Planstudie SAAL, cluster C

Trillingsonderzoek Diemen

Opdrachtgever **ProRail**
R.P.J. Jasker

Movares Nederland B.V.
Auteur ir. W.N. Oskam
Kenmerk GEO-WO-090015714 - Versie 1.0

Utrecht, 17 juli 2009
Vrijgegeven

© 2009, Movares Nederland B.V.

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

Samenvatting

ProRail onderzoekt op het traject Schiphol-Amsterdam-Almere-Lelystad (SAAL) Mogelijkheden om de capaciteit te vergroten. Mede door de opening van de Hanzelijn in 2013 is de verwachting dat het aantal reizigers op deze corridor substantieel zal toenemen. Het kabinet heeft naar aanleiding van het kabinetsbesluit over de Zuiderzeelijn (16 november 2007) een bedrag van 1,35 miljard euro vrijgemaakt voor de verbetering van het OV op dit traject.

Met trillingsmetingen op vijf verschillende locaties langs het tracé wordt het trillingsniveau in de huidige situatie in kaart gebracht. De vijf locaties zijn verdeeld over Duivendrecht en Diemen. Aan de hand van de metingen wordt ook een indicatie voor de toekomst gemaakt. De trillingsniveaus worden in de huidige en toekomstige situatie getoetst aan de SBR-B richtlijn voor personen in gebouwen. De bevindingen kunnen worden gebruikt voor een tracé-besluit. De verwachting is dat op dit traject alleen een extra wachtspoor wordt aangelegd.

De hoogst gemeten trillingsniveaus werden meestal veroorzaakt door goederentreinen. Echter zijn de niveaus van enkele passagierstreinen vergelijkbaar.

De gemeten niveaus zijn geëxtrapoleerd naar de afstand waar zich woningen bevinden. Hierdoor wordt in kaart gebracht wat de verwachte trillingshinder in de woningen is. Verder is in de nieuwe situatie op alle locaties een wissel voorzien, behalve op locatie 5, omdat daar reeds een wissel aanwezig is.

De extrapolatie van de gemeten trillingsniveaus in Diemen geven aan dat de verwachte trillingshinder zeer beperkt is en altijd voldoet aan de SBR-streefwaarde.

Tabel 1-1 trillingsniveaus in woningen

locatie	Straat/ gebied	Bepaalde niveaus huidige situatie	Bepaalde niveaus nieuwe situatie met wissel	Toetsing stand still (nieuw met wissel)	Toetsing aan SBR streefwaarde Nieuw
1	Dolingadreef	0.08	0.09	Geen hinder	Voldoet
2	Metro station venserpolder	0.05	0.05	Geen hinder	Voldoet
		0.02	0.02	Geen hinder	Voldoet
3	Station Diemen-Zuid	0.05	0.06	Geen hinder	Voldoet
		0.04	0.04	Geen hinder	Voldoet
4	Zwanenpad (Bedrijfspand)	0.08	0.09	Geen hinder	Voldoet
		0.22	0.27	Toename	Voldoet
5	Muiderstraatweg	0.24	0.24	Stand still	Voldoet

De toename op locatie 4 is voor een bedrijfspand. De streefwaarde hiervoor zijn hoger dan voor woningen.

Op locatie 5 is sprake van matige hinder. Echter zal het blijven voldoen aan de streefwaarde SBR-nieuw.

Inhoudsopgave

Samenvatting **1**

1 Inleiding **3**

2 Situatiebeschrijving **4**
2.1 Gebiedsbeschrijving 4
2.2 Treinintensiteiten 4

3 Toetsingskader **5**
3.1 SBR trillingsrichtlijn deel B 5
3.1.1. Uitgangspunten toetsingswaarden 6
3.1.2. Bepaling trillingsintensiteit v_per 6
3.1.3. Streefwaarden 6
3.1.4. Interpretatie toetsingswaarden 7
3.2 Mate van hinderbeleving bij trillingsniveau 8
3.3 Toetsingscriterium 9

4 Hinder tijdens de exploitatie **10**
4.1 Aanpak 10
4.1.1. Trillingsniveau als functie van afstand (Barkan vergelijking) 10
4.1.2. Invloed van intensivering treinverkeer 11
4.1.3. Invloed van snelheidstoename 11
4.1.4. Invloed van gebouw op trillingsniveau 11
4.1.5. Wisseleffect (W) 11
4.1.6. Betrouwbaarheidfactor i.v.m. afstand 11
4.2 Metingen 12
4.2.1. Meetinstrumenten 12
4.2.2. Meetposities 12
4.3 Metingen 13

5 Meetresultaten **14**
5.1 Resultaten metingen 14
5.2 Toetsing aantal gehinderde 20

6 Conclusie **22**

Colofon **23**

Bijlage I SBR trillingsrichtlijnen Deel B, hinder

1 Inleiding

ProRail onderzoekt op het traject Schiphol-Amsterdam-Almere-Lelystad (SAAL) Mogelijkheden om de capaciteit te vergroten. Mede door de opening van de Hanzelijn in 2013 is de verwachting dat het aantal reizigers op deze corridor substantieel zal toenemen. Het kabinet heeft naar aanleiding van het kabinetsbesluit over de Zuiderzeelijn (16 november 2007) een bedrag van 1,35 miljard euro vrijgemaakt voor de verbetering van het OV op dit traject.

Figuur 1-1, SAAL, inclusief indicatie van het huidige onderzoeksgebied (miniserie van V&W)

Dit trillingsonderzoek heeft betrekking op het traject van Amsterdam Duivendrecht Diemen Zuid- spoorbrug over het Amsterdam Rijnkanaal (richting Weesp).

Door een eventuele spooruitbreiding zal mogelijk de hinder van trillingen kunnen toenemen voor de personen die in de omgeving van deze spooruitbreiding wonen. Ten behoeve van de Planstudie SAAL wordt in eerste instantie de huidige situatie vastgelegd en aangegeven of deze trillingshinder voor omwonende een relevant issue is.

Met trillingsmetingen op vijf verschillende locaties langs het tracé wordt het trillingsniveau in de huidige situatie in kaart gebracht. De vijf locaties zijn verdeeld over Duivendrecht en Diemen. Aan de hand van de metingen wordt ook een indicatie voor de toekomst gemaakt. De trillingsniveaus worden in de huidige en toekomstige situatie getoetst aan de SBR-B richtlijn voor personen in gebouwen. De bevindingen kunnen worden gebruikt voor een tracé-besluit.

Hoofdstuk 2 behandelt een gebiedsbeschrijving en in hoofdstuk 3 staat bevind zicht het toetsingkader. Hoofdstuk 4 gaat over de kans op hinder tijdens de exploitatie. Hoofdstuk 5 behandelt de metingen. Ten slotte staan in hoofdstuk 6 de conclusies.

2 Situatiebeschrijving

2.1 Gebiedsbeschrijving

Op vijf locaties in Duivendrecht en Diemen zijn trillingen gemeten nabij het spoor. In Figuur 2-1 zijn de vijf meetlocaties en enkele orientatiepunten weergegeven.

Figuur 2-1, overzichtskaart met locaties (Geomonitor)

Het spoor is gesitueerd op een spoordijk. Langs het traject bevinden zich veel kunstwerken en een kleine hoeveelheid wissels.

2.2 Treinintensiteiten

Langs de vijf locaties rijden ongeveer 15 treinen per uur. Bestaande uit:

Tabel 2-1 Treinintensiteit

Soort trein	Type	Aantal per uur
Stoptreinen	Mat 64 en DDM	8
Intercity's	ICM en IRM	4
Internationale trein	Locomotief met losse rijtuigen	2
Goederen en Overige	Goederen en werkverkeer	1

3 Toetsingskader

Treinverkeer en heiwerkzaamheden kunnen aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen op hun beurt leiden tot schade of hinder. Stichting Bouwresearch (SBR) heeft richtlijnen opgesteld, die criteria geven voor het meten en beoordelen van trillingen.

Tot op heden zijn de richtlijnen nog niet vastgelegd in wetgeving, maar de richtlijnen worden veelvuldig gebruikt. In gevallen waarbij uiteindelijk de rechter werd ingeschakeld speelde de richtlijn vaak een belangrijke rol. Ook de Raad van State baseert zich bij zijn oordeelsvorming deels op de richtlijnen ten aanzien van trillingen.

De SBR Richtlijn bestaat uit 3 delen:

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

In dit hoofdstuk wordt het relevante toetsingskader van SBR-richtlijnen voor dit project toegelicht. Het gaat hier om woningen en kantoren die kans hebben op hinder.

3.1 SBR trillingsrichtlijn deel B

De trillingsniveaus worden beoordeeld aan de hand van de SBR richtlijnen voor trillingen. In dit onderzoek worden richtlijn B gebruikt: hinder voor personen in gebouwen. In het geval van trillingen langs spoorlijnen tijdens exploitatie is richtlijn B (hinder voor personen in gebouwen) doorgaans van belang. De niveaus die passerende treinen veroorzaken zijn meestal niet zo hoog dat er schade aan gebouwen te verwachten is.

De SBR trillingsrichtlijn deel B wordt gebruikt om de toetsingswaarden ten aanzien van hinder te bepalen. Anders dan bij de richtlijn voor schade (deel A), is er niet 1 toetsingswaarde, maar zijn er 3 verschillende toetsingswaarden gedefinieerd. De drie toetsingswaarden hebben de volgende betekenis:

Tabel 3-1: Betekenis toetsingswaarde.

A1	Streefwaarde voor de trillingssterkte $v_{eff,max}$
A2	Hoogste streefwaarde voor de trillingssterkte $v_{eff,max}$
A3	Streefwaarde voor de trillingsintensiteit v_{per}. De waarde voor v_{per} neemt toe naarmate de trilling vaker per uur optreedt.

3.1.1. *Uitgangspunten toetsingswaarden*

In onderstaand tabel staan de uitgangspunten voor dit onderzoek, nodig voor het bepalen van de streefwaarden.

Tabel 3-2 Uitgangspunten voor het bepalen van de streefwaarden

item	indeling	motivatie
gebouwfunctie	Wonen / Kantoor	Langs de spoorlijn staan zowel kantoorgebouwen/ bedrijfspanden als woningen
trillingsvorm	Herhaalt voorkomende trillingen, gedurende lange tijd	Treinverkeer valt onder herhaald voorkomende trillingen
oude, gewijzigde of nieuwe situatie	gewijzigd	De bestaande spoorlijn wordt aangepast

3.1.2. *Bepaling trillingsintensiteit v_per*

De trillingssterkte *v_per* is een indicatie over het trillingsniveau over een periode en is gerelateerd aan de streefwaarde A3 van SBR-B. v_per is gedefinieerd als:

$$v_{per} = \sqrt{\frac{T_b}{T_0}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} v_{eff,max,30,i}^2}$$

Voor het bepalen van v_per is het van aantal treinpassages per tijdseenheid van belang.

3.1.3. *Streefwaarden*

Aangezien het een gewijzigde situatie betreft, zijn zowel de streefwaarden voor bestaande situaties als de streefwaarden voor nieuwe situaties van belang bij de beoordeling.

Tabel 3-3 Toetsingswaarden nieuwe situatie, herhaald voorkomende trillingen

toetsingswaarden trillingen, nieuwe situatie						
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
1. Gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
2. Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
3. Kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
4. Bijeenkomsten	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-

Tabel 3-4 Toetsingswaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trillingen

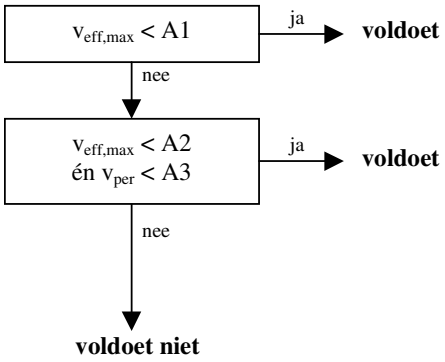
toetsingswaarden trillingen, bestaande situatie						
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
1. Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
2. Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
3. Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
4. Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-

Opmerking: een streefwaarde van 0.4 betekent dat de streefwaarde < 0.45.

Omdat er zowel overdag als 's nachts treinen rijden, is bij de gebouwfunctie "wonen" de A2-waarde in de nacht maatgevend.

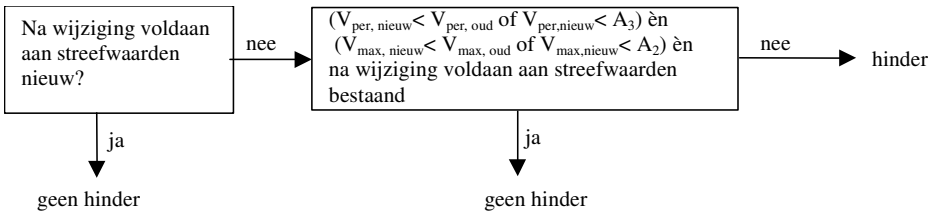
3.1.4. Interpretatie toetsingswaarden

Voor het beoordelen van de gemeten $v_{eff,max}$ moet onderstaand schema worden doorlopen. Wanneer de gemeten waarden lager uitvalt dan A1, voldoet de locatie. Wanneer dit niet het geval is, kan via een tweede mogelijkheid de locatie alsnog voldoen. De gemeten $v_{eff,max}$ moet dan lager zijn dan A2, waarbij tevens de gemeten v_{per} lager is dan de opgegeven A3 waarde. De interpretatie staat schematische weergegeven in figuur 4-1.



Figuur 3-1 Stroomschema interpretatie toetsingswaarden A1, A2 en A3

De bestaande situatie wordt getoetst aan de streefwaarden voor bestaande situaties. De toekomstige situatie wordt getoetst aan de streefwaarde voor gewijzigde situaties. Uitgangspunt bij gewijzigde situaties is dat er mag worden voldaan aan de streefwaarden voor bestaande situaties voor zover het trillingsniveau niet toeneemt. Indien er wel toename is, maar de streefwaarden voor nieuwe situaties worden daarbij niet overschreden, dan wordt er ook voldaan aan het toetsingscriterium voor gewijzigde situaties. Schematisch staat dit in figuur 4-2 weergegeven.



Figuur 3-2 Stroomschema gewijzigde situatie

3.2 Mate van hinderbeleving bij trillingsniveau

Aan de hand van de SBR-B streefwaarde wordt het aantal personen bepaald dat potentieel gehinderd is. De mate van hinderbeleving verschilt echter van individu tot individu. In Bijlage 5 van de SBR-B richtlijn voor de afweging van de toelaatbaarheid van trillingssterkten de volgende tabel gegeven:

Tabel 3-5 Hinderkwalificatie voor weg- en railverkeer

V_{max}	**hinderkwalificatie**
<0.1	**geen hinder**
0.1 – 0.2	**weinig hinder (bestaande situaties)**
0.2 – 0.8	**matige hinder**
0.8 – 3.2	**hinder**
>3.2	**ernstige hinder**

Tabel 3-5 zal worden gebruikt bij de doelmatigheidsafweging van trillingsreducerende maatregelen. Maatregelen worden beschouwd voor locaties waar in de toekomst sprake is van een ernstiger hinderkwalificatie dan in de huidige situatie. Maatregelen worden ook beschouwd indien er sprake is van “ernstige hinder”

In Noorwegen[1] is onderzoek gedaan naar de mate waarin personen hinder ondervinden bij een bepaald trillingsniveau. In Tabel3-6 staan resultaten uit dit onderzoek. De 95% rms verwachtingswaarde is vergelijkbaar met de $V_{eff, max}$ waarde die gebruikt wordt bij de SBR-B richtlijn. Bijvoorbeeld bij $V_{eff, max}$>0.20 wordt de SBR-B streefwaarde gedurende de nacht in woningen overschreden. Circa 5% van de personen ondervindt dan ernstige hinder van trillingen.

[1] R. Klaeboe, I.H. Turunen-Rise en C. Madshus *Vibration in dwellings from road and rail traffic – Part II: exposure-effect relationships based on ordinal logit and logistic regression models* Applied Acoustics Volume 64, Issue 1, pp 89-109 *january 2003*

Tabel 3-6 Mate van hinderbeleving bij een bepaald trillingsniveau uit Noors onderzoek

maximale rms trilsnelheid op basis van 95% verwachtingswaarde [mm/s]	percentage mensen dat enige mate van hinder ondervindt (incl. percentage ernstige hinder)	percentage mensen dat ernstige hinder ondervindt
0.06	5.8	2.0
0.1	8.2	3.5
0.2	11.8	5.0
0.5	20.0	10.0
1	29.0	15.0

De SBR-B richtlijn gaat uit van de streefwaarde V_{max}=0.4, wat overeenkomt met circa 8 procent mensen die ernstige hinder ondervinden. Er wordt naar gestreefd dat minder dan 8 procent van de mensen hinder ondervindt.

3.3 Toetsingscriterium

Duivendrecht - Diemen
Op het traject Duivendrecht – Diemen zijn geen verandering met uitzondering van het gebruik. Derhalve worden de trillingen langs dit tracé getoetst aan "stand-still".

Wel wordt er gekeken naar de "streefwaarde SBR- B richtlijn met betrekking tot bestaand" maar vooralsnog geen maatregelen om die te halen. Als deze streefwaarde wordt overschreden, maar de trillingen nemen niet toe, dan worden geen maatregelen voorgesteld.

De verandering van trillingsniveaus is ingedeeld in onderstaande classificatie:

		v_eff,max,nieuw / v_eff,max,oud	<	1,0	Afname;
		v_eff,max,nieuw / v_eff,max,oud	=	1,0	Stand still;
1,0	<	v_eff,max,nieuw / v_eff,max,oud	<	1,3	Toename;
		v_eff,max,nieuw / v_eff,max,oud	≥	1,3	Aanzienlijke toename.

In deze classificatie is een onderscheid gemaakt tussen een toename en een aanzienlijke toename, omdat over het algemeen een kleine toename niet wordt waargenomen door mensen. Pas wanneer er sprake is van een aanzienlijke toename van trillingen kan men onderscheiden dat de trillingen erger worden. Indien de $V_{eff,max}$ in de nieuwe situatie bij woningen onder de 0.2 blijft, is er geen sprake van hinder, de hierboven genoemde classificatie is dan niet van toepassing.

4 Hinder tijdens de exploitatie

Nadat het project SAAL gerealiseerd is, wordt het treinverkeer waarschijnlijk geïntensiveerd. Door deze wijziging kan het trillingsniveau tijdens exploitatie toenemen.

4.1 Aanpak

Op een 5-tal locaties langs de betreffende spoorlijn zijn trillingsmetingen uitgevoerd tijdens de huidige exploitatie van de spoorlijn. De metingen worden gebruikt voor de volgende doeleinden:

- Het vastleggen van het trillingsniveau in de huidige situatie;
- De bepaling van een afstands-trillingsniveau relatie per locatie;

Op de 5 locaties is het trillingsniveau met twee 3D en twee 2D opnemers gemeten. De opnemers zijn buiten geplaatst. Hierbij zijn de opnemers in een rij met regelmatige afstanden geplaatst, beginnend met een 3D opnemer die zo dicht mogelijk bij het spoor ligt. De andere opnemers liggen vervolgens met gelijkmatige tussenafstanden van steeds 5m of 10 m, eerst de andere 3D opnemer en vervolgens de 2D opnemers.

4.1.1. Trillingsniveau als functie van afstand (Barkan vergelijking)

Voor alle meetlocaties worden parameters bepaald voor de Barkan vergelijking, die de afname van het trillingsniveau met de afstand beschrijft. De Barkan vergelijking heeft de volgende vorm:

$$V(r) = V(r_0) * \left(\frac{r_0}{r}\right)^n * e^{-\alpha(r-r_0)}$$

waarin:

V(r)	*de trilsnelheid op afstand r*
r	*de afstand tot het spoor*
r_0	*de referentieafstand*
n	*parameter die de geometrische spreiding beschrijft*
α	*parameter die de demping in de bodem beschrijft*

De Barkan curve wordt door de maximaal gemeten waarden wordt gebruikt voor de toetsing aan de A1 en A2-waarde uit de SBR-B richtlijn. Alleen indien een enkele waarde uitzonderlijk hoog is, wordt deze niet volledig meegenomen.

Voor de Barkan curve door de gemiddelde waarden wordt steeds per meetafstand het gemiddelde van de 15 hoogste gemeten waarden van de reizigerstreinen gebruikt. Deze Barkan curve wordt gebruikt voor de bepaling van de V_{per} waarde. Indien er geen duidelijk onderscheid is tussen reizigerstreinen en goederentreinen, dan wordt het gemiddelde van de 15 hoogste gemeten waarden van alle treinen

gebruikt. De V_{per}-waarde wordt per locatie bepaald aan de hand van de gemeten verhouding tussen V_{per} en de gemiddelde waarde.

4.1.2. Invloed van intensivering treinverkeer

Tijdens de metingen is gebleken dat de maximale trillingsniveaus op een locatie vaak verband houdt met een trein bestaande uit een locomotief met een DDM, losse rijtuigen of goederenwagons. Een eventuele toename van het verkeer zal van invloed zijn op de maximaal voorkomende waarde (V_{max}), indien wordt gereden met bovengenoemde treinen. Het verschil tussen deze treinen en andere modellen (zoals een ICM) is beperkt. De V_{per}-waarde zal wel worden beïnvloed door een toename van het verkeer. Deze toename is echter minimaal, omdat de waarde van de V_{max} meestal onder de 0.1 ligt. Dit niveau wordt niet meegenomen in de V_{per} (volgens [1]).

4.1.3. Invloed van snelheidstoename

Langs het onderzochte tracé is geen snelheidsverhoging voorzien. Voor de toekomst wordt van dezelfde rijsnelheden uitgegaan als in de huidige situatie.

4.1.4. Invloed van gebouw op trillingsniveau

Meestal zorgt de fundering van een gebouw voor een reductie van het trillingsniveau ten opzichte van het trillingsniveau op maaiveld. Vloeren kunnen binnen een gebouw het trillingsniveau weer versterken. Vaak blijkt dat deze effecten elkaar opheffen wat betreft het niveau van de trillingen. Voor woningen geldt een versterkingsfactor van 1 en voor flats van meer dan vier verdieping geldt een factor 0.6.

4.1.5. Wisseleffect (W)

In het bepalen van het uiteindelijke trillingsniveau is rekening gehouden met de aanwezigheid van wissels waardoor het trillingsniveau lokaal hoger kan uitvallen. Dit effect is in rekening gebracht door middel van onderstaande formule:

$$v(w) = v(b)x\sqrt{\left(1 + \frac{20}{a}\right)}$$

Waarbij geldt:

v(w)	Trillingsnelheid inclusief wisseleffect	[m/s]
v(b)	Basis trillingsnelheid (zonder effect wissel)	[m/s]
a	Afstand tot wissel	[m]

4.1.6. Betrouwbaarheidfactor i.v.m. afstand

In verband met de grote afstand tussen de meting en de woning wordt een betrouwbaarheidsfactor twee toegepast.

4.2 Metingen

4.2.1. Meetinstrumenten

De metingen zijn uitgevoerd met het Vibraset meetsysteem. Hierbij zijn vier aparte sensoren gebruikt die op toenemende afstand tot het spoor zijn geplaatst. Hierbij is gebruik gemaakt van een tweetal 3D-sensoren die naast de verticale trillingen ook de trillingen in het horizontale vlak meten. De overige twee zijn 2D-sensoren die naast de verticale trilling een enkele horizontale component registreren. De trillingen worden gedurende bovenstaande periode constant gemeten

Tabel 4-1 opnemers

meetlocatie	Kilometrering	Gehanteerde opnemers
Locatie 1	150	2x TNO Vibra-alpha systeem, met een 3D en een 2D geofoon
Locatie 2	150.5	
Locatie 3	151.1	
Locatie 4	151.6	
Locatie 5	152.3	

4.2.2. Meetposities

De trillingsopnemers zich bevonden op de vijf meetlocaties in een lijn loodrecht ten opzichte van de lengte richting van het spoor. De meetpunten bevinden zich meestal op regelmatige tussenafstanden van elkaar, dit om aan de hand van de afname van het trillingsniveau met toenemende afstand van het spoor te kunnen afleiden wat op hoofdlijnen de trillingseigenschappen zijn van de bodem. In tabel 5-2 is aangegeven op welke afstand de opnemers zich bevinden ten opzichte van het spoor.

Tabel 5-1 Overzicht meetlocaties t.o.v. hartlijn spoor (afstand in [m])

meetlocatie	Meetpunt 1 MP1	Meetpunt 2 MP2	Meetpunt 3 MP3	Meetpunt 4 MP4
1	6	11	16	21
2	6	11	18	25
3	5	15	25	35
4	5	10	15	20
5	6	11	21	31

4.3 Metingen

Op de volgende locaties is een trillingsmeting uitgevoerd:

Tabel 4-2 meetlocaties

locatie	Straat/ gebied	Aantal gemeten treinen	type nabijgelegen gebouw	hoogte	Aantal panden	afstand spoor-gebouw [m]
1	Dolingadreef	90*	woningen	2 verd	10	40
2	Metro station venserpolder	108	woningen	2 verd	40	80
			flat	4 verd	100	100
3	Station Diemen-Zuid	104	woningen	3 verd.	30	80
			woonwagens	1 verd.	8	90
4	Zwanenpad	104	woningen	5 verd.	40	80
			bedrijfspand	2 verd	1	40
5	Muiderstraatweg	122	woningen	2 verd.	3	70

*Treinpassages met een $V_{eff,max}$ van maximaal 0.05 zijn niet meegenomen

Vanwege de grote hoeveelheid metingen is uitgegaan van de vijftien meest trillingsveroorzakende passages. Aangenomen is dat deze vijftien passages een normale verdeling hebben. Hierover is vervolgens een gemiddelde, een 5% onderschrijdingswaarde en een 95% overschrijdingswaarde over bepaalt.

Omdat het spoor gelegen is op een dijklichaam, is het dichtstbijzijnde spoor niet per definitie de locatie waar de meest trillingsveroorzakende passages voorkomen. Voor iedere locatie zijn het gemiddelde en 95% waarde van de vijftien meest trillingsveroorzakende passages uitgezet tegen de afstand t.o.v. het dichtstbijzijnde spoor.

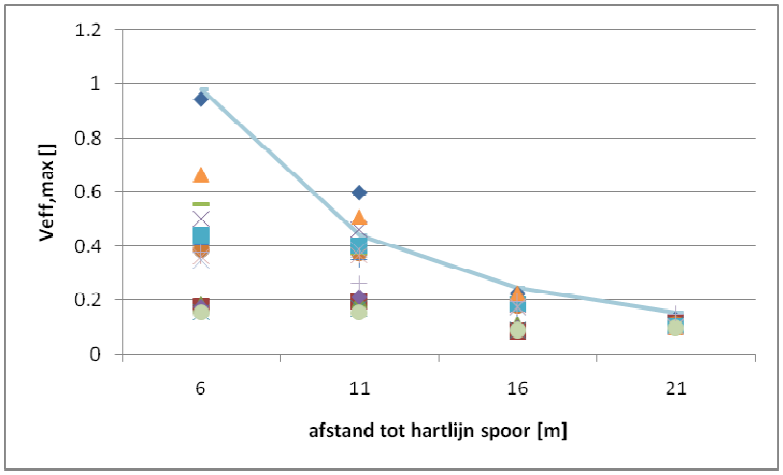
5 Meetresultaten

5.1 Resultaten metingen

Met uitzondering van locatie 1 zijn op alle locaties goederentreinen gemeten. De grootste trillingen worden meestal veroorzaakt door de goederentreinen. Echter zijn de niveaus van de passagierstreinen soms vergelijkbaar en een enkele maal hoger. In het bijzonder treinen met een losse locomotief veroorzaken veel trillingen.

Locatie 1:
Deze locatie ligt vlak bij station Duivendrecht en is gelegen op een voormalige busbaan (Dollingadreef) ten noorden van het spoor. De treinsnelheid is hier niet hoog en de sporen liggen ver uit elkaar. Hierdoor zijn de trillingen van het dichtstbijzijnde spoor hoger, dan van het andere spoor. Tevens ligt een derde spoor op grotere afstand, deze afstand is zo groot, dat het niveau meestal zeer laag is.

Figuur 5-1 Foto van locatie 1



Figuur 5-2 Hoogste meetwaarde en Barkancurve (continue lijn)

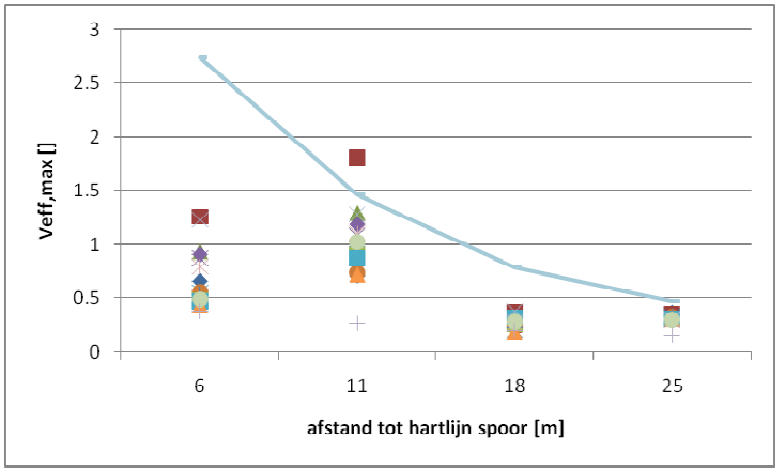
Tabel 5-1 Barkan parameters bepaald voor locatie 1

	95 % waarde van $V_{eff,max}$
$V(r_0)$	0.15
r_0	21
α	0.04
n	1

	$V_{eff,max}$, met betrouwbaarheidsfactor 2	$V_{eff,max}$, met (inclusief wissel) betrouwbaarheidsfactor 2
Verwachte hinder (40m)	0.08	0.09

Locatie 2:
Deze locatie ligt aan de noordzijde van het spoor ter hoogte van metrostation Venserpolder en het overpad. De plek waar gemeten is, ligt aan de toegangsweg naar het overpad. De afstand tot de stations is redelijk groot.

Figuur 5-3 Foto van nabij locatie 2



Figuur 5-4 Hoogste meetwaarde en Barkancurve (continue lijn)

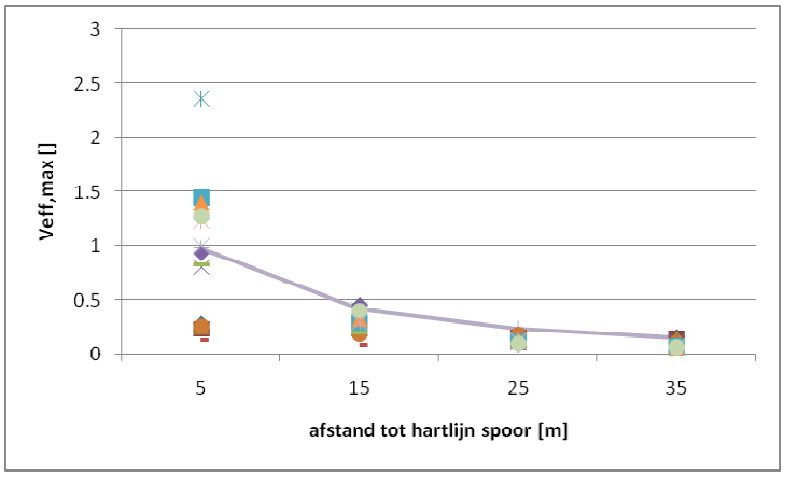
Tabel 5-2 Barkan parameters bepaald voor locatie 2

	95 % waarde van $V_{eff,max}$
$V(r_0)$	0.47
r_0	27
α	0.04
n	0.7

	$V_{eff,max}$, met betrouwbaarheidsfactor 2	$V_{eff,max}$, met (inclusief wissel) betrouwbaarheidsfactor 2
Verwachte hinder (80m)	0.05	0.05
Verwachte hinder (100m)	0.02	0.02

Locatie 3:
Deze locatie ligt naast de fietsenstalling aan de noordzijde van station Diemen Zuid. De stoptreinen stoppen op dit station. De treinsnelheid voor de intercity's en goederentreinen is ruim 100 km/u, terwijl de stoptreinen aan het optrekken of aan het afremmen zijn en een zeer lage snelheid hebben. De enige trillingen die gevoeld zijn (door een persoon) tijdens de meting waren afkomstig van enkele vrachtwagens en bussen over de Diemerdreef. Doordat gemeten wordt met een array van opnemers, kunnen dit soort invloeden in grote mate worden gefilterd. Tevens is deze meting in lichte mate beïnvloed door de metro die naast het treinspoor loopt.

Figuur 5-5 Foto van locatie 3



Figuur 5-6 Hoogste meetwaarde en Barkancurve (continue lijn)

Tabel 5-3 Barkan parameters bepaald voor locatie 3

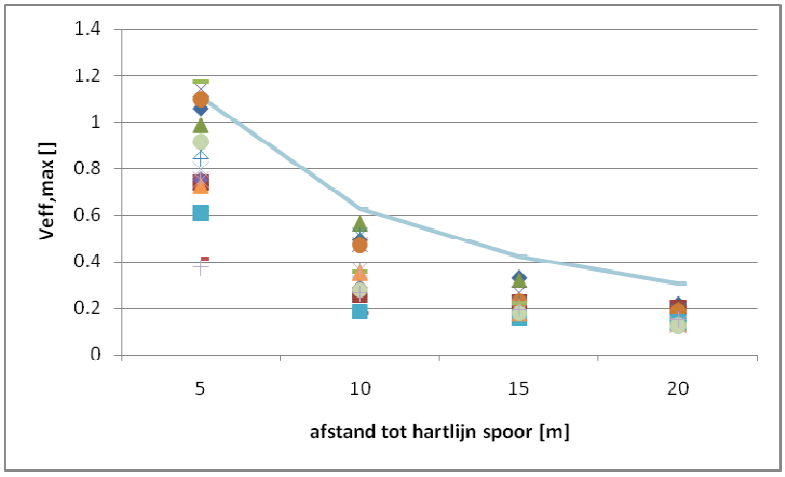
	95 % waarde van $V_{eff,max}$
$V(r_0)$	0.15
r_0	30
α	0.03
n	0.5

	$V_{eff,max}$, met betrouwbaarheidsfactor 2	$V_{eff,max}$, met (inclusief wissel) betrouwbaarheidsfactor 2
Verwachte hinder (80m)	0.05	0.06
Verwachte hinder (90m)	0.04	0.04

Direct onder het station bevindt zich een establishment: The Flying Chicken .
Gezien de locatie is het aannemelijk dat trillingshinder is, echter is het gesitueerd onder een kunstwerk en zijn de meetwaarde niet representatief voor deze locatie.

Locatie 4:
Nabij de fietstunnel van het Zwanenpad ligt locatie 4 aan de noordzijde van het spoor. De stoptreinen die stoppen bij Diemen Zuid beginnen hier af te remmen voor het station of rijden weer bijna op snelheid.

Figuur 5-7 Foto van locatie 4



Figuur 5-8 Hoogste meetwaarde en Barkancurve (continue lijn)

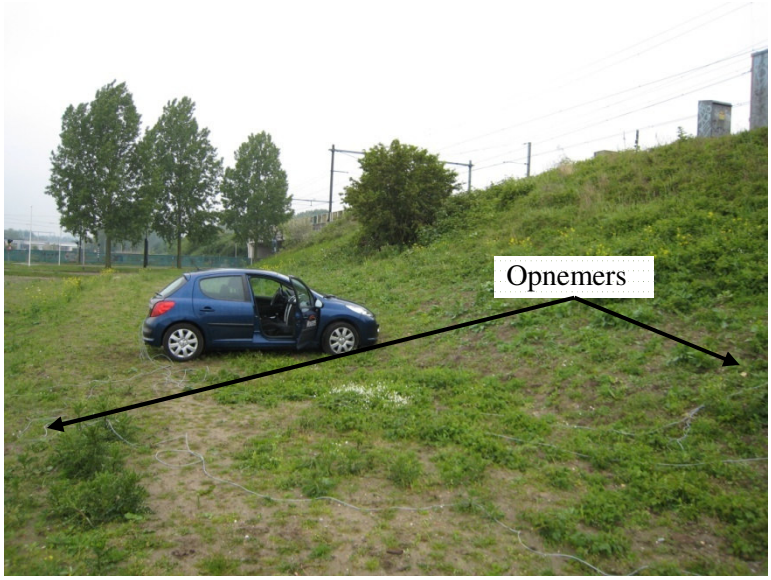
Tabel 5-4 Barkan parameters bepaald voor locatie 4

	95 % waarde van $V_{eff,max}$
$V(r_0)$	0.31
r_0	35
α	0.03
n	0.6

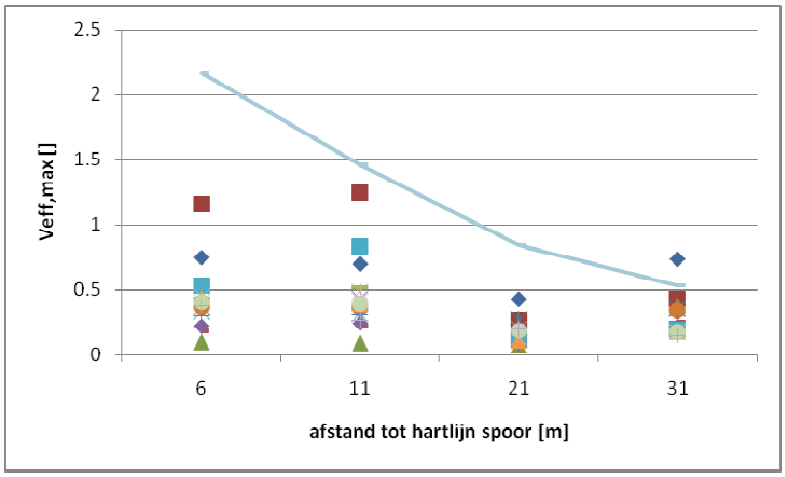
	$V_{eff,max}$, met betrouwbaarheidsfactor 2	$V_{eff,max}$, met (inclusief wissel) betrouwbaarheidsfactor 2
Verwachte hinder (40m)	0.22	0.27
Verwachte hinder (80m)	0.08	0.09

In het bedrijfspand op circa 40m van het spoor worden de waarde verwacht die voelbaar zijn. Echter gaat het niet om woonruimte en is geen sprake van hinder.

Locatie 5:
Deze locatie ligt nabij de spoortunnel van de Muiderstraatweg (S113) aan de zuidzijde van het spoor. De meting vindt plaats bij de wissel waar de treinen over rijden die vanaf Weesp richting Diemen Zuid rijden of treinen die tussen Diemen en Diemen Zuid rijden. Nabij het meetpunt bevinden zich bedrijven en sportvelden. Aan de noordzijde van het spoor bevinden zich volkstuintjes en woningen.



Figuur 5-9 Foto van locatie 5



Figuur 5-10 Hoogste meetwaarde en Barkancurve (continue lijn)

Tabel 5-5 Barkan parameters bepaald voor locatie 5

	95 % waarde van $V_{eff,max}$
$V(r_0)$	0.37
r_0	31
α	0.03
n	0.4

	$V_{eff,max}$, met betrouwbaarheidsfactor 2
Verwachte hinder (70m)	0.24

5.2 Toetsing aantal gehinderde

Behalve op locatie vijf is de $V_{eff,max}$ op de beschouwde woningen en woonwagens maximaal in de orde van 0.1. Dit valt onder de classificatie van geen hinder. Locatie vijf valt in de categorie van matige hinder. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat hier een wissel ligt.

Tabel 5-6 resultaten

locatie	Straat/ gebied	Bepaalde niveaus huidige situatie	Bepaalde niveaus nieuwe situatie met wissel	Toetsing stand still (nieuw met wissel)	Toetsing aan SBR streefwaarde Nieuw
1	Dolingadreef	0.08	0.09	Geen hinder	Voldoet
2	Metro station venserpolder	0.05	0.05	Geen hinder	Voldoet
		0.02	0.02	Geen hinder	Voldoet
3	Station Diemen-Zuid	0.05	0.06	Geen hinder	Voldoet
		0.04	0.04	Geen hinder	Voldoet
4	Zwanenpad	0.08	0.09	Geen hinder	Voldoet
	(Bedrijfspand)	0.22	0.27	Toename	Voldoet
5	Muiderstraatweg	0.24	0.24	Stand still	Voldoet

Voor de bedrijfspanden geldt dat de classificatie van hinder niet maatgevend is. Als The Flying Chicken onder station Diemen zuid heeft mogelijk last van hinder.

Indien in het huidige spoor extra wissels worden geplaatst, kan de classificatie van de hinder één niveau hoger komen te liggen op matige hinder. Echter zal dit niveau toelaatbaar blijven.

Samengevat leidt dat tot de volgende resultaten:

Tabel 5-7 samenvatting resulaten

	aantal gebouwen waar SBR-B streefwaarden wordt overschreden	aantal bewoners waarbij SBR-B streefwaarden wordt overschreden
huidige situatie	0	0
toekomstige situatie	0	0

6 Conclusie

Voor het project SAAL zijn trillingsmetingen uitgevoerd in Diemen. Deze metingen moeten uitwijzen of in de huidige situatie sprake is van hinder. Als de huidige situatie in kaart is gebracht, kan ook voorspelling worden gemaakt of deze hinder toeneemt indien het treinverkeer wordt geïntensiveerd.

Met uitzondering van locatie 1 zijn op alle locaties goederentreinen gemeten. De grootste trillingen worden meestal veroorzaakt door de goederentreinen. Echter zijn de niveaus van de passagierstreinen soms vergelijkbaar en een enkele maal hoger. In het bijzonder treinen met een losse locomotief veroorzaken veel trillingen.

De gemeten niveaus zijn geëxtrapoleerd naar de afstand waar zich woningen bevinden. Hierdoor wordt in kaart gebracht wat de trillingshinder in de woningen is.

Voor de nieuwe situatie heeft het plaatsen van wissel geen noemenswaardige invloed. De wisselfactor is zo klein dat alle niveaus kleiner of gelijk aan 0.1 blijven. Uitzondering is locatie 5, omdat zich op deze locatie reeds een wissel bevindt.

Tabel 6-1 trillingsniveaus in woningen

locatie	Straat/ gebied	Bepaalde niveaus huidige situatie	Bepaalde niveaus nieuwe situatie met wissel	Toetsing stand still (nieuw met wissel)	Toetsing aan SBR streefwaarde Nieuw
1	Dolingadreef	0.08	0.09	Geen hinder	Voldoet
2	Metro station venserpolder	0.05	0.05	Geen hinder	Voldoet
		0.02	0.02	Geen hinder	Voldoet
3	Station Diemen-Zuid	0.05	0.06	Geen hinder	Voldoet
		0.04	0.04	Geen hinder	Voldoet
4	Zwanenpad (Bedrijfspand)	0.08	0.09	Geen hinder	Voldoet
		0.22	0.27	Toename	Voldoet
5	Muiderstraatweg	0.24	0.24	Stand still	Voldoet

De toename op locatie 4 is voor een bedrijfspand. De streefwaarde hiervoor zijn hoger dan voor woningen.

Op locatie 5 is sprake van matige hinder. Echter zal het blijven voldoen aan de streefwaarde SBR-nieuw, de $V_{eff,max} \leq 0.2$. Doordat het aantal treinen wat een niveau van meer dan 0.1 veroorzaakt, minder is dan 5% van het totale aantal treinen, zal de V_{per} niet maatgevend zijn.

Colofon

Opdrachtgever	ProRail R.P.J. Jasker
Uitgave	Movares Nederland B.V.
	Divisie Infra Geo Engineering & Ondergrondse Inrichting
	Daalseplein 101 Postbus 2855 3500 GW Utrecht
Telefoon	030 265 4289
Telefax	030 265 3701
Auteur	ir. W.N. Oskam Adviseur dynamica
Projectnummer	RL160000/1500

Bijlage I SBR trillingsrichtlijnen Deel B, hinder

De grenswaarden voor trillingen t.a.v. hinder voor personen in gebouwen volgens SBR richtlijn deel B (Hinder voor personen in gebouwen, meet- en beoordelingsrichtlijn, augustus 2002, ISBN 90-5367-080-7) worden vastgesteld op basis van drie beoordelingscriteria namelijk:

1. De gebouwfunctie.
2. Type trillingsbron
3. De omstandigheden waaronder trillingen kunnen voorkomen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de volgende situaties:
   - nieuwe, bestaande of gewijzigde situaties;
   - de locatie van de ontvanger in relatie tot de omgeving.
   - tijdstip waarop de trillingen voorkomen

In de onderstaande paragrafen worden deze criteria toegelicht.

Gebouwfunctie

In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen 5 verschillende gebouwfuncties:

1. gezondheidszorg;
2. wonen (daaronder begrepen woningen, woongebouwen, woonwagens, logiesverblijven en logiesgebouwen);
3. kantoor en onderwijs;
4. bijeenkomst (zoals bioscopen, aula's schouwburgen, kerken);
5. kritische werkruimten (bepaalde ruimten in laboratoria, operatiekamers of studiezalen).

Voor de verschillende gebouwfuncties zijn verschillende grenswaarden gedefinieerd.

Type trillingsbron

1. *Continu voorkomende trillingen, gedurende lange tijd,* door bijvoorbeeld machines, waaronder ook machines die niet permanent in werking zijn of machines die een korte werkcyclus kennen en een langere rustperiode zoals het kort trillen van een vorm of mal. Uitgesloten zijn trillingen door weg- en railverkeer;

2. *Herhaald voorkomende trillingen, gedurende lange tijd* door weg- en railverkeer waaronder ook heftrucks bulldozers, kranen op rails en dergelijke;
3. *Continue of herhaald voorkomende trillingen gedurende een aaneengesloten tijdsduur, korter dan 3 maanden,* door bouw- of sloopwerkzaamheden;
4. *Incidenteel voorkomende, kortdurende trillingen,* door bijvoorbeeld explosies.

Omstandigheden

In de richtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende omstandigheden waaronder trillingen kunnen voorkomen. Bij verschillende omstandigheden worden ook verschillende trillingssterktes toegelaten. Er wordt in de richtlijn rekening gehouden met:

1. nieuwe, bestaande of gewijzigde situaties;
2. de locatie van de ontvanger in relatie tot de omgeving.
3. tijdstip en duur waarop de trillingen voorkomen

<u>Bij weg- en railverkeer: nieuwe, bestaande of gewijzigde situatie</u>
Voor weg- en railverkeer kan onderscheid worden gemaakt tussen de volgende situaties:

1. bestaande situatie (bestaande bron en een bestaande ontvanger, er is sprake van een zekere mate van gewenning);
2. nieuwe situatie (nieuwe bron of een nieuwe ontvanger);
3. gewijzigde situatie (wijziging van een bestaande *bron*).

<u>Locatie van de ontvanger in relatie tot de omgeving</u>
Voor gebouwen op een industrie terrein is het mogelijk op basis van een gemotiveerde afweging hogere trillingssterkten toe te laten. Dit kan bijvoorbeeld in de volgende situaties:

1. Als de sterkte van de achtergrondtrillingen al hoger is dan de streefwaarden, en de trillingssterkte van de te beoordelen trillingsbron lager is dan de achtergrondtrillingen;
2. Indien de gebouwen zich in een gebied bevinden waarvoor in het bestemmingsplan, een Nota Industrielawaai of Gemeentelijke Geluidnota is vastgelegd dat deze gebouwen een lagere bestemmingsgraad genieten.

Tijdstip en duur waarop trillingen voorkomen
Voor de aan te houden streefwaarden wordt onderscheid gemaakt in 3 beoordelingsperioden:

1. Dag van 07.00 tot 19.00 uur;
2. Avond van 19.00 tot 23.00 uur;
3. Nacht van 23.00 tot 07.00 uur.

Wanneer de trillingen gedurende een korte periode plaatsvinden, bijvoorbeeld tijdens sloopwerkzaamheden, kan in overleg met de omwonende hogere waarden worden toegelaten.

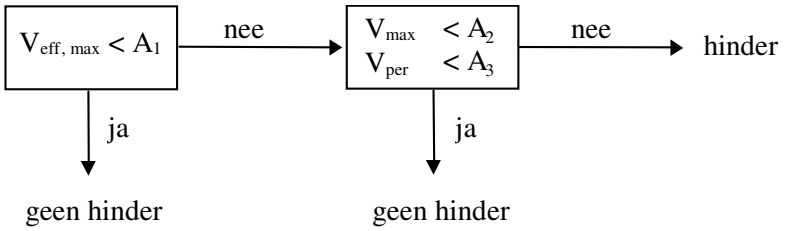
Toetsing

Bij een trillingsmeting t.a.v. hinder worden de volgende waarden gemeten:

$V_{eff,max}$ maximale trillingssterkte
(voortschrijdende effectieve waarde van de trillingssnelheid, dimensieloos)
V_{per} de trillingssterkte over de beoordelingsperiode
(kwadratisch gemiddelde van maximale effectieve waarde per interval van 30 seconden)

De waarden $V_{eff,max}$ en V_{per} worden getoetst aan de volgende streefwaarden:
A_1 de onderste streefwaarde voor toetsing van de waarde $V_{eff,max}$;
A_2 de bovenste streefwaarde voor toetsing van de waarde $V_{eff,max}$;
A_3 de streefwaarde voor toetsing van de waarde V_{per}.

De streefwaarden worden volgens onderstaand schema geïnterpreteerd.



Streefwaarden

Hier volgen voor verschillende gebouwfucnties, omstandigheden en perioden de toetsingswaarden A_1, A_2 en A_3 waaraan de waarden $V_{eff,max}$ en V_{per} worden getoetst.

Beoordeling continue trillingen bij nieuwe en bestaande situaties: machines en Herhaald voorkomende trillingen bij nieuwe situaties: weg- en railverkeer

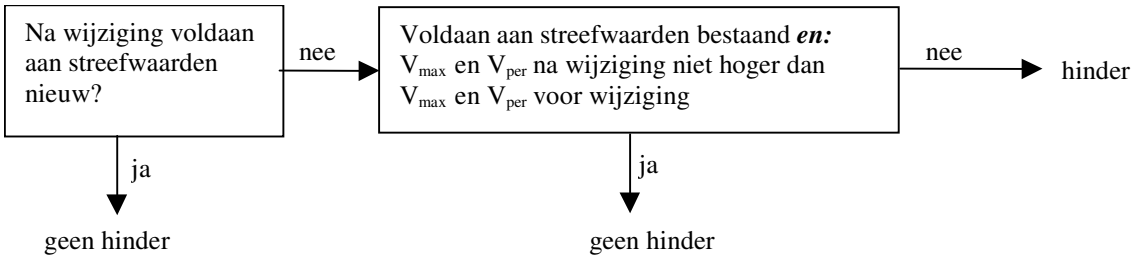
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
1. Gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
2. Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
3. Kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
4. Bijeenkomsten	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	- - -	0.1	0.1	- - -

Beoordeling herhaald voorkomende trillingen bij bestaande situaties: weg-en railverkeer

gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
1. Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
2. Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
3. Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
4. Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	- - -	0.1	0.1	- - -

<u>Gewijzigde situaties, weg- en railverkeer</u>

Bij een gewijzigde situatie wordt in eerste instantie getoetst aan de streefwaarden voor nieuwe situaties. Indien hieraan niet wordt voldaan mag er worden getoetst aan de streefwaarden voor bestaande situaties mits de trillingssterkte na de wijziging niet hoger is dan voor de wijziging. In onderstaand schema is geïllustreerd hoe de richtlijn werkt in het geval van een gewijzigde situatie.



Ondergronds railverkeer
Bij ondergronds railverkeer wordt er getoetst aan de streefwaarden voor weg- en railverkeer bij nieuwe situaties.

Trillingen bij bouw- of sloopwerkzaamheden over korte perioden gedurende de dagperiode
Bij trillingen over kortere perioden kunnen uitsluiten gedurende de dagperiode tijdelijk hogere waarden worden toegelaten. Hiervoor worden de volgende waarden aangehouden:

duur activiteiten	dag en avond		
	A_1	A_2	A_3
1 dag	0.8	6.0	0.4
2 dagen	0.72	6.0	0.38
3 dagen	0.64	6.0	0.36
4 dagen	0.56	6.0	0.34
5 dagen	0.48	6.0	0.32
6-26 dagen	0.4	6.0	0.3
27-78 dagen	0.3	6.0	0.2

Gebouwen in industriële gebieden
Mits goed gemotiveerd kunnen voor gebouwen in industriële gebieden hogere waarden worden toegelaten. De waarden voor bestaande en nieuwe situaties kunnen dan worden vermenigvuldigd met een factor 1.8. De waarden van gebouwfunctie "kritische werkruimte" mag echter niet verhoogd worden.

Incidenteel voorkomende kortdurende trillingen in de dagperiode
Bij incidenteel voorkomende trillingen mag uitsluitend in de dagperiode de maximale trillingssterkte Veff,max niet meer dan 8 bedragen. Bewoners en gebruikers dienen te worden geïnformeerd. Bovendien moet er rekening worden gehouden met mogelijke schade aan bouwwerken.

Voorbeeld

Voor bijvoorbeeld een woning aan een spoorlijn wordt bij een nieuwe situatie op de volgende wijze getoetst:

gemeten $V_{eff,max}$ in woning:	gemiddeld aantal keer per uur	V_{per}	A1* = 0.1 $V_{eff,max} < A_1$	A2* = 0.4 $V_{eff,max} < A_2$	A3*= 0.05 $V_{per} < A_3$	overschrijding
0.08	10	0	ja	n.v.t.	n.v.t.	nee
0.15	10	0.043	nee	ja	ja	nee
0.2	10	0.058	nee	ja	nee	Ja
0.5	10	0.144	nee	nee	n.v.t.	ja