Praktijkproef wielonderhoud

Samenvattende eindrapportage

Voor: De Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen van ProRail

21 oktober 2025
Referentie: BUCO/JP/7534/905292
Versie: 4

Documentgeschiedenis en autorisatie

Versie	Datum	Wijzigingen
1.0	14 april 2025	Eerste versie
2.0	16 juli 2025	Uitgebreid met laatste inzichten uit haalbaarheidsonderzoek
3.0	19 september 2025	Na interne review en review door stuurgroepleden
4.0	21 oktober 2025	Na review door stuurgroepleden

Opgesteld door: Jasper Peen en Niels Baltus

Getekend: JP-019-033Y8765 ..... Datum: 20 oktober 2025 .....

Collegiaal getoetst door: Ilse Vermeij

Getekend: IV-046-033H2212 ..... Datum: 21 oktober 2025 .....

Vrijgegeven door: Ilse Vermeij

Getekend: IV-046-033H2212 ..... Datum: 21 oktober 2025 .....

This document was prepared for De Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen van ProRail. The information herein is confidential and shall not be divulged to a third party without the prior permission of Ricardo Nederland BV.

Ricardo Ltd, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the 'Ricardo Group'. The Ricardo Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Ricardo Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

© **Ricardo Ltd 2025**

Management samenvatting

Deze samenvattende rapportage beschrijft de aanpak en de resultaten van de praktijkproef wielonderhoud die is uitgevoerd in het kader van de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS). Deze praktijkproef richtte zich op de invloed van wielrondheid op spoortrillingen en heeft mogelijkheden onderzocht om met aanvullend wielonderhoud op basis van nieuwe monitoringstechnieken trillingen te verminderen. De kwaliteit van de baan (onderbouw, bovenbouw, onderhoud, innovaties) was een apart onderzoeksgebied van de IBS en worden apart gerapporteerd[1]. Andere aspecten zoals waterhuishoudingbeheer, maatregelen voor trillingsoverdracht tussen spoor en woningen en bouwkundige aspecten van woningen lagen buiten de scope van dit onderzoek en het IBS programma. Voor de aanleiding en meer achtergrond informatie over de IBS verwijzen we naar de bijlage.

Er is binnen de praktijkproef een uitgebreid meetprogramma uitgevoerd op verschillende locaties, dit heeft de volgende belangrijkste inzichten opgeleverd:

- *Locomotieven zijn vaak maatgevend voor het trillingsniveau. Maar de wielen van locomotieven bevatten niet vaak afwijkingen en er is daarom geen relevant verbeterpotentieel door het uitvoeren van extra wielonderhoud.*
- *Reizigerstreinstellen hebben niet de hoogste trillingsniveaus, maar de positieve invloed van wielonderhoud op trillingsniveaus is aangetoond. Er is geen relevant verbeterpotentieel met het uitvoeren van extra wielonderhoud ten aanzien van hinderreductie.*
- *Goederenwagons zijn soms maatgevend voor het trillingsniveau. Voor een deel van de passages wordt dit veroorzaakt door een meetbare verminderde wielkwaliteit van deze wagons. Met berekeningen is aangetoond dat het voor reductie van spoortrillingen effectief is (mits wordt voldaan aan hieronder beschreven randvoorwaarden) om in deze gevallen extra wielonderhoud ('trillingsonderhoud') uit te voeren en zo trillingen te reduceren.*

De specifieke resultaten per meetlocatie worden ook beïnvloed door bodemtype, baanconstructie en gebouweigenschappen. En ook aan de trein gerelateerde eigenschappen zoals materieeltype, aslast en snelheid van de trein spelen een rol.

Specifiek voor goederenwagons zijn verschillende scenario's onderzocht voor trillingsonderhoud. Dit onderhoud zou dan worden gedaan bovenop het onderhoud dat nu al op basis van de Europese regelgeving wordt uitgevoerd. Drie voorbeeldscenario's zijn hiervoor uitgewerkt, waarbij bij twee scenario's gekozen is om specifiek te focussen op kolen/erts transport. Dit omdat hier de grootste verbeterpotentie gezien wordt. Daarbij is gekeken naar haalbaarheid en kosten. Om deze onderhoudsscenario's uitvoerbaar te maken moet aan verschillende belangrijke randvoorwaarden voldaan worden. Zo is commitment van een groot aantal internationale partijen nodig, moeten veel onderlinge afspraken gemaakt worden en nieuwe processen worden ingericht. Ook moeten extra rangeer- en onderhoudsfaciliteiten worden gebouwd en reserve wagons en wielstellen beschikbaar komen. De geschetste scenario's zorgen voor kostenverhogingen van het spoorgoederenvervoer in Nederland van enkele miljoenen tot enkele tientallen miljoenen euro's per jaar. Dit zal negatief effect hebben op de gewenste modal shift. Met behulp van de prijselasticiteit is het volumeverlies bepaald, wanneer deze kosten door de spoorgoederensector zelf zouden moeten worden gedragen. In onderstaande tabel zijn de geschatte mate van reductie, de kosten, het volumeverlies en de

[1] Voor een totaal integraal overzicht van alle projecten en resultaten van het IBS programma wordt verwezen naar de eindrapportage IBS [13]

beschouwde aspecten hanteerbaarheid, implementeerbaarheid en operationele en commerciële impact van drie onderzochte voorbeeld scenario's samengevat in vergelijking met de huidige situatie.

Scenario	Mate van reductie	Hanteer-baarheid	Implemen-teerbaar-heid	Operationele en commer-ciële impact	Meer-kosten	Impact transport volume van deze sector
0- huidige situatie	0	0	0	0	0	0
1 – preventief kolen/erts	0-9%[2]	--	---	-	23,4 M€/jr	-35%
2 – correctief alle wagons, lagere onderhoudsgrens	0-20%[2]	---	----	----	47,6 M€/jr	-15%
3 – correctief kolen/erts, hogere onderhoudsgrens	0-5%[2]	-	--	--	4,1 M€/jr	-6%

Met de geschatte kosten en hinderreductie kan worden afgewogen of het uitvoeren van trillingsonderhoud om hinder te reduceren doelmatig is. Het kan daarbij in verhouding worden gezet tot de doelmatigheid van andere bronmaatregelen aan het spoor, maar ook met maatregelen in de overdracht of de bebouwing. Mocht trillingsonderhoud doelmatig blijken dan wordt geadviseerd de mogelijkheden verder te onderzoeken met de daarvoor benodigde partijen. Mocht er bij voldoende partijen commitment zijn dan wordt geadviseerd te starten met een pilot op kleine schaal, waarbinnen de nieuwe processen uitgebreid beproefd kunnen worden. Ook als het niet doelmatig is, kunnen de inzichten uit het onderzoek gebruikt worden om te zorgen dat wielen die niet aan de nu al geldige onderhoudsnormen voldoen beter worden gedetecteerd.

[2] Dit is locatieafhankelijk, de range geeft aan wat voor verschillende locaties in Nederland vastgesteld is. Het betreft de geschatte reductie van het gemiddelde trillingsniveau van de 10% goederentreinpassages met hoogste trillingsniveaus. Bij individuele treinpassages kan het trillingsniveau veel meer reduceren. De reductie van het totale gemiddelde trillingsniveau bij de locatie is verwaarloosbaar.

1. Inleiding

Deze samenvattende rapportage beschrijft de aanpak en de resultaten van de praktijkproef wielonderhoud die is uitgevoerd in het kader van de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS). De proef moest meer inzicht geven in de mogelijkheid tot het verminderen van spoortrillingen door ander wielonderhoud. Deze proef is opgezet door ProRail en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat samen met andere partijen uit de sector. Het gaat om ondernemersorganisaties RailGood en Evofenedex, reizigersvervoerder NS, wagoneigenaren Ermewa en VTG, verladers Sabic, Fibrant, Tata Steel en Nedmag en goederenvervoerder RTB Cargo. De praktijkproef is uitgevoerd onder technische begeleiding van Ricardo Rail.

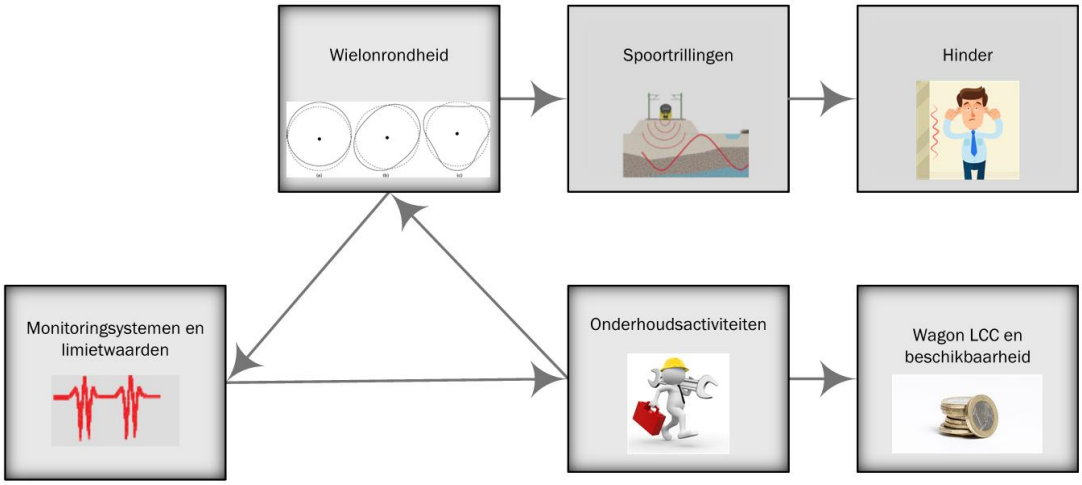
1.1 Doelstelling praktijkproef

Het doel van de proef was om:

- Meer inzicht te krijgen in welke mate spoortrillingen kunnen worden verminderd door het internationaal toepassen van nieuwe onderhoudsregels voor wielen, gebaseerd op nieuwe monitoringstechnieken;
- De invloed van ander wielonderhoud op kosten, beschikbaarheid en veiligheid van het spoorvervoer vast te stellen.

1.2 Aanpak praktijkproef en opbouw rapport

Om de hierboven geformuleerde doelen te bereiken is gezocht naar de relaties zoals weergegeven in Figuur 1. Er is eerst gezocht naar de relatie tussen wielonrondheid, spoortrillingen en hinder. Hiervoor is een uitgebreid meetprogramma uitgevoerd, wat in hoofdstuk 0 is beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten uit de analyse ervan gepresenteerd. Daarbij is ook gekeken of de wielonrondheid te meten is met bestaande monitoringsystemen en of deze monitoringsystemen te gebruiken zijn voor het aansturen van onderhoudsactiviteiten, zie ook hoofdstuk 4. Uiteindelijk heeft wielonderhoud impact op de kosten en beschikbaarheid van treinen/wagons en dit is in de laatst stap van de proef onderzocht. Hoofdstuk 5 beschrijft de inzichten die hieruit naar voren zijn gekomen. In hoofdstuk 6 worden de belangrijkste conclusies uit het onderzoek weergegeven.



Figuur 1: Relaties tussen verschillende parameters

1.3 Internationale context goederenmaterieel

Een belangrijk aspect waarmee rekening gehouden is, is de internationale context van het spoorgoederenvervoer. Dit is in Nederland is namelijk voor het grootste deel internationaal, met materieel van veelal buitenlandse partijen. Daarnaast zijn er heel veel wagons die maar af en toe in Nederland zijn omdat ze voornamelijk elders in Europa rijden. Dit materieel wordt onderhouden volgens internationale regels[3]. Er moet rekening gehouden worden met Europese wet- en regelgeving: rollend materieel moet onder meer ongehinderd door de Europese lidstaten kunnen rijden. Een aanpak die past in deze internationale context is daarom een belangrijke voorwaarde om tot een haalbare en geaccepteerde aanpak te komen.

[3] Elk spoorvoertuig moet, voordat het in gebruik wordt genomen, worden toegewezen aan een met het onderhoud belaste entiteit (ECM). Deze entiteit is verantwoordelijk voor het onderhoud en zorgt ervoor dat het voertuig in een veilige staat verkeert. Dit omvat het naleven van onderhoudsdossiers en geldende voorschriften, inclusief de Technische Specificaties voor Interoperabiliteit (TSI).
De Technische Specificatie voor Interoperabiliteit betreffende goederenwagons, bekend als de TSI WAG, is een Europese regelgeving die de technische en functionele eisen vastlegt voor het subsysteem 'rollend materieel – goederenwagons'. Deze specificatie is van toepassing op goederenwagons. De TSI WAG stelt eisen aan het onderhoud en de certificering van goederenwagons om een hoog niveau van veiligheid en betrouwbaarheid te waarborgen.

2. Data verzamelen

Om inzicht te krijgen in de relaties zoals afgebeeld in Figuur 1 zijn verschillende soorten metingen verricht om data te verzamelen. Het gaat om de volgende metingen:

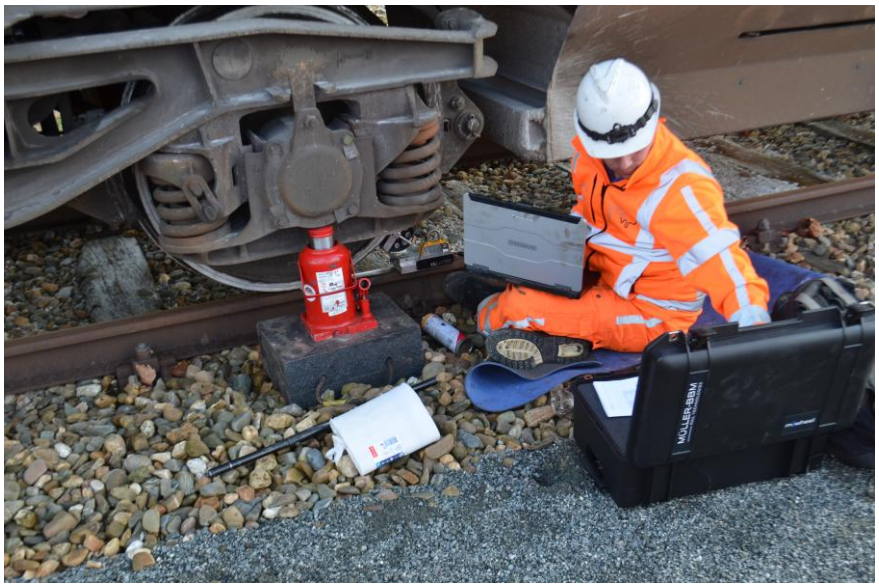
- Wielrondheid
- Spoortrillingen
- Wiel-rail krachten

Deze metingen zijn verricht aan reizigerstreinstellen en reguliere goederentreinen van verschillende vervoerders met materieel van verschillende eigenaren voor diverse verladers.

2.1 Wielmetingen

De wielrondheid-metingen zijn op twee manieren uitgevoerd. Voor reizigerstreinstellen zijn gegevens gebruikt van de kuilwielenbank. Deze machine maakt de wielen tijdens wielonderhoud weer rond en meet daarbij ook de wielrondheid voorafgaand aan het onderhoud. De wielrondheid van goederenwagons is opgemeten nadat een aantal wagons is geselecteerd op basis van de gemeten spoortrillingen bij passage van deze wagons langs de infra meetlocaties van het project. Met Quo Vadis gegevens is vastgesteld dat de ingemeten wielen een redelijk representatieve afspiegeling zijn van de gehele vloot van goederenwagons [9]. Deze geselecteerde wagons moesten uit bedrijf gehaald worden en apart gezet worden om de wielen op te kunnen meten. Het grote verschil tussen deze wielrondheid-metingen is dat de wielen van reizigerstreinstellen na de meting onderhoud krijgen en die van goederenwagons niet. In Figuur 2 staat een voorbeeld van een wielmeting aan een goederenwagon. De wielmetingen zijn uitgevoerd door M+P.

Verder zijn er ook goederenwagons geweest die tijdens de proef wielonderhoud hebben gekregen. De wagoneigenaren hebben deze gegevens met het project gedeeld om mee te kunnen nemen in het onderzoek.



Figuur 2: Voorbeeld van een wielmeting aan een goederenwagon door M+P

2.2 Meetstations

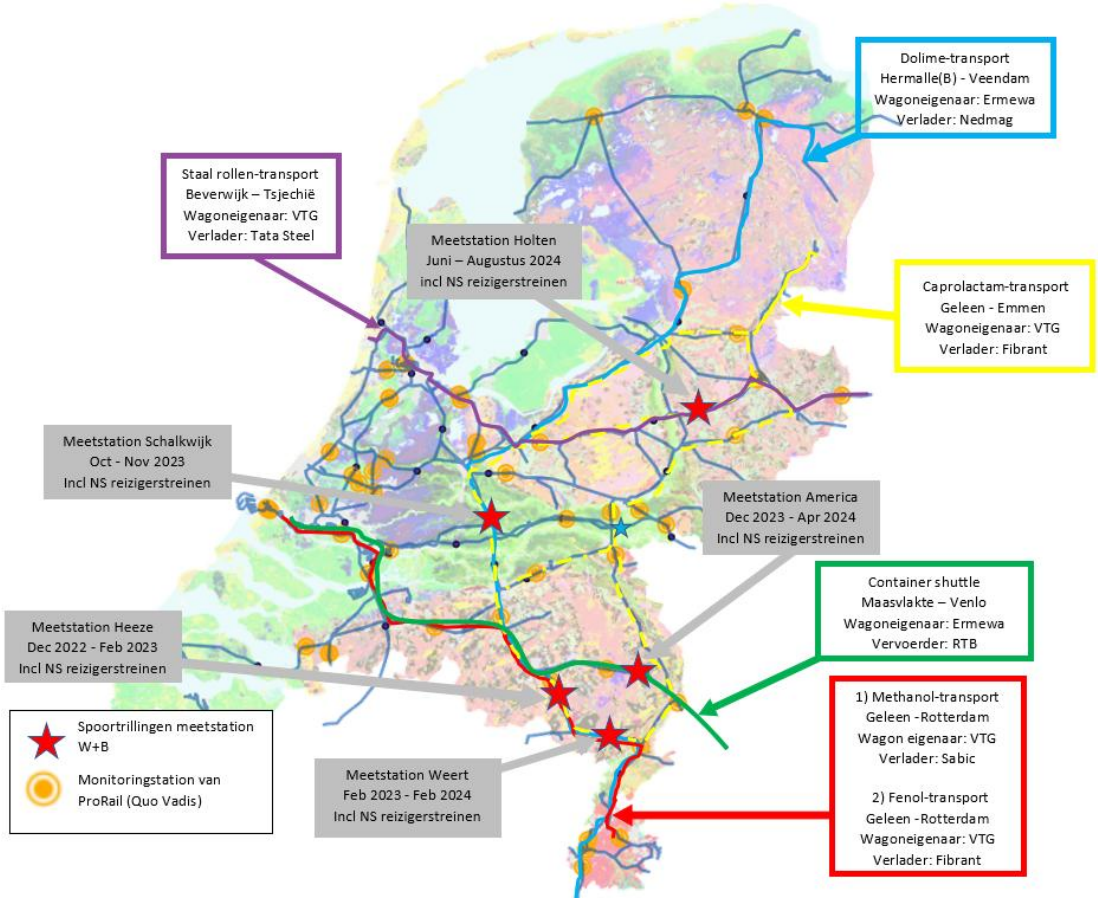
De spoortrillingen zijn gemeten door Witteveen+Bos. Op vijf locaties hebben zij meetstations geplaatst die variërend van 1 tot 12 maanden actief zijn geweest. Elk meetstation heeft de trillingen gemeten op 4, 8 en 25 meter afstand van het spoor. Daarnaast had elk meetstation ook nog een sensor in een gebouw of woning op zo'n 25 meter van het spoor en is ook de waterstand in de bodem meegenomen. De meetstations hebben op de volgende locaties gestaan waarvan het bodemtype variërend is en er verschillende types rollend materieel passeren:

- Heeze (zandbodem, relatief stijf)
- Weert (zandbodem, relatief stijf)
- Schalkwijk (veenbodem, zeer slap)
- America (zandbodem, relatief stijf)
- Holten (zandbodem, relatief stijf)

Figuur 4 geeft een impressie van de meetlocatie in Holten.

De wiel-rail krachten zijn gemeten door het Quo Vadis monitoringsysteem van ProRail. Deze monitoringstations staan op meerdere locaties in Nederland en zijn onder andere bedoeld om wielen met verminderde wielkwaliteit te detecteren. De spoortrillingenmeetstations, de Quo Vadis monitoringstations van ProRail, goederentreinen waar aan gemeten is en het bodemtype zijn afgebeeld in Figuur 3.

Met al deze verzamelde data is in kaart gebracht hoe vaak wielen met verminderde kwaliteit voorkomen en welk verband er is met trillinghinder. Daarnaast is gekeken in hoeverre wielen met verminderde kwaliteit kunnen worden gedetecteerd door de monitoringstations en of ander wielonderhoud, gericht op wielen met verminderde kwaliteit (hier 'trillingsonderhoud' genoemd) kan helpen hinder te verminderen.



Figuur 3: Overzicht spoortrillingen meetstations, monitoringstations van ProRail, treinen en bodemtype

Figuur 4: Het meetstation bij Holten met willekeurig passerende trein (foto Hans-Willem Vroon)

3. Invloed wielrondheid op trillingen en hinder

De door Witteveen+Bos uitgevoerde analyses met de verzamelde data heeft een aantal belangrijke inzichten gegeven [2]. Algemeen kan gesteld worden dat er veel verschillende aspecten invloed hebben op trillingen en hinder. Een aantal van deze aspecten zijn:

- Snelheid van de trein
- Aslast
- Materieeltype
- Bodemtype

Dit onderzoek richtte zich op de invloed van wielkwaliteit op spoortrillingen. De kwaliteit van de baan (onderbouw, bovenbouw, onderhoud, innovaties), waterhuishoudingbeheer, overdracht maatregelen tussen spoor en woningen en bouwkundige aspecten van woningen vallen buiten de scope van dit onderzoek. De kwaliteit van de baan (onderbouw, bovenbouw, onderhoud en innovaties) was een apart onderzoeksgebied van de IBS[1].

3.1 Locatieafhankelijkheid

Uit de analyses is gebleken dat de invloed van wielkwaliteit verschilt per locatie. Bij de meetlocatie in Weert is de wielkwaliteit het meest van invloed op spoortrillingen. Het bodemtype van Weert is relatief stijf. In iets mindere mate is de wielkwaliteit van invloed op de meetlocatie in America, en nog minder in Holten. Deze locaties hebben een vergelijkbaar bodemtype.

Op de locatie Schalkwijk is de invloed van wielkwaliteit bijna niet terug te zien in de spoortrillingen. De bodem bij Schalkwijk is zeer slap en het aspect dat hier de meeste invloed heeft op spoortrillingen is de aslast en de samenstelling van de trein. Hoe hoger de aslast, hoe hoger de trillingsniveaus. Na aslast volgen materieeltype en snelheid van de trein die hier van invloed zijn op de trillingsniveaus. Dat betekent dat voor deze locatie trillingen niet verminderd kunnen worden door ander wielonderhoud.

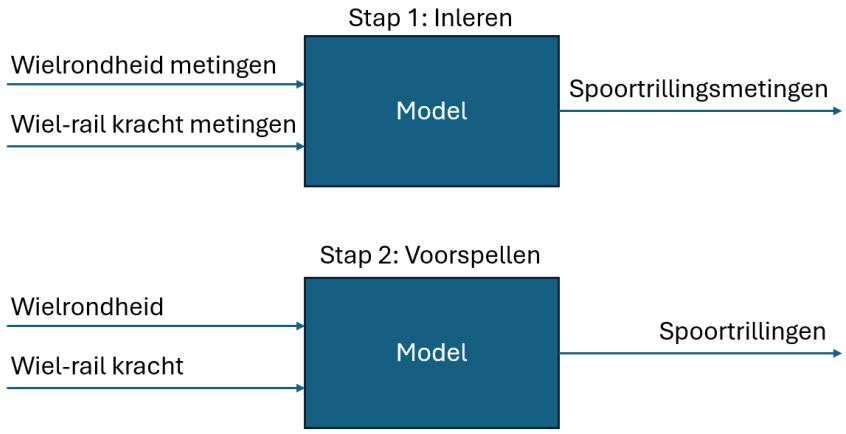
3.2 Directe meting effect wielonderhoud reizigersmaterieel

Zoals eerder vermeld zijn de wielrondheid-metingen aan de reizigerstreinstellen uitgevoerd vlak voordat wielonderhoud werd uitgevoerd. Hierdoor was het mogelijk om de passages van deze reizigerstreinstellen vóór en na wielonderhoud te vergelijken. Uit dit vergelijk volgde dat het verbeteren van de wielkwaliteit een positieve invloed heeft op spoortrillingen. De trillingsniveaus nemen namelijk af na het uitgevoerde wielonderhoud. De spoortrillingen zijn gemeten op verschillende afstanden (4, 8 en 25 meter) van het spoor. Voor hinder is de 25 meter afstand maatgevend maar hoe groter de afstand tot het spoor is, hoe kleiner de afname van trillingsniveaus. De gemiddelde afname van trillingsniveaus op 25 meter van het spoor is bijna niets, echter worden de verschillen tussen trillingsniveaus (de spreiding) wel kleiner. Dit betekent dat de enkele uitschieters (in het veroorzaken van hoge trillingsniveaus) zijn verdwenen na het uitvoeren van wielonderhoud. Dit is een belangrijke conclusie omdat hiermee wordt aangetoond dat het verbeteren van wielkwaliteit de trillingsniveaus omlaag kan brengen. Echter, het verlagen van trillingsniveaus betekent niet direct dat er ook een waarneembaar positief effect is voor hinder. Hiervoor verwijzen we naar het RIVAS onderzoek [7], daar is namelijk beschreven dat een afname in trillingsniveau van minimaal 25 à 40% pas waarneembaar is door mensen. Zulke verschillen zijn niet waargenomen op 25 meter afstand van het spoor voor deze reizigerstreinstellen.

3.3 Model voor effect wielonderhoud bij goederentreinen

Uit de praktijkproef bleek dat trillingsniveaus voor treinen die door een locomotief getrokken worden (zowel reizigerstreinen als goederentreinen), over het algemeen hoger zijn. Hiervoor is er onderzoek gedaan naar de passages waarbij de locomotief maatgevend is voor het trillingsniveau. Deze trillingsniveaus worden niet beïnvloed door de wielkwaliteit van de locomotief, locomotieven met verminderde wielkwaliteit komen nauwelijks voor. De verklaring voor de hogere trillingsniveaus is de hogere aslast van een locomotief.

Een ander waargenomen effect is dat de verschillen in trillingsniveaus tussen goederentreinen (de spreiding) veel groter zijn dan tussen reizigerstreinstellen. Daarbij speelt mee dat er passages zijn waarbij de wagons maatgevend zijn voor het trillingsniveau en dus niet de locomotief. Of deze door wagons veroorzaakte trillingsniveaus beïnvloed zijn door de wielkwaliteit is uitgebreid onderzocht. Omdat bij het onderhoud van goederentreinen nooit de hele trein onderhoud krijgt, en ook de treinsamenstelling hierna vaak wijzigt, is het niet mogelijk om een directe vergelijking tussen treinpassages vóór en na wielonderhoud te maken. Om de invloed van wielkwaliteit op de trillingsniveaus te bepalen, is daarom gebruik gemaakt van modellen. Dit is weergegeven in Figuur 5. In de eerste stap zijn deze modellen gevoed met alle verzamelde data om het model de relaties tussen wielrondheid, wiel-railkracht en spoortrillingen te leren. In de tweede stap zijn de modellen gebruikt om een voorspelling te kunnen doen over de invloed van wielkwaliteit op trillingsniveaus. Per meetlocatie is zo'n model opgesteld.



Figuur 5: Schematische weergave van het gebruik van modellen

3.4 Inzichten uit de metingen

De modellen laten zien dat voor de groep passages die de hoogste trillingsniveaus heeft en waarbij de wagons maatgevend zijn, een afname van trillingsniveaus mogelijk is. Dit is wel afhankelijk van de locatie en de wagontypes. Voor de verschillende meetlocaties is in kaart is gebracht wat de berekende reductie is wanneer een deel van de wagons, met dynamische wielrailkrachten boven een bepaalde waarde, aanvullend trillingsonderhoud krijgen. Voor de meetlocatie in Heeze zijn de resultaten niet gekwantificeerd doordat dit een proeflocatie was om de meetmethodiek te testen. Het is wel vastgesteld dat voor deze locatie de invloed van wielonderhoud een positief effect heeft op de trillingsniveaus.

De resultaten zijn samengevat in Tabel 1. De tweede kolom geeft aan wat er gebeurt wanneer wielen met een dynamische wiel-railkracht (RMS_Laag) boven de 7.5 kN[4] trillingsonderhoud krijgen. Aangegeven is hoe het gemiddelde trillingsniveau op 25 meter van het spoor, van de 10% trein passages met het hoogste trillingsniveaus, daalt. Te zien is dat, afhankelijk van de locatie, enkele procenten tot circa 25% reductie haalbaar is. De derde kolom geeft aan welk deel van de wagons op die locatie het betreft. De vierde en vijfde kolom geven vergelijkbare informatie wanneer alleen wielen met een wiel-railkracht (RMS_Laag) boven de 15 kN[4] trillingsonderhoud krijgen.

De laatste kolom geeft aan wat voor de grootste uitschieters (circa 1 op 100.000 wagonpassages) de mogelijke reductie is. Bij drukke locaties zoals America komt dit enkele keren per jaar voor, bij de andere locaties minder vaak. Alleen in deze hele zeldzame gevallen kan een afname van dit niveau gehaald worden.

De conclusie van het onderzoek van Witteveen + Bos is dat om hinder te verminderen, het dus effectief is om voor deze beperkte groep wagons trillingsonderhoud uit te voeren. Deze conclusies worden bevestigd door andere onderzoeken die in het kader van de IBS zijn uitgevoerd. Ook bij analyse van klachten [12] en onderzoek naar hinderbeleving door omwonenden van het spoor [11] is vastgesteld dat er relaties zijn tussen wielschades die in Quo Vadis worden gesignaleerd en klachten en hinderbeleving.

Tabel 1: Samenvatting resultaten - Gemiddelde en maximale afname van de trillingsniveaus voor de 10% passages met het hoogste trillingsniveau op 25 meter van het spoor en het aandeel wagons (van totaal aantal passages) waarbij de gemeten dynamische wiel-railkrachten (RMS_Laag) boven genoemde grens ligt [2]

Locatie	Afname trillingsniveau (RMS_Laag > 7.5 kN)	Aandeel wagons op locatie (RMS_Laag > 7.5 kN)	Afname trillingsniveau (RMS_Laag > 15 kN)	Aandeel wagons op locatie (RMS_Laag > 15 kN)	Maximale mogelijke afname bij grootste uitschieters
Weert	14 - 24 %	50 – 75 %	10 %	7 - 12 %	Tot circa factor 2,5
America	5 - 19 %	23 – 63 %	< 5 %	1 – 7 %	Tot circa factor 3,5
Holten	< 5 %	20 – 32 %	< 1 %	< 1%	Tot circa factor 1,25
Schalkwijk	< 5 %	20 – 23 %	< 1 %	2%	Tot circa factor 1,5

4. Monitoringsystemen

Onderhoud anders aansturen betekent onder meer dat goede wielmonitoringsystemen (WDD – Wheel Defect Detection) nodig zijn om wagons met verminderde wielkwaliteit betrouwbaar en consequent te herkennen. In Nederland heeft ProRail het WDD systeem Quo Vadis geïnstalleerd. Dit systeem is

[4] In deze studie worden scenario's uitgewerkt gebaseerd op onderhoudsgrenswaardes gebaseerd op RMS_laag bij 7.5 respectievelijk 15 kN. Deze twee waardes zijn arbitrair gekozen en hier gebruikt om twee scenario's naast elkaar te kunnen zetten, één met een relatief hoge onderhoudsgrens (minder onderhoudsinspanning) en een met een relatief lage onderhoudsgrens (grotere onderhoudsinspanning). Witteveen + Bos stelt voor om trillingsonderhoud uit te voeren bij dynamische wiel-railkrachten (RMS_Laag) hoger dan 10 à 20 kN. Daarbij wordt ook voorgesteld om de meetwaardes van Quo Vadis te compenseren voor aslast en snelheid, zodat de beoordeling van het wiel hier niet van afhankelijk is. [2]. Een uiteindelijke zinvolle keuze voor een onderhoudswaarde gebaseerd op RMS_laag zou gebaseerd moeten zijn op een goede balans tussen baten (hinderreductie) en kosten.

geleverd door Voestalpine. Uit de data analyse van Witteveen + Bos (zie hoofdstuk 3) is gebleken dat Quo Vadis systeem goed in staat is wielen te detecteren die ook extra trillingshinder geven.

4.1 Innovatie

Voestalpine is momenteel bezig met het ontwikkelen van verbeteringen aan het systeem. Samen met Voestalpine is daarom in het kader van de praktijkproef onderzocht of een alternatieve analysemethodiek nog beter wielen die trillingen genereren kan detecteren [3]. Deze bleek volgens de analyse van Witteveen + Bos geen grote verbeteringen op te leveren ten opzichte van de huidige analysemethodiek [2].

In het kader van innovatie aan monitoringsystemen is ook de samenwerking opgezocht met het FOAS project van ProRail. FOAS staat voor Fiber Optic Acoustic Sensing, wat neerkomt op een glasvezelkabel die onder de grond langs het spoor loopt waarmee trillingen kunnen worden waargenomen. Hier zijn verschillende gebruiksdoelen voor mogelijk. Een van de gebruiksdoelen die naar voren is gekomen, is het detecteren van lage wielkwaliteit. Vanuit de praktijkproef wielonderhoud is onderzocht of deze innovatieve meettechniek kan helpen bij het detecteren van wielen die extra trillinghinder geven. Hiervoor is in de meetperiode bij Holten data van spoortrillingen en wielrondheid gedeeld met het FOAS project. Helaas is er te weinig data verzameld van metingen met de glasvezelkabel met betrekking tot validatie van het wieldefect onrondheid, scheuren en uitbrokkeling. Het FOAS project heeft daarom nog geen conclusies getrokken of deze innovatieve techniek meerwaarde heeft bij het detecteren van wielen met verminderde kwaliteit.

4.2 Monitoringssystemen in Europa

In verband met de internationale context van het goederenverkeer is door Professional in Transportation in kaart gebracht welke monitoringssystemen er nog meer in gebruik zijn in Europa [4]. De situatie is in ieder land anders. In bijvoorbeeld Oostenrijk en Zwitserland zijn soortgelijke systemen in de baan gemonteerd door de betreffende infrastructuurmanagers. Maar in bijvoorbeeld Duitsland en België is dit niet gebeurd. Wel is er in Duitsland het particuliere initiatief van het monitoringssysteem Railwatch. Railwatch maakt gebruik van akoestische signalen om vlakke plaatsen te detecteren, in tegenstelling tot Quo Vadis dat wiel/railkrachten meet. Er is in de praktijkproef een beperkte benchmark gemaakt op basis van meetdata aan dezelfde treinen die ook bij de trillingsmeetstations langs gereden zijn, om te kijken of de data van monitoringsystemen Quo Vadis en Railwatch geschikt zijn voor hetzelfde doel. Hieruit bleek niet een duidelijke correlatie tussen Railwatch en Quo Vadis, waardoor dit verder niet in detail is onderzocht [8].

4.3 Beperkingen

Naast dat monitoringssystemen dus niet overal zijn geplaatst, speelt ook nog mee dat er geen sprake is van internationale harmonisering en standaardisering van de output van dit soort systemen. Dit betekent dat houders van wagons verschillende informatie uit verschillende landen kunnen krijgen met verschillende consequenties. Gezien de internationale context van het spoorgoederenvervoer zijn dat twee relevante nadelen. Het is daarom aan te bevelen om in Europese context in te zetten op verdere ontwikkeling, uitrol en uniformering van dit soort systemen.

Gezien de huidige situatie is voor nu de consequentie dat de inzichten uit deze praktijkproef op dit moment alleen maar op basis van monitoring op van wagons op het Nederlandse spoor kunnen worden toegepast. Totdat er in Europa een beter dekkend en geharmoniseerd monitoringsysteem aanwezig is, is dat een belangrijke beperking waar rekening gehouden moet worden.

5. Haalbaarheid en kosten onderhoudsmaatregelen

In hoofdstuk 3 is geconcludeerd dat voor een beperkte groep goederenwagons trillingsonderhoud kan helpen om hinder te verminderen [2]. Door Professional in Transportation is verder in detail uitgezocht of en hoe het haalbaar is om met aanvullende eisen voor onderhoudsintervallen en procedures gebaseerd op monitoringsystemen het trillingsonderhoud vorm te geven. Bridgecraft Strategie en Corporate Finance ("Bridgecraft") heeft hierbij een economische analyse gemaakt.

5.1 Focus op de uitschieters

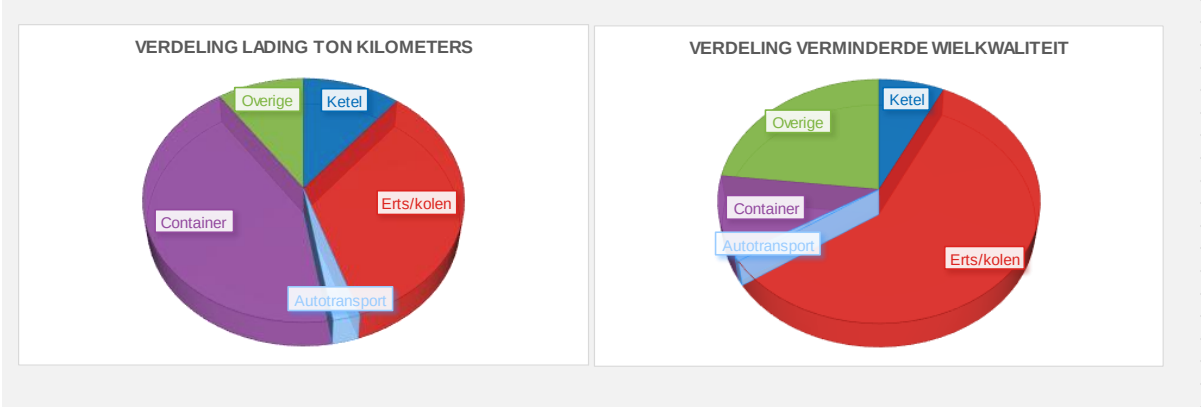
Daarbij is er voor gekozen om onderscheid te maken naar verschillende types spoorgoederenvervoer, omdat die allemaal verschillende eigenschappen en condities hebben. Daarbij is ook gekeken of er verschillen zijn in de mate waarin wielen met verminderde kwaliteit voorkomen. Dit om de focus van trillingsonderhoud te leggen op sectoren waar dat het meest zinvol is. De volgende sectoren worden onderscheiden:

- Chemisch vervoer, dat plaatsvindt met ketelwagons. Vervoersaandeel is 11% en dit is redelijk stabiel.
- Kolen en ertsvervoer; dit vindt plaats met zwaar beladen bulkwagons met hoge aslasten. Het huidige vervoersaandeel is 34% [5], door de energietransitie neemt dit transport in de toekomst af.
- Autotransport, dat plaatsvindt met relatief lichte wagons met open structuur. Het vervoersaandeel is 2%.
- Containertreinen, die bestaan uit verschillende soorten containerdraagwagons. Vervoersaandeel is 43%, op lange termijn wordt hier een stijging verwacht.
- Overige typen vervoer, bijvoorbeeld wagons voor het vervoer van staalrollen en schuifwandwagons. Vervoersaandeel is 10%.

Figuur 6 Verschillende typen goederenvervoer [10]

Figuur 7 geeft weer hoe deze sectoren zich verhouden met betrekking tot hun aandeel in het jaarlijks aantal tonkilometers en het aantal gedetecteerde wielen met dynamische wiel-railkrachten (RMS_Laag) boven de 15 kN. Te zien is dat met name het erts/kolenvervoer een relatief groot aandeel levert in wielen met verminderde kwaliteit, ook ten opzichte van de vervoersvolume. Bij containertreinen is dit juist andersom. Wat hierbij volgens het onderzoek van Professional in Transportation zeer waarschijnlijk een rol speelt is de leeftijd van de wagons die gebruikt worden, bij erts/kolentreinen zijn de wagons relatief oud en bij containertreinen relatief nieuw.

[5] Dit betreft het vervoersvolume, omdat deze treinen relatief zwaar zijn is het aandeel van kolen/ertstreinen in treinkilometers/treinpassages lager.



Figuur 7: Verdeling verschillende sectoren [4]

Daarnaast is er ook gekeken of verschillende rembloktypes van goederenwagons invloed hebben op het aantal wielen van verminderde kwaliteit. Immers één van de oorzaken van het ontstaan van onronde wielen is gerelateerd aan abrupt remmen. Uit analyses blijkt dat gemiddeld genomen het type remblok geen grote relatie met trillingsniveaus heeft [6]. Maar als ingezoomd wordt op de wagons met slechtere wielen blijkt wel dat wagons met zogenaamde LL-remblokken vaker wielen met verminderde wielkwaliteit hebben dan wagons met K-remblokken[6] [4].

5.2 Huidige onderhoudsprocessen

Goederenwagons rijden door heel Europa, daarom zijn de huidige onderhoudsprocessen en afkeurnormen voor wielen gebaseerd op Europese normen en afspraken. Er zijn ook verschillende partijen bij betrokken. De vervoerder rijdt met de wagon en is verantwoordelijk voor de operationele veiligheid. Deze partij is daarmee ook verantwoordelijk voor de in internationaal verband overeengekomen controles van de wagons inclusief de dagelijkse veiligheidscontroles van de wielen. De houder is de juridische eigenaar van het materieel. De ECM (zie ook [3]) is verantwoordelijk voor het opstellen van het onderhoudsprogramma en de uitvoering ervan. Samen zijn deze partijen verantwoordelijk voor het veilig rijden en onderhouden van het materieel. Europese gestandaardiseerde afspraken regelen de onderlinge rolverdeling en kostenverdeling en de efficiënte afhandeling van processen.

Deze huidige standaard-onderhoudsprocessen voor wielen zijn niet ingericht op het gebruik van data uit monitoringsystemen zoals Quo Vadis. Ook voorzien ze niet in trillingsonderhoud. Er zullen daarom nieuwe processen hiervoor ingericht moeten worden.

Het is in de praktijkproef niet onderzocht in hoeverre het binnen de Europese regelgeving juridisch mogelijk zou kunnen zijn de uitvoering van aanvullend trillingsonderhoud op te leggen door middel van regelgeving. Daarom gaat de verdere uitwerking uit van vrijwillige bijdrage aan trillingsonderhoud door de relevante partijen. Dit betekent ook dat wanneer zo'n systeem ingevoerd moet worden, er commitment en aanvullende contractuele afspraken nodig zijn tussen de verschillende internationale partijen.

5.3 Onderhoudsconcepten

Om de haalbaarheid te onderzoeken is er in [2] voor gekozen om verschillende concepten te bestuderen van hoe trillingsonderhoud georganiseerd kan worden. Vervolgens is in detail uitgezocht

[6] LL en K-remblokken zijn beide composiet remblokken die tegenwoordig gebruikt worden in plaats van gietijzer remblokken, ter reductie van de geluidsafstraling. LL-remblokken zijn bedoeld voor wagons die eerder met gietijzer rondreden, K-remblokken zijn bedoeld voor nieuwbouwwagons. Beide rembloktypes zijn niet uitwisselbaar.

wat de implementatie van deze onderhoudsconcepten zou betekenen in vergelijking met de huidige situatie.

De volgende onderhoudsconcepten voor trillingsonderhoud zijn daarbij overwogen:

- Correctief onderhoud, waarbij op basis van meetresultaten uit Quo Vadis trillingsonderhoud wordt uitgevoerd. Concreet betekent dit dat wanneer er een overschrijding van een bepaalde grenswaarde in Quo Vadis wordt gesignaleerd, de wagon ter zijde wordt genomen en onderhoud krijgt.
- Preventief onderhoud, waarbij het trillingsonderhoud preventief en planmatig wordt uitgevoerd aan alle wagons (onafhankelijk van de wielkwaliteit) en dat de frequentie daarvan zo nodig wordt bijgestuurd op basis van Quo Vadis.

5.4 Voorbeeld scenario's voor trillingsonderhoud

Er is in deze praktijkproef gekozen om drie voorbeeldscenario's uit te werken. De scenario's focussen op het deel van het Europese goederenwagon arsenaal dat met regelmaat wordt ingezet op het Nederlandse spoorwegnet. Dit om het enerzijds mogelijk te maken doelmatigheid van deze scenario's in de Nederlandse context te kunnen beoordelen, en anderzijds rekening te houden met de beperkte beschikbaarheid van monitoringsdata van wagons buiten het Nederlandse spoor. Het zijn bovendien wel scenario's die in de Europese context uitvoerbaar zijn. Daarbij is gezocht naar scenario's met een zo groot mogelijke hinderreductie, zo laag mogelijke kosten, zo min mogelijke operationele en commerciële impact en zo groot mogelijke hanteerbaarheid en implementeerbaarheid. Omdat ook duidelijk is dat in het erts/kolen vervoer het aantal wielen met verminderde wielkwaliteit relatief hoog is, is er deels gekozen om daarop te focussen (zo groot mogelijke hinderreductie). Uiteindelijk zijn deze voorbeeldscenario's in detail uitgewerkt op haalbaarheid en kosten:

- Scenario 0: De huidige situatie;
- Scenario 1: Een preventief scenario, waarin alle regulier in Nederland ingezette erts/kolen wagons preventief trillingsonderhoud krijgen;
- Scenario 2: Correctief scenario, waarin alle regelmatig in Nederland ingezette wagons correctief trillingsonderhoud krijgen wanneer Quo Vadis meer dan 10x een dynamische kracht (RMS_Laag) boven de 7.5 kN [4] (een lagere onderhoudsgrens) meet;
- Scenario 3: Correctief scenario, waarin alle regulier in Nederland ingezette erts/kolen wagons correctief trillingsonderhoud krijgen wanneer Quo Vadis meer dan 10x een dynamische kracht (RMS_Laag) boven de 15 kN [4] (een hogere onderhoudsgrens) meet.

In [4] is uitvoerig beschreven hoe deze scenario's ingericht kunnen worden en waar rekening mee gehouden moet worden. Uiteindelijk is elk scenario uitvoerbaar, maar zijn de implicaties en complexiteit verschillend. De verschillende scenario's zijn beoordeeld op de volgende aspecten:

- Mate van reductie
  Hierbij heeft scenario 2 de hoogste potentie. Dit scenario richt zich op een brede groep wagons met relatief veel meldingen. Op basis van de generiek resultaten in Tabel 1 zal – afhankelijk van de locatie – de 10% meest trillende passages maximaal 20% afnemen. Scenario 1 en 3 richten zich alleen op het kolen/erts transport, wat circa de helft van de meldingen genereert. In Scenario 1 zal naar verwachting daarmee maximaal 9% reductie behaald worden. Scenario 3 richt zich alleen op de grote uitschieters met overschrijding van 15kN, waarmee maximaal 5% reductie wordt behaald.

- Hanteerbaarheid
  Hierbij is gekeken naar het aantal wagons dat door het nieuwe onderhoudsregime trillingsonderhoud krijgt. Bij scenario 1 en 3 (alleen kolen/erts treinen, het betreft circa 4500 respectievelijk 1000 wagons per jaar) is dat veel beperkter dan bij scenario 2 (betreft 16.000 wagons)

- Implementeerbaarheid
  Hierbij is gekeken naar het aantal actoren dat nodig is om dit scenario te laten slagen. Bij scenario 1 en 3 (alleen kolen/erts treinen) is de implementeerbaarheid een stuk beter omdat het zich richt op één type vervoer, met een beperkte groep wagontypes en partijen. Scenario 2 is het minst implementeerbaar door de grote diversiteit aan materieel en betrokken partijen.

- Operationele en commerciële impact
  Bij scenario 1 is deze matig ingeschat. Het betreft planbare ingrepen, maar vereist uitrangeren van wagons uit vaste sets. Dit heeft impact op capaciteit en planning. Bij scenario 2 is deze zeer groot: de onderhoudsacties zijn beperkt planbaar, met veel rangeeracties en verstoring van logistiek. Bij scenario 3 is de planbaarheid ook minder, maar betreft het een veel controleerbaardere groep en is daardoor beter beheersbaar dan scenario 2.

Tabel 2 in hoofdstuk 6 geeft een totaaloverzicht van deze beoordelingen.

5.5 Economische beoordeling trillingsonderhoud

Bridgecraft heeft een economische analyse gemaakt van de drie beschreven voorbeeldscenario's. Hierin is gekeken naar de meerkosten van de scenario's ten opzichte van de huidige situatie.

Hierbij is rekening gehouden met de drie belangrijke kostencomponenten:

- de meerkosten voor het aanvullend trillingsonderhoud zelf
- de meerkosten voor het huren van extra wagons, die nodig zijn om ondanks het grotere aantal materieelonttrekkingen de vervoerscapaciteit op huidig niveau te houden
- besparingen door overlap tussen bestaand onderhoud en trillingsonderhoud

Uit de berekeningen blijkt dat de meerkosten die gepaard gaan met scenario 3 het laagst zijn: € 4,1 miljoen per jaar. Veel hoger zijn de meerkosten die optreden in de scenario's 1 (€ 23,4 miljoen per jaar) en 2 (€ 47,6 miljoen per jaar).

De vraag die binnen de scope van deze studie niet behandeld wordt is welke partij deze kosten zou moeten betalen. Bridgecraft heeft het te verwachten effect van deze scenario's op de omvang van het goederenvolume per spoor bepaald, wanneer deze kosten door de spoorgoederensector zelf zouden worden gedragen. In dat geval zullen de hogere kosten en daaruit voortvloeiende hogere marktprijzen leiden tot een verlies van transportvolume. Met behulp van de prijselasticiteit is dit volumeverlies bepaald. Uit de analyse blijkt dat in scenario 1 het transport van kolen- en erts over het spoor met bijna 35% zal afnemen en daalt van 9,8 tot naar schatting 6,4 miljoen ton. In scenario 2 neemt het totale vervoersvolume af met naar schatting 6,0 miljoen ton (-/- 15%). In scenario drie is sprake van een volumeverlies van 0,6 miljoen in het vervoer van kolen en erts (-/- 6%). Tabel 2 in hoofdstuk 6 geeft een totaaloverzicht van deze beoordelingen.

Duidelijk wordt dat mocht de sector met zulke kostentoenames worden geconfronteerd de concurrentiepositie wordt benadeeld en daarmee de transportvolumes van het spoorgoederenvervoer flink doen reduceren. Zo'n scenario zal daarmee een negatieve invloed hebben op de gewenste modal shift.

5.6 Belangrijke randvoorwaarden voor haalbaarheid

Uit het onderzoek van Professional in Transportation [4] blijkt dat deze scenario's voor trillingsonderhoud alleen mogelijk zijn wanneer aan verschillende belangrijke randvoorwaarden voldaan wordt. Het gaat daarbij met name om deze:

- Monitoringsdata uit Quo Vadis moet op de juiste wijze en in bruikbare vorm bij de juiste partijen beschikbaar komen. Daarom zullen de betreffende wagons van RFID tags voorzien moeten worden. ProRail zal moeten zorgen dat de data op een bruikbare manier ter beschikking wordt gesteld, waarbij details nog moeten worden uitgewerkt met betrekking tot het exacte type melding, de frequentie, reactieperiode, het communicatiekanaal etc. Eerder bleek al dat een correctie per Quo Vadis meetpunt en een correctie op basis van aslast relevant zijn [2].
- De processen die nodig zijn voor dit soort trillingsonderhoud, inclusief het afhandelen van de Quo Vadis meldingen, zullen afwijkend zijn ten opzichten van - en worden uitgevoerd bovenop - de huidige Europese processen en afspraken. Dit kan alleen wanneer benodigde partijen hieraan op basis van vrijwilligheid en separate afspraken willen meewerken. Allereerst is medewerking van de wagonhouders en ECM's van het materieel nodig. Maar ook de medewerking van vervoerders wordt als noodzakelijk gezien voor de effectiviteit van deze scenario's. Wagonhouders en door hun gecontracteerde ECM's zullen onderlinge aanvullende procedurele en financiële afspraken moeten willen maken met hun klanten (vaak verladers) en vervoerders over organisatie, afhandeling, registratie en verrekening van dit wielonderhoud. Afspraken tussen de relevante stakeholders over de financiering van trillingsonderhoud speelt hier logischerwijs ook een belangrijke rol. Onderdelen daarvan zijn ook dat Quo Vadis signalen geaccepteerd worden als trigger voor uitvoeren van wielonderhoud door verschillende partijen. Een digitaal alternatief voor het huidige fysieke beplakken van wagons zal moeten worden ontwikkeld, geaccepteerd en geïmplementeerd in de productiesystemen van de vervoerders.
- Er moet voldoende geld beschikbaar zijn om de extra gemaakte kosten te dekken. Deels zal dat moeten worden geïnvesteerd in middelen: er moeten voldoende reservewagons en reserve wielstellen beschikbaar komen om te voorkomen dat uitvoering van deze processen de vervoerscapaciteit vermindert. Hiervoor zijn ook extra opstelsporen nodig. Ook zal er geïnvesteerd moeten worden in noodzakelijke uitbreiding van outillage voor het wisselen en/of afdraaien van wielen (zoals hefsporen, kranen wielendraaibanken en/of kuilwielenbanken) en voldoende reparatiesporen en rangeercapaciteit. In geval van kuilwielenbanken gaat het om 3 tot 32 stuks, afhankelijk van het scenario. De kosteninschatting van de scenario's neemt als vertrekpunt dat deze faciliteiten in voldoende mate beschikbaar zijn en dat de rangeer- en reparatieprocessen daarop efficiënter kunnen worden uitgevoerd dan nu. Geadviseerd wordt om hiervoor op relevante knooppunten (zoals bijvoorbeeld Kijfhoek) servicestations in te richten waar efficiënt wagons in treinen en wielen in wagons gewisseld kunnen worden. Of er partijen bereid zijn in dit soort faciliteiten te investeren bepaalt of het haalbaar is. De bouwtijd van dit soort voorzieningen bepaalt de tijd waarbinnen de scenario's uitvoerbaar worden.
- Tenslotte moet voldoende personeel kunnen worden geworven en opgeleid om de benodigde extra rangeer-, wielstelwissel- en afdraaiwerkzaamheden uit te voeren.

Meer details over de achtergrond van deze randvoorwaarden zijn te vinden in [4]. Hoe hier precies invulling aan gegeven wordt zal nog verder uitgewerkt moeten worden, ook afhankelijk van de gekozen vorm en omvang van eventuele implementatie.

6. Conclusies extra trillingsonderhoud goederenmaterieel

Uit het onderzoek is gebleken dat bij goederentreinen vaak de locomotief maatgevend is voor trillingen. Voor de andere goederentreinen geldt dat de wagons maatgevend zijn, en voor een deel van die passages wordt dit veroorzaakt door een meetbare verminderde wielkwaliteit van deze wagons. Met trillingsonderhoud aan de wielen van die wagons is het zo mogelijk trillingen voor een deel van de passages te reduceren. Daarbij geldt dat het effect sterk wordt beïnvloed door het lokale bodemtype, baanconstructie en gebouweigenschappen, en ook aan de trein gerelateerde eigenschappen zoals materieeltype, aslast en snelheid van de trein een rol spelen.

Er zijn drie voorbeeldscenario's uitgewerkt om invulling te geven aan het te implementeren trillingsonderhoud. De mate van reductie verschilt per scenario, net zoals de complexiteit. De meerkosten van de scenario's zijn bepaald. Met behulp van de prijselasticiteit is het volumeverlies bepaald, wanneer deze kosten door de spoorgoederensector zelf zouden worden gedragen. In onderstaande tabel zijn de drie onderzochte scenario's samengevat.

Tabel 2: Overzicht haalbaarheid, effect en kosten van verschillende scenario's – op basis van [4] en [5]

Scenario	Mate van reductie	Hanteer-baarheid	Implemen-teerbaar-heid	Operationele en commer-ciële impact	Meer-kosten	Impact transport volume van deze sector
0- huidige situatie	0	0	0	0	0	0
1 – preventief kolen/erts	0-9%[7]	--	---	-	23,4 M€/jr	-35%
2 – correctief alle wagons, lagere onderhoudsgrens	0-20%[7]	---	----	----	47,6 M€/jr	-15%
3 – correctief kolen/erts, hogere onderhoudsgrens	0-5%[7]	-	--	--	4,1 M€/jr	-6%

Met deze resultaten is het mogelijk de doelmatigheid van trillingsonderhoud als maatregel tegen trillingshinder te beoordelen en te vergelijken met andere maatregelen in infra, overdracht en bebouwing. Te zien is dat de doelmatigheid ook verschilt voor de drie uitgewerkte scenario's.

Mocht het doelmatig blijken dan wordt geadviseerd de mogelijkheden van trillingsonderhoud verder te onderzoeken. Maar voor slagen van deze aanpak is wel voldoende financiering nodig. Ook is breed commitment van een groot aantal (veelal internationale) partijen noodzakelijk. Dit geldt voor houders van goederenwagons, de partijen die verantwoordelijk zijn voor het inrichten of uitvoeren van het onderhoud (ECM's), partijen die willen investeren in reparatiefaciliteiten en ook de spoorgoederenvervoerders. Hiervoor zal niet zomaar draagvlak zijn, dus er zal eerst geïnvesteerd moeten worden om dit commitment te krijgen. Mocht dit er zijn bij een aantal partijen dan wordt geadviseerd te starten met een pilot op kleine schaal met beperkt aantal partijen en wagons, waarbinnen de nieuwe processen uitgebreid beproefd kunnen worden. Dit helpt om risico's te

[7] Dit is locatieafhankelijk, de range geeft aan wat voor verschillende locaties in Nederland vastgesteld is. Het betreft de geschatte reductie van het gemiddelde trillingsniveau van de 10% goederentreinpassages met hoogste trillingsniveaus. Bij individuele treinpassages kan het trillingsniveau veel meer reduceren. De reductie van het totale gemiddelde trillingsniveau bij de locatie is verwaarloosbaar.

minimaliseren, kosten beter te beheersen en de kans op succes bij een grootschaliger implementatie te vergroten.

Mogelijk is de implementatie van trillingsonderhoud, zoals bijvoorbeeld in de geschetste scenario's, niet voldoende doelmatig of haalbaar. Ook dan is het waardevol om na te gaan hoe de inzichten uit dit onderzoek gebruikt worden om wielen die niet aan de bestaande Europese grenswaarden voldoen, eerder met Quo Vadis of soortgelijke systemen te detecteren en onderhoud te geven. Dat kan wanneer de output van Quo Vadis gekoppeld kan worden met de huidige internationale onderhoudsnormen, en/of nieuwe internationale normen voor Quo Vadis achtige systemen worden afgesproken. Dat kan bijdragen dat ook de grotere wielafwijkingen die de meeste extra hinder opleveren ook binnen de huidige onderhoudsafspraken en processen zo veel mogelijk voorkomen worden.

7. Referenties

[1] Project plan Reduction of ground borne vibrations by condition based wheelset maintenance – version 8 – 22 september 2022 (03-914791)

[2] Monitoring spoortrillingen wielonderhoud – eindrapportage – Witteveen + Bos – referentie 132887/25-001.043 24 januari 2025 (03-914786)

[3] WILD voor IBS – Supportonderzoek naar toepasbaarheid van WILD data ten behoeve van het programma Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS) – Voestalpine Signalling Siershahn GmbH, document 72011000.D00001_1 versie 1.0 11 februari 2025 (03-914789)

[4] Conditie gebaseerd onderhoud aan wielstellen van goederenwagens - Studie naar mogelijkheden, Professional in Transportation, kenmerk 24.83.P004 – versie 1 definitief – 8 september 2025 (03-914780)

[5] Wielonderhoud als instrument om trillingen door goederentreinen te beperken - Economische beoordeling – Bridgecraft, kenmerk 250912/IWW/iww van 12 september 2025

[6] Ground borne vibrations and their relationship with brake types – Witteveen + Bos, document 146937/25-010.134, 26 juni 2025 (03-914784)

[7] RIVAS - Review of existing standards, regulations and guidelines, as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration, WP1. Assessment and monitoring procedures, T1.1 Assessment of human exposure, P. Elias en M. Villot, „SCP0-GA-2010-265754, 05/01,2012. (03-465793)

[8] Praktijkproef wielonderhoud – Beschouwing Railwatch. Ricardo Rail, kenmerk 03-910161

[9] Wielmetingen ten behoeve van de praktijkproef wielonderhoud, ProRail, Kenmerk IBS-97977174-1205385, versie 1.0, 29 januari 2025 (03-914792)

[10] Spoortrillingen bij bestaande woningen – achtergrondinformatie over oorzaken en mogelijke oplossingen – We-Boost, 15 maart 2023, versie 1.0 (03-914794)

[11] Data-analyses hinderlijke passages, M+P, kenmerk M+P.24035.01, 23 mei 2025.

[12] Klachten over trillingen – Onderzoek naar bepalende factoren, We-Boost, kenmerk WBD2021-054, 20 april 2022.

[13] Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS) – Resultaten en opgedane kennis – Einddocument, ProRail, 2025

Bijlage – Aanleiding en achtergrond

Aanleiding

Rond het spoor zijn soms trillingen voelbaar. Die kunnen overlast en klachten veroorzaken. Daarnaast is nieuwbouw van woningen langs het spoor lastig met de huidige trillingsniveaus en regelgeving. Om spoortrillingen en hinder tegen te gaan zijn er maar weinig getoetste maatregelen en oplossingen beschikbaar. Mogelijk zijn maatregelen aan de bron, waarbij het ontstaan van spoortrillingen zoveel mogelijk voorkomen wordt, effectiever dan het afschermen van trillingen of het aanpassen van woningen. Doordat trillingen zo complex zijn is het gewenst om het effect van mogelijke maatregelen gestructureerd te onderzoeken.

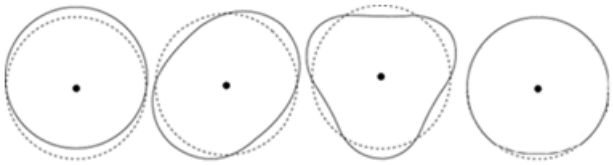
Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen

Om onderzoek te doen naar de effecten van bronmaatregelen heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat besloten budget beschikbaar te stellen voor het uitvoeren van de Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS). Binnen de IBS werken verschillende partijen uit het spoorgoederenvervoer, reizigersvervoer en ProRail samen om de effecten van mogelijke bronmaatregelen te onderzoeken.

De IBS bestaat uit een mix van fundamenteel onderzoek, praktijkproeven en onderlinge kennisuitwisseling. Praktijkproeven richten zich op zowel ander onderhoud als op innovaties, voor zowel infrastructuur als rollend materieel. Op basis van verwachte uitkomsten en potentie is er een selectie gemaakt uit mogelijke maatregelen. Daarnaast is ook rekening gehouden met de data-analyse van klachten van de afgelopen jaren die binnen het IBS zijn uitgevoerd. Voor de IBS is een uniform meetprotocol opgesteld en wordt alle gemeten data opgeslagen in een overkoepelende database.

Invloed wielonderhoud op spoortrillingen

Eén van de potentiële maatregelen waar we binnen de IBS onderzoek naar doen is het effect van wielonderhoud. Wielen van treinen kunnen door ongelijkmatige slijtage of abrupt remmen onrond worden. Dit kan allerlei verschillende vormen aannemen (voorbeeld in Figuur 8). Hierdoor vermindert de wielkwaliteit.



Figuur 8: Verschillende vormen van wielonrondheid (uitvergroot weergegeven)

De vraag is of onronde wielen kunnen leiden tot hogere niveaus van spoortrillingen waar omwonenden hinder door ervaren. Met nieuwe monitoringstechnieken is het steeds beter mogelijk om wielen met verminderde wielkwaliteit op tijd te detecteren. Deze technieken kunnen mogelijk ingezet worden om in te grijpen op het onderhoud. Door het uitvoeren van wielonderhoud, waarbij het wiel op bijvoorbeeld een kuilwielenbank weer rond gedraaid wordt, wordt de wielkwaliteit weer verbeterd. In dit project wordt onderzocht of daarmee wielen die specifieke hinder veroorzaken eerder onderhoud zouden kunnen krijgen om zo mogelijk hinder te voorkomen.

Ricardo Nederland BV

Daalsesingel 51, 3511 SW, Utrecht
The Netherlands

T +31 (0)30 7524 700
F +31 (0)30 7524 800

rail.ricardo.com

© Ricardo Ltd
oktober 2025