

Wiskunde project Trillingen



Movares Nederland B.V.
Auteur Dr. Herke G. Stuit
Kenmerk BO-HS-070004691 - Versie 1.0

Utrecht, 2 februari 2007
vrijgegeven

Kenmerk BO-HS-070004691 - vrijgegeven - Versie 1.0 - 2 februari 2007

The logo for Movares, featuring the word "Movares" in a bold, sans-serif font with a curved line above the letters "o" and "v".

Inleiding

In Nederland wordt de beschikbare ruimte voor de aanleg van wegen, spoorlijnen en nieuwbouw kleiner en duurder. De druk om dicht bij spoorwegen te bouwen wordt dus groter. Dichtbij het spoor bouwen betekent een toenemende kans op trillingshinder in de gebouwen. Movares adviseert hierover bij nieuwbouw en bestaande gebouwen. Onze specialisten maken nauwkeurige berekeningen en voeren metingen uit waarmee de trillingsniveaus die gaan optreden worden voorspeld. De gemeten en/of gemeten waarden worden daarna getoetst aan de voorgeschreven normen.

Een eenvoudig onderzoek van trillingsmetingen in het veld met een verwerking van de resultaten is ook uit te voeren door enthousiaste leerlingen van het VWO. Een globale opzet van het onderzoek trillingsmetingen is dan als volgt

1. inleiding probleem en achtergrond theorie
2. zoeken meetlocatie
3. uitvoeren meting
4. verwerken meetresultaten
5. rapportage

Voor het onderzoek trillingen kunnen de volgende aspecten aan bod komen tijdens de verwerking van de metingen

- bepalen exponentiele afname functie
- bepalen gemiddelde, standaard afwijking en 5% overschrijdingskans
- periodieke functies met eventueel afgeleiden

In het document is een globale opzet van een trillingsonderzoek uit te voeren door leerlingen VWO. Daarnaast is wat achtergrond informatie gegeven zodat wat meer inzicht kan worden verkregen in de materie.

1 Opzet meting

Alvorens een meting kan worden uitgevoerd, moet eerst nog het nodige worden voorbereid. Er moet een locatie worden gezocht, die voldoet aan de uitgangspunten om tot een geslaagde meting te komen. Daarna zal voor de meetdag een meetplan moeten worden opgesteld. Hierin staat nauwkeurig omschreven wat voor een werkzaamheden er allemaal worden uitgevoerd en door wie. In het meetplan moet bijvoorbeeld ook worden aangegeven hoe de treinsnelheid wordt gemeten en op wat voor een manier de treinen worden opgeschreven. Enige kennis van de verschillende treintype is hierbij dan ook noodzakelijk.

De meetlocatie zal van te voren moeten worden bekeken en zal er proef gedraaid moeten worden om te kijken of alle waarnemingen die volgens het draaiboek zouden moeten plaatsvinden ook echt uitvoerbaar zijn. Pas daarna worden een afspraak gemaakt voor een meetdag en wordt een daadwerkelijke meting uitgevoerd.

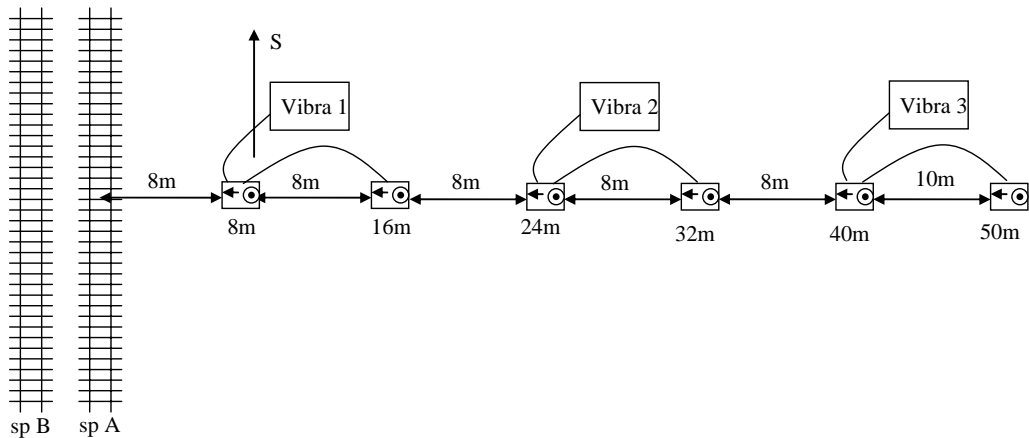
Voordat de meting kan worden uitgevoerd moet eerst de meetlocatie en het meetplan worden goedgekeurd. Pas daarna worden een afspraak gemaakt voor een meetdag en wordt een daadwerkelijke meting uitgevoerd.

1.1 Uitgangspunten meetlocatie

Aan de hand van onderstaande van onderstaande uitgangspunten moet nog een meetlocatie worden gezocht

- De meetlocatie moet gemakkelijk bereikbaar zijn en kunnen worden betreden zonder ingewikkelde betredingstoestemmingen;
- Er moet een afscheiding zijn tussen het spoor en de meetlocatie;
- De mogelijkheid om van 8 tot 50 meter vanaf het spoor te meten;
- De meetlocatie is representatief voor een standaard spoorlocatie. Dat wil zeggen een doorgaand spoor in ballast;
- De omgeving is zo vrij mogelijk van overige trillingsbronnen;
- De locatie moet zich bevinden op een plek waar de treinen minimaal 80 km/uur kunnen halen.
- Er moeten voldoende trein passeren, zodat er niet langdurig op een meting hoeft te worden gewacht.

In principe is voor de meetlocatie de opstelling bedacht in de onderstaande figuur. Omdat we in het algemeen de beschikking hebben over 2 sets opnemers zal de laatste set (Vibra 3) komen te vervallen.



Figuur 1-1 Opstelling opnemers

1.2 Meting

Tijdens de meting wordt uitgevoerd moet de meetlocatie worden opgenomen. Met name moeten de opnemers worden ingemeten. Ook zal een beschrijving moeten worden gemaakt van de situatie zoals karakteristieke spoor- en omgevingsgegevens. Foto's zijn daarbij erg welkom. Ook moet de tijd van alle apparatuur worden vastgelegd, niet alles loopt gelijk.

Tijdens de metingen moeten de onderstaande gegevens worden geregistreerd:

- Tijdstip van treinpassage
- Trillingsniveau van alle opnemers
- Meting treinsnelheid
- Trein type
- Welk spoor wordt bereden en welke richting
- Eventuele afwijkingen die optreden



Figuur 1-2 Opnemer met meetkast Vibra

2 Verwerken van resultaten

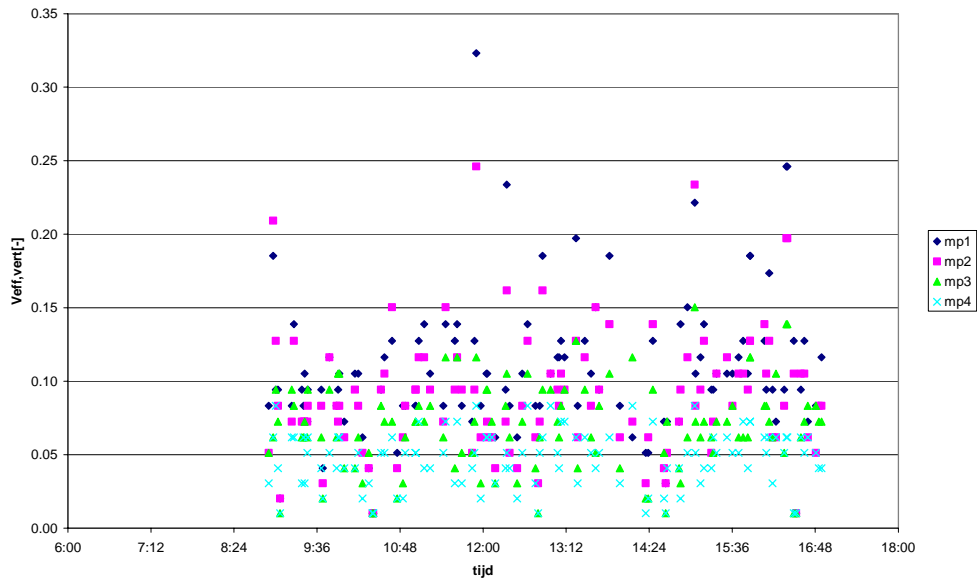
Nadat de meting is uitgevoerd, moet alle dat die is verzameld worden verwerkt. De metingen worden opgeslagen in ASCII formaat, dat uitleesbaar is met bijvoorbeeld Excel. De eigen notities moeten worden gekoppeld aan de meetfiles. En aan de hand van alle data is het de bedoeling om zoveel mogelijk relaties af te leiden. In dit hoofdstuk worden een aantal voorbeelden gegeven van mogelijke relaties die de maken zijn met de trillingsmetingen. Wat de uiteindelijke relaties zullen zijn is afhankelijk van de lokale meting. Want niet elke meting is gelijk en de conclusies voor de ene locatie kunnen afwijken van een andere locatie.

2.1 Registratie van gegevens

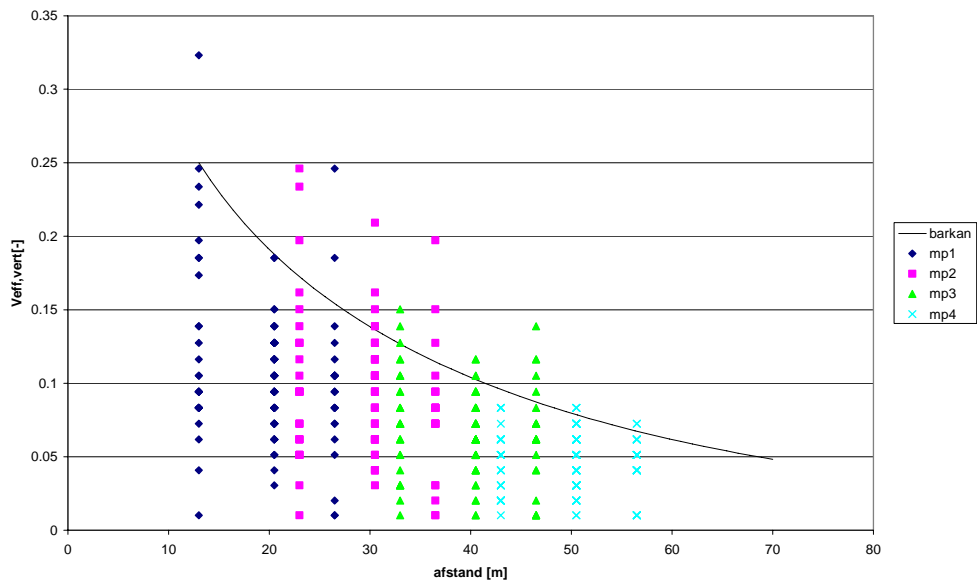
Als voorbeeld is in de onderstaande tabel aangegeven hoe de gegevens gekoppeld kunnen worden. In Excel zijn dan functies beschikbaar waarmee selecties gemaakt kunnen worden, zodat naar trends gezocht kan worden. Ook biedt het programma de mogelijkheid om grafieken te tekenen te ondersteuning van het vinden van relaties.

Tabel met alle resultaten bijgehouden van de meetdag

tijd	treintype		snelheid [km/uur]	spoor	8 m		16 m		24 m		32 m	
	Richting				Vtop [mm/s]	f [Hz]	Vtop [mm/s]	f [Hz]	Vtop [mm/s]	f [Hz]	Vtop [mm/s]	f [Hz]
9:55	goederen	Belgie	10	Oost	0.14	9	0.12	9	0.02	5	0.17	0
10:00	Mat64	Barendr.	80	west	0.15	9	0.13	7	0.01	0	0.11	7
10:04	Ice	Belgie	100	west	0.36	13	0.22	13	0.02	5	0.2	6
10:09	irm	Barendr.	130	west	0.32	15	0.28	7	0.03	6	0.16	12
10:12	lcm	Belgie	140	west	0.75	16	0.46	7	0.03	7	0.14	15
10:16	Sprinter	Barendr.	80	Oost	0.11	10	0.05	13	0.02	0	0.04	0
10:21	lrm	Belgie	100	west	0.19	11	0.13	14	0.02	8	0.07	11
10:24	icm	Barendr.	100	Oost	0.28	10	0.14	13	0.03	0	0.14	21
10:27 ENZ	icm	Belgie	130	west	0.19	9	0.2	11	0.03	11		



Figuur 2-1 gemeten maximale trillingsnelheid per trein gedurende de meetperiode van de 4 opnemers

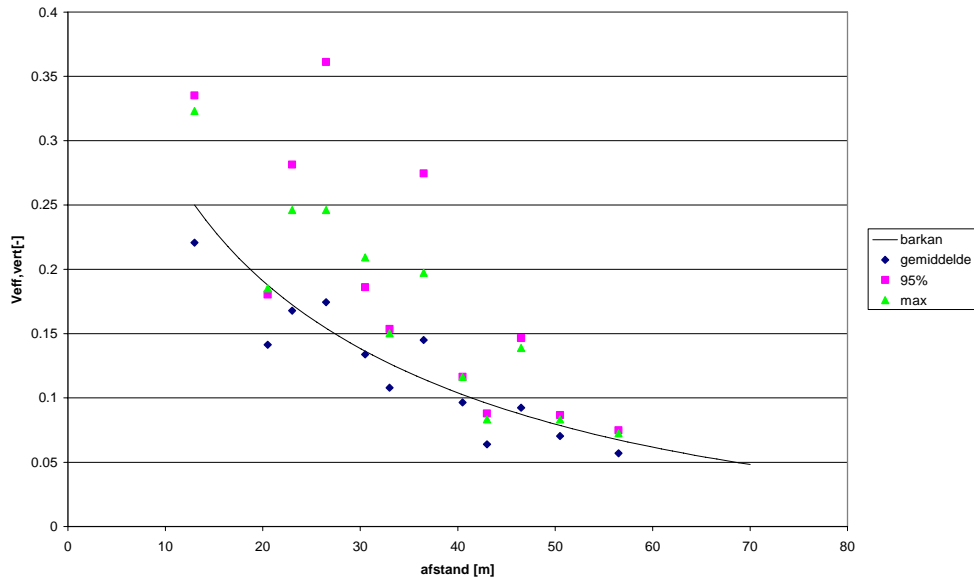


Figuur 2-2 gemeten maximale trillingsnelheid per trein als functie van de afstand

2.2 Verwerken resultaten

Kan aan de hand van alle metingen relaties worden gelegd tussen treintype, treinsnelheid, spoor en afstand. Zoek met name zelf naar zoveel mogelijk relaties.

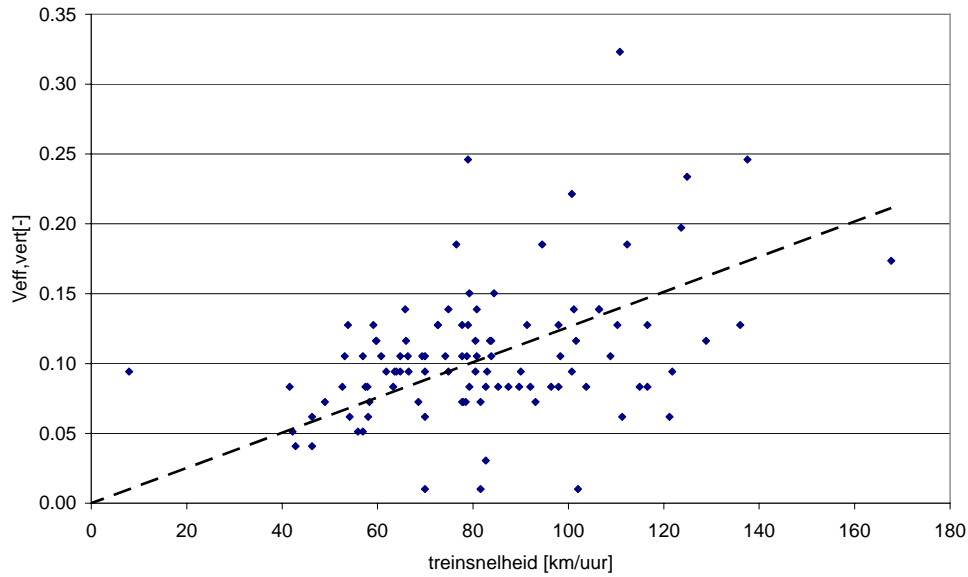
Voorbeelden van resultaten



Figuur 2-3 Gemiddelde, maximum en 95%-verwachtingswaarde van de trillingssnelheid als functie van de afstand.

VRAAG: Wat is in de bovenstaande grafiek de exponentiele afname functie van de gemiddelde waarde, de maximale waarden en de 95% overschrijdingswaarde. Voor de exponentiele afname functie kan gebruik worden gemaakt van de empirische relaties in hoofdstuk 3.

VRAAG: Kan aan de hand van de exponentiele afname functie worden bepaald wat het trillingsniveau is op 100m afstand. Tot op welke afstand zal er hinder worden beleefd?



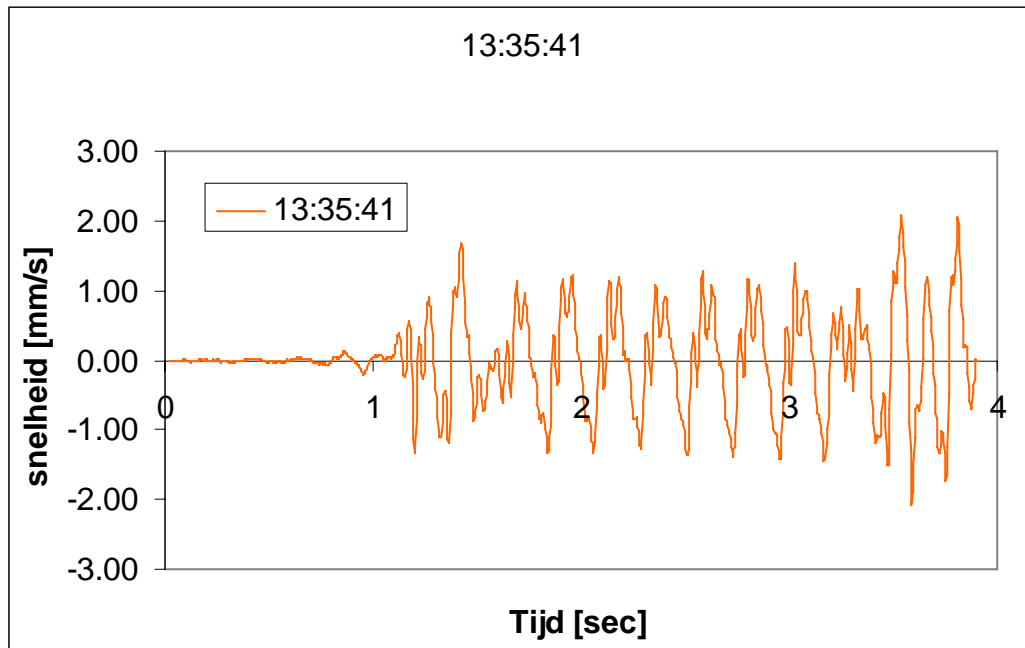
Figuur 2-4 de trillingssnelheid is uitgezet tegen de treinsnelheid

2.3 Afzonderlijke meetsignalen

In Figuur 2-5 is een voorbeeld gegeven van een afzonderlijk meetsignaal. Ook deze worden in ASCII formaat geleverd van de meetkasten. In het meetsignaal wordt in de loop van de meettijd de gemeten trillingssnelheid weergegeven. Dit zijn de daadwerkelijke bodemtrillingen die optreden tijdens de passage van een trein. Een aantal van deze meetsignalen kunnen worden geanalyseerd.

VRAAG: Wat is van de bovenstaande meting de periode volgens een periodieke functie?

Is er dan ook een relatie te leggen met de treinsnelheid en bijvoorbeeld de afstand tussen de wielen of draaistellen? Valt aan de hand van deze grafiek af te leiden hoeveel de grond op- en neer is gegaan.



Figuur 2-5 Trillingssignaal van een trein, waar de trillingssnelheid is uitgezet tegen de tijd.

UITWERKING:

Uiteindelijk kan aan de hand van wat achtergrond informatie de resultaten worden uitgewerkt naar een denkbeeldige situatie zoals wij die ons tegenkomen. ProRail (de organisatie die nieuwe spoorbanen aanlegt) is van plan een nieuwe spoorbaan aan te leggen. Het nieuwe spoor zal in de buurt van een aantal huizen komen. Hoeveel huizen/mensen zullen in de toekomst mogelijk hinder onder vinden. Door de gevonden relaties voor de afstand van het spoor ten opzichte van het trillingsniveau en treinsnelheid kan een nieuwe situatie worden uitgerekend.

3 Empirische bepaling trillingsniveau

De trillingsmeting die is uitgevoerd zegt nog niets over een eventuele situatie waarin huizen naast het spoor staan. Of in het geval waar ons kantoor zich mee bezighoudt wat is de invloed van een nieuwe spoor lijn op de huizen in de omgeving. Op dat moment moet een trillingsvoorspelling worden gedaan en dan is het van belang om te weten welke onderdelen van invloed zijn op de trillingen. Dan wordt er gekeken naar het “looppad” van de trillingen, namelijk elk onderdeel waar de trillingen door lopen heeft invloed op het uiteindelijke niveau zoals trillingen worden ervaren.

Het “looppad” gaat door: het spoor – het baanlichaam – de bodem – de fundering van de woning – de constructie van de woning – de vloer en uiteindelijk bij de bewoner.

Voor het bepalen van het trillingsniveau van het treinverkeer naar een woning worden dan ook de volgende stappen doorlopen:

- Bepaling invloed voortplanting trilling door bodem;
- Bepaling invloed van funderingssysteem en afmetingen gebouw;
- Bepaling invloed van vloeren

3.1 Voortplanting van trilling door de bodem

Voor de overdracht van de trilling door de bodem wordt gebruik gemaakt van de Barkan vergelijking

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

waarin:

$V(r)$ amplitude trillingssnelheid op een afstand r van de bron

$V(r_0)$ amplitude trillingssnelheid op referentie afstand r_0 van de bron

r afstand van bron tot ontvanger [m]

r_0 referentie afstand tot de bron [m]

n parameter voor beschrijving geometrische uitbreiding [-]

α parameter voor beschrijving van de materiaaldemping [1/m]

Deze Barkan vergelijking kan worden bepaald aan de hand van de metingen die in het veld zijn uitgevoerd. Voor de referentieafstand wordt zelf een keuze gemaakt. Dit kan zijn 5 of 10m of de afstand van de eerste opnemer tot het spoor. De overige waarden worden bepaald door een zo goed mogelijke fit te verkrijgen van de Barkan vergelijking met de resultaten van de meting.

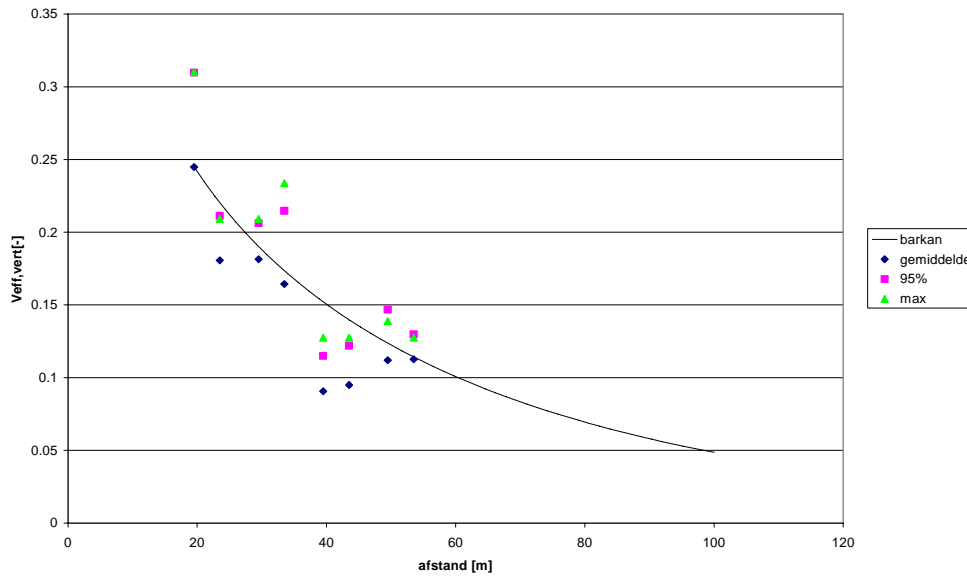
Ter indicatie wordt in algemeen de volgende waarden voor de parameters α en n aangehouden.

	van	Mediaan	tot
α	0.0	0.03	0.1
n	0.0	0.5	1.0

In de onderstaande grafiek wordt een voorbeeld gegeven van een meting met een uitgewerkte Barkan vergelijking.

De gehanteerde waarden in de onderstaande Barkan vergelijking zijn:

	Barkan waarden	
$V(r_0)$	0.245	
r_0	19.5	Eerste meetpunt
α	0.015	
n	0.25	



Figuur 3-1 Gemiddelde, maximum en 95%-verwachtingswaarde van effectieve trilsnelheid en Barkan vergelijking

3.2 Trillingsniveau op fundering

Het trillingsniveau wordt over het algemeen gereduceerd door de fundering en stijfheid en de afmeting van een gebouw. In het algemeen gelden voor laagbouw (eengezinswoningen) de volgende relaties voor de reductiefactoren in verticale en horizontale richting:

$$H_{xf,z} = \begin{cases} 1 & f < 10\text{Hz} \\ (1.15 - 0.015f) & f = 10 - 50\text{Hz} \end{cases}$$

$$H_{xf,x} = \begin{cases} 1 & f < 10\text{Hz} \\ (1.15 - 0.015f) & f = 10 - 50\text{Hz} \end{cases}$$

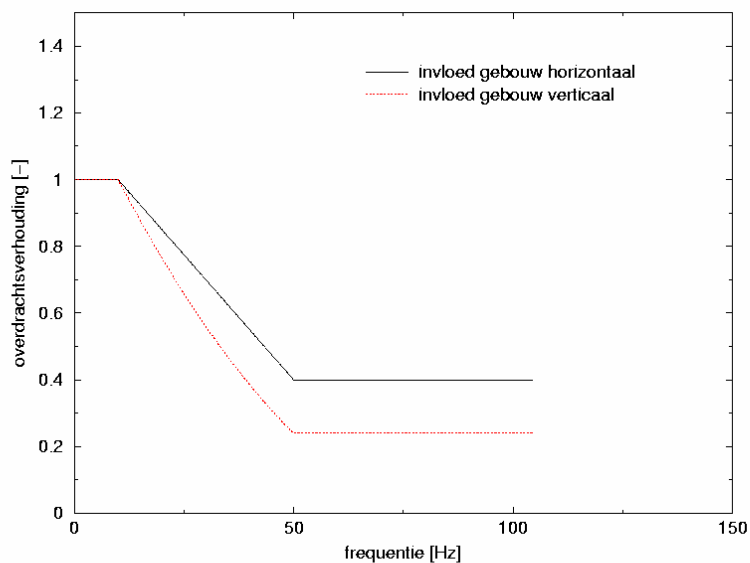
waarbij:

$H_{xf,z}$ de verticale reductiefactor

$H_{xf,x}$ de horizontale reductiefactor

f de dominante trillingsfrequentie in de bodem

De overdrachtsverhoudingen van de bodem naar het gebouw zijn grafisch in Figuur 3-2 weergegeven.



Figuur 3-2 Overdrachtsverhouding van bodem naar gebouw per frequentie

3.3 Trillingsniveau op vloeren

Binnen een gebouw kan het verticale trillingsniveau nog toenemen of afnemen door opslinging van de vloeren. In horizontale richting treedt er geen opslinging op. De opslinging van de vloeren kan worden benaderd met de overdrachtsfunctie van een één massa-veer systeem. De overdrachtsfunctie bepaald de versterkings- of verzwakkingfactor van de trillingen.

$$H_{xv,z} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f}{f_e}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{f}{f_e}\right)^2}}$$

waarbij:

$H_{xv,z}$ de verticale opslingeringsfactor

f_e de eigenfrequentie van de vloer

ζ de relatieve demping van de vloer

De eerste eigenfrequentie van de vloer kan eventueel ook worden uitgerekend met de onderstaande formule.

$$f_e = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EI}{ml^4}}$$

Waarbij:

E = elasticiteitsmodulus van de vloer [in N/m²]

I = traagheidsmoment van de vloer doorsnede [m⁴]

m = massa per meter vloer [kg/m]

l = lengte van de vloer [m]

Voor de elasticiteitsmodulus van de vloer kunnen de volgende waarden worden aangehouden. In eventueel tabellenboekjes zijn aanvullende waarden te vinden van andere materialen.

beton	20-40e9	[N/m ²]
hout	10-12e9	[N/m ²]

Het traagheidsmoment van de vloer kan worden berekend aan de hand van de volgende relatie:

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

Waarbij:

b = breedte van een strook, in het algemeen 1 m [in m]

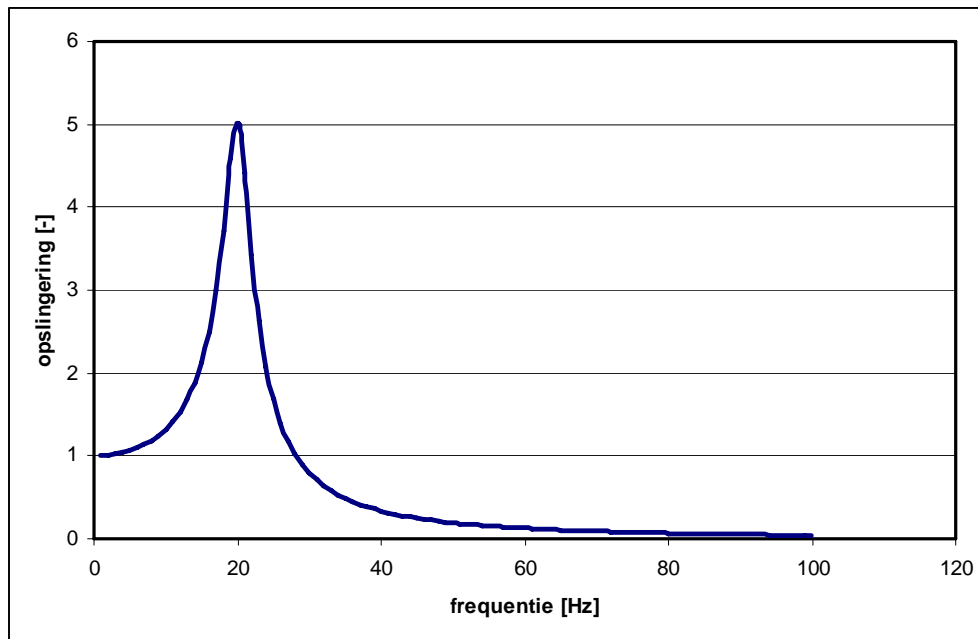
h = de hoogte (dikte) van de vloer [in m]

Verder wordt voor de relatieve demping van de vloeren de volgende waarde aangehouden:

$\zeta=0.03 - 0.05$ voor kale betonnen vloeren

$\zeta=0.05 - 0.10$ voor vloeren in woningen

De overdrachtsverhouding van het gebouw naar de vloeren zijn grafisch in de onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 3-3 Overdrachtsverhouding van gebouw naar vloeren

Als de exacte eigenschappen van de vloeren in de woning niet bekend zijn, worden 2 verschillende eigenfrequenties gehanteerd die bij vloeren kunnen voorkomen.

$f_e=10\text{Hz}$ (grote overspanning)

$f_e=20\text{Hz}$ (kleine overspanning)

In principe is de achtergrond van deze formules misschien ingewikkeld, maar het zou toch moeten lukken om de waarden te kunnen invullen en zo zou iedereen voor zijn eigen huis oid te kunnen uitrekenen wat de trillingswaarde voor elke woning zou zijn geweest als deze op een bepaalde afstand van het spoor had gestaan. Of de vraag kan ook anders om worden geformuleerd, tot op welke afstand hun huis van het spoor kan staan.

4 Trillingsrichtlijnen

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.

4.1.1. *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.

4.1.2. *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.

4.1.3. 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

Bij weg- en railverkeer: nieuwe, bestaande of gewijzigde situatie

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).

Locatie van de ontvanger in relatie tot de omgeving

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.

4.2 Toetsing

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

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

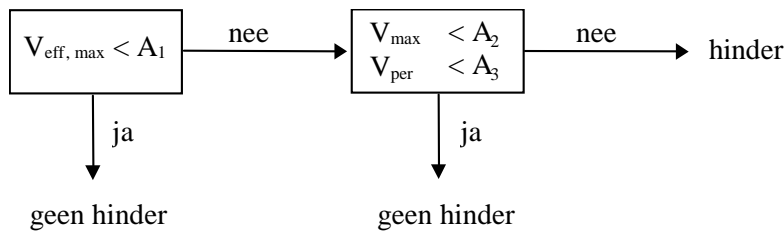
De waarden $V_{eff,max}$ en V_{per} worden getoetst aan de volgende streefwaarden:

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.



4.2.1. Streefwaarden

Hier volgen voor verschillende gebouwfuncties, 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*

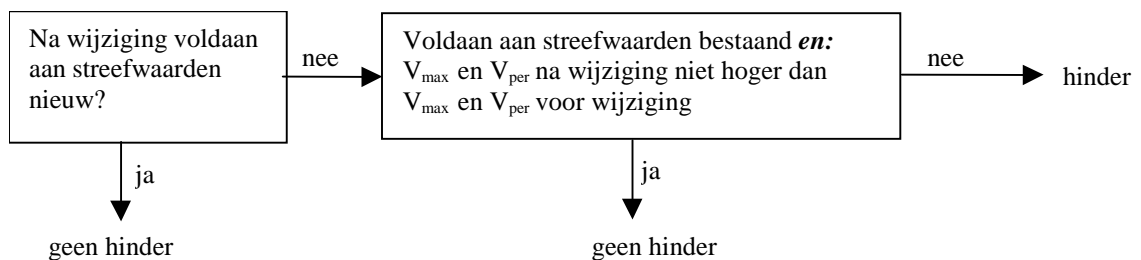
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
1. Gezondheidszorg	0.10	0.40	0.05	0.10	0.20	0.05
2. Wonen	0.10	0.40	0.05	0.10	0.20	0.05
3. Kantoor	0.15	0.60	0.07	0.15	0.60	0.07
4. Bijeenkomsten	0.15	0.60	0.07	0.15	0.60	0.07
5. Kritische werkruimte	0.10	0.10	---	0.10	0.10	---

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	0.20	0.80	0.10	0.20	0.40	0.10
2. Wonen	0.20	0.80	0.10	0.20	0.40	0.10
3. Kantoor	0.30	1.20	0.15	0.30	1.20	0.15
4. Bijeenkomsten	0.30	1.20	0.15	0.30	1.20	0.15
5. Kritische werkruimte	0.10	0.10	- - -	0.10	0.10	- - -

Gewijzigde situaties, weg- en railverkeer

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.



4.3 Statistische bewerking volgens de richtlijnen

Bij hinder wordt een voorschrijdende effectieve waarde berekend en wordt een overschrijdingskans van 5 % van de maximale effectieve waarde berekend (deze overschrijdingskansen zijn opgegeven in de laatste SBR trillingsrichtlijnen (deel B)).

De berekening voor de statistische V_{eff} volgens de SBR richtlijn deel B is:

$$V_{eff,max,stat} = \mu e^{\beta\sigma/\mu}$$

Waarbij: μ = gemiddelde waarde van $v_{eff,max}$

β = factor 5 % kans op overschrijding

σ = standaardafwijking

Volgens de richtlijn mogen voor de statistische berekening alleen trillingssterkten worden beschouwd die minimaal 50% van de hoogst gemeten trillingssterkte bedragen. Hierdoor is het niet altijd mogelijk om de overschrijdingskans te bepalen, omdat te veel metingen afvallen. Op sommige meetlocaties is de statistische V_{top} of V_{eff} daarom niet weergegeven.

De β is afhankelijk van het aantal metingen, hoe minder metingen hoe groter de β . Echter vanaf 8 metingen neemt de β nauwelijks toe. Bij alle locaties zijn daarom minimaal 8 passages gemeten. Wanneer er grote verschillen gemeten zijn tussen de verschillende passages op 1 locatie, zullen de statistische V_{eff} en V_{top} hoog uitvallen ten opzichte van het gemiddelde. Het verschil tussen de statistische waarden en de gemiddelde waarden levert dus informatie over reproduceerbaarheid van het trillingsniveau bij een passage.

Factor β afhankelijk van het aantal waarden voor de bepaling van het gemiddelde en standaardafwijking

Aantal waarden voor bepaling gemiddelde	Factor β
3	2.92
4	2.35
5	2.13
6	2.02
7	1.94
8	1.89
9	1.86
10	1.83
11	1.81
12	1.80
13	1.78
14	1.77
15	1.76

Colofon

Uitgave Movares Nederland B.V.

Daalseplein 101
P.O. Box 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 030 - 265 3661
Telefax 030 - 265 3608

Auteur Dr. Herke G. Stuit
Innovatie manager