RAILWAY SYSTEMS

WILD VOOR IBS

Supportonderzoek naar toepasbaarheid van WILD data ten behoeve van het programma Innovatie-agenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS)

PUBLIC

voestalpine Signaling Siershahn GmbH
www.voestalpine.com/railway-systems

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

ALGEMENE INFORMATIE

Document referentie nummer	72011000.D00001_1
Revisie	1.0
Datum	11-02-2025

HISTORIE

Rev. Nr.	Naam	Datum	Beschrijving
1.0	Maarten van Balveren	11-02-2025	Eerste versie.

VRIJGAVE

	Naam	Afdeling	Datum
Auteur:	Maarten van Balveren	R&D	11-02-2025
Gecontroleerd:	Nicole de Groot	PMM	10-03-2025
Goedgekeurd:	Paul Holtz	PM	11-03-2025

Copyright by voestalpine Signaling Siershahn GmbH

Passing on and reproduction of this document and use and disclosure of its contents are prohibited unless expressly permitted. Contraventions are liable to compensation. All rights for the case of patent or utility model entry are reserved.

Original Documentation number 72011000.D00001_1 and title WILD VOOR IBS

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 3

2 SUPPORTONDERZOEK WILD DATA 4
2.1 ANALYSE SENSORSIGNALEN 4
2.2 ANALYSE SENSORWAARDES 5
2.3 DATA VERZAMELEN EN VERVOLG 6

3 ONDERZOEK NIEUW ALGORITME 7

1 INLEIDING

Om de overlast van trillingen langs het spoor te beperken heeft ProRail het programma Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen (IBS) opgezet. In de IBS wordt onderzoek gedaan naar diverse oplossingen om de overlast van deze spoortrillingen te beperken. Bij deze onderzoeken wordt onder andere gebruik gemaakt van meetgegevens van de Quo Vadis systemen van ProRail.

Als leverancier en specialist van deze Quo Vadis (WILD) systemen is voestalpine Signaling Siershahn gevraagd om support te leveren bij deze onderzoeken. De samenvatting van deze supportwerkzaamheden, welke in opdracht van ProRail zijn uitgevoerd[1], zijn beschreven in hoofdstuk 2.

Daarnaast beschrijft dit rapport in hoofdstuk 3 ook een samenvatting van de werkzaamheden die buiten de scope van deze opdracht maar wel als onderdeel van de IBS hebben plaatsgevonden, namelijk de ontwikkeling van een prototype algoritme dat op basis van ruwe Quo Vadis signalen de wielgeometrie van passerende wielen reconstrueert.

[1] Offertenummer 72011000

2 SUPPORTONDERZOEK WILD DATA

(auteur: Joël Dijkhuizen)

Er is door ingenieursbureau Witteveen+Bos op meerdere locaties langs het spoor onderzoek gedaan naar bodemtrillingen. In dit onderzoek (Monitoring spoortrillingen wielonderhoud, Tussenrapport fase 1, 2 juni 2023) is geconstateerd dat voornamelijk laagfrequente trillingen overlast veroorzaken bij omwonenden van het spoor. Deze laagfrequente trillingen dempen slecht uit en reiken dus ver door de bodem. Na het inmeten van wielen van treinen welke deze laagfrequente trillingen veroorzaken is geconstateerd dat deze wielen excentrisch zijn, oftewel onrondheden bevatten, ook wel lage orde defecten genoemd.

Witteveen+Bos heeft toegang tot de relevante WILD data, dat wil zeggen, onder andere, tijdstip van passage, aslasten, dynamische krachten en RMS-waardes (hoog en laagfrequent). Een vergelijk laat zien dat verhoogde (intensiteit van) bodemtrillingen met een hoge frequentie, veroorzaakt door een trein met een wieldefect, ook zichtbaar is in de WILD data van deze bewuste trein en zich in de meting uit door verhoogde dynamische krachten. Dit is ook de verwachting, immers gaat het hier om wielen met wieldefecten welke zich uiten in deze hogere frequentieband. In hetzelfde onderzoek is aangetoond dat er een lage correlatie bestaat tussen WILD meetresultaten, waaronder de dynamische krachten en RMS Laag waardes, en lage orde wieldefecten. Dat wil zeggen dat metingen van bodemtrilling welke een hoge intensiteit laagfrequente trillingen (rond 10 Hz) laten zien, niet terug te vinden zijn in de WILD data.

Om verder te onderzoeken welke parameters gebruikt kunnen worden om excentrische wielen te identificeren, is er een samenwerking opgezet met voestalpine Signaling Siershahn om metingen nader te analyseren. Hierbij kan er worden gekeken naar meetdata welke niet inzichtelijk is voor Witteveen+Bos, zoals sensorsignalen of meetresultaten per sensor.

2.1 Analyse sensorsignalen

Tijdens een gezamenlijke sessie bij Witteveen+Bos (W+B) in Q3 van 2023 is er gekeken naar de sensorsignalen van treinpassages waarvan enkele wagons zijn ingemeten. Bij het analyseren van de treinpassages, waarbij een hoge intensiteit van laag frequente trillingen wordt gemeten in de bodem, valt op dat dit gepaard gaat met hoogfrequente trillingen. Dit komt omdat wielen met onrondheden vaak hogere orde wieldefecten bevatten. Hiervan is bekend dat deze geïdentificeerd kunnen worden, omdat deze hogere dynamische krachten en RMS high waardes hebben. Om te onderzoeken wat de invloed is van onronde wielen op de WILD data moeten er voertuigen worden onderzocht welke alleen lage orde wieldefecten bevatten.

Bij het analyseren van treinpassages met excentrische wielen blijkt dat deze niet zichtbaar zijn in het sensorsignaal. Er is, op het oog, geen onderscheid te maken tussen een “schoon” wiel en een excentrisch wiel. Mogelijk komt dat omdat de signalen worden gefilterd op bepaalde frequenties.

Ook bestaat het vermoeden dat de frequentie van de relevante trillingen overeenkomen met andere trillingen in het spoor, zoals dwarsliggerbeweging of in de trein zelf, denk aan de frequentie van assen welke de meetsite passeren bij bepaalde snelheden.

Er is één treinpassage (o.b.v. tagindentificatie) doorgegeven die zich bevindt op een voertuig waarvan de wielen zijn ingemeten en deze wel een onrondheid vertonen, maar geen hogere orde wieldefecten. In het volgende deel van deze memo wordt onderzocht welke meetdata een indicatie kunnen geven van onrondheden van wielen.

2.2 Analyse sensorwaardes

Bij het onderzoeken van de meetresultaten van de hiervoor genoemde trein met onronde wielen, is er gekeken naar de invloed van onronde wielen op de Weighing In Motion (WIM) metingen. In de treinarchieven wordt niet alleen het sensorsignaal opgeslagen, maar ook de gemeten krachten per sensor. Deze laatste kunnen een indicatie zijn voor onronde wielen. Zo kunnen bijvoorbeeld links/rechtsverschillen, maar ook grote verschillen in gemeten gewicht tussen de verschillende sensoren voor hetzelfde wiel een indicatie zijn voor onronde wielen. Deze treinarchieven zijn veilig gesteld en geanalyseerd.

Er is data verstrekt van een voertuig welke is ingemeten en waarin wielen zijn gevonden die voornamelijk lage orde wieldefecten bevatten. Het nummer van dit voertuig is: 0695-030-4. Van dit voertuig zijn vijf treinpassages over het meetsysteem geplaatst in Tricht gevonden, welke voor alle voertuigen in deze trein zijn geanalyseerd.

Tijdens een bezoek aan W+B in Q3 2023 zijn trillingsmetingen en metingen van deze treinpassage op Tricht vergeleken. Hierbij is gekeken naar de gewichts- en dynamische krachtmetingen. Ook is er gekeken naar de sensorsignalen. In de trillingsmetingen was duidelijk zichtbaar dat één of meerdere voertuigen een verhoogde intensiteit van laagfrequente trillingen hadden. Er is echter geen correlatie gevonden tussen deze trillingsmetingen en WILD data. Noch in de WIM of Wheel Defect Detection (WDD) metingen, noch in de sensorsignalen. Er was visueel geen verschil zichtbaar tussen wielen van voertuigen met lage intensiteit trillingen en sensorsignalen van wielen met deze trillingen. Ook is er geen correlatie gevonden waarin het ingemeten voertuig naar boven komt als ‘verdacht’ in de trein als er wordt gekeken naar de gewichtsmetingen per sensor.

Naar aanleiding van de hiervoor besproken resultaten, in Q4 2023, is tot de conclusie gekomen dat het inzetten van een WILD Mobile nog niet zinnig is.

Tijdens een overleg in Q4 2023 is vastgesteld dat er de wens is om ruwe signalen van Quo Vadis verder te analyseren. Hiervoor zijn de volgende fasen vastgesteld:

1. Sneller verzamelen van ruwe meetsignalen;
2. Preprocessing van meetsignalen;
3. Brainstorm voor analyse meetsignalen;
4. Validatie en implementatie algoritme.

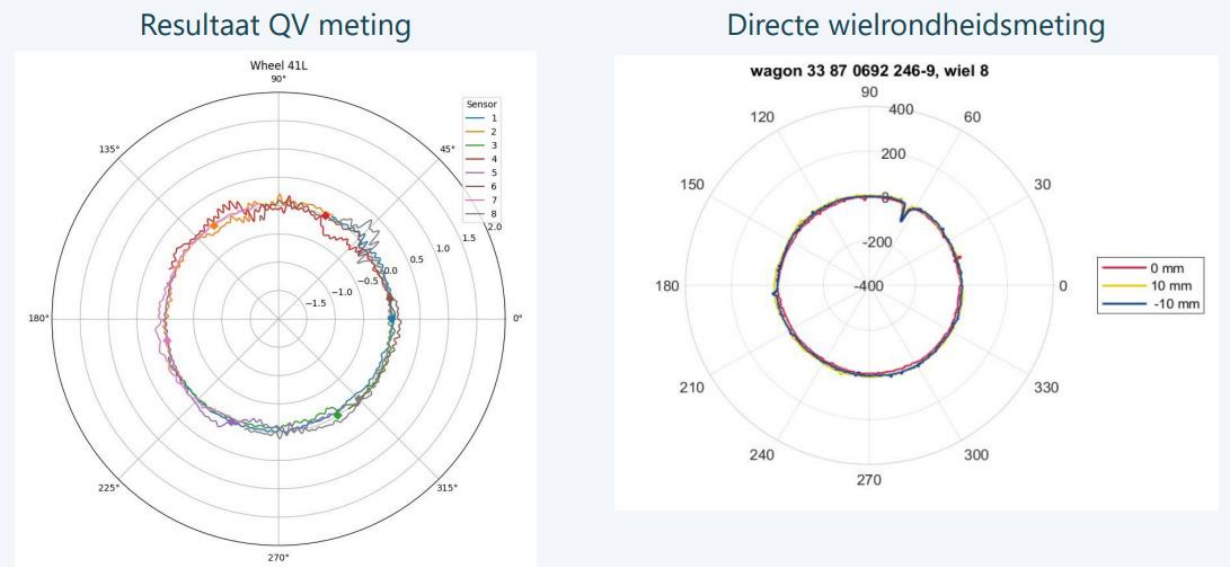
In Q1 van 2024 is er een automatische datastroom opgezet, waarbij de ruwe sensorsignalen werden opgeslagen op een separate bestandsopslag. In hoofdstuk 3 wordt er verder ingegaan op het preprocessen van de meetsignalen.

2.3 Data verzamelen en vervolg

In het volgende hoofdstuk wordt er gekeken naar een nieuw algoritme, welke in staat is om, op basis van de ruw Quo Vadis sensorsignalen, een wielprofiel te construeren. Hiervoor is het noodzakelijk om een grote set van ruwe sensor signalen te analyseren. Omdat normalerwijze deze ruwe sensorsignalen na 30 dagen automatisch worden verwijderd is het noodzakelijk om een aparte dataverbinding en bestandsserver op te zetten om de ruwe sensor signalen voor langere periode te bewaren. Dit is uitgevoerd in Q1 2024.

3 ONDERZOEK NIEUW ALGORITME

Directe wielmetingen zijn gebruikt binnen het IBS-programma om een correlatie tussen bodemtrillingen en onronde wielen in kaart te brengen. Het uitvoeren van directe wielmetingen is echter tijdsintensief en was slechts beperkt mogelijk. Er is daarom gezocht naar mogelijkheden om op grote schaal data te verzamelen over de onrondheid van wielen. In samenwerking Witteveen+Bos is hierbij door voestalpine Signaling Siershahn gewerkt aan een methode om de wielgeometrie op basis van ruwe Quo Vadis data te reconstrueren.



Figuur 1 – Vergelijking tussen test met QV meting (links) en directe onrondsheidsmeting (rechts) van hetzelfde treinwiel

Uit de eerste onderzoeksresultaten (zie als voorbeeld Figuur 1) kon worden geconcludeerd dat de reconstructie waarschijnlijk niet dezelfde informatie en nauwkeurigheid zou kunnen leveren als de directe wielrondheidsmetingen, maar mogelijk wel voldoende zou zijn om correlaties aan te tonen tussen bodemtrillingen en wielrondheid.

In 2024 is door zowel voestalpine Signaling Siershahn als Witteveen+Bos geëxperimenteerd met aanpassingen en verbeteringen van het prototype algoritme op basis van ruwe Quo Vadis meetsignalen. Regelmatig zijn hierbij ervaringen en best practices uitgewisseld.

In oktober 2024 bestond het prototype algoritme van voestalpine in hoofdlijnen uit zes verwerkingsstappen:

1. Automatische selectie (uitsnijding) van sensorsignalen
   Voor ieder wiel wordt voor de sensoren op dezelfde spoorstaaf een stuk signaal geselecteerd zodanig dat er een continu signaal van de passage van het wiel over de meetlocatie van kan worden gemaakt.

2. Normalisatie van sensorsignalen
   Omdat iedere sensor een andere responsie kan hebben is een normalisatie nodig om uiteindelijk één meetsignaal te kunnen maken van de verschillende opeenvolgende sensoren (dat gebeurt in de volgende stap).
3. Samenvoegen van individuele sensorsignalen
   Van de verschillende aaneengeschakelde sensorsignalen wordt één signaal gemaakt. Op plekken waar sensorsignalen overlappen wordt een gewogen gemiddelde gebruikt om tot één meetwaarde te komen.
4. Inregelen van een nominaal signaal
   Per spoorstaaf en per rijrichting wordt een *nominaal signaal* ingeregeld. Dit nominaal signaal komt overeen met een glijdend gewogen gemiddelde van de laatste wielpassages. Omdat de meeste wielen geen noemenswaardige straalafwijkingen zullen hebben en omdat eventuele sporadische afwijken zullen worden uitgemiddeld, wordt zodoende aangenomen dat het ingeregelde nominale signaal een representatie is van de sensorresponsies van de passage van een wiel zonder straalafwijking.
5. Bepalen van wiel-responsie-signaal
   Door het verschil te bepalen tussen het samengevoegde sensorsignaal van één wiel en het nominale signaal wordt het zogenaamde wiel-responsie-signaal bepaald. Er wordt hierbij aangenomen dat afwijkingen in dit signaal veroorzaakt worden straalafwijkingen: immers het gemeten signaal (uit stap 3) wordt nu vergeleken met een signaal van een wiel zonder straalafwijking (uit stap 4).
6. Nabewerking
   Het wiel-responsie-signaal bevat duizenden meetpunten (één waarde per millimeter bij de passage over een meetlocatie van typisch 6-8 meter). Uit deze meetpunten worden een aantal meetwaarden bepaald, onder andere de maximale equivalent straalafwijking (delta-R waarde) en een ordespectrum op basis van de wieldiameter (tot 16^{e} orde).

Gedurende het project is er door voestalpine Signaling Siershahn een grote hoeveelheid ruwe meetsignalen van diverse Quo Vadis systemen (Geldrop, Tricht, Wierden en Willemdorp) verzameld en geconverteerd naar een format dat compatibel was voor de verschillende ontwikkelomgevingen (o.a. Python voor Witteveen+Bos).

In oktober/november 2024 is een grote dataset van deze geconverteerde meetgegevens door voestalpine Signaling Siershahn verwerkt met de (op dat moment) laatste versie van het prototype algoritme. De wielonrondsheidsgegevens (onder andere een equivalent straalafwijking en orderspectrum) zijn gedeeld met Witteveen+Bos om, middels een Machine Learning algoritme, te onderzoeken of er een correlatie is met daadwerkelijke wielonrondheidsmetingen en eventuele bodemtrillingen.

Het delen van deze datasets in 2024 is (samen met de afronden van dit schrijven) vooralsnog de laatste bijdrage van voestalpine Signaling Siershahn geweest voor het IBS-project. Het onderzoek naar een prototype algoritme is na het leveren van deze datasets doorgezet door voestalpine Signaling Siershahn. Er zijn diverse verbeteringen doorgevoerd aan de verschillende verwerkingsstappen en het algoritme is verder volledig geautomatiseerd, waarmee momenteel veldtesten worden uitgevoerd. Nadere informatie hierover kan worden verkregen bij de auteur van dit rapport.

voestalpine Signaling Siershahn GmbH

Branch office The Netherlands

P.O. Box 149
2740 AC Waddinxveen
The Netherlands
T: +31 182 62 22 70
F: +31 182 62 22 89
info.nl.siershahn@voestalpine.com

Visiting address
Coenecoop 770
2741 PW Waddinxveen

Head Office
Bahnweg 1
56427 Siershahn, Germany
www.voestalpine.com/railway-systems

voestalpine
ONE STEP AHEAD.