



Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS)

Resultaten van vier jaar
onderzoek en praktijkproeven

ProRail

Verbindt. Verbetert. Verduurzaamt.

Voorwoord

Martijn Beekman



Thierry Aartsen

Staatssecretaris Openbaar Vervoer en Milieu

Meer grip op spoortrillingen

Spoortrillingen zijn een uitermate lastig verschijnsel. Vooral voor de mensen die langs het spoor wonen en trillingen als overlast ervaren. Maar ook voor de experts die naar een oplossing zoeken is het een complex vraagstuk. Er is geen uniforme standaard aanpak of oplossing die overal werkt. Veel van deze trillingen zijn locatie-specifiek en hebben niet alleen te maken met het spoor, maar ook met bodem en gebouw, en een combinatie hiervan. Ook ontbrak het lange tijd aan voldoende kennis. Daar is nu vooruitgang in geboekt. Sinds 2021 is er gewerkt aan de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen. Vier jaar lang zijn verschillende praktijkproeven uitgevoerd en zijn de effecten gemeten. Het resultaat ligt voor u.

Doel was om kennis te verzamelen over kosteneffectieve maatregelen aan de bron - het spoor en de treinen. De opzet was ook om een model te ontwikkelen waarmee we spoortrillingen kunnen voorspellen. Uiteindelijk willen we meer grip krijgen op dit complexe vraagstuk.

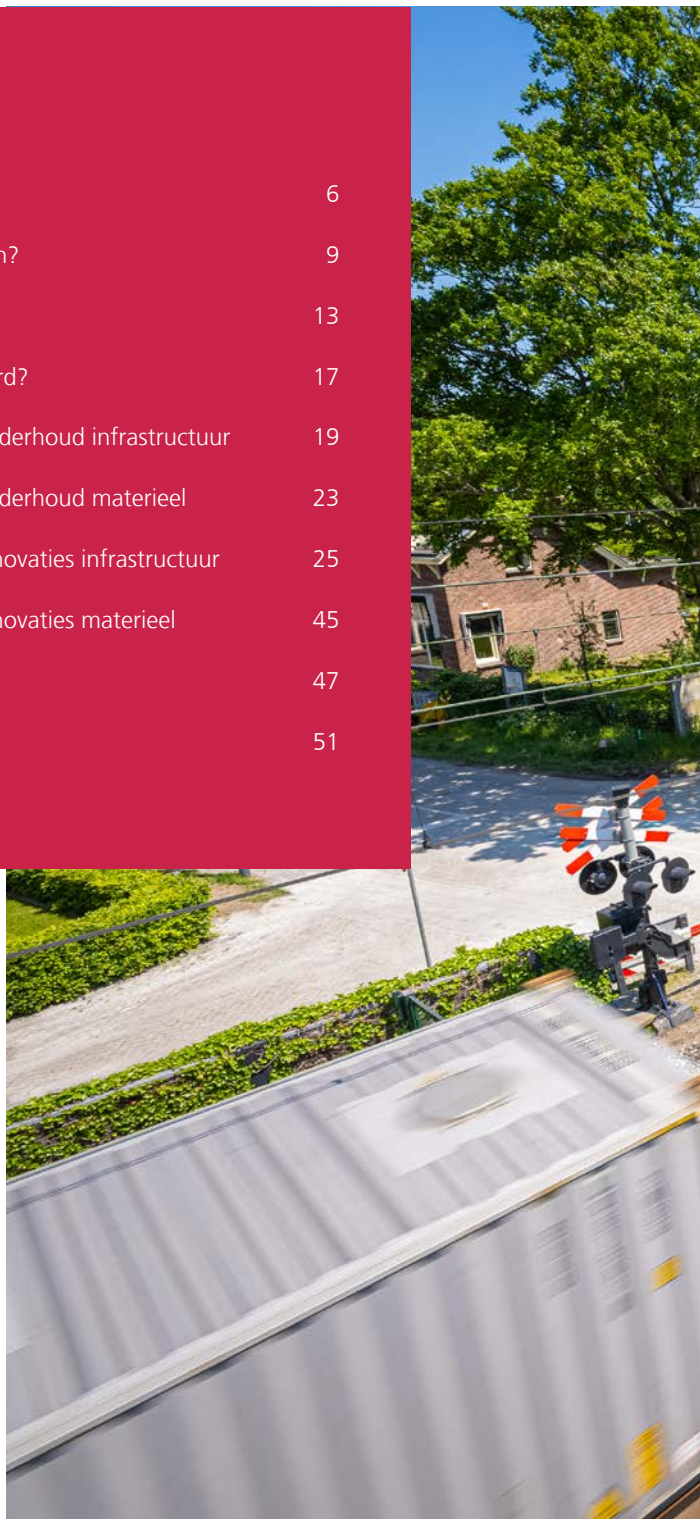
Ik ben blij met de resultaten. Er is daadwerkelijk meer kennis opgedaan over spoortrillingen dan ooit tevoren. Ook is er een goede, blijvende samenwerking ontstaan tussen ProRail, TNO, TU Delft, Deltares, ingenieursbureaus, aannemers en andere spoorpartners. Die samenwerking blijft essentieel. En bovendien is dankzij deze samenwerking een eerste versie van een model ontwikkeld, waarmee spoortrillingen kunnen worden voorspeld. Dit model is nog niet af, maar er is wel een grote stap voorwaarts gezet.

Ik wil alle betrokken onderzoekers, bewoners en anderen die zich met heel veel inzet hebben ingespannen heel hartelijk bedanken voor de schat aan nieuwe kennis. We zijn er nog niet, maar wel een stuk verder. We weten veel beter wat werkt en wat niet werkt. En dat is vooral belangrijk voor de mensen die spoortrillingen ervaren als overlast. We blijven gezamenlijk werken aan de aanpak van die overlast.



Inhoud

1	Inleiding	6
2	Wat zijn spoortrillingen?	9
3	De aanpak	13
4	Wat hebben we geleerd?	17
4a	Praktijkproeven onderhoud infrastructuur	19
4b	Praktijkproeven onderhoud materieel	23
4c	Praktijkproeven innovaties infrastructuur	25
4d	Praktijkproeven innovaties materieel	45
5	STEM	47
6	Hoe verder na de IBS?	51





1 Inleiding

Rond het spoor zijn soms trillingen voelbaar. Die kunnen overlast veroorzaken. Daar krijgt ProRail meldingen van. Het ontstaan van trillingen en het effect van maatregelen om die tegen te gaan, zijn moeilijk te voorspellen. Dat komt doordat het gebouw, de soort bodem, het type trein, de belading van de trein en het spoor per situatie anders zijn. Daarnaast zijn er geen wettelijke normen voor spoortrillingen, zoals die er bijvoorbeeld voor geluid wel zijn.

ProRail onderzocht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat welke maatregelen de spoortrillingen bij de bron kunnen verminderen.

In 2018 maakte de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat 20 miljoen euro vrij voor nader onderzoek naar spoortrillingen. Daarmee voerde ProRail, samen met ingenieursbureaus, kennispartners, aannemers en andere spoorpartners, tussen het najaar van 2021 en het najaar van 2025 de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS) uit. In het IBS-programma is onderzocht hoe bestaande en nieuwe maatregelen kunnen helpen om spoortrillingen te verminderen. Het eerste doel van het programma is om meer kennis op te bouwen over spoortrillingen om beter trillingsniveaus te kunnen voorspellen. Het tweede doel is een uitbreiding van de gereedschapskist met kostenefficiënte maatregelen om trillingen te reduceren.

Hoewel het IBS-programma medio 2025 is geëindigd, zijn nog niet alle onderdelen volledig afgerond. De verdere ontwikkeling van het Spoor Trillingen Emissie Model (STEM), in samenwerking met de TU Delft, TNO en Deltares loopt nog door. Er lopen nog vier promotieonderzoeken bij de TU Delft waarvan de laatste in 2028 haar resultaten oplevert. Deze resultaten worden allemaal nog verwerkt in STEM. De meeste praktijkproeven en andere onderzoeken zijn afgerond. De praktijkproef met een innovatief draaistel voor goederenwagons loopt nog wel door.

Dit boekje beschrijft op een zo begrijpelijk mogelijke manier de resultaten van de praktijkproeven en de onderzoeken. Wie zich wil verdiepen in de technische en wetenschappelijke details, kan het 'Eindrapport Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen' vinden via www.prorail.nl/bronaanpak-spoortrillingen-resultaten.

De Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen was een samenwerking van ProRail met meer dan 60 andere spoorpartijen: wetenschappelijke instituten, ingenieurs- en adviesbureaus, aannemers en vervoerders. In totaal voerden we meer dan 40 onderzoeken uit.





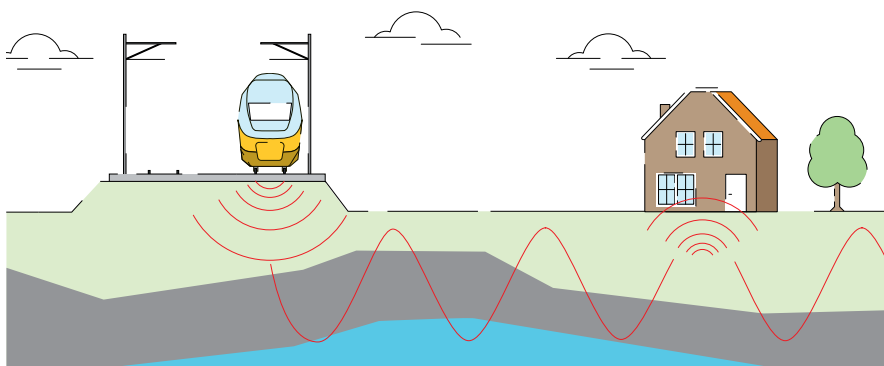
2 Wat zijn spoortrillingen?

Trillingen kunnen overlast geven in de bebouwde omgeving van het spoor. Ze kunnen ook schade opleveren aan het spoor en in uitzonderlijke situaties zelfs aan gebouwen.

Een trilling is niets anders dan een zich herhalende beweging. Wanneer een trein passeert, planten de trillingen zich voort via de bodem, onder meer naar omliggende gebouwen. Hoe groot de trillingen zijn en hoe lang ze aanhouden, hangt af van een heleboel factoren. Grofweg gaat het om de bodem, de spoorconstructie en de trein die eroverheen rijdt. Maar ook de weersomstandigheden spelen een rol.

Hoe we vervolgens een trilling waarnemen in bijvoorbeeld een woning, hangt ook af van de constructie van deze woning. Het ene gebouw is gevoeliger voor spoortrillingen dan het andere. Een (bron)maatregel om trillingen te verminderen kan het gewenste effect hebben wanneer een gebouw gevoelig is voor de specifieke trillingsfrequentie die de maatregel aanpakt. Het kan ook zijn dat een gebouw daar helemaal niet gevoelig voor is, dan helpt de maatregel niet. In het slechtste geval kan een maatregel tegen trillingen de boel zelfs verergeren: wanneer de eigenfrequentie van een gebouwvloer samenvalt met de trillingsfrequentie die van het spoor komt. Dan ontstaat een versterkend effect dat resonantie heet. Een gebouw ernaast kan een andere eigenfrequentie hebben, waardoor dezelfde maatregel wel helpt.

Dit alles maakt het niet gemakkelijk om spoortrillingen bij de bron aan te pakken. We moeten kennis opdoen van het gehele systeem dat bijdraagt aan het verminderen van de trillingen. Dat was precies wat we beoogden met de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen.



Hoe omwonenden trillingen beleven

We hebben onderzocht of er specifieke situaties of omstandigheden zijn aan te wijzen waarbij mensen meer overlast ervaren van spoortrillingen. Dit is ingewikkeld terrein, omdat de ervaren overlast per persoon kan verschillen: de een ligt wakker van trillingen, terwijl de ander ze niet eens opmerkt.

We hebben onder meer gevonden dat veranderingen vaak leiden tot klachten. Veranderingen zijn bijvoorbeeld vernieuwing van het spoor, een nieuwe overweg, andere treinen of een hogere treinsnelheid. Soms nemen trillingen hierdoor inderdaad toe, maar in andere gevallen leiden ze ertoe dat de frequentie van de trillingen verandert. Deze nieuwe ervaring draagt bij aan meer klachten.

Wel lijkt het duidelijk dat goederentreinen vaker als hinderlijk worden aangemerkt dan reizigerstreinen. En ook dat treinen met schade aan de wielen leiden tot een grotere kans op hinder.

Parameter	Invloed op klachten	Toelichting
Hoogteverschil spoor en maaiveld		Veel meer klachten bij kleiner hoogteverschil. Meeste klachten bij spoor op maaiveld zonder spoorloot.
Afstand tot spoor		Veel meer klachten op kortere afstand van het spoor. Buiten 75 meter van spoor geen sterke invloed.
Percentage private huurwoningen		Veel meer klachten uit wijken met weinig private huurwoningen (meer koop- en corporatiewoningen).
Afstand tot ES-las		Veel meer klachten bij kortere afstand tot (vooral oudere) ES-las. Bij >75 meter van ES-las geen invloed.
Aantal goederentreinen		Meer klachten bij groter aantal goederentreinen, vooral bij meer goederentreinen in de nacht.
Stijfheid bodem		Meer klachten op stijve bodems (zand, oosten en zuiden van het land).
Snelheid treinen		Meer klachten bij hoge rijsnelheid, vooral van reizigerstreinen.
Aantal treinen met hoge aslast		Meer klachten bij meer zware treinpassages (vooral zwaarbeladen goederentreinen).
Afstand tot tunnel		Meer klachten dichtbij tunnels.
Huishoudens met kinderen		Minder klachten uit wijken met veel huishoudens met kinderen, en meer uit wijken met weinig kinderen.
Aantal treinen type VIRM		Minder klachten als er weinig treinen van type VIRM passeren.
Afstand tot overweg		Meer klachten bij kortere afstand tot (niet-STRAIL) overweg. Buiten 75 meter van overweg geen invloed.
Gebouwhoogte		Meer klachten uit hogere gebouwen, maar beeld is diffuser dan vanuit periode 2017-2021.
Aantal treinen type DDZ		Meer klachten bij meer treinen van type DDZ, maar beeld is diffuus.

Bron:

Boon, P., Hordijk, M., Vos, T., Klachten over trillingen – Onderzoek naar bepalende factoren 2025, kenmerk WBD2024-036, 8 april 2025



3 De aanpak

Met de IBS deden ProRail en haar samenwerkingspartners onderzoek naar de oorzaak van spoortrillingen en naar nieuwe betaalbare en effectieve maatregelen om hinder voor omwonenden van het spoor te beperken. ProRail heeft al ervaring met ondergrondse constructies die trillingen beperken. Dit noemen we TROC's: trillingreducerende ondergrondse constructies. Dit zijn ondergrondse wanden naast het spoor. In bijvoorbeeld Utrecht, Arnhem en Geldermalsen zijn TROC's gebouwd tussen het spoor en woningen in de buurt. Dit zijn dure oplossingen die bovendien de oorzaken van spoortrillingen niet wegnemen. De Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen richtte zich daarom op de aanpak van trillingen bij de bron: het spoor en de trein. We willen het systeem dat trillingen veroorzaakt begrijpen, om vervolgens maatregelen te kunnen uitvoeren die deze oorzaken wél wegnemen. Hoewel de nadruk dus lag op de bron, is het doel om de hinder voor de omgeving van deze bron te verminderen – of beter nog: te voorkomen. Door ervoor te zorgen dat mensen die nabij het spoor wonen minder trillingshinder ervaren, nemen we immers belemmeringen weg om een van de meest duurzame vormen van vervoer verder te laten groeien.

ProRail wil betaalbare bronmaatregelen kunnen nemen om overlast van spoortrillingen te verminderen en zo (de groei van) duurzaam vervoer te faciliteren. Het eerste doel van de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen is om meer kennis op te bouwen over spoortrillingen, zodat we trillingsniveaus beter kunnen voorspellen. Het tweede doel is uitbreiding van de gereedschapskist met maatregelen die betaalbaar en effectief zijn.

Om de IBS tot een succes te maken, hebben spoorpartners de krachten gebundeld. ProRail werkte nauw samen met de TU Delft, Deltares, TNO, ingenieursbureaus en een groot aantal andere partijen. Het bundelen van kennis en ervaring stelde ons in staat om nieuwe inzichten op te doen.

De twee belangrijkste onderdelen van het IBS-programma zijn:

- Het doen van praktijkproeven; en
- Het ontwikkelen van een model, STEM geheten, dat kan voorspellen in welke situaties welke spoortrillingen optreden en in welke situaties bepaalde maatregelen effectief zijn.

Praktijkproeven

We deden talloze trillingsmetingen bij een groot aantal praktijkproeven met mogelijke trillingsmaatregelen in de omgeving van het spoor. Zo brachten we in kaart wat de effecten zijn van die specifieke maatregelen in een specifieke situatie. We maten de effecten van al bestaande maatregelen tegen trillingen, van maatregelen die eigenlijk voor iets anders bedoeld zijn dan het verminderen van trillingen en we onderzochten innovatieve maatregelen in de infrastructuur en rollend materieel die misschien tot minder trillingen leiden. De praktijkproeven zijn onder te verdelen in vier typen:

- **Praktijkproeven onderhoud infrastructuur**
ProRail voert permanent onderhoud uit aan de spoorinfrastructuur. In het IBS-programma onderzochten we het effect van onderhoudsmaatregelen op spoortrillingen. Dit deden we om te onderzoeken of onderhoud helpt om spoortrillingen te verminderen. Met dit inzicht kan de planning en uitvoering van onderhoudswerkzaamheden worden verbeterd, zodat minder spoortrillingen optreden.
- **Praktijkproeven onderhoud materieel**
Ook het onderhoud van de wielen van treinen speelt een rol. Slijtage en remmen kunnen ervoor zorgen dat de wielen van treinen niet meer helemaal rond zijn. Door met onronde wielen over het spoor te rijden, kunnen trillingen worden opgewekt. In het IBS-programma is daarom een grootschalige proef uitgevoerd om het effect van wielonrondheid in kaart te brengen. We hebben onderzocht hoe veel effect het wegnemen van een slechte wielkwaliteit heeft op trillingen in de omgeving.
- **Praktijkproeven innovaties infrastructuur**
ProRail werkt voortdurend aan innovaties om de kwaliteit van het spoor te verbeteren. We passen bijvoorbeeld ontwerpen aan om te zorgen voor een stabielere ligging van het spoor. In het IBS-programma onderzochten we of dergelijke innovaties ook kunnen bijdragen aan het verminderen van spoortrillingen. Een nieuwe toepassing dus voor infraverbeteringen die we al op andere manieren en met een ander doel toepassen. Daarnaast hebben we onderzocht hoe effectief maatregelen zijn die we al nemen om spoortrillingen te verminderen. En tot slot hebben we marktpartijen uitgedaagd om met vernieuwende ideeën tegen spoortrillingen te komen. Uiteindelijk zijn vijf ideeën geselecteerd en met een praktijkproef onderzocht.

– **Praktijkproeven innovaties materieel**

Treinen staan op zogeheten draaistellen. Die zorgen er onder meer voor dat treinen een bocht kunnen maken: de wielen gaan dan een klein beetje 'scheef' op het spoor staan. Een veel voorkomend draaistel bij goederenwagens is het Y25-draaistel. In het IBS-programma is onderzocht of aanpassingen aan dit Y25-draaistel bijdragen aan vermindering van spoortrillingen.

STEM

Het Spoor Trillingen Emissie Model (STEM) is een rekenmodel dat voorspelt welke spoortrillingen ontstaan, welke bronmaatregelen kunnen helpen tegen trillingshinder en in welke situaties. STEM is open source: de broncode is voor iedereen vrij beschikbaar.

Voor de ontwikkeling van het rekenmodel werken TU Delft, Deltares, TNO en ProRail samen. Onderdeel van de ontwikkeling van dit rekenmodel zijn vier promotieonderzoeken bij de TU Delft, waarvan de laatste in 2028 wordt afgerond.

Overal op dezelfde manier meten

Om te zorgen dat we de effecten van maatregelen in de praktijkproeven telkens op dezelfde manier meten, is aan het begin van het IBS-programma een 'Uniform meetprotocol' opgesteld. Het meetprotocol beschrijft een standaardaanpak voor het uitvoeren van trillingsmetingen. Bijna alle metingen binnen de IBS zijn volgens dit meetprotocol uitgevoerd. Dat maakt de database die we hebben gevuld met alle meetdata uit het programma extra waardevol.



Overzicht IBS-proeven

Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen



4 Wat hebben we geleerd?

Om te achterhalen wat de oorzaken zijn van spoortrillingen, hebben we tussen het najaar van 2021 en het najaar van 2025 een groot aantal praktijkproeven uitgevoerd, op verschillende locaties in het land. We liften daarbij vaak mee met al gepland onderhoud aan het spoor en aan treinmaterieel. Ook onderzochten we of maatregelen die eigenlijk een ander doel hebben kunnen bijdragen aan vermindering van spoortrillingen. En we probeerden een aantal innovaties uit. Telkens konden we zo de 'oude' situatie vergelijken met de nieuwe situatie. En zo uitspraken doen over de trillingseffecten op de locaties waar we de proeven uitvoerden.

De proeven zijn onder te verdelen in vier categorieën:

- 4a Praktijkproeven onderhoud infrastructuur
- 4b Praktijkproeven onderhoud materieel
- 4c Praktijkproeven innovaties infrastructuur
- 4d Praktijkproeven innovaties materieel



4a Praktijkproeven onderhoud infrastructuur

Met deze omvangrijke praktijkproeven wilden we inzichtelijk maken wat de trillingseffecten zijn van onderhoud aan of bij objecten in het spoor. We voerden in 2024 en 2025 metingen en analyses uit, zowel voor als na verschillende typen spooronderhoud. Ook keken we naar de duur van het effect op trillingen en of bijvoorbeeld het treintype van invloed is.

Praktijkproef Omgevingsgericht Beheer en Onderhoud 2024

De eerste praktijkproef vond plaats in 2024, tijdens onderhoudswerk bij acht locaties op de Brabantroute (de spoorroute tussen Moerdijk en Venlo), en bij Gouda. Er zijn metingen verricht aan ES-lassen (elektrische scheidingslas, een verbinding tussen twee spoorstaven), wissels, rond overwegen en betonnen constructies zoals bruggen.

Bij het onderhoud ging het bijvoorbeeld om:

- Het slijpen van spoorstaven. Daarbij wordt een dun laagje van de spoorstaaf verwijderd om oneffenheden en slijtage te verminderen.
- Handmatig en machinaal onderstoppen. Het spoor ligt op een laag stenen, ook wel ballast genoemd. Als deze stenen wegzakken, wordt als maatregel de ballast ‘opgeschud’ of opgehoogd met behulp van zogenoemde stopmachines. Deze stopmachines zorgen er voor dat de stenen weer beter onder het spoor komen te liggen. Zo wordt de stabiliteit van het spoor hersteld.

Telkens zijn metingen uitgevoerd voorafgaand aan het onderhoud en na afloop, waarbij op verschillende afstanden van het spoor trillingen zijn vastgelegd die passerende treinen veroorzaken. Ook is een langdurige trillingsmeting uitgevoerd, van enkele weken voorafgaand aan het onderhoud tot enkele maanden na het onderhoud.

Resultaten

De metingen hebben het volgende opgeleverd:

- Licht, handmatig onderhoudswerk heeft nauwelijks effect op spoortrillingen. Soms was er enkele dagen een licht effect waarneembaar, maar dat was daarna verdwenen.
- Het effect van machinaal onderstoppen is wisselend. Bij overwegen werd geen verschil in trillingen voor of na het onderstoppen gevonden. Dit komt doordat de laatste meters voor of na een overweg niet kunnen worden onderstoep. Bij het onderstoppen van

ononderbroken spoor bleek dat vooral trillingen met lage frequenties afnamen. Ook na een maand was nog een duidelijk effect waar te nemen. Daar staat tegenover dat trillingen met hoge frequenties juist toenamen. Om conclusies te kunnen trekken over trillings-effecten bij onderhoud aan ES-lassen is meer onderzoek nodig dan is gedaan.

De conclusie van de proef is dat het effect van regulier spooronderhoud beperkt is.

Praktijkproef **Omgevingsgericht Beheer en Onderhoud 2025**

De tweede praktijkproef vond plaats in 2025. Op veertien locaties is onderhoud uitgevoerd, waarbij de nadruk lag op machinaal onderhoud: welke mogelijkheden zijn er om het effect van onderhoud op spoortrillingen te verbeteren? En welke aspecten van de spoorligging (hoogte, bodemsoort) bepalen het sterkst het trillingsniveau?

Resultaten

- Globaal genomen geldt dat de trillingen met ongeveer 25 procent afnemen, wanneer de spoorligging met 50 procent verbetert. Dit geldt met name voor de lagere frequenties.
- Machinaal onderstoppen heeft in veel gevallen een gunstig effect op spoortrillingen.
- Dit effect is mede afhankelijk van het treintype: bij goederentreinen doet het positieve effect zich het sterkst voor.
- Het trillingseffect van onderhoud aan de spoorligging neemt af met de tijd.
- Bodemtypes (zand, veen, klei, etc.) lijken weinig invloed te hebben op het trillingseffect van onderhoud aan de spoorligging.

Licht handmatig onderhoud

Resultaat: Vrijwel geen effect. Hooguit enkele dagen.

Machinaal onderstoppen

Resultaat: Wisselend, 30-50% minder trillingen mogelijk

- Werkt vooral goed voor lage frequenties trillingen
- Effect houdt ongeveer 2 maanden aan

“50 procent betere spoorligging is 25 procent minder trillingen”

“Trillingen zijn uiterst ingewikkeld, veel ingewikkelder dan bijvoorbeeld hinder door geluid. Bij geluid is er één lijn tussen de geluidsbron en het oor. Bij spoortrillingen veroorzaakt een passerende trein een trilling in het spoorstelsel, dat geeft die trilling op een bepaalde manier door aan de bodem en de bodem vervolgens aan een gebouw. Pas dan ervaart een bewoner de trilling. Onderweg zijn heel veel factoren van invloed.”

“Ik heb mij, samen met vele anderen, vooral gericht op omgevingsgericht beheer en onderhoud. Hoe kunnen we ons spoor zodanig onderhouden dat het minder trillingen aan de omgeving genereert? We hebben meer gemeten en onderzocht dan in al die jaren voor de IBS. Door te onderzoeken en te meten, stuiten we op kansrijke oplossingen, maar uiteraard ook op mogelijke oplossingen waarvan we nu weten dat we daar niet verder hoeven te zoeken, omdat ze niet werken. Ook dat laatste was erg belangrijk, want in een tweede fase van onderzoek naar omgevingsgericht beheer en onderhoud konden we zo dieper inzoomen op de kansrijke oplossingen.”

“Wat we hebben gevonden is dat onderhoudsmaatregelen als slijpen en lassen niet of kortdurend helpen tegen trillingen. Wat wel werkt is het onderstoppen: zorgen dat de steentjes die samen de ballast vormen goed liggen.

En meer specifiek: de manier waarop dat goed leggen gebeurt. We hebben ook geëxperimenteerd met nieuwe manieren van onderstoppen. Extra ballast toevoegen of meer stabiliseren van ballast bijvoorbeeld, wat doet dat met trillingen?

De conclusie is dat goed onderstoppen zorgt voor een stabielere spoorligging. En als de spoorligging met 50 procent verbetert, nemen de trillingen met zo’n 25 procent af. Dat is echt een fors positief resultaat.”

“Nu de IBS afgelopen is, moeten we als ProRail kijken hoe het verder gaat. Als aannemers qua onderhoud iets extra’s moeten doen, dan kost dat natuurlijk extra geld. Nu draait onderhoud van het spoor om veiligheid en berijdbaarheid. Bij het onderhoud is hinder voor de omgeving geen criterium. Dus het spoor kan er 100 procent veilig bijliggen voor het treinverkeer, maar kan tegelijkertijd hinderlijk zijn voor de omgeving. De IBS-resultaten laten zien dat dat anders kan. Daar zit een kostenplaatje aan vast.”



Jasper Peen, IBS Projectleider Materieel

"Ik heb me vooral beziggehouden met onderzoek naar wielonrondheid bij goederentreinen. Ook daarbij speelden deze vragen: hoe zet je zo'n onderzoek op en hoe houden we de focus op het praktische?"

Uit de eerste resultaten van het onderzoek naar wielonrondheid bleek dat de wielkwaliteit van goederentreinen gemiddeld genomen niet of nauwelijks een rol speelt bij de gemeten trillingsniveaus. In plaats van kijken naar het gemiddelde, hebben we ons gefocust op de uitschieters."

"Door specifiek te kijken naar de onronde wielen die de meeste trillingen veroorzaken, kregen we een goed beeld van die pieken. En als je daar iets aan kunt doen, neem je verhoudingsgewijs veel hinder weg. En dat niet alleen. De focus op gemeten pieken draagt ook bij aan een goede balans tussen onderhoudskosten en vermindering van trillingen."

4b Praktijkproeven onderhoud materieel

Wielonrondheid

Wielen van treinen kunnen door ongelijkmatige slijtage of abrupt remmen 'onrond' worden. Dit veroorzaakt extra trillingen bij elke omwenteling. In het IBS-programma is een grootschalige proef uitgevoerd om het effect van wielonrondheid in kaart te brengen. We hebben in een praktijkproef onderzocht hoe groot het effect is van het wegnemen van slechte kwaliteit wielen op trillingen in de omgeving. Gaandeweg de praktijkproef is de nadruk gelegd op goederenwagons. We hebben metingen verricht in Heeze, Weert, Schalkwijk, America en Holten. Heeze fungeerde als locatie om de meetmethodiek te testen en dus niet de veranderingen in trillingen zelf.

Uit meetanalyses is gebleken dat de invloed van wielkwaliteit op trillingen verschilt per meetlocatie. Meetlocatie Weert toonde de meeste invloed. De zandbodem op deze locatie is vrij stijf. Bij de meetlocatie in America bleek de wielkwaliteit minder van invloed te zijn op trillingen en in Holten nog minder. Deze twee locaties hebben een vergelijkbare, minder stijve bodemtype dan Weert. Op de meetlocatie Schalkwijk bleek de invloed van wielkwaliteit op trillingen bijna niet terug te vinden. De bodem bij Schalkwijk is slap.

Naast de praktijkproef is ook gekeken naar de haalbaarheid en kosten van (aanvullend) wielonderhoud. Deze kosten worden geschat op enkele tot enkele tientallen miljoenen euro's per jaar.

Resultaat

- Het aanpakken van slechte wielen kan effectief zijn op zandbodems. Gemiddeld genomen nemen de trillingen niet af. In een beperkt aantal gevallen (bij de meest trillende treinen) neemt de trillingshinder wel af. Op zachte klei- of veengronden maakt wielkwaliteit weinig uit voor het trillingseffect.



4c Praktijkproeven innovaties infrastructuur

Een groot onderdeel van de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen bestond uit praktijkproeven waarin we innovaties testten. Daarbij onderzochten we of aanpassingen die we om andere redenen aan het spoor doen ook kunnen bijdragen aan het verminderen van trillingen. We onderzochten ook hoe effectief een paar al bestaande maatregelen tegen trillingen zijn. En tot slot vroegen we de markt om vernieuwende ideeën te ontwikkelen en te testen.

Praktijkproef 1 Ballastmatten

Een ballastmat is een elastische laag tussen het spoor en de ondergrond, die werkt als vering. Ze worden standaard toegepast bij tunnels, viaducten en andere zogeheten kunstwerken, als extra laag tussen de (meestal) betonnen constructie en de ballast, om vergruizing van de ballast tegen te gaan. Ook wordt een ballastmat soms ingezet om trillingen te beperken in bijvoorbeeld spoortunnels.

De proeflocatie lag op het traject Wierden-Deventer. Daar werd onder één spoor een ballastmat geplaatst. Onder het naastgelegen tweede spoor niet.

Uit de meetresultaten blijkt dat in de eerste weken na plaatsing van de ballastmat vooral een afname van het trillingsniveau bij het meetpunt dat op 16 meter van het spoor af lag. Het naastgelegen spoor zonder ballastmat liet dezelfde afname zien. Metingen na de eerste 4-5 weken lieten op 8 meter van het spoor nog steeds een afname zien, maar op het naastgelegen spoor een toename van trillingen. Metingen op grotere afstand van het spoor (16, 32 en 48 meter) lieten na 4-5 weken een toename van trillingen zien ten opzichte van de situatie vóór plaatsing van de ballastmat. Met name op wat grotere afstand namen de trillingen toe.



Resultaten

- Een afname van trillingen met een hoge frequentie.
- Een toename van trillingen met een lage frequentie.

Praktijkproef 2 Foamed ballast

Door het verlijmen van ballast, wordt het ballastbed stijver omdat de ruimte tussen de steentjes wordt opgevuld. Binnen de IBS is gekeken of foamed ballast – vergelijkbaar met purschuim – een gunstig effect heeft op spoortrillingen.

Het onderzoek is niet uitgevoerd in een werkelijke spoorsituatie, maar in een laboratorium.

De resultaten zijn opmerkelijk en wijken af van wat we hadden verwacht. Het idee was dat het verlijmen het spoorbed stijver zou maken en daarom zou bijdragen aan minder trillingen. Uit de laboratoriumtests blijkt dat door foamed ballast de stijfheid juist afneemt in plaats van toeneemt.

Resultaten

- Het effect op spoortrillingen is niet duidelijk.
- De meetresultaten zijn moeilijk te verklaren.
- Er is vervolgonderzoek nodig.

Praktijkproef 3 In hoogte verstelbare bevestiging (ShimLifts)

Bij een spoorwegovergang maakt een trein de overgang van een ondergrond bestaande uit dwarsliggers en ballast naar een ondergrond die verhard is. Die overgang zorgt ervoor dat de steentjes waaruit de ballast bestaat, wat in elkaar zakken. Hier kan een kunststof wig tussen de dwarsliggers en de spoorstaaf helpen: de ShimLift. Die maakt de overgang van de ene naar de andere ondergrond meer geleidelijk. We onderzochten of ShimLifts ook helpen bij het verminderen van trillingen.

Het onderzoek werd uitgevoerd in de omgeving van Deurne. Daar plaatsten we 16 ShimLifts onder het spoor, aan beide kanten van de overweg. Drie maanden lang maten we trillingen op verschillende afstanden van het spoor.

De resultaten van de metingen lieten een wisselend beeld zien. Trillingen door goederentreinen namen licht af. Het effect voor intercity's was niet voelbaar. En bij sprintertreinen zagen we soms een afname en soms een toename van trillingen. Al met al zorgen ShimLifts op de locatie in Deurne niet voor een duidelijke afname van trillingen rondom het spoor.



Resultaten

- Een licht positief effect op trillingen bij hogere frequenties.
- Toename van trillingen naarmate de treinsnelheid van de passerende trein hoger is.

Praktijkproef 4 Geogrid

Geogrids zijn kunststof rasters die op het spoor worden gebruikt om het onderhoud aan het spoor te beperken. Ze maken de spoorbaan stabiel en stijver. We onderzochten of dit ook betekent dat ze bijdragen aan vermindering van spoortrillingen.

Het onderzoek vond plaats op het traject Leeuwarden – Akkrum, niet ver van station Grou.

De resultaten laten een licht positief beeld zien: de gemeten trillingen namen licht af. Onduidelijk is of dit effect te maken heeft met de geogrids of met andere werkzaamheden die tegelijkertijd aan dit spoor werden uitgevoerd. Daarnaast rijden op dit traject alleen reizigers-treinen, waardoor het effect van goederentreinen niet gemeten kon worden.

Resultaten

- Een licht positief effect.
- Dit effect kan ook komen door andere werkzaamheden.
- Om betere resultaten te kunnen tonen, moeten ook trillingen veroorzaakt door goederentreinen worden gemeten.

Praktijkproef 5 Betonplaat

In het verleden heeft ProRail bij Deurne betonplaten onder het spoor aangebracht, in de veronderstelling dat die trillingen verminderen. De spoorstaven lagen er op kurkrubber in een sleuf, afgedicht met een elastische gietmassa. Onder een van de twee sporen lagen dergelijke betonplaten, onder het andere spoor niet. We haalden de betonplaten weg en vervingen ze door betonnen dwarsliggers in ballast. Dat deden we ten eerste omdat de platen aan het einde van hun levensduur waren. En ten tweede omdat de overgang van een betonnen ondergrond naar een ballastondergrond onderhoudsgevoelig is. Dat bood ons een goede mogelijkheid om het effect van de betonplaten op spoor-trillingen te meten. We konden de trillingen vergelijken voor en na de verandering van het spoorbed.

De uitkomsten van de metingen waren verrassend. In de jaren negentig was het effect ook gemeten, en toen toonden de resultaten een verbetering. Nu lieten de meetresultaten een afname van de trillings-opwekking zien in de lage frequenties, maar een toename in de hogere frequenties. Per saldo was het effect van het weghalen van de betonplaten positief. De metingen kwamen nu vrijwel overeen met die van het andere spoor, dat altijd al standaard was.

Niet duidelijk is hoe dit kan. Mogelijkerwijs lagen de betonplaten er na dertig jaar niet best meer bij.

Resultaten

- De vervanging van betonplaat door een normaal ballastspoor verminderde trillingen.
- Het is niet mogelijk om hier conclusies aan te verbinden voor andere locaties.
- Er kunnen meerdere verklaringen zijn voor de trillingsvermindering, bijvoorbeeld de onbekende staat van deze specifieke betonplaten.

Praktijkproef 6 Betonnen versus houten dwarsliggers

Binnen het IBS-programma onderzochten we het verschil in optredende trillingen als je houten dwarsliggers vervangt door betonnen dwarsliggers.

Het onderzoek is uitgevoerd op locaties in Nunspeet en Tegelen.

De metingen in Nunspeet lieten zien dat de trillingen (door reizigers-treinen) op 16 meter van het spoor bij betonnen dwarsliggers iets waren toegenomen ten opzichte van de situatie met houten dwarsliggers. Maar op een wat grotere afstand maten we juist een lager trillingsniveau. Bij Tegelen lieten de meetresultaten een daling van de trillingsniveaus zien.

Resultaten

- In Nunspeet veroorzaken betonnen dwarsliggers bij metingen op grotere afstand tot het spoor minder trillingen dan houten dwarsliggers.
- Voor het verminderen van trillingen is deze conclusie minder interessant, omdat het overgrote deel van het spoor al met betonnen dwarsliggers is uitgerust en houten dwarsliggers niet meer worden toegepast.

Praktijkproef 7 Halvering dwarsliggerafstand

Bij deze proef stond de vraag centraal of de afstand tussen dwarsliggers invloed heeft op spoortrillingen. De lichte doorbuiging van spoorstaven tussen twee dwarsliggers wanneer er een trein overheen rijdt, wekt trillingen op. Dit mechanisme wilden we verder onderzoeken. Extra dwarsliggers maken deze buiging kleiner, wat wellicht tot vermindering van trillingen leidt, was vooraf de gedachte.

Dwarsliggers in het Nederlandse spoor liggen op een afstand van 60 centimeter uit elkaar. We onderzochten wat het effect is bij halvering van de afstand tussen de dwarsliggers.

Het onderzoek werd uitgevoerd in een computersimulatie.

Op basis van de onderzoeksresultaten kan niet worden vastgesteld dat een halvering van de dwarsliggerafstand leidt tot een afname van spoortrillingen.

Resultaten

- Op basis van deze proef kan geen duidelijke conclusie worden getrokken over het effect van halvering van de afstand tussen dwarsliggers op spoortrillingen.
- We denken dat halvering van de afstand tussen dwarsliggers weinig potentie heeft.
- Er zijn allerlei praktische bezwaren tegen halvering (zo zijn stopmachines gemaakt op een afstand tussen de dwarsliggers van 60 centimeter).

Praktijkproef 8 Duurzame dwarsliggers

De afgelopen jaren zijn verschillende duurzame dwarsliggers op de markt gekomen. We onderzochten het effect van vier typen duurzame liggers op spoortrillingen, ten opzichte van de standaard betonnen dwarsligger. Drie van de vier typen dwarsliggers waren van kunststof, de vierde van zwavelbeton.

De proef werd uitgevoerd op een enkelsporig baanvak tussen Zwolle en Heino. Daar richtten we proefvakken in met de verschillende typen dwarsliggers.

Het onderzoek liet op 8 meter afstand geen verschil zien tussen de verschillende typen, en op 16 meter afstand zijn kleine verschillen gevonden die soms beperkt negatief en beperkt positief zijn. Al met al lijken duurzame dwarsliggers nauwelijks effect te hebben op trillingen.

Resultaten

- Duurzame dwarsliggers zorgen voor een kleine vermindering van spoortrillingen ten opzichte van standaard betonnen dwarsliggers.
- Het onderzoek beperkte zich tot één dagdeel, dat maakt het onderzoek minder representatief.
- Op het testbaanvak rijden alleen reizigerstreinen. We weten niet wat het effect is voor goederentreinen.

Praktijkproef 9 Wisselsanering

ProRail verwijdt op veel locaties in het land overbodige wissels. Ze zijn storingsgevoelig en de onderhouds- en vervangingskosten zijn hoog. We onderzochten in het IBS-programma wat het effect van wisselverwijdering is op spoortrillingen. Een wissel is een onderbreking van een spoorstaaf en we weten dat deze bijdraagt aan spoortrillingen. De vraag was in welke mate.

Het onderzoek werd uitgevoerd op een locatie in Zevenbergen. Voor de overgang van het ene spoor naar het andere lag er in beide richtingen een wissel.

Uit de metingen bleek dat het wissel in het oostelijk spoor tot aanzienlijk hogere trillingsniveaus leidde dan het wissel in het westelijk spoor. Na verwijdering van beide wissels liet het westelijke spoor vooral een afname zien in de lage frequenties. In het oostelijk spoor was het positieve effect nog groter, zij het in hogere frequenties. Voor nieuwe sprinters werd een grotere afname gemeten dan voor dubbeldekstreinen.



Resultaat

- Het verwijderen van wissels kan leiden tot een forse afname van spoortrillingen.

Praktijkproef 10 PSS-laag

PSS staat voor Planum Schütz Schicht. Het is een fijnmazig cement-achtig soort zand. Het wordt toegepast (vooral in Duitsland) om de draagkracht van het spoor te verbeteren, wanneer de bodem slap is. De PSS-laag maakt de grond onder het spoor stijver. We onderzochten of een PSS-laag ook bijdraagt aan minder spoortrillingen.

Het onderzoek werd uitgevoerd op het spoor bij Culemborg. Door de slappe bodem was het spoor daar zo instabiel geworden dat treinen er alleen met beperkte snelheid overheen mochten. We voerden metingen uit voorafgaand aan de werkzaamheden en na afloop.

Na het aanbrengen van de PSS-laag bleken trillingen met lage frequenties te zijn afgenomen. Bij hogere frequenties maten we een geringe toename. Per saldo lijkt een PSS-laag in slappe bodems bij te dragen aan minder spoortrillingen.



Resultaten

- In slappe bodems draagt een PSS-laag bij aan minder spoortrillingen.
- Kanttekening is dat bij de proef meer werkzaamheden werden verricht dan alleen het aanbrengen van een PSS-laag. Het is daardoor niet duidelijk welk effect toe te schrijven is aan de PSS-laag.
- De nametingen hebben vrij kort geduurd. Daardoor is niet duidelijk wat het effect op de langere termijn is.

Praktijkproef 11 Onderstoppen

Tijdens onderhoudswerkzaamheden wordt vaak onderstopt. Onderstoppen is een manier om de spoorligging en de spoorbaan te verbeteren. Een stopmachine zorgt ervoor dat de steentjes (de ballast) opgeschud worden en zo stabiel en dichter op elkaar komen te liggen. We onderzochten of een stabiel en compacter ballastbed ook bijdraagt aan minder spoortrillingen.

Het onderzoek werd uitgevoerd op meetlocaties bij Nunspeet, Oisterwijk en Heeze.

Het lastige is dat onderstoppen vrijwel altijd wordt gedaan in combinatie met andere onderhoudswerkzaamheden. Dat maakt het lastig om vast te stellen wat het trillingseffect is van louter onderstoppen.

De metingen bij Nunspeet lieten een toename van trillingen zien op korte afstand van het spoor en een afname op grotere afstand. Uit de metingen bij Oisterwijk bleek dat goederentreinen en locomotieven die voor reizigerstreinen worden gebruikt, meer trillingen veroorzaakten na onderstoppen. Bij Heeze bleken trillingen door reizigerstreinen op korte afstand van het spoor na onderstoppen te zijn afgenomen. Goederentreinen lieten vrijwel geen verschil zien. Op iets grotere afstand namen de trillingen voor beide treintypen licht toe.



Resultaten

- Er zijn geen duidelijke conclusies te trekken over het effect van onderstoppen op spoortrillingen.
- De meetresultaten op de drie locaties zijn niet eenduidig.
- Doordat onderhoud meestal uit meerdere maatregelen bestaat, is het specifieke effect van onderstoppen nader onderzocht bij de praktijkproeven Omgevingsgericht Beheer en Onderhoud (zie pagina 19 en 20).
- De meetlocaties bevonden zich alle drie op zandgrond. De resultaten geven dus geen inzicht in effecten bij andere bodemsoorten.

Praktijkproef 12 Overwegbevloering tussen de sporen in plaats van eronder

Bij spoorwegovergangen is de ondergrond waarover treinen rijden vaak van beton. Voor en na deze overwegplaten rijden de treinen meestal op een normaal ballastbed, bestaande uit dwarsliggers en steentjes (ballast). De overgang van de ene ondergrond naar de andere kan leiden tot verhoging van spoortrillingen.

Bij deze proef haalden we de betonnen plaat weg en brachten weer normale dwarsliggers op ballastbed aan. Als overweg plaatsten we harde rubberen delen tussen de sporen. Vanuit de trein gezien “voelt” deze helemaal geen overgang meer als deze de overweg passeert en ontstaan er dus ook geen trillingen.

De proef werd uitgevoerd tijdens de vervanging van een overwegvloer bij Dorst.

Uit de bevindingen blijkt dat deze maatregel leidt tot afname van spoortrillingen. Dit geldt voor verschillende treintypen, verschillende afstanden tot het spoor en verschillende frequenties.



Resultaten

- Rubberen overwegbevloering (Strail) draagt bij aan minder spoortrillingen.
- Het aanbrengen van rubberen vloeren bij overwegen is in het gehele land toe te passen.
- Een kanttekening is dat er meer wijzigde op de testlocatie in Dorst dan alleen de overwegvloer. Daardoor is niet helemaal duidelijk welk deel van het effect aan de rubberen overwegvloer is toe te schrijven.

Praktijkproef 13 Under Sleeper Pads

Under Sleeper Pads (USP's) zijn een soort elastische matten die worden bevestigd onder dwarsliggers. Ze dempen trillingen die ontstaan wanneer een trein over het spoor rijdt. In het buitenland worden USP's al toegepast om trillingen tegen te gaan, in Nederland zijn ze nog vrij onbekend. Doel van deze proef was inzicht te krijgen in het effect van USP's in de Nederlandse situatie.

De proef werd uitgevoerd op locaties bij Zevenaar en Oisterwijk.

De resultaten laten zien dat USP's vooral zorgen voor vermindering van trillingen in de hogere frequenties, bij reizigerstreinen en nog iets meer bij goederentreinen. Naarmate verder van het spoor werd gemeten, namen de effecten af. Op de relatief stijve zandbodem bij Oisterwijk was het positieve effect groter dan op de slappere zand- en kleibodem bij Zevenaar.



Resultaten

- Under Sleeper Pads dragen bij aan minder spoortrillingen.
- Dit effect doet zich vooral voor nabij het spoor en in de hogere frequenties.
- USP's lijken effectiever voor goederentreinen dan voor reizigerstreinen.

Innovatiecompetitie

ProRail organiseerde eind 2022 een innovatiecompetitie voor ondernemers: door middel van een Small Business Innovation Research (SBIR) aanbesteding. We hebben bedrijven gevraagd om met innovatieve maatregelen aan de spoorinfrastructuur te komen, die trillingen helpen verminderen. Uiteindelijk zijn vijf ideeën geselecteerd en in een praktijkproef onderzocht:

- Trillingsarme ligger
- Nastelbare ES-las
- Raitube
- Modulaire MetaBarrier
- Bio Inspired Soil Improvement

Praktijkproef 14 TrillingsArme Ligger

Beschadigde ES-lassen vormen een potentiële bron van trillingen. Met deze proef testten we een zogeheten TrillingsArme Ligger (TAL): twee aan elkaar gekoppelde lichtgewicht dwarsliggers die onder een ES-las worden aangebracht. Die ondersteunt de ES-las aan beide zijden, wat de kans op schade verkleint en daardoor mogelijkerwijs zorgt voor minder spoortrillingen.

Het idee voor deze proef kwam van de combinatie Witteveen+Bos, Logitech en Alom, en werd uitgevoerd in het spoor tussen Wezep en 't Harde.

De resultaten van deze proef worden in het najaar van 2025 verwacht.

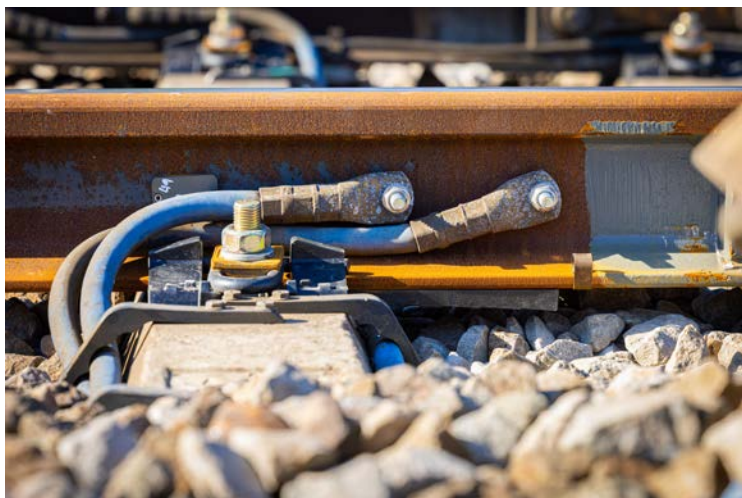


Praktijkproef 15 Nastelbare ES-las

In deze proef monitorden we met behulp van een sensor de ligging van een ES-las. Wanneer deze onvoldoende goed lag, plaatsten we een ShimLift (zie praktijkproef 3 op pagina 28). Wijkt de ligging van de ES-las na plaatsing van de ShimLift opnieuw af, dan wordt de ShimLift 'nagesteld'. Doel is het effect van plaatsing van een ShimLift te optimaliseren, in de verwachting dat de ES-las hierdoor minder snel gaat 'klapperen' – een belangrijke bron van spoortrillingen. Klapperen (op en neer veren) treedt op wanneer de ruimte tussen de dwarsligger en de ballast te groot wordt.

Het idee voor deze proef kwam van We-Boost en Kampa. De proef werd uitgevoerd op drie locaties langs de Brabant-route: in Breda, Teteringen en Tilburg.

De locatie in Breda liet het meest positieve effect zien in de lagere frequenties. Trillingen in de hoge frequenties namen juist licht toe. Ook op de locaties in Tilburg en Teteringen vonden we een variërend effect op spoortrillingen, zij het minder. Het nastellen daar leek niet veel effect te hebben.



Praktijkproef 16 Raitube

In deze proef plaatsten we een patroon van biologisch afbreekbare en pvc-buizen in de bodem. Dit om te testen of ze trillingsgolven breken en daarmee zorgen voor een snellere demping. Het patroon waarin de buizen liggen, is aan te passen, zodat het precies de juiste trillingsfrequenties aanpakt op een specifieke locatie, was de gedachte.

Het idee voor deze proef kwam van MIS7 in samenwerking met TNO. De proeflocatie bevond zich niet langs het spoor, daarom is er getest met een kunstmatige trillingsbron. We deden drie proeven: twee waarin de buizen waren gevuld met lucht en een waarbij de buizen waren gevuld met water.

Uit de eerste meetresultaten blijkt dat de trillingen inderdaad afnemen, zij het in een lagere frequentie dan vooraf verwacht. We maten geen verschil tussen de buizen met lucht en de buizen met water. Verder bleek de afbreekbare buis vrij kwetsbaar en lijken stalen buizen voor het verminderen van trillingen een beter alternatief.



Praktijkproef 17 Modulaire MetaBarrier

Dit is een betonnen scherm met daarin beweegbare elementen. Het scherm wordt vlak naast het spoor geplaatst, en is maar 1 tot 1,5 meter diep. De MetaBarrier is in Duitsland al een keer succesvol beproefd. De gedachte was dat de betonnen barrier trillingen reflecteert en absorbeert.

Het idee voor deze proef kwam van Arcadis, Kampa en We-Boost. Het werd getest naast het spoor bij Prinsenbeek, over een lengte van 60 meter.

Uit de metingen bleek de vermindering van trillingen kleiner te zijn dan vooraf verwacht. De MetaBarrier blijkt vooral een positief effect te hebben trillingen in de hogere frequenties. Het effect neemt af met afstand tot het spoor.



Praktijkproef 18 Bio Inspired Soil Improvement

Een combinatie van voedingsstoffen en bacteriën die samen een proces op gang brengen waarbij in een zandbodem een soort kalkzandsteen ontstaat. Dat was de kern van de proef Bio Inspired Soil Improvement (BISI). De kalkzandsteen maakt de bodem lokaal stijver en zo ontstaat een alternatieve Trillings Reducerende Ondergrondse Constructie (TROC). De verwachting was dat de stijvere bodem bijdraagt aan minder spoortrillingen.

Het idee voor deze proef kwam van de combinatie Groundwater Technology, Cohere Consultants en CBBG. De test is uitgevoerd op 8 meter van het spoor bij Diepenveen.

De metingen lieten zien dat op een afstand tot 12 meter van het spoor de trillingen verminderden. Op grotere afstand, tot 32 meter, maten we een hoger trillingsniveau in de hogere frequenties en een licht lager trillingsniveau in de lagere frequenties. Op een afstand tot 64 meter draaide het patroon om: een lichte afname in de hogere frequenties en geen effect op lage trillingsfrequenties.

De BISI maakte de bodem minder stijf dan voor af gedacht. Door meer rekening te houden met de specifieke eigenschappen van de bodem kan mogelijk een beter resultaat worden behaald.





4d Praktijkproeven innovaties materieel

Treinen staan op zogeheten draaistellen. Die zorgen er onder meer voor dat treinen een bocht kunnen maken: de wielen gaan dan een klein beetje 'scheef' op het spoor staan. Goederentreinen staan veelal op een specifiek type draaistel, Y25 geheten. In de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen is onderzocht of aanpassingen aan dit draaistel bijdragen aan vermindering van spoortrillingen.

Ricardo Rail voerde een bureaustudie uit naar twee aanpassingen aan het Y25-draaistel. Ten eerste vermindering van de zogeheten onafgeveerde massa met 20 procent. De onafgeveerde massa van trein is het deel dat zich onder de vering bevindt (wielen, assen, wielophanging e.d.). De wagon erboven is wel afgeveerd. Ten tweede het toevoegen van een specifieke rubberen ring in de draaikom van het draaistel. Het onafgeveerde deel van een trein veroorzaakt relatief veel trillingen. In de studie onderzochten we twee maatregelen die de trillingen, veroorzaakt door het Y25-draaistel, mogelijkwerijs verminderen.

Door toepassing van holle assen van hoogwaardig staal is een gewichtsvermindering van het draaistel te bereiken van ongeveer 20 procent, laat de studie zien. Een kanttekening hierbij is dat holle assen gevoeliger zijn voor roest en scheurvorming en dus de onderhoudskosten kunnen verhogen.

Over het effect van het toevoegen van een rubberen ring doet de studie geen duidelijke uitspraak. De praktijkproef vindt plaats in 2026.



5 STEM

De TU Delft, Deltares en TNO werken samen met ProRail aan de ontwikkeling van een rekenmodel voor spoortrillingen, het Spoor Trillingen Emissie Model (STEM).

Het STEM-rekenmodel heeft als doel om te voorspellen in welke situaties spoortrillingen optreden en in welke situaties een specifieke maatregel effectief is. Met het model zijn de oorzaken van hoge trillingsniveaus beter te achterhalen.

Het STEM-rekenmodel is specifiek ontwikkeld voor ingenieursbureaus die zich richten op trillingen. Dankzij het model kunnen zij nauwkeuriger adviseren over de meest effectieve maatregelen op een specifieke locatie.

De ontwikkeling van het STEM-rekenmodel is gestart in 2022. In januari 2024 was de eerste versie van het STEM-rekenmodel gereed. Andere onderzoeken binnen het IBS-programma waren toen al volop in uitvoering of zelfs al uitgevoerd. Dit heeft ertoe geleid dat het combineren van resultaten uit bijvoorbeeld praktijkproeven met simulaties met het STEM rekenmodel nog niet voldoende hebben kunnen plaatsvinden.

Voor de ontwikkeling van het STEM-rekenmodel zijn ook vier promotie-onderzoeken bij de TU Delft gestart. De laatste onderzoeker is medio 2024 gestart. Na beëindiging van het IBS-programma lopen deze promotieonderzoeken door. Het gaat om de volgende onderzoeken:

1. Een onderzoek naar onderbrekingen in spoorstaven, met name door ES-lassen. Het onderzoek moet opleveren dat we aan het STEM-rekenmodel een functionaliteit kunnen toevoegen die het effect van een ES-las op spoortrillingen berekent. Als onderdeel van het onderzoek zijn metingen uitgevoerd in de buurt van Oisterwijk en Boxtel, waar bij een ES-las een uitvoerige meetopstelling is geplaatst.
2. Een onderzoek naar vermindering van de kwaliteit van het ballastbed in de loop der tijd, en de gevolgen daarvan voor spoortrillingen. Welke mechanismen zorgen voor dit kwaliteitsverlies? En hoe beïnvloedt dit het gedrag van het ballastbed en daarmee de verandering in trillingsniveaus?
3. Een onderzoek naar de vraag hoe trillingsgolven zich voortbewegen in de bodem. Hoe kan de voortbeweging van spoortrillingen door de bodem goed in een model worden opgenomen? Wat is de invloed van lokale verschillen in de bodem op spoortrillingen?

4. Een onderzoek naar de verschillende richtingen van spoortrillingen. Meestal meten we de verticale trillingen, veroorzaakt door de wisselwerking tussen trein en spoor. Maar treinen veroorzaken ook horizontale trillingen. Onderzocht wordt in hoeverre modellen die volstaan met het beschrijven van verticale wisselwerking in staat zijn om trillingsniveaus in alle richtingen goed te voorspellen.

De ontwikkeling van het STEM-rekenmodel loopt door tot medio 2026. Ook daarna nog kunnen nieuwe onderzoeksresultaten, waaronder input van de promotieonderzoeken, het rekenmodel aanvullen.

Hielke Zandberg, Vakspecialist Omgevingseffecten bij ProRail

“Ik was vanaf het begin betrokken bij de IBS. Aan het begin van het programma merkten we dat de verleiding groot was om zo veel mogelijk te gaan meten. Voor mij was daarom de grootste uitdaging om keuzes te maken: hoe zorgen we ervoor dat we én fundamentele kennis opbouwen over spoortrillingen én het behapbaar houden. Om die dingen te meten die de spoorinfrastructuur en het spoormaterieel beter maken. Of die eraan bijdragen dat we het spooronderhoud zo inrichten dat het bijdraagt aan vermindering van trillingen. Want uiteindelijk gaat het er natuurlijk om dat we toepasbare kennis opdoen.”





6 Hoe verder na de IBS?

In gesprek met:

**Irene Kraak, Programmamanager IBS bij ProRail en
Chiel Roovers, Manager Team Omgevingseffecten bij ProRail**

De belangrijkste opbrengst van de IBS is dat ProRail veel kennis heeft opgedaan over het ontstaan van spoortrillingen, zodat beter te voorspellen is wat de effecten van maatregelen kunnen zijn voor de diverse situaties in Nederland met verschillende bodemtypes en verschillende type gebouwen. “Het is aan de politiek om te bepalen of we met deze kennis in de praktijk ook verder zullen gaan, want de aanpak van trillingen blijft complex en is kostbaar”, zeggen Irene Kraak en Chiel Roovers.

Voor manager Omgevingseffecten Chiel Roovers waren spoortrillingen al ver voor de IBS een belangrijk onderwerp. “We hielden ons er ook al heel lang mee bezig, ook met onderzoek naar oorzaken, mogelijke oplossingen en met praktische maatregelen. Zo zijn er op zes locaties in het land ondergrondse schermen aangebracht. Die zijn enkele honderden meters lang en gaan tot wel tien meter de grond in. Daarmee voorkom je dat een deel van de trillingen via de bodem de nabijgelegen woningen bereiken. Alleen zijn dit erg dure maatregelen en hebben ze nadelige bijeffecten, bijvoorbeeld voor de grondwaterhuishouding. Vandaar dat we ons realiseerden dat we trillingen alleen kosteneffectief kunnen verminderen als we ze bij de bron aanpakken. En daar wisten we eigenlijk maar weinig van.”

Logeren naast het spoor

Het gebrek aan fundamentele kennis over spoortrillingen begon steeds meer te knellen. Onder meer door een groeiend aantal klachten vanuit de omgeving. In 2017 en 2018 besteedden diverse tv-programma's aandacht aan het onderwerp. Een Kamerlid is zelfs een keer bij een omwonende thuis gaan logeren om zelf aan den lijve te ondervinden wat spoortrillingen in de praktijk betekenen. “De druk vanuit de omgeving en vanuit de Tweede Kamer vormde een vruchtbare bodem om te investeren in kennis en kunde om het spoorgebruik structureel trillingsarmer te krijgen. Dat werd in 2021 het IBS-programma”, zegt Roovers. “Voor ons was het tot die tijd erg onbevredigend dat we telkens moesten vertellen dat het onderzoek naar de bron van trillingen nog in de kinderschoenen stond. Met de IBS hebben we dit onderzoek een enorme boost gegeven.”

Kennisnetwerk

Vanaf het begin van de IBS was samenwerking tussen tal van partijen binnen de spoorbranche een wezenlijk uitgangspunt, zegt Irene Kraak, programmamanager Innovatieagenda Bronaankpak Spoortrillingen. "In eerste instantie spraken we met name met ingenieursbureaus die ons al adviseerden over maatregelen tegen trillingen. Ze hadden allemaal hun eigen modellen en ervaringen. Een belangrijke conclusie die we toen samen hebben getrokken, is dat we een gemeenschappelijke wetenschappelijke basis wilden leggen onder de aanpak van trillingshinder. Om dat goed te organiseren, vroegen we de deelname van TU Delft, Deltares en TNO aan het programma. Zo groeide de groep van deelnemers aan de IBS min of meer organisch. Via een 'small business innovation research' (SBIR) vroegen we ook partijen die we nog niet goed kenden om met innovatieve ideeën te komen. Een aantal van deze partijen sloot ook aan, omdat hun ideeën kansrijk leken. En natuurlijk hadden we ook de kennis nodig van de vervoerders. En van de aannemers die voor ons beheer en onderhoud doen. In kennissessies verbonden we al deze partijen met elkaar."

"Grip gekregen op trillingen"

Beter kwantificeren en voorspellen

De IBS heeft volgens Kraak en Roovers zowel praktijkkennis opgeleverd als een wetenschappelijke basis voor die kennis. "Voor mij is het belangrijkste resultaat van de IBS dat we trillingen nu beter kunnen kwantificeren en voorspellen", zegt Roovers. "We hebben er meer grip op gekregen. We hoeven niet meer direct te zeggen dat we wel iets kunnen doen, maar dat we eigenlijk niet goed weten wat het effect is. Dat weten we nu beter."

Kraak: "We wisten al dat trillingen – net als geluid – toenemen als de kwaliteit van het spoor of het materieel slechter wordt. Nu hebben we op het gebied van beheer en onderhoud een veel beter antwoord op de vraag waar we op moeten letten – niet alleen vanuit veiligheid en beschikbaarheid van het spoor, maar ook vanuit trillingshinder voor de omgeving. We weten nu dat goed onderstoppen, het netjes in stand houden van het ballastbed op de voorgeschreven manier, heel goed werkt. Een resultaat dat er bij de praktijkproeven uitsprong, was de vervanging van betonplaten onder de sporen bij spoorwegovergangen door rubberen platen tussen de spoorstaven. De trein "voelt" daar de overweg niet meer, en de mensen in de omgeving van zo'n overweg hebben dan ook aanzienlijk minder last van trillingen."



Hoe verder na de IBS?

De IBS is afgerond. De hamvraag is nu: hoe verder? Hoe zorg je ervoor dat de opgedane kennis zich vertaalt in praktische toepassingen die leiden tot minder trillingshinder voor omwonenden van het spoor? ProRail werkt nu zogeheten implementatieplannen uit voor het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Daarin staat een praktische vertaling van wat er allemaal moet gebeuren om maatregelen uitgevoerd te krijgen. Roovers: "Nu we bijvoorbeeld weten dat de achteruitgang van de kwaliteit van het spoor een oorzaak is van trillingshinder, kunnen we de consequenties en de kosten onderzoeken om dat tegen te gaan. En hoe kunnen we dit een plek geven in de contracten met de spooraannemers? Zo worden voor alle resultaten van de IBS de vervolgstappen beschreven in implementatieplannen. Ook hebben we de open eindjes beschreven als opties voor vervolgonderzoek, want ondanks al het onderzoek is nog niet alles rondom het ontstaan en reduceren van trillingen nu bekend. Uiteindelijk is het aan de politiek om op basis van onder andere al deze resultaten te bepalen of maatregelen in de praktijk ook toegepast zullen gaan worden, want de aanpak van trillingen blijft complex en is kostbaar."

Structurele samenwerking

Een blijvend succes van de IBS is dat een groot aantal spoorpartijen hun kennis en ervaring op het gebied van spoortrillingen delen. "Een van de voorstellen die we aan het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat doen, is om dit branchenetwerk in stand te houden", zegt Irene Kraak. "Zo zouden we bijvoorbeeld bijeenkomsten over het onderwerp spoortrillingen kunnen blijven organiseren voor specialisten uit de branche. Daarnaast zijn we momenteel voor diezelfde doelgroep een opleiding aan het ontwikkelen waarin alle kennis uit de IBS gebundeld is en in losse modules gevolgd kan worden zodat iedereen precies die kennis kan opdoen die ze zoeken. Daarmee creëren we structureel samenwerking en diepgang. Verder organiseren we in 2026 een internationale workshop, omdat ook buitenlandse spoorbeheerders belangstelling hebben voor de resultaten van de IBS. We hebben kennis opgedaan die ook daar niet voorhanden is. En die we graag delen."

Colofon

Publicatie

ProRail B.V., november 2025

Tekst en redactie

ProRail en Jos Moerkamp, Public Creation

Fotografie

Stefan Verkerk (www.bouwfotograaf.nl)

duckdev. (www.duckdev.nl)

Taco Anema

Vincent Basler

Chantal van den Berg

Vormgeving

Combinatie Inpladi / Rock The Boat

Meer informatie

www.prorail.nl/programmas/

innovatieagenda-bronaanpak-spoortrillingen

ProRail

Verbindt. Verbetert. Verduurzaamt.