

Maatregelcatalogus spoortrillingen

Samenvattend overzicht

Definitief

Opdrachtgever:
ProRail
Postbus 2038
3500 GA UTRECHT

Grontmij Nederland B.V.
De Bilt, 8 januari 2016

Verantwoording

Titel : Maatregelcatalogus spoortrillingen

Subtitel : Samenvattend overzicht

Projectnummer : 327725

Referentienummer : GM-0175097

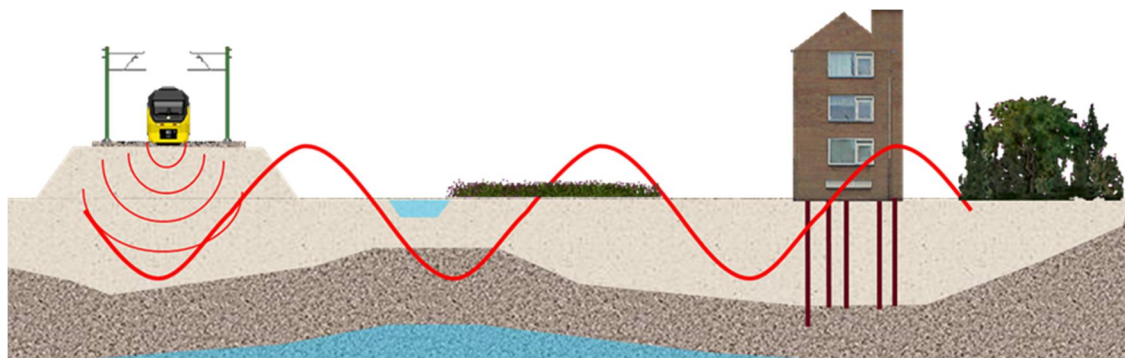
Revisie : D2

Datum : 08-01-2016

Samenvatting

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft aan ProRail verzocht mogelijke maatregelen ter beperking van trillinghinder vanwege het spoorgebruik en de mogelijkheden voor toepassing daarvan in de praktijk in beeld te brengen. In dat verband is door ProRail een maatregelencatalogus opgesteld. Onderzocht is welke mogelijkheden er zijn om maatregelen tegen het ontstaan en de transmissie van trillingen vanwege het spoorgebruik te treffen. Het onderzoek bestaat uit een (inter)nationale inventarisatie van bestaande technieken. De maatregelencatalogus is een database die op een gestructureerde wijze inzicht in de beschikbare technieken, de producteigenschappen, de effectiviteit van de maatregelen en de toepassingsmogelijkheden van de trillingsreducerende maatregelen biedt.

Hoewel de werkingsprincipes van trillingsreducerende maatregelen bekend zijn blijkt uit de inventarisatie van de bestaande technieken dat het toepassen ervan een complexe zaak is.



Trillingen worden veroorzaakt door de interactie van de rijdende trein met de ondergrond. Daarbij is het dynamische gedrag van de trein op de spoorconstructie alsmede van de spoorconstructie op de bodem bepalend. De vering, het gewicht van het rijtuig en de belading (aslast) zijn hierbij belangrijke parameters.

De fysische eigenschappen van de bodem zijn sterk afhankelijk van de structuur en opbouw van de bodem. De bodem gedraagt zich niet als een eenduidig medium. Variatie ontstaat door de gelaagdheid, samenstelling (klei, zand en veen) en ook blijkt de vochtigheid soms van belang te zijn voor de wijze van voortplanting van de trillingen door de bodem.

De trillingen die, via de fundering en de constructie van de woning, de vloeren in beweging brengen worden in sterke mate bepaald door de wijze van de constructie van de woning. De soort van de fundering en de toegepaste bouwwijze bepalen het gedrag van de woning op de trillingen.

Binnen ProRail (en de andere Europese infrabeheerders) is er nog relatief weinig ervaring met het treffen van maatregelen die specifiek gericht zijn op het reduceren van trillingen. Het blijkt dat slechts een beperkt aantal maatregelen die in de maatregelcatalogus zijn opgenomen, op dit moment technisch uitvoerbaar zijn.

De catalogus bevat technische maatregelen ter beperking van trillinghinder. Op grond van de huidige wet- en regelgeving kunnen door ProRail immers alleen maatregelen getroffen worden die betrekking hebben op de infrastructuur en de bodem in de nabijheid van het spoor. Procesmaatregelen die betrekking hebben op het materieel of het spoorgebruik (bijvoorbeeld aanpassen

van routing, snelheidsreductie) alsmede technische maatregelen aan het rijdend materieel (bijvoorbeeld aanpassen van vering van wagons en rytuigen) kan ProRail niet afdwingen bij vervoerders op het spoor. Deze vallen derhalve buiten deze samenvatting.

Er is derhalve dus nauwelijks een “gevulde gereedschapskist” met maatregelen om trillingen te reduceren. De mogelijkheden voor toepassing van technische maatregelen zijn in reeds bestaande situaties veelal zeer beperkt, mede vanwege de hoge kosten die hiermee gepaard gaan. Daarnaast heeft het toepassen van trillingsreducerende maatregelen in voorkomende gevallen nadelige gevolgen voor onder meer reizigerscomfort, geluidsuitstraling naar de omgeving of geotechnische aspecten (bijvoorbeeld voor de (grond)waterhuishouding).

Bij woningbouw langs het spoor zijn er mogelijkheden om de woningen trillingsarm te bouwen, bijvoorbeeld door de fundering van trillingsdempers te voorzien.

Uit de inventarisatie van trillingsreducerende maatregelen blijkt dat er een aantal kansrijke mogelijkheden is die een nader onderzoek rechtvaardigen. Het gaat dan vooral om de doorontwikkeling van de techniek in relatie tot de toepassing in het Nederlandse spoorstelsel, zodat implementatie van deze technieken in de toekomst mogelijk is.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Inleiding en leeswijzer	6
Maatregelen aan het materieel	9
In profiel houden van de wielen	10
Maatregelen aan de baan	11
Ballastmatten	12
Afveren rails met railklemmen op beton plaat.....	13
Slab track.....	14
Floating slab track	15
Beton plaat onder ballastbed met ballastmat.....	16
Beton plaat onder ballastbed met isolatiemateriaal onder dwarsliggers	17
Zettingsvrije plaat	18
Ladder Track.....	19
Under Sleeper Pads	20
Wide Sleeper Track.....	21
Geogrid.....	22
Wissel verplaatsen	23
Verbetering aansluiting kunstwerk in het kader van vermindering trillingshinder	24
Onderhoud rails.....	25
Spoor voegloos maken.....	26
Aanvullend onderhoud ballastbed (tamping)	27
Maatregelen in de overdracht.....	28
OTC betonscherm in bodem.....	30
OTC Polystyreen scherm in bodem bij woning.....	31
Trillingscherm L-wand in talud	32
OTC open sleuf in bodem.....	33
OTC open sleuf met keerwanden	34
Steiler maken spoortalud.....	35
Spoorsloot / waterpartij.....	36
Maatregelen bij de ontvanger	37
Verstijven vloeren en wanden (bestaande woningen)	38
Fundering op trillingsisolatie	39

Inleiding en leeswijzer

De maatregelcatalogus

In opdracht van ProRail is door Grontmij en DPA|Cauberg Huygen een catalogus opgesteld met maatregelen tegen trillingshinder vanwege railverkeer. Deze catalogus is opgesteld op basis van beschikbare en bij partijen ingewonnen informatie.

Ontwikkeling van de catalogus heeft plaatsgevonden vanuit oogpunt van de gebruiker en veronderstelt dan ook een zekere mate van bekendheid met het aspect 'trillingen'. De catalogus is vormgegeven als MS Access database. Hierin is een zoekfunctie geïntegreerd en alle gehanteerde brongegevens zijn met verwijzingen opgenomen.

Kosten

De in deze catalogus genoemde kosten zijn voor het merendeel overgenomen uit gehanteerde literatuur. Het is onvoldoende bekend of dit investeringskosten, bouwkosten, materiaalkosten of kosten zijn inclusief of exclusief BTW. Ook het prijspeil is onduidelijk. Het betreft dus een bonte verzameling van "kosten". Door gebrek aan (gerealiseerde) projecten waarbij één of meerdere genoemde maatregelen zijn toegepast is het, op het moment van uitbrengen van de catalogus, niet mogelijk om betere kosteninformatie te verstrekken. De genoemde kosten kunnen dan ook niet gebruikt worden voor budgetvaststelling, maar zijn indicatief en richtinggevend.

Deze samenvatting

In de database (MS Access applicatie) is het mogelijk om te zoeken in de verzameling met maatregelen op diverse eigenschappen. Er wordt onderscheid gemaakt in maatregelen aan materieel, aan de baan, in de overdrachtsweg en bij de ontvanger. De voorliggende samenvatting bevat de maatregelen uit de database (v. 1.1). De samenvatting is op dezelfde wijze gerangschikt. Achtereenvolgens worden derhalve beschreven:

1. Maatregelen aan het rijdend materieel
2. Maatregelen aan de baan
3. Maatregelen in de overdracht
4. Maatregelen bij de ontvanger

Per maatregel is een samenvattend overzicht gegeven van een aantal belangrijke parameters. Dit is altijd gedaan volgens onderstaande structuur.

[Naam]	Naam van de maatregel.
[type]	Het kan een maatregel betreffen aan materieel, aan de bron, in de overdracht of bij de ontvanger.

[TRL Niveau] Maatregelen zijn, afhankelijk van hun doorontwikkeling (Technology Readiness Level), ingedeeld in een negental categorieën.

TRL	Omschrijving
1	Algemene theoretische basis bekend
2	In theorie toepasbaar voor specifieke toepassing
3	Analytische onderbouwing voor specifieke toepassing
4	Validatie onderdelen in laboratorium proeven
5	Systeem validatie in representatieve omgeving
6	Testen prototype in realistische situatie.
7	Werkend prototype systeem beschikbaar
8	Eindfase ontwikkeling, systeem getest en akkoord
9	Commercieel verkrijgbaar, werking bewezen in praktijk

[Leverancier] Indien er een specifieke leverancier is, is deze hier opgenomen.

[Omschrijving] Een korte omschrijving van de maatregel.

[Reductie] Geeft aan welke reductie is te halen met de betreffende maatregel. Met betrekking tot de in de database gepresenteerde reductiefactoren wordt nadrukkelijk opgemerkt dat deze uit literatuur zijn overgenomen. De gebruiker dient te allen tijde te beoordelen of de gepresenteerde reducties in zijn projectsituatie eveneens te realiseren zijn. Daarbij wordt wellicht ten overvloede opgemerkt dat het niet mogelijk is om reducties van maatregelen cumulatief te beschouwen. Voor het bepalen van het totale effect, dient altijd het gehele toepaste systeem beschouwd te worden.

[Kosten] Geeft een indicatie van de kosten van de maatregel.

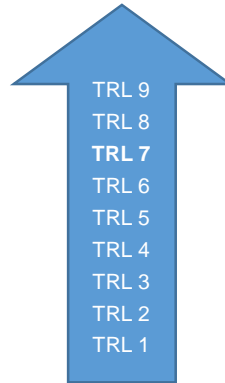
[Principe] Geeft aan op welk fysisch werkingsprincipe de maatregel gestoeld is.

[Uitvoering] Geeft een beschrijving van aandachtspunten bij de uitvoering van de maatregel.

[Onderhoud] Geeft aan of er specifiek onderhoud benodigd is na in gebruik name van de maatregel.

[Naam]

[type]



[Leverancier]

[Omschrijving]

Eigenschappen

[Reductie] ...

[Kosten] ...

[Principe] ...

Toepassing

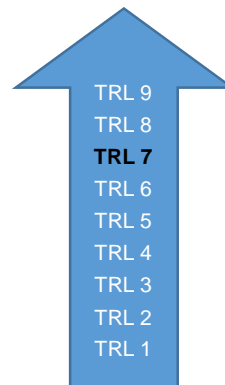
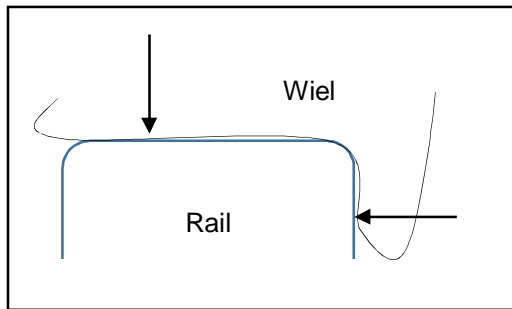
[Uitvoering] ...

[Onderhoud] ...

Maatregelen aan het materieel

In profiel houden van de wielen

Maatregel aan materieel



Leverancier

Onderhoudsbedrijf

Omschrijving

Dit betreft een maatregel aan het rijdend materieel. Door het verminderen van de onregelmatigheden op de loopvlakken van de wielen, nemen krachten op de baan, en zodoende ook de trillingsniveaus, af.

Wielen van reizigersmaterieel wordt stelselmatig op deze wijze onderhouden in het kader van waarborgen van reizigerscomfort. Bij goederenmaterieel zijn onderhoudsintervallen groter. Daarnaast ontbreekt het ProRail aan de bevoegdheid om een dergelijke onderhoudscyclus aan vervoerders op te leggen.

Eigenschappen

Reductie	6 dB bij slijpen van zowel het spoor als de wielen.
Kosten	Afhankelijk van de onderhoudscyclus.
Principe	Verminderen van de aanstootkracht van de wielen op de rails. Aanstoot locaties zijn aangeduid in bovenstaande figuur.

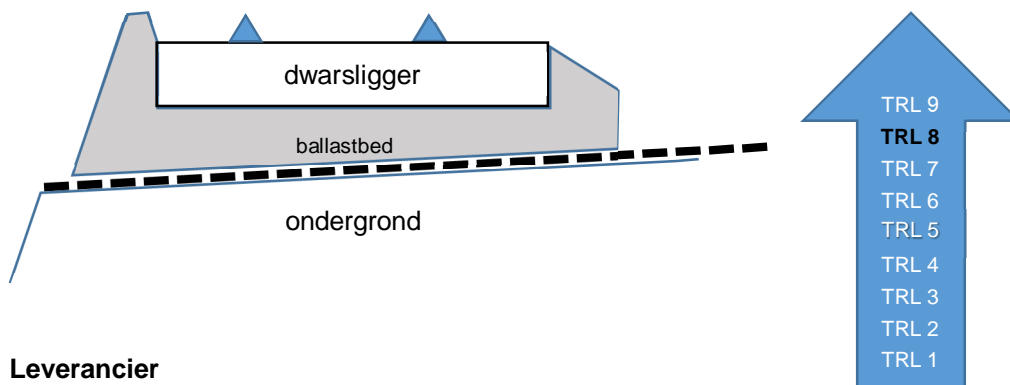
Toepassing

Uitvoering	Materieel dient uit dienst genomen te worden.
Onderhoud	De maatregel betreft het op regelmatige basis slijpen van wielen. De maatregel bestaat derhalve uit het uitvoeren van onderhoud.

Maatregelen aan de baan

Ballastmatten

Maatregel aan de baan



Leverancier

Diverse leveranciers, waaronder¹:

- Getzner Werkstoffe GmbH
<http://www.getzner.com/>
- Secutex, Naue GmbH & Co. KG
<http://www.naue.com/en/edf.html>
- Angst+Pfister AG
<http://www.angst-pfister.com/>
- Grötz GmbH & Co. KG
<http://www.groetz.de>

Omschrijving

Ballastmatten worden toegepast onder de aanwezige ballast van het spoorbed en bestaan uit (in)verend materiaal dat wordt aangebracht onder het ballastbed, eventueel in een betonbak. De ballastmat fungeert op deze wijze als een vering die onderhoud aan de baan en trillingen reduceert.

Eigenschappen

Reductie	5-15 dB.
Kosten	De maatregel is bij nieuwbouw van spoor relatief eenvoudig toe te passen; toepassing onder bestaand spoor leidt tot omvangrijke renovatie en dito kosten.
Principe	Enkelvoudig massa-veer systeem.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Maatregel kan alleen toegepast worden wanneer er nieuw ballast gelegd wordt.
Onderhoud	Eenmaal aangelegd onderhoudsvrij.

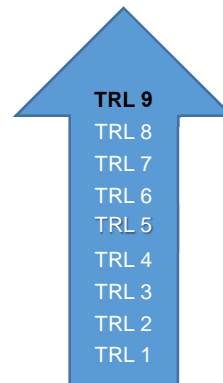
¹ In de maatregelcatalogus zijn producten van diverse leveranciers separaat opgenomen. Voor deze samenvatting zijn deze echter samengevoegd om de leesbaarheid te bevorderen.

Afveren rails met railklemmen op beton plaat

Maatregel aan de baan



© Pandrol Fastenings LTD



Leverancier

Diverse leveranciers, waaronder:

- Pandrol Fastenings

Omschrijving

Betreft een maatregel aan de baan. De rails worden (verend) bevestigd aan de betonnen ondergrond.

Eigenschappen

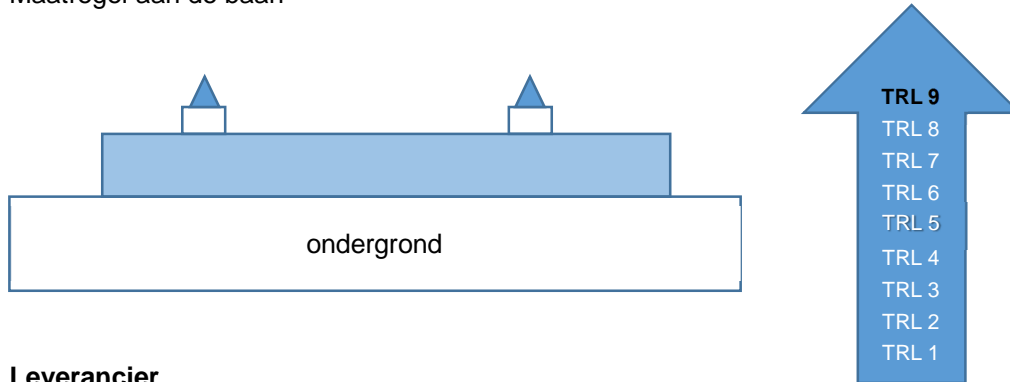
Reductie	Tot 13 dB.
Kosten	De maatregel is bij nieuwbouw van spoor relatief eenvoudig toe te passen; toepassing bij bestaand spoor leidt tot omvangrijke renovatie en dito kosten.
Principe	Enkelvoudig massa-veer systeem.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen tijdelijk buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is beperkt onderhoud nodig (na-stellen).

Slab track

Maatregel aan de baan



Leverancier

Diverse leveranciers

Omschrijving

De baan wordt vormgegeven door sporen te bevestigen op zogenaamde 'slab' (fundamentplaten). Hierdoor wordt de baanconstructie verstijfd ten opzichte van traditionele dwarsliggerbevestiging.

Eigenschappen

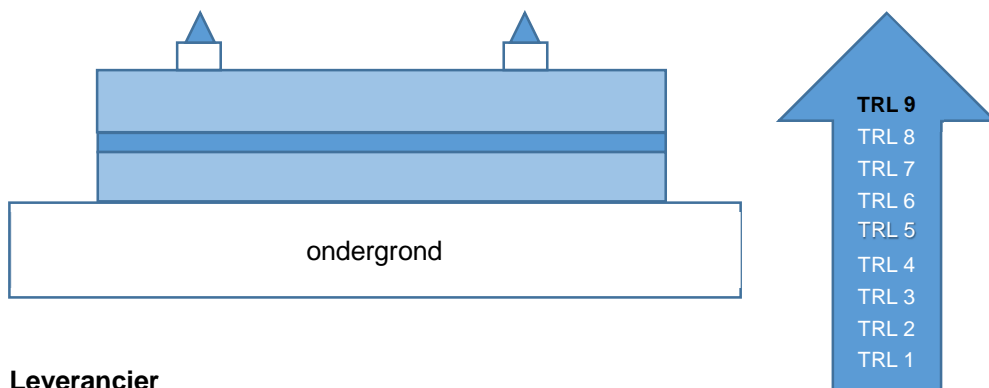
Reductie	Tot 10 dB.
Kosten	€3.000,-- tot €4.000,-- per meter enkel spoor in retrofit (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Verbeteren stabiliteit baan en verstijven draagconstructie baan.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

Floating slab track

Maatregel aan de baan



Leverancier

Diverse leveranciers, waaronder:

- CDM
<http://www.cdm.eu/systems.html>

Omschrijving

Dependend materiaal wordt toegepast onder de slab-track baanconstructie. Hierdoor ontstaat een massa-veersysteem dat zorgt voor trillingsdemping.

Eigenschappen

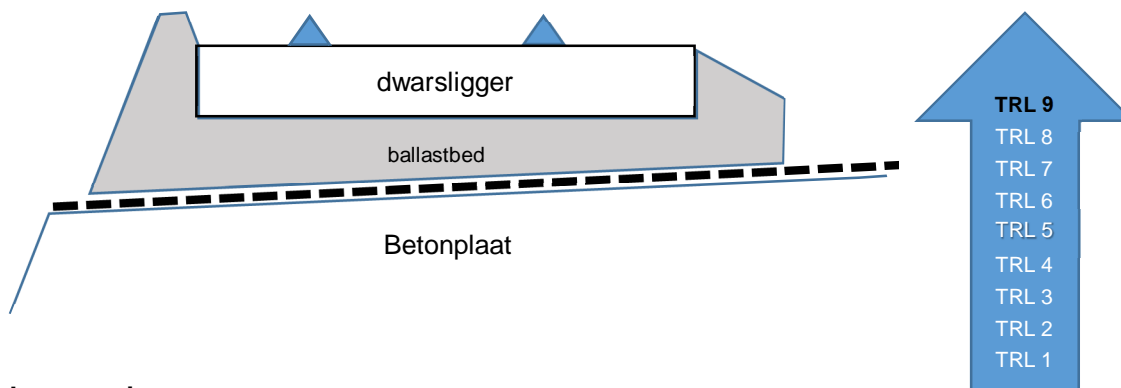
Reductie	Tot 10 dB.
Kosten	€ 3.500,-- tot € 4.500,-- per meter enkel spoor in retrofit. (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Enkelvoudig massa-veer systeem.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Na de plaatsing van de maatregel is er beperkt onderhoud nodig (na-stellen).

Beton plaat onder ballastbed met ballastmat

Maatregel aan de baan



Leverancier

-

Omschrijving

Onder het ballastbed en de ballastmat wordt een extra (stijve) betonplaat aangebracht.

Eigenschappen

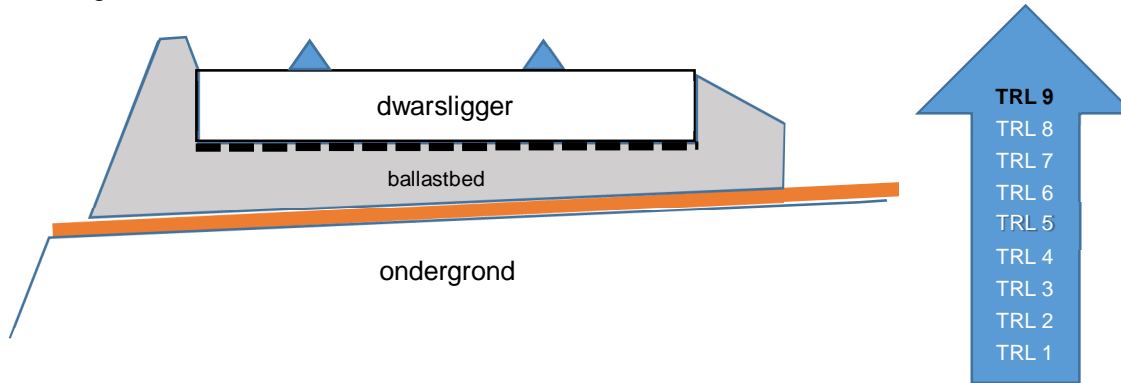
Reductie	Tot 10 dB.
Kosten	€3.220,-- tot €4.040,-- per meter enkel spoor (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Enkelvoudig massa-veer systeem.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

Beton plaat onder ballastbed met isolatiemateriaal onder dwarsliggers

Maatregel aan de baan



Leverancier

-

Omschrijving

Onder het ballastbed en de isolatie onder de dwarsliggers wordt een extra (stijve) betonplaat aangebracht.

Eigenschappen

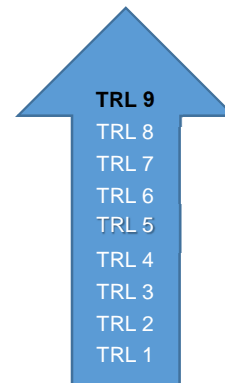
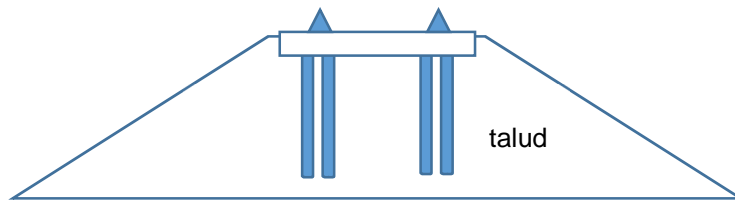
Reductie	Tot 10 dB.
Kosten	De maatregel is bij nieuwbouw van spoor relatief eenvoudig toe te passen; toepassing onder bestaand spoor leidt tot omvangrijke renovatie en dito kosten.
Principe	Enkelvoudig massa-veer systeem.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

Zettingsvrije plaat

Maatregel aan de baan



Leverancier

-

Omschrijving

Onder de constructie van de baan wordt een zettingsvrije betonplaat aangebracht. Deze plaat wordt gefundeerd op palen. Hiermee wordt de baan gestabiliseerd en de constructie verstijfd.

Eigenschappen

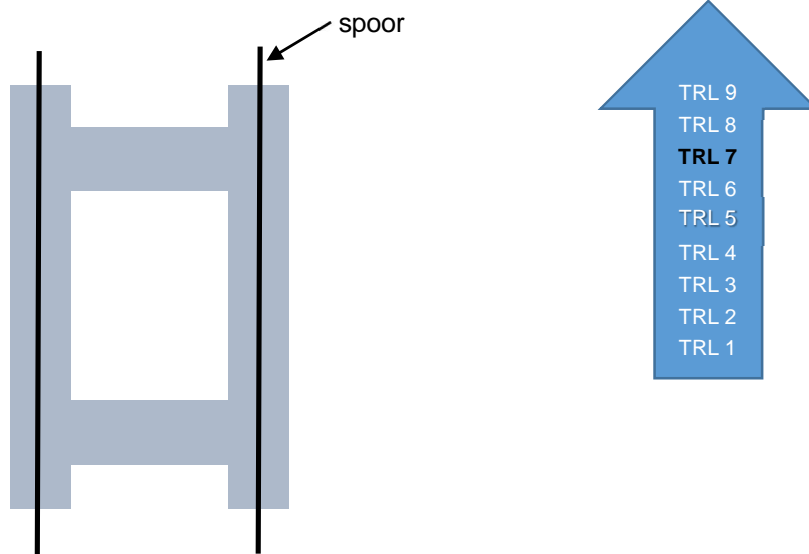
Reductie	Tot 15 dB.
Kosten	€6.570,-- tot €8.400 per meter enkel spoor (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Verbeteren stabiliteit baan en verstijven draagconstructie baan.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

Ladder Track

Maatregel aan de baan



Leverancier

-

Omschrijving

Deze maatregel betreft het vervangen van de bestaande bovenbouwconstructie door zogenaamd 'laddertrack'. Deze constructie is stijver, omdat dwarsliggers ook onderling verbonden zijn.

Eigenschappen

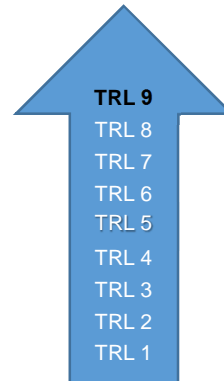
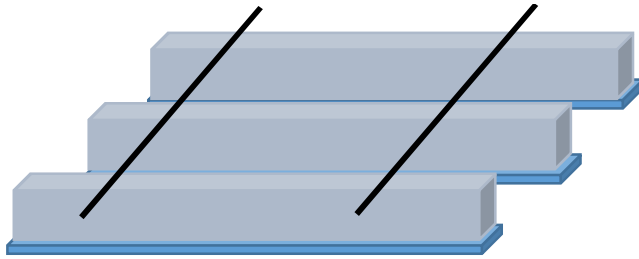
Reductie	Onbekend.
Kosten	€2.250,-- tot €3.060,-- per meter enkel spoor (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Verminderen afstraling door verstijving.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

Under Sleeper Pads

Maatregel aan de baan



Leverancier

Diverse leveranciers, waaronder²:

- CDM
<http://www.cdm.eu/systems.html>
- Getzner Werkstoffe GmbH
<http://www.getzner.com>
- Angst+Pfister AG
<http://www.angst-pfister.com/>

Omschrijving

Under sleeper pads bestaan uit verend materiaal dat aangebracht wordt onder de dwarsliggers. Hierdoor ontstaat een betere verdeling van de kracht over het oppervlak.

Eigenschappen

Reductie	Tot 20 dB.
Kosten	€ 750,- tot € 900,- per meter enkel spoor (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Enkelvoudig massa-veer systeem.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen tijdelijk buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

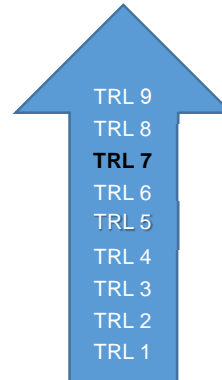
² In de maatregelcatalogus zijn producten van diverse leveranciers separaat opgenomen. Voor deze samenvatting zijn deze echter samengevoegd om de leesbaarheid te bevorderen.

Wide Sleeper Track

Maatregel aan de baan



© RAIL.ONE GmbH & Pfeleiderer track systems



Leverancier

RAIL.ONE GmbH

<http://www.railone.com/>

Omschrijving

Betreft een extra brede dwarsligger welke toegepast kan worden zonder ballast. Tevens uitvoerbaar in combinatie met elastische laag (als under sleeper pad).

Eigenschappen

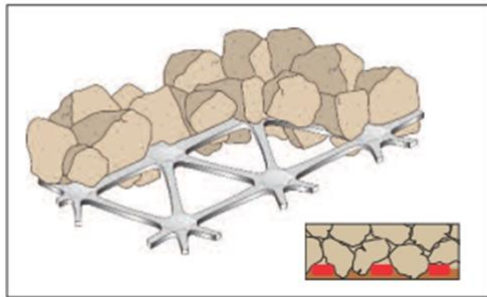
Reductie	Onbekend.
Kosten	€ 700,- tot € 900,- per meter spoor (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Verbeteren stabiliteit baan en verstijven draagconstructie baan.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

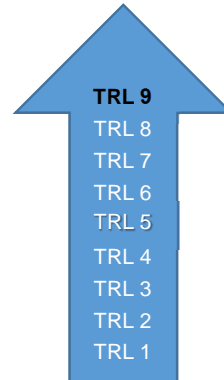
Geogrid

Maatregel aan de baan



Het principe van insluiting: "interlocking"

© Tensar International



TRL 9
TRL 8
TRL 7
TRL 6
TRL 5
TRL 4
TRL 3
TRL 2
TRL 1

Leverancier

Diverse leveranciers, waaronder:

- Tensar International B.V.
<http://www.tensar.nl>

Omschrijving

Maatregel bestaat uit het wapenen van de draagconstructie met een geogrid. Hierdoor verbetert de stabiliteit van de draagconstructie en de baan.

Eigenschappen

Reductie	Effect als trillingsreducerende maatregel niet uit literatuur bekend.
Kosten	De maatregel is bij nieuwbouw van spoor relatief eenvoudig toe te passen; toepassing onder bestaand spoor leidt tot omvangrijke renovatie en dito kosten.
Principe	Verbeteren stabiliteit baan en verstijven draagconstructie baan.

Toepassing

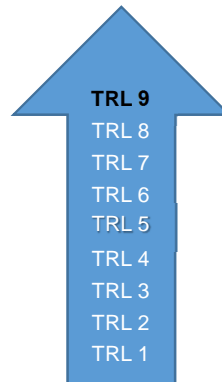
Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Eenmaal aangebracht onderhoudsvrij.

Wissel verplaatsen

Maatregel aan de baan



© Grontmij



Leverancier

Niet van toepassing

Omschrijving

Indien trillingen worden veroorzaakt door verkeer over een (bestaande) wissel, dient deze wissel verplaatst te worden naar een locatie zonder gehinderden.

Eigenschappen

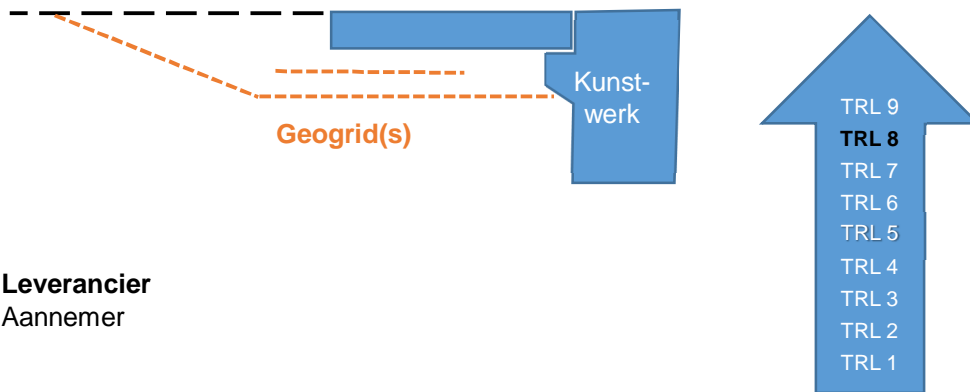
Reductie	Ca. 2 dB.
Kosten	Afhankelijk van de locatie en situatie.
Principe	Bron verplaatsen.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen aanvullend onderhoud nodig.

Verbetering aansluiting kunstwerk in het kader van vermindering trillingshinder

Maatregel aan de baan



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Indien trillingen worden veroorzaakt door passages over een (bestaand) kunstwerk, dient de aansluiting verbeterd te worden. Een langere en daarmee meer gelijkmatige overgang van baan naar kunstwerk beperkt de trillingsoverdracht. Deze overgang kan gecreëerd worden middels geogrids.

Eigenschappen

Reductie	Tot ca. 4 dB.
Kosten	Afhankelijk van locatie en situatie.
Principe	Verminderen aanstootkracht.

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen langdurig buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

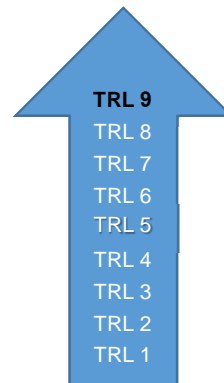
Onderhoud rails

Maatregel aan de baan



Speno slijptrein RPS 32-1

© ProRail



Leverancier

Aannemer voor spooronderhoud

Omschrijving

Verkleinen van de onregelmatigheden op de rails. Dit zorgt voor een afname van de kracht op de rails (en ondergrond) bij passage van materieel.

Eigenschappen

Reductie	Tot 6 dB.
Kosten	Afhankelijk van locatie en situatie.
Principe	Verminderen aanstoot kracht.

Toepassing

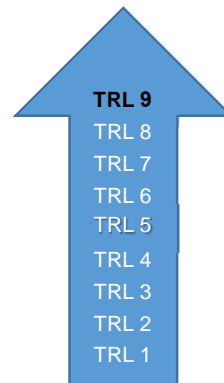
Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	De maatregel betreft het op regelmatige basis slijpen van rails. De maatregel bestaat derhalve uit het uitvoeren van onderhoud.

Spoor voegloos maken

Maatregel aan de baan



© Grontmij



Leverancier

Aannemer voor spooronderhoud

Omschrijving

Maatregel voorziet in het verwijderen van dilatatie-lassen, waardoor minder krachten op de baan worden uitgeoefend en daardoor minder trillingen worden geïnduceerd. Bij nieuw spoor wordt dit reeds standaard toegepast.

Er lopen tevens onderzoeken naar het toepassen van trillingsarme elektrische scheidingslassen (ES).

Eigenschappen

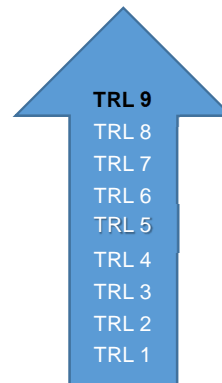
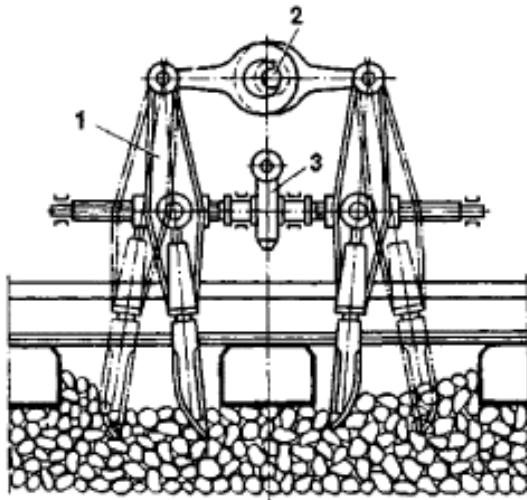
Reductie	3 – 12 dB.
Kosten	Afhankelijk van locatie en situatie.
Principe	Verminderen aanstootkracht

Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

Aanvullend onderhoud ballastbed (tamping)

Maatregel aan de baan



Bron: The Free Dictionary

Leverancier

Aannemer voor spooronderhoud

Omschrijving

Ballast onder de dwarsliggers wordt aangestampt en verdicht, waardoor hoeveelheid 'holle ruimte' in ballastbed afneemt. De stabiliteit van de ballast als geheel neemt hierdoor toe.

Eigenschappen

Reductie	Tot 6 dB.
Kosten	Afhankelijk van onderhoudscyclus en –situatie.
Principe	Verminderen aanstootkracht.

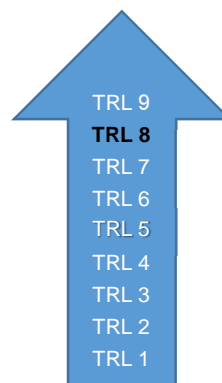
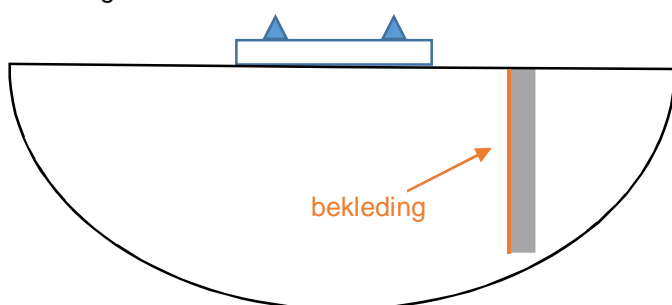
Toepassing

Uitvoering	De noodzakelijke ruimte omvat de spoorzone. Het spoor en de naastgelegen sporen dienen buitendienst te worden gesteld.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

Maatregelen in de overdracht

OTC³ beklede keerwand

Maatregel in de overdracht



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Maatregel bestaat uit een ondergrondse constructie bekleed met absorptiemateriaal. Deze zorgt voor een impedantiesprong in de ondergrond; reflectie van trillingsgolven wordt tegengegaan door absorberend materiaal.

Eigenschappen

Reductie	Tot 14 dB.
Kosten	€1.100,-- tot €1.200,-- per meter lengte en diepte (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Reflectie.

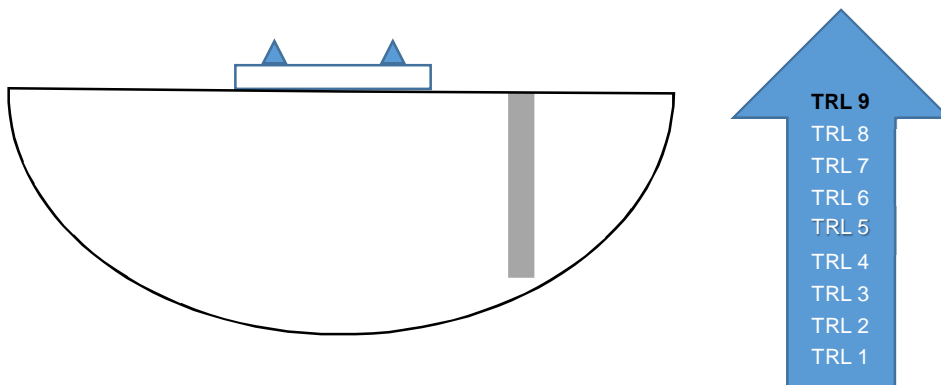
Toepassing

Uitvoering	Voor bouwactiviteiten die binnen een zone van 11 meter vanaf het hart van het buitenste spoor (spoor op maaiveld) plaats vinden dient een vergunning te worden verkregen (Spoorwegwet). Voor een spoor op talud geldt een afstand van 6 meter uit de teen van het talud. Aanleg is afhankelijk van vergunning. Indien ProRail zelf de bouwactiviteiten uitvoert, is geen vergunning noodzakelijk.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

³ Ondergrondse Trilling werende Constructie

OTC betonscherm in bodem

Maatregel in de overdracht



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Maatregel bestaat uit een ondergrondse constructie. Deze zorgt voor een impedantiesprong in de ondergrond.

Eigenschappen

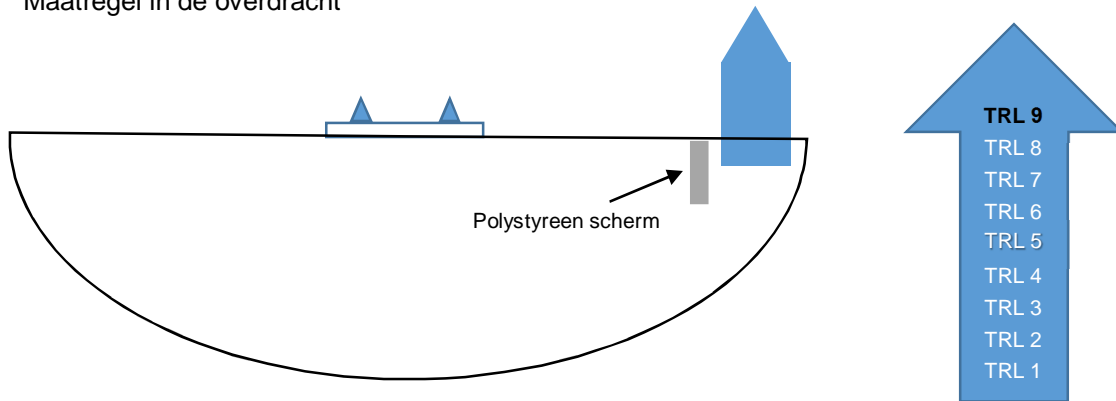
Reductie	Tot 4,4 dB.
Kosten	€ 500,- tot €1.100,- per meter lengte en diepte (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6). Kosten afhankelijk van de situatie ter plaatse en de gekozen uitvoeringsmethode (bijv. jetgrouten).
Principe	Reflectie.

Toepassing

Uitvoering	Voor bouwactiviteiten die binnen een zone van 11 meter vanaf het hart van het buitenste spoor (spoor op maaiveld) plaats vinden dient een vergunning te worden verkregen (Spoorwegwet). Voor een spoor op talud geldt een afstand van 6 meter uit de teen van het talud. Aanleg is afhankelijk van vergunning. Indien ProRail zelf de bouwactiviteiten uitvoert, is geen vergunning noodzakelijk.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

OTC Polystyreen scherm in bodem bij woning

Maatregel in de overdracht



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Maatregel bestaat uit een ondergrondse constructie welke de fundering van de woning afschermt van invallende trillingsgolven.

Eigenschappen

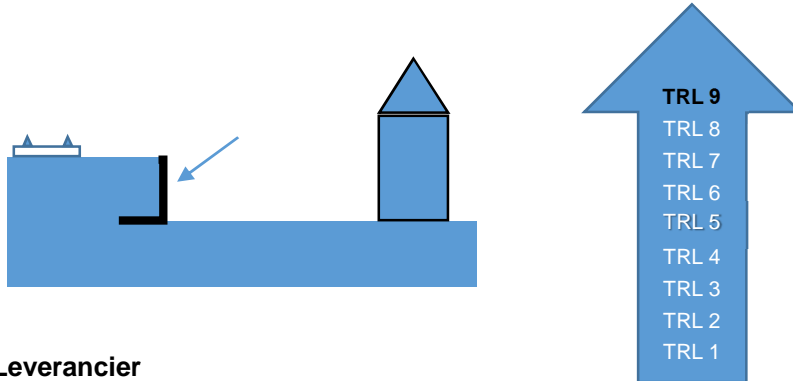
Reductie	3 tot 10 dB.
Kosten	Afhankelijk van locatie en situatie.
Principe	Reflectie.

Toepassing

Uitvoering	Voor bouwactiviteiten die binnen een zone van 11 meter vanaf het hart van het buitenste spoor (spoor op maaiveld) plaats vinden dient een vergunning te worden verkregen (Spoorwegwet). Voor een spoor op talud geldt een afstand van 6 meter uit de teen van het talud. Aanleg is afhankelijk van vergunning. Indien ProRail zelf de bouwactiviteiten uitvoert, is geen vergunning noodzakelijk.
Onderhoud	Er is geen onderhoud nodig.

Trillingscherm L-wand in talud

Maatregel in de overdracht



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Maatregel bestaat uit een grondkerende constructie (L-wand) in het spoortalud. Deze zorgt voor een impedantiesprong in de ondergrond en een afname van de trillingssterkte.

Eigenschappen

Reductie	Onbekend.
Kosten	Afhankelijk van locatie en situatie.
Principe	Reflectie.

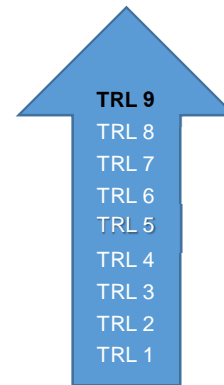
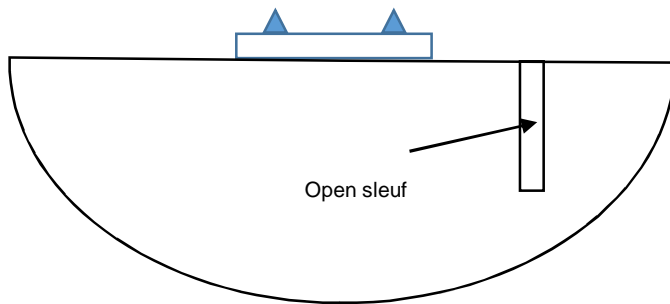
Toepassing

Uitvoering Voor bouwactiviteiten die binnen een zone van 11 meter vanaf het hart van het buitenste spoor (spoor op maaiveld) plaats vinden dient een vergunning te worden verkregen (Spoorwetenwet). Voor een spoor op talud geldt een afstand van 6 meter uit de teen van het talud. Aanleg is afhankelijk van vergunning.

Onderhoud -

OTC open sleuf in bodem

Maatregel in de overdracht



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Maatregel bestaat uit het creëren van een open ruimte in de ondergrond. Deze zorgt voor een impedantiesprong.

Eigenschappen

Reductie	Tot 14 dB.
Kosten	Afhankelijk van locatie en situatie.
Principe	Reflectie.

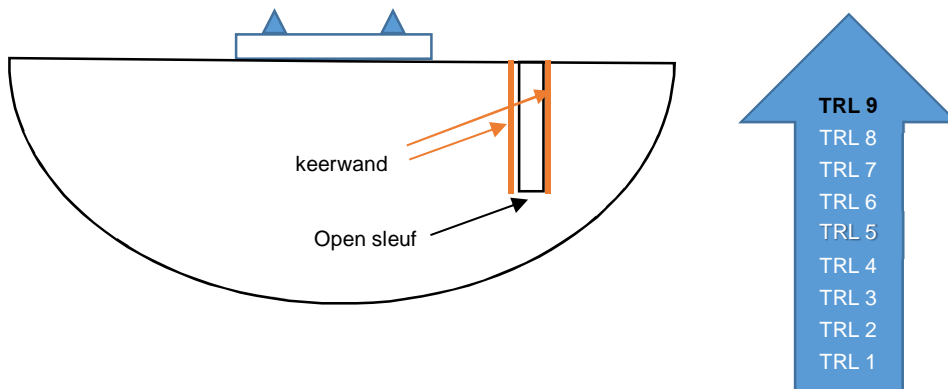
Toepassing

Uitvoering Voor bouwactiviteiten die binnen een zone van 11 meter vanaf het hart van het buitenste spoor (spoor op maaiveld) plaats vinden dient een vergunning te worden verkregen (Spoorwegwet). Voor een spoor op talud geldt een afstand van 6 meter uit de teen van het talud. Aanleg is afhankelijk van vergunning. Indien ProRail zelf de bouwactiviteiten uitvoert, is geen vergunning noodzakelijk.

Onderhoud Onderhoud bestaat uit het 'open houden' van de sleuf.

OTC open sleuf met keerwanden

Maatregel in de overdracht



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Maatregel bestaat uit een open ruimte in de ondergrond, afgeschermd door een tweetal wanden. Deze constructie zorgt voor een impedantiesprong.

Eigenschappen

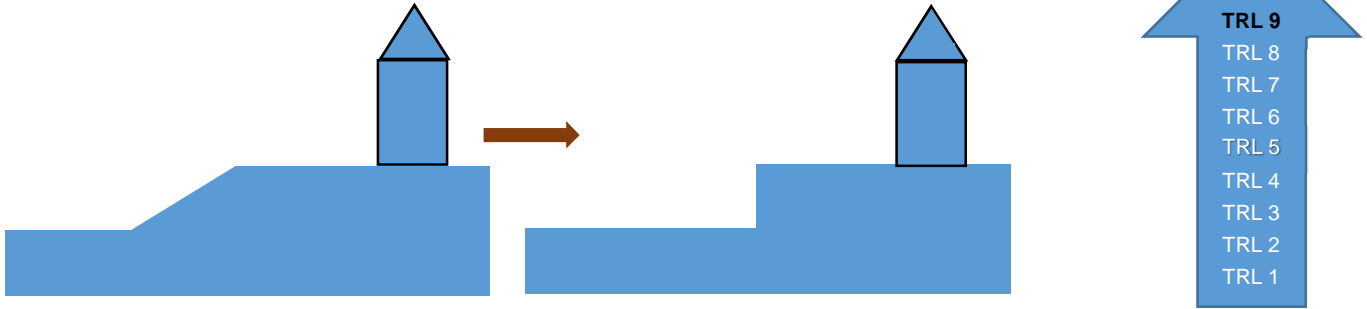
Reductie	Tot 14 dB.
Kosten	€ 1.500,-- tot € 2.000,-- per meter lengte per meter diepte (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6).
Principe	Reflectie.

Toepassing

Uitvoering	Voor bouwactiviteiten die binnen een zone van 11 meter vanaf het hart van het buitenste spoor (spoor op maaiveld) plaats vinden dient een vergunning te worden verkregen (Spoorwegwet). Voor een spoor op talud geldt een afstand van 6 meter uit de teen van het talud. Aanleg is afhankelijk van vergunning. Indien ProRail zelf de bouwactiviteiten uitvoert, is geen vergunning noodzakelijk.
Onderhoud	Niet van toepassing.

Steiler maken spoortalud

Maatregel in de overdracht



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

De vorm van een spoortalud heeft invloed op de trillingssterkte. Een steil talud kan in voorkomende gevallen tot reductie leiden.

Eigenschappen

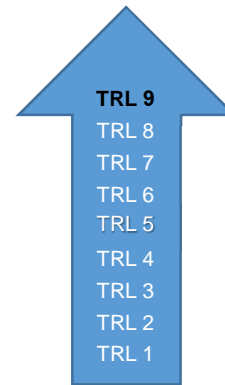
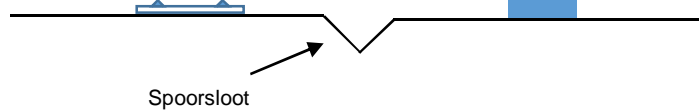
Reductie	Effect als trillingsreducerende maatregel niet uit literatuur bekend.
Kosten	Afhankelijk van locatie en situatie.
Principe	Reflectie.

Toepassing

Uitvoering	Voor bouwactiviteiten die binnen een zone van 11 meter vanaf het hart van het buitenste spoor (spoor op maaiveld) plaats vinden dient een vergunning te worden verkregen (Spoorwegwet). Voor een spoor op talud geldt een afstand van 6 meter uit de teen van het talud. Aanleg is afhankelijk van vergunning. Indien ProRail zelf de bouwactiviteiten uitvoert, is geen vergunning noodzakelijk.
Onderhoud	Niet van toepassing.

Spoorsloot / waterpartij

Maatregel in de overdracht



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Aanleg van een spoorsloot realiseert een impedantiesprong in de ondergrond.

Eigenschappen

Reductie	Tot 3 dB.
Kosten	Afhankelijk van locatie en situatie.
Principe	Reflectie.

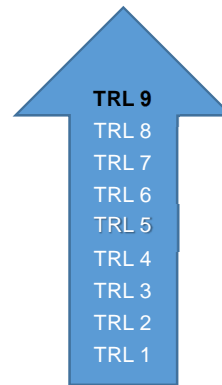
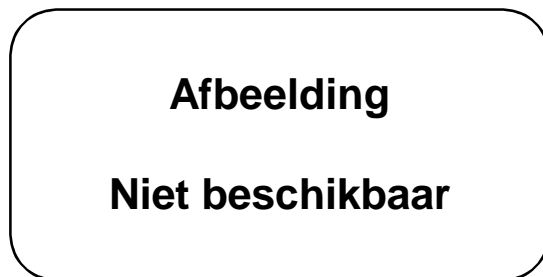
Toepassing

Uitvoering	Voor bouwactiviteiten die binnen een zone van 11 meter vanaf het hart van het buitenste spoor (spoor op maaiveld) plaats vinden dient een vergunning te worden verkregen (Spoorwegwet). Voor een spoor op talud geldt een afstand van 6 meter uit de teen van het talud. Aanleg is afhankelijk van vergunning. Indien ProRail zelf de bouwactiviteiten uitvoert, is geen vergunning noodzakelijk.
Onderhoud	Niet van toepassing.

Maatregelen bij de ontvanger

Verstijven vloeren en wanden (bestaande woningen)

Maatregel bij de ontvanger



Leverancier

Aannemer

Omschrijving

Betreft het verstijven van de constructie van het trillingsbelaste object. Hierdoor vindt minder opslingering plaats waardoor trillingsniveaus in het pand afnemen.

Eigenschappen

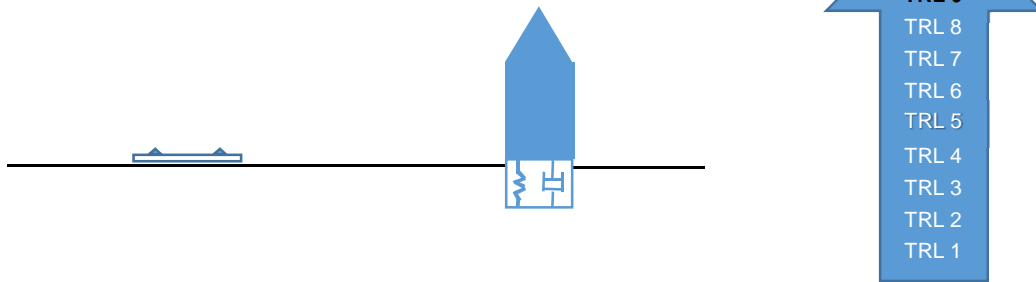
Reductie	Tot 20 dB.
Kosten	Zeer afhankelijk van het te verstijven objecten. Richtprijs: € 20.000,-- tot € 80.000,-- per woning (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6). In geval van nieuwbouw zijn de kosten veel beperkter.
Principe	Verstijven vloer en wanden.

Toepassing

Uitvoering	Woning-afhankelijk.
Onderhoud	Eenmaal uitgevoerd is er geen onderhoud nodig.

Fundering op trillingsisolatie

Maatregel bij de ontvanger



Leverancier

Diverse leveranciers, waaronder:

- CDM
<http://www.cdm.eu/systems.html>

Omschrijving

Gebouwen worden op trillingsisolatoren geplaatst.

Eigenschappen

Reductie	Tot 20 dB.
Kosten	Zeer afhankelijk van het te beschermen object. Richtprijs: € 10.000,-- tot > € 100.000,-- per woning (indicatief, zie paragraaf 'kosten' in de inleiding op pagina 6). In geval van nieuwbouw zijn de kosten veel beperkter.
Principe	Enkelvoudig massa-veer systeem.

Toepassing

Uitvoering	Woning-afhankelijk.
Onderhoud	Niet van toepassing.