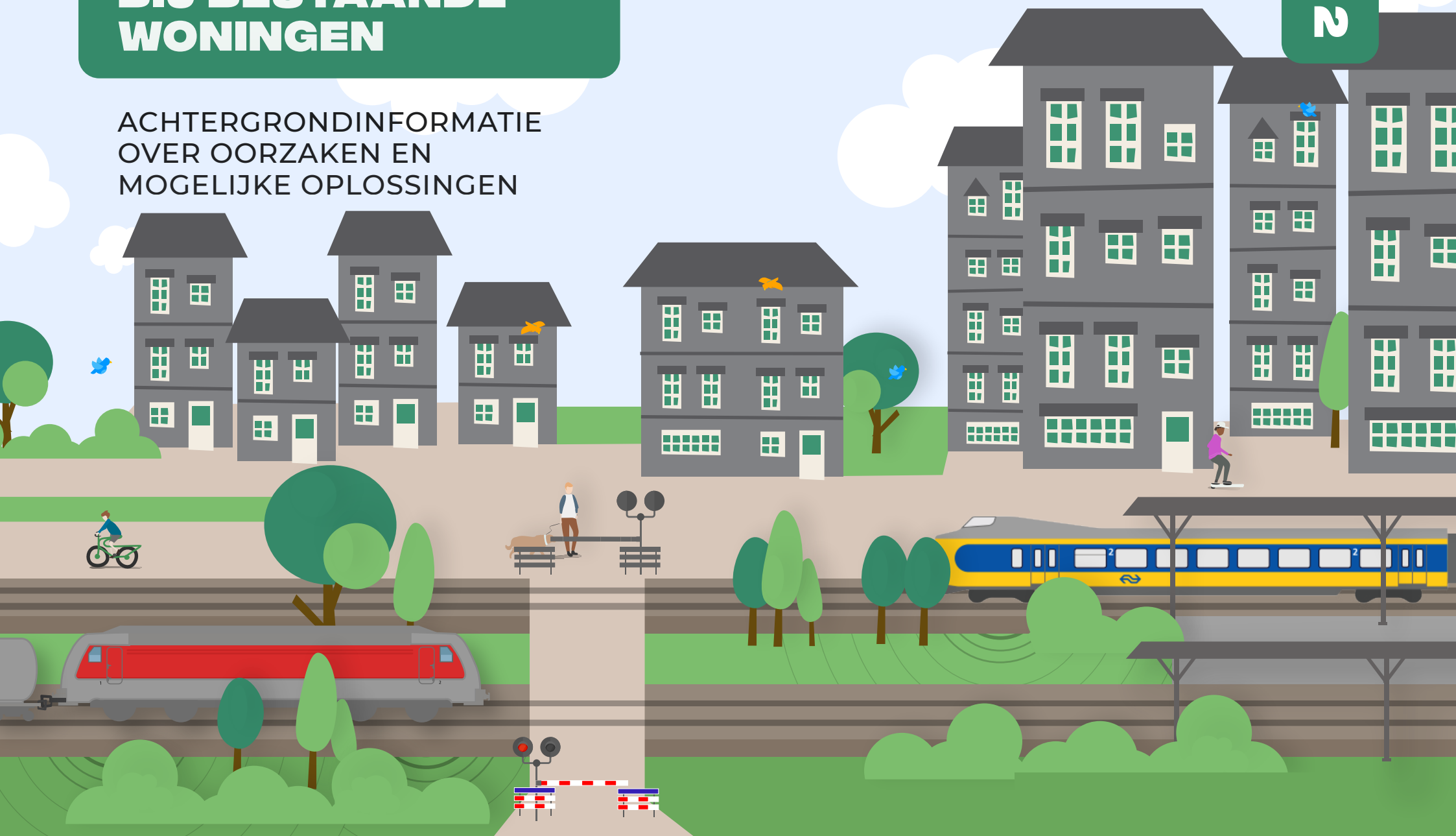


SPOORTRILLINGEN BIJ BESTAANDE WONINGEN

ACHTERGRONDINFORMATIE
OVER OORZAKEN EN
MOGELIJKE OPLOSSINGEN

DEEL 2



INTRODUCTIE

AANLEIDING

In de buurt van het spoor kunnen de trillingen van passerende treinen voelbaar zijn. Een deel van de bewoners rond het spoor maakt zich daardoor zorgen over schade aan hun woning, of ervaart overlast doordat ze 's nachts wakker worden of ramen en kopjes horen rammelen. ProRail constateert eigenlijk al vanaf 2010 een toename in het aantal klachten over trillingen.

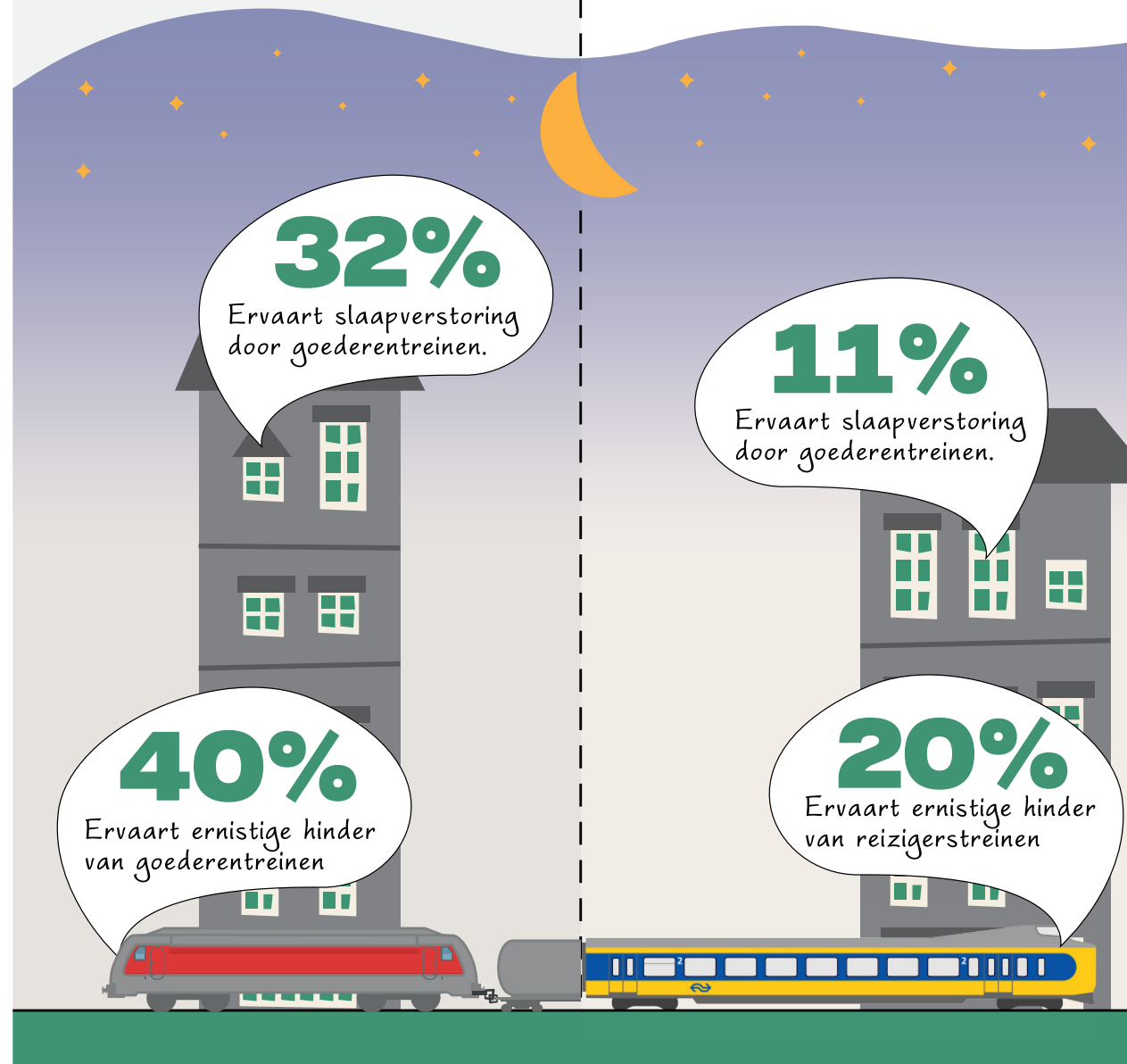
Naar aanleiding van vragen van de Tweede Kamer, heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) verschillende onderzoeken uitgevoerd naar het effect van trillingen van treinen op de gezondheid van omwonenden. Het resultaat is hiernaast weergegeven.

Het lastige bij trillingen is dat wettelijke normen voor trillingshinder ontbreken, in tegenstelling tot geluidhinder waarvoor wel wettelijke normen bestaan. Omdat tegen trillingen zo'n wettelijke norm ontbreekt, is er vanuit de overheid alleen in projecten (zoals spooruitbreidingen) geld beschikbaar om maatregelen te treffen tegen trillingen. Omdat die wettelijke norm ontbreekt, kan ProRail dus ook niet zomaar maatregelen treffen of ingrepen doen in de dienstregeling zoals het langzamer laten rijden van treinen of het weren van bepaalde treinen van het spoor. Wel onderzoekt ProRail bij meldingen over trillingen of ze iets kan doen om de trillingen te verminderen, bijvoorbeeld met spooronderhoud.

MEESTE LAST VAN TRILLINGEN GOEDERENTREINEN...¹

...MAAR HINDER DOOR REIZIGERSTREINEN STIJGT²

Het RIVM weet niet waardoor deze toename komt.



¹ I. van Kamp et al., Wonen langs het spoor, Gezondheidseffecten trillingen van treinen, RIVM rapport 2014-0096

² I. van Kamp et al., Herhaalmeting Wonen langs het Spoor, RIVM-rapport 2021-0103



Bij nieuwbouw van woningen langs het spoor toetst de vergunningverlener (normaal gesproken de gemeente) of er sprake zal zijn van een aanvaardbaar woon- en leefklimaat, ook ten aanzien van trillingen. Als er te sterke trillingen worden verwacht, kan de gemeente maatregelen tegen trillingen verplichten. Bij bestaande woningen ontbreekt zo'n toets doordat er geen wettelijke norm is, en dat zorgt ervoor dat bewoners van bestaande woningen weinig mogelijkheden hebben om de trillingen te verminderen.

DOEL

Deze brochure is opgesteld om bewoners, maar ook gebouweigenaren (zoals woningcorporaties en verhuurders) en gemeenten langs het spoor handvatten te bieden om mogelijk toch iets te doen tegen trillingshinder. Deze brochure gaat onder andere in op de volgende vragen:

1. Hoe ontstaat trillingshinder? En waarom zijn die trillingen op de ene plek hoger dan op de andere plek?
2. Wat kun je (zelf) doen tegen trillingshinder? En wat moet je vooral niet doen als je langs het spoor woont?

Om dit tweede deel van deze brochure te lezen, heb je geen of beperkte kennis of ervaring nodig op het gebied van trillingen, bouwkunde of wet- en regelgeving. We hebben de tekst van de brochure makkelijk leesbaar opgesteld. Termen die uitleg nodig hebben, hebben we onderstreept de uitleg is in een begrippenlijst achterin deze brochure opgenomen.

GEBRUIK VAN DEZE BROCHURE

Deze brochure bestaat uit 2 delen:

DEEL 1 Geeft een samenvattend overzicht. Dit deel is geschikt voor iedereen die benieuwd is naar oplossingen voor spoortrillingen, ook als je nu nog niets weet. **Klik hier** om naar deel 1 te gaan of ga naar: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brochures/2023/03/15/spoortrillingen-bij-bestaande-woningen>

DEEL 2 Van de brochure bevat uitgebreide achtergrondinformatie voor wie meer wil weten over wat in deel 1 aan bod is gekomen. Dit tweede deel is meer technisch van aard.

De brochure is opgezet als interactief pdf-document:



Met de pijltjes is door het document te navigeren

HFST. 1

HFST. 2

HFST. 3

BIJLAGE

Met de knoppen links navigeer je gemakkelijk tussen de 3 hoofdstukken en de bijlage van dit document.

LEESWIJZER

Deze brochure geeft verdiepende informatie over trillingen, het ontstaan van trillingen en maatregelen die je er tegen kunt treffen.

Dit document bestaat uit **3 hoofdstukken**.



1 ACHTERGRONDINFORMATIE OVER TRILLINGEN

Wat zijn het, hoe ontstaan ze, en welke wet- en regelgeving geldt hiervoor?



2 STERKE TRILLINGEN HOE KOMT DAT?

Oorzaken van hoge trillingen, trillingen en frequenties en informatie over experts



3 MAATREGELEN TEGEN TRILLINGEN

Wat je kunt doen tegen trillingen in woningen, in de bodem of aan het spoor



BIJLAGE MET TOELICHTINGEN

Begrippenlijst, zelf trillingen meten met apps en een voorbeelduitwerking van een maatregel



HOOFDSTUK 1 - WAT ZIJN TRILLINGEN

1.1	TRILLINGEN – WAAR HEBBEN WE HET DAN OVER?	4
1.2	WET- EN REGELGEVING	7

HFST. 2

HFST. 3

BIJLAGE

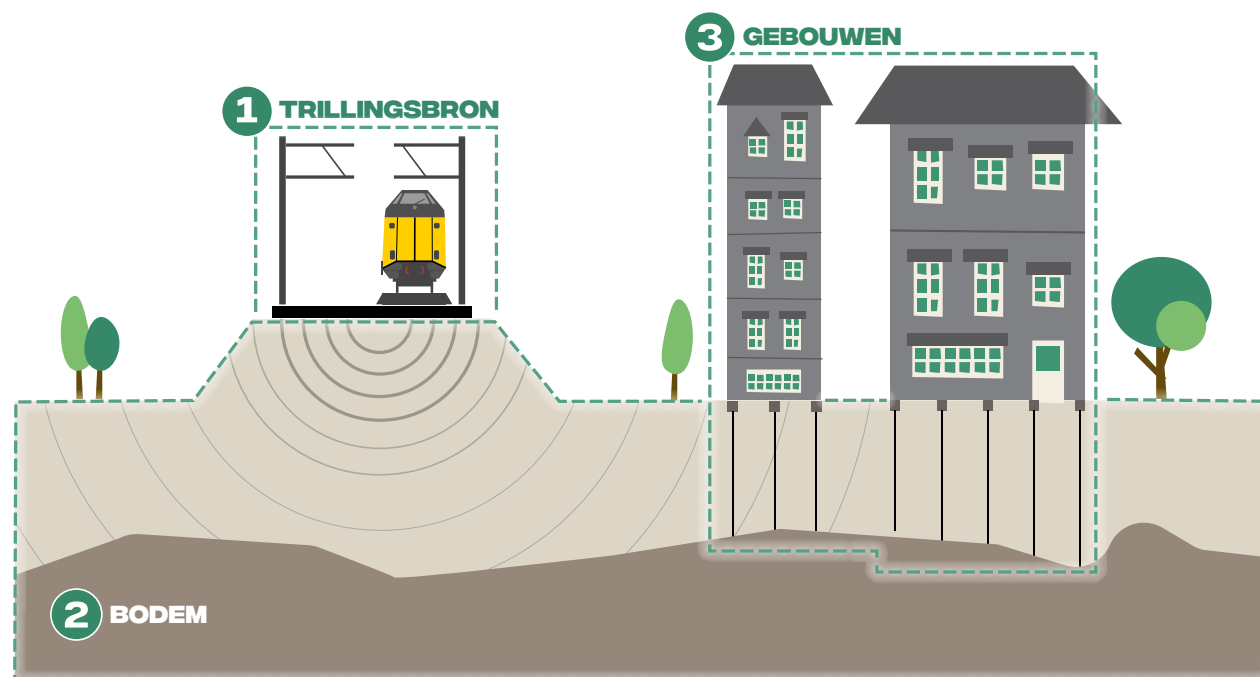


1.1 TRILLINGEN – WAAR HEBBEN WE HET DAN OVER?

Een trilling is een heen- en weergaande beweging. Alles wat beweegt, veroorzaakt trillingen: het lopen van mensen, het rijden van auto's, en dus ook het rijden van treinen. De trillingen ontstaan door de beweging van de trein tijdens het rijden over de rails. De trein veroorzaakt trillingen omdat de wielen van de trein niet helemaal rond zijn en het spoor niet helemaal vlak. Het gewicht van de trein drukt de rails namelijk een beetje naar beneden. De grootte van de trillingen hangt vooral af van de grootte van de oneffenheden, het gewicht van de trein (is de trein leeg of vol), het type trein (lengte van de trein, type wielen, wat voor soort schokdempers heeft de trein), de

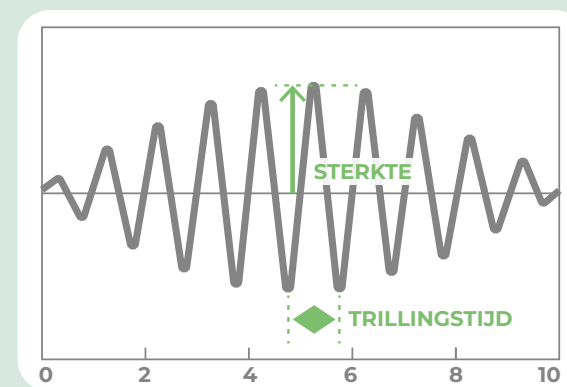
snelheid van de trein, de bodem (een slappe veenbodem of juist een steviger zandbodem) en de eigenschappen van het gebouw waarin de trillingen worden ervaren.

De trillingen worden door de bodem doorgegeven naar de fundering van een woning, en in de woning via wanden en vloeren doorgegeven naar de persoon die de trillingen voelt. Bij trillingen spreken we daarom meestal over een bron **1** (de treinen op het spoor), een doorgeefmedium **2** (de bodem, waarin de trillingen worden doorgegeven van de bron naar een gebouw) en een ontvanger **3** (het gebouw waarin de trillingen worden ervaren (zie figuur hieronder).



Trillingen, frequenties en resonantie

Vanuit de natuurkunde gezien is een trilling een beweging die een aantal keer per seconde optreedt. Het aantal keer dat die trilling per seconde optreedt, noem je de trillingsfrequentie, die je uitdrukt in Hertz (Hz). Bij trillingshinder beoordelen we trillingen met frequenties tussen de 1 en 80 Hz, dus een trilling die 1 keer per seconde optreedt, tot een trilling die 80 keer per seconde optreedt.

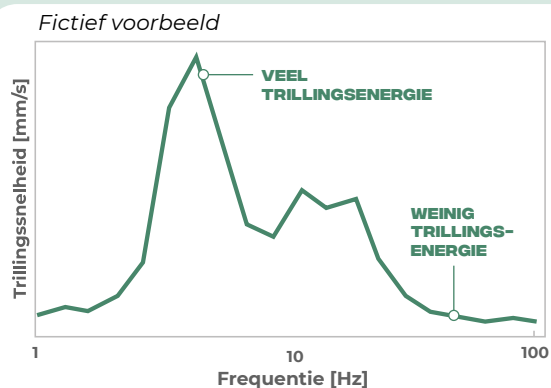


De trillingen van een trein treden op bij verschillende frequenties, waaronder ook tussen de 1 en 80 Hz, het voor mensen voelbare gebied. Deze trillingen worden door de bodem doorgegeven naar de fundering van een woning, en in de woning via wanden en vloeren doorgegeven naar de persoon die de trillingen voelt. En dat kan voor hinder zorgen.

Elk voorwerp heeft een trillingsfrequentie waarbij het uit zichzelf trilt, als het met voldoende kracht wordt aangestoten, de zogenaamde eigenfrequentie. Het voorwerp is extra gevoelig voor trillingen bij die frequentie.

Als een voorwerp mee gaat trillen met de trillingen van bijvoorbeeld een trein, dan noemen we dat resonantie. Resonantie treedt het sterkst op als de trillingen van de trein samenvallen met de eigenfrequentie van het voorwerp.

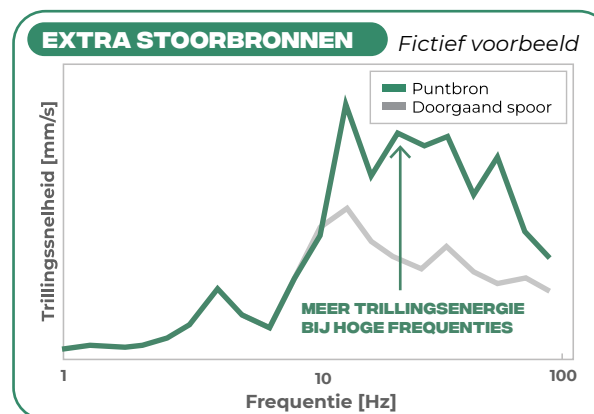
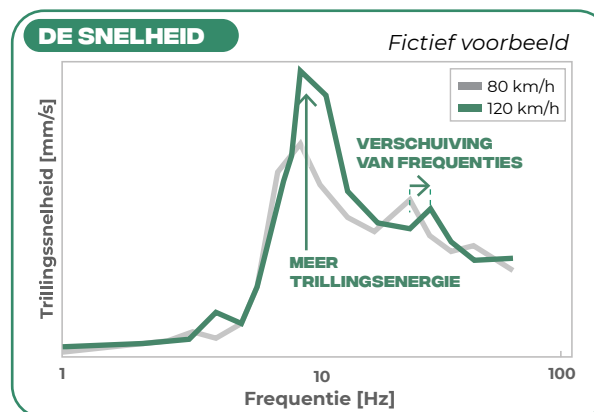
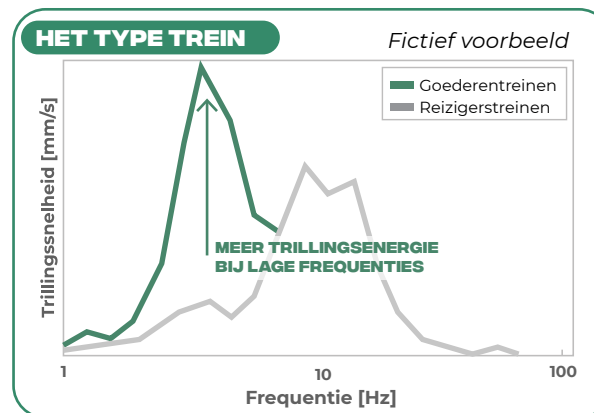
Trillingen treden dus op bij verschillende frequenties. Bij welke frequentie de meeste trillingen optreden, bepaalt voor een groot deel of de trillingen hinderlijk zijn voor mensen, maar ook of bijvoorbeeld een maatregel effect zal hebben. De ene maatregel is bijvoorbeeld heel effectief tegen trillingen bij hoge frequenties, terwijl de andere maatregel daar juist weer niets doet. Om iets te kunnen zeggen over welke maatregel effectief is, moet je dus meer weten over de belangrijkste trillingsfrequenties in een bepaalde woning. Dat leggen we vast in een trillingsspectrum. Dat is een grafiek waarin de trillingsenergie van een treinpassage wordt getoond, met op de horizontale as de trillingsfrequentie, en op de verticale as de trillingssnelheid. De sterkste trillingen komen voor bij de frequenties waar de lijn in de grafiek het hoogst is.



1.1.1 De trillingsbron

Trillingen ontstaan bij een trillingsbron: het systeem van spoor en treinen. Afhankelijk van de situatie zullen de trillingen sterker of zwakker zijn. En dat vertaalt zich weer in sterkere of zwakkere trillingen bij bepaalde frequenties in het trillingsspectrum. Het trillingsspectrum van een trein is afhankelijk van veel dingen. De belangrijkste daarvan zijn:

- **Het type trein:** een goederentrein heeft een ander trillingsspectrum dan een reizigerstrein. Vooral bij lage trillingsfrequenties heeft een goederentrein meer trillingsenergie dan een reizigerstrein (zie figuur rechtsboven).
- **De snelheid** van de trein: bij hogere snelheid ontstaan trillingen bij hogere frequenties en neemt de trillingsenergie bij sommige frequenties toe. Meestal nemen de trillingen in een woning toe bij hogere snelheid, maar door die verschuiving van de frequenties kan het ook gebeuren dat de trillingen in een woning die voor de nieuwe frequenties minder gevoelig is, juist afnemen (zie figuur rechts).
- **Extra stoorbronnen:** onderdelen in het spoor (zoals overwegen, wissels of ES-lassen) vormen puntbronnen in het spoor en zorgen voor extra trillingen ten opzichte van de trillingen van de treinpassage zelf. Vaak is het effect van die puntbronnen merkbaar tot maximaal 75 meter van de bron. Ook is het effect vaak groter op reizigerstreinen dan op goederentreinen. Het effect van zo'n puntbron treedt vooral op bij hogere trillingsfrequenties (zie figuur rechtsonder).



1.1.2 De bodem

De bodem is de ondergrond waardoor de trillingen zich als golven verplaatsen. In de bodem doven de trillingen uit naarmate je op grotere afstand van het spoor staat. De samenstelling van de bodem bepaalt voor een belangrijk deel hoe sterk de trillingen zijn en hoe snel de trillingen uitdoven. In een slappe bodem (zoals een veen- of kleibodem) wordt de bodem meer ingedrukt en ontstaan vooral bij lage trillingsfrequenties sterke trillingen. Deze doven in een slappe bodem echter snel uit. In een stijvere bodem (zoals zand) wordt de bodem wat minder ingedrukt en zijn de trillingen over het algemeen wat minder sterk (zie de figuur linksonder). Ze doven in een stijvere bodem echter ook minder snel uit (zie de figuur midden onder). Daarom zien we dat de meeste hinder en klachten vaak op de stijvere bodems (zoals zand) voorkomen, en ook op grotere afstand van het spoor. Op slappere bodems zien we vooral klachten van mensen die dichtbij het spoor wonen.

Sommige bodems bestaan uit afwisselend slappe en stijve lagen. Dan kan het gebeuren dat de trillingsgolven weerkaatsen tegen de stijve

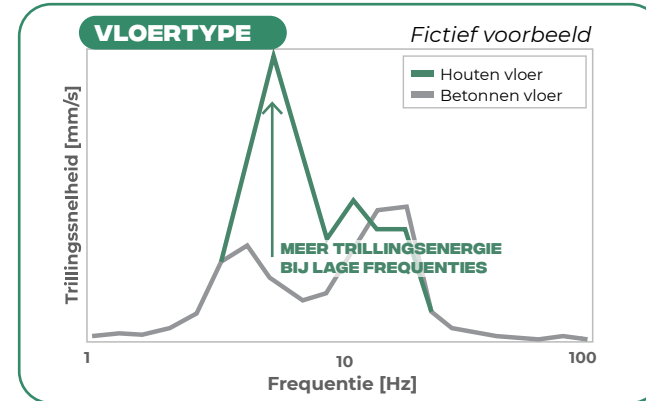
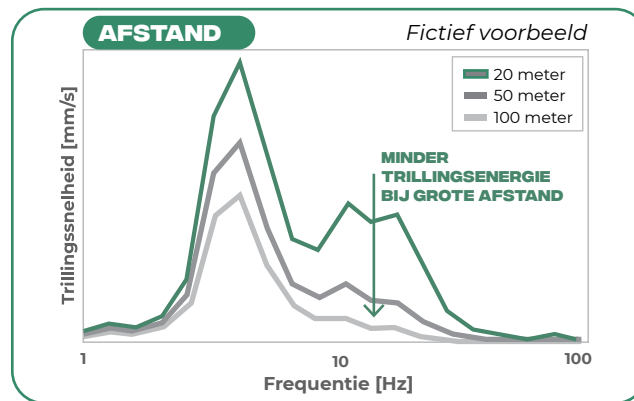
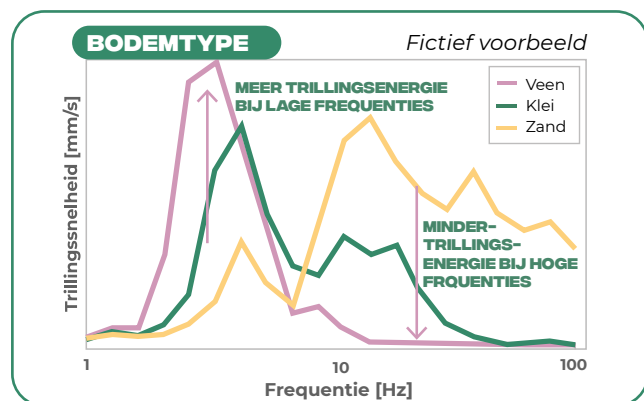
lagen. Op dat soort bodems zie je dat de trillingen aan de oppervlakte niet altijd uitdoven met de afstand, maar soms sterker en soms zwakker zijn. Dat komt omdat de trillingen die door de bovenste lagen gaan, samenkomen met de gereflecteerde trillingsgolven die uit de diepere grondlagen komen, en daardoor elkaar versterken of verzwakken. In de natuurkunde noemen we dit verschijnsel interferentie. In de praktijk kan het dan gebeuren dat de trillingen op een grotere afstand van het spoor sterker zijn dan dichtbij het spoor.

1.1.3 Het gebouw

Trillingen komen via de fundering van een gebouw naar binnen. Door het grote gewicht en de omvang van de fundering nemen de trillingen af. Bij een zwaardere fundering (zoals bijvoorbeeld een dikke betonnen fundering, een zware fundering op palen, of bij een groter of hoger gebouw) nemen de trillingen meer af dan bij een lichtere fundering. In het gebouw worden de trillingen versterkt doordat onderdelen van het gebouw gevoelig zijn voor bepaalde trillingsfrequenties. We noemen dat resonantie. Trillingen met andere frequenties nemen juist af in

het gebouw. De belangrijkste invloedsfactoren van het gebouw op het trillingsspectrum zijn:

- **De afstand** tot het spoor: hoe verder van het spoor vandaan, hoe zwakker de trillingen. Op zachte bodems dempen de trillingen sneller uit dan op harde bodems, en de trillingen bij hoge frequenties dempen sneller uit dan de trillingen bij lage frequenties.
- **De locatie** waar de trillingen worden waargenomen: de trillingen zijn vaak sterker in gebouwen met houten vloeren dan in gebouwen met betonnen vloeren (zie de figuur rechtsonder), en zwakker in grote, zware gebouwen dan in kleine, lage gebouwen. Sommige onderdelen van het gebouw doven de trillingen uit, andere versterken de trillingen. Dat laatste noemen we resonantie en komt voor bij de gevoelige frequentie of eigenfrequentie van een gebouw(onderdeel). Juist die resonanties zorgen vaak voor de hinder: bij de frequenties waar een gebouw gevoelig is voor trillingen, is maar een klein beetje trillingsenergie nodig om sterke trillingen te laten ontstaan.



1.2 WET- EN REGELGEVING

Er zijn geen wettelijke normen voor trillingen door rijdende treinen, zoals dat voor geluidhinder wel het geval is. De Tweede Kamer heeft de regering in 2010 opgeroepen om zulke wettelijke normen ook voor trillingshinder te ontwikkelen. Tot op dit moment is het, door de complexiteit van het onderwerp trillingen, niet mogelijk gebleken om een betrouwbare, uniforme rekenmethode te ontwikkelen, zoals bij geluidhinder wel het geval is. Er zijn daarom ook geen wettelijke normen voor trillingen door rijdende treinen.

Dat betekent niet dat bewoners rond het spoor geen enkele bescherming hebben tegen trillingen. Er zijn namelijk wel richtlijnen die in sommige gevallen van toepassing zijn. Verder werkt het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat met ProRail en kennisinstellingen hard aan het verminderen van de hinder door treinverkeer, onder andere door innovatie- en ontwikkelprogramma's en door in gesprek te blijven met vervoerders.

Richtlijnen voor trillingen

In Nederland wordt al decennialang gebruik gemaakt van de SBR-richtlijn om trillingen in gebouwen te beoordelen. Deze SBR-richtlijn bestaat uit drie delen (deel A – schade in gebouwen, deel B – hinder voor personen in gebouwen en deel C – verstoring van gevoelige apparatuur):

- **Trillingsschade**, de SBR A-richtlijn: deze richtlijn geeft aan waar en hoe trillingen moeten worden gemeten en hoe de kans op trillingsschade moet worden beoordeeld. De richtlijn geeft per type gebouw grenswaarden voor de trillingen. Die grenswaarden zijn trillingsniveaus waarboven een verhoogde kans op schade aanwezig is (meer dan 1% kans op schade). Overigens betekent dit niet dat bij trillingen boven die grenswaarden er direct schade zal ontstaan. Bij een kleine overschrijding van de grenswaarde is de kans op schade namelijk nog steeds klein.
- **Trillingshinder**, de SBR B-richtlijn: deze richtlijn geeft aan waar en hoe trillingshinder moet worden gemeten en beoordeeld. In deze richtlijn worden twee grootheden

getoetst: de maximale trillingssterkte en een gemiddelde trillingssterkte. De richtlijn geeft streefwaarden, die strenger zijn bij nieuwe situaties (nieuwe woningen of sporen) dan bij bestaande situaties omdat er wordt uitgegaan van een zekere mate van gewenning. De streefwaarden zijn strenger voor gebouwen met een overnachtingsfunctie (ziekenhuizen en woningen) dan voor gebouwen waar alleen wordt gewerkt (kantoren en scholen). Ook zijn de streefwaarden in de nacht strenger dan overdag of in de avond omdat mensen in rust gevoeliger zijn voor trillingen. Voor [Tracéwetplichtige projecten](#) wordt sinds 2012 gebruik gemaakt van de Beleidsregel trillinghinder spoor ([Bts](#)). Deze beleidsregel is afgeleid van de SBR B-richtlijn, en is op aspecten aangescherpt zoals een doelmatigheidsafweging en een andere manier om de trillingssterkte vast te stellen.

- **Verstoring van trillingsgevoelige apparatuur**, de SBR C-richtlijn: deze richtlijn geeft aan hoe moet worden beoordeeld of trillingsgevoelige apparatuur wordt verstoord door trillingen.



De verschillende richtlijnen en de Beleidsregel trillinghinder spoor (Bts) hebben ieder een situatie waarvoor ze van toepassing zijn. In onderstaande figuur leggen we dat uit. Een uitgebreidere omschrijving is te vinden via de website van ProRail³ en de brochure over trillingen die daar te vinden is. Hieronder gaan we dieper in op schade en hinder door trillingen.

1.2.1 Schade door trillingen

In de wet- en regelgeving maken we onderscheid tussen trillingen door bouwwerkzaamheden en trillingen die ontstaan door rijdende treinen, dus in de gebruiksfase.

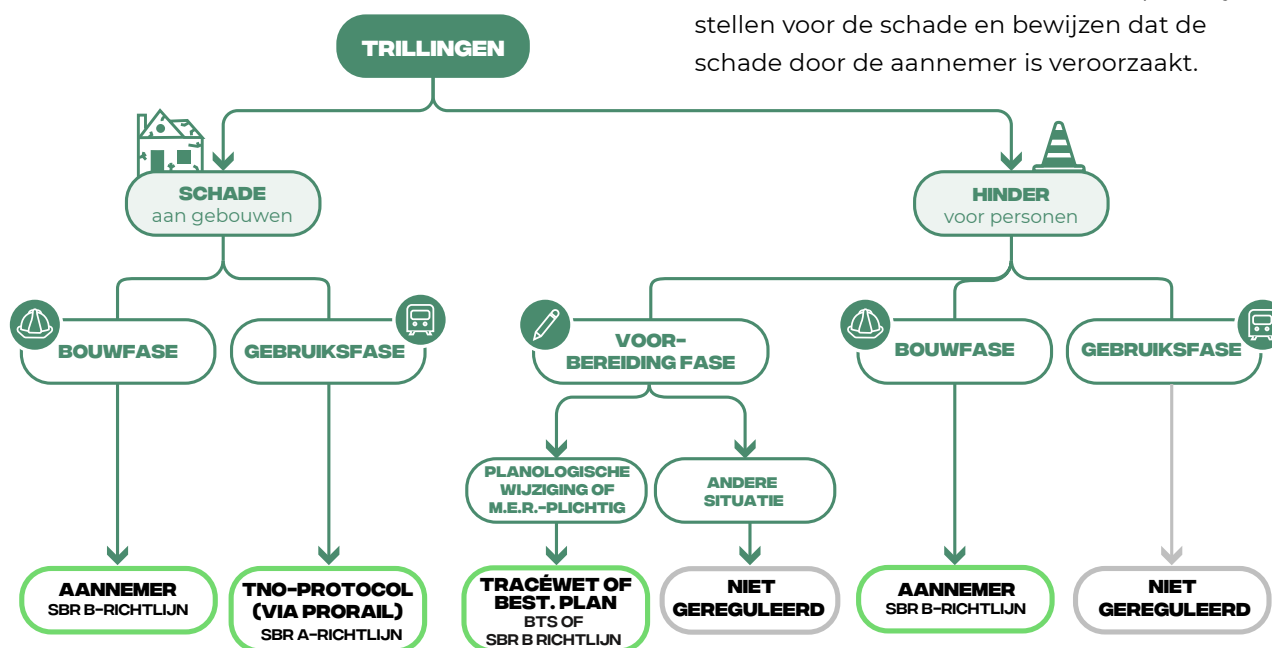
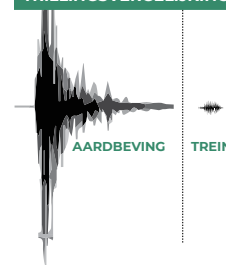


Tijdens de bouwfase is de aannemer verantwoordelijk voor de trillingen en eventuele schade die hierdoor ontstaat. Hij dient te voorkomen dat er schade ontstaat aan de eigendommen van anderen. Als er een kans op schade door bouwwerkzaamheden wordt verwacht, dan kan de aannemer een vooropname (vastlegging met foto's van de staat van het gebouw) van een gebouw uitvoeren, soms in combinatie met trillingsmetingen en soms een na-opname. De trillingsmetingen worden beoordeeld met behulp van de SBR A-richtlijn. De aannemer is verantwoordelijk voor eventuele schade, en ook voor het herstel. De eigenaar van het gebouw waar schade aan is ontstaan, moet de aannemer aansprakelijk stellen voor de schade en bewijzen dat de schade door de aannemer is veroorzaakt.



Tijdens de gebruiksfase is ProRail het aanspreekpunt. Hoewel het niet is uit te sluiten dat treintrillingen tot schade aan een gebouw kunnen leiden, is die relatie tussen treintrillingen en schade in de praktijk nog niet aangetoond. Soms zijn de trillingen wel hoger dan de grenswaarden uit de SBR A-richtlijn (en dus is de kans op schade door die trillingen groter dan 1 procent), maar passen de vorm en locatie van de schades niet bij de belasting door de trillingen. Er is dan geen oorzakelijk verband tussen de treintrillingen en de schade. Een voelbare trilling leidt ook niet direct tot schade aan een gebouw, daar zijn hogere trillingen voor nodig. Soms wordt de vergelijking met een aardbeving gemaakt. Uit metingen blijkt echter dat de trillingen van treinen meestal (veel) minder sterk zijn dan de trillingen van aardbevingen. De constructie van een gebouw kan de trillingen van treinen vaak prima aan. Voelbare trillingen hoeven namelijk nog lang niet tot schade te leiden. Als er toch een vermoeden is van schade door treintrillingen, dan kan een klacht worden ingediend via ProRail Publieksvoorlichting. ProRail hanteert vervolgens een schadeprotocol van de onafhankelijke kennisinstelling TNO om te beoordelen of er inderdaad een kans is op een overschrijding van de grenswaarden uit de SBR A-richtlijn. Als die kans er is, dan zorgt ProRail voor nader onderzoek in de vorm van een meting en gebouwopname.

TRILLINGSVERGELIJKING



Beoordelen van trillingen bij beheer, onderhoud en aanleg van spoorwegen.

³ <https://www.prorail.nl/wonen/trillingen>

1.2.2 Hinder door trillingen

De meeste klachten over trillingen gaan over hinder. Het gaat dan om trillingen die wel voelbaar zijn, maar niet tot schade aan het gebouw leiden. Wel kan het zo zijn dat omwonenden wakker worden van de trillingen, of kopjes in de kast horen rammelen. We maken bij de beoordeling van trillingshinder onderscheid tussen de voorbereidingsfase van een bouwproject, het bouwproject zelf en de gebruiksfase, waarin er treinen rijden:

 **In de voorbereiding** op projecten onderzoekt ProRail op verzoek van een opdrachtgever, zoals het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, een provincie of gemeente vaak wat de effecten van het project op trillingen zijn. Of dat onderzoek moet gebeuren, is afhankelijk van wat het project precies betekent. Onderzoek naar trillingen vindt plaats als het project.

1. M.e.r.-plichtig⁴ is (er worden belangrijke milieueffecten door het project verwacht, zoals een toename van trillingen of geluid).
2. Er sprake is van de aanleg of uitbreiding van hoofdspoorweginfrastructuur of hernieuwde ingebruikname van minimaal 5 kilometer spoor (de zogenaamde Tracéwetprocedure).
3. Het bestemmingsplan moet worden gewijzigd om nieuw spoor aan te kunnen leggen.

In de meeste gevallen wordt de trillingshinder (meestal op basis van metingen in woningen in combinatie met berekeningen) getoetst aan de Bts. In situatie (3) toetst de gemeente meestal, omdat de gemeente verantwoordelijk is voor

aanpassingen in het bestemmingsplan. Vaak wordt dan de SBR B-richtlijn gebruikt om de trillingen te beoordelen.

Onderzoek is vaak niet nodig als het spoor wordt vernieuwd, de snelheid van de treinen verandert, er andere of meer treinen gaan rijden of de sporen op een andere plek binnen de spoorzone worden neergelegd.



Tijdens de bouwfase is de aannemer verantwoordelijk. Voor trillingen door bouw- en sloopwerkzaamheden is het Bouwbesluit van toepassing. Hierin staan relatief hoge trillingsnormen voor activiteiten die maar een korte tijd duren. Voor andere werkzaamheden (zoals gewoon werk aan het spoor) kan in de Algemene Plaatselijke Verordening (APV) van een gemeente of in het contract tussen ProRail en aannemer zijn vastgelegd dat de SBR B-richtlijn van toepassing is. Klachten over trillingen dienen altijd gemeld te worden bij de aannemer, en bij reguliere onderhoudswerkzaamheden bij ProRail.



Tijdens de gebruiksfase zijn er geen wetgeving of regels waaraan de trillingen van treinen moeten voldoen. Juist dit is de situatie die van toepassing is bij hinder door treinen in bestaande woningen, waar deze brochure over gaat. De dienstregeling kan niet zomaar worden aangepast, ook is het niet mogelijk om zomaar treinen van het spoor te weren of langzamer te laten rijden. Trillingen kunnen tot op grote afstand voelbaar zijn, soms zelfs op honderden meters van het spoor. In de kaart hiernaast laten we, op basis van honderden metingen door heel Nederland, zien tot hoe ver ongeveer

sprake kan zijn van hinderlijke trillingen (volgens de definities uit de SBR B-richtlijn). Klachten of vragen over spoortrillingen kunnen worden gemeld bij ProRail Publieksvoorlichting.

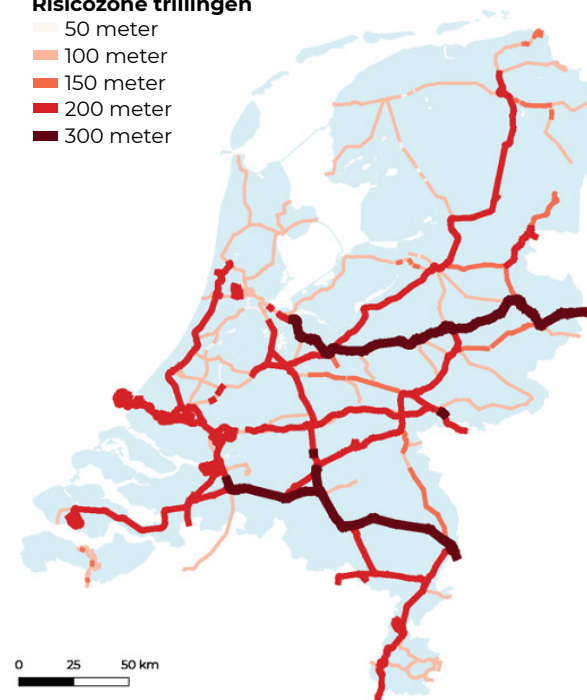
1.2.3 Trillingen en laagfrequent geluid

Trillingen kunnen, naast dat ze voelbaar zijn, ook zorgen voor hoorbaar geluid. Denk hierbij aan het rommelende geluid dat hoorbaar is in gebouwen vlakbij (metro)tunnels. Soms is een bromtoon hoorbaar als een trein passeert. Dit geluid ontstaat doordat vloeren en wanden in trilling worden gebracht, en daardoor geluid gaan afstralen.

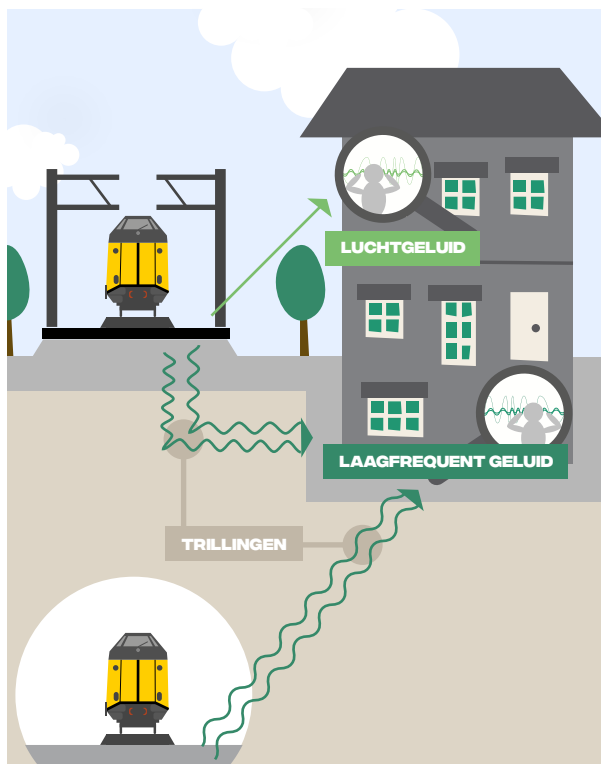
HINDERLIJKE TRILLINGEN

Risicozone trillingen

- 50 meter
- 100 meter
- 150 meter
- 200 meter
- 300 meter



⁴<https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale/mer/procedurehandleiding/wanneer-beoordeling/>



Hinder door laagfrequent geluid speelt bij treinverkeer vooral een rol als er sprake is van weinig direct (lucht) geluid. Denk aan situaties waarbij het spoor ondergronds of verdiept ligt, of waarbij een geluidscherm aanwezig is. Het directe geluid is dan minder goed hoorbaar, waardoor vooral het laagfrequente geluid overblijft. Hoorbaar laagfrequent geluid kan hinderlijk zijn.

Het risico op hinderlijk laagfrequent geluid is vaak groter in de volgende situaties:

1. Het gebouw ligt dichtbij het spoor.

Laagfrequent geluid wordt vooral veroorzaakt door trillingen bij hoge

trillingsfrequenties (ordegrootte boven de 50 Hz). Die trillingen doven snel uit naarmate een gebouw verder van het spoor vandaan ligt, maar kunnen dichtbij de trillingsbron wel hoog zijn.

2. **Onderin het gebouw.** De trillingen die het laagfrequente geluid veroorzaken, doven meestal uit per bouwlaag. Hierdoor is het laagfrequente geluidsniveau onderin het gebouw, en dus dicht bij de bron van de trillingen, vaak hoger dan bovenin het gebouw. Er zijn echter ook wel situaties waar ook bovenin het gebouw sprake is van hinderlijk laagfrequent geluid.

3. In gebouwen met veel beton en glas.

Open, relatief kaal ingerichte ruimtes met veel beton en glas dempen het geluid veel minder, waardoor het geluidsniveau daar veel hoger is. Er is daardoor vaak meer hinder van laagfrequent geluid in nieuwbouw, dan in oude woningen met houten vloeren.

Net als voor trillingen, ontbreekt voor laagfrequent geluid een wettelijk kader. Ook de Wet Geluidhinder bevat geen eisen ten aanzien van laagfrequent geluid. Om laagfrequent geluid van treinverkeer te beoordelen is de zogenaamde GWR-richtlijn te gebruiken die ook onder de naam 'methode De Ruiter' bekendstaat. Deze methode is door Bob de Ruiter van Gemeentewerken Rotterdam ontwikkeld voor het beoordelen van laagfrequent geluid door treinen, metro's en trams in tunnels. Ook door de Raad van State wordt dit gezien als een acceptabele methode om laagfrequent geluid van treinen

te beoordelen⁵. Deze methode De Ruiter geeft aan dat bij overschrijding van de grenswaarden uit de methode, er een grote kans is op hinder door laagfrequent geluid. Het gaat hierbij om het maximale geluidsniveau in een aantal frequentiebanden (tussen 16 en 125 Hz).

Bij projecten waar laagfrequent geluid een rol kan spelen (zoals bij de aanleg van een tunnel of verdiepte spoorligging), beoordeelt ProRail meestal ook het laagfrequent geluid. In bestaande situaties ontstaan vooral klachten over laagfrequent geluid langs spoortunnels, een verdiepte spoorligging of als er geluidschermen zijn geplaatst. In al die gevallen speelt het wegvallen of afwezig zijn van direct geluid een belangrijke rol.

Laagfrequent geluid wordt veroorzaakt door de hogere trillingsfrequenties (boven de 30 Hz, daaronder is het geluid niet hoorbaar). Daarom zijn maatregelen die ervoor zorgen dat de trillingen bij die hogere trillingsfrequenties afnemen, ook effectief tegen laagfrequent geluid. Maatregelen die werken, zijn bijvoorbeeld het plaatsen van een afgeveerde vloer (mits de wanden niet ook laagfrequent geluid afstralen), of laagdrempelige maatregelen zoals het uitbreiden stoffen van de woning (aanbrengen van hoogpolig tapijt, dikke gordijnen en eventueel geluidsabsorberende elementen). Die laatste maatregelen werken vooral tegen hogere frequenties (boven de 80 Hz).

⁵ Zie uitspraak 201207300/1/R4

HOOFDSTUK 2 - STERKE TRILLINGEN, HOE KOMT HET NOU PRECIES?

2.1	DE TRILLINGSBRON	12
2.2	DE BODEM	14
2.3	HET GEBOUW	15
2.4	VERANDERINGEN VAN DE TRILLINGEN	16
2.5	MEER INZICHT IN DE TRILLINGEN; HET TRILLINGSSPECTRUM	18
2.6	WIE KAN HIERBIJ HELPEN?	20



REIZIGERSTREINEN

SNG



VIRM



ICM



ICE



FLIRT



GTW



IC DIRECT



IC BERLIJN



ICNG



DDZ



rijden goederentreinen wel langzamer dan reizigerstreinen. Ook kan het zo zijn dat een specifiek soort goederentrein voor sterkere trillingen zorgt. Veel gehoorde voorbeelden hiervan zijn erts- en kolentreinen, of treinen met ketelwagens. Hieronder zijn veel voorkomende types goederentreinen weergegeven.

- **Reizigerstreinen** rijden vaak sneller dan goederentreinen, en kunnen daardoor in sommige situaties (zoals bijvoorbeeld bij overwegen) voor sterkere trillingen zorgen dan goederentreinen. Ook kan het zo zijn dat een specifiek soort reizigerstrein voor sterkere trillingen zorgt. Hiernaast zijn veel voorkomende types reizigerstreinen weergegeven, zie ook bijlage 4.

GOEDERENTREINEN

KETELWAGEN



ERTS- OF KOLENWAGON



AUTOTREIN



CONTAINERWAGON



OVERIG



2.1 DE TRILLINGSBRON

Trillingen zijn een lastig grijpbaar fenomeen: ze zijn op de ene plek veel sterker dan op de andere plek. Dat kan komen door verschillende oorzaken. In dit hoofdstuk leggen we uit welke oorzaken vaak zorgen voor sterkere trillingen, hoe is te achterhalen wat er aan de hand is, en wie daarbij kan helpen. Want als duidelijk is wat de oorzaak is, dan is het vaak ook duidelijker welke maatregelen wel of juist niet helpen. De bron van de trillingen bepaalt voor een deel hoe sterk de trillingen zijn. Een bewoner langs het spoor kan de bron van de trillingen natuurlijk niet aanpassen, maar meer inzicht in hoe het komt dat de trillingen sterker zijn, helpt wel bij het indienen van een vraag of klacht bij ProRail.

2.1.1. Bepaalde treinen veroorzaken meer trillingen dan andere treinen

De ene trein veroorzaakt meer trillingen dan de andere trein. Dat komt door het ontwerp van de treinen: het gewicht, de lengte, de vering van de trein, het speelt allemaal een rol bij het ontstaan van de trillingen. Het kan dus zijn dat de ene trein voor sterkere trillingen zorgt dan de andere trein. Maar het kan ook zijn dat de frequenties van de trillingen anders zijn, waardoor verschillende soorten treinen in verschillende woningen voor de sterkste trillingen kunnen zorgen.

- **Goederentreinen** zijn vaak zwaarder en langer dan reizigerstreinen, maar zijn ook op een andere manier ontworpen: ze zijn vooral bedoeld om (vaak zware) goederen te transporteren, in plaats van het comfortabel en snel verplaatsen van reizigers van de ene stad naar de andere stad. Daardoor zijn het gewicht en de vering van goederentreinen anders. Vaak



2.1.2. Op bepaalde punten ontstaan meer trillingen

Er kunnen meer trillingen optreden als er een onderbreking in het spoor zit. Dat is te vergelijken met een drempel in de weg: het wiel van de trein rijdt over een gat of hobbel, waardoor de trillingen sterker kunnen zijn. Vooral bij wissels, overwegen of ES-lassen in het spoor kunnen de trillingen sterker zijn.

- **Wissels** tot maximaal zo'n 75 meter van een gebouw kunnen wissels voor sterkere trillingen zorgen. Het spoor loopt bij wissels niet door, er zit een kleine onderbreking in de rails. Een treinwiel rolt over deze onderbreking, en dat kan zorgen voor sterkere trillingen. Vooral bij verouderde wissels kunnen sterkere trillingen ontstaan.

Of er een wissel in het spoor ligt, is te controleren door ter plekke te gaan kijken, via Google Maps of via <https://app.pdok.nl/viewer/>. Kies (links in het scherm) 'Selecteer een dataset', klik op het plusje van 'Overige kaarten', scroll naar beneden (kaarten staan in alfabetische volgorde) naar 'Spoorwegen', klik daar op het plusje en vink 'wissel' aan. In de kaart verschijnen nu de actuele locaties van wissels. De afstand kan worden ingemeten door rechts (onder het '+' en '-' teken het knopje 'Meetgereedschap' te kiezen, en dan te kiezen op 'Lijn meten'. Vervolgens kan op de locatie van de wissel en de woning worden geklikt, waarna de afstand tussen de twee verschijnt. In Google Maps kan dit door rechts te klikken op de kaart, en 'Afstand meten' te kiezen. De leeftijd van een wissel is niet te achterhalen op basis van openbaar beschikbare gegevens.

- **Overwegen** tot maximaal zo'n 75 meter van het spoor kan een overweg zorgen voor sterkere trillingen. Rond zo'n overweg zitten verschillende systemen in het spoor die kunnen zorgen voor meer trillingen. Zo verandert het spoor (van een spoor in ballast naar een spoor op een betonplaat), zitten er ES-lassen in het spoor (om de overweg te bedienen) en liggen er vaak verschillende types dwarsliggers in het spoor. Vaak is het ook niet mogelijk om tot aan de overweg onderhoud te doen met machines, waardoor het laatste stuk handmatig gebeurt, en dus op een andere manier. Al die veranderingen in het spoor kunnen zorgen voor hogere trillingen. Overigens lopen er al verschillende onderzoeken en aanpassingstrajecten rond overwegen om de trillingen daarvan te verminderen. Of er een overweg in het spoor ligt, is te controleren door ter plekke te gaan kijken, via Google Maps of via <https://app.pdok.nl/viewer/>. Kies (links in het scherm) 'Selecteer een dataset', klik op het plusje van 'Overige kaarten', scroll naar beneden (kaarten staan in alfabetische volgorde) naar 'Spoorwegen', klik daar op het plusje en vink 'overweg' aan. In de kaart verschijnen nu de actuele locaties van overwegen.
- **Seinen** langs het spoor worden gebruikt om aan te geven of een trein mag doorrijden of moet afremmen omdat er een andere trein vlak voor rijdt. Bij zo'n sein liggen ES-lassen in het spoor, die de spoorstaaf onderbreken en zo voor sterkere trillingen kunnen zorgen. Of er een sein staat kan worden gecontroleerd via Google Maps (luchtfoto of Street View),

of de vraag kan worden gesteld aan ProRail Publieksvoorlichting.

- **Hoorbaar gebonk** in het spoor kan wijzen op schade aan het spoor, maar het kan ook komen door een wissel, overweg of ES-las, of door een vlakke plaats aan het wiel van een trein. Die oneffenheden of onderbrekingen in het spoor kunnen zorgen voor sterkere trillingen.



2.2 DE BODEM

Trillingen verplaatsen zich door de bodem van trillingsbron naar gebouw. De bodem bepaalt daarom voor een belangrijk deel of de trillingen sterk of zwak zullen zijn. Ook voor de bodem geldt dat die natuurlijk niet is aan te passen, maar inzicht in de bodem helpt bij het kiezen van de juiste maatregel.

2.2.1 Type bodem en opbouw

Er zijn in Nederland veel verschillende bodemsoorten, maar de belangrijkste zijn zand, klei, veen en leem of löss. Bij slappe bodemtypes, zoals veen en klei, zijn de trillingen dichtbij het spoor vaak sterker maar dempen de trillingen wel snel uit. Op stijvere bodemtypes, zoals zand, dempen de trillingen juist niet zo snel uit, en kunnen trillingen ook op grote afstand van het spoor nog hinderlijk zijn. Door al die verschillen in de bodem zijn de trillingen overal in Nederland weer anders, en kun je dus ook niet zomaar een maatregel die op de ene plek goed werkt, ook toepassen op een andere plek. Het type bodem is heel bepalend voor of een maatregel wel of niet werkt.

Het type bodem is terug te vinden in de kaart hiernaast. Ook in de openbare data van de overheid is informatie over de bodem terug te vinden. Ga hiervoor naar <https://app.pdok.nl/viewer/>. Kies (links in het scherm) 'Selecteer een dataset', klik op het plusje van 'Overige kaarten', scroll naar beneden (kaarten staan in alfabetische volgorde) naar 'Basisregistratie Ondergrond (BRO)', klik daar op het plusje en vink 'BRO Bodemkaart –

Bodemvlakken' aan. In de kaart verschijnt nu een overzicht van bodemvlakken. Door op een vlak te klikken, en rechts onderin het scherm op 'Object informatie' te klikken, kan een omschrijving van het type bodem worden achterhaald. Vaak staan daar namen in als 'zand', 'veen' of 'klei'.



Bodemtype

- Bebouwing
- Klei
- Leem of loss
- Veen
- Water
- Zand

2.2.2 Sloot of water tussen spoor en gebouw

Een sloot of waterpartij is eigenlijk een soort onderbreking in de bodem, die ervoor kan zorgen dat een deel van de trillingen dieper de bodem in gaat, en minder bij een gebouw terechtkomt dat achter die sloot staat. Hierdoor kan zo'n sloot als een soort trillingsscherm werken. In onderzoeken zien we vooral effect van diepere en bredere sloten.

Of er water tussen het spoor en het gebouw ligt, kan worden gecontroleerd via Google Maps.

2.2.3 Afstand tot het spoor

Dichtbij het spoor zijn de trillingen sterker dan verder bij het spoor vandaan. Maar bij sommige bodemtypes kunnen de trillingen tot op honderden meters van het spoor voelbaar zijn. De afstand tot het spoor kan worden ingemeten via Google Maps of via <https://app.pdok.nl/viewer/>. Kies (links in het scherm) 'Selecteer een dataset', klik op het plusje van 'Overige kaarten', scroll naar beneden (kaarten staan in alfabetische volgorde) naar 'Spoorwegen', klik daar op het plusje en vink 'spooras' aan. In de kaart verschijnen nu de actuele locaties van de sporen.



2.3 HET GEBOUW

De trillingen gaan via de bodem de fundering van een gebouw in, en vervolgens via de muren en vloeren naar de persoon die de trillingen kan ervaren. De eigenschappen van een gebouw bepalen voor een groot deel of de trillingen sterk of juist zwak zijn, en ook of bepaalde maatregelen wel of niet werken. Hierdoor is het niet altijd mogelijk om een eenduidige oorzaak van de trillingen aan te wijzen.

2.3.1 Leeftijd (bouwjaar) van de woning

Oude woningen zijn vaak slapper gebouwd, en hebben meestal houten vloeren. Ze zijn daardoor gevoeliger voor trillingen. De maatregelen die je kunt treffen zijn bij oudere woningen daarom ook vaak anders dan bij nieuwe woningen.

De leeftijd van het gebouw is te vinden in de openbare data van de overheid. Ga hiervoor naar <https://app.pdok.nl/viewer/>. Kies (links in het scherm) 'Selecteer een dataset', klik op het plusje van 'Overige kaarten', scroll naar beneden (kaarten staan in alfabetische volgorde) naar 'Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)', klik daar op het plusje en vink 'Pandens' aan. Als die optie grijs is, moet eerst verder worden ingezoomd totdat deze laag is aan te klikken. In de kaart verschijnen nu de verschillende gebouwen. Door op een gebouwvlak te klikken, en rechts onderin het scherm op 'Object informatie' te klikken, kan de leeftijd van het gebouw worden achterhaald bij 'bouwjaar'. Let op: dit klopt niet altijd, maar is een goede indicatie van het bouwjaar.

2.3.2 Vloerconstructie in de woning

In veel woongebouwen zijn grofweg twee vloerconstructies aanwezig: houten vloeren en betonnen vloeren. De houten vloeren bestaan uit een combinatie van houten balken en planken. De betonnen vloeren bestaan uit beton met daarop de vloerafwerking, zoals tegels (plavuizen), laminaat, PVC, parket of tapijt, maar die vloerafwerking heeft veel minder invloed op de trillingen dan de vloerconstructie die daaronder zit.

Er zijn veel verschillende types betonnen vloeren, maar algemeen geldt dat lichtere, houten vloeren vaak gevoeliger zijn voor trillingen dan zwaardere, betonnen vloeren. Het voordeel van houten vloeren is dat er wel maatregelen zijn te treffen tegen de trillingen, bij betonnen vloeren is dat veel lastiger.

Het is niet altijd duidelijk wat voor soort vloer in een gebouw zit. De meest simpele test is door te springen op een vloer. Een houten vloer kraakt soms, en voelt lichter en flexibeler aan. Een betonnen vloer beweegt door het grote gewicht niet mee. Verder kan het bouwjaar van de woning hier iets over zeggen:

1. Als de woning van voor 1965 is, zijn vloeren vrijwel altijd van hout.



2. Tussen 1965 en 1970 werden veel vloeren van beton gemaakt, maar ook houten vloeren komen nog veelvuldig voor, met name voor de verdiepingsvloeren.
3. Na 1970 zien we vooral nog betonnen vloeren, zoldervloeren zijn soms nog van hout. Ook in houtskeletbouw is sprake van houten vloeren, hoewel de begane grondvloer soms wel van beton is.

2.3.3 Hoogte van het gebouw

Hoge woningen, zoals appartementengebouwen, zijn vaak gevoeliger voor trillingen bij lage frequenties. Wel geldt dat grote, zware gebouwen minder snel in trilling worden gebracht dan kleine, lichte gebouwen. De maatregelen die je kunt treffen zijn bij hoge woningen ook anders dan bij lage woningen. In de meeste gebouwen heeft een bouwlaag een hoogte van 2,60 tot 3,00 meter. De hoogte kun je daardoor vaak eenvoudig afleiden uit het aantal bouwlagen.

2.3.4 Positie binnen het gebouw

Vaak zijn de trillingen bovenin een gebouw het sterkst. Dat komt doordat trillende bewegingen zoals het zwaaien van een gebouw en het inveren van een gebouw op lagere bouwlagen, hoger in het gebouw een sterkere rol spelen. Het gaat dan vooral om trillingen bij lage frequenties, terwijl onderin het gebouw de trillingen bij hoge frequenties vaak juist sterker zijn. Die trillingen worden in het gebouw vaak juist zwakker.

2.4 VERANDERINGEN VAN DE TRILLINGEN

Door veranderingen aan het spoor, in de bodem of in het gebouw kunnen de trillingen toenemen. Als de trillingen plotseling zijn veranderd, is het daarom goed om te achterhalen wat er is veranderd. Dat kan helpen om tot een goede oplossing tegen de hinder te komen. De meest voorkomende oorzaken waardoor sterkere trillingen worden ervaren dan voorheen, worden hieronder benoemd.

2.4.1 Er is onderhoud aan het spoor gepleegd

ProRail voert regelmatig onderhoud aan het spoor uit, bijvoorbeeld om te zorgen dat het spoor weer vlak ligt. Door dit onderhoud aan het spoor kunnen de trillingen van treinen zowel toe- als afnemen. Het kan ook zijn dat de frequenties van de trillingen anders worden, waardoor de trillingen in de ene woning (die gevoelig is voor de nieuwe frequenties) toenemen, terwijl ze in een andere woning kunnen afnemen.

2.4.2 Na vernieuwing van het spoor

Soms zorgt vernieuwing van het spoor (bijvoorbeeld als houten dwarsliggers worden vervangen door betonnen dwarsliggers) voor andere trillingen. De trillingen kunnen zowel sterker als zwakker worden. Het kan ook zijn dat de frequenties van de trillingen anders worden, waardoor de trillingen in de ene woning (die gevoelig is voor de nieuwe frequenties) toenemen, terwijl ze in een andere woning kunnen afnemen.

2.4.3 Na andere snelheid van de treinen

De snelheid van treinen heeft invloed op de trillingen. Als treinen sneller rijden, kan het zijn dat de trillingen sterker worden, maar dat hoeft niet zo te zijn. Het kan ook zijn dat de frequenties van de trillingen anders worden, waardoor de trillingen in de ene woning (die gevoelig is voor de nieuwe frequenties) toenemen, terwijl ze in een andere woning kunnen afnemen.

2.4.4 Na andere treinen

De ene trein veroorzaakt meer trillingen dan de andere trein. Dat komt door het ontwerp van de treinen: het gewicht, de lengte, de vering van de trein, het speelt allemaal een rol bij het ontstaan van de trillingen. Het kan dus zijn dat andere treinen voor sterkere trillingen zorgen. Het kan ook zijn dat de frequenties van de trillingen anders worden, waardoor de trillingen in de ene woning (die gevoelig is voor de nieuwe frequenties) toenemen, terwijl ze in een andere woning kunnen afnemen.

2.4.5 Na plaatsen geluidscherm

Door het plaatsen van een geluidscherm neemt het geluid af. Treinen zijn minder goed hoorbaar, maar uit ervaring blijkt dat omwonenden in enkele gevallen de trillingen daarna hinderlijker vinden. Waarschijnlijk kunnen bewoners de trillingen, die op zich niet veranderd zijn, beter waarnemen omdat het stiller is geworden. Een geluidscherm heeft heel weinig invloed op de overdracht van trillingen door de bodem.

2.4.6 Na veranderingen in de bodem

Trillingen gaan door de bodem. Veranderingen in de bodem kunnen daarom zorgen voor meer trillingen. Het plaatsen van een damwand in de bodem, het verwijderen van een sloot langs het spoor, of het bouwen van een nieuw gebouw tussen het spoor en een woning kan zorgen voor meer of minder trillingen.

2.4.7 Na veranderingen in of aan de woning

Hoe een woning is gebouwd en ingericht, heeft ook invloed op de trillingen. Voorbeelden hiervan zijn:

- **Een verbouwing.** Bij het maken van een uitbouw wordt vaak een opening in een muur gemaakt. Hierdoor wordt de muur slapper, en verandert de gevoelige frequentie van het gebouw op die plek. Hierdoor kunnen de trillingen op de bouwlagen daarboven sterker worden. Elke verbouwing heeft invloed op de trillingen. Die kunnen daardoor zowel sterker als zwakker worden. Houd bij verbouwingen daarom vooraf rekening met trillingen, zie ook Deel 1 van deze brochure.
- **Een andere inrichting van het huis.** Vooral bij oudere gebouwen, met houten vloeren, is het goed merkbaar als er meer (vooral zwaardere) spullen (zoals meubels) middenin een ruimte worden neergezet. Middenin een ruimte (dus midden op de vloer) is de vloer namelijk slapper. Door daar meer spullen neer te zetten, wordt de vloer zwaarder en wordt de gevoelige frequentie van de vloer lager. Hierdoor kan de vloer gevoeliger worden voor trillingen. Door (zware) spullen meer aan de randen van de vloer neer te zetten, kunnen de trillingen afnemen.

- **Na aanpassingen aan de vloerbedekking.** Het type vloerbedekking (plavuizen, PVC, laminaat, parket of tapijt) heeft op zich geen invloed op de trillingen, maar het kan wel zijn dat de trillingen sterker worden ervaren op gladde vloeren. Vaak komt dat doordat het geluid ook anders wordt.

2.4.8 Tijdens bepaalde weersomstandigheden

Het weer heeft invloed op de trillingen. Tijdens langdurige periodes van droogte of juist veel neerslag, maar ook tijdens koude of juist warme periodes kunnen de trillingen anders worden. Zowel het spoor (tijdens warmte zet het uit, tijdens kou krimpt het) als de bodem kan dan anders reageren op de trillingen van de treinen.



2.5 MEER INZICHT IN DE TRILLINGEN; HET TRILLINGSSPECTRUM

Als bewoner langs het spoor is het niet mogelijk om de bron van de trillingen aan te pakken of iets aan de bodem te veranderen. Aan of in de woning zijn soms wel aanpassingen te doen waarmee de hinder is te verminderen. Om erachter te komen wat in de woning zorgt voor de hoge trillingen, helpen we eerst om met een kort stappenplan een indicatie te krijgen van het trillingsspectrum in de woning. Het trillingsspectrum is een soort grafiek waarin is af te lezen bij welke frequenties er veel trillingsenergie is. Dat trillingsspectrum geeft vervolgens inzicht in welke maatregelen wel en niet effectief kunnen zijn, omdat veel maatregelen vooral effectief zijn bij hoge of juist lage trillingsfrequenties.

Om dit trillingsspectrum te bepalen, is een meting nodig, maar indicatieve trillingsspectra voor veelvoorkomende situaties hebben we opgenomen in bijlage 2. Het stappenplan om het trillingsspectrum te kiezen dat het beste past bij een bepaalde situatie, is hieronder te vinden.

Stap 1 – Bodem

Kijk op welke bodem de woning staat. Gebruik hiervoor de kaart uit paragraaf 2.2.1.

Stap 2 – Trein

Bepaal van welke trein de meeste overlast wordt ervaren: goederen- of reizigerstreinen.

Stap 3 – Afstand tot het spoor

Kijk hoe ver de woning bij het spoor vandaan staat (zie paragraaf 2.2.3).

Stap 4 – Wissels, overwegen of ES-lassen in het spoor

Als er puntbronnen (overweg, ES-las, wissel) in het spoor zitten (zie paragraaf 2.1.2), kies dan het trillingsspectrum uit bijlage 2 dat hoort bij een situatie met puntbronnen.

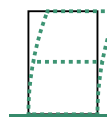
Stap 5 – Fundering van het gebouw

De fundering van het gebouw zorgt ervoor dat de trillingen vooral bij hogere trillingsfrequenties afnemen. Kies bij gewone woningen van maximaal 4 bouwlagen het trillingsspectrum van laagbouw, bij meer dan 15 bouwlagen het trillingsspectrum voor hoogbouw. Bij een bouwhoogte tussen de 5 en 14 bouwlagen kan het beste naar beide trillingsspectra worden gekeken bij het bepalen van de trillingen, de trillingen liggen er dan ongeveer tussenin.

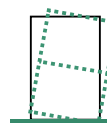
Na stap 5 is het trillingsspectrum op de fundering van het gebouw bekend. De fundering van het gebouw zorgt ervoor dat de trillingen afnemen. Bij een zwaardere fundering (zoals een fundering op palen, of bij een hoger gebouw) nemen de trillingen vaak meer af dan bij een lichtere fundering.

In het gebouw kunnen trillingen worden versterkt als bepaalde onderdelen van het gebouw gevoelig zijn voor bepaalde trillingsfrequenties. Andere trillingen worden

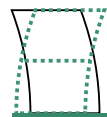
juist lager in het gebouw. In een gebouw zijn grofweg zes hoofdbewegingen of mechanismes aan te wijzen waardoor de trillingen kunnen toenemen:



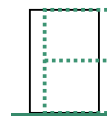
1. Buiging van een gebouw. Oude gebouwen zijn gevoeliger voor buiging dan nieuwe gebouwen omdat oude gebouwen vaak slapper zijn. Hoge gebouwen zijn gevoeliger voor buiging dan lage gebouwen.



2. Rotatie (draaiing) van een gebouw. Trillingen vormen golven in de bodem. Deze beweging kan worden vergeleken met een bootje dat meedeint op het water. Kleine gebouwen zijn lichter en bewegen makkelijker mee met de golven. Kleine gebouwen zijn daardoor gevoeliger voor rotatie dan grote gebouwen. Gebouwen met een paalfundering (lange fundering diep de bodem in) zijn minder gevoelig voor rotatie dan gebouwen met een fundering op staal (fundering zonder palen).

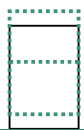


3. Torsie van een gebouw (draaien van (delen van) het gebouw om een verticale as). Deze beweging speelt vooral een rol in hogere gebouwen. Zware gebouwen van beton zijn hier minder gevoelig voor dan lichtere gebouwen van bijvoorbeeld staal of hout.

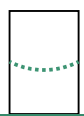


4. Verplaatsing van een gebouw. Hierbij beweegt het hele gebouw langzaam mee met de trillingen. Kleine gebouwen zijn lichter en daardoor gevoeliger voor verplaatsing dan grote gebouwen.





5. Invering van (delen van) een gebouw. Hierbij beweegt het gebouw op zichzelf, of trillen wanden waardoor de verdiepingen daarboven gaan meetrillen. Oude gebouwen zijn gevoeliger voor invering (door de slappere constructie), en ook hoge gebouwen zijn hier gevoeliger voor dan lage gebouwen. Betonnen gebouwen zijn minder gevoelig dan gebouwen van metselwerk, houten gebouwen zijn het meest gevoelig voor deze vorm van trillingen. Deze trillingen kom je ook vaak tegen als er een uitbouw is gemaakt aan een woning. Vaak is er dan een grote opening gemaakt waar de constructie slapper is. De verdiepingen daarboven trillen dan sterker.

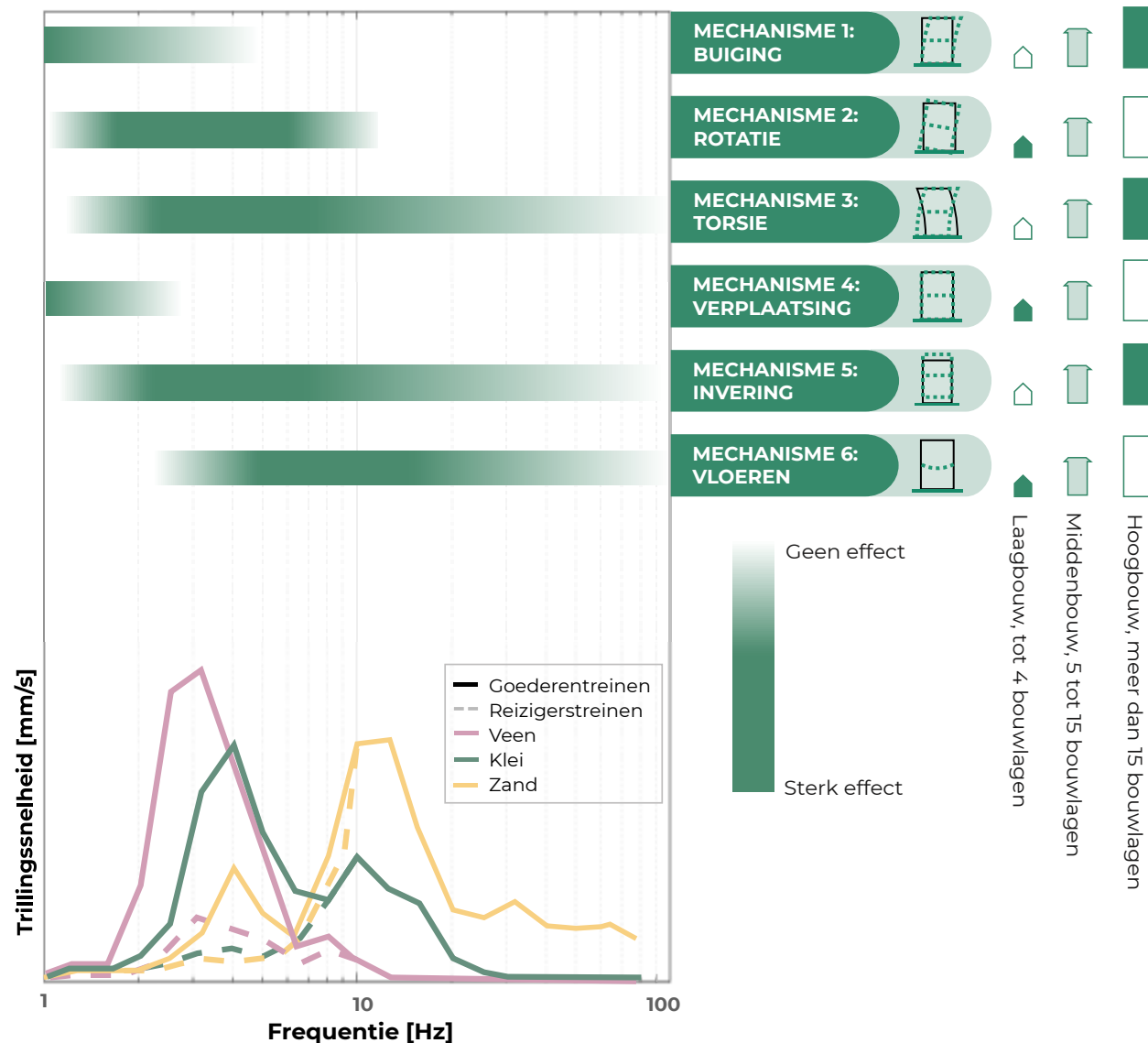


6. Trillen van de vloeren. Houten vloeren trillen sterker dan betonnen vloeren. Verder trillen houten vloeren makkelijker bij een lagere frequentie dan betonnen vloeren. Ook als de afstand tussen de wanden waar de vloer op ligt groter is, trillen de vloeren bij een lagere frequentie.

Deze zes mechanismes bepalen hoe het trillingsspectrum in een gebouw eruit ziet. Of zo'n mechanisme wel of niet van invloed is op de trillingen, is afhankelijk van hoe het gebouw is gemaakt. Zo zijn er bepaalde mechanismes die sterker voorkomen in hoge gebouwen dan in lage gebouwen, en mechanismes die sterker voorkomen bij bepaalde trillingsfrequenties.

Vaak is, op basis van de eigenschappen van het gebouw, een aantal mechanismes al weg te strepen. De mechanismes die overblijven, bepalen de aard van de trillingen. In de figuur hieronder is aangegeven welke mechanismes bij

welke gebouwen optreden (hoe donkerder het gebouw, hoe sterker het mechanisme optreedt), en bij welke frequenties het mechanisme vooral optreedt (hoe donkerder groen, hoe sterker het mechanisme optreedt).



Stap 6 – Het gebouw zelf

In de laatste stap wordt bepaald of een mechanisme verantwoordelijk kan zijn voor de hinder. Hiervoor kijken we zowel naar het trillingsspectrum (uit stap 5) als de donkergroene gebieden van de mechanismes: waar (dus bij welke frequenties) is de meeste trillingsenergie op de fundering van de woning, én tegelijkertijd een mechanisme actief dat ervoor zorgt dat die trillingsenergie van de fundering in de woning wordt versterkt?

Door het volgen van bovenstaande stappen is het in veel gevallen mogelijk om het maatgevende mechanisme te achterhalen. Als dat bekend is, is het meestal mogelijk om de juiste maatregelen te kiezen⁶. In het volgende hoofdstuk beschrijven we hoe, aan de hand van het gekozen trillingsspectrum, de juiste maatregelen kunnen worden bepaald.

2.6 WIE KAN HIERBIJ HELPEN?

Trillingen zijn en blijven een complex onderwerp. Ook met de informatie uit deze brochure kan het nodig en verstandig zijn om extern hulp te zoeken. In deze paragraaf geven we hiervoor een lijst met handige contactadressen.

2.6.1 Klachten over trillingen

Stel vragen of meld klachten over trillingen altijd via ProRail, afdeling Publieksvoorlichting, via <https://www.prorail.nl/contact>. Je kunt ProRail zowel telefonisch als via een contactformulier benaderen.

2.6.2 Meten van trillingen

Als je precies wilt weten hoe sterk de trillingen zijn, dan is een meting nodig. Hiervoor zijn diverse bureaus te vinden. Let bij de keuze van een bureau wel op dat de metingen op de juiste manier worden uitgevoerd: volgens de SBR

B-richtlijn voor trillingshinder. Sommige bureaus hebben namelijk apparatuur die niet aan de eisen voldoet, meten te kort of plaatsen trillingsmeters niet op de door de richtlijn voorgeschreven posities. Bureaus die trillingshinder (volgens de SBR B-richtlijn) kunnen meten, zijn via internet te vinden.

2.6.3 Onderzoek naar oorzaken en maatregelen

Als je echt wilt weten wat de oorzaak van de problemen is, of je oplossingen hiervoor wilt hebben, dan zijn er diverse ingenieursbureaus die hierbij kunnen helpen. Bureaus met ervaring op dit gebied zijn hieronder opgenomen (in alfabetische volgorde):

Naam	Contact
Arcadis	www.arcadis.nl
Cauberg Huygen	www.cauberghuygen.nl
Cohere Consultants	www.cohereconsult.com
DGMR	www.dgmr.nl
Movares	www.movares.nl
RHDHV	www.royalhaskoningdhv.com
We-Boost	www.we-boost.nl
Witteveen+Bos	www.witteveenbos.com

Kosten voor een onderzoek naar oorzaken en maatregelen zijn erg afhankelijk van hoe complex de situatie is, en wat er precies moet worden onderzocht. Indicatief lopen de kosten uiteen van ongeveer € 3.000 tot meer dan € 20.000.



HFST. 1

HFST. 2

HOOFDSTUK 3 – MAATREGELEN TEGEN TRILLINGSHINDER

BIJLAGE

3.1	WAT KUN JE DOEN TEGEN TRILLINGSHINDER?	22
3.2	MAATREGELEN AAN WONINGEN	23
3.3	MAATREGELEN IN DE BODEM	28
3.4	MAATREGELEN AAN DE TRILLINGSBRON	32



3.1 WAT KUN JE DOEN TEGEN TRILLINGSHINDER?

In het vorige hoofdstuk hebben we uitgelegd hoe het komt dat de trillingen op de ene plek veel sterker zijn dan op de andere plek, en hoe kan worden bepaald bij welke frequenties de trillingen sterk zijn in een bepaald gebouw. Met die informatie laten we in dit hoofdstuk zien welke maatregelen kunnen worden genomen om de trillingen te verminderen.

Maatregelen tegen trillingen zijn te nemen:

1. In of aan het gebouw, waarin de trillingen worden ervaren.
2. In de bodem, die de trillingen doorgeeft.
3. Bij de bron, die de trillingen veroorzaakt.

Om maatregelen tegen trillingen beter te begrijpen, is het belangrijk om te weten dat er verschillende manieren zijn om de trillingen te verminderen:

1 In het gebouw:

- Het verschuiven van de eigenfrequenties in het gebouw. Dit kan door het aanpassen van vloeren of het steviger maken van wanden, zodat de eigenfrequenties in het gebouw niet samenvallen met de maatgevende frequenties van de treintrillingen die het gebouw aanstoten.
- Het loskoppelen of isoleren van een gebouw van de omgeving, zodat de trillingen het gebouw niet meer inkomen. Dit kan door het plaatsen van een flexibele funderingsconstructie.

2 In de bodem:

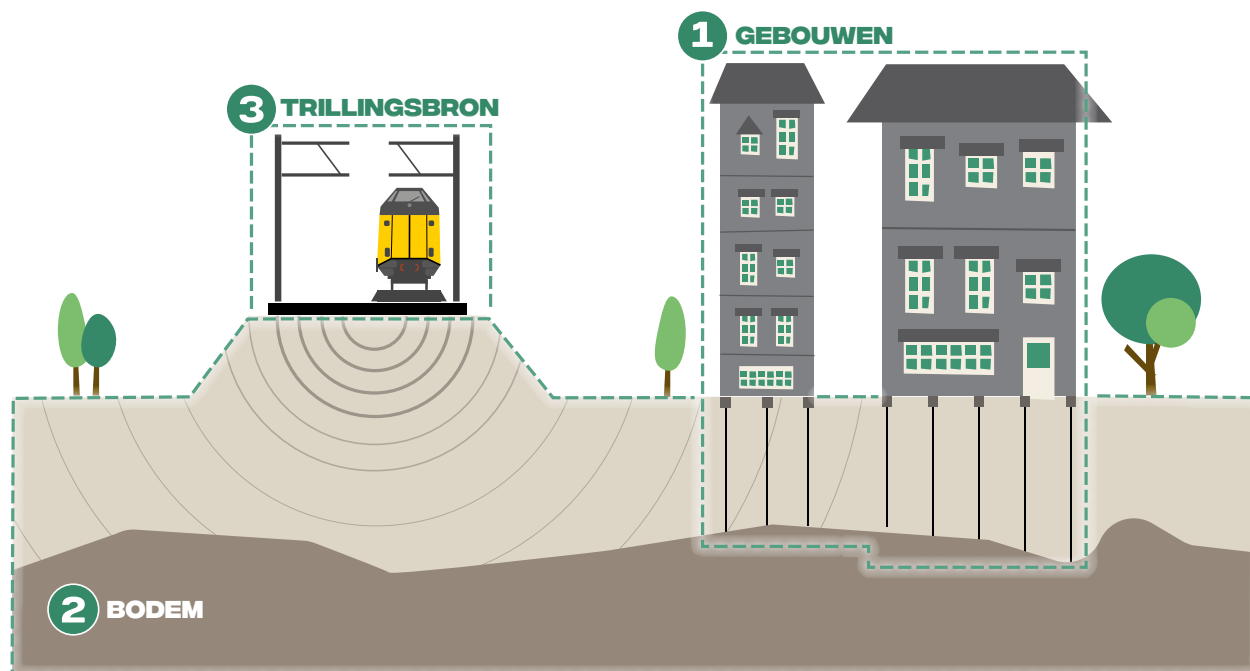
- Het tegenhouden van de trillingsgolven in de bodem. Dit kan door het plaatsen van een trillingsscherm in de bodem. De werking is vergelijkbaar met een geluidsscherm.

3 Bij de trillingsbron:

- Het verkleinen van de oneffenheden in het spoor, waardoor er minder trillingen ontstaan. Dit kan door onderhoudsmaatregelen of het vlakker leggen of verstevigen van de spoorbaan.
- Het verschuiven van de maatgevende frequenties in het trillingsspectrum. Dit kan door het aanpassen van de eigenschappen van treinen, het spoor of de rijnsnelheid van de treinen.

In het vorige hoofdstuk hebben we laten zien dat trillingen door verschillende oorzaken sterk kunnen zijn. Daardoor werkt een oplossing op de ene plek goed, maar op een andere plek juist niet. Er zijn daarom geen kant en klare maatregelen tegen trillingen die altijd en overal werken.

Er vindt allerlei onderzoek plaats naar maatregelen tegen treintrillingen, maar er is nog een lange weg te gaan. In de volgende paragrafen geven we, op basis van wat we al weten, per type maatregel (dus aan het gebouw, in de bodem of bij de bron) de mogelijkheden, het effect, de kosten en de neveneffecten van deze maatregelen. Een deel van de maatregelen is ook opgenomen in de Maatregelcatalogus van ProRail⁷, die via internet is te vinden.



⁷ Grontmij Nederland B.V., Maatregelcatalogus Spoortrillingen, 8 januari 2016

3.2 MAATREGELEN AAN WONINGEN

Als bewoner is het eigenlijk alleen mogelijk om maatregelen in of aan de woning te treffen bij hinder door trillingen. Denk bij dit soort maatregelen aan het isoleren (vrijhouden) van het gebouw van de bodem, of het aanpassen van vloeren of wanden. Ook bij dit type maatregelen geldt dat een maatregel die heel effectief is in de ene woning, in de andere woning helemaal geen vermindering van de trillingen geeft of de trillingen zelfs kan versterken.

3.2.1 Aandachtspunten

Aandachtspunten die we vooraf meegeven, en die eigenlijk voor alle maatregelen aan woningen gelden, zijn:

- **Effect:** het effect van een maatregel is vaak heel specifiek voor een bepaalde woning. Het is daarom belangrijk om eerst te weten waar de trillingen in de woning allemaal sterk zijn, bij welke trillingsfrequentie dat is en door welk mechanisme in de woning de trillingen vooral worden veroorzaakt, voordat een maatregel wordt genomen. Het is verstandig om hiervoor een deskundige in te schakelen.
- **Woongenot en ruimtebeslag:** sommige maatregelen nemen veel ruimte in. In de woning, zorgen ervoor dat het aanzicht van de woning radicaal verandert of dat kamers minder goed bruikbaar zijn. Voor monumentale panden gelden bovendien strenge beperkingen.

- **Vergunningen:** voor ingrijpende wijzigingen is vaak een vergunning nodig, aan te vragen bij de gemeente.
- **Constructie:** sommige maatregelen zorgen voor veel extra gewicht op de muren, vloeren of fundering. Zorg dat een constructeur de risico's vooraf in kaart brengt, en dat duidelijk is dat de constructie de aanpassingen aan kan.
- **Keuze aannemer:** sommige maatregelen zijn technisch complex of ingewikkeld. Het advies is daarom om met een gespecialiseerde aannemer in zee te gaan. Omdat maatregelen tegen trillingen weinig worden getroffen, is het verstandig om in samenspraak met een adviseur een goede aannemer te kiezen.
- **Bouw hinder:** veel maatregelen duren weken of maanden om te bouwen, en meestal kan in die periode niet in de woning worden gewoond. Ook voor de omgeving (buren) kan er sprake zijn van hinder door de inzet van (grote) machines of overlast van geluid of trillingen.



3.2.2 Mogelijke maatregelen

Hierna zijn informatiekaarten opgenomen van de verschillende maatregelen die bij een woning mogelijk zijn. Per type maatregel is een korte omschrijving gegeven, een plaatje, een indicatie van het effect van de maatregel op de trillingen, de kosten (prijspeil 2022, inclusief BTW), de doorlooptijd (hoe lang het duurt om de maatregel te maken) en zijn eventueel eerdere ervaringen beschreven.

MOGELIJKE MAATREGELEN GEBOUW

In de hierna volgende 'menukaarten' is een omschrijving van de maatregelen opgenomen.

We gaan in op:

 Effect op trillingen
  Kosten
  Doorlooptijd

Merkbaar effect, relatief beperkte kosten en doorlooptijd van weken

Nauwelijks merkbaar effect, relatief hoge kosten en doorlooptijd van maanden

Geen (merkbaar) effect, zeer hoge kosten en doorlooptijd van jaren.

! Raadpleeg altijd een deskundige voordat je een dergelijke maatregel treft)

HFST. 1

HFST. 2

HFST. 3

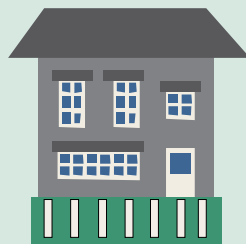
BIJLAGE

FUNDERING AFSCHERMEN OF INPAKKEN

 Tot 40%

€ 10.000 tot 60.000

 Weken



Door de fundering van een gebouw in te pakken met isolatiemateriaal wordt voorkomen dat de trillingen het gebouw ingaan. Isolatie kan bestaan uit dik rubber (minimaal 10 cm dik), piepschuim (minimaal 50 cm dik) of bijvoorbeeld een prefab L-wand die op enkele centimeters van de fundering wordt geplaatst, met een open ruimte tussen L-wand en fundering. Voor voldoende effect moet de woning eigenlijk ook aan de onderzijde worden ingepakt, maar dat is bij bestaande woningen een erg dure ingreep. Daarom wordt vaak gekozen voor een dik piepschuim scherm of een L-wand aan de spoorzijde van de woning, tot minimaal 1 meter dieper dan de onderkant van de fundering. Deze maatregel is vooral effectief tegen trillingen bij hogere trillingsfrequenties. De maatregel moet aan de bovenkant doorlopen tot maaiveld, en is daardoor lastig af te werken. Deze maatregel is minder effectief bij een fundering op palen. Dan komen de trillingen via de palen ook al op grotere diepte het gebouw in.

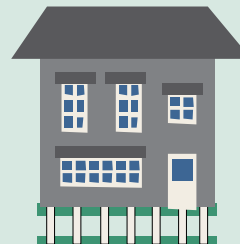
Eerder toegepast: tegen wegverkeer op diverse locaties (Rotterdam, Roermond), en in het buitenland ook tegen spoorverkeer (vooral nieuwbouw, in Duitsland).

FUNDERING VERZWAREN OF ONDERHEIEN

 Tot 15%

€ 30.000 tot 150.000

 Maanden



De fundering van een gebouw kan worden verzwakt door het aanbrengen van een dikke betonplaat onder het huis (uitgraven van de fundering en daarna beton storten), of door het aanbrengen van heipalen (begane grondvloer eruit, palen inheien, fundering aanpassen en betonvloer aanbrengen) of grout- of gelinjectie van buitenaf (wordt vaak als funderingsherstel uitgevoerd). Deze maatregel is ingrijpend (de hele bouwlaag op de begane grond moet hersteld worden) en het effect is beperkt. Gel- en groutinjectie heeft vrijwel geen effect. Onderheien is vanzelfsprekend niet toepasbaar als het gebouw al een paalfundering heeft, zoals op de slappere bodems (veen en slappe kleibodems) vaak het geval is.

Eerder toegepast: als funderingsherstel, niet om trillingen te verminderen.

FUNDERING AFVEREN

 Tot 90%

€ 80.000 tot 200.000

 Maanden



Bij deze maatregel wordt de bestaande fundering uitgegraven en ondersteund, vervolgens wordt een betonnen plaatfundering onder de bestaande fundering gestort en worden stalen veren of rubberen blokken aangebracht tussen de nieuwe en oude fundering. Bij een fundering op palen moeten de bestaande paalkoppen worden doorgesneden, waarna de stalen veer of het rubberen blok daarop wordt aangebracht. Deze maatregel is erg effectief, maar risicovol bij bestaande gebouwen: het gebouw is niet ontworpen op zo'n flexibele fundering, zodat er risico's zijn op schade (scheurvorming), of dat het gebouw instabiel wordt bij bijvoorbeeld wind.

Eerder toegepast: niet eerder toegepast bij bestaande woningen, wel bij nieuwbouw van woningen dichtbij het spoor zoals in Amsterdam, Amersfoort, Breda. Bij Tivoli (Utrecht) toegepast tegen laagfrequent muziekgeluid.



VLOEREN VERSTEVIGEN

✦ Tot 60%

€ 20.000 tot 70.000

🕒 Weken



Het verstevigen van de vloeren kan op twee manieren helpen om de trillingen te verminderen: door de versteviging wordt de vloer zwaarder en stijver en komt daardoor minder makkelijk in trilling. De versteviging kan er ook voor zorgen dat de eigenfrequentie van de vloer verandert en daardoor minder makkelijk door de treintrillingen wordt aangestoten.

Een houten begane grondvloer kan worden vervangen door een PS-combinatievloer (betonnen balken, piepschuim broodjes en een betonvloer), andere vloeren kunnen worden verstevigd door aan weerszijden van de houten vloerbalken nieuwe (liefst hogere) houten vloerbalken aan te brengen of stalen hoekprofielen (bijvoorbeeld een 100x100x5 mm profiel, met de hoek aan de onderzijde van de balk voor maximaal effect). Voor meer effect kan de onderkant van de vloer afgewerkt worden met multiplex platen. Deze maatregel is vooral effectief tegen trillingen bij lagere frequenties (slappe bodems, trillingen van goederentreinen) en bij slappe houten vloeren. Controleer goed of de wanden en eventueel lateien of balken het extra gewicht aankunnen. Risico bij deze maatregel is dat de hoogfrequente trillingen kunnen toenemen, dus vooral dichtbij het spoor op stijvere bodems (zandbodems) kan deze maatregel averechts werken.

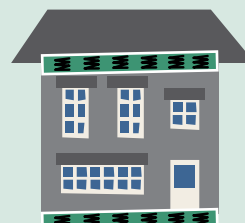
Eerder toegepast: diverse woningen langs de Betuweroute.

VLOEREN AFVEREN

✦ Tot 50%

€ 20.000 tot 80.000

🕒 Weken



Door een isolerende laag aan te brengen op de bestaande vloer, worden de trillingen verminderd. Deze maatregel wordt alleen bij betonnen vloeren toegepast omdat houten vloeren hier niet stijf genoeg voor zijn. De aanbrengmethode is dat de betonvloer wordt vrijgelegd, vervolgens worden de randen geïsoleerd, rubberen blokjes met daarop aluminium profielen en isolatie (vaak steenwol) ertussen op de vloer geplaatst, houten platen aangebracht en daarop komt dan de vloerafwerking (eventueel weer beton met vloerverwarming). De maatregel heeft vooral effect tegen trillingen bij hoge frequenties, en heeft als grootste nadeel dat de vloer zeker 7 centimeter hoger komt te liggen (waardoor deuren bijvoorbeeld moeten worden aangepast) en dat de bovenste vloer slapper is dan de oorspronkelijke betonvloer. De nieuwe vloer is daardoor makkelijker in trilling te brengen door springen en lopen.

Eerder toegepast: diverse woningen in Nijverdal, tegen zowel trillingen als laagfrequent geluid.

GEBOUW VERBREEDEN

✦ Tot 40%

€ 30.000 tot 100.000

🕒 Weken



Als de lengte of breedte van het gebouw samenvalt met de lengte van de trillingsgolven in de bodem, dan kan het gebouw gaan draaien of kantelen. Door een aanbouw te plaatsen of door stabiliteitswanden (uitstekende zijwanden) tegen de woning te plaatsen, neemt de lengte of breedte van de woning toe en valt de draai- of kantelfrequentie van de woning niet meer samen met de trillingsgolven in de bodem en nemen de trillingen af. Aandachtspunten bij deze maatregel zijn dat de nieuwe uitbouw of stabiliteitswand heel stijf moet zijn (beton of metselwerk), goed gefundeerd moet zijn en goed verankerd moet zijn aan het bestaande gebouw. Verder geldt dat een stabiliteitswand vooral zin heeft als deze in het verlengde ligt van de dwarswanden in de woning. Vaak zijn per zijde van de woning meer stabiliteitswanden nodig voor voldoende effect (indicatief elke 5 meter een wand). Risico is dat de welstandcommissie in de vergunningsprocedure deze maatregel niet goedkeurt.

Eerder toegepast: een woning langs de Betuweroute, verder niet bekend. Wel is uit meetonderzoeken bekend dat een aanbouw bij een woning invloed heeft op de trillingen: de trillingen kunnen er zowel door toe- als afnemen.



LOKAAL VERSTEVIGEN

✦ Tot 50%

€ 20.000
120.000

⌚ Maanden



In veel woningen zijn de trillingen op sommige punten van de woning sterker, doordat de constructie daar slap is. Dit komt vaak voor als er een uitbouw is gemaakt, met bijvoorbeeld relatief dunne stalen liggers in de constructie. Ook bij lichtere bouwsoorten (houtskeletbouw) of gebouwen waar dragende wanden zijn verwijderd, komt het vaak voor dat de trillingen sterker zijn geworden. Door de constructie stijver te maken (aanlassen van extra platen tegen stalen liggers, plaatsen van extra ondersteuningspunten onder een ligger of het toevoegen van dragende wanden van beton of metselwerk), nemen de trillingen af. Van belang is wel dat de ondersteuning voldoende gefundeerd is, en dat de constructie de extra belasting aankan. Risico bij deze maatregel is ook dat de hoogfrequente trillingen kunnen toenemen.

Eerder toegepast: diverse woningen langs de Betuweroute.

WANDEN VERSTEVIGEN

✦ Tot 20%

€ 30.000
70.000

⌚ Maanden



In woningen met houtskeletbouw, of oude woningen met dunne metselwerk wanden, is de constructie van de wanden vaak zo slap dat dit tot sterkere trillingen leidt op hogere verdiepingen. De wanden kunnen worden verstevigd door het aanbrengen van een extra gebouwschil die natuurlijk goed moet zijn gefundeerd en verbonden moet zijn met de rest van het gebouw. Deze maatregel is risicovol omdat er een grote kans is op verzakkingsschade aan de bestaande constructie.

Eerder toegepast: geen voorbeelden bekend tegen trillingen.

DEMPER AANBRENGEN

✦ Tot 10%

€ 30.000 tot
70.000

⌚ Weken



Bij deze maatregel wordt er een los, verend gewicht in het gebouw aangebracht, dat door een tegengestelde beweging de trillingen van het gebouw dempt. De maatregel wordt in landen waar veel aardbevingen voorkomen, vaak toegepast in hoge gebouwen, en is vooral effectief als de trillingen maar bij één specifieke trillingsfrequentie optreden. In de praktijk is de maatregel daarom niet effectief tegen treintrillingen omdat bij treintrillingen meerdere frequenties van belang zijn. Verder zullen de meeste constructies van woningen het gewicht van een demper niet aankunnen. Als vuistregel moet een gewicht van 10 procent van de woning worden aangehouden. Dit betekent 20.000 tot 40.000 kg extra gewicht dat moet worden aangebracht in een woning. Naast dat enorme gewicht neemt de maatregel ook veel ruimte in beslag.

Eerder toegepast: niet tegen trillingen van treinverkeer, in het buitenland wel tegen trillingen in hoge gebouwen als gevolg van aardbevingen.

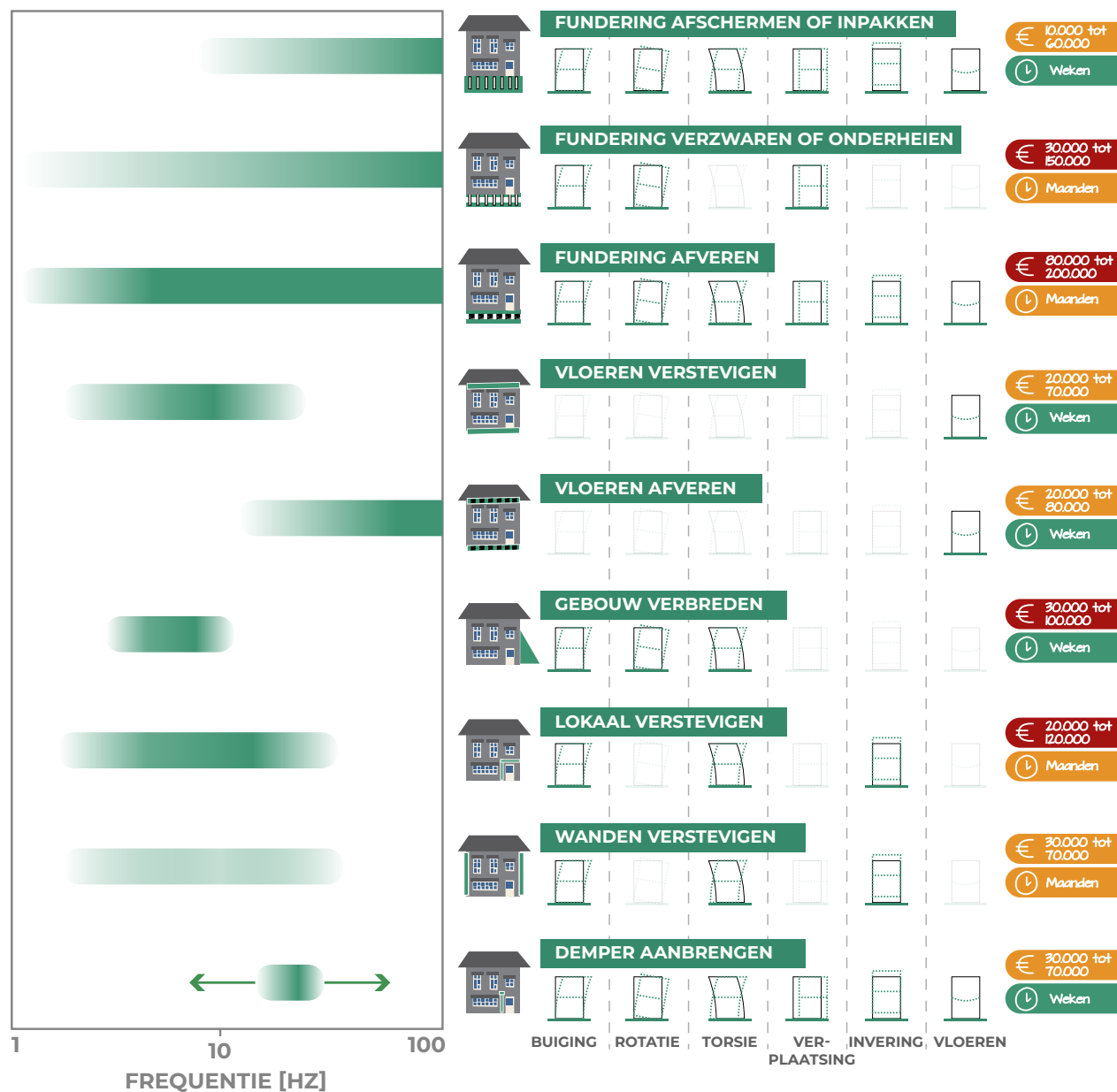


In de figuur hiernaast hebben we een samenvattend overzicht opgenomen. Hierin is te zien bij welke frequenties een maatregel vooral effect heeft en tegen welke trillingsmechanismes de maatregel vooral werkt. Met behulp van het in het vorige hoofdstuk bepaalde trillingsspectrum (waar zit de meeste trillingsenergie) en deze figuur (waar heeft een maatregel juist het meeste effect) kan worden bepaald welke maatregelen wel en niet effectief kunnen zijn om de hinder weg te nemen. In bijlage 5 is een voorbeeld gegeven over hoe je kunt bepalen welke maatregelen wel en niet effectief zijn.

GEEN EFFECT

STERK EFFECT

MAATREGELEN AAN HET GEBOUW



HFST. 1

HFST. 2

HFST. 3

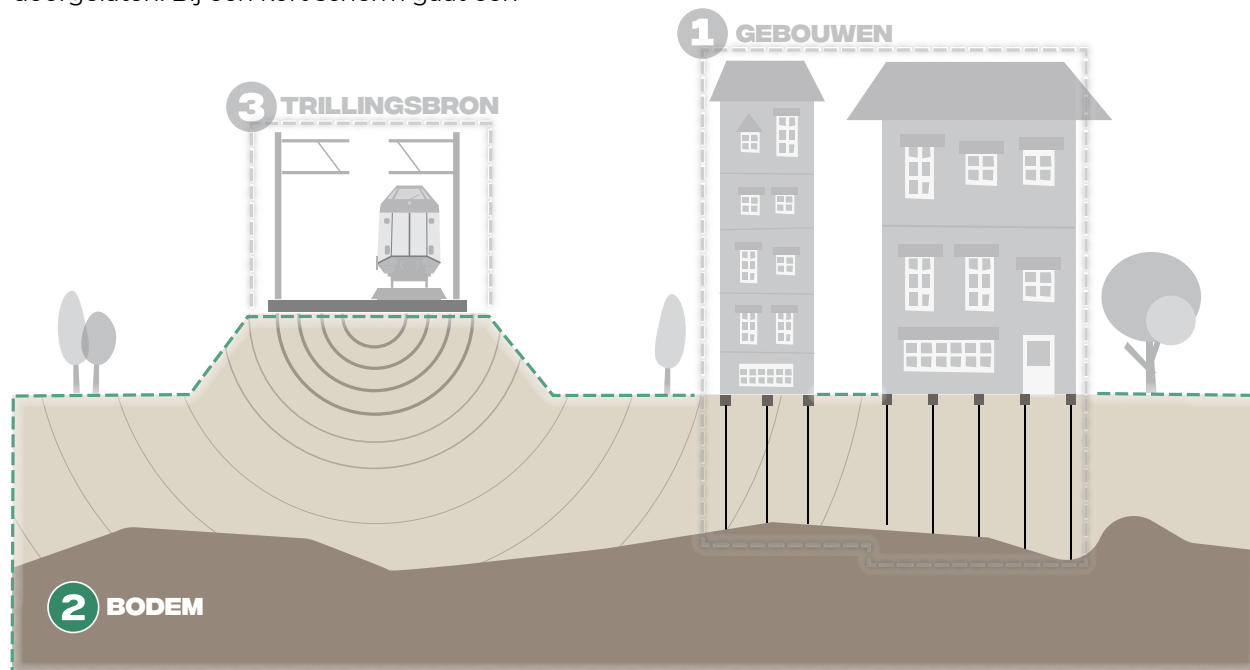
BIJLAGE

3.3 MAATREGELEN IN DE BODEM

Naast maatregelen aan het gebouw, kunnen de trillingen ook worden verminderd door een maatregel te nemen in de bodem tussen het spoor en de woningen waar overlast wordt ervaren. Dat kan bijvoorbeeld door een trillingsscherm in de bodem aan te brengen. De werking van zo'n trillingsscherm berust op het principe van een ondergronds geluidsscherm: de trillingen worden tegengehouden en dieper de bodem in weerkaatst, waar ze uitdoven. Het is daarbij wel belangrijk dat het trillingsscherm óf veel lichter is dan de grond, óf juist veel stijver. Anders heeft een scherm geen effect en gaan de trillingen er gewoon doorheen. Verder geldt dat de dikte en de lengte van het scherm veel invloed hebben op hoeveel trillingen worden doorgelaten. Bij een kort scherm gaat een

deel van de trillingen er onderdoor, bij een dun of slap scherm gaat een deel van de trillingen er doorheen. Zeker voor trillingen bij lage trillingsfrequenties is vaak een diep en dik scherm nodig. En ook dan nog wordt een deel van de trillingen doorgelaten. Een trillingsscherm houdt daarom nooit alle trillingen tegen.

Om te bepalen of een trillingsscherm in de bodem zinvol is, is een gedetailleerd onderzoek nodig waarbij ook wordt gekeken naar de opbouw van de bodem. Die opbouw verschilt namelijk van plek tot plek en heeft invloed op het effect van een scherm. Desondanks is wel ongeveer aan te geven bij welke trillingsfrequenties een scherm effect heeft, en bij welke trillingsfrequenties er geen effect is.



3.3.1 Aandachtspunten

Bij het maken van een trillingsscherm komt veel om de hoek kijken. Voorbeelden van zaken waar rekening mee moet worden gehouden zijn:

- **Effect:** het effect van een trillingsscherm is vaak heel specifiek voor een bepaald type bodem. Het is daarom belangrijk om eerst te weten bij welke frequenties de trillingen sterk zijn, maar ook hoe de bodem is opgebouwd. Dat bepaalt wat voor trillingsscherm werkt, en wat niet. Het is verstandig om hiervoor een deskundige in te schakelen.
- **Locatie:** een trillingsscherm heeft vooral veel effect dichtbij de trillingsbron (het spoor) of dichtbij de ontvanger van de trillingen (het gebouw). Een trillingsscherm midden tussen bron en ontvanger heeft vaak een grote diepte nodig, en is daardoor duurder.
- **Vergunningen:** meestal is een vergunningsprocedure nodig om een trillingsscherm te mogen plaatsen, ook als dat op eigen grond is. Dat komt vooral door de grote diepte van zo'n scherm (meerdere meters). Als binnen 11 meter van het spoor (gemeten vanaf het midden van het buitenste spoor) een trillingsscherm wordt gebouwd, is ook een vergunning van ProRail nodig.
- **Ruimtebeslag:** omdat het trillingsscherm tot aan het maaiveld moet doorlopen en vaak een grote dikte heeft (meer dan een halve meter), neemt het scherm ook ruimte in. De ruimte op maaiveld is niet zomaar voor andere doeleinden bruikbaar. Denk hierbij aan een dik betonnen scherm in een plantsoen, dat daardoor niet meer als groene ruimte kan fungeren. De bruikbaarheid van de openbare ruimte neemt daardoor af.

- **Kabels en leidingen:** in de bodem lopen veel buizen (riolering) en kabels en leidingen (water, elektriciteit, gas, telefonie, glasvezel). Omdat een scherm diep de bodem in gaat, moet vaak om kabels en leidingen heen worden gewerkt, of moeten die worden verlegd. In beide gevallen is afstemming nodig met de eigenaar van de kabels en leidingen (de nutsbedrijven). Die procedures kosten veel tijd.
- **Blokkeren van grondwaterstroming:** door de bodem stroomt grondwater. Een trillingsscherm kan de stroming van dat grondwater blokkeren. Dit kan ervoor zorgen dat verontreinigingen zich ophopen in de grond, of dat de grondwaterstand verandert. Dat leidt weer tot risico's voor funderingen van gebouwen in de buurt.
- **Archeologie en explosieven:** omdat een trillingsscherm in de bodem wordt gemaakt, kan archeologisch onderzoek nodig zijn, of kan de aanwezigheid van niet gesprongen explosieven zorgen voor hoge meerkosten en uitvoeringsrisico's. Soms kan het zijn dat een maatregel daardoor niet mogelijk is.
- **Beperkte aanpasbaarheid:** trillingsmaatregelen in de bodem zijn vaak niet toekomstbestendig. Een aanpassing van het spoor kan ervoor zorgen dat het scherm niet meer goed werkt. De meeste types trillingsschermen kunnen niet of nauwelijks worden aangepast.
- **Bouwschade:** omdat een trillingsscherm vaak erg diep is, is vaak zwaar materieel nodig om het aan te brengen. Daardoor wordt de omgeving rond het scherm door die zware machines kapot gemaakt en moet dat achteraf worden hersteld. Soms ontstaan tijdens het aanbrengen van het trillingsscherm ook trillingen die schade aan gebouwen in de omgeving kunnen veroorzaken.

- **Bouwhinder:** door de inzet van zwaar en groot materieel, de aanvoer van veel materiaal en doordat vaak veel ruimte nodig is voor alle materieel, zorgt de aanleg van een trillingsscherm vaak voor veel overlast (geluid, stof, trillingen) in de omgeving.

Raadpleeg altijd een deskundige voordat je een dergelijke maatregel treft

MOGELIJKE MAAT- REGELEN BODEM

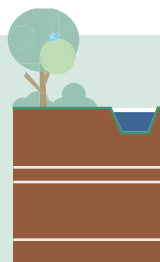
☼ Effect op trillingen € Kosten ⌚ Doorlooptijd

DIEPE SPOORSLOOT

☼ Tot 50%

€ 500 tot 1500 (per meter)

⌚ Maanden



Een spoorloot naast het spoor zorgt ervoor dat de trillingen worden afgeschermd, en dieper de bodem ingaan. Een spoorloot is effectiever bij een grotere diepte, en vaak ook bij een bodem die uit verschillende grondsoorten bestaat (gelaagde bodem, bijvoorbeeld zand en klei). Een spoorloot is relatief goedkoop, maar niet altijd makkelijk te realiseren omdat er veel ruimte nodig is (door de schuine kanten bij de oevers van de sloot. Bij een diepte van 2 meter is al meer dan 8 meter breedte nodig. Vaak kan het ruimtebeslag worden verminderd door gebruik te maken van een beschoeiing of betonnen L-wanden.

Eerder toegepast: spoorloten zijn in Nederland vooral te vinden bij klei- en veenbodems, maar niet tegen trillingen. In Nuenen is wel een spoorloot opnieuw aangebracht om de trillingen te verminderen.

3.3.2 Mogelijke maatregelen

Hierna zijn informatiekaarten opgenomen van de verschillende maatregelen die in de bodem mogelijk zijn. Per type maatregel is een korte omschrijving gegeven, een plaatje, een indicatie van het effect van de maatregel op de trillingen, de kosten (prijsspeil 2022, inclusief BTW), de doorlooptijd (hoe lang het duurt om de maatregel te maken) en zijn eventueel eerdere ervaringen beschreven. Een uitgebreider overzicht is opgenomen in de Maatregelcatalogus van ProRail.

TRILLINGSSCHERM BETON OF JET-GROUT

☼ Tot 40%

€ 7.000 tot 30.000 (per meter)

⌚ Jaren



Een trillingsscherm van beton wordt gemaakt door een sleuf te graven in de bodem, deze te vullen met bentoniet (soort vloeibare klei die voorkomt dat de sleuf instort) en daarna te vullen met beton. Hierdoor ontstaat een stijf trillingsscherm dat de trillingen tegenhoudt. Voor voldoende effect is vaak een dikte van minimaal 50 centimeter nodig. De diepte is afhankelijk van de bodem en de frequenties van de trillingen, maar varieert van minimaal 5 meter tot wel 20 meter. Zo'n scherm kan ook worden gemaakt via de techniek van jet-grouting. Hierbij wordt een lans in de bodem gebracht die de grond met grout (een soort betonmengsel) vermengt. Na uitharden ontstaat dan ook een trillingsscherm in de bodem.

Eerder toegepast: ProRail heeft betonnen trillingsschermen aangebracht in Utrecht en Arnhem, en trillingsschermen van jet-grout in Utrecht en Tricht. Ook door projectontwikkelaars bij nieuwe woningen langs het spoor toegepast (bijvoorbeeld in Utrecht).

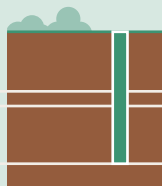


TRILLINGSSCHERM PIEPSCHUIM

✱ Tot 30%

€ 1500 tot 5000
(per meter)

⌚ Maanden



Piepschuim is een licht materiaal dat vaak als trillingsscherm is ingezet. Om effectief te zijn is een dik scherm nodig (minimaal 50 centimeter, soms zelfs 1 meter of nog dikker). Omdat piepschuim licht en relatief slap is, kan het niet onder de grondwaterstand worden aangebracht. Of er moet iets worden gedaan om opdrijven te voorkomen door het aan een gebouw vast te maken bijvoorbeeld. Piepschuim kan ook niet te diep worden aangebracht omdat het dan onder de gronddruk wordt samengeperst.

Het wordt daarom vooral ingezet tegen hogere trillingsfrequenties, waarvoor een minder diep scherm nodig is. Die hogere trillingsfrequenties komen vooral voor bij treinverkeer op stijvere bodems (zoals zandbodems).

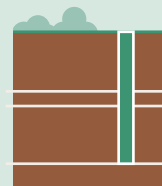
Eerder toegepast: vooral tegen trillingen van wegverkeer, onder meer in Rotterdam, Eindhoven en Oudewater. Uit een proef in Oisterwijk blijkt dat dunne platen geen effect hebben op de trillingen van treinen.

TRILLINGSSCHERM VAN 2 MATERIALEN

✱ Tot 80%

€ 12.000 tot 35.000
(per meter)

⌚ Jaren



Door een trillingsscherm uit meer materialen te maken, wordt het effect van het scherm op de trillingen groter. Dat komt doordat elke keer als een trilling een slapper of stijver materiaal tegenkomt, een deel van de trillingen wordt teruggekaatst. Trillingsschermen die uit 2 materialen bestaan, zijn daardoor vaak erg effectief. Voorbeelden van stijve materialen zijn beton en jet-grout, slappe materialen zijn piepschuim en rubber. Ook hier geldt dat beide materialen voldoende dik moeten zijn (voor piepschuim bijvoorbeeld minimaal 50 centimeter, voor rubber minimaal 10 centimeter). Anders heeft de maatregel weinig effect. Dit is een dure maatregel, omdat het slappe materiaal vaak pas kan worden aangebracht als het stijve materiaal al in de grond zit. Er is dan soms een bouwkuip nodig, waarin vaak met de hand het slappe materiaal tegen het stijve materiaal wordt bevestigd.

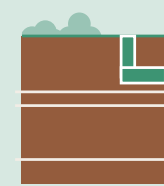
Eerder toegepast: in Arnhem (beton en rubber) en Utrecht (damwand en piepschuim) aangebracht door ProRail.

TRILLINGSSCHERM L-WAND

✱ Tot 30%

€ 1000 tot 3000
(per meter)

⌚ Maanden



Prefab L-wanden (keerwanden) van beton worden meestal ingezet als grondkering om hoogteverschillen te overwinnen. Maar ze kunnen ook als trillingsscherm fungeren, en zijn relatief eenvoudig aan te brengen omdat ze geprefabriceerd worden. Door het graven van een sleuf, het aanbrengen van een fundering van puin en het inhijzen van een L-wand is al snel een scherm gemaakt. De diepte van het scherm is vaak wel beperkt (de wanden zijn vaak maximaal 4 meter diep), waardoor de maatregel vooral effect heeft voor trillingen bij hoge frequenties. De maatregel wordt effectiever door aan één zijde geen grond aan te brengen, maar bijvoorbeeld daar een open ruimte (sloot of wadi) aan te brengen.

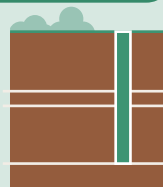
Eerder toegepast: tegen trillingen van wegverkeer (Roermond), maar ook tegen trillingen van reizigerstreinen bij nieuwe woningen langs het spoor, vaak in combinatie met een spoorloot.

TRILLINGSSCHERM DAMWAND

✱ Tot 20%

€ 3.000 tot 15.000
(per meter)

⌚ Maanden



Een damwand wordt vaak gebruikt om bouwkuipen (voor bijvoorbeeld parkeergarages) of beschoeiingen (langs grote vaarwegen) te maken. Maar ze zijn ook inzetbaar als trillingsscherm. Nadeel van een damwand is dat het om een dun scherm gaat, en daardoor relatief slap is. Hierdoor is het effect op de trillingen beperkt.

Eerder toegepast: in het buitenland (bijvoorbeeld Zweden) wel tegen trillingen, in Nederland nog niet.

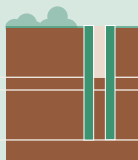


TRILLINGSSCHERM OPEN SLEUF

Tot 40%

€ 2.000 tot 20.000

Jaren



Bij deze maatregel wordt de bodem onderbroken door een sleuf, met aan beide kanten materiaal dat instorten van de sleuf voorkomt. Dat kunnen prefab L-wanden zijn, damwanden of betonnen trillingsschermen. Nadeel van deze maatregel is het risico op invallen (kinderen, dieren) en vuilophoping. Afdekken van de opening is dus nodig, maar kan het effect van de maatregel verminderen.

Eerder toegepast: geen voorbeelden bekend tegen trillingen

In het figuur hiernaast hebben we een samenvattend overzicht opgenomen. Hierin is te zien bij welke frequenties een maatregel vooral effect heeft. Met behulp van het in het vorige hoofdstuk bepaalde trillingsspectrum (waar zit de meeste trillingsenergie) en deze figuur (waar heeft een maatregel juist het meeste effect) kan worden bepaald welke maatregelen wel en niet effectief kunnen zijn om de hinder weg te nemen.

Door de hoge kosten en de ingewikkelde (vergunnings)procedures zien we dat trillingsschermen maar weinig worden toegepast. Voor bewoners langs het spoor zijn het daarom vaak geen zinvolle maatregelen, al zijn de wat meer laagdrempelige maatregelen (zoals een sloot, een prefab L-wand of een

trillingsscherm van piepschuim) soms wel mogelijk, mits er ruimte is om die maatregelen in te passen. Het gaat dan voornamelijk om situaties waar veel last is van trillingen bij hoge frequenties. Het is verstandig om een expert te raadplegen voordat een maatregel in de bodem wordt getroffen.

GEEN EFFECT STERK EFFECT



MAATREGELEN IN DE BODEM

DIEPE SPOORSLOOT		€ 500 tot 1500 Maanden
TRILLINGSSCHERM BETON OF JET-GROUT		€ 7.000 tot 30.000 Jaren
TRILLINGSSCHERM PIEPSCHUIM (EPS)		€ 1500 tot 5.000 Maanden
TRILLINGSSCHERM DAMWAND		€ 3.000 tot 15.000 Maanden
TRILLINGSSCHERM VAN 2 MATERIALEN		€ 12.000 tot 35.000 Jaren
TRILLINGSSCHERM L-WAND		€ 1.000 tot 3.000 Maanden
TRILLINGSSCHERM OPEN SLEUF		€ 2.000 tot 20.000 Jaren

3.4 MAATREGELEN AAN DE TRILLINGSBRON

Bronmaatregelen kunnen alleen door ProRail, of in ieder geval alleen in overleg met ProRail worden getroffen, omdat die maatregelen altijd op het terrein van ProRail plaatsvinden. Als bewoner langs het spoor is er weinig invloed uit te oefenen op het daadwerkelijk treffen van zo'n maatregel. In paragraaf 1.2 is uitgelegd dat er voor hinder van passerende treinen geen wet- en regelgeving bestaat. ProRail kan daarom ook niet zomaar maatregelen treffen, en krijgt daar ook geen geld voor.

De kans op een effectieve maatregel aan de trillingsbron is daarom klein. Wel is het altijd mogelijk om een vraag of klacht in te dienen over

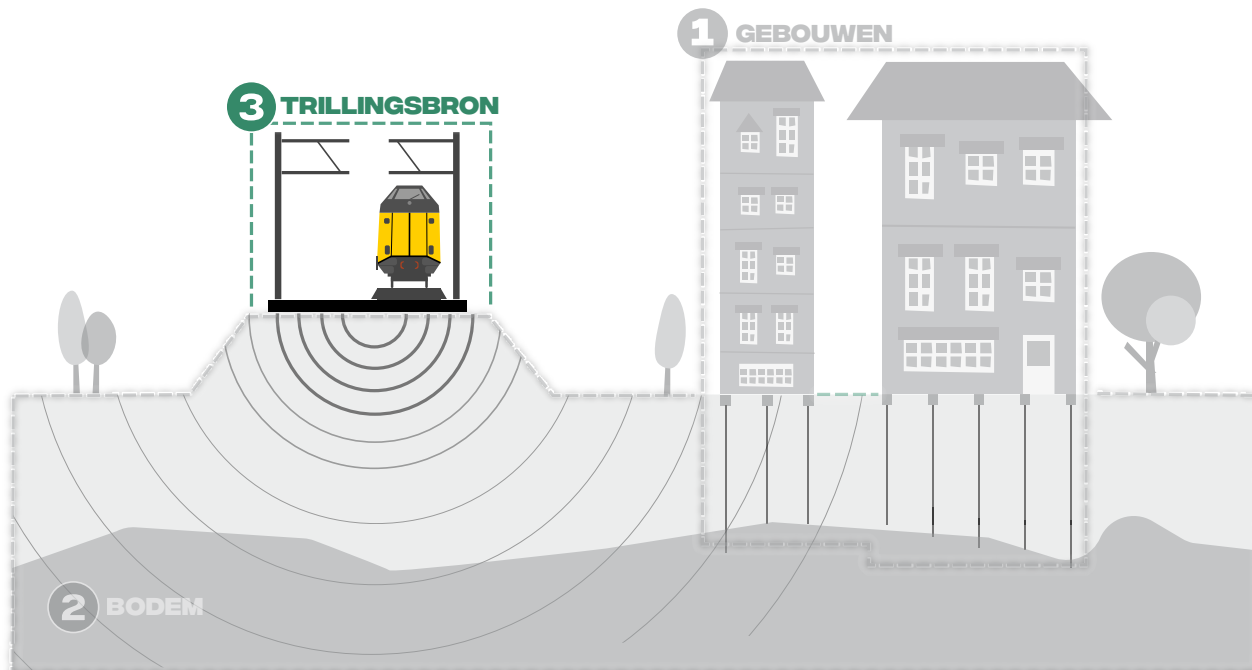
trillingshinder bij de afdeling Publiekscontacten van ProRail. In sommige situaties kan ProRail de hinder wél verminderen. Bijvoorbeeld als er extra onderhoud aan het spoor nodig is. In dat geval kan ProRail samen met de onderhoudsaannemer ter plekke onderzoek doen naar de oorzaak van de klacht. Als er iets mis is met de spoorligging, een wissel of ES-las in het spoor, dan kan de aannemer dit soms oplossen. Meestal neemt de hinder dan af. Tegen hinder door specifieke treinen kan ProRail veel minder doen zolang vervoerders zich houden aan de wettelijke gebruiksregels van het spoor. Wel is ProRail met vervoerders in gesprek om hen te stimuleren om rekening te houden met eventuele trillingshinder door de treinen die zij gebruiken.

Om toch een compleet beeld te geven van wat er allemaal zou kunnen, zijn bronmaatregelen, vooral ter informatie, wel opgenomen in deze brochure.

3.4.1 Aandachtspunten

Bij het treffen van een maatregel aan de trillingsbron komt veel kijken. Punten om rekening mee te houden zijn:

- **Lange aanlooptijd:** maatregelen aan de trillingsbron vragen om een lange adem, omdat er allerlei afstemmings-, vergunnings- en wetgevingstrajecten (soms op Europees niveau) voor nodig zijn om dingen te veranderen.
- **Weinig ervaring:** er zijn relatief weinig ervaringen in Nederland met maatregelen aan de trillingsbron. Er zijn wel proeven gedaan, maar vaak was het effect van de maatregelen beperkt.
- **Risico's aan het spoor:** bij sommige maatregelen aan het spoor wordt het spoor zwaarder of slapper, en is er een kans dat het spoor verzakt of minder stabiel wordt. Dat levert veiligheidsrisico's op voor reizigers, en kan een reden zijn voor ProRail om maatregelen niet te treffen.
- **Niet-beschikbaar zijn van het spoor:** voor veel maatregelen aan het spoor geldt een lange bouwperiode, soms zelfs van maanden. Al die tijd is het spoor niet of beperkt beschikbaar. Zeker op drukke trajecten kan een maatregel daarom niet of lastig zijn uit te voeren.
- **Juridische beperkingen:** veel zaken rond treinmaterieel worden op Europees niveau geregeld (omdat treinen internationaal rijden), of vallen buiten de invloed van ProRail. Het is dan lastig om aanpassingen voor elkaar te krijgen.



! Raadpleeg altijd een deskundige voordat je een dergelijke maatregel treft)



Effect
op trillingen



Kosten
(per meter)



Doorlooptijd

3.4.2 Mogelijke maatregelen

Hierna zijn informatiekaarten opgenomen van de verschillende maatregelen die aan de bron mogelijk zijn. Per type maatregel is een korte omschrijving gegeven, een plaatje, een indicatie van het effect van de maatregel op de trillingen, de kosten (prijspeil 2022, inclusief BTW), de doorlooptijd (hoe lang het duurt om de maatregel te maken) en zijn eventuele eerdere ervaringen beschreven. Een uitgebreider overzicht is opgenomen in de Maatregelcatalogus van ProRail.

MOGELIJKE MAATREGELEN TRILLINGSBRON

MEER ONDERHOUD AAN TREINEN



✦ tot 20%

⌚ Jaren

€ Onbekend

Door het verminderen van bijvoorbeeld vlakke plaatsen aan de wielen nemen de trillingen af. Reizigerstreinen worden al op die manier onderhouden om te zorgen voor voldoende comfort voor de reiziger, maar bij goederentreinen wordt onderhoud soms minder vaak gepleegd. ProRail heeft ook geen bevoegdheid om eisen te stellen aan de onderhoudscyclus, anders dan de wettelijke minimumeisen.

Eerder toegepast: nog niet eerder toegepast, ProRail onderzoekt het effect van onderhoud aan wielen op de trillingen.

AANPASSINGEN AAN TREINEN



✦ tot 80%

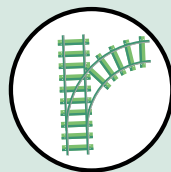
⌚ Jaren

€ Onbekend

De eigenschappen van treinen hebben veel invloed op de trillingen. De ene trein veroorzaakt meer trillingen dan de andere trein. Dit komt door verschillen in het ontwerp van de treinen, zoals het gewicht of hoe de wielen zijn afgeveerd. Er zijn wettelijke eigenschappen waar treinen aan moeten voldoen, waardoor het lastig is om strengere eisen op te leggen ten aanzien van trillingen. Zeker voor goederentreinen, die in heel Europa worden ingezet, is dat lastig. Bij de aankoop van nieuwe reizigerstreinen houdt de Nederlandse Spoorwegen wel rekening met omgevingshinder, zoals trillingen. Ook zijn aanpassingen aan bestaande treinen in sommige gevallen mogelijk, waarmee de trillingen kunnen afnemen.

Eerder toegepast: nog niet eerder toegepast, wel houdt NS bij de aanschaf van nieuwe treinen rekening met de trillingen die een trein veroorzaakt in de omgeving.

AANPASSEN VAN HET SPOOR



✦ tot 70%

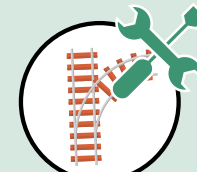
⌚ Maanden

€ 10.000 tot 500.000
(Per locatie)

Soms is een wissel, ES-las of overweg de bron van de trillingen. Als blijkt dat bij een wissel of ES-las inderdaad sprake is van achterstallig onderhoud, dan kan het wissel, de ES-las of de overweg worden vernieuwd. Soms is een wissel niet langer functioneel en kan deze worden verwijderd. Bij overwegen kunnen betonnen overwegen soms worden vervangen door zogenaamde Strail-overwegen (rubberen platen tussen het spoor, zodat het spoor doorloopt).

Eerder toegepast: in Dorst is een betonnen overweg vervangen door een rubberen Strail-overweg. Wissels en ES-lassen zijn niet eerder verwijderd of vervangen vanwege trillingen.

VAKER SPOORONDERHOUD



✦ tot 30%

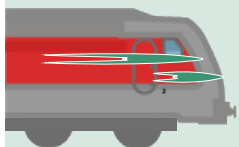
⌚ Weken

€ Onbekend

Als de spoorligging minder goed is, veroorzaakt dit meestal meer trillingen. Twee keer per jaar meet ProRail de spoorligging van het hele Nederlandse spoor. Op basis van die meting wordt onderhoud gepleegd. Daarnaast hebben aannemers die het spoor beheren in opdracht van ProRail, de verplichting om het spoor te laten voldoen aan de onderhoudseisen. Op locaties waar de bodem slap is, of de ondergrond van het spoor wisselt (denk aan overwegen, bruggen, viaducten en duikers onder het spoor) kan de spoorligging echter snel veranderen. Door hier vaker onderhoud te plegen of maatregelen te treffen zodat het spoor minder snel verzakt, blijft het spoor vlakker liggen en kunnen de klachten afnemen.

Eerder toegepast: wordt vaker gedaan naar aanleiding van klachten.

WIIJZIGEN VAN DE RIJSNELHEID



✦ tot 60%

⌚ Maanden

€ Onbekend

Als treinen met een lagere snelheid rijden, treden de trillingen bij andere frequenties op (het trillingspectrum verschuift), en neemt de trillingsenergie af. In de meeste gevallen zorgt dit ervoor dat de trillingen afnemen, maar door de verschuiving van het trillingspectrum kan het ook gebeuren dat in een woning waar eerst geen overlast van trillingen was, met een snelheidsverlaging ineens wel overlast optreedt. Dat komt dan doordat de trillingsfrequenties van de treinen samenvallen met de frequenties waar een woning gevoelig voor is, waardoor de trillingen versterkt worden. Ook geldt dat het verlagen van de rijnsnelheid vaak niet mogelijk is op het drukke Nederlandse spoor. Gedifferentieerd rijden, dus dat alleen voor goederentreinen een snelheidsbeperking geldt, of langzamer rijden in de nacht, wordt door de Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat op basis van onderzoek niet als haalbare maatregel gezien (zie kamerbrief van 17 november 2020 en de bijbehorende onderzoeken, via internet te vinden).

Eerder toegepast: bij wijze van proef op enkele locaties getest.

VERSTEVIGEN VAN HET SPOOR



✦ tot 70%

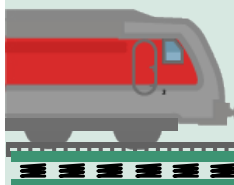
⌚ Jaren

€ 6.000 tot 8.000 (per meter)

Door een betonplaat onder het spoor aan te brengen, wordt het spoor minder ingedrukt en ontstaan er minder trillingen.

Eerder toegepast: tegen trillingen bij Driebergen-Zeist, op meer locaties in Nederland voor een stabilere ondergrond.

ISOLATIE VAN HET SPOOR



✦ tot 60%

⌚ Maanden

€ 200 tot 5.000 (per meter)

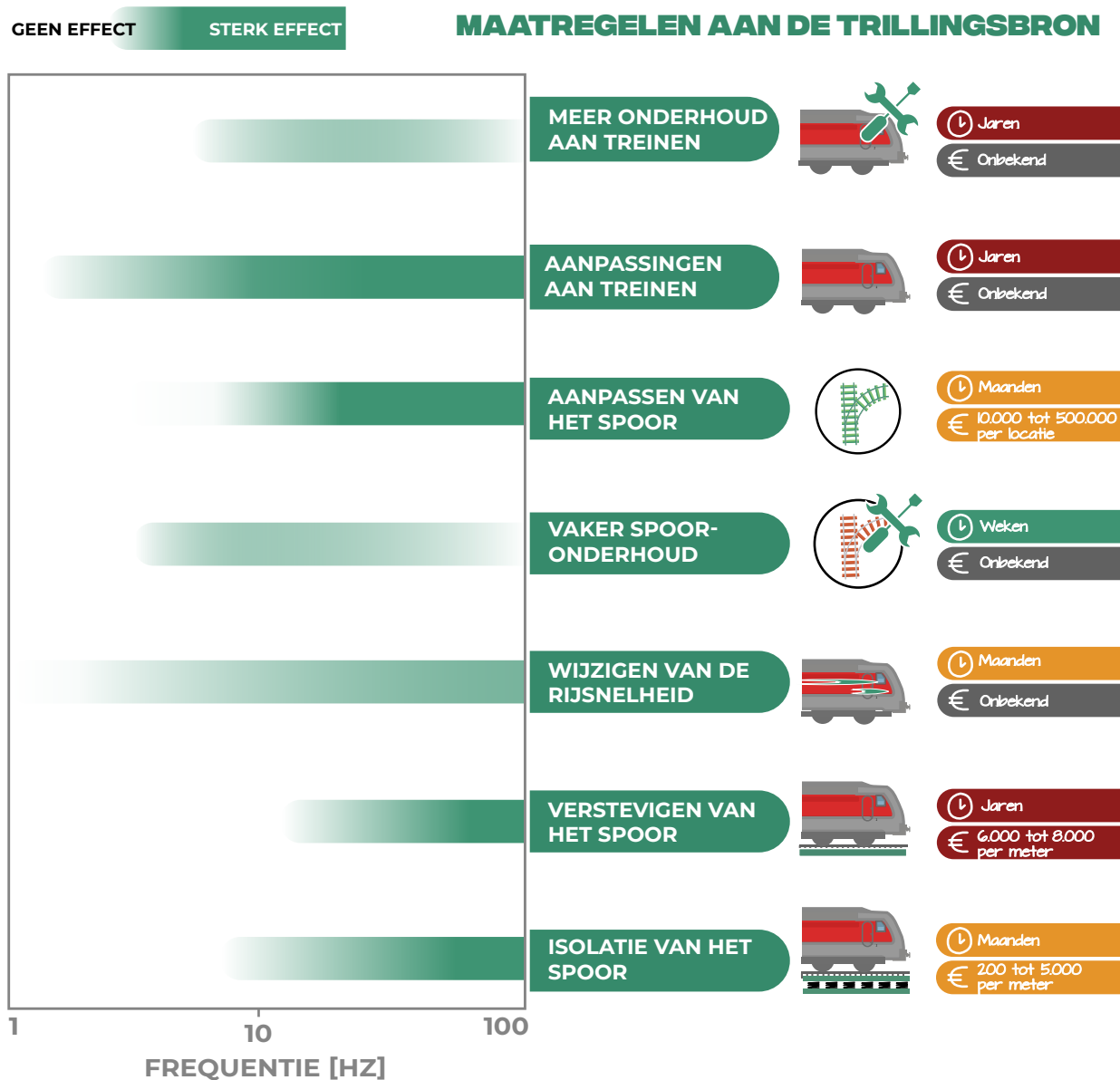
Door het spoor te isoleren van de omgeving, worden de trillingen van de treinen minder goed doorgegeven naar de omgeving. Dat kan door het aanbrengen van zachte rubberen isolatiematerialen onder de spoorstaaf (railpads), onder de dwarsliggers (under sleeper pads) of onder het ballast (ballastmat). Nog effectiever is het afveren van het spoor, door het aanbrengen van twee betonplaten onder het spoor met daartussen isolatiemateriaal.

Eerder toegepast: onder sleeper pads tegen trillingen zijn in Nederland in Zevenaar en Oisterwijk toegepast, ballastmatten tegen trillingen worden in het buitenland toegepast, in Nederland nog niet. Afgeveerd spoor komt in Nederland niet voor.



In de figuur hieronder hebben we een samenvattend overzicht opgenomen. Hierin is te zien bij welke frequenties een maatregel vooral effect heeft. Hierboven hebben we laten

zien dat maatregelen aan de trillingsbron vaak een lange doorlooptijd en hoge kosten hebben. Deze maatregelen zijn daarom weinig kansrijk als oplossing voor de overlast.



HFST. 1

HFST. 2

HFST. 3

BIJLAGE

BIJLAGE 1: BEGRIPPENLIJST	37
BIJLAGE 2: TRILLINGSSPECTRA	41
BIJLAGE 3: ZELF METEN VAN TRILLINGEN	42
BIJLAGE 4: TREINTYPES	43
BIJLAGE 5: VOORBEELDUITWERKING VAN HET STAPPENPLAN	44

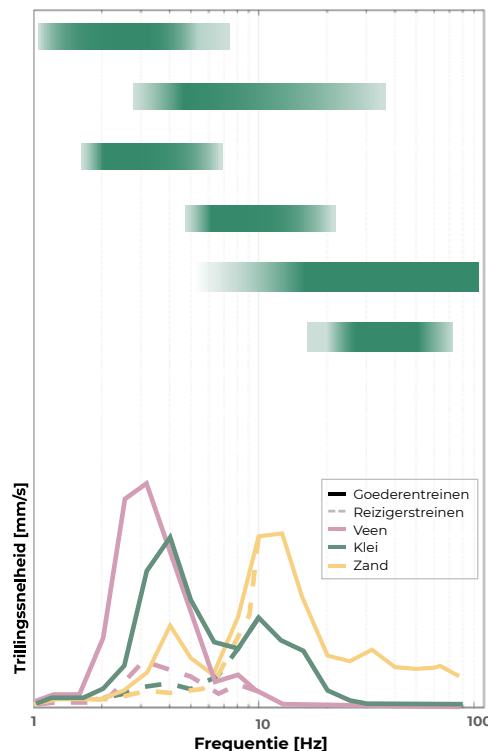


BIJLAGE 1: BEGRIPPENLIJST

Bronmechanismes

Trillingen van treinen zijn terug te leiden tot 6 verschillende bronmechanismes. Afhankelijk van de eigenschappen en rijsnelheid van de trein zorgen die bronmechanismes ervoor dat bij een bepaalde trillingsfrequentie trillingsenergie wordt uitgezonden naar de omgeving, zie ook de figuur hiernaast:

- 1 De primair afgeveerde massa van de trein zorgt vooral voor sterke trillingen bij lage frequenties. De meeste treinen hebben schokdempers op twee niveaus: tussen de wielen en de draaistellen, en tussen de draaistellen en de bak. De primair afgeveerde massa is het gewicht van de trein boven de eerste laag schokdempers, en onder de tweede laag. Bij goederentreinen ontbreekt soms de tweede laag schokdempers (tussen draaistel en bak) en is de primair afgeveerde massa dus groot. Hoe groter dit gewicht, hoe hoger de trillingen.
- 2 De onafgeveerde massa zorgt voor trillingen bij iets hogere frequenties. De onafgeveerde massa bestaat uit alle delen van de trein die zonder enige vorm van vering meetrillen met de ondergrond, en dus eigenlijk elke oneffenheid in het spoor of de ondergrond ondergaan. Dit zijn de wielen, de assen en remschijven van de trein, en bij sommige locomotieven ook de aandrijving (motor). Hoe hoger deze onafgeveerde massa, hoe sterker de trillingen.
- 3 De aslast, of het gewicht van de trein per as. Deze zorgt voor de indrukking van de bodem,



MECHANISME 1: PRIMAIR AFGEVEERDE MASSA

MECHANISME 2: ONAFGEVEERDE MASSA

MECHANISME 3: ASLAST

MECHANISME 4: WIELDEFECTEN

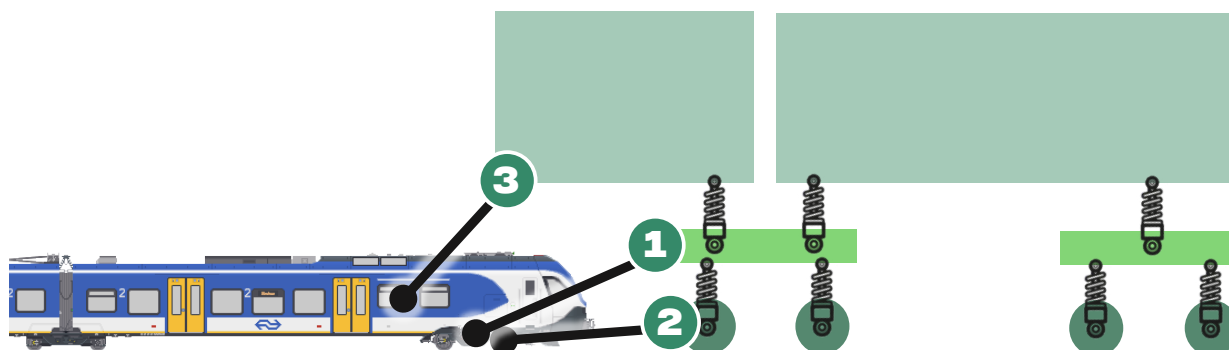
MECHANISME 5: VARIATIES IN SPOOR EN ONDERGROND

MECHANISME 6: WIEL SLIJTAGE

Sterk effect

Beperkt effect

Geen effect



en zorgt daardoor vooral dichtbij het spoor voor hoge trillingen, en vooral bij slappe bodems (waar de bodem beter kan worden ingedrukt dan op een stijve bodem).

De mechanismes 1, 2 en 3 zorgen vooral voor trillingen bij lage frequenties. Deze drie bronmechanismes spelen vooral een rol op slappe bodems (veen en slappe kleibodems) en bij zwaardere treinen zoals goederentreinen.

4. Wieldefecten, zoals onronde wielen of vlakke plaatsen. Hoe 'vierkanter' de wielen, hoe sterker de trillingen. Wieldefecten hebben vooral veel invloed op de trillingen op klei- en zandbodems.
5. Variaties in spoor en ondergrond, zoals wisselingen in de bodem, overwegen, ES-lassen en wissels, maar ook een slechte spoorligging, zorgen vooral bij hogere frequenties voor meer trillingen. Vooral op stijvere zandbodems spelen deze variaties vaak een belangrijke rol in het ontstaan van de trillingen.
6. Wielslijtage is het laatste mechanisme. Dit speelt bij nog hogere trillingsfrequenties een rol, maar dempt snel uit op grotere afstand van het spoor. Dit mechanisme speelt vooral op zandbodems een rol.

Samen bepalen deze zes bronmechanismen hoe het trillingsspectrum van een trein eruit ziet.

Trillingshinder

Trillingshinder is de beleving van de trillingen. We maken bewust onderscheid tussen trillingen en trillingshinder, omdat de ene persoon veel gevoeliger is voor trillingen dan de ander. Trillingshinder kan op verschillende manieren

worden ervaren:

- Als voelbare trillingen: mensen voelen dat de vloer beweegt als er een trein passeert, of worden wakker van de trillingen doordat hun bed heen en weer gaat.
- Door geluid van rammelende voorwerpen: de trillingen kunnen ervoor zorgen dat kopjes in kasten gaan rammelen of dat deuren of ramen gaan klapperen. Soms beweegt iets zonder dat het geluid maakt, denk aan bijvoorbeeld een TV-scherm dat trilt als er een trein passeert.
- Door een bromtoon, afkomstig van trillende wanden of vloeren: dit noemen we laagfrequent geluid. Paragraaf 1.2.3 gaat daar dieper op in.

Of een trilling of geluid als hinderlijk wordt ervaren, hangt niet alleen af van de sterkte van de trilling of het geluid, maar ook van persoonlijke factoren. Zo worden trillingen als hinderlijker ervaren als iemand in rust is (tijdens slapen of TV-kijken) dan wanneer iemand actief is (tijdens werken, koken of sporten), maar ook speelt het verwachtingspatroon een rol: iemand die denkt dat trillingen zijn woning kunnen beschadigen, vindt trillingen eerder hinderlijk dan iemand die daar niet bang voor is. Uit diverse onderzoeken blijkt ook dat andere factoren (zoals leeftijd, mentale toestand en woonomgeving) een rol spelen in hoe hinderlijk de trillingen worden ervaren.

Mechanisme

Oorzaak of manier waarop iets beweegt. In deze brochure gebruiken we deze term zowel voor de verschillende resonantiemogelijkheden in een gebouw, als voor de verschillende onderdelen van een trein (trillingsbron) die de trillingen opwekken.

Dwarsligger

Houten, stalen, kunststof of betonnen balk onder de spoorstaven. Dwarsliggers (in de volksmond ook wel spoorbielzen genoemd) zorgen ervoor dat de afstand tussen de twee sporen overal exact hetzelfde is.



Ballast

Onderdeel van een traditionele of gewone spoorbaan. De rails ligt op dwarsliggers in het ballast, een vorm van steenslag waaruit de spoorbaan is opgebouwd. Ballast heeft als belangrijke functie dat de kracht die de trein op de rails uitoefent, gespreid in de bodem wordt ingebracht.



Wissel

Installatie in het spoor om te zorgen dat een trein van het ene naar het andere spoor kan rijden. Een wissel bevat een bewegend deel dat van plek kan verspringen, waarmee de trein van het ene naar het andere spoor wordt geleid.



ES-las

Verbinding tussen twee spoorstaven die er voor zorgt dat er geen stroom tussen de spoorstaven kan lopen. De ES-las (Elektrische Scheidingslas) zorgt er dus voor dat de ene spoorstaaf geïsoleerd is van de andere spoorstaaf. Het systeem wordt gebruikt om te detecteren of er een trein op een bepaald deel van het spoor rijdt. Het spoor is hiervoor opgebouwd uit secties (delen), die gescheiden zijn door ES-lassen. Op de ene spoorstaaf staat stroom, en als er een trein in een sectie rijdt, loopt er een stroom via de as van de trein naar de andere spoorstaaf. Zo kan worden gedetecteerd of er een trein in die sectie rijdt. Hiermee worden de seinen aangestuurd.



Overweg

Gelijkvloerse kruising van een spoorlijn met een weg. Er zijn verschillende types overwegen. Een veel gebruikt overwegtype in Nederland is de betonnen plaat.



Strail-overweg

Type overweg waarbij het spoor gewoon doorloopt, en er tussen de spoorstaven kunststof platen zijn aangebracht, waar het wegverkeer overheen rijdt. Anders dan bij een betonnen overwegvloer, loopt het spoor in ballast gewoon door.



Sein

Soort verkeerslicht voor treinen, die machinisten instructies geeft over de te nemen acties: doorrijden, stoppen of met een bepaalde snelheid rijden. Onderdeel van het spoorbeveiligingssysteem, dat ervoor zorgt dat treinen op veilige afstand van elkaar blijven rijden. Bij seinen liggen ES-lassen, die gebruikt worden om te detecteren of ergens een trein rijdt.



Damwand

Geprofileerde metalen plaat, vaak gebruikt als grondkering of oeverbeschoeiing.

Wadi

Groene greppel, meestal aangelegd in stedelijk gebied, voor de infiltratie van voornamelijk regenwater in de bodem.

Zand

Bodemtype dat vooral in het oosten en zuiden van Nederland voorkomt. Zand is een hard, korrelig materiaal bestaand uit kleine stukjes steen. Relatief stijf type bodem.



Tracéwetplichtige projecten

De Tracéwet is een wet voor de aanleg en uitbreiding van infrastructuur (zoals rijkswegen, spoorwegen of kanalen) van nationaal belang. Op grond van deze wet wordt een Tracébesluit genomen door de minister of staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat. Zo'n Tracébesluit maakt het mogelijk dat de infrastructuur wordt aangelegd, net zoals een bestemmingsplan dat op lokaal niveau mogelijk maakt. Een project dat Tracéwetplichtig is, is dus een infrastructuurproject (vaak over gemeentegrenzen heen) waarbij een wijziging van het grondgebruik nodig is (bijvoorbeeld van agrarisch (landbouw of veeteelt) naar spoorwegen).

Klei

Bodemtype dat vooral in het westen en noorden van Nederland en de riviergebieden voorkomt. Een kleibodem bestaat uit een combinatie van hele fijne stukjes steen en mineralen, en is veel beter in staat om vocht vast te houden dan een zandbodem. Door het hogere vochtgehalte en de fijnere opbouw is een kleibodem vaak iets slapper dan een zandbodem.

Veen

Bodemtype dat vooral in het westen van Nederland voorkomt. Veen bestaat uit plantaardig materiaal, en is een natte, sponsachtige grondsoort. Slap bodemtype.

Leem

Bodemtype dat vooral in het oosten van Nederland voorkomt. Leem is een combinatie van zand en klei, en daardoor fijner en vaak vochtiger dan zandgrond. Relatief slap bodemtype.

Löss

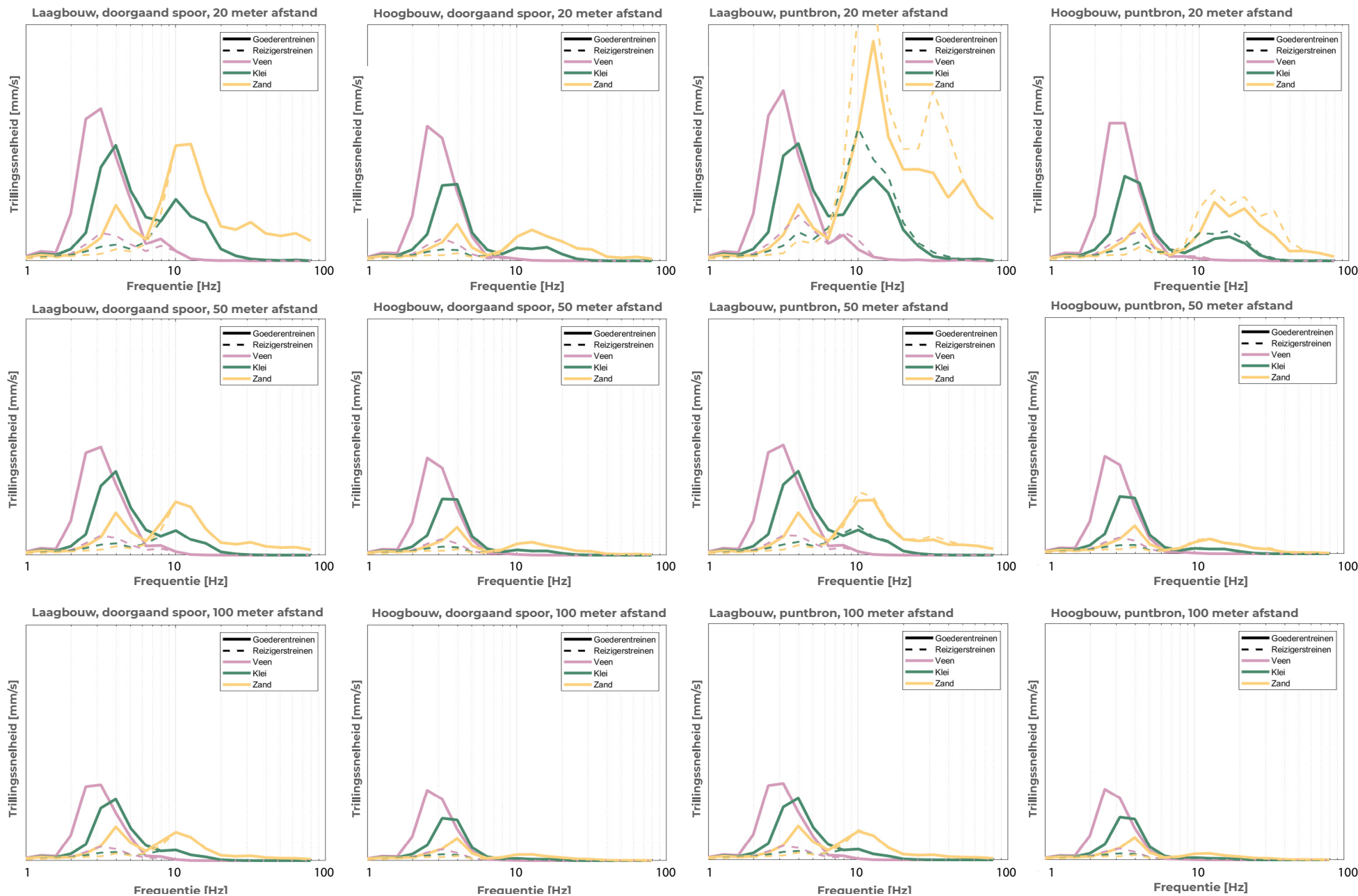
Bodemtype dat vooral in het zuiden van Nederland (Limburg) voorkomt, en vergelijkbaar is met leem.

Bouwlaag

Laag van een gebouw, meestal tussen de 2,40 en 3,00 meter hoog.



BIJLAGE 2: TRILLINGSSPECTRA



BIJLAGE 3: ZELF METEN VAN TRILLINGEN

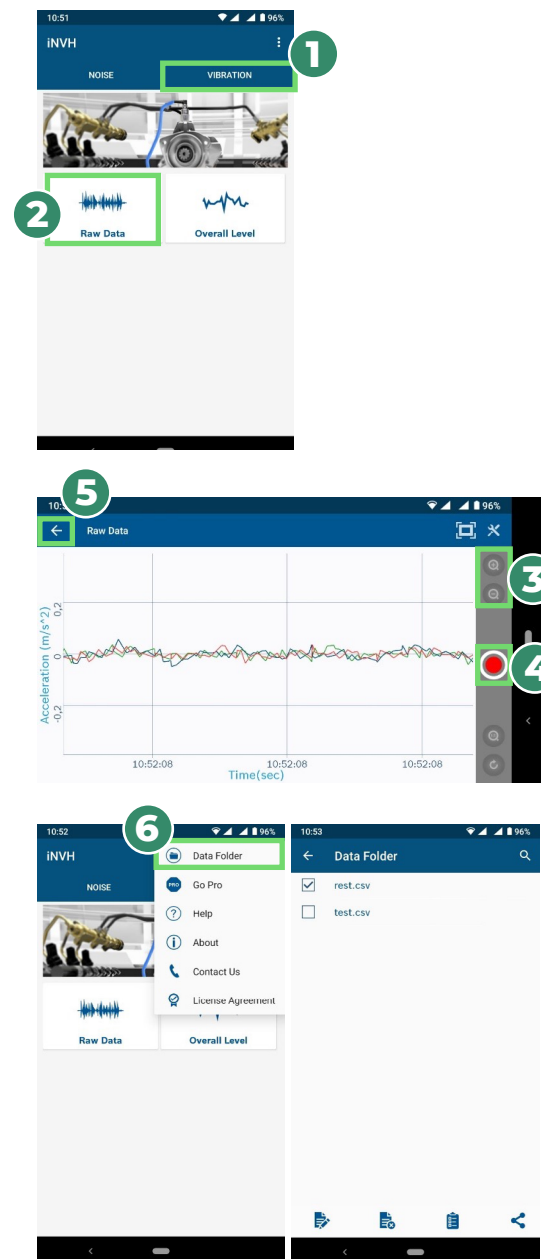
Er zijn allerlei (gratis) apps op de markt om trillingen te meten. Een goede app voor Android telefoons waarmee je ook signalen kunt opslaan, is de INVH-app van Bosch Global Software. Stappen hiervoor staan hieronder:

1. Op de app, en kies het tabblad 'Vibration'
2. Selecteer 'Raw data', je krijgt dan een grafiek van de gemeten trillingen
3. Met de inzoomknop rechts kun je inzoomen, zodat de trillingen beter zichtbaar zijn.
4. Met de 'opneemknop' (rode knop rechts) kun je een signaal opslaan. Als je hierop klikt, krijg je de vraag om een bestandsnaam op te geven, en daarna wordt de meting opgeslagen
5. Vervolgens kun je, na het stoppen van de meting (zwarte vierkantje rechts) naar de datamap gaan: ga eerst via het pijltje linksboven terug naar het hoofdmenu, klik dan op de drie stipjes om naar de Data Folder te gaan
6. Selecteer hier de bestanden die je wilt hebben, en deel die via de knop rechtsonder bijv. via Whatsapp of e-mail.
7. Vervolgens kun je in bijv. Excel een grafiek ervan maken:
 - a. Open het .csv-bestand in Excel
 - b. De resultaten zijn versnellingen, in m/s². Je kunt dit omzetten naar mm/s (trillingssnelheid), door de volgende formule in cel E3 in te vullen: E2+
 $=1000*(\$A3-\$A2)*(B2+B3)/2$
 - c. Kopieer deze formule ook naar de cellen F3 en G3, en vervolgens naar beneden

- d. Maak een grafiek van de kolommen A (x-as, tijd in seconden) en E, F en G (trillingssnelheid in respectievelijk X-richting (horizontaal), Y-richting (horizontaal) en Z-richting (verticaal)).
- e. Lees de hoogste trillingssnelheid af. Je hebt nu de hoogst gemeten trillingssnelheid in mm/s

Let op:

- Meting is alleen bruikbaar als je de telefoon niet vast hebt, maar ergens hebt neergelegd.
- Meting is alleen bruikbaar als je zelf niet beweegt tijdens de meting, trillingen van voetstappen of bewegingen zijn, zeker op houten vloeren, anders vaak hoger dan de trillingen van treinen.
- De meting is indicatief, en geeft een waarde in mm/s. De waarden in de richtlijn voor hinder zijn gewogen voor hoe goed een mens trillingen voelt. Indicatief zijn die waarden ongeveer een factor 2 lager.
- Ter indicatie, de streefwaarden voor hinder voor een woning zijn een Vmax van 0.8 voor de dag, en 0.4 voor de nacht. Dat zijn dus de waarden die uit bovengenoemd punt 3 komen (dus de meetwaarden gedeeld door 2).



BIJLAGE 4: TREINTYPES

SNG



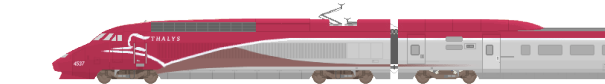
SLT



DDZ



THALYS



VIRM



ICM



ICE



FLIRT



ICNG



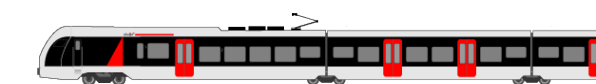
GTW



GTW



FLIRT



WINK



FLIRT



GTW



IC DIRECT



= REIZIGERSTREIN

= GOEDERENTREIN

EUROSTAR



VIRM



IC BERLIJN



KETELWAGEN



ERTS- OF KOLENWAGON



AUTOTREIN



CONTAINERWAGON



OVERIG



HFST. 1

HFST. 2

HFST. 3

BIJLAGE



BIJLAGE 5: VOORBEELDUITWERKING VAN HET STAPPENPLAN

In deze bijlage wordt voor een specifiek voorbeeld uitgewerkt hoe je aan de hand van deze brochure komt tot inzicht in kansrijke maatregelen tegen trillingshinder. We nemen hier een fictief voorbeeld van een woning in Tilburg, Noord-Brabant, langs de spoorlijn Breda - Tilburg - Eindhoven.

Eerst dien je te bepalen welke onderdelen van de woning vooral gevoelig zijn voor de trillingen. Hiervoor moet je eerst het trillingsspectrum op de fundering van de woning bepalen. Omdat er geen meting is uitgevoerd, moet dat aan de hand van de stappen uit paragraaf 2.5 van de brochure.

Stap 1 – Bodem: de woning staat op een zandbodem volgens de kaart in paragraaf 2.2.

Stap 2 – Trein: de meeste overlast wordt ervaren door goederentreinen.

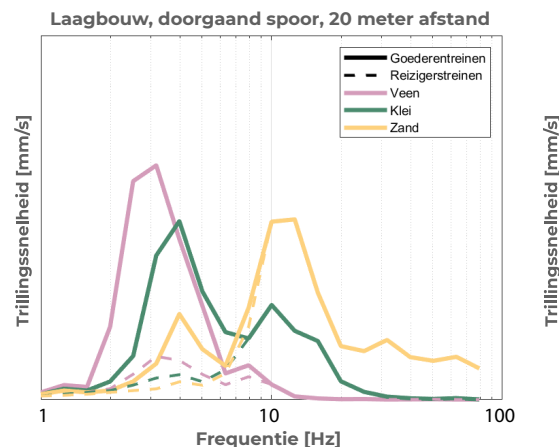
Stap 3 – Afstand tot het spoor: de afstand tot het spoor bedraagt 20 meter.

Stap 4 – Wissels, overwegen of ES-lassen in het spoor: er zitten geen wissels, overwegen of ES-lassen in de buurt van de woning.

Stap 5 – Fundering van het gebouw: hiervoor is vooral de bouwhoogte van belang, die is ongeveer 8 meter, met 3 bouwlagen.

Op basis van stap 1 tot en met 5 kiezen we uit bijlage 2 het trillingsspectrum voor laagbouw, doorgaand spoor en 20 meter afstand.

In de gekozen figuur kiezen we het lijntje voor goederentreinen (doorgetrokken lijn) op een zandbodem.



Stap 6 – Het gebouw zelf: we gaan nu bepalen welk mechanisme in een gebouw verantwoordelijk is voor de hoge trillingen.

In het voorbeeld is de woning een lage woning. Bij lage woningen spelen, buiging, torsie en inverting meestal niet zo'n belangrijke rol in het ontstaan van de hinder. In de figuur op de volgende pagina hebben we het gebied met de meeste trillingsenergie op de fundering aangegeven. In dat gebied is vooral het effect van vloeren groot (donkergroen). Waarschijnlijk zijn de vloeren de oorzaak van de hoge trillingen. Om de trillingen te verminderen, moet er dus iets gedaan worden aan de vloeren. In dit specifieke voorbeeld gaat het om een oudere woning met houten vloeren. In dit specifieke voorbeeld gaat het om een oudere woning met houten vloeren.

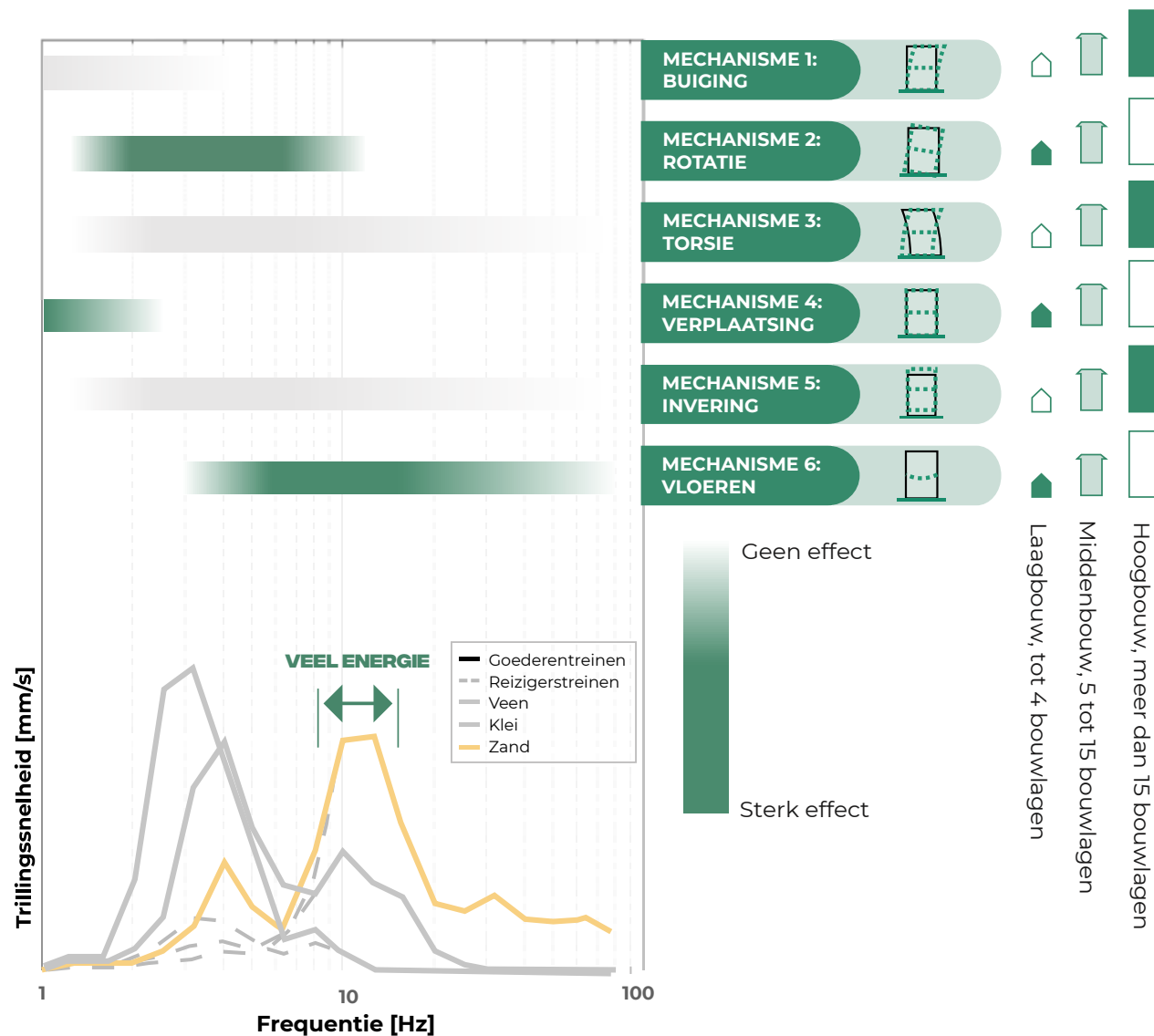
Verplaatsing van het gebouw is niet de oorzaak van de hoge trillingen, de donkergroene zone van verplaatsing komt niet overeen met een frequentiegebied waar veel trillingsenergie zit.





Rotatie van het gebouw is waarschijnlijk niet de belangrijkste oorzaak, omdat dit vooral optreedt bij wat lagere frequenties, waar de trillingsenergie op de fundering laag is.

Omdat het om houten vloeren gaat, is het waarschijnlijk dat de vloeren moeten worden verstevigd, zodat de doorbuiging lager wordt en de eigenfrequentie van de vloer hoger. Daarvoor zijn verschillende oplossingen beschreven in paragraaf 3.2. Een voorbeeld van een oplossing hier is om de bestaande vloerbalken aan één of beide zijden te voorzien van een (liefst hogere) extra vloerbalk (verlijmd en geschroefd er tegenaan), en eventueel een extra laag underlayment aan de bovenzijde (en eventueel de onderzijde) aan te brengen. Daarmee wordt de eigenfrequentie van de vloer verhoogd, en de doorbuiging verminderd. Om de exacte maatregel te bepalen, is het verstandig om deskundig advies in te winnen, zie paragraaf 2.6.



COLOFON

Opsteller	We-Boost
Versienr	1.0
Datum	15 maart 2023
Status	Definitief



Bijdrage van en controle door:

CAUBERG
HUYGEN

Met medewerking en input van:



en diverse bewonersgroepen

© We-Boost 2023

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 We-Boost.





Met medewerking van
CAUBERG HUYGEN