meer inzicht verkregen in de lokale effecten. Daarnaast is gedurende de aansluitende avond- en nachtperiode gemeten in het nieuwe gebouw van het ROC direct aan de zuidzijde van het station, om inzicht te krijgen in de inpandige trillingen op korte afstand van het doorgaande spoor.

4. PROGNOSE TRILLINGSNIVEAUS

4.1. Uitgangspunten trillingsprognose

De beoogde nieuwbouw bevindt zich op circa 18 meter afstand tot het buitenste spoor. De afstand tot de meest gebruikte sporen bedraagt circa 28 meter. Uitgangspunt voor de toekomstige situatie is dat de afstand tussen bereden spoor en nieuwbouwlocatie 18 meter of meer bedraagt.

afbeelding 4.1. Overzicht locatie (toekomstige situatie)



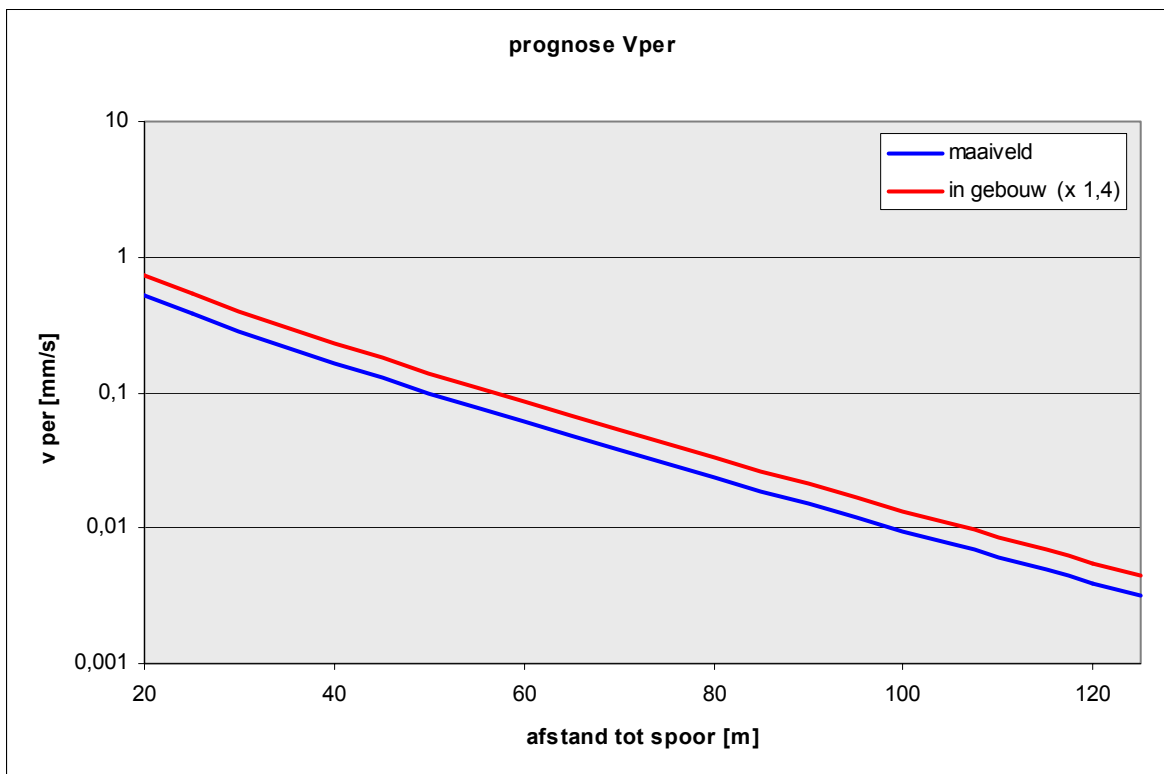
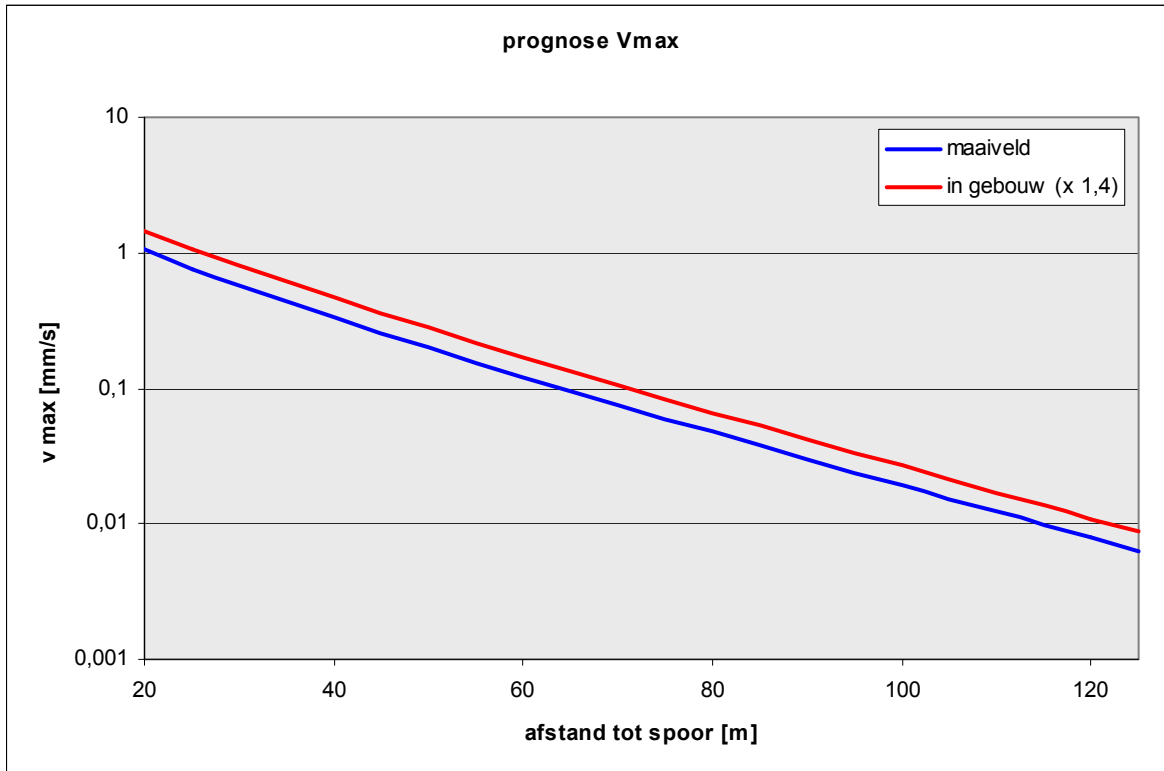
Voor deze situatie is gebruik gemaakt van parameters die op basis van metingen elders zijn vastgesteld voor een vergelijkbare situatie. Dit betreft een bodem met voornamelijk zandgrond en treinpassages in de omgeving van een station waarbij treinen gemiddeld met een lage snelheid rijden.

Voor de treinpassages is uitgegaan van de aantallen en type treinen en verdeling over de dag zoals vastgelegd in tabel 3.2. Overdag en 's avonds (maar ook in het begin van de nachtperiode en de vroege ochtend is er veel reizigersverkeer. Daarnaast is er in de toekomstige situatie sprake van goederentreinpassages in zowel de dag, avond-, als nachtperiode.

4.2. Resultaat prognose

Voor de prognose is een berekening gemaakt van het te verwachten maximale trillingsniveau (V_{max}) en de trillingssterkte voor de beoordelingsperiode (V_{per}). V_{per} is berekend op basis van bijdragen van beide sporen. Afbeelding 4.2 geeft de resultaten van de prognose.

afbeelding 4.2. Overzicht resultaten prognose, V_{\max} (boven) en V_{per} (onder)



Uit de prognose blijkt dat de trillingen van de trein ter hoogte van de toekomstige nieuwbouw uitkomen op maximaal circa $V_{\max} = 1,04$ mm/s.

Op de vloeren in een gebouw dichtbij het doorgaande spoor kan dan een waarde verwacht worden van $V_{\max} = 1,46$ mm/s.

De periodewaarde V_{per} (op basis van de toekomstige intensiteit) bedraagt in een gebouw dichtbij het doorgaande spoor circa 0,73 mm/s.

5. TRILLINGSMETINGEN

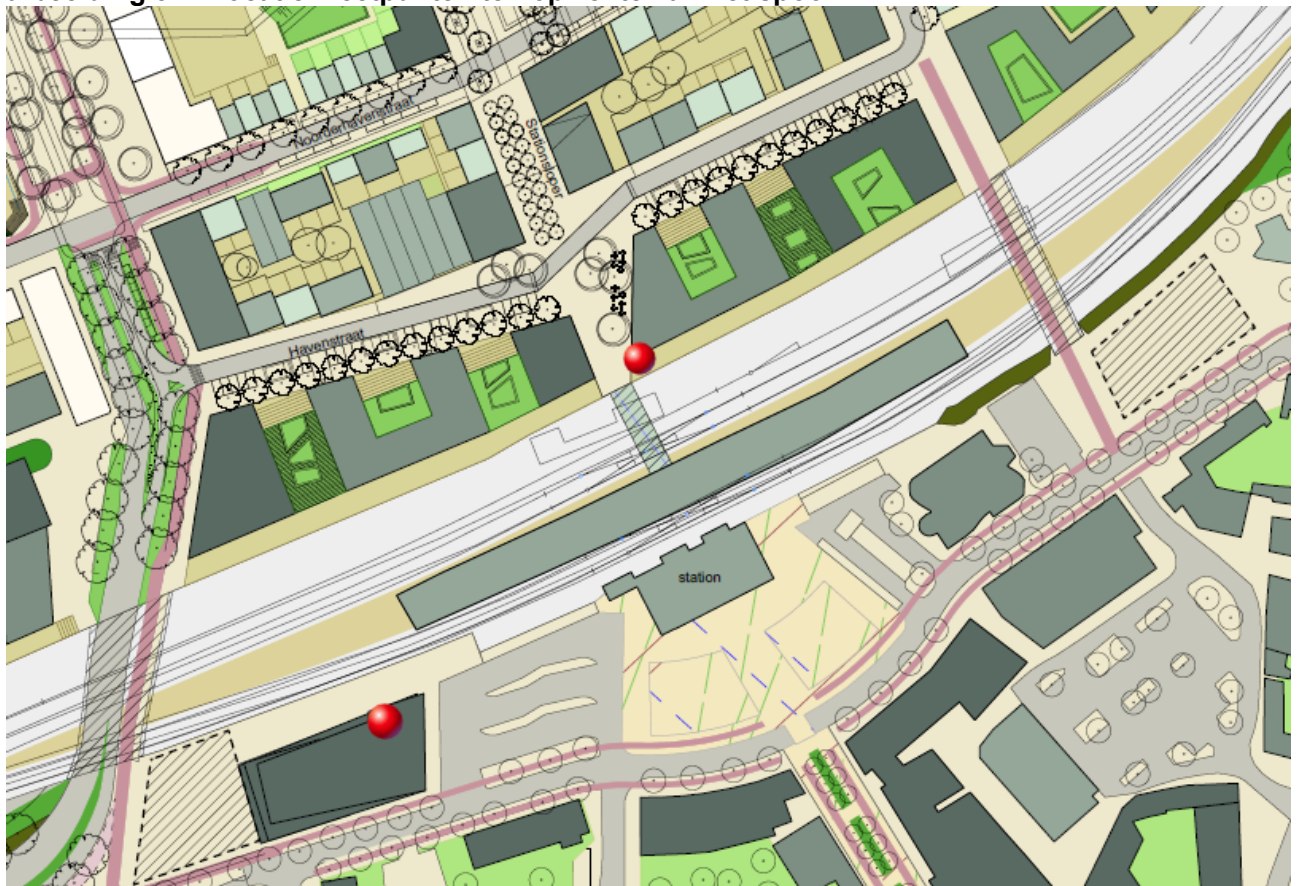
5.1. Uitvoering trillingsmetingen

Op 27 april 2010 zijn door Witteveen+Bos trillingsmetingen uitgevoerd ter plaatse van de beoogde ontwikkelingslocatie met behulp van twee systemen type Profound VM, elk uitgerust met een driedimensionale sensor. In afbeelding 5.1 is de ligging van de meetpunten (rode stippen) ten opzichte van het spoor weergegeven.

Tussen 08.30 uur en 16.00 uur zijn aan de noordzijde van het spoor **bemande** metingen uitgevoerd ter onderbouwing van de kans op schade aan de geplande nieuwbouw. Eén sensor is bevestigd op een grondpen op circa 40 meter afstand ten noorden van de buitenste spoorstaaf.

In de avond- en nachtperiode zijn **onbemande** metingen uitgevoerd in het gebouw van nieuwe ROC Avantis aan de zuidzijde van het doorgaande spoor. Het (nieuwe) gebouw ligt op 11 meter uit het hart van spoor 5.

afbeelding 5.1. Locatie meetpunten ten opzichte van het spoor



Tijdens de bemande metingen zijn alleen passages van reizigersmaterieel en enkele rangeerbewegingen gemeten. Er zijn geen passages van goederentreinen gemeten. De meeste treinen maken gebruik van de sporen aan weerszijden van het hoofdperron van station Zutphen, waarvan spoor 3 het meest nabijgelegen is op circa 40 meter afstand tot het eerste meetpunt. Spoor 3 wordt hoofdzakelijk gebruikt voor het intercityverkeer van Deventer naar Arnhem en vice versa.

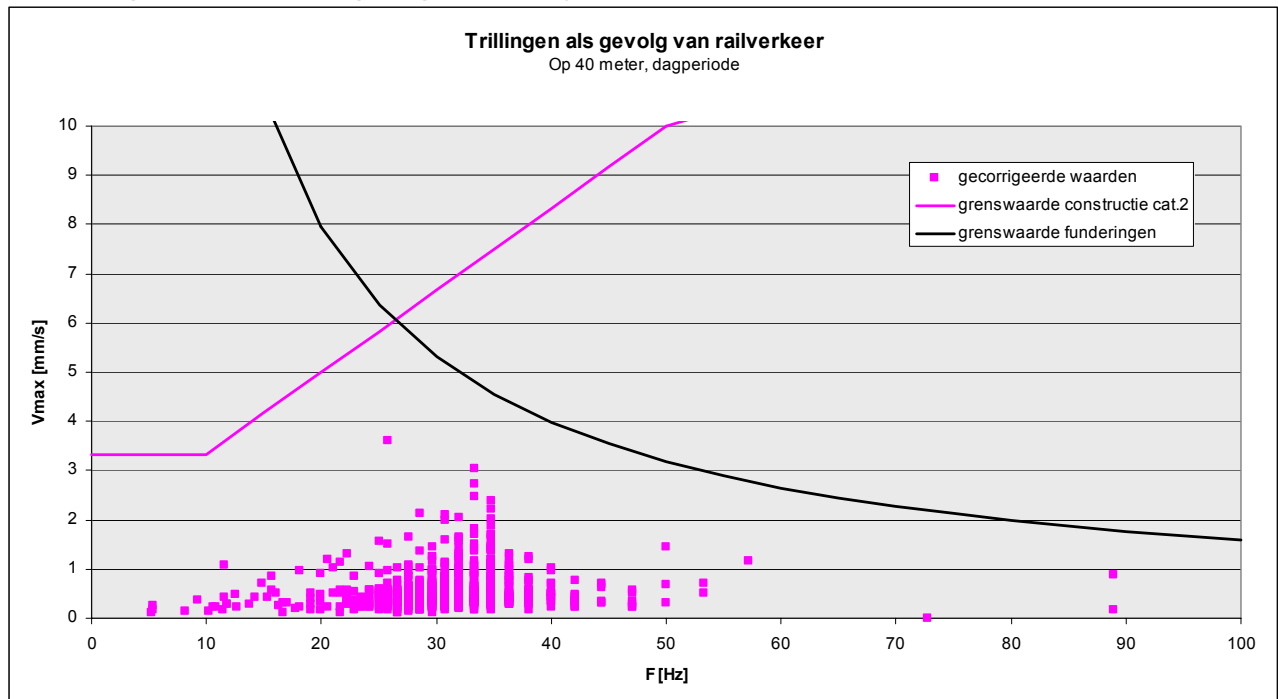
5.2. Resultaten trillingsmetingen

Uit de metingen volgt een maximale trillingssnelheid van 1,8 mm/s op 40 meter uit het buitenste spoor. De meeste passages geven echter een significant lager trillingsniveau. Bovendien is een grote spreiding te zien met betrekking tot de dominante frequentie.

De gemeten trillingssnelheden (V_{max}) met betrekking tot de kans op schade zijn voor de beoordeling aan de SBR-richtlijnen deel A (schade) vermenigvuldigd met een correctiefactor 2 vanwege het zeer indicatieve karakter van de metingen.

In afbeelding 5.2 zijn de hoogste gecorrigeerde meetwaarden in een grafiek uitgezet tegen de toetsingscriteria voor trillingen met een herhaald kortdurend of continu karakter en gebouwen van categorie 2. De grenswaarde voor gebouwen van categorie 1 is in het gehele bereik groter dan 10 mm/s en is derhalve niet in de grafiek weergegeven. In bijlage II is de grafiek in groter formaat weergegeven.

afbeelding 5.2. Beoordeling volgens richtlijn SBR deel A (schade)



Op een meetafstand van 40 meter wordt een V_{max} vastgesteld van 3,6 mm/s bij een dominante frequentie van 25 Hz. Dit is lager dan de grenswaarde voor gebouwen in categorie 2 (gebouwen uit metselwerk, in goede staat verkerend) bij herhaald kortdurende trillingen.

Uit afbeelding 5.2 kan worden afgeleid dat verreweg de meeste gemeten en gecorrigeerde trillingsniveaus tijdens treinpassages op 40 m afstand lager zijn dan 2 mm/s, een aantal metingen komt boven de 2 mm/s. De gemeten waarden wijken af van de in afbeelding 4.2 gegeven prognose. Dit is deels te verklaren door de toegepaste correctiefactor vanwege het indicatieve karakter van de metingen. Anderzijds kunnen onbekende factoren in de overdracht (bodemdemping dan wel resonantie) zorgen voor een afwijking.

Uitgaande van de gemeten maximale trillingssnelheden en het toekomstig aantal treinpassages zoals vermeld in tabel 3.2, wordt voor V_{per} op 40 meter afstand een waarde van circa 0,09 mm/s in de dagperiode berekend. Op grond hiervan kan hinder als gevolg van trillingen veroorzaakt door treinpassages niet worden uitgesloten.

Opgemerkt moet nog worden dat bij bovenstaande analyse geen rekening is gehouden met opslingering (resonantie) die zich onder bepaalde voorwaarden in gebouwen kan voordoen.

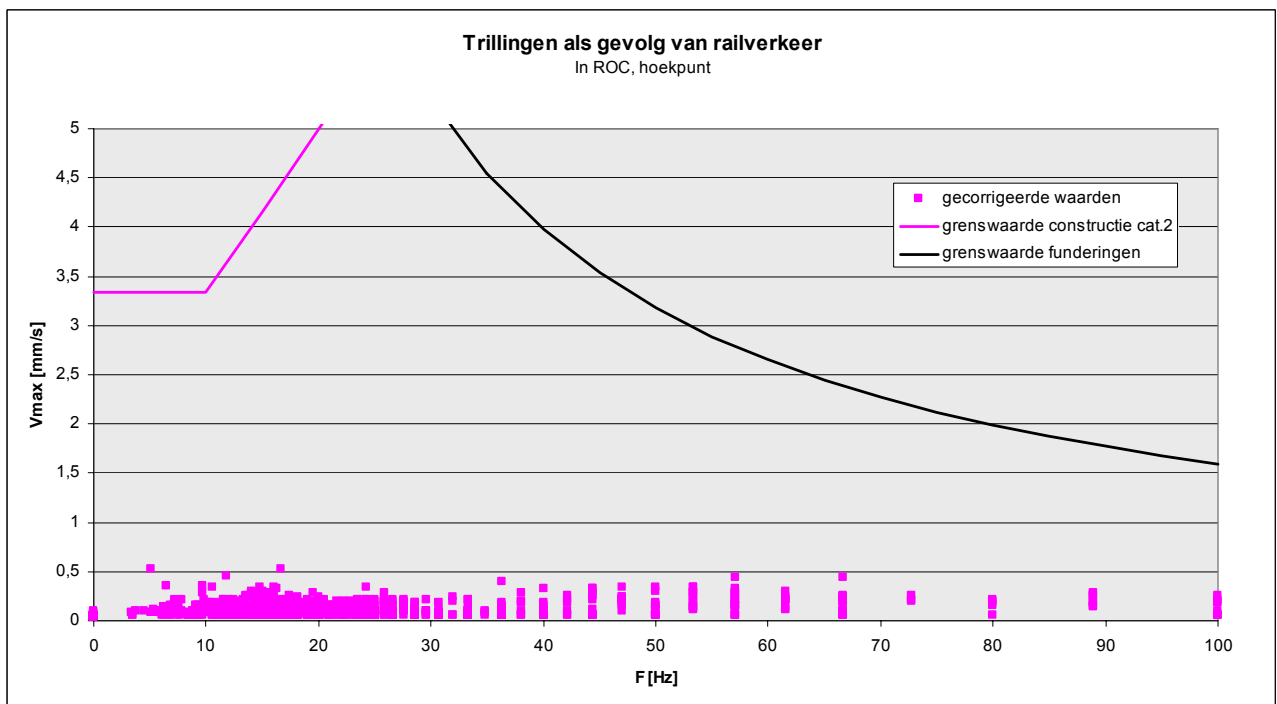
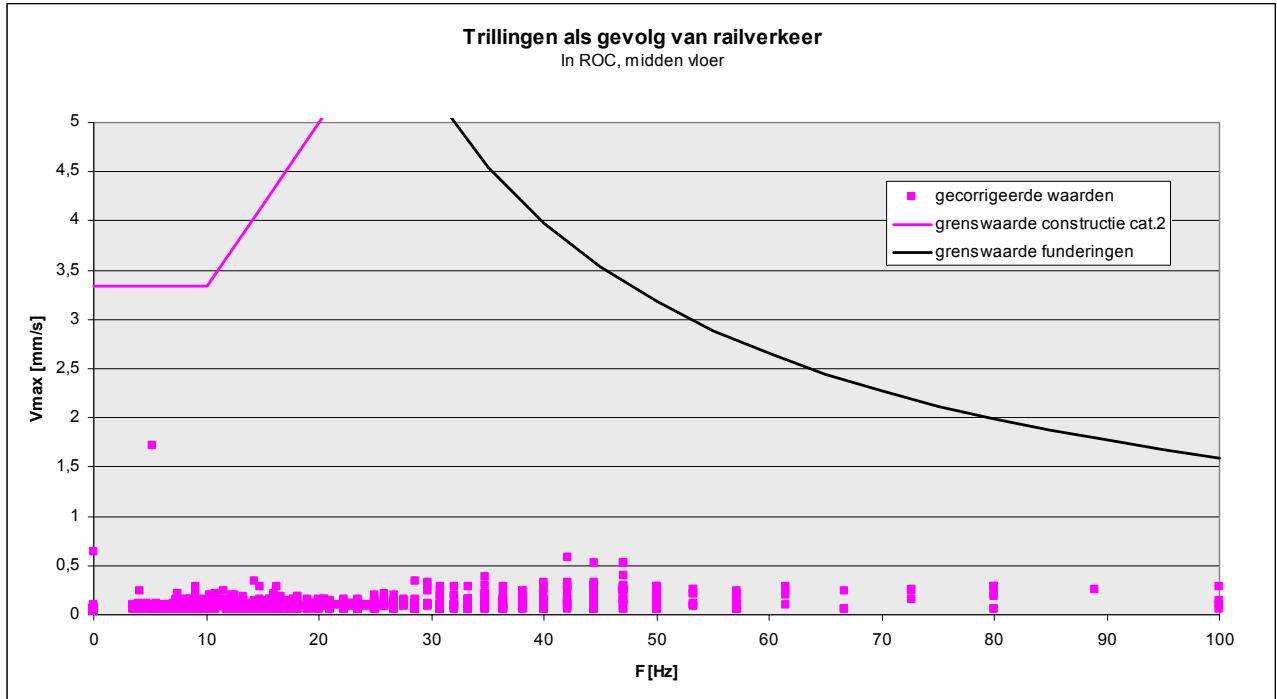
5.3. Inpandige trillingsmetingen

Ter indicatie zijn in de avondperiode van 27 april en de nachtperiode van 27 april op 28 april onbemande metingen uitgevoerd in het nieuwe gebouw van ROC Avantis aan het Stationsplein, ten zuiden van het spoor. Het gebouw is gelegen op 11 meter uit het buitenste spoor. De draagconstructie bestaat uit beton. Niet bekend is of bij de bouw van dit nieuwe complex specifieke maatregelen zijn getroffen ter beperking van trillingsniveaus in het gebouw.

De sensoren zijn geplaatst in een afgesloten ruimte op de eerste etage aan de zijde van het spoor. Eén sensor is centraal op het vloeroppervlak geplaatst, de andere sensor op 30 centimeter uit de buitengevel. Omdat het onbemande metingen betreft is niet geregistreerd welke treinpassages en/of andere activiteiten maatgevend zijn voor de gemeten trillingsniveaus.

In afbeelding 5.3 zijn de gemeten maximale trillingssnelheden V_{\max} weergegeven.

afbeelding 5.3. Hoogste gemeten trillingsnelheden



Uit afbeelding 5.3 blijkt dat vrijwel alle gemeten waarden kleiner zijn dan 0,5 mm/s, met een enkele uitschieter naar circa 1,7 mm/s. V_{per} wordt zowel in de avondperiode als in de nachtperiode uit metingen bepaald op minder dan 0,01 mm/s.

Uitgaande van de gemeten maximale trillingsnelheden en het toekomstig aantal treinpassages zoals vermeld in tabel 3.2, wordt de waarde voor V_{per} op een afstand van 40 meter tot het spoor berekend als in tabel 5.1 en 5.2.

tabel 5.1. V_{per} als gevolg van reizigersmaterieel (passagetijd 30s per trein)

	dagperiode	avondperiode	nachtperiode
V_{max} [mm/s]	0,58	0,58	0,58
aantal treinen	265	74	36
totale passagetijd T_b [s]	7950	2220	1080
periodeduur T_0 [s]	43200	14400	28800
$V_{per} = V_{max} \times (T_b/T_0)^{0,5}$ [mm/s]	0,24	0,23	0,11
V_{per} in gebouw (x 1,4) [mms]	0,35	0,31	0,16

tabel 5.2. V_{per} als gevolg van goederenmaterieel (passagetijd 60s per trein)

	dagperiode	avondperiode	nachtperiode
V_{max} [mm/s]	0,58	0,58	0,58
aantal treinen	1	1	1
totale passagetijd T_b [s]	60	60	60
periodeduur T_0 [s]	43200	14400	28800
$V_{per} = V_{max} \times (T_b/T_0)^{0,5}$ [mm/s]	0,02	0,04	0,03
V_{per} in gebouw (x 1,4) [mms]	0,03	0,05	0,04

Op grond hiervan kan hinder als gevolg van trillingen veroorzaakt door treinpassages niet worden uitgesloten. Bij bebouwing op kortere afstand tot het spoor, in het geval van Noorderhaven circa 20 meter, zal de berekende waarde nog verder toenemen. Opgemerkt moet nog worden dat bij bovenstaande analyse geen rekening is gehouden met opslinging (resonantie) die zich onder bepaalde voorwaarden in gebouwen kan voordoen.

6. BESPREKING ONDERZOEKSRESULTATEN

6.1. Inleiding

Op basis van de uitgevoerde metingen en berekeningen wordt in paragraaf 6.2 aangegeven of er voor de nieuwbouwlocatie Noorderhaven kans is op schade en/of hinder als gevolg van passerende treinen. Daarbij wordt uitgegaan van het toekomstige spoorgebruik zoals dat is samengevat in paragraaf 3.2.

In paragraaf 6.2. is een beschouwing gegeven van de kans op schade en/of hinder indien in de toekomst het aantal goederentreinpassages in een belangrijke mate zou toenemen. Met betrekking tot deze toename heeft nog geen formele besluitvorming plaatsgevonden, maar in het kader van het project NaNov is door ProRail in mei 2003 een verkennend onderzoek uitgevoerd⁴. In paragraaf 6.3 is een beschouwing gegeven voor de situatie waarbij het aantal goederentreinen de eerstkomende jaren in een belangrijke mate zal toenemen.

6.2. Conclusies locatieonderzoek

Op basis van het prognoseonderzoek blijkt dat de maximale trillingsniveaus als gevolg van treinpassages op 40 m afstand van de spoorbaan niet hoger zullen zijn dan circa 1 mm/s. De maximale niveaus zijn kleiner dan de grenswaarde voor gebouwen van categorie 2 uit de SBR-richtlijn 'Schade aan gebouwen', deel A. Dat betekent dat als gevolg van de passage van treinen geen bouwkundige schade aan een gebouw is te verwachten.

De kans op bouwkundige schade als gevolg van trillingen kan ook op basis van de uitgevoerde metingen zeer klein worden geacht. De gemeten waarden zijn in de orde van grootte van de richtwaarde voor constructies uit metselwerk in goede staat (categorie 2). Voor de nieuwbouw mag worden verondersteld dat deze in goede staat zal verkeren, waarmee kan worden getoetst aan de richtwaarden voor categorie 1. Hieraan wordt ruimschoots voldaan.

Op basis van het onderzoek kan worden gesteld dat voor het plangebied Noorderhaven in de gebruiksfase geen schade aan de gebouwen is te verwachten maar de voelbaarheid van trillingen en eventuele hinder kan niet in zijn geheel worden uitgesloten.

Wanneer de geprognosticeerde waarde op 40 meter wordt vergeleken met de streefwaarden voor trillingen van railverkeer in nieuwe situaties (SBR-richtlijn 'Hinder voor personen in gebouwen, deel B') dan blijkt dat er rekening moet worden gehouden met een overschrijding van de onderste streefwaarden A1.

Op basis van deze prognose is het gewenst dat bij verdere uitwerking van de plannen de projectontwikkelaars te wijzen op de kans op hinder van trillingen. Er is geen wettelijke verplichting voor nader onderzoek of aanvullende maatregelen. In hoofdstuk 7 is een advies opgenomen voor onderzoek en uitwerking maatregelen.

Indien op korte afstand van het spoor wordt gebouwd is het gewenst om de lokale situatie nauwkeuriger in beeld te brengen met uitgebreide trillingsmetingen, waarbij de metingen zich richten op de exacte bouwlocatie en de aanwezigheid van wissels en dergelijke alsmede de gebruiksfunctie van het gebouw (kantoor, woning of anderszins). De gemeente kan een onderzoeksverplichting op nemen in het bestemmingsplan.

In de ontwerpfase kan dan zo nodig rekening worden gehouden met een trillingsreducerende fundatie in combinatie met een nader te bepalen bouwconstructie. Gezien de nu berekende niveaus moet het

⁴ Rapport Trillingsonderzoek vastlegging nulsituatie Elst - Oldenzaal, AEA-Technology in opdracht van ProRail (mei, 2003). De in dat rapport genoemde aantallen zijn gehanteerd voor de gevoeligheidsanalyse. In de Ministerraad is recent het Programma Hoogfrequent Spoor (PHS) vastgesteld. In dat kader zijn echter nog geen concrete vervoersaantallen bekend.

goed mogelijk zijn om de trillingen zodanig te reduceren dat voldaan kan worden aan de streefwaarden conform de SBR-richtlijn ook als wordt gebouwd op zeer korte afstand van het spoor.

6.3. Gevoeligheidsanalyse

In het kader van de aanleg van de Betuweroute en het vervallen van de Noord Oostelijke Verbinding (NOV) zijn er vanuit vervoerskundige overwegingen plannen om het goederenvervoer op de spoorlijn Arnhem - Deventer v.v. te intensiveren.

De prognoses gaan uit van maximaal 21 goederentreinen alleen in de dagperiode tot maximaal 90 goederentreinen in een etmaalperiode. Formele besluitvorming heeft nog niet plaatsgevonden.

ProRail heeft in 2003 onderzoek laten uitvoeren naar de trillingsniveaus in de huidige situatie en de effecten van aanvullende goederentreinen. Daarbij is ook gekeken naar een locatie in Zutphen (woningen aan de Nieuwstad, die op zeer korte afstand van het doorgaande spoor zijn gelegen. Daarbij zijn (op meerdere locaties buiten Zutphen) ook goederentreinpassages gemeten.

Op basis van genoemd onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de trillingsniveaus van passerende goederentreinen vertonen evenals reizigerstreinen een behoorlijke spreiding;
- zwaardere goederentreinen geven statisch gezien hogere maximale trillingsniveaus dan lichtere treinen;
- een toename van V_{max} treedt vooral op korte afstanden van het spoor op, maar niveaus waarbij er sprake is van schade zullen alleen optreden op zeer korte afstand van een spoor (denk aan minder dan 10 meter);
- de voelbaarheid van de trillingen zal zich in een ruimer gebied manifesteren;
- op basis van meer treinen (vooral ook meer treinen in de nachtperiode) zal ook de gewogen waarde (V_{per}) toenemen.

De effecten die uiteindelijk zullen optreden zijn mede afhankelijk van de rijsnelheid, staat van de bovenbouw, situering van wissels etc. Op dit moment laat zich het effect niet nauwkeurig kwantificeren.

Uitgaande van de mogelijk maximale vervoersprognose van 90 goederentreinen in enige etmaalperiode en de bij het ROC gemeten waarden, kan een worstcase-inschatting worden gegeven van de te verwachten V_{per} bij een dergelijke intensiteit aan goederentreinen.

tabel 6.1. V_{per} als gevolg van goederenmaterieel (passagetijd 60s per trein)

	dagperiode	avondperiode	nachtperiode
V_{max} [mm/s]	0,58	0,58	0,58
aantal treinen	90	90	90
totale passagetijd T_b [s]	5400	5400	5400
periodeduur T_0 [s]	43200	14400	28800
$V_{per} = V_{max} \times (T_b/T_0)^{0,5}$ [mm/s]	0,21	0,36	0,25
V_{per} in gebouw (x 1,4) [mms]	0,29	0,50	0,35

In vergelijking met tabel 5.2 kan worden gesteld dat de te verwachten waarde voor V_{per} ongeveer vertienvoudigd. De in tabel 6.1 gegeven waarden zijn bovendien hoger dan de richtwaarden uit de richtlijn SBR-B.

Voor het plan Noorderhaven wordt verwacht dat gebouwschade als gevolg van meer en zwaardere treinen ook in de toekomst niet aan de orde zal zijn. De kans op voelbaarheid en de kans op hinder zal toenemen. Er is geen wettelijke verplichting voor nader onderzoek of aanvullende maatregelen. In hoofdstuk 7 is een advies opgenomen voor onderzoek en uitwerking maatregelen.

7. ADVIES VOOR UITWERKING ONTWIKKELINGSLOCATIES

Op basis van de berekeningen en metingen is geconcludeerd dat de trillingen als gevolg van het treinverkeer niet zullen leiden tot schade aan de huidige en toekomstige bebouwing.

Op voorhand kan niet worden uitgesloten dat in de bestaande woningen trillingen en te ontwikkelen nieuwbouwlocaties als gevolg van treinpassages voelbaar zullen zijn. De waarden kunnen daarbij hoger zijn dan de waarden die volgens de SBR-richtlijn gewenst zijn.

Formeel gezien is het niet noodzakelijk aanvullende maatregelen ter beperking van trillingen op te nemen. Ter vermindering van de kans op trillingen zijn technisch gezien wel maatregelen mogelijk. In beginsel zouden de maatregelen zich kunnen richten op het spoor. Uitgegaan mag worden van goed onderhouden spoor (bestaand uit doorgelaste spoorstaven op betonnen dwarsliggers). Aan het spoor worden meestal verder geen trillingsbeperkende maatregelen getroffen omdat de effecten van deze maatregelen (nog) niet goed voorspelbaar zijn en vanuit het huidige wettelijk kader ook niet afgedwongen kunnen worden⁵.

Om die redenen ligt het ook meer voor de hand om na te gaan of de kans op trillingshinder bij de ontwikkelingslocaties op een andere wijze verder kan worden beperkt. Een eerste mogelijkheid is niet op zeer korte afstand van het spoor te bouwen.

Indien dit niet wenselijk is, kan worden gedacht aan passieve trillingsisolatie waarbij het gebouwo ontwerp constructief zodanig wordt gedimensioneerd dat de trillingen zoveel mogelijk in het gebouw worden gedempt en waarbij voorkomen kan worden dat er ongewenste opslingeren (resonanties) in de constructie optreden.

Een andere technische uitvoering is de actieve trillingsisolatie, waarbij de totale gebouwconstructie trillingsgeïsoleerd wordt opgesteld van de ondergrond. De uitwerking vraagt de nodige aandacht en brengt ook de nodige extra kosten met zich mee. In afbeelding 7.1 is een voorbeeld gegeven van de mogelijke uitwerking van actieve trillingsisolatie.

afbeelding 7.1. Voorbeeld actieve trillingsisolatie



⁵ Zie ook de Brief van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu aan de Voorzitter van de Tweede Kamer Staten-Generaal, kenmerk 32 404 d.d. 18 januari 2011.

Voorbeelden van projecten in Nederland waar trillingsisolatie is toegepast omdat op korte afstand van een spoor of weg werd gebouwd zijn:

- IBIS-hotel Amsterdam;
- Stadspoort West Zoetermeer;
- RCE/KadE, Amersfoort;
- Volgerlanden, Hendrik-Ido Ambacht;
- Eemstrook, Hooglanderveen;
- De pelikaan, Heemstede;
- Villa Mes, Wijchen;
- Orient, Rijswijk.

In het buitenland is ook reeds veel ervaring opgedaan met het toepassen van trillingsisolatie in bouwconstructies.

Het uitwerken van trillingsbeperkende maatregelen aan het gebouw maakt geen deel uit van dit onderzoek. Bij de uitwerking van het bouwplan moet de projectontwikkelaar zelf nader afwegen welke maatregelen in dit geval wenselijk en haalbaar zijn.

BIJLAGE I Plankaart inrichting Noorderhaven

BIJLAGE II Gemeten trillingen in het vrije veld

Trillingen als gevolg van railverkeer Op 40 meter, dagperiode

