Rapportage Statische stijfheidsmeting

Swietelsky Rail Benelux
Afdeling Ontwerp & Innovatie
Project: O-2303
Versie: 2.0
Status: Definitief
Datum: 01-07-2024

Opgesteld	Gecontroleerd	Vrijgave
Tange Gilian Digitally signed by Tange Gilian Date: 2024.07.04 13:02:10 +02'00'	van Lambalgen Arno Digitaal ondertekend door van Lambalgen Arno Datum: 2024.07.04 13:06:17 +02'00'	Grutters Mathijs Digitaal ondertekend door Grutters Mathijs Datum: 2024.07.04 13:51:58 +02'00'
Naam en datum	Naam en datum	Naam en datum

Summary / Samenvatting

For Dutch Summary, see below

English summary

Commissioned by ProRail, Swietelsky Rail Benelux, Engineering & Innovation department, conducted a deformation measurement on the quasi-static plane. As part of the IBS program (Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen) ProRail wants to know the extent of the influence of the static component on vibrations.

The quasi-static plane was measured from the rail to a maximum distance of 14 meters from the track. The measurement was conducted in three rounds. Each round consisted of an unloaded measurement and a loaded measurement (loaded with a locomotive, axle load max 22,5 tons). The measurement was checked for reliability and continuity in multiple ways. The standard deviation (measurement reliability) was determined to be 1 mm in the horizontal plane (X/Y) and 0,5 mm in height (Z).

The measurement results show that visible deformation occurs at the rail up to a maximum of 5 mm (at the axle location). Considering the reliability of the measurement, no deformation was detectable outside the measured points on the rail.

Nederlandse samenvatting

In opdracht van ProRail heeft Swietelsky Rail Benelux, afdeling Ontwerp & Innovatie, een deformatiemeting uitgevoerd op het quasi-statische vlak. Als onderdeel van het programma IBS (Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen) wil ProRail weten hoe groot de invloed van de statische component is op trillingen.

Het quasi-statische vlak is gemeten vanaf de spoorstaaf tot maximaal 14 meter afstand van het spoor. De meting is in drie rondes uitgevoerd. Iedere ronde bestaat uit een onbelaste meting en een belaste meting (belast met locomotief, aslast max 22,5 ton). De meting is op meerdere manieren gecontroleerd op betrouwbaarheid en continuïteit. De standaardafwijking (betrouwbaarheid van de meting) is bepaald op 1 mm in het horizontale vlak (X/Y) en op 0,5 mm in de hoogte (Z).

Uit de meting blijkt dat er een zichtbare deformatie optreedt ter plaatse van de spoorstaaf tot maximaal 5 mm (ter plaatse van de as). Met inachtneming van de betrouwbaarheid van de meting is niet te constateren dat er buiten het spoor een deformatie meetbaar is.

Inhoud

Summary / Samenvatting **2**

1.---Inleiding **4**

2.---Basisgegevens **5**

2.1 Opdrachtomschrijving 5
2.2 Locatiegegevens 5
2.3 Spoorconstructie 7
2.4 Bodemgegevens 8
2.5 Ballast onderzoek 9
2.6 Weergegevens 10
2.7 Locomotief gegevens 11

3.---Omschrijving meting **12**

3.1 Meetmethode 12
3.2 Meetpuntenraster statische meting 14

4.---Resultaten **15**

4.1 Visualisatie meetdata 15
4.2 Analyse meetdata 15

5.---Conclusie **17**

Bijlage A Kalibratie Certificaat Leica TS50 Totalstation **18**

Bijlage B Ballastonderzoek **19**

Bijlage C Meetresultaten **20**

Bijlage D Resultaten metingen **21**

Bijlage E Overzichtstekening **22**

1. Inleiding

In opdracht van ProRail voert de afdeling Ontwerp & Innovatie van Swietelsky Rail Benelux metingen uit om de statische vervorming te meten op de spoorstaaf en in de berm langs het spoor. Statische vervorming naast het spoor is nog niet eerder gemeten door ProRail. Als onderdeel van het programma IBS (Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen) wil ProRail weten hoe groot de invloed van de statische component is op trillingen.

De doelstelling van deze statische stijfheidsmeting is om duidelijkheid te verschaffen in de vervorming van baan en ondergrond bij een statische situatie. Normaliter worden metingen aan het spoor en haar omgeving met rijdend materieel uitgevoerd, oftewel een dynamische situatie. Met deze quasi statische meting wordt aangetoond hoeveel de spoorbaan en ondergrond vervormd onder belasting. Deze component is ook van invloed op een dynamische situatie, maar wordt juist door deze statische metingen meetbaar.

In deze rapportage staat beschreven hoe de statische stijfheidsmeting tot stand is gekomen en met welke hulpmiddelen deze is uitgevoerd. In hoofdstuk 2 worden de basisgegevens beschreven, die de eigenschappen van de omgeving en het gebruikte materiaal en materieel laten zien. In hoofdstuk 3 is de meetmethode beschreven en in hoofdstuk 4 zijn de gemeten resultaten gevisualiseerd. In hoofdstuk 5 is de conclusie te lezen.

2. Basisgegevens

2.1 Opdrachtomschrijving

ProRail heeft Swietelsky verzocht om statische stijfheidsmetingen uit te voeren. De omvang van de opdracht omhelst het meten in onbelaste en belaste toestand van het spoor en nabij de spoorbaan om vast te stellen of en in welke mate er statische vervorming optreedt bij het opstellen van materieel op de spoorbaan.

Er is binnen de opdracht gekozen om op de spoorstaaf (reflector)meetpunten aan te brengen om de 30cm, vanuit hart as locomotief tot 3m aan weerszijden (totaal 21 meetpunten). Daarnaast was de opdracht om haaks hierop 5 rijen met meetpunten te creëren op een afstand van 2,5m, 4 of 5m, 8m, 12m, 16m, 24m en eventueel 32m middels centreerkegelmeetpunten. Deze afstanden zijn tijdens uitvoering in overleg met ProRail aangepast naar aanleiding van beperkte ruimte op de meetlocatie.

De metingen binnen de opdracht dienden afwisselend onbelast en belast uitgevoerd te worden door het opstellen van een locomotief op de meetlocatie. Deze afwisselende metingen zijn 3x herhaald.

Tot slot omvatte de opdracht het uitwerken van de meetresultaten en het opstellen van een rapportage met daarin een samenvatting en conclusie opgenomen.

2.2 Locatiegegevens

Na het afwegen van meerdere locaties is uiteindelijk voor een meetlocatie gekozen in Tegelen, in de nabijheid van de overweg Nassaustraat. De locatie bevindt zich op het baanvak Venlo – Roermond ter hoogte van kilometrering 66.4 in spoor MA, geocode 060. In onderstaande figuur 4 en 5 is de meetlocatie op zowel grote als kleine schaal zichtbaar gemaakt.

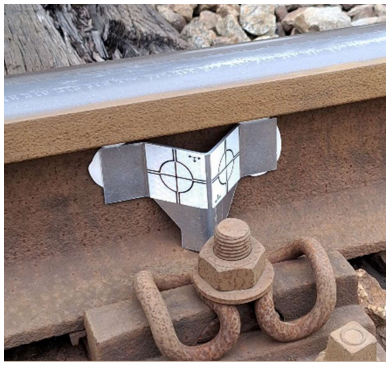
Figuur 1 Locatie grote schaal

Figuur 2 Locatie kleine schaal

De locatie biedt niet voldoende ruimte om een meet-raster uit te zetten welke passend was zoals geformuleerd in de opdracht. Op deze locatie is voor de metingen de meetlocatie voorbereid en zijn de gewenste meetpunten in overleg met ProRail op onderstaande afstanden gecreëerd (zie figuur 9):

- De meetpunten in rij ST aangebracht met reflector stickers in de ziel van de spoorstaaf, om de 30cm tot 3m aan weerszijden (21 meetpunten);
- De 5 meetpunten in rij A zijn parallel aan de spoorstaaf aangebracht op 2,5m uit hart spoor middels centreerkegels en bolprisma aan de rand van het ballastbed in het schouwpad;

- De 5 meetpunten in rij AA zijn aangebracht op 3,5m uit hart spoor middels centreerkegels en bolprisma in de rand van het schouwpad;
- De 5 meetpunten in rij B zijn aangebracht op 5,0m uit hart spoor middels centreerkegels met PV-adapter en spiegel in de berm;
- De 5 meetpunten in rij BB zijn aangebracht op 6,0m uit hart spoor middels centreerkegels in de berm;
- De 5 meetpunten in rij C zijn aangebracht op 8,0m uit hart spoor middels centreerkegels in de berm;
- De 5 meetpunten in rij D zijn aangebracht op 10,0m uit hart spoor middels centreerkegels in de berm;
- De 5 meetpunten in rij E zijn aangebracht op 12,0m uit hart spoor middels centreerkegels in de berm;
- En 5 meetpunten in rij F zijn aangebracht op 14,0m uit hart spoor middels centreerkegels naast het aanwezige hekwerk in de berm.



Figuur 3 Meetsticker

De gekozen meetpunten wijken af van de in de opdracht geformuleerde afstanden (zie paragraaf 2.1). De proeflocatie is begrenst met hekwerk en aangrenzende private percelen, waardoor niet verder dan 14,0m gemeten kon worden uit hart spoor. Omdat de verwachting was dat de statische vervorming het grootst is dichtbij de belasting is in overleg met ProRail ervoor gekozen om nabij het spoor meer meetpunten aan te brengen.

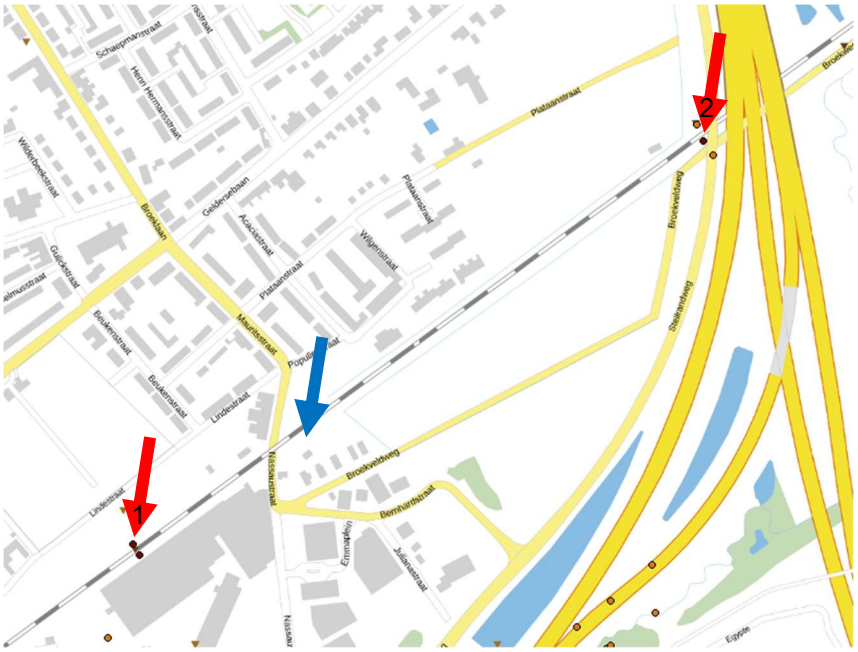
2.3 Spoorconstructie

De meetwerkzaamheden werden uitgevoerd in een treinvrije periode waarin door Swietelsky de dwarsliggers vernieuwd werden. De metingen zijn uitgevoerd voor de vernieuwingswerkzaamheden. De aanwezige spoorconstructie (figuur 4) bestond tijdens de metingen uit een ballastbed van steenslag. Het spoor bestond uit houten dwarsliggers, UIC54 spoorstaven, Vossloh skl km4 bevestigingsmiddelen en een hardkunststoffen beddingplaatje tussen spoorstaaf en de rughellingplaat.

Figuur 4 Spoorconstructie

2.4 Bodemgegevens

Via DINO loket (Ondergrondgegevens, 2024) is gekeken naar beschikbare bodemgegevens in de omgeving van de meetlocatie. Hieruit zijn twee locaties (rode pijlen figuur 5) voortgekomen waar geotechnisch booronderzoek heeft plaatsgevonden in de zeer nabije omgeving van de meetlocatie (blauwe pijl figuur 5). In onderstaande figuur zijn de locaties van de boormonsters weer gegeven. Door middel van de twee onderstaande boormonsterprofielen kan er een globale inschatting gemaakt worden van de samenstelling van de bodem op de locatie van de statische stijfheidsmeting.



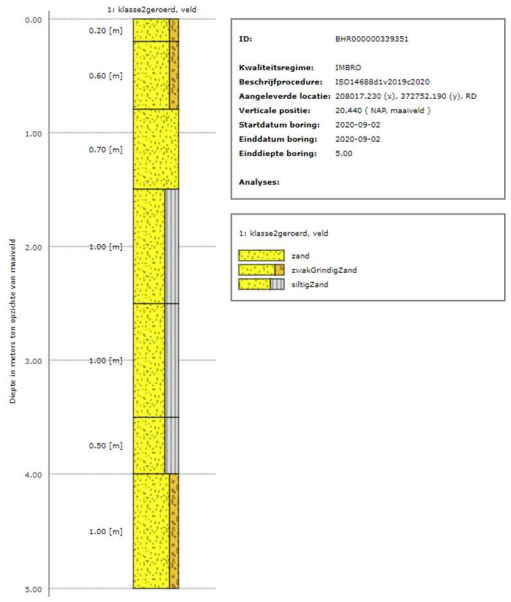
Figuur 5 locaties boormonsters (rode pijlen) en statische stijfheidsmeting (blauwe pijlen)

Boormonster 1

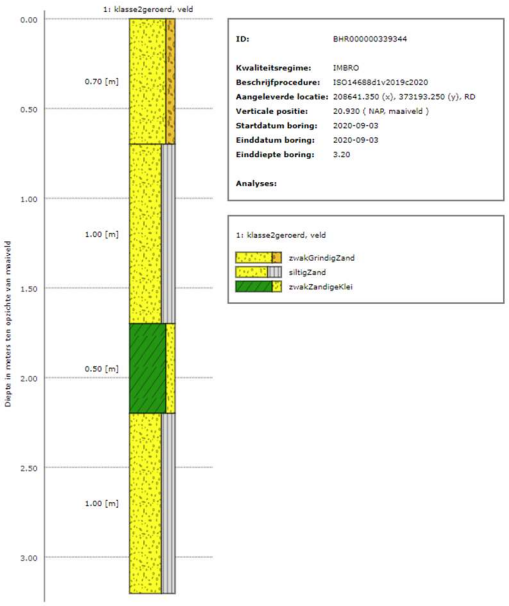
Het eerste boormonster bestaat voor het grootste deel uit zand, twee kleine gedeelten van de boring bevatten zwak grindig zand en een ander klein deel bestaat uit siltig zand. Dit boormonster is afkomstig van de locatie van rode pijl 1 in figuur 5 en is weergegeven in figuur 6.

Boormonster 2

Het tweede boormonster bestaat ook voornamelijk uit zand en de andere twee categorieën die bij de andere boring zijn benoemd. In de tweede meting komt ook 0,5 meter zwakzandige klei voor. Deze grondsoort is minder sterk dan de verschillende soorten zand die verder voorkomen in de omgeving van de meetlocatie. Het boormonster is afkomstig van de locatie van rode pijl 2 in figuur 5 en is weergegeven in figuur 7.



Figuur 6 Boormonster 1



Figuur 7 Boormonster 2

2.5 Ballast onderzoek

Naast de boormonsters uit het DINO loket is een boormonster uit een ballastonderzoek geraadpleegd. Op gelijke hoogte in het spoor als geotechnisch booronderzoek 1 (rode pijl 1 in figuur 5) heeft ook ballastonderzoek plaatsgevonden conform RLN00243-V006 (Handreiking hergebruik en verwerking vrijkomende spoorwegballast). Het formulier behorende bij dit ballastonderzoek komt uit het contract M-004989 – BBV Maaslijn 2024 en is te vinden in bijlage B. Hieruit kan worden afgeleid hoe de kwaliteit van de ballast is geweest ten tijde van de statische stijfheidsmeting. De maatvoering in het ballastonderzoek is gerefereerd aan bovenkant dwarsligger. De constructie ter plaatse van de meting is einde levensduur en de spoorstaven en dwarsliggers diende vernieuwd te worden. Ballastvernieuwing is geen onderdeel van de scope.

Uit het ballastonderzoek blijkt dat de eerste 20 centimeter ballast (geschikt voor hergebruik) bestaat uit grove steenslag met een korrelgrootte boven de 30 millimeter. In deze eerste laag is er een zwakke bijmenging van grind, dit houdt in dat er minder dan 10 procent grind in deze laag aanwezig is. Hierna bestaat de tweede laag vanaf 20 centimeter tot 50 centimeter uit fijne steenslag met een korrelgrootte kleiner dan 30 millimeter. Ook hier is sprake van bijmenging van grind, maar het gaat hier om matige bijmenging wat betekent dat er 10 tot 20 procent grind in deze laag aanwezig is. De laatste gemeten laag bevindt zich tussen de 50 en 80 centimeter. Het hoofdbestanddeel van deze laag is fijn grind met een korrelgrootte lager dan 30 millimeter, er is in deze laag geen sprake van bijmenging van andere soorten of korrelgroottes grind, zand of steengruis (geschikt voor hergebruik).

De samenstelling van de ballast blijkt dus volgens het ballastonderzoek nog te voldoen aan de specificaties.

2.6 Weergegevens

Om de nauwkeurigheid van de meting te onderbouwen zijn de weersomstandigheden vastgelegd.

Voor het achteraf analyseren van de gedane meting is het belangrijk om te weten hoe het weer op de desbetreffende dag was. Om deze gegevens te achterhalen is er gebruik gemaakt van een KNMI-weerstation. In dit geval is dit een weerstation in Arcen, op 17,5 kilometer hemelsbrede afstand van de meetlocatie.

Weerstation Arcen 13-04-2024

Windrichting: 235°
Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2,4 m/s
Etmaalgemiddelde temperatuur: 18,4° Celsius
Zonneschijnduur: 8 uur en 54 minuten
Globale straling: 1780 J/cm^2
Etmaalgemiddelde luchtvochtigheid: 66%

2.7 Locomotief gegevens

Tijdens de metingen is gebruik gemaakt van een dieselhydraulische locomotief. Onderstaand zijn de voertuigspecificaties en enkele afbeeldingen van de locomotief toegevoegd.

Voertuigidentificatie:

Soort spoorvoertuig:	Dieselhydraulische locomotief
Type:	MAK G1206
Aantal:	1
Materieelnummer:	92 84 0275 308-9
Fabrieksnummer:	500 1724
Bouwjaar:	2008
Fabrikant:	Vossloh Locomotives GmbH, Kiel (D)
Gewicht locomotief (max./nom):	89.800 kg / 87.300 kg
Lengte over de buffers:	14.700 mm
Tonmetergewicht:	max 6,12 t/m
Wieldiameter (min./nom):	920 mm / 1.000 mm
Aantal assen:	4
Maximum aslast:	22.500 kg
Hart op hart draaistellen:	7.200 mm
Asafstand binnen draaistel:	2.400 mm

Figuur 8 locomotief Danique

Figuur 9 detail locomotief

Figuur 10 detail locomotief

3. Omschrijving meting

3.1 Meetmethode

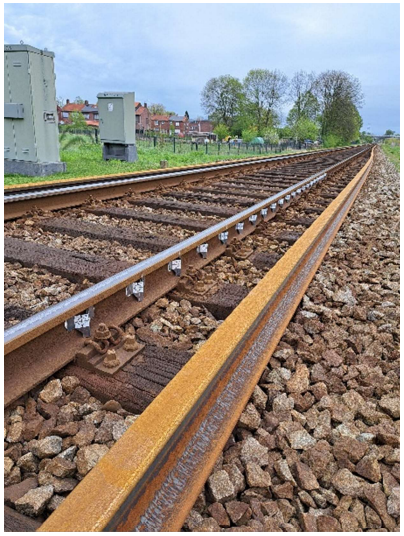
Voor het meten is er gebruik gemaakt van een Leica TS50 0,5” Totalstation. Het kalibratie certificaat van dit meetapparaat is te vinden in bijlage A. Voor aanvang meten zijn een aantal atmosferische correcties ingevoerd zoals ze in paragraaf 2.6 ook zijn weergeven. Om te controleren of het Totalstation niet is “vergaan” tijdens de deformatiemeting zijn er 3 vaste grondslag punten aangemeten. Deze punten zijn zowel voor, tijdens als na de meting aangemeten. Het Totalstation zelf bevond zich ter hoogte van kilometer 66,4, de grondslagpunten bevonden zich ter hoogte van kilometer 66,3 en 66,5 en het derde punt bevond zich haaks op het Totalstation, zie figuur 14.

Er is gebruik gemaakt van verschillende type meetpunten. Zo zijn de reflector meetpunten in de ziel van de spoorstaaf aangemeten met het Totalstation. De meetpunten van rijen A en AA (zie figuur 14) zijn gemeten met behulp van een bolprisma welke gecentreerd is op de centreerkegels. De overige meetpunten (rijen B, BB, C, D, E en F)(zie figuur 14) zijn gemeten middels een spiegel welke op de centreerkegel geplaatst is.

Voor de meetpunten op de spoorstaaf (rij ST) zijn uit kostenoverweging reflector stickers gebruikt in plaats van een bolprisma. Vooraf was het idee om voor alle andere meetpunten een centreerkegel toe te passen waar steeds een bolprisma op wordt gelegd. Echter was dit alleen mogelijk voor de rijen in het schouwpad (rijen A en AA). Vanwege hoog gras ter hoogte van de meetpunten in de rijen B, BB, C, D, E en F is besloten om hier een PV-adapter op de centreerkegel te monteren en gebruik te maken van een spiegel in plaats van een bolprisma.

Figuur 13 Centreerkegel met bolprisma

Figuur 12 PV-adapter met spiegel



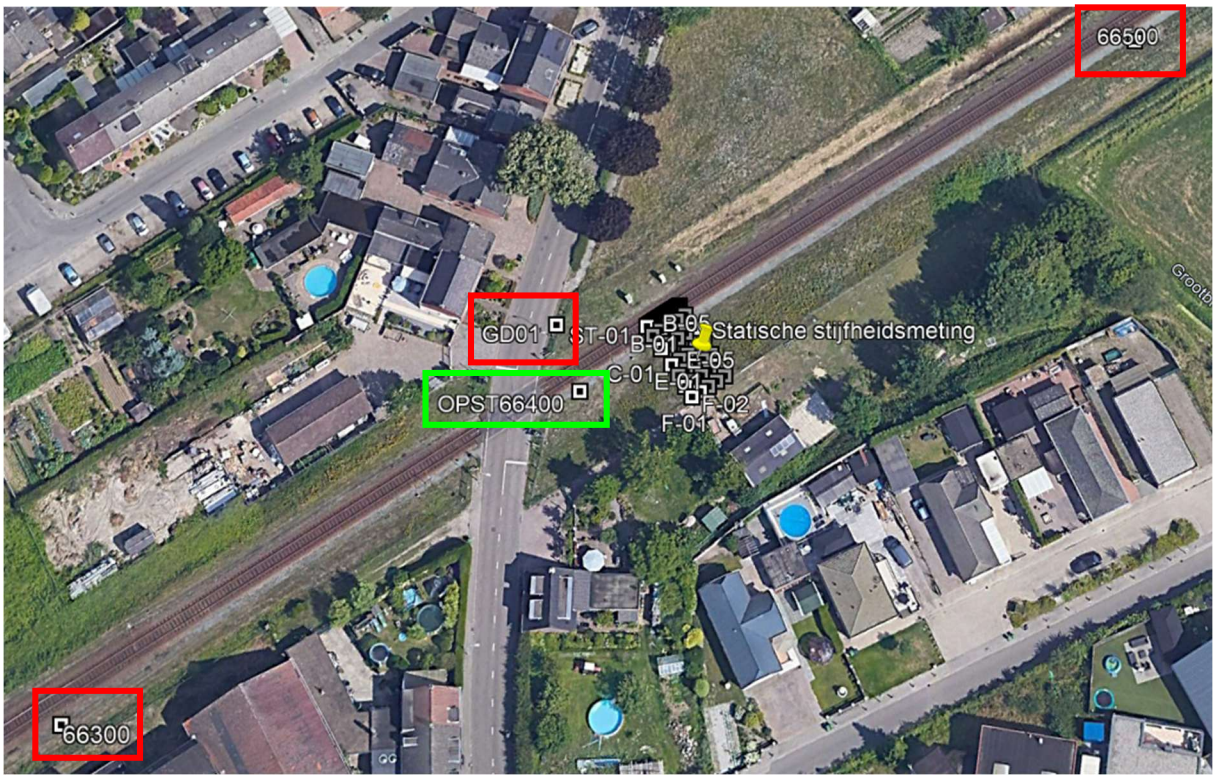
Figuur 11 Reflector stickers

Voor aanvang van de meting is er één nulmeting gedaan van alle punten. Deze nulmeting dient als kwaliteitscontrole alsmede de eerste onbelaste meting van de deformatiemeting. Hierna is de eerste as van de locomotief neergezet ter hoogte van meetpunt ST-11 en zijn alle punten nogmaals aangemeten om de deformatie te meten.

Hierna is de onbelaste meting en belaste meting nogmaals herhaald. Bij de tweede belaste meting is de locomotief weer zo goed mogelijk op dezelfde plek neergezet als bij de eerste belaste meting. Bij de eerste twee cyclussen zijn alle 61 punten gemeten zoals uitgezet in het raster.

Vanwege gebrek aan tijd zijn tijdens de 3e cyclus alleen de rijen ST, A en AA gemeten, zowel onbelast als belast. Omdat tijdens de eerste twee cyclussen is gezien dat er bij de meetpunten buiten het spoor geen deformatie waarneembaar was is gekozen om alleen de 31 meetpunten in rijen ST, A en AA te meten en niet alle 61 meetpunten.

Als sluitende kwaliteitscontrole (opgenomen in bijlage C – Kwaliteitscontrole sluitfout) zijn de grondslagpunten na de laatste deformatiemeting nog eenmaal aangemeten. Dit om er zeker van te zijn dat het meettoestel tijdens alle metingen niet is “vergaan”.



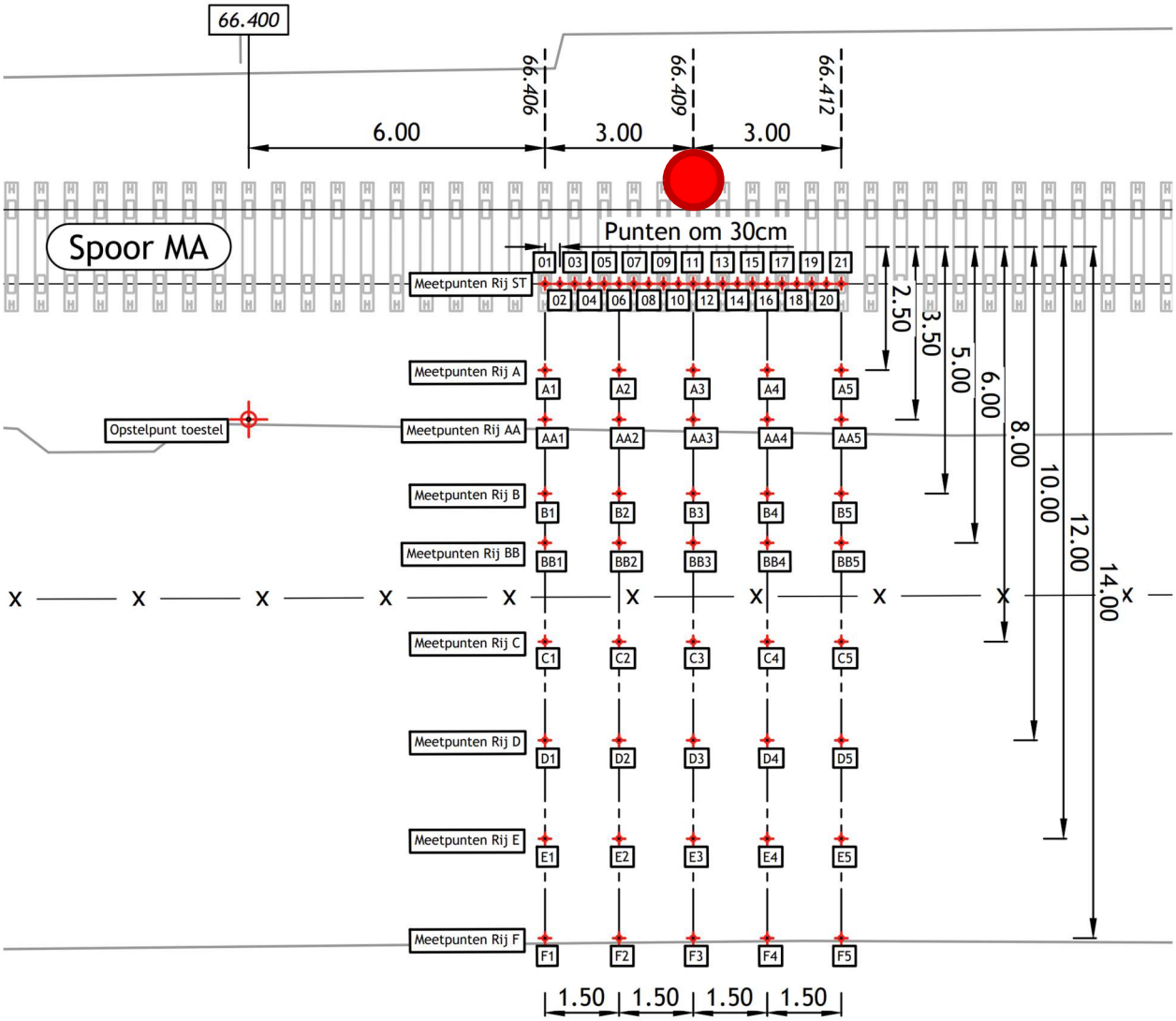
Figuur 14, locaties grondslag (rood) en opstelling Totalstation (groen)

3.2 Meetpuntenraster statische meting

In figuur 11 is het meetpuntenraster te zien waarin zichtbaar is gemaakt op welke punten is gemeten. Tevens is de overzichtstekening van het meetpuntenraster als bijlage bijgevoegd.

Iedere rij is gerefereerd aan hart spoor MA en heeft een unieke rijcodering. Ieder meetpunt heeft een uniek nummer. De unieke nummering van ieder meetpunt is in alle metingen verwerkt, om tijdens de uitwerking en vergelijking van de meetdata de juiste informatie met elkaar te vergelijken.

In de belaste metingen is ter hoogte van punt ST-11 (km 66.409) de voorste as (rode cirkel) van de locomotief opgesteld. De tweede as stond opgesteld ter hoogte van km 66.412, waarachter de rest van de locomotief opgesteld stond (welke buiten het meetgebied stond).



Figuur 15 Meetpuntenraster

4. Resultaten

4.1 Visualisatie meetdata

In tabel 1 is de uitgewerkte meetdata te zien. De data is zo gevisualiseerd dat het dezelfde lijnen heeft als het raster van de meetopstelling. In deze tabel zijn per meetpunt twee waarden berekent. De bovenste waarde van elk punt geeft de gemiddelde ΔZ in meters weer, oftewel de verplaatsing in de verticale richting. Aan deze punten is een kleurenschaal toegevoegd om meer visuele waarde te creëren. Hoe roder de betreffende waarde, hoe meer het punt gezakt is en wanneer het punt groen is, is het punt omhoog gekomen.

Het onderste getal van elk punt geeft de gemiddelde ΔXY in meters weer, oftewel de verplaatsing in horizontale richting. Ook voor de horizontale verplaatsing is er een kleurenschaal toegepast, hierbij geldt hoe groener het punt, hoe meer het punt horizontaal verplaatst is.

In bijlage C is de ruwe meetdata van alle 7 metingen per punt te zien. Hier zijn de coördinaten en de hoogtes te zien.

4.2 Analyse meetdata

De analyse van de meetgegevens is uitgevoerd na het bepalen van de betrouwbaarheid van de meting. Het bepalen van betrouwbaarheid meting is door middel van het uitrekenen van een standaardafwijking uitgevoerd (zowel bij onbelaste meting als bij de belaste meting). Met deze standaardafwijking is per meetpunt bepaald wat de betrouwbaarheid is van de meting en is voor een aantal punten al bepaald dat de betrouwbaarheid onvoldoende was. De betrouwbaarheid van de meting is op positie (X/Y) gemiddeld 1,0mm en op hoogte (Z) gemiddeld kleiner dan 0,5mm. In bijlage D is het rekenblad toegevoegd met daarin herleidbaar hoe de gemiddelde standaardafwijking is berekend.

Op basis van de analyse van de standaardafwijking is geconstateerd dat er een aantal uitschieters aanwezig zijn. Met het uitvoeren van een of meerdere metingen op deze punten zijn er naar alle waarschijnlijkheid fouten gemaakt in het proces van het aanmeten van een paar punten. Zo is meetpunt ST-01 gemiddeld 6 millimeter en ST-06 gemiddeld 3 millimeter horizontaal verschoven. Deze meetpunten bevonden zich in de ziel van de spoorstaaf op een punt waar er geen directe belasting is geweest van de locomotief. Met inachtneming van het feit dat de andere meetpunten een minimale horizontale verplaatsing laten zien zal er bij de meetpunten ST-01 en ST-06 sprake zijn geweest van een fout in het meetproces.

Bij de punten E-05 en F-02 is er ook een hoge waarde te zien (in de standaardafwijking). Deze hoge waarden zijn het resultaat van een meetonnauwkeurigheid en dienen daarom niet als representatief te worden beschouwd.

	ST-01	ST-02	ST-03	ST-04	ST-05	ST-06	ST-07	ST-08	ST-09	ST-10	ST-11	ST-12	ST-13	ST-14	ST-15	ST-16	ST-17	ST-18	ST-19	ST-20	ST-21
ΔZ	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,001	-0,002	-0,003	-0,003	-0,004	-0,003	-0,005	-0,005	-0,004	-0,003	-0,003	-0,004	-0,003	-0,002	-0,003	-0,003	-0,003
ΔXY	0,006	0,001	0,000	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000

	A-01	A-02	A-03	A-04	A-05
ΔZ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ΔXY	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

	AA-01	AA-02	AA-03	AA-04	AA-05
ΔZ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ΔXY	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

	B-01	B-02	B-03	B-04	B-05
ΔZ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ΔXY	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

	BB-01	BB-02	BB-03	BB-04	BB-05
ΔZ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ΔXY	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000

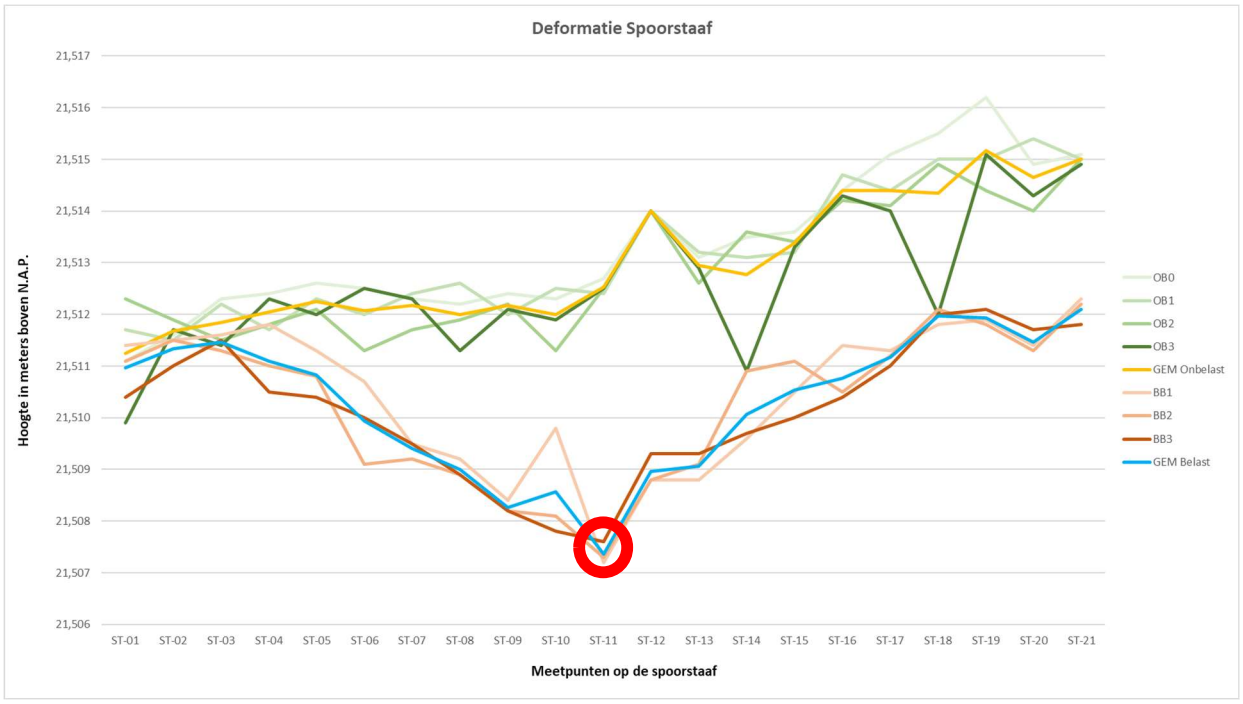
	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05
ΔZ	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
ΔXY	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05
ΔZ	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ΔXY	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000

	E-01	E-02	E-03	E-04	E-05
ΔZ	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002
ΔXY	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001

	F-01	F-02	F-03	F-04	F-05
ΔZ	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
ΔXY	0,000	0,003	0,001	0,000	0,001

Tabel 1 meetdata (waardes in m)



Figuur 16 Deformatie spoorstaaf (rode cirkel markeert locatie belasting 1e as bij ST-11)

5. Conclusie

In opdracht van ProRail heeft de afdeling Ontwerp & Innovatie van Swietelsky Rail Benelux statische metingen uitgevoerd in en nabij de spoorbaan te Tegelen. Er zijn afwisselend onbelaste en belaste metingen uitgevoerd. De belasting werd gerealiseerd middels een dieselhydraulische locomotief welke bij iedere belasting op gelijke plaats opgesteld werd binnen de meetlocatie.

Op basis van de uitgevoerde kwaliteitscontrole is te concluderen dan de betrouwbaarheid van de meting 1mm in het horizontale vlak is en 0,5mm in de hoogte.

Uit de analyse van de deformatiemeting is de conclusie dat er minimale deformatie te waarnemen is in het quasi statische veld. Enkel de verticale verandering in de meetserie op de spoorstaaf (rij ST) is de een verticale afwijking meetbaar tot 5mm. Ter plaatse van de geplaatste as van de locomotief is de grootste verticale deformatie zichtbaar.

De deformatie op de meetpunten in de rijen A t/m F is minimaal en niet groter waarneembaar dan 1mm. Dit is met inachtneming van de bepaalde betrouwbaarheid van de meting zoals genoemd in paragraaf 4.2. Voor de meetpunten in rijen A, AA, B, BB, C, D, E en F kan dus geconcludeerd worden dat er geen deformatie waarneembaar is bij een statische belasting van een locomotief, zowel in verticale als in horizontale richting.

Bijlage A Kalibratie Certificaat Leica TS50 Totalstation

- Kalibratie Certificaat Leica TS50 Totalstation

Bijlage B Ballastonderzoek

- Ballastonderzoek M-004989 - BBV Maaslijn 2024

Bijlage C Meetresultaten

- Calibration Certificate Blue
- Onbelast meting 0
- Onbelast meting 1
- Belast meting 1
- Onbelast meting 2
- Belast meting 2
- Onbelast meting 3
- Belast meting 3
- Kwaliteitscontrole sluitfout

Bijlage D Resultaten metingen

- O-2303 Resultaten statische stijfheidsmetingen v1.0.pdf
- Excel bestand “240413-TGL MON BELAST EN ONBELAST” met complete uitwerkingen

Bijlage E Overzichtstekening

- O-2303 - Uitvoering Statische meting Tegelen v2.0 Revisie