

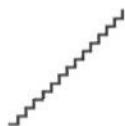
Gemeente Delft

MER Spoorzone Delft

**themadocument
trillingen**

Witteveen+Bos
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

water
infrastructuur
milieu
bouw



MER Spoorzone Delft

themadocument trillingen

RBOI
Postbus 150
3000 AD Rotterdam
telefoon 010 - 413 06 20
telefax 010 - 412 10 39

DHV Milieu en Infrastructuur BV
Postbus 1076
3800 BB Amersfoort
telefoon 033 468 32 39
telefax 033 468 28 01

ARDEA Acoustics and Consult
Harmen Doumastraat 24
2321 JL Leiden
telefoon 071 572 58 45
telefax 071 572 58 47

Witteveen+Bos
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

onze referentie	projectcode	status
DT178-4/djc/119	DT178-4	definitief 01
projectleider	projectdirecteur	datum
drs. J.W.T.M. Imming	drs. D.J.F. Bel	1 september 2003

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	drs. D.J.F. Bel	



Het kwaliteit management systeem van Witteveen+Bos is gecertificeerd volgens NEN-EN-ISO 9001 : 1994

© Witteveen+Bos
Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden veeleelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs b.v., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE

blz.

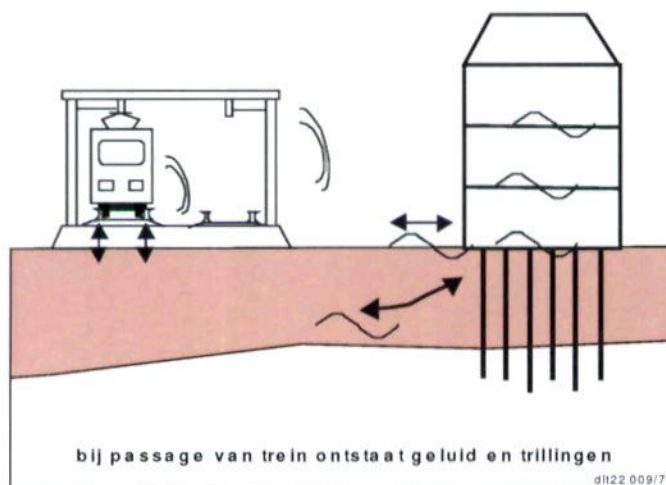
1. INLEIDING	1
1.1. Wat kunt u vinden in dit themadocument?	1
1.2. Leeswijzer	1
2. BELEIDSKADER	3
2.1. Rijksbeleid trillingen	3
2.2. Provinciaal en gemeentelijk beleid trillingen	3
2.3. Beleid laagfrequent geluid	3
2.4. Samenvatting	3
3. BEOORDELINGSWIJZE	5
3.1. Inleiding	5
3.2. Definitie van hinder door trillingen	5
3.3. Beoordelingscriteria	7
3.3.1. Kans op hinder voor personen in woningen	7
3.3.2. Kans op hinder voor personen op arbeidsplaatsen	8
3.3.3. Schade aan bouwwerken en storing van apparatuur	8
3.4. Beoordelingsmethodiek	9
3.5. Samenvatting beoordelingswijze	10
4. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN	11
4.1. Trillingsbronnen huidige en autonome situatie	11
4.2. Aantal personen met kans op hinder door trillingen langs spoor- en trambaan	12
4.3. Gebouwen met kans op schade	13
4.4. Trillingsgevoelige apparatuur	13
4.5. Conclusie	13
5. MILIEUGEVOLGEN	15
5.1. Trillingsniveaus na aanleg van treintunnel	15
5.2. Kans op hinder voor personen in woningen	15
5.3. Kans op hinder voor personen op arbeidsplaatsen	16
5.4. Hinder vanwege trillingen van trams	17
5.5. Schade aan bouwwerken en storingen aan apparatuur	17
5.6. Resumé beoordeling	17
6. LEEMTEN IN KENNIS EN INFORMATIE	19
7. LITERATUURLIJST	21
8. AFKORTINGEN EN BEGRIPPENLIJST	23
laatste bladzijde	24

1. INLEIDING

1.1. Wat kunt u vinden in dit themadocument?

Bij de passage van een trein, tram of auto kunnen trillingen in de bodem ontstaan. Deze trillingen ontstaan doordat de weg of de spoorrails worden ingedrukt onder de last van de auto, tram of trein en vervolgens weer opveert. Deze beweging plant zich voort via de bodem en kan uiteindelijk een huis in trilling brengen (zie afbeelding 1.1.). Voor de bewoner kan dat voelbaar zijn als de vloer van de woning mee gaat trillen. Deze trilling kan, afhankelijk van de sterkte en de periode van de dag, hinderlijk zijn voor de bewoner.

Afbeelding 1.1. Bij de passage van een trein kunnen trillingen in een woning voelbaar zijn



In de huidige situatie worden de trillingen van de treinen doorgegeven via het spoorviaduct en de bodem. In de toekomstige situatie kunnen de trillingen van de treinen zich ook voortplanten via de vloer van de tunnel, de tunnelwand en de bodem. Dit betekent dat ook na realisatie van de tunnel, trillingen nog steeds kunnen optreden in de directe omgeving en dat de sterkte en voelbaarheid afhangt van de afstand tot de gebouwen en het ontwerp van de tunnel.

Door een blijvende kans op hinder door trillingen in de toekomstige situatie, vormt het voorspellen van mogelijke effecten van trillingen een wezenlijk onderdeel van deze milieueffectstudie.

In het algemeen zijn trillingen, die worden veroorzaakt door treinen, niet sterk genoeg om schade aan een gebouw te veroorzaken. De kans op schade is dan ook gering. Toch wordt in deze studie nagegaan of er woningen, bijzondere gebouwen of monumenten zodanig dicht bij de spoorbaan zijn gelegen, dat extra aandacht voor deze gebouwen gewenst is.

Daarnaast kunnen trillingen door treinpassages storingen veroorzaken bij trillingsgevoelige apparatuur. Daarom is in deze studie ook een inventarisatie uitgevoerd naar bedrijven of instellingen met mogelijke trillingsgevoelige apparatuur (zoals bijvoorbeeld laboratoria).

1.2. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het beleidskader beschreven, in hoofdstuk 3 wordt het beoordelingswijze afgeleid. In hoofdstuk 4 wordt de huidige situatie en de autonome ontwikkeling beschreven. De milieugevolgen worden behandeld in hoofdstuk 5 en leemten en kennis in hoofdstuk 6. De literatuurlijst is opgenomen in hoofdstuk 7 en de afkortingen en begrippen in hoofdstuk 8.

2. BELEIDSKADER

2.1. Rijksbeleid trillingen

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 (lit 3.).

Om deze leemte in de wetgeving op te vullen zijn in 1993 door de Stichting Bouwresearch (SBR) richtlijnen opgesteld voor trillingshinder of –schade (lit 4.). Er zijn drie verschillende richtlijnen verschenen, te weten:

- schade aan bouwwerken door trillingen;
- hinder voor personen in gebouwen door trillingen;
- storing aan apparatuur door trillingen.

In de drie richtlijnen worden, mede op basis van de Duitse trillingsnorm DIN4150 (lit 1.) aanwijzingen gegeven voor uitvoering van metingen en beoordeling van de meetresultaten. Voor schade aan bouwwerken en storing aan apparatuur door trillingen worden grenswaarden gegeven. Voor hinder voor personen worden geen harde grenswaarden genoemd maar streefwaarden.

Inmiddels is het algemeen gebruikelijk om deze SBR-richtlijnen te gebruiken als beoordelingskader voor schade en of hinder door trillingen. In deze studie is daarom ook gebruik gemaakt van deze richtlijnen waarbij de nadruk vanzelfsprekend ligt bij de 2e richtlijn over hinder voor personen in gebouwen door trillingen.

In september 2002 is van genoemde richtlijnen een herziene versie gepubliceerd. Ten opzichte van de versie 1993 zijn enkele wijzigingen doorgevoerd, waarbij de belangrijkste wijziging is dat de grenswaarden in de nieuwe versie meer overeenkomen met DIN 4150. In deze MER wordt uitgegaan van de herziene versie van 2002 (lit 12., 13., 14.).

2.2. Provinciaal en gemeentelijk beleid trillingen

In navolging van de landelijke situatie wordt op provinciaal en gemeentelijk niveau geen expliciet actief milieubeleid geformuleerd voor situaties met trillingen (lit. 5.). Bij situaties waar trillingen op lokaal niveau relevant zijn wordt door provincies en gemeenten gebruik gemaakt van de SBR-richtlijnen voor toetsing van een situatie. Het gaat hierbij dan om situaties met mogelijke trillingsoverlast veroorzaakt door verkeersdrempels of door bedrijven (in het kader van een vergunning voor de Wet milieubeheer).

2.3. Beleid laagfrequent geluid

Als een (woon)gebouw in trilling is gebracht dan kan de passage van een trein niet alleen voelbaar zijn maar kan de treinpassage ook zacht hoorbaar zijn als een zacht laagfrequent geluid. Dit is een indirect gevolg van de trillingen en wordt ook wel constructiegeluid genoemd. Voor toetsing van eventuele hinder ten gevolge van dit laagfrequente geluid bestaan in Nederland geen normen of regelgeving. Door het Centrum voor Ondergronds Bouwen is een praktijk/literatuurstudie uitgevoerd naar de hinderlijkheid van constructiegeluid (lit 16.). Uit deze studie blijkt dat over hinderlijkheid weinig bekend is. Dit betekent dat in het kader van dit MER geen zinvolle beoordeling kan plaatsvinden tussen de alternatieven. In de uitvoeringspraktijk wordt bij het ontwerp van een baan vaak wel gestreefd naar een maximum geluidsniveau bij de 1^e lijnsbebouwing wanneer een trein passeert. Deze streefwaarden worden meestal ad hoc vastgesteld.

2.4. Samenvatting

Omdat in Nederland een wettelijk en beleidskader ten aanzien van trillingen ontbreekt wordt in het algemeen gebruik gemaakt van de richtlijnen voor beoordeling van trillingen zoals opgesteld door de Stichting Bouwresearch. In dit document wordt consequent gewerkt met de SBR-richtlijn.

besluit/beleid	datum/orgaan	uitgangspunt
n.v.t.	Rijks/Provincie/Gemeente	n.v.t.
SBR Richtlijnen 2002	september 2002, Stichting Bouwresearch	streefwaarden ter voorkoming van schade en hinder.

3. BEOORDELINGSWIJZE

3.1. Inleiding

Er is geen eenduidig beoordelingskader beschikbaar voor de effecten van trillingen en er is weinig informatie over de overdracht van trillingen door verschillende media. Verder zijn precieze aantallen personen per gebouw niet bekend. Uiteindelijk is gekozen voor een bepaling van het aantal personen met kans op hinder. Hierbij wordt een worst case benadering gehanteerd, waarbij ieder individu met kans op hinder wordt meegeteld. Duidelijk mag zijn dat de kans op hinder sterk afneemt met de afstand tot de bron. TNO zal voor het ontwerp het werkelijk aantal gehinderden inschatten.

3.2. Definitie van hinder door trillingen

In deze paragraaf wordt allereerst het begrip hinder gedefinieerd; er wordt ingegaan op de grenswaarden en de mogelijk te verwachten hinder op basis van normen en richtlijnen. De mate van hinder voor personen in gebouwen wordt bepaald door de sterkte van de trillingen, het tijdstip (dag/avond/nacht), de tijdsduur van de trillingen, en het karakter van de trilling (continu of met herhalingen zoals bij treinen). Belangrijk daarbij is dat eerst de gevoelsgrens moet worden overschreden. Deze gevoelsgrens ligt bij een trillingssterkte of trillingssnelheid van 0.1 mm/s. In principe zijn trillingen boven de gevoelsgrens dan net voelbaar maar in het algemeen blijkt het zo te zijn dat vanaf een sterkte van 0.2 mm/s de trillingen voelbaar wordt.

In de in paragraaf 3.2. beschreven beoordelingscriteria speelt de waarde van 0.2 mm/s daarom een belangrijke rol. Op het moment dat de trilling voelbaar wordt bestaat er in principe een kans dat deze ook hinderlijk is. Vanzelfsprekend zal één trilling met die sterkte niet direct hinder veroorzaken maar als de trillingen zeer regelmatig voorkomen dan is hinder niet meer uit te sluiten. Daarom wordt bij beoordeling ook vaak gebruik gemaakt van de gemiddelde waarde per periode. Deze periode gemiddelde waarde zal een belangrijke rol gaan spelen.

In paragraaf 3.2.3. wordt ingegaan op de grenswaarden ter voorkoming van schade aan gebouwen en storing van apparatuur. In de praktijk blijkt dat pas schade aan gebouwen niet is uit te sluiten als de trillingssterkte groter is dan 2 mm/s. Dat is dus een factor 10x zo sterk als de waarde waarbij de trilling net gevoeld wordt en dit is voor personen in het gebouw dan sterk voelbaar. Uit ervaring met trillingen langs spoorlijnen blijkt dat de grenswaarde van 2 mm/s zelden wordt overschreden. Als er dan toch schade aan een gebouw bestaat dan blijkt het vaak het gevolg te zijn van ongelijkmatige zetting van de bodem direct bij de spoorlijn. Storing door trillingen aan gewone (computer-)apparatuur komt zelden voor. Sommige optische meetinstrumenten kunnen wel beïnvloed kunnen worden door optredende trillingen, evenals pick en place machines voor assemblage van micro-electronica. Als deze situatie zich voordoet dan wordt vaak gekozen om de machine zelf trillingsvrij op te stellen.

voelbaarheid van trillingen en streefwaarden

De trillingssterkte wordt uitgedrukt in de zogenoemde maximale effectieve trillingssnelheid, afgekort met V_{max} . De trillingssnelheid wordt daarbij uitgedrukt in millimeter per seconde (mm/s). In de Duitse trillingsnorm DIN4150 deel 2 wordt een overzicht gegeven van de voelbaarheid van trillingen afhankelijk van de trillingssterkte (lit. 1.). Tabel 3.1. geeft dit overzicht met omschrijving van de trillingssterkte.

Tabel 3.1. Gevoelsomschrijving trillingen

omschrijving	sterkte in V_{max} in mm/s
Niet voelbaar	< 0,1
Gevoelsgrens	= 0,1
(net) voelbaar	0,1 - 0,4
Goed voelbaar	0,4 - 1,6
Sterk voelbaar	1,6 - 6,3
Zeer sterk voelbaar	> 6,3

De SBR-richtlijn 'Hinder voor personen in gebouwen' geeft streefwaarden voor trillingen. Deze streefwaarden zijn afhankelijk van de gebruiksfunctie van een ruimte in een gebouw, het tijdstip en de omstandigheden waaronder de trillingen voorkomen. Bij herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd worden streefwaarden voor zowel bestaande als nieuwe situaties onderscheiden. Tabel 3.2. geeft een overzicht van deze streefwaarden. In de tabel zijn de streefwaarden tevens voor een bepaalde periode aangegeven door:

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

Tabel 3.2. Streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd

gebouwfunctie	dagperiode: 07.00-19.00 uur avondperiode: 19.00-23.00 uur			nachtperiode: 23.00-07.00 uur		
	A1 drempel	A2 maximum	A3 periode gemiddelde	A1 drempel	A2 maximum	A3 periode gemiddelde
bestaande situaties						
gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
wonen						
kantoor en onderwijs	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
bijeenkomstgebouwen						
kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-
nieuwe situaties						
gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
wonen						
kantoor en onderwijs	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
bijeenkomstgebouwen						
kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-

classificatie van hinder voor personen op basis van $V_{\max}$ en V_{per}

Uit tabel 3.2. blijkt dat de SBR-richtlijnen voor elke situatie een streefwaarde geven voor de maximale trillingsniveaus (A1 en A2) en de periodegemiddelde trillingsniveaus (A3). In bijlage 5 van de SBR Richtlijn wordt voor de verschillende waarden van $V_{\max}$ een kwalificatie van de mogelijke bijbehorende hinder gegeven (zie tabel 3.3.). In de richtlijn wordt opgemerkt dat een trillingswaarde > 3.2 ernstige hinder veroorzaakt en niet toelaatbaar is.

Voor de periodegemiddelde waarde van de trillingsniveaus (A3) wordt geen aparte classificatie gegeven. Er kan echter wel een koppeling gemaakt met hinder via de waarden zoals aangegeven in tabel 3.2. Indien de waarde kleiner is dan $A3=0.05$ dan wordt voldaan aan de streefwaarde voor nieuwe situaties en is de situatie gelijkwaardig met $V_{\max}=0.4$ (dag/avond) of $V_{\max}=0.2$ (nacht) voor nieuwe situaties. Indien de waarde van $A3=0.10$ dan is dat gelijkwaardig met de waarde $V_{\max}=0.8$ (dag) of $V_{\max}=0.4$ (nacht) voor bestaande situaties.

Tabel 3.3. Overzicht classificatie kans op hinder op basis van $V_{\max}$ conform bijlage 5 van SBR-richtlijn 2002

$V_{\max}$	hinderkwalificatie
< 0.1	Geen hinder
0.1-0.2	Weinig hinder
0.2-0.8	Matige hinder
0.8-3.2	Hinder
> 3.2	Ernstige hinder

Voor de kans op hinder kan in principe dus een onderscheid gemaakt worden naar de maximale sterkte van de trilling $V_{\max}$ en/of de periodegemiddelde waarde V_{per} . Normaliter zal tussen $V_{\max}$ en V_{per} een groot verschil bestaan bij een klein aantal passages. De maximale waarde wordt bepaald door één trein en dat betekent bijvoorbeeld dat tot een afstand van 150 m van het spoor een treinpassage net voelbaar is.

De periodegemiddelde waarde houdt echter ook rekening met het aantal treinen. Bij een klein aantal treinen zal deze waarde pas worden overschreden op korte afstand van het spoor worden overschreden. Op basis van de SBR-richtlijnen is dan alleen hinder te verwachten in het gebied waarde periode-waarde wordt overschreden.

keuze voor periode gemiddelde waarde nieuwe situaties

De SBR-richtlijnen geven een beoordelingssystematiek op basis van $V_{\max}$ en V_{per} . Voor deze specifieke situatie zal het echter niet veel uitmaken of separaat getoetst wordt aan de waarden voor $V_{\max}$ (A1, A2) of de waarden voor V_{per} (A3) omdat op dit spoortraject een zeer groot aantal treinen rijdt (zie volgend hoofdstuk). Eerste verkennende berekeningen laten zien dat de contourafstand waar de periodegemiddelde wordt overschreden gelijk is aan de maximale waarde.

Verder wordt in dit MER gekozen om uit te gaan van de streefwaarden voor nieuwe situaties. In principe zou de huidige situatie met bestaande woningen langs de bestaande spoorlijn getoetst kunnen worden op basis van de ruimere streefwaarden voor bestaande situaties. Door de aanleg van de tunnel is voor de bestaande woningen sprake van een wijziging van een bestaande situatie en voor de nieuw aan te realiseren woon- en kantoorgebouwen van een nieuwe situatie. De SBR staat voor bestaande woningen een hogere streefwaarde toe.

In dit MER is het met name het doel om het mogelijk aantal gehinderde personen vast te stellen voor de huidige, autonome en nieuwe situatie. Omdat hinder niet wordt bepaald door de normen van de SBR maar door de optredende trillingsniveaus wordt derhalve gekozen om uit te gaan van de streefwaarde voor nieuwe situaties. Wordt voldaan aan de streefwaarden voor nieuwe situaties dan is de kans op hinder zeer klein. De uitkomsten worden uitgedrukt conform de SBR-richtlijnen in aantallen personen met **kans** op hinder, niet op het **aantal** gehinderde personen.

3.3. Beoordelingscriteria

Bij de beschrijving van de huidige situatie, de autonome ontwikkelingen en de milieugevolgen van de voorgenomen activiteit worden de volgende beoordelingscriteria gehanteerd:

- de kans op hinder voor personen in woningen en kantoorgebouwen;
- de schade aan gebouwen en storing van apparatuur.

3.3.1. Kans op hinder voor personen in woningen

Op basis van de hiervoor gegeven beschrijving en de streefwaarden zijn in dit MER berekeningen uitgevoerd naar het aantal personen met een bepaalde classificatie, zoals aangegeven in tabel 3.4. Door de keuze voor de periode waarde wordt een duidelijk beeld verschaft op basis van de mogelijke kans op hinder op basis van het aantal treinpassages voor de huidige situatie en de situatie bij autonome ontwikkeling. Bij de bouw van de tunnel zal de maximale waarde van een passage wijzigen ($V_{\max}$). De periodegemiddelde waarde zal dan, door het grote aantal treinen, op een gelijke wijze wijzigen.

De tabel geeft in de middenkolom de waarde voor trillingen uitgedrukt als de zogenoemde gemiddelde trillingssnelheid (V_{per}). Bij de woningen in klasse A zijn trillingen mogelijk wel voelbaar maar is op basis van de SBR2002 geen hinder te verwachten. Bij de woningen in categorie B wordt de streefwaarde overschreden en bestaat dus de kans op hinder. De laatste kolom van de tabel geeft ter illustratie voor $V_{\max}=0.2$ het aantal treinpassages waarbij nog voldaan wordt aan V_{per} . Uit deze illustratie blijkt dat de periode gemiddelde waarde overschreden wordt als er meer dan 188 treinen per etmaal rijden (gelijkmatic verdeeld over dag, avond en nacht).

Tabel 3.4. Overzicht categorisering trillingshinder voor personen (omwonenden) op basis van gemiddelde equivalente waarde voor de dag-, avond- en nachtperiode V_{per}

categorie	SBR	V_{per}	illustratie aantal treinpassages per etmaal (bij $V_{max}=0.2$)
-	wordt niet berekend	-	$V_{max} < 0.1$
A	streefwaarde nieuw	0 - 0.05	0 - 188 treinen
B	groter dan streefwaarde	> 0.05	> 188 treinen

Ten aanzien van de nu gegeven waarden en de weging voor hinder dient te worden opgemerkt dat het hierbij gaat op een 'kans op hinder'. In deze specifieke situatie is deze kans op hinder kleiner dan in veel andere situaties omdat de nu aangehouden streefwaarde voor de waarde van $V_{per}=0.05$ gekoppeld is aan een waarde van $V_{max}=0.2$. Bij een waarde kleiner dan $V_{max}=0.2$ is, zoals aangegeven in tabel 3.2., weinig hinder te verwachten. Of anders gezegd: als het aantal treinen een veelvoud is van 188 treinen dan wordt de waarde van $V_{per}=0.05$ overschreden voor trillingsniveaus die kleiner zijn dan $V_{max}=0.2$. De waarde van $V_{per}=0.05$ wordt dan wel overschreden maar dat betekent dat de trilling van de treinpassage (net) voelbaar is en dat daardoor voor de meeste mensen weinig hinder is te verwachten. In dit MER worden echter de gebouwen c.q. personen in de gebouwen meegeteld die zich binnen de $V_{per}=0.05$ afstand bevinden.

3.3.2. Kans op hinder voor personen op arbeidsplaatsen

Voor personen die werkzaam zijn in onderwijs en kantoorgebouwen geeft de SBR-richtlijn ook grenswaarden (zie tabel 3.2.). In dit MER is voor de bepaling van de mogelijke hinder voor personen, in analogie met hinder voor omwonenden, uitgegaan van de weging voor hinder op basis van de gemiddelde periodewaarde. De laatste kolom van tabel 3.5. geeft ter illustratie voor $V_{max}=0.2$ het aantal treinpassages waarbij nog voldaan wordt aan V_{per} . Uit deze illustratie blijkt dat de periode gemiddelde waarde overschreden wordt als er meer dan 384 treinen per etmaal rijden (gelijkmatig verdeeld over dag, avond en nacht). Dat is dus ongeveer het dubbele aantal treinen dan voor personen in woongebouwen.

Tabel 3.5. Overzicht categorisering trillingshinder voor personen op arbeidsplaatsen op basis van gemiddelde equivalente waarde voor de dag-, avond- en nachtperiode V_{per}

categorie periode	SBR	V_{per}	illustratie aantal treinpassages Per etmaal (bij $V_{max}=0.2$)
-	wordt niet berekend	-	$V_{max} < 0.1$
C	streefwaarde nieuw	0 - 0.07	0 - 384 treinen
D	groter dan streefwaarde	> 0.07	> 384 treinen

3.3.3. Schade aan bouwwerken en storing van apparatuur

In het algemeen geldt dat trillingen die ontstaan door treinverkeer zelden hoog genoeg zijn om schade aan bouwwerken te veroorzaken. Storing aan apparatuur door trillingen is in principe wel mogelijk, maar kan worden voorkomen met speciale trillingsvrije opstellingen. Computerapparatuur bijvoorbeeld wordt op deze wijze steeds minder gevoelig gemaakt voor trillingen.

De SBR-richtlijn A geeft, op basis van praktijkervaring, grenswaarden weer ter voorkoming van schade aan bouwwerken. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar het type gebouw en het bouwelement (draagconstructie), waarbij zogenoemde topwaarden voor trillingsniveaus worden toegekend. Tabel 3.6. geeft hiervan een overzicht. Hierin zijn de ondergrenzen voor de laagste frequenties opgenomen. Voor hogere frequenties zijn hoger trillingssterktes mogelijk zonder grote kans op schade.

Weg- en railverkeer wordt in de SBR-richtlijn A beschouwd als continue trillingsbron. De categorieën 1 en 2 betreffen gewone gebouwen die in goede staat verkeren. Bij categorie 3, monumentale gebouwen, kunnen ook in slechte staat verkerende gebouwen worden berekend. De SBR-richtlijn maakt onderscheid tussen trillingen op de draagconstructies en trillingen op elementen van een gebouw (muren, vloeren en plafonds).

Tabel 3.6. Overzicht topwaarden ter voorkoming van schade aan bouwwerken bij continue trillingen¹

categorie	onderdeel draagconstructie (inclusief horizontale elementen)	element
1. gebouwen met draagconstructie gewapend beton of hout	5 mm/s	16 mm/s
2. gebouwen met metselwerk	2 mm/s	6 mm/s
3. monumentale gebouwen	2 mm/s	3 mm/s

Op basis van tabel 3.6. kan geconcludeerd worden dat de kans op schade aan bouwkundige constructie is uitgesloten als de topwaarde onder de 2 mm/s blijft. De kans op schade aan elementen (muren, vloeren, plafonds) is uitgesloten als de topwaarde onder 3 mm/s blijft.

In SBR-richtlijn 3 worden grenswaarden gegeven voor trillingsgevoelige apparatuur op basis van de zogenoemde BBN-criteria. Deze grenswaarden liggen in het algemeen een factor 2 tot 10 lager dan de gevoelsgrens voor mensen. Het gaat dan om bijzondere apparatuur zoals optische meetinstrumenten en pick and place machines voor assemblage van micro-elektronica.

3.4. Beoordelingsmethodiek

Voor de prognose van trillingen zijn in Nederland momenteel geen betrouwbare getoetste modellen voorhanden. Ook bestaat er geen wettelijk voorgeschreven manier van aanpak. Wel worden (deel)modellen ontwikkeld. Deze modellen hebben echter als nadeel dat nog geen voldoende betrouwbare prognose van de trillingsniveaus kan worden gegeven op basis van bodem/mechanische inputparameters en dat verificatie aan praktijksituaties onvoldoende is uitgevoerd.

Voor deze studie is daarom uitgegaan van een trillingprognosemodel gebaseerd op basis van een hybride methode; het HPV-model (Hybrid Prognosis of Vibration). De kern van dit model zijn praktijkmetingen voor punten langs de bestaande spoorbaan in Delft. Daarnaast zijn ook metingen uitgevoerd bij de treintunnel te Rijswijk. De metingen zijn op verschillende afstanden van de huidige spoorbaan uitgevoerd (10-100 m). De gemeten waarden zijn ingevuld in een tabel. Vervolgens is via regressieanalyse de best passende grafiek bepaald die aangeeft hoe trillingen afnemen met de afstand.

Daarna is het HPV-model aangevuld tot een volledig prognosemodel door ook kennis over de diverse, voor dit MER specifieke parameters op te nemen (o.a. type trein, aantal voertuigen, rijnsnelheid, toenevend gewicht van treinen en de overdracht van bodem naar fundament (schade) naar vloer (hinder). Voor de invloed van deze parameters op de trillingsoverdracht is gebruik gemaakt literatuurgegevens en kennis op basis van andere modellen.

Voor deze hybride aanpak is gekozen om bij de prognose zoveel mogelijk aan te sluiten bij de lokale situatie in de omgeving en zo goed mogelijk rekening te houden met de bodemstructuur in het onderzoeksgebied.

Samenvattend betekent dit dat de kern van het HPV-model wordt gevormd door prognose op basis van metingen langs de bestaande spoorbaan te Delft en Rijswijk. Door het HPV-model aan te vullen met algemene kennis uit eerdere onderzoeken en literatuurgegevens is een prognosemodel verkregen dat toegesneden is op de lokale situatie.

nauwkeurigheid prognosemodel

In het HPV-model wordt gekozen om uit te gaan van een bovengrens benadering voor de optredende maximale trillingsniveaus. Daardoor is er in het HPV-model een verschil in de spreiding naar boven en de spreiding naar beneden. Naar boven toe wordt de spreiding bepaald door de overdrachtsfactor bodem-woning terwijl naar beneden de totaal spreiding de combinatie is van deze factoren. Deze factoren

¹ De tabel geeft de ondergrenzen zonder correctiefactoren zoals beschreven in de richtlijn.

resulteren in een spreiding naar boven toe van 1,15 en naar beneden een factor 0,65. Voor de lokale situatie betekent dit dat er een spreiding is in de contourafstand van +13 m verder weg en ca. -18 m dichterbij.

trillingsprognose TNO Bouw

In opdracht van Prorail infrabeheer zijn door TNO Bouw detailberekeningen uitgevoerd met een wiskundig rekenmodel (eindige elementen model, zie begrippenlijst en lit 15.). Doel van deze berekeningen was het bepalen van het trillingsgedrag van de mogelijke tunnelvormen en de bepaling van het trillingsniveau op korte afstand van de tunnel bij de 1^e lijnsbebouwing. In het kader van deze MER is het echter ook relevant om de eventuele hinder voor personen bij de verder weg gelegen bebouwing mee te nemen om zo een meer complete vergelijking te maken tussen alternatieven.

Bij vergelijking van de rekenresultaten van het HPV-model met de berekeningen van TNO Bouw blijkt dat het HPV-model leidt tot een meer conservatieve prognose van de te verwachten trillingsniveaus dan TNO Bouw. Het HPV-model gaat er dus vanuit dat de trillingen tot op een grotere afstand voelbaar zijn. Het verschil is grotendeels toe te schrijven aan de verwachtingswaarde voor de overdracht van trillingen van de bodem naar de vloer van de woning. Het HPV-model gaat op basis van de metingen uit van een grotere versterkingsfactor dan TNO voor de overdracht van de bodem naar de vloer van met name de bestaande woningen.

Wanneer de rekennauwkeurigheden van beide modellen in acht worden genomen dan blijkt dat beide prognosemethodes resultaten opleveren die elkaar niet tegenspreken. Geconcludeerd kan derhalve worden dat de in deze MER gebruikte methode voldoende betrouwbare resultaten geeft om tot een goede vergelijking van de alternatieven te komen.

bepaling aantal personen met kans op hinder

Met behulp van het HPV-model is bepaald op welke afstand van het spoor de grenswaarde voor de periode gemiddelde waarde uitkomt voor omwonden en personen in kantoorgebouwen. Voor gebouwen, en personen in die gebouwen, die op grotere afstand liggen is er weinig kans op hinder. Voor gebouwen en personen die dichterbij liggen is er een kans op hinder aanwezig.

Het aantal personen dat woont of werkt waar de streefwaarde wordt overschreden is bepaald op basis van het gemiddeld aantal personen per gebied. Voor de bestaande bebouwing zijn deze gegevens op wijkniveau verstrekt door de gemeente Delft. Voor de nieuwe bebouwing is uitgegaan van de inrichtingsplannen per alternatief (aantal vierkante meters woningen en/of kantoren en een gemiddeld aantal personen per vierkante meter).

Op deze wijze kan een voldoende onderscheidende bepaling van het aantal personen met kans op hinder vanwege trillingen plaatsvinden voor de huidige situatie, toekomstige situatie en de alternatieven.

3.5. Samenvatting beoordelingswijze

In deze rapportage worden op basis van de SBR-richtlijnen en het HPV-model bepaald:

- aantal personen in woongebouwen waar een kans op hinder bestaat op basis van de streefwaarden voor de maximale trillingssnelheid $V_{\max}$ en de gemiddelde periode waarde V_{per} ;
- aantal personen op arbeidsplaatsen en bedrijfsgebouwen met een kans op hinder op basis van de streefwaarden voor de maximale trillingssnelheid $V_{\max}$ en de gemiddelde periode waarde V_{per} ;
- aantal gebouwen waar kans bestaat op schade;
- kans op schade aan bijzonder apparatuur.

Bij deze worst case beoordeling zal het zwaarste gewicht worden toegekend aan de hinder voor personen in woongebouwen gezien het permanente karakter van de hinder.

4. HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELINGEN

4.1. Trillingsbronnen huidige en autonome situatie

In deze paragraaf wordt ingegaan op de bestaande trillingbronnen. Treinen zijn dan het belangrijkste, daarnaast is nog sprake van mogelijke trillingen van trams en autoverkeer. Bij de hiernavolgende berekeningen is in principe uitgegaan van 'worst-case' scenario's.

treinen

De aantallen treinen voor de situatie 2001 (huidige situatie) en 2010/2015 (autonoom) zijn ontleend aan het akoestisch spoorboekje (lit 7.). Deze gegevens worden gebruikt als uitgangspunt voor het MER. Dit akoestisch spoorboekje bevat voor alle spoortrajecten in Nederland gegevens over het aantal treineenheden per uur (uitgedrukt in bakken of wagons), snelheden, remmende en niet remmende treinen en constructie van de baan. In het akoestisch spoorboekje staat dus het totaal aantal treinwagons aangegeven dat per uur passeert en niet het aantal treinen.

Voor trillingen is het echter gebruikelijk om per periode van 30 s te bepalen wat de maximale trillingssterkte is. In de praktijk betekent dat in een periode van 30 s één trein kan zijn gepasseerd. Tabel 4.1. geeft daarom een overzicht van het aantal treinen per dagdeel waarbij het aantal bakken/wagons is teruggerekend naar een gemiddelde treinlengte.

Uit de tabel blijkt dat in de huidige situatie sprake is van passage van ca. 320² reizigerstreinen per etmaal, hetgeen overeenkomt met gemiddeld 13 treinen per uur. Het goederenvervoer is beperkt. Daarnaast passeert de Thalys met circa 28 treinen per etmaal.

Bij autonome ontwikkeling zal het aantal reizigerstreinen toenemen tot ruim 450 treinen per etmaal. Het goederenverkeer neemt toe tot circa 10 treinen per dag. Conform het akoestisch spoorboekje rijdt de Thalys via dit tracé met ca. 68 treinen per dag. Na het gereed komen van de HSL-Zuid zal de Thalys in principe over het HSL-Zuid tracé rijden. De hier genoemde treinen zijn in het akoestisch spoorboekje opgenomen als een reservering voor een eventuele aansluiting naar Den Haag en/of als uitwijkroute.

Tabel 4.1. Aantal treinen per dagdeel op basis van akoestisch spoorboekje (totaal 2 richtingen)

	2001			2010/2015		
	reizigers	cargo	thalys	reizigers	cargo	thalys
Dag	198	2	19	308	5	50
Avond	58	0	8	85	3	18
Nacht	58	1	1	73	3	0

trams

Bij de passage van trams kunnen trillingen ontstaan. In het algemeen zijn deze voelbaar op korte afstand. In de huidige situatie betreft het met name tramlijn 1. In de toekomstige situatie komt op het tracé van tramlijn 1 ook nog tramlijn 19 te rijden (lijn via Ypenburg). Daarnaast zal ook nog lijn 37, West-vest-Zuidwal, worden aangelegd voor gebruik als trambaan/busbaan.

Tabel 4.2. Aantal trams per dagdeel voor huidige situatie en 2015

	2003	2015	
	lijn 1	lijn 1+lijn 19	lijn 1+lijn 37
Dag	144	296	248
Avond	32	64	64
Nacht	24	48	48

² Bij de inspraakreacties is aangegeven dat op dit moment het totaal aantal treinen mogelijk uitkomt op ca. 350 per etmaal. Voor de bepaling van de trillingsniveaus zal dit mogelijke verschil van 30 treinen slechts leiden tot een marginale verhoging van V_{per} van 3%.

wegverkeer

In de huidige situatie en situatie na autonome ontwikkeling kunnen in principe ook trillingen van wegverkeer ontstaan. Deze trillingen zijn bij een normaal glad wegdek alleen op zeer korte afstand van de weg nauwelijks voelbaar en dragen daardoor niet bij aan relevante hinder.

Wel kan worden opgemerkt dat in de huidige situatie langs de Spoorsingel en Coenderstraat op enkele plaatsen hinder kan ontstaan door kuilen in het klinkerwegdek of met relatief grote snelheid over verkeersdrempels rijden. Deze lokale hinder kan via aanvullend onderhoud worden gereduceerd en valt buiten de scope van deze MER.

verschil geluid en trillingen

Geluid en trillingen zijn, zie hoofdstuk 1, nauw met elkaar verweven. Voor deze MER is er echter wel een verschil voor het aantal gehinderde personen door de verschillende soorten bronnen. Doordat de treinen ondergronds gaan rijden neemt het geluid van de treinen sterk af en worden ook de trillingen minder. De tunnel geeft voor het railverkeer een grote verbetering. Voor het wegverkeer is dat echter anders. Het geluid van de auto's blijft immers hoorbaar, terwijl trillingen van auto's nauwelijks hinder veroorzaken als het wegdek goed is. Dit betekent dat bij de beoordeling van de alternatieven het dus goed mogelijk is dat een alternatief dat gunstig is voor hinder van trillingen, juist ongunstig is voor geluidshinder omdat bovengrondse wegverkeer dichter langs bestaande en/of nieuwe woningen wordt geleid.

4.2. Aantal personen met kans op hinder door trillingen langs spoor- en trambaan

treinen

Voor de bepaling van de contourafstanden van periode gemiddelde waarde van A3 zijn prognoseberekeningen gemaakt voor de aantallen treinen 2001 en 2010/2015. Bij deze berekeningen is er van uitgegaan dat ca. 1/3 van de treinen op het station te Delft stoppen en dat de andere treinen doorgaand zijn en dus met hoge snelheid blijven rijden. Deze berekening is daarmee een worst-case benadering omdat in de (nabije) toekomst een deel van de intercity treinen weer bij Delft zullen gaan stoppen.

Uit de berekeningen blijkt dat in de huidige situatie ter hoogte van het viaduct de trillingscontour vanwege de treinen op ca. 150 m uitkomt. Ter hoogte van het station (maaiveldligging) ligt de contour op ca. 200 m. Ten zuiden van de Irenetunnel komt de trillingscontour uit op ca. 150 m. Door het grote aantal treinen is deze afstand relatief zeer groot bij een V_{max} waarde van ca. 0.15 (net voelbaar). Het aantal personen binnen de contour is bepaald op basis van het gemiddeld aantal personen per woonwijk op basis van gegevens van de gemeente Delft.

In de autonome situatie blijft de V_{max} -waarde gelijk aan de huidige situatie. De contourafstand voor de gemiddelde periodewaarde neemt toe met ca. 20 m toe langs het gehele tracé door het extra aantal treinen.

Tabel 4.3. Overzicht aantal personen met kans op hinder langs spoorbaan op basis van $V_{per} > 0.05$ en aantal naar de kans op hinder in kantoorgebouwen op basis van $V_{per} > 0.07$.

plaats	aantal personen met kans op hinder op basis $V_{per} > 0.05$	
	huidig	autonoom
aantal personen in bestaande woningen ($V_{per} > 0.05$)	4810	5280
aantal personen in bestaande kantoorgebouwen ($V_{per} > 0.07$)	430	680

Uit het overzicht blijkt dat in de huidige situatie bij ca. 4.800 omwonenden kans bestaat op hinder vanwege trillingen. In de autonome situatie neemt dat toe tot ca. 5.300. Voor personen werkzaam in kantoorgebouwen is het aantal personen met kans op hinder gelijk aan ca. 450 en kan toenemen tot ca. 700 personen.

trams

Voor de tram zijn prognoseberekeringen gemaakt op basis van de uitgevoerde metingen bij een aantal gebouwen langs de Phoenixstraat. Uit de metingen blijkt dat de trillingen van de tram tot op een afstand van circa 12 m net boven de gevoelsgrens uitkomen. De berekeningen laten zien dat de periodegemiddelde waarde voor de huidige situatie uitkomt op 9 m en bij autonome ontwikkeling toeneemt tot 11 m.

Gezien de ligging van het huidige tracé van de tram ten opzichte van de bestaande woningbouw is er alleen een kans op hinder bij de molen.

4.3. Gebouwen met kans op schade

In augustus 2002 zijn door TCE trillingsmetingen uitgevoerd bij diverse gebouwen langs het bestaande tracé. Uit deze metingen blijkt dat de trillingsniveaus lager blijven dan de ondergrens waar schade kan worden verwacht aan de bouwkundige constructie van een gebouw. De kans op schade aan gebouwen zal daarom niet verder meer beoordeeld worden.

4.4. Trillingsgevoelige apparatuur

Voor zover bekend zijn er langs het bestaande tracé geen bedrijven met specifiek trillingsgevoelige (meet-)apparatuur. Ook zijn er geen ziekenhuizen op korte afstand van het tracé. Na aanleg van de tunnel zullen de trillingsniveaus afnemen. In principe kunnen dan bedrijven met trillingsgevoelige apparatuur op kortere afstand gevestigd worden.

4.5. Conclusie

In de huidige situatie is het intensieve treinverkeer de grootste bron van trillingshinder, waarbij de trillingscontour ter hoogte van het viaduct op 150 meter uitkomt. De passage van trams geeft minder trillingshinder en is voelbaar op kortere afstanden. De derde bron van trillingen wordt gevormd door het wegverkeer. Deze trillingen zijn bij normaal glad wegdek alleen op zeer korte afstand voelbaar.

Berekeningen laten zien dat een het huidige aantal personen met kans op hinder in bestaande woningen en kantoren resp. 4810 en 430 is. Een toename van ongeveer 10% van het aantal personen met kans op hinder is te verwachten tot 2015. Vanwege het grote aantal personen met kans op hinder worden zowel de huidige situatie als de autonome ontwikkeling als zeer negatief (--) beoordeeld.

Tabel 4.4. Overzicht van huidige situatie voor trillingen

criterium	huidige situatie	autonome ontwikkeling 2015	beoordeling
aantal personen met kans op hinder in woningen	4810	5280	--
aantal personen met kans op hinder op arbeidsplaatsen (kantoren)	430	680	--

5. MILIEUGEVOLGEN

Door de aanleg van de tunnel zullen de trillingsniveaus in de omgeving wijzigen. In het algemeen mag verwacht worden dat de trillingsniveaus lager zullen zijn. Daar staat tegenover dat de verschillende alternatieven (lange of korte tunnel met oostelijk of westelijk tracé en al dan niet met behoud van de panden aan de Van Leeuwenhoeksingel) een verschil kunnen uitmaken voor het aantal personen met kans op trillingshinder.

5.1. Trillingsniveaus na aanleg van treintunnel

Op basis van de uitgevoerde metingen op diverse dwarsdoorsneden in Delft en metingen bij de tunnel te Rijswijk zijn prognosecontouren gemaakt voor de te verwachten trillingsniveaus op maaiveld. Tabel 5.1. geeft een overzicht van de geprognostiseerde afstanden voor maaiveld, bestaande woongebouwen en nieuwe woon- of kantoorgebouwen met 4 tot 7 bouwlagen. Dit onderscheid is gemaakt omdat in de nieuwe gebouwen de overdracht van bodem naar fundament kleiner is ten gevolge van de eigen massa van het gebouw (lit 8.). Voor trillingen bestaat er geen verschil tussen een noordelijke of zuidelijke ligging van het station.

Tabel 5.1. Overzicht geprognostiseerde contourafstanden op basis van metingen en berekeningen voor tunnel

omschrijving	maaiveld $V_{max}=0.2$	woongebouwen bestaand $V_{per}=0.05$ (nacht)	woongebouwen nieuw $V_{per}=0.05$	kantoorgebouwen $V_{per}=0.07$ (dag/avond)
Tunnel	40 m	80 m	35 m	20 m
vrije veld	160 m	220 m	135 m	110 m

Voor de vergelijking van de acht alternatieven is gebruik gemaakt van de contourafstanden zoals beschreven in tabel 5.1. Per alternatief is vervolgens een inschatting gemaakt van het aantal woningen of kantoren dat binnen de aangegeven contouren valt op basis van de ter beschikking gestelde gegevens BVO woningen per alternatief. Hierbij is voor elk bouwblok de afstand tot de tunnelwand bepaald voor de dichtstbijzijnde en de verst gelegen woningen. Voor alle alternatieven is meestal gebruik gemaakt van de afstand voor de tunnel. Alleen voor de korte tunnel variant is uitgegaan van de vrije veld afstanden voor het traject waar het spoor geheel op maaiveld is gesitueerd. Voor kantoren is een gelijke procedure gevolgd.

verbetering spoorbaan ten zuiden van Irenetunnel

In het voorjaar van 2003 is gewerkt aan de spoorbaan ten zuiden van Irenetunnel. Recente trillingsmetingen laten zien dat de ligging van de baan zeer sterk is verbeterd en dat de trillingsniveaus ten zuiden van de Irenetunnel significant lager zijn geworden dan de in tabel 5.1 aangegeven waarden voor het vrije veld, die zijn gebaseerd op metingen ter hoogte van het station (Westerstraat) (lit 17.). De verwachting is dat de niveaus ongeveer een factor 2 lager kunnen blijven (bij blijvende goede ligging van de baan) en dat de vrije veld contour voor de woongebouwen $V_{per}=0.05$ uit kan komen op ca. 100 m in plaats van 135 m. Door deze afname zal de kans op hinder voor de bewoners ten zuiden van de Irenetunnel afnemen. In het kader van dit MER betekent dat een reductie van de totale aantallen gehinderden. Voor de beoordeling van de verschillende alternatieven is deze verbetering niet direct relevant omdat zij van gelijke invloed is op alle alternatieven en de onderlinge verschillen zullen blijven bestaan.

5.2. Kans op hinder voor personen in woningen

Tabel 5.2. geeft een overzicht van de som van het aantal personen in bestaande woningen en in nieuwe woningen. De beoordeling is bepaald ten opzichte van het aantal personen dat kans op hinder ondervindt in de referentie-situatie. In alle gevallen is er een afname van het totaal aantal gehinderden ten opzichte van de referentie-situatie. De waardering + of ++ is gegeven op basis van het totaal aantal gehinderden. De alternatieven met een korte tunnel scoren minder goed omdat de trein eerder op maaiveld (uit de tunnel) komt en de trillingen zich dan 'beter' kunnen voortplanten in het gebied ten zuiden van de huidige Irenetunnel.

Tabel 5.2. Overzicht alternatieven met aantal personen met kans op hinder in woongebouwen

	2015	LON	LOZ	LWN	LWZ	KWZ	LWN +VLS	LWZ +VLS	KWZ +VLS
aantal personen met kans op hinder									
- personen in bestaande woningen	5280	1560	1560	1560	1560	1760	1560	1560	1760
- personen in nieuwe woningen		1480	1480	1100	1100	1520	1090	1090	1480
totaal									
aantal personen in woningen	5280	3040	3040	2660	2660	3280	2650	2650	3240
totaal	0	++	++	++	++	+	++	++	+

In de huidige situatie wonen circa 4.810 personen binnen de trillingscontouren waar op basis van de SBR2002 kans op hinder bestaat. Bij autonome ontwikkeling neemt dat aantal toe tot circa 5.280 personen door het extra aantal treinpassagiers.

De aanleg van de tunnel geeft een significante verlaging van het aantal personen dat zich binnen de trillingscontour bevindt waar kans op hinder bestaat. Het aantal personen in bestaande woningen met kans op hinder komt, afhankelijk van het alternatief, uit op 1.560-1.760 personen. Voor de nieuw te realiseren woningen komen daar nog 1.100-1.520 personen bij. Uit het overzicht blijkt dat bij de bestaande woningen de kans op hinder gereduceerd wordt met circa 70%.

Bij vergelijking van de alternatieven dan scoren de alternatieven met lange tunnel beter dan de korte tunnel. De westelijke ligging geeft in totaal het laagst aantal personen met kans op hinder. De alternatieven met handhaving van de Van Leeuwenhoeksingel scoren gelijkwaardig, met dien verstande dat het aantal beschikbare BVO in het algemeen iets lager uitkomt. In alle gevallen is er ten opzichte van de referentie-situatie sprake van een duidelijke verbetering (zeker als gekeken wordt naar de bestaande woningen).

5.3. Kans op hinder voor personen op arbeidsplaatsen

Hinder voor personen op arbeidsplaatsen is separaat beoordeeld. In tabel 5.3. is een totaal overzicht gegeven van de kans op hinder op de arbeidsplaats voor bestaande en nieuwe kantoren. Voor de nieuwe arbeidsplaatsen is het aantal personen met kans op hinder aangegeven op basis van de plekken waar de streefwaarde van $V_{max,eff}=0.6$ (dag/avond) zou kunnen worden overschreden indien bij de bouw van de kantoren direct bij, op de tunnel of als overkluizing, onvoldoende rekening wordt gehouden met de opgewekte trillingen.

De alternatieven met een oostelijke ligging van de tunnel geven een hoger aantal personen met kans op hinder omdat bij deze alternatieven de kantoren in de omgeving van de Prinses Irenetunnel dicht bij de tunnel zijn gesitueerd dan bij de westelijke ligging. De alternatieven met handhaving van de Van Leeuwenhoeksingel geven hogere aantallen voor de lange tunnel. Voor de korte tunnel is het aantal personen met of zonder behoud van de Van Leeuwenhoeksingel gelijk.

De alternatieven met een tunnel in westelijke ligging geven de laagste aantallen personen met kans op hinder. Hieruit blijkt dat het aantal personen met kans op hinder voornamelijk bepaald wordt door de nieuwe kantoren. Ten opzichte van de referentie-situatie is dat dus in principe een verslechtering. Wanneer echter in acht genomen wordt dat er met de kantoren bewust nieuwe arbeidsplaatsen langs het spoor worden gecreëerd dan is een vergelijking met de referentie-situatie niet zinvol.

Uit de berekening blijkt dat het aantal personen met kans op hinder op de arbeidsplaats toeneemt ten opzichte van de referentie-situatie. De alternatieven met westelijke ligging leveren de laagste aantallen op. De aantallen gehinderden kunnen in principe gereduceerd worden indien bij de bouw van de nieuwe kantoren op en direct naast de tunnel voldoende rekening wordt gehouden met trillingsisolatie.

Tabel 5.3. Totaaloverzicht alternatieven met aantal personen met kans op hinder op arbeidsplaatsen

	2015	LON	LOZ	LWN	LWZ	KWZ	LWN +VLS	LWZ +VLS	KWZ +VLS
aantal personen met kans op hinder									
- personen op bestaande arbeidsplaatsen	680	5	5	5	5	5	5	5	5
- personen op nieuwe arbeidsplaatsen		760	760	310	310	800	380	380	800
totaal aantal personen op arbeidsplaatsen	680	765	765	315	315	805	385	385	805
totaal weging		0	0	++	++	-	++	++	-

5.4. Hinder vanwege trillingen van trams

Voor de Phoenixstraat bestaan er twee alternatieven voor de ligging van de trambaan.

1. de trambaan in het midden waarbij bundeling ontstaat met de weg. De kortste afstand tot de woningen bedraagt dan ruim 20 meter. De woningen liggen daarmee op voldoende afstand om eventuele hinder te voorkomen;
2. de trambaan aan de oostzijde van de nieuwe stadsgracht op een afstand van 10-12 m van de woningen en kantoorgebouwen. De straatgevel van de woningen en kantoorgebouwen liggen dan juist buiten de grens van de periodegemiddelde waarde voor de trillingen van de trams zodat er ook dan geen hinder is te verwachten.

In het stationsgebied bestaan er twee alternatieven waarbij de tramlijn over de Verlengde Coenderstraat loopt, namelijk de alternatieven met westelijk tracé en zuidelijk gepositioneerd station (LWZ en KWZ). Voor deze nieuw te bouwen woningen en kantoren is de kans op hinder vanwege de passage van trams gelijk aan nul zolang het tramtracé niet strak tegen de gevel wordt geprojecteerd en/of een gelijk fundament krijgt als de gebouwen.

5.5. Schade aan bouwwerken en storingen aan apparatuur

Voor de nieuw te bouwen woongebouwen en kantoren met eventuele apparatuur is geen schade te verwachten indien bij de fundering en bouw voldoende rekening wordt gehouden met de nabije ligging van de tunnel.

5.6. Resumé beoordeling

In tabel 5.4. is de beoordeling op het thema trillingen samengevat.

Tabel 5.4. Beoordeling aantal personen met kans op hinder t.o.v. referentiesituatie

trillingen	LON	LOZ	LWN	LWZ	KWZ	LWN +VLS	LWZ +VLS	KWZ+V LS
beoordeling aantal personen met kans op hinder								
- in woningen	++	++	++	++	+	++	++	+
- op arbeidsplaatsen	0	0	++	++	-	++	++	-

Bij alle alternatieven is voor nieuwe en bestaande woningen een afname van het aantal personen met kans op hinder te zien. De beoordeling voor alle alternatieven is dus positief of zeer positief; positief (+) voor de alternatieven met een korte tunnel en zeer positief (++) voor alle alternatieven met een lange tunnel.

Ten aanzien van het aantal personen met een kans op hinder op de arbeidsplaats geldt dat de alternatieven met een lange tunnel en een westelijk tracé zeer positief worden beoordeeld. De alternatieven met een lange tunnel en een oostelijk tracé scoren ongeveer gelijk aan de referentiesituatie. Er is wel een lichte toename, maar in het licht van het feit dat het aantal arbeidsplaatsen sterk zal stijgen door de nieuw te bouwen kantoren is dat niet onderscheidend.

Het aantal personen met kans op hinder op de arbeidsplaats bij de alternatieven met een korte tunnel neemt meer toe en is als negatief (-) beoordeeld.

Voor de nieuw te bouwen woongebouwen en kantoren met eventuele apparatuur is geen schade te verwachten indien bij de fundering en bouw voldoende rekening wordt gehouden met de nabije ligging van de tunnel.

6. LEEMTEN IN KENNIS EN INFORMATIE

werkelijk aantal gehinderden

Er is een worst-case benadering gekozen voor de prognose van het aantal personen met kans op trillingshinder. Deze gegevens zijn voldoende representatief om de verschillende alternatieven onderling te vergelijken ten aanzien van veranderingen in trillingshinder. De kans op hinder neemt echter sterk af bij een toenemende afstand tot het spoor. Om meer nauwkeurigheid te verkrijgen dient het werkelijk aantal gehinderden te worden bepaald.

invloed lokale bodemopbouw en bouwwijze gebouwen op trillingen

Voor het totale tracé is een prognose gemaakt op basis van een de metingen langs de huidige baan en een aantal woningen. Daarmee kan een voldoende representatief beeld verkregen worden voor het beoordelen van de verschillende alternatieven. Toch zijn voor lokale situatie verschillen te verwachten gezien de rijke historie van de bodem en de diverse soorten gebouwen. Het onderzoeken van ieder individueel object afzonderlijk heeft echter onvoldoende meerwaarde voor de besluitvorming over de alternatieven.

prognose van de aantallen treinpassages 2010-2020

Voor de prognose van de aantallen treinpassages is uitgegaan van de prognose conform het akoestisch spoorboekje. Het akoestisch spoorboekje geeft een prognose voor het aantal bakken per uur en het type trein. Uit deze aantallen en de huidige dienstregeling zijn het aantal treinpassages per etmaal (dag, avond en nacht) bepaald door uit te gaan van een gemiddelde treinlengte. In de praktijk zal echter het werkelijke aantal passages kunnen afwijken van de aldus bepaalde passages. Bovendien zijn wijzigingen mogelijk als Delft weer een intercity station wordt en de meeste treinen stoppen. Verder zal in de toekomst ook gebruik kunnen worden gemaakt van light-rail voertuigen. Deze voertuigen zijn iets lichter dan de huidige voertuigen. Deze verschillen zullen echter niet leiden tot significant andere resultaten en is ook niet onderscheidend voor de verschillende alternatieven.

7. LITERATUURLIJST

1. DIN4150 Teil 2: 1992 'Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden'.
2. Advies voor richtlijnen voor het milieueffectrapport Spoorzone Delft, Eindconcept, 26 september 2002, nummer 1276-64.
3. Marktwerving, deregulering en wetgevingskwaliteit' het Ministerie van VROM, 1997.
4. Stichting Bouwresearch (SBR) richtlijnen voor trillingshinder of schade, 1993, herziene versie 2002.
5. Beleidsplan Milieu en Water in uitvoering, Handbagage voor duurzaamheid en omgevingskwaliteit in het grootstedelijk gebied, uitgave Provincie Zuid-Holland, oktober 2001.
6. Zeichart, Sinz, Schuemer-Kohers, Rudolf Schuemer, Erschütterungen durch Eisenbahnverkehr und ihre Wirkungen auf Anwohner, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 41 (1994) 43-51.
7. Akoestisch spoorboekje, Ministerie van VROM/Bureau SWOV, 2002.
8. P.H. Waarts, PAO Cursus Trillingshinder en contactgeluid, november 2001.
9. Ackva J. en Niedermeyer S. , Ganzheitliches Modell für die Prognose von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr, Lärmbekämpfung 42 (1995), 151-158.
10. Prognosemodel trillingshinder, CUR rapport 95-2, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, februari 1995.
11. Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaa, Ministerie VROM, November 1996.
12. SBR-richtlijn A, Meet- en beoordelingsrichtlijn Schade aan Gebouwen, 2002.
13. SBR-richtlijn B, Meet- en beoordelingsrichtlijn Hinder voor personen, 2002.
14. SBR-richtlijn C, Meet- en beoordelingsrichtlijn Storing aan apparatuur, 2002.
15. Concept rapport TNO, 2002-CI-R2139, 31 januari 2003.
16. Hinderlijkheid van constructiegeluid met laagfrequent karakter veroorzaakt door trillingen vanwege ondergrondse infrastructuur, Centrum voor Ondergrondsbouwen, commissie D100, Gouda, 2001.
17. Trillingsmetingen Spoorzone Delftsituatie Delft-Zuid, DHT/TCE, maart 2003.

8. AFKORTINGEN EN BEGRIPPENLIJST

begrip	omschrijving
A1	Drempelwaarde genoemd in SBR-richtlijn B, streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$.
A2	Drempelwaarde genoemd in SBR-richtlijn B, maximale waarde, hoogste streefwaarde $V_{\max}$.
A3	Drempelwaarde genoemd in SBR-richtlijn B, weegwaarde, welke berekend wordt als de drempelwaarde wordt overschreden.
Beoordelingsperiode	Beoordelingsperiode: tijdsinterval waarin de dag verdeeld wordt conform de SBR-richtlijnen: - dagperiode van 07.00 tot 19.00 uur; - avondperiode van 19.00 tot 23.00 uur; - nachtperiode van 23.00 tot 07.00 uur.
Eindig Elementen Model	Rekenmodel waarbij alle relevante onderdelen van tunnel, bodem en woning worden verdeeld in een zo groot mogelijk aantal kleinere 'elementen' die met elkaar in verbinding staan. Vervolgens wordt dan berekend hoe de trillingen van het ene element naar het andere element doorgeven en uiteindelijk de woning en de vloer in trilling brengen.
Effectieve trillingssnelheid (V_{eff})	Voortschrijdende effectieve waarde van de gewogen trillingsgrootte.
HPV-model:	Hybrid Prognosis of Vibration, model ter bepaling van trillingcontouren op basis van metingen.
Horizontale trillingssnelheid	De waarde van de trillingssnelheid die uit een beweging in horizontale richting (heen en weer evenwijdig aan bodem) bestaat.
Maximale trillingssnelheid	$V_{\max}$: de grootste waarde van V_{eff} voor een bepaalde ruimte; gelijk aan de hoogste waarde van ($V_{\max, \text{eff}}$) voor verschillende metingen.
Periode snelheid	V_{per} : de effectieve waarde van de maxima (in één richting) bepaald voor een beoordelingsperiode (dag, avond of nacht) over N aaneensluitende intervallen van 30 seconden. De hoogste waarde van de dag, avond of nachtperiode wordt gelijkgesteld aan de etmaalwaarde V_{etmaal} .
SBR-richtlijn	SBR-richtlijn, Richtlijn voor beoordeling van trillingen uitgegeven door de Stichting Bouw Research.
Topwaarde	V_{top} : de op een zeker tijdstip in absolute zin grootste afwijking ten opzichte van de gemiddelde waarde (ook wel piekwaarde genoemd).
Treintypen	Typen volgens reken- en meetvoorschrift railverkeerslawaaï.

Trillingsterkte

In het algemeen de aanduiding van de sterkte van de trilling in relatie tot het van belang zijnde trillingseffect. In het geval van schade wordt onder de trillingsterkte verstaand de topwaarde van een trillingssnelheid. In geval van hinder voor omwonenden wordt uitgegaan van de effectieve waarde.

Verticale snelheid

De waarde van de trillingsnelheid die uit een beweging in verticale richting (op en neer haaks op bodem) bestaat.

V_{etm}

De hoogste waarde van de gemiddelde equivalente waarde V_{per} voor de dag-, avond- of nachtperiode.