M+P | Onderdeel van Müller-BBM groep
Mensen met oplossingen

Rapport

Data-analyse hinderlijke passages

Colofon

Opdrachtnemer	M+P raadgevende ingenieurs BV
Opdrachtgever	Kareen Gasparotto ProRail B.V. Postbus 2038 3500 GA Utrecht
Opdrachtnummer	-
Titel	Data-analyse hinderlijke passages
Rapportnummer	M+P.24035.01
Revisie	0
Datum	23 mei 2025
Aantal pagina's	246
Auteurs	dr. ir. Ard Kuijpers ing. Maarten Meeuwes
Contactpersoon	dr. ir. Ard Kuijpers | 06-29505797 | ardkuijpers@mp.nl

M+P

Wolfskamerweg 47 | 5262 ES Vught
Visserstraat 50 | 1431 GJ Aalsmeer

www.mp.nl | onderdeel van de Müller-BBM groep | Lid NLingenieurs | ISO 9001 gecertificeerd

Copyright

© M+P raadgevende ingenieurs BV | Niets van deze rapportage mag worden gebruikt voor andere doeleinden dan is overeengekomen tussen de opdrachtgever en M+P (DNR 2011 Artikel 46).

Inhoud

	Samenvatting	6
	Summary	8
1	Inleiding	10
1.1	Achtergrond en doelstelling	10
1.2	Aanpak onderzoek	10
2	Ruwe data en dataverwerking	12
2.1	Data understanding	12
2.2	Data preparation	12
2.3	Koppelen hinderregistraties, treinpassages en trillingsmetingen	14
2.4	Data verrijking	15
2.5	Data reductie	15
2.6	Terminologie	15
3	Resultaten Schalkwijk	16
3.1	Meetlocaties	16
3.2	Kentallen	17
3.3	Uitvoeringstype	20
3.4	Materieeltype en aantal assen	21
3.5	Wielschade	23
3.6	Aslast	24
3.7	Diagonale onbalans	25
3.8	Correlatie tussen trillingsmetingen	27
3.9	Trillingsniveau per afstand	29
3.10	Variatie van trillingsniveau	33
3.11	Trillingsspectra	34
3.12	Conclusies	38
4	Resultaten America	39
4.1	Meetlocaties	39
4.2	Kentallen	40
4.3	Uitvoeringstype	43
4.4	Materieeltype en aantal assen	44
4.5	Wielschade	45
4.6	Aslast	46
4.7	Diagonale onbalans	48
4.8	Correlatie tussen trillingsmetingen	50
4.9	Trillingsniveau per afstand	51
4.10	Variatie van trillingsniveau	55
4.11	Trillingsspectra	56
4.12	Conclusies	58
5	Resultaten Holten	60
5.1	Meetlocaties	60
5.2	Kentallen	61
5.3	Uitvoeringstype	63

5.4	Materieeltype en aantal assen	64
5.5	Wielschade	66
5.6	Aslast	67
5.7	Diagonale onbalans	68
5.8	Correlatie tussen trillingsmetingen	69
5.9	Trillingsniveau per afstand	71
5.10	Variatie van trillingsniveau	76
5.11	Trillingsspectra	77
5.12	Conclusies	81
6	Resultaten Wierden	82
6.1	Meetlocaties	82
6.2	Kentallen	83
6.3	Uitvoeringstype	86
6.4	Materieeltype en aantal assen	87
6.5	Wielschade	88
6.6	Aslast	89
6.7	Diagonale onbalans	90
6.8	Correlatie tussen trillingsmetingen	91
6.9	Trillingsniveau per afstand	92
6.10	Variatie van trillingsniveau	95
6.11	Trillingsspectra	95
6.12	Conclusies	96
7	Samenvatting van conclusies en discussie	97
7.1	Kentallen	97
7.2	Uitvoeringstype	97
7.3	Materieeltype en aantal assen	97
7.4	Wielschade	97
7.5	Aslast	97
7.6	Diagonale onbalans	98
7.7	Correlatie trillingsmetingen	98
7.8	Trillingsniveau per afstand	98
7.9	Variatie van trillingsniveau	98
7.10	Trillingsspectra	98
7.11	Discussie	98
8	Literatuur	100
A	Schalkwijk: aslast	102
B	Schalkwijk: diagonale onbalans	104
C	Schalkwijk: correlatie tussen trillingsmetingen	106
D	Schalkwijk: trillingsniveau per afstand	107
E	Schalkwijk: trillingsspectra	110
F	America: aslast	149
G	America: diagonale onbalans	150

H	America: correlatie tussen trillingsmetingen	151
I	America: trillingsniveau per afstand	152
J	America: trillingsspectra	153
K	Holten: aslast	192
L	Holten: diagonale onbalans	194
M	Holten: correlatie tussen trillingsmetingen	196
N	Holten: trillingsniveau per afstand	197
O	Holten: trillingspectra	198
P	Wierden: aslast	243
Q	Wierden: diagonale onbalans	245

Samenvatting

In het najaar 2022 zijn er bij omwonenden in Schalkwijk klachten ontstaan over de toename van trillingshinder. Een plotselinge toename van trillingshinder zonder duidelijke oorzaak en ook bij omwonenden die relatief ver van het spoor wonen is afwijkend van andere locaties. Daarom is ProRail een onderzoek gestart naar de oorzaak. ProRail heeft eerst zelf de situatie intern onderzocht. De eerste analyses van verkeersdata suggereerden een verband tussen treineigenschappen en de gemelde hinder, wat ook wordt bevestigd door recent onderzoek. Echter, de plotselinge toename en de meldingen op grotere afstand van het spoor worden hiermee niet verklaard.

In de literatuur wordt een relatie gelegd tussen trillingsniveaus en hinderbeleving. In Nederland is vastgesteld dat mensen die worden blootgesteld aan hogere trillingsniveaus of dichter bij het spoor wonen, vaker hinder van goederentreinen ervaren. Voor reizigerstreinen is het verband tussen afstand of trillingsniveau en hinder echter minder duidelijk.

Om de meldingen verder te onderzoeken, startte ProRail een onderzoeksproject binnen het kader van het Innovatieprogramma Bronaanpak Spoortrillingen (IBS). In 2023 en 2024 werd veldonderzoek uitgevoerd in de betreffende plaats en op drie extra locaties. Deze locaties zijn gekozen zodat er een representatieve mix van Nederlands spoorverkeer langskomt, en om variatie in typische Nederlandse bodemomstandigheden mee te nemen. Het onderzoek had als doel om het verband tussen treineigenschappen, trillingsniveaus en de hinderbeleving van omwonenden te analyseren. Een belangrijk doel was het bevestigen of juist ontkrachten van bevindingen uit bestaande literatuur, met name of bepaalde treineigenschappen bijdragen aan hinderbeleving.

Er werd een uitgebreide data-analyse uitgevoerd volgens de CRISP-DM-methodologie, met iteratieve stappen: business understanding, data preparation, modellering en evaluatie. Voor elk van de vier locaties werd een database samengesteld op basis van drie hoofdbronnen:

- Anonieme registraties van trillingshinder door omwonenden;
- Verkeersdata, inclusief treineigenschappen afkomstig van QuoVadis-meetstations;
- Trillingsparameters (V_{rms} en $V_{eff,max}$) en tertsbandspectra van metingen op diverse posities op verschillende afstanden van het spoor, met behulp van 1D- en/of 3D-trillingssensoren.

Het koppelen van hinderregistraties, verkeersgegevens en trillingsmetingen was een cruciale en complexe stap. Verkeersdata werd verzameld via QuoVadis-stations, die zich niet op dezelfde locaties bevonden als de locaties voor trillingsmetingen. Daarom werd treininformatie vertaald naar de meetsites op basis van tijdsverschillen en snelheden.

Hinderdata werd vooraf verwerkt door tijdstippen van individuele meldingen per adres samen te voegen en te koppelen aan één veronderstelde treinpassage. Sommige meldingen konden echter niet worden gekoppeld aan een trein, vanwege fouten in tijdregistratie, ontbrekende QuoVadis-data of valse positieven (bijvoorbeeld hinder veroorzaakt door passerende vrachtwagens).

Aanvankelijk werden hinderlijke treinpassages vergeleken met alle treinpassages, wat twee datasets opleverde: “hinderlijke passages” en “alle passages”. Deze aanpak hield echter geen rekening met mogelijke ‘false negatives’ – hinderlijke passages die niet werden gemeld omdat bewoners niet thuis waren. Daarom werd een derde dataset gemaakt: “passages rondom een hinderlijke passages’”, bestaande uit de vijf treinpassages vóór en na een melding. De aanname was dat bewoners in deze periode thuis waren, wat een nauwkeuriger referentie biedt.

De gecombineerde analyse van treineigenschappen, trillingsmetingen en hinderregistraties leverde nieuwe inzichten op in hinderlijke treinpassages. Op alle locaties werd een aanzienlijk deel van de

goederentreinen als hinderlijk geregistreerd, wat overeenkomt met de literatuur. Verrassend genoeg werden reizigerstreinen ook vaak als hinderlijk ervaren. In absolute getallen was dat aandeel vergelijkbaar met goederentreinen.

Zoals verwacht en in lijn met eerdere studies werd een correlatie gevonden tussen hoge trillingsniveaus en hinder bij goederentreinen. Dat was echter niet op alle locaties het geval. En, er was ook een aanzienlijk aantal meldingen die niet direct met trillingsniveaus te verklaren waren, vooral bij intercity- en stoptreinen. De data suggereerde dat wielschade een rol speelde bij verstorende passages: passages met meerdere wielschades waren oververtegenwoordigd in de hinderregistraties, waarbij vlakke plekken op de wielen (wheel flats) bijzonder belangrijk waren.

Daarnaast bleken aslast en beladingsverdeling gerelateerd aan hinder. Zwaar beladen goederentreinen met hogere gemiddelde aslasten werden vaker in verband gebracht met hinder. Een grotere diagonale onbalans in draaistellen correleerde ook met storende passages. Dus (variatie) in mechanische belasting van het spoor speelt een rol.

Het onderzoek bevestigde dat goederentreinen een bron van trillingshinder zijn. Echter, ook intercity- en stoptreinen dragen in aanzienlijke mate bij, wat in de literatuur vaak wordt onderschat. De verwachte correlatie tussen trillingsniveaus en hinder werd enkel bevestigd voor goederentreinen. Het onderzoek toonde ook aan dat veel hinderregistraties niet konden worden gekoppeld aan gangbare parameters: passagierstreinen met matige belading, zonder wielschade en met gematigde trillingsniveaus veroorzaakten ook hinder.

Het blijft onduidelijk of de gemelde hinder uitsluitend door trillingen werd veroorzaakt, of dat geluid ook een rol heeft gespeeld in de perceptie. Verder konden op drie locaties een behoorlijk aantal meldingen niet aan specifieke treinpassages worden gekoppeld. En er was een opvallend verschil in hinderbeleving tussen Wierden en Holten – twee vergelijkbare plaatsen qua ligging en verkeersaanbod. We doen geen uitspraken over de oorzaken, maar deze bevindingen suggereren dat de relatie tussen treinpassages en ervaren hinder niet eenvoudig is.

Over het algemeen blijkt dat onze huidige kennis over de impact van treinpassages op mensen onvoldoende is om trillingshinder van treinpassages volledig te verklaren. Technische maatregelen aan voertuigen en infrastructuur kunnen trillingen verminderen, maar leiden daarmee niet gegarandeerd tot een evenredige afname van de hinder. Om trillingshinder beter aan te pakken, is een beter begrip nodig van hoe mensen trillingen waarnemen en ervaren, zodat investeringen in maatregelen ook daadwerkelijk tot de gewenste afname van de hinder leiden.

Summary

During fall 2022, the residents of a Dutch town near the railway network reported an unusual increase in vibration-related annoyance. This was notable due to its sudden onset and the fact that it affected individuals living further away from the railway. ProRail launched an investigation by starting with an internal study. The initial analyses of traffic data suggested a link between the train characteristics and the reported disturbances, which is also a finding supported by recent research. However, the sudden onset and the complaints relatively far from the railway are not explained.

Literature highlights a direct relationship between vibration levels and annoyance. In the Netherlands, it was found that individuals exposed to higher vibration levels or living closer to railway lines report annoyance from freight trains more frequently. However, the link between vibration levels or proximity and annoyance is less clear for vibrations caused by passenger trains.

To further investigate the complaints, ProRail initiated a research project within the context of IBS ("Innovatieprogramma bronaanpak spoortrillingen" an innovation programme focused on understanding, modelling, and mitigating vibrations at the source). A field research was conducted in the affected town and at three additional locations in 2023 and 2024. The locations were chosen such that a representative mix of Dutch railway traffic would be passing and that a certain variation in typical Dutch soil conditions would also be taken into account. The study aimed to examine the relationship between train characteristics, vibration levels, and residents' perception of disturbances. A key objective of this research was to confirm or challenge findings in existing literature, particularly regarding whether specific train characteristics contribute to perceived annoyance.

A comprehensive data analysis was conducted, utilizing the CRISP-DM methodology, involving iterative steps: business understanding, data preparation, modelling, and data evaluation. For each of the four research locations, a database was compiled from three key sources:

- Anonymous resident annoyance reports.
- Traffic data, including train characteristics from QuoVadis measurement stations.
- Vibration parameters (V_{rms} and $V_{eff,max}$) and third-octave vibration spectra from measurements at a number of positions across various cross sections and distances from the tracks, using 1D and/or 3D vibration sensors.

Linking annoyance reports, traffic data, and vibration measurements was crucial and complex step. Traffic data was collected at QuoVadis stations. The location of these stations did not align with vibration measurement sites. Therefore, train information was transposed onto the measurement sites using time differences and train speeds. Annoyance data was pre-processed by consolidating timestamps of individual reports at specific addresses, and attributing them to a single assumed train passing. However, some annoyance reports could not be linked to a train passing due to defect in time reporting, missing QuoVadis data, or false positives (e.g., complaints caused by vibrations from truck passbys).

Initially, reported "annoying" train passages were compared to all train passages, resulting in two datasets: "annoying passbys" and "all passbys". However, this approach overlooked potential false negatives - train passing that were annoying but unreported because residents were not home. To address this, a third dataset was created: "passbys around annoyance", including the five passings before and after an annoyance report. The assumption was that residents were home during this period, making it a more accurate reference.

The combined analysis of train characteristics, vibration measurements, and annoyance reports provided new insights into disruptive train passings. Across locations, a significant portion of freight

train passings were reported as annoying, consistent with literature. Surprisingly, intercity and regional trains were also reported as causing considerable annoyance. In absolute numbers, the passenger train annoyance registrations were often similar to the freight train annoyance registrations.

In line with expectations and existing research, a correlation was found between high vibration levels and complaints for freight trains. But not at all locations and furthermore, there was also a considerable amount of complaints that could not be related to vibration levels, especially complaints about intercity and commuter trains. The data indicated that wheel damage played a role in disruptive incidents. The likelihood of annoyance being reported increased when multiple wheel damages were present, with wheel flats being particularly prominent.

Additionally, axle load and load distribution emerged as possible contributing factors. Heavily loaded freight trains with higher average axle loads were more frequently linked to annoyance. A higher degree of diagonal imbalance in bogies also correlated with disruptive passages. This points to the role of variation of mechanical impact on annoyance.

The study confirmed that freight trains are a source of vibration-related annoyance. However, intercity and regional trains also contribute significantly, a finding often overlooked in the literature. The expected correlation between vibration levels and annoyance could be confirmed only for freight trains. The study also showed that a lot of annoyance registrations could not be linked to typical parameters: (passenger) trains with moderate loads, without wheel damage causing moderate vibration levels also lead to annoyance due to vibrations.

It remains unclear whether the annoyance reported by the residents was solely due to vibrations or if noise also influenced perception. Notably, at three locations, many reports couldn't be linked to specific train passages, and there was a striking difference in reported nuisance between Wierden and Holten—two areas with similar locations and traffic levels. We refrain from speculating on the causes, but these findings suggest that the relationship between train passages and perceived nuisance is not straightforward.

Overall, the current understanding of how train passages affect people is insufficient to fully explain vibration nuisance. While technical mitigation measures to vehicles and infrastructure can reduce vibrations, they don't necessarily reduce all perceived annoyance. To address this, we need a better understanding of how people perceive and experience vibration, to ensure that mitigation efforts lead to meaningful improvements.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doelstelling

In het najaar 2022 zijn er bij omwonenden in Schalkwijk klachten ontstaan over de toename van trillingshinder. Een plotselinge toename van trillingshinder zonder duidelijke oorzaak en ook bij omwonenden die relatief ver van het spoor wonen is afwijkend van andere locaties. Daarom is ProRail een onderzoek gestart naar de oorzaak. ProRail heeft eerst zelf de situatie intern onderzocht. Daarbij leken er relaties te zijn tussen eigenschappen van treinen en gerapporteerde hinder. Om dit beter te kunnen begrijpen is hierna intern samenwerking gezocht met het IBS programma (innovatieagenda bronaanpak spoortrillingen). Vanuit IBS zijn daarna op een viertal locaties, waaronder Schalkwijk, onderzoeken uitgevoerd waarbij de relaties worden onderzocht tussen de beleving van omwonenden, het gemeten trillingsniveau en eigenschappen van treinen.

Uit onderzoek is bekend dat er een direct verband is tussen trillingsniveaus en hinder [1]. In Nederland is de relatie tussen trillingen en hinder recentelijk onderzocht [2]. Uit deze studie bleek dat personen die blootgesteld worden aan hogere trillingsniveaus en/of dichter bij het spoor wonen ook vaker hinder rapporteren van goederentreinen. Het verband tussen niveaus en/of nabijheid tot het spoor en hinder van passagierstreinen is minder duidelijk te leggen.

Het doel van het onderzoek is de relaties tussen treineigenschappen, trillingsniveaus en hinderbeleving duidelijk in kaart te brengen. Daarbij worden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

- Is er een direct verband tussen bepaalde eigenschappen en hinderbeleving en zo ja, hoe ziet een eventueel verband eruit?
- Is het verband of juist het ontbreken van het verband verklaarbaar vanuit de huidige kennis over trillingen en hinderbeleving?
- Indien er geen verband is gevonden, is dit dat verklaar vanuit de proefopzet, locatie-specifieke omstandigheden of anderszins?

1.2 Aanpak onderzoek

Het onderzoek naar relatie tussen treineigenschappen, trillingen en hinderbeleving is als volgt opgezet. Op een onderzoekslocatie (zoals Schalkwijk) nemen een aantal omwonenden deel aan het onderzoek door het tijdstip van hinder door spoortrillingen te rapporteren. Tevens worden op een onderzoekslocatie de trillingsniveaus gemeten op verschillende afstanden naast het spoor, samen met de snelheid en tijdstippen van de passerende voertuigen. Daarnaast worden gegevens over de eigenschappen van de passerende treinen verzameld via de data die is verzameld op een nabijgelegen QuoVadis meetstation. Hiermee verkrijgen we per locatie een compleet beeld van de passerende treinen, de resulterende trillingsniveaus en hinderbeleving.

Om de relatie tussen de eigenschappen passerende voertuigen, de resultaten van de trillingsmetingen in de nabijheid en de geregistreerde hinder in kaart te brengen worden alle gemeten en vergaarde gegevens onderzocht via data-analyse (‘datamining’). In deze data-analyse wordt het verband tussen voertuigeigenschappen enerzijds en de trillingsmeetdata en de hinder anderzijds in kaart gebracht via grafieken en statistische parameters.

We hebben de data-analyse in eerste instantie opgezet en uitgewerkt voor de locatie Schalkwijk. Naast de resultaten voor deze specifieke locatie levert dit ook het sjabloon voor de aanpak van het onderzoek voor de andere locaties.

De data-analyse zelf is uitgevoerd volgens de CRISP-DM methodiek[1], dit staat voor Cross Industry Standard Process for Data Mining. Deze methodiek definieert zes stappen voor een data-analyse onderzoek. De methodiek bestaat uit de volgende stappen: "Business Understanding", “Data Understanding”, “Data Preparation”, “Modeling”, “Evaluation” en “Deployment”. Deze zes stappen zijn continu iteratief, wat betekent dat we soms heen en weer schakelen tussen de verschillende stappen. Deze stappen zijn hieronder nader uitgewerkt.

Business Understanding
We hebben allereerst de onderzoeksvragen, onderzoekslocaties en de beschikbare (data)bronnen, project vereisten en risico’s voor deze locatie in kaart gebracht. Het resultaat hiervan is in hoofdstuk 2 verwerkt.

Data Understanding
In deze fase is de data uit de beschikbare bronnen inhoudelijk bekeken en beoordeeld op kwaliteit. We hebben gekeken welke informatie aanwezig was, in welke vorm en detailniveau, of en welke onderlinge relaties er zijn tussen de data en in hoeverre en foutieve/incomplete data aanwezig is. Onze conclusie was dat er geen meetgegevens voor trillingen op as-niveau aanwezig waren en we dus de trillingsdata alleen op treinniveau konden analyseren. Verder bleek er in de ruwe data de nodige redundante informatie opgeslagen was en dat dit het efficiënt analyseren zou bemoeilijken. Daarom hebben we ervoor gekozen de ruwe data op te schonen en in een database onder te brengen voor verdere analyse. Dit is beschreven in hoofdstuk 2.

Data Preparation
In deze fase is de data opgeschoond, verbetert en verrijkt en samengevoegd in een MySQL database. De uitwerking van deze fase is ook beschreven in hoofdstuk 2. Dit proces is geautomatiseerd met behulp van Python scripts. Deze scripts zijn ontwikkeld voor de locatie Schalkwijk, maar geparameteriseerd zodat ze kunnen worden hergebruikt voor de andere meetlocaties, mits de ruwe data in dezelfde vorm wordt aangeleverd.

Modeling
Deze fase behelst de echte analyse van de data om de eventuele verbanden in de data bloot te leggen. We hebben het voorkomen van hinder gelinkt aan diverse beschikbare parameters. De resultaten van deze fase zijn beschreven in hoofdstuk 3 t/m 6.

Evaluation
Samen met ProRail hebben we de resultaten van de Modeling-fase gepresenteerd en besproken. De conclusies uit deze gezamenlijke evaluatie zijn weergegeven in hoofdstuk 7.

Deployment
In deze fase worden de resultaten van het onderzoek beschikbaar gemaakt. Dit rapport is een concreet resultaat van deze fase.

[1] Zie bijv. https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-industry_standard_process_for_data_mining

2 Ruwe data en dataverwerking

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van het proces en de resultaten van de stappen ‘data understanding’ en ‘data preparation’.

Uitgangspunt voor de data-analyse per onderzoekslocatie zijn de twee ruwe databronnen die aan ons beschikbaar zijn gesteld per locatie:

1 Excel-bestand met geanonimiseerde registraties van bewoners, bestaande uit de volgende kolommen:
   - Datum
   - ID van het adres van registreren (aangeduid met cijfers startend vanaf 1)
   - Tijdstip van registratie (in lokale/CET tijdzone)
2 Per onderzoekslocatie zijn op een aantal meetlocaties trillingsmetingen uitgevoerd. Per meetlocatie is een CSV-bestand beschikbaar met trillingsdata aangevuld met QuoVadis data, bestaande uit de volgende onderdelen:

- Uniek ID-nummer treinpassage
  - Tijdstip van passage (in UTC tijdzone)
  - QuoVadis gegevens
  - Lokaal gemeten rijsnelheid (radar metingen)
  - Trillingsmetingen
    - Trillingsparameters treinpassage (met o.a. V_{rms} en $V_{eff,max}$ en tertsbandspectra)
  - Trillingsparameters wagonpassage
  - Trillingsparameters draaistelpassage
  - Trillingsparameters as-passage

2.1 Data understanding

De aangeleverde trillingsdata bevat per treinpassage meerdere regels met gegevens: per as is er een onderscheid tussen linkerwiel en rechterwiel in de QuoVadis data, en voor elk van de wielen is er op de diverse meetlocaties voor trillingen data geregistreerd per meetrichting (X, Y en/of Z richting). Voor ieder meetpunt is in elk geval de Z richting aanwezig. Deze trillingsdata in dit bestand per combinatie van meetlocatie/meetrichting is echter identiek voor elke as van een bepaalde trein.

De aangeleverde data is afkomstig uit een onderzoek naar de relatie tussen wielonderhoud en trillingen. In dat onderzoek zijn de passages van elkaar kruisende treinen op naastliggende sporen op hetzelfde tijd verwijderd. Dat betekent dat niet alle treinpassages in de brondata aanwezig zijn.

Verder bleek uit onze analyse van de aangeleverde data dat in elke CSV per meetlocatie dezelfde QuoVadis data aanwezig is voor iedere trein. Dit maakt de databestanden heel groot en inefficiënt voor de data-analyse terwijl dit geen extra informatie geeft. We hebben er daarom voor gekozen om de data op te schonen door de treinpassages los te koppelen van de resultaten van de trillingsmetingen: elke treinpassage krijgt een eigen unieke ID en de resultaten van een trillingsmeting op ieder van de acht meetlocaties worden middels dat ID aan de passage gekoppeld.

2.2 Data preparation

Om tot één consistente dataset te komen die efficiënt kon worden gebruikt in de data analyse, zijn de bestanden voor klachtenregistraties, treineigenschappen en trillingsmeetdata opgeschoond en samengevoegd tot een database.

De klachtenregistraties zijn in de database opgenomen als afzonderlijke klachtenrecords. Per record is een regel uit de aangeleverde Excel gegevens verwerkt. Per record is een uniek ID toegevoegd. Het aantal adressen met klacht is per regel bepaald. Indien er meerdere klachten van verschillende adressen geregistreerd zijn rondom hetzelfde tijdstip dan is er een gemiddeld tijdstip bepaald. Dit tijdstip is vervolgens van lokale tijd omgezet naar UTC tijdzone. Dit is nodig om de klachten te kunnen koppelen aan de gegevens van de trillingsmetingen die ook zijn aangeleverd met tijdstippen in UTC tijdzone. Daarnaast zijn de adressen nog afzonderlijk opgeslagen. Een voorbeeld van een klachtenrecord is weergeven in tabel I.

tabel I *Voorbeeld klachtenrecord*

ID	RegistratieAantal	RegistratieDatumTijd	RegistratieAdres
11	2	2023-09-25 16:32:00	3, 5

De trillingsdata uit het CSV bestand is opgesplitst in treinpassagerecords en daaraan gekoppelde trillingsrecords in de database. Hieronder staat een beschrijving van het verwerkingsproces:

- Voor elke treinpassage is er een nieuwe uniek ID (genaamd treinID) aangemaakt ter identificatie. De reeds aanwezige ID's konden voor dat doel niet gebruikt worden omdat deze inconsistenties bevatten. Het nieuwe ID is opgemaakt op basis van het treinnummer en de datum/tijdstip van passage.
- Op basis van de start- en eindtijd van de metingen is een 'passageDuur' bepaald. Indien start- of eindtijd ontbraken is de passage verder buiten beschouwing gelaten.
- Op basis van 'passageDuur' is vervolgens een zo precies mogelijk 'passageTijd' (het tijdstip van passeren van de trein) bepaald. Dit is gedaan om de treinpassage later te kunnen relateren aan het tijdstip waarop de hinder is geregistreerd. De passageTijd is het gemiddelde van de start- en eindtijd.
- Voor de trillingsdata is er naast de V_{rms} en $V_{eff,max}$, het relatieve verschil tussen deze eenheden bepaalt met behulp van formule:

  $$\Delta V_{relatief} = \frac{V_{eff,max} - V_{rms}}{V_{rms}}$$

  Deze parameter is een indicatie of het trillingsniveau redelijk constant is (is $\Delta V_{relatief}$ dan klein) of dat er grote verschillen (pieken) in de trillingsdata aanwezig is gedurende de passage $\Delta V_{relatief}$ is dan groot).
- Om per treinpassage de redundante treingegevens te verwijderen hebben we deze gegroepeerd op basis van het 'treinID' en 'sensorrichting'. Vervolgens is er per grootheid/parameter gekozen voor een verdere verwerking afhankelijk van het parametertype. Voor categorische parameters (bijv. materieeltype) is de eerste waarde overgenomen. Voor numerieke parameters (bijv. aslast) is het rekenkundige gemiddelde overgenomen. Voor een aantal numerieke parameters is ook de eerste waarde overgenomen te worden aangezien dit in feite categorische parameters zijn (bijv. aantal assen of spoornummer).

Er is per meetlocatie een CSV bestand, maar de treingegevens hierin zijn voor alle bestanden gelijk. Dus de treingegevens zijn uit een enkel CSV bestand overgenomen en alleen de trillingsdata is per CSV verwerkt en opgenomen de database. Per combinatie van treinID, meetlocatie en meetrichting (X,Y of Z) is een record met trillingsparameters opgenomen in de database. De afstand tot het spoor, zijde (oost/west) en meetraai zijn ook als velden opgenomen zodat filtering op deze velden in de verdere data analyse mogelijk is.

2.3 Koppelen hinderregistraties, treinpassages en trillingsmetingen

Voor de koppeling van de hinderregistratie en treinpassages en bijbehorende trillingsmetingen wordt gebruikt gemaakt van het tijdstip van passeren van de trein (‘passageTijd’) en het tijdstip van registreren van de hinder (‘registratieDatumTijd’). Het lag voor de hand om bij elke hinderregistratie het meest nabijgelegen tijdstip van passage te nemen. Dat bleek echter geen goede aanpak waarvoor verschillende oorzaken zijn aan te wijzen:

- Soms passeren er meerdere treinen binnen een kort tijdbestek en is het niet duidelijk welke van deze treinen aanleiding is geweest voor de registratie.
- Er zijn onderzoekslocaties waar de woningen van deelnemers aan het onderzoek niet direct bij de meetlocatie liggen maar zich op een behoorlijke afstand van de meetlocatie bevinden. Dus is er inherent een tijdverschil tussen passage bij de meetlocatie en passage bij de woning.
- We moeten rekening houden met een (onvermijdelijke) onnauwkeurigheid in het tijdstip van de registratie: wanneer is de klok geraadpleegd (op het moment van passeren of kort daarna)? Lopen de klokken van de verschillende bewoners met elkaar gelijk? Lopen de klokken van de bewoners synchroon met de klok van de trillingsmetingen en/of QuoVadis gegevens?

Om voldoende rekening te houden met bovengenoemde onnauwkeurigheden hebben we ervoor gekozen de registraties niet aan de treinen te koppelen, maar de treinen aan registraties:

- Per treinpassage zoeken we of er hinder is geregistreerd op het tijdstip van passage of rondom dat tijdstip. We hebben hiervoor een tolerantie gebruikt van +/- 3 minuten.
- Indien er hinder is geregistreerd rond dat interval, dan wordt de treinpassage als hinderlijk gekenmerkt. Als er meerdere treinpassages zijn in het interval, bijvoorbeeld omdat er treinpassages zijn kort achter elkaar of op beide sporen, dan worden al deze treinpassages als hinderlijk gekenmerkt. Het kan daarbij voorkomen dat een trein die niet de echte hinder veroorzaakt toch als hinderlijk wordt aangemerkt.

Een aanvullend probleem bij de data analyse van de hinder is het ontbreken van een registratie van de aanwezigheid van de bewoners. Bewoners zullen in de praktijk niet altijd aanwezig zijn en dus zullen hinderlijke passages tijdens hun afwezigheid niet worden opgemerkt en geregistreerd. In de statistiek noemen we dit een ‘false negative’. Deze ‘false negatives’ worden wel automatisch in de populatie van ‘alle passages’ worden opgenomen. Verder is het mogelijk dat een bewoner om wat voor reden dan ook op bepaalde momenten überhaupt minder bewust is van de treinpassages en daarom de treinpassages in een dergelijke periode anders beoordeelt dan voor andere periodes in het etmaal. Ook dan kunnen mogelijk hinderlijke passages (‘false negatives’) verdwijnen in de populatie ‘alle passages’.

Om de effecten van deze ‘false negatives’ zoveel mogelijk uit te sluiten hebben we in ons onderzoek, naast de hinderpopulatie en de totaalpopulatie, ook gebruik gemaakt van een derde populatie, namelijk de populatie van treinpassages in een periode voor en na een hinderlijke passage. Voor die populatie (‘passages rondom een hinderlijke passages’) hebben we steeds de vijf passages voor de hinderlijke passage en de vijf passages na de hinderlijke passage genomen. We gaan er daarbij van uit dat de persoon waarschijnlijk wel aanwezig was in die periode en ook bewust was van treinpassages. In de nacht zijn er weinig treinpassages, waardoor het tijdsinterval tussen vijf passages uren kan bedragen. Dit is echter ook realistisch, want verwacht is dat bij een hinderregistratie in de nacht, de omwonende de gehele nacht thuis zal zijn. We verwachten dat de populatie ‘passages rondom een hinderlijke passages’ minder ‘false negatives’ bevat dan de populatie ‘alle passages’. In de hierna volgende presentatie van de resultaten worden de hiervoor genoemde drie populaties gebruikt om de verbanden te onderzoeken en illustreren.

2.4 Data verrijking

De trillingsdata is nog verrijkt met een extra parameter. We hebben het relatieve verschil tussen $V_{eff,max}$ en V_{rms} bepaald per trillingsrecord. Dit verschil is een maat voor de 'zichtbaarheid' van de piek(en) in het trillingssignaal ten opzichte van het complete trillingssignaal van de passage. Dit verschil is vervolgens opgedeeld in klassen: 'low', 'medium' en 'high'. Deze verdeling is gemaakt op basis van waarde < 1/3 kwantiel, 1/3 kwantiel < waarde < 2/3 kwantiel en waarde > 2/3 kwantiel. Dit levert dus per treinpassage een klasseindeling op voor elk van de meetlocaties. Om deze waardes te aggregeren hebben we ervoor gekozen om per treinpassage één klasse te bepalen. Daarvoor is er 'Majority Voting' toegepast: de klasse die het vaakst voorkomt op de meetpunten is de klasse die aan de treinpassage wordt toegekend.

2.5 Data reductie

In principe zijn we voor de data analyse op zoek gegaan naar alle mogelijke verbanden tussen treineigenschappen en trillingsdata. Echter we moeten er ook rekening mee houden dat de trillingsdata onderling gecorreleerd zijn en dat het dus niet zinvol kan zijn om alle trillingsdata te beschouwen. Deze correlaties zijn per onderzoekslocatie onderzocht en worden bij de resultaten per onderzoekslocatie gepresenteerd.

2.6 Terminologie

In de analyses maken we vaak onderscheid tussen drie uitvoeringstypen: intercity's, regionaal materieel (sprinters) en goederenverkeer. In grafieken gebruiken we daarvoor de volgende afkortingen:

- IC = intercity's;
- SPR = sprinters;
- GO = goederen.

3 Resultaten Schalkwijk

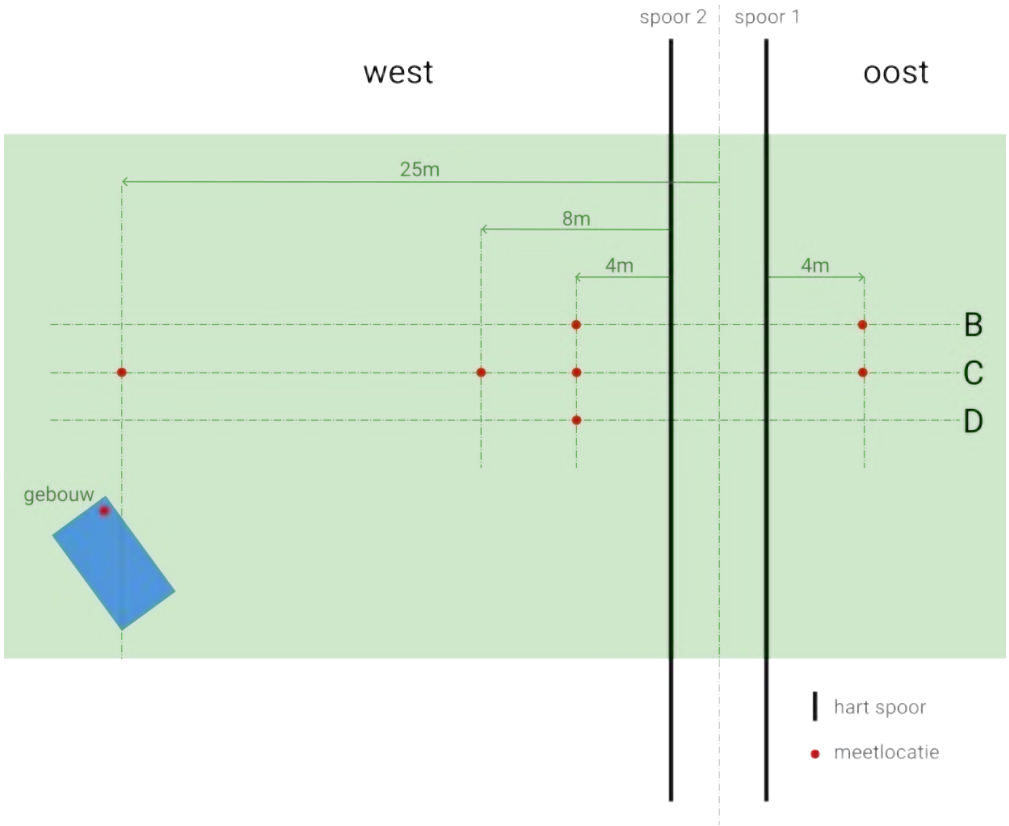
Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de data analyse voor de onderzoekslocatie Schalkwijk. We hebben allereerst onderzocht of een bepaalde treinparameter of gemeten treineigenschap meer of juist minder voorkomt bij als hinderlijk geregistreerde passages ten opzichte van alle passages. We kunnen dus de verschillen in kaart brengen voor de populatie hinderlijke passages ten opzichte van de populatie van alle passages.

3.1 Meetlocaties

In Schalkwijk zijn op een achttal meetlocaties trillingsmetingen uitgevoerd. De metingen vonden plaats langs de lijn Houten-Culemborg nabij km 12.3. Zie tabel II en figuur 1 voor een nadere beschrijving van de meetraaien B, C en D en de positie en de meetrichtingen per meetlocatie op de onderzoekslocatie.

tabel II *Overzicht meetlocaties en meetrichtingen*

Meetlocatie	Meetrichtingen
Schalkwijk gebouw	X, Y en Z
Schalkwijk oost 4m B	Z
Schalkwijk oost 4m C	Y, Z
Schalkwijk west 4m B	Z
Schalkwijk west 4m C	Y, Z
Schalkwijk west 4m D	Z
Schalkwijk west 8m C	X, Y en Z
Schalkwijk west 25m B	X, Y en Z



figuur 1 *Meetlocaties op onderzoekslocatie Schalkwijk*

3.2 Kentallen

De kentallen van het onderzoek in Schalkwijk zijn weergegeven in tabel III. In het onderzoek in Schalkwijk zijn er 155 hinderregistraties gedaan door de bewoners op vijf adressen binnen de periode waarin de trillingsmetingen zijn gedaan (5 oktober t/m 9 november 2023). Uit deze 155 zijn er 36 registraties die rondom hetzelfde tijdstip zijn geregistreerd op meerdere adressen. Er zijn dus 119 registraties aanwezig op een uniek tijdstip.

Van deze 119 registratie zijn er 106 (89%) gekoppeld aan één of meerdere treinpassages volgens eerder vastgestelde condities voor het koppelen van een registratie aan een treinpassage. De overige 13 registraties (11%) konden niet worden gekoppeld. Het niet kunnen koppelen kan betekenen dat de registratie onnauwkeurig was of dat de passage niet in de meetdata voorkomt omdat bijvoorbeeld passages tegelijkertijd op twee sporen uit de invoerdata waren verwijderd.

Uiteindelijk zijn er 185 treinpassages die binnen de tolerantie rondom een registratie tijdstip vielen en dus aangeduid zijn als ‘hinderlijk’. Dat is 1.9% van het totaal aantal passages. De controlepopulatie (populatie passages – 5 en +5 rondom hinderlijk) bedraagt 10% van de populatie.

tabel III *Kentallen van hinderregistraties in Schalkwijk*

Kental	Aantal
Adressen	5
Meetperiode (dagen)	36

Kentel	Aantal
Hinderregistraties	155
Unieke hinderregistraties	119
Hinderregistraties gekoppeld aan treinpassage	106
waarvan gekoppeld aan enkele treinpassage	38
waarvan gekoppeld aan meerdere treinpassages	68
Hinderregistraties zonder gekoppelde treinpassage	13
Treinpassage tijdens onderzoeksperiode (populatie alle passages)	9951
waarvan intercity's	4830
waarvan sprinters	4336
waarvan goederentreinen	391
waarvan overig	394
Treinpassages gekoppeld aan hinderregistraties (populatie hinderlijke passages)	185
waarvan intercity's	68
waarvan sprinters	22
waarvan goederentreinen	92
waarvan overig	3
Treinpassages rondom hinderregistraties die niet als hinderlijk zijn geregistreerd (populatie passages – 5 en +5 rondom hinderlijk)	1018
waarvan intercity's	466
waarvan sprinters	474
waarvan goederentreinen	31
waarvan overig	47

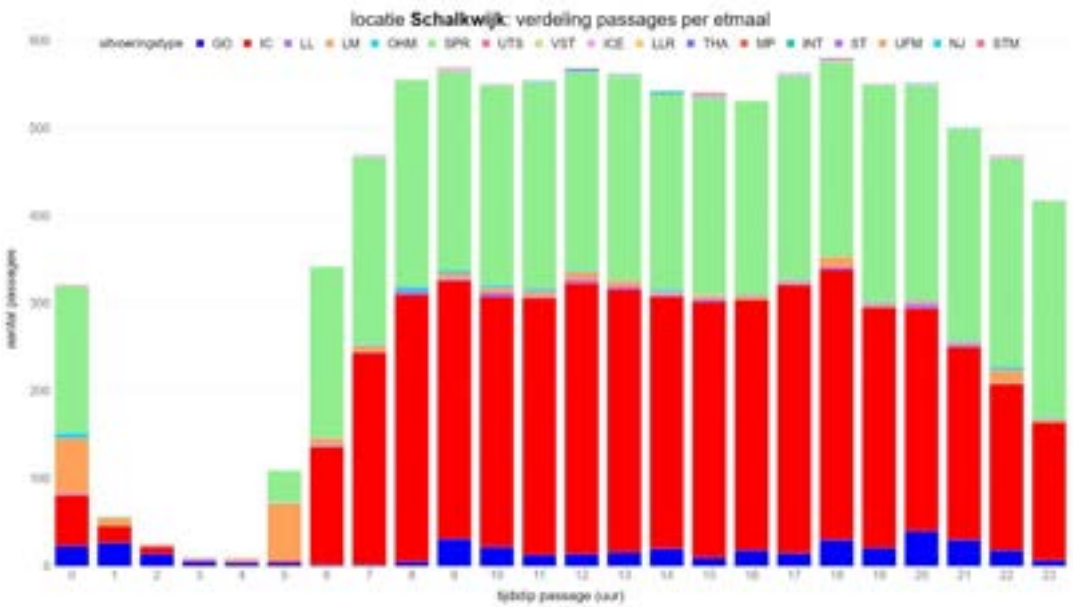
In de data analyse voor Schalkwijk moesten we omgaan met twee belangrijke beperkingen voor specifiek deze locatie: het lage aantal hinderregistraties en het grote aantal kort op elkaar volgende treinpassages. Het statistisch onderzoeken van verschillen tussen populaties vereist dat de datasets voor de betreffende populaties waarop de statistiek wordt bedreven voldoende groot zijn om significante verschillen te kunnen vaststellen. In het hier gepresenteerde onderzoek is dit lastig omdat het aantal geregistreerde hinderlijke passages erg klein is vanwege het beperkt aantal bewoners dat aan het belevingsonderzoek heeft meegedaan en de relatief korte periode waarin hinder is geregistreerd. Het feit dat er (overdag) meerdere treinpassages kort achter elkaar zijn maakt dat passages onderling moeilijk van elkaar te scheiden zijn en het dus lastig is om hinderlijke passage van de niet hinderlijke te onderscheiden in de data analyse. En het is ook niet onmogelijk dat juist het kort achter elkaar passeren van meerdere treinen als (extra) hinderlijk wordt ervaren.

Relatief gezien zijn er veel passages van goederentreinen op tijdstippen dat hinder wordt geregistreerd: een 23,5% van alle goederentreinen. Voor intercity's en sprinters zijn deze percentages een stuk kleiner: respectievelijk 1,4 en 0,5%. In figuur 2 is dit weergegeven.

Het is duidelijk te zien dat goederentreinen relatief vaak gekoppeld zijn aan hinderregistraties, maar in absolute zin zijn er net zoveel goederentreinen gekoppeld aan hinderregistraties dan intercity's en sprinters. Dit beschouwen we nader in de volgende paragraaf.

figuur 2 *Aandeel hinderlijke passages in totale populatie per uitvoeringstype*

In figuur 3 en figuur 4 is weergegeven respectievelijk op welk tijdstip in het etmaal er treinpassages zijn en op welk tijdstip er hinder is geregistreerd voor elk uitvoeringstype. We zien een redelijk constant verkeersaanbod tussen 7 uur en 21 uur, maar we zien meer hinderregistraties in de ochtend en avond dan overdag en ’s nachts. Dat kan te maken hebben met aanwezigheid: in de ochtend en avond vaak meer bewoners thuis dan overdag.

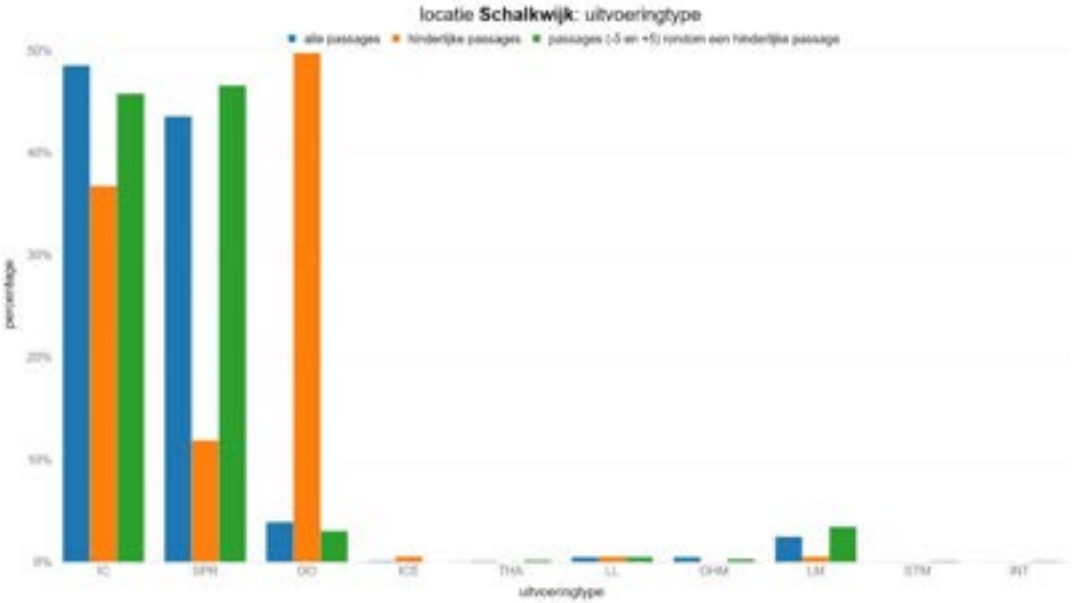


figuur 3 *Verspreiding van passages van treinen over het etmaal*

figuur 4 *Verspreiding van registraties van hinder over het etmaal*

3.3 Uitvoeringstype

Een analyse van de resultaten op basis van het uitvoeringstype van de trein (intercity, sprinter, goederen etc. etc.) laat zien dat de hinderlijke passages relatief vaak worden veroorzaakt door goederenmaterieel. Bij het goederenmaterieel (GO) is duidelijk te zien dat het percentage hinderlijke passages vele malen hoger is dan de populatie ‘alle passages’ of ‘rondom hinderlijke’.



figuur 5 *Uitvoeringstype per populatie*

Dit neemt niet weg dat ook bij een behoorlijk deel van de hinderlijke passages intercity- en/of sprintermaterieel is betrokken. Het is alleen niet vast te stellen of grote aandeel wordt veroorzaakt door false positives. Zie hiervoor ook een nadere uitwerking van de kentallen voor hinderregistraties per uitvoeringstype in tabel IV.

tabel IV *Kentallen van hinderregistraties in Schalkwijk per uitvoeringtype*

Kental	Aantal
Hinderregistraties gekoppeld aan enkele treinpassage	38
met IC of SPR	7
met GO	31
met overig	0
Hinderregistraties gekoppeld aan meerdere treinpassage	68
met meerdere IC of SPR	8
met meerdere GO	1
Gemengd IC/SPR en GO	59

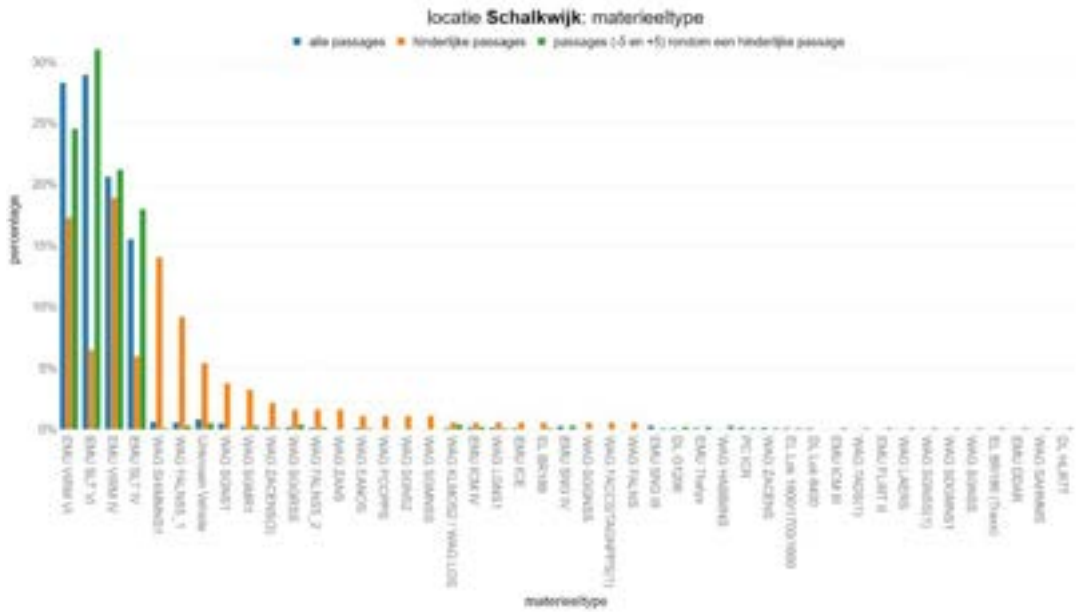
We zien dat goederen in de meerderheid is bij de registraties met een enkele passage. Bij de registraties met meerdere treinen zien we dat passages met meerdere reizigerstreinen ook tot hinderregistratie hebben geleid. Voor de groep met gemengde passages (reizigers én goederen) is het niet vast te stellen of de hinder door één van beiden werd veroorzaakt of dat de hinder juist wordt veroorzaakt doordat er twee treinen vlak na elkaar passeren.

Wat we dus kunnen concluderen is dat als er een passage van een goederentrein is in Schalkwijk, dat er dan relatief vaak hinder wordt geregistreerd, maar andersom kunnen we niet concluderen (maar ook niet uitsluiten) dat de hinderregistratie wordt veroorzaakt door de goederentrein.

3.4 Materieeltype en aantal assen

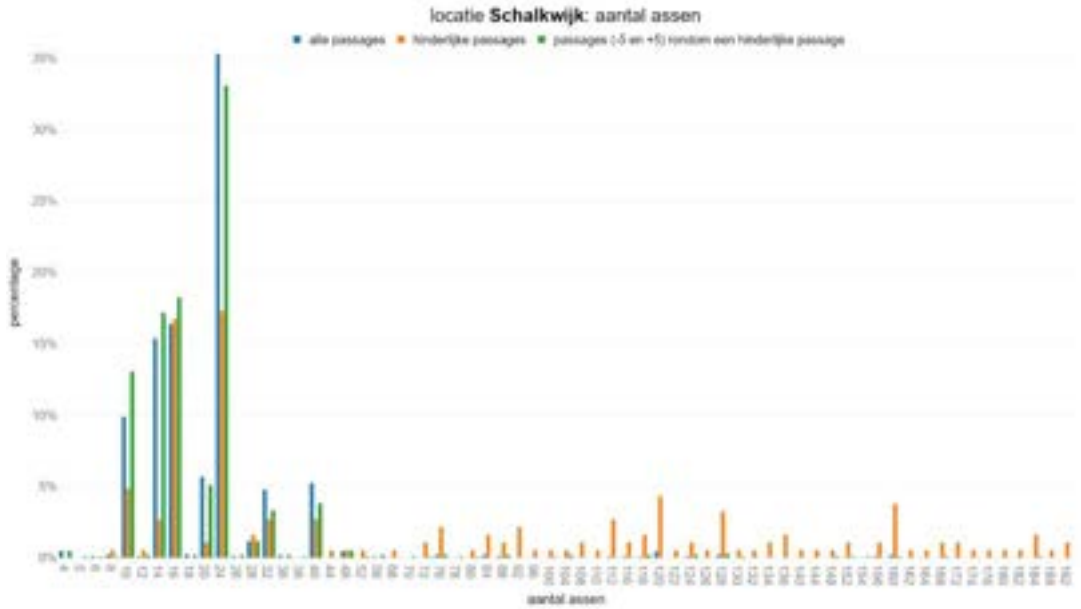
Binnen een uitvoeringtype kan er ook onderscheid worden gemaakt naar het materieeltype. Voor passagierstreinen kan dat probleemloos uit de data worden gehaald. Bij goederentreinen met een mix van wagontypes kunnen we de hinder echter niet koppelen aan individuele wagons. Om toch iets te kunnen zeggen over de wagontypes is de hinder gekoppeld aan het wagontype dat het meest voorkomt in de trein. Daarbij moeten we aantekenen dat dit niet noodzakelijkerwijs ook het wagontype is dat de hinder veroorzaakt binnen de trein.

Als we deze analyse maken, dan zien we dat binnen het goederenmaterieel, de wagontypes voor staalrollen (SHIMMNS1), bulkgoederen (FALNS5), containers (SGNS1) en ketelwagens (ZACENS, ZANS) vaak voorkomen in treinen die als hinderlijk worden ervaren. Binnen het intercitymaterieel (VIRM-IV en VIRM-VI) is de VIRM-IV relatief vaker hinderlijk dan de VIRM-VI.



figuur 6 *Materieeltype per populatie*

Aanvullend kan er gekeken worden naar het aantal assen binnen een treinpassage in figuur 5, hierin is duidelijk te zien dat in de populatie ‘hinderlijke passages’ de hoge aantallen assen oververtegenwoordigd zijn. Dit is logisch want een hoog aantal assen komt voor bij goederentreinen dus dit resultaat komt overeen met de bevindingen voor de uitvoeringstypes uit paragraaf 3.3. De populaties zijn echter niet absoluut met elkaar te vergelijken: de meeste goederentreinen worden niet geassocieerd met klachten (zie figuur 2) en het is dus het is niet zo dat veel assen leidt tot klachten, want er zijn niet zoveel klachten over treinen met relatief weinig assen (zie tabel III). Tot slot is het ook niet zo dat we hier persé een causaal verband hebben gevonden: het relatief grotere aandeel goederentreinen bij hinderlijke passages hoeft niet veroorzaakt te worden door het aantal assen.

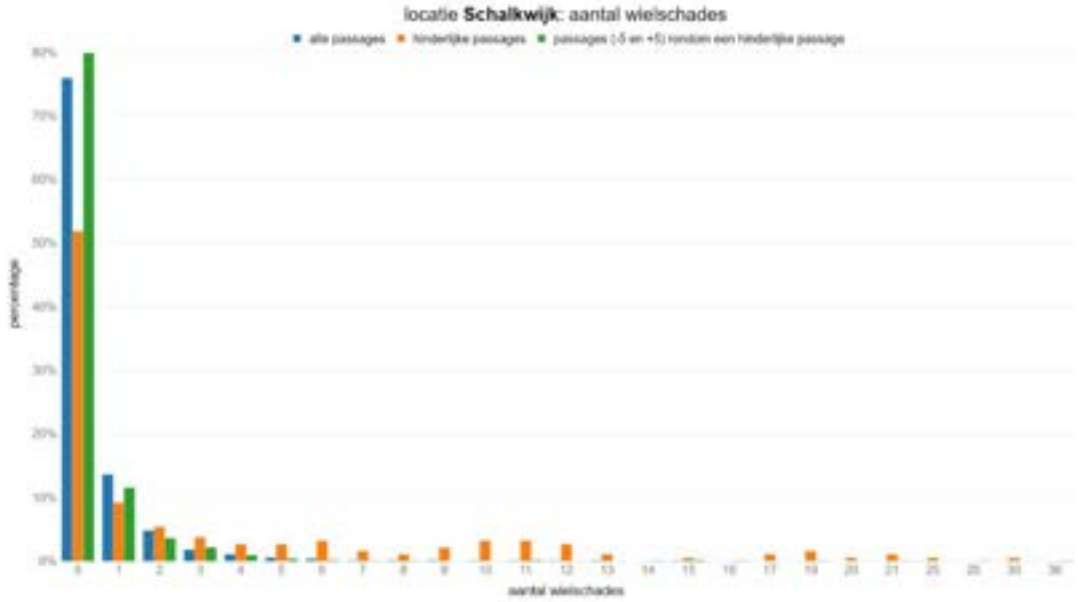


figuur 7 *Aantal assen per populatie*

3.5 Wielschade

Een QuoVadis meetstation registreert individuele passages van de assen een trein en analyseert per as of er mogelijk een beschadiging aan het wiel aanwezig is. Het station levert dan per as een indicatie dat er mogelijk een wielschade is en wat voor soort schade het betreft: onrondheid, vlakke plaats, polygonisatie of geen. Voor de analyse hebben we gekeken hoeveel mogelijke wielschades er per trein zijn bepaald en wat het meest voorkomende mogelijke type van de wielschade is per trein.

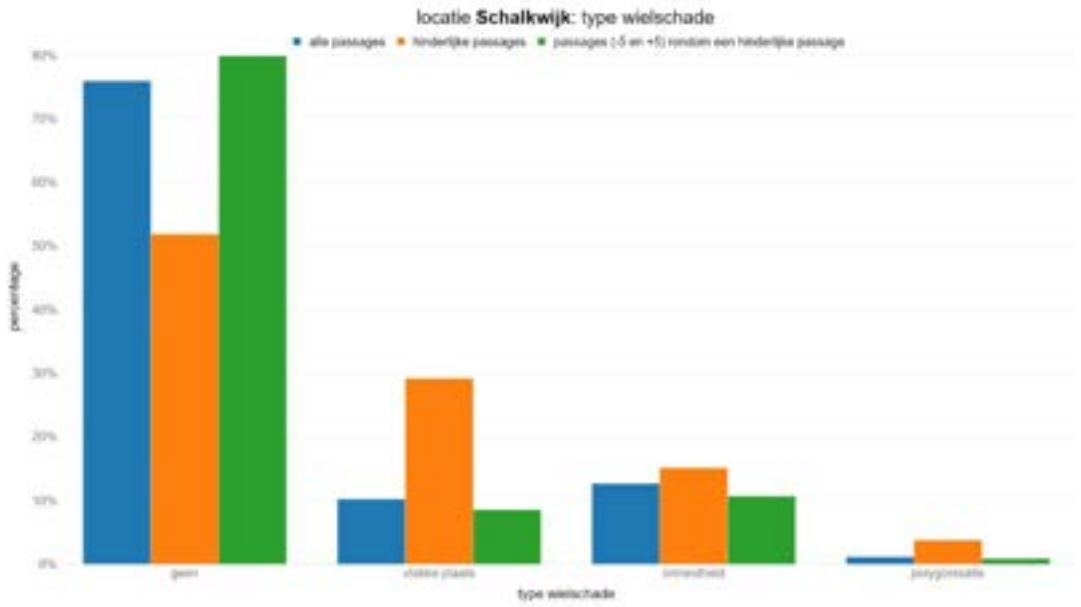
Allereerst bekijken we de hoeveelheid wielschade in figuur 6. Duidelijk is te zien dat wielschades een rol spelen: twee of meer wielschades komen meer voor in de populatie hinderlijk dan bij de andere populaties. Maar ook treinen zonder wielschade indicatie worden als hinderlijk ervaren: bij 50% van de hinderlijke passages heeft QuoVadis geen indicatie voor wielschade afgegeven. Wel is te zien dat dit percentage voor de ‘Hinderlijke passages’ onder dat van “Alle passages” en “Passages rondom hinderlijke” ligt.



figuur 8 *Aantal wielschades per populatie*

Kijken we in figuur 7 naar het type wielschade dat is geregistreerd, dan is te zien dat elk type een duidelijk hoger percentage heeft onder de hinderlijke passages. Waar bij ‘vlakke plaats’ en ‘polygonisatie’ duidelijk uitsteken boven de referentiepopulaties. Bij ‘onrondheid’ is dat minder prominent.

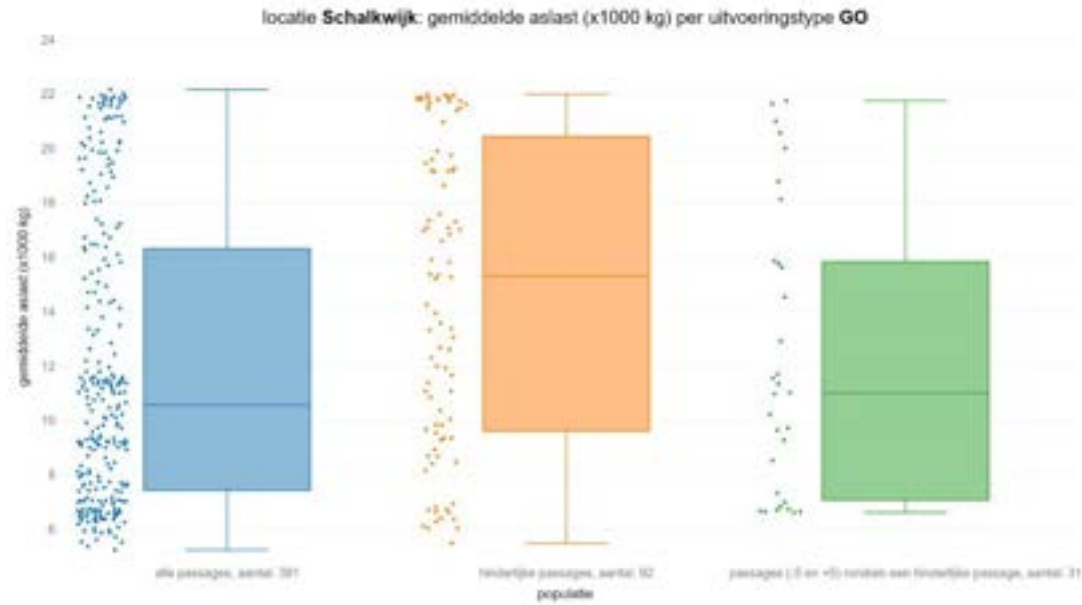
Met betrekking tot wielschades kunnen we concluderen dat (veel) wielschades duidelijk een rol spelen bij de hinderlijkheid: er lijkt dus wel een verband te zijn tussen hinder en wielschades. Maar het is niet zo dat een wielschade persé tot klachten leidt en andersom dat géén wielschade klachten voorkomt want bij de helft van de klachten is er helemaal geen wielschade gedetecteerd.



figuur 9 *Type wielschade per populatie*

3.6 Aslast

Een weergave van de gemiddelde aslast per uitvoeringstype in figuur 8 laat zien dat voor goederentreinen voornamelijk de passages met een hogere gemiddelde aslast als hinderlijk worden geregistreerd. Dit duidt erop dat bij hinder meer (zwaar) beladen wagons betrokken zijn.



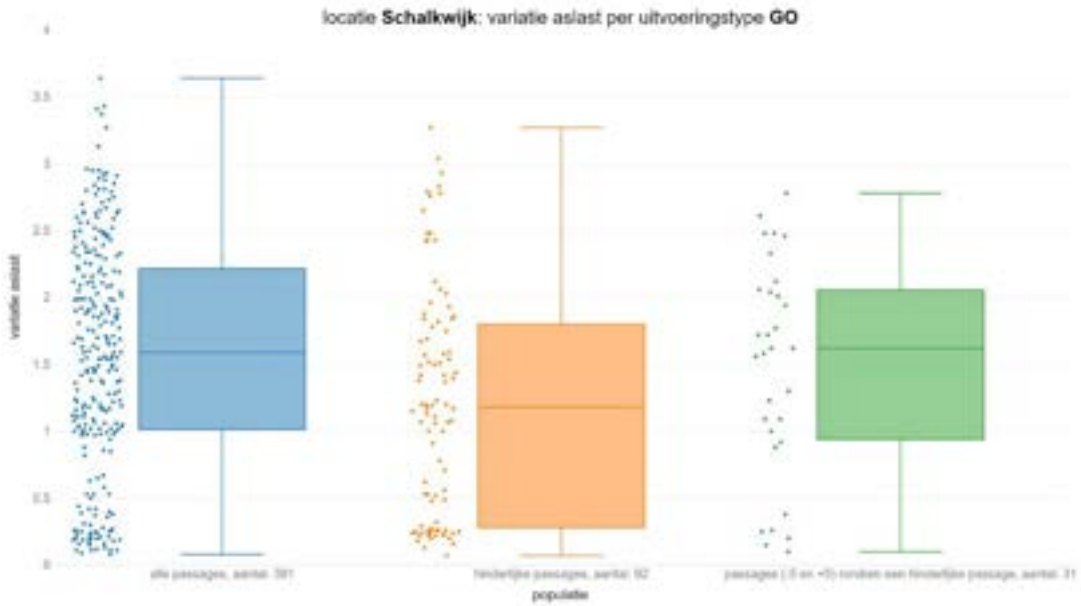
figuur 10 *Gemiddelde aslast voor goederentreinen per populatie*

Voor reizigersmaterieel is deze analyse lastiger aangezien de aslast minder variatie laat zien ten opzichte van de goederenmaterieel. Voor de intercity's en sprinters zijn de resultaten te zien in bijlage A.

Naast de gemiddelde aslast kan er ook gekeken worden naar de variatie van de aslast in de passage. We definiëren de spreiding voor de aslast als volgt:

$$\text{variatie aslast} = \frac{\text{aslast}_{\text{max}} - \text{aslast}_{\text{min}}}{\text{aslast}_{\text{gemiddeld}}}$$

Dit laat namelijk zien of er zich lege of minder zware beladen wagons bevinden tussen zwaarder beladen wagons. Oftewel, zijn alle wagons hetzelfde geladen (variatie = 0) of is er juist veel variatie (variatie >> 1). Voor goederentreinen laat een analyse van deze parameter in figuur 9 zien dat de passages met een hinderregistratie een kleiner verschil hebben tussen minimum en maximum (meer uniforme belading over de wagens) dan de passages uit de andere populaties. In combinatie met figuur 8 kunnen we dan concluderen dat het gaat om allemaal beladen wagons i.p.v. allemaal lege wagons (die ook een lage variatie zouden laten zien, maar dan zouden we een lagere gemiddelde aslast zien in figuur 8).



figuur 11 *Variatie aslast voor goederentreinen per populatie*

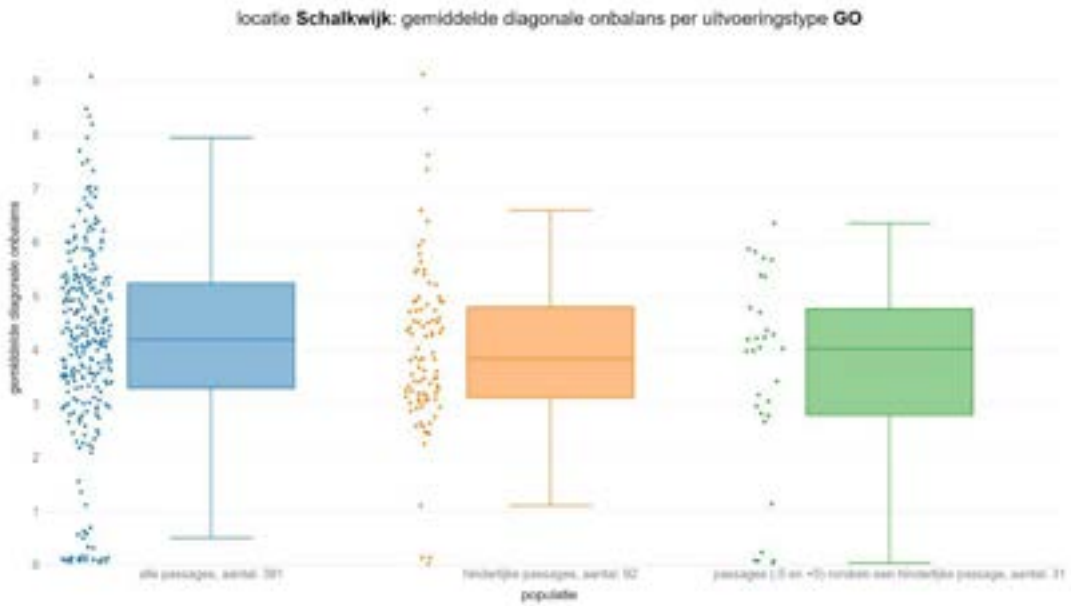
In bijlage A zijn vergelijkbare grafieken te zien voor de intercity's en sprinters. Daarin is te zien dat er geen verband is te leggen tussen de parameters aslast en variatie aslast en hinder.

3.7 Diagonale onbalans

Een diagonale onbalans op een draaistel leidt tot grotere verschillen tussen verticale en horizontale krachten vanuit de trein op de spoorstaven. Deze verschillen kunnen trillingen bij andere frequenties veroorzaken in de spoorconstructie die zich eventueel voortplanten naar de omgeving. Dit kan dus een factor zijn voor hinderlijke passages.

Een analyse van de diagonale onbalans in figuur 10 laat zien dat voor de goederentreinen er gemiddeld gezien een vergelijkbare diagonale onbalans is bij passages die als hinderlijk zijn geregistreerd. Maar we zien ook dat de spreiding rondom die gemiddelde waarde iets kleiner is: met name dat de lage waardes voor diagonale onbalans minder voorkomen bij hinderlijke passages: hinderlijke passages hebben nooit een lage waarde voor diagonale onbalans. Datzelfde zien we ook voor intercity's en sprinters (in bijlage B). Maar het effect is heel klein en de controlepopulatie is ook klein, dus we verbinden hier geen grote conclusies aan.

M



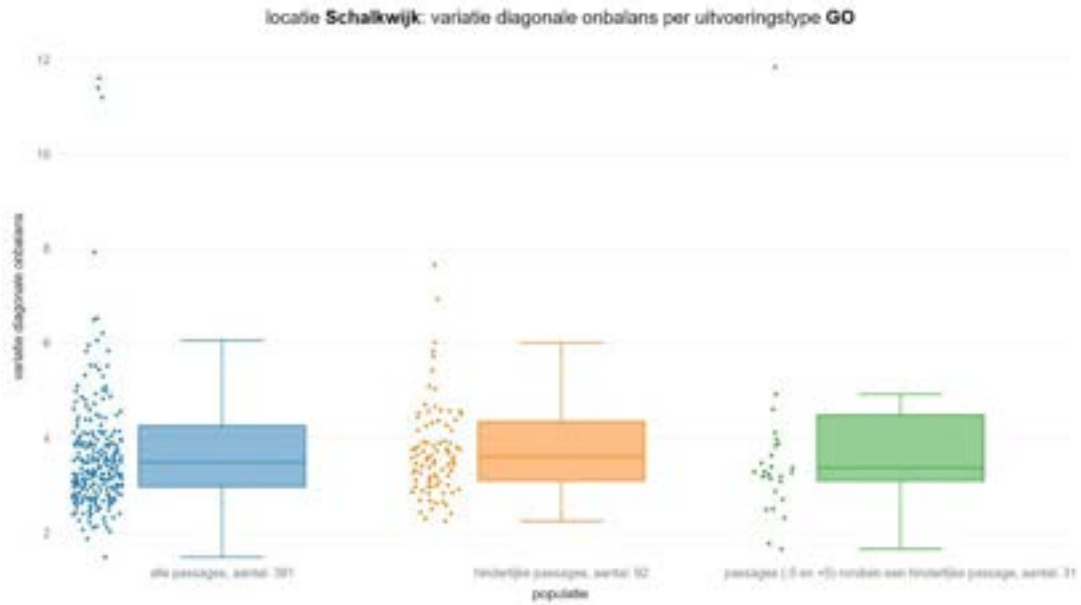
figuur 12 *Gemiddelde diagonale onbalans voor goederentreinen per populatie*

Ook voor de diagonale onbalans kunnen we de variatie nader beschouwen met de parameter:

$$\text{variatie onbalans} = \frac{\text{onbalans}_{\max} - \text{onbalans}_{\min}}{\text{onbalans}_{\text{gemiddeld}}}$$

Een lage waarde voor variatie betekent dat de onbalans relatief veel voorkomt, een hoge waarde betekent dat de maximale onbalans een uitschieter is.

Als we de variatie in de diagonale onbalans voor de populatie hinderlijk vergelijken met die van de andere populaties dan zien we dat die variatie gemiddeld vergelijkbaar (zie figuur 11).
In bijlage B zijn vergelijkbare plots te zien van de variatie van de diagonale onbalans voor de intercity's en sprinters. Daarin zien we hetzelfde fenomeen en ook iets prominenter: de gemiddelde diagonale onbalans komt vaker voor in de hinderlijke passages dan in de andere passages. En dit is voor passagierstreinen voor deze locatie, de enige voertuigparameter die we in beperkte mate kunnen relateren aan hinderregistraties.



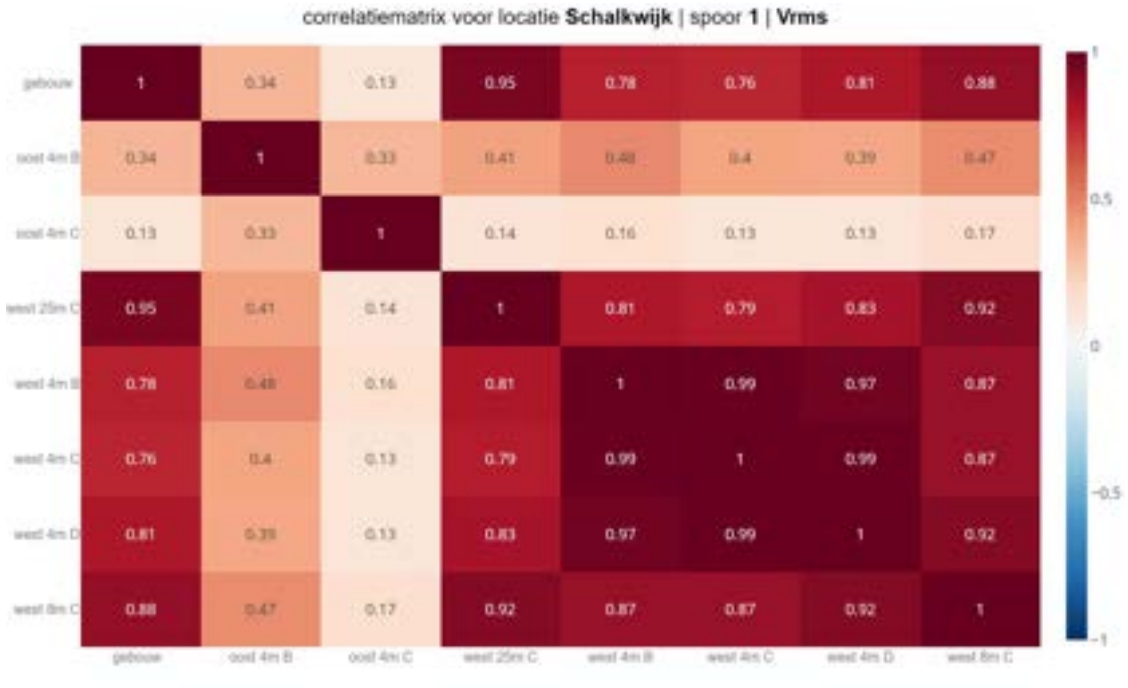
figuur 13 *Variatie diagonale onbalans voor goederentreinen per populatie*

3.8 Correlatie tussen trillingsmetingen

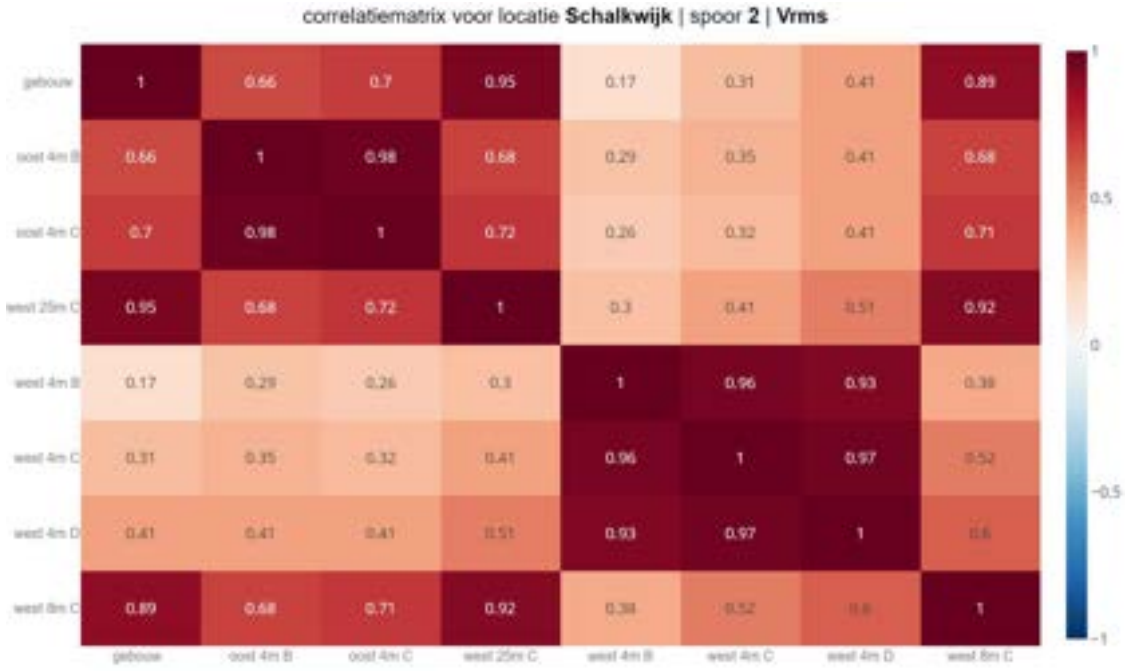
We hebben de onderlinge samenhang tussen de trillingsmetingen op de onderzoekslocatie Schalkwijk onderzocht met behulp van correlatie analyse. Daarmee kan er bepaald worden of bepaalde gegevens lineair onderling verband hebben. Voor Schalkwijk is in figuur 12 en figuur 13 weergegeven of de V_{rms} op een bepaalde meetlocatie gecorreleerd is met de V_{rms} op een andere meetlocatie. De waarde voor de correlatie varieert daarbij tussen 0 (geen verband) en 1 (sterk gecorreleerd). In bijlage C zijn de resultaten van de correlatie op basis van $V_{eff,max}$ opgenomen.

De analyse laat zien dat de meetdata in verschillende meetraaien op dezelfde afstand en zijde sterk gecorreleerd zijn. Voor de meetlocaties ‘4m west B’, ‘4m west C’ en ‘4m west D’ in Schalkwijk is de correlatiecoëfficiënt hoog. Dat is ook zich ook logisch want de meetlocaties liggen dicht bij elkaar en hebben dezelfde ondergrond dus er is voornamelijk een tijdverschil tussen deze meetlocaties. Aan de oostkant is er ook een goede correlatie tussen ‘4m oost B’, ‘4m oost C’, maar met name voor passages op spoor 2. Voor passages op spoor 1 is die correlatie een stuk minder duidelijk.

De resultaten uit de correlatie analyse laten zien dat op één meetafstand de verschillende meetraaien afzonderlijk sterk gecorreleerd kunnen zijn en dus extra raaien geen extra informatie verschaffen. Hierdoor kunnen op bijvoorbeeld meetpositie “4m west” de resultaten van twee van de drie meetraaien aan die zijde buiten beschouwing worden gelaten want deze hebben een hele sterke correlatie, of anders gezegd: het meenemen van meer meetraaien op deze positie levert geen extra inzichten op. Uit onze analyse bleek ook dat de meetposities “gebouw” en “25m” dermate gecorreleerd zijn dat een van beide weggelaten kan worden in de data analyse.



figuur 14 *Correlatie matrix V_{rms} voor passage op spoor 1*

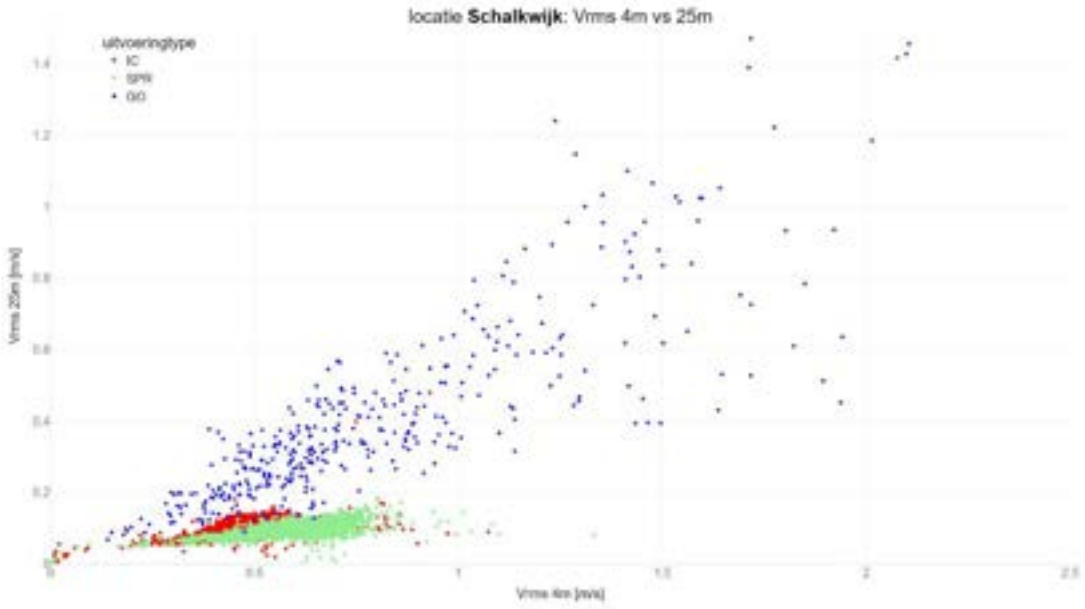


figuur 15 *Correlatie matrix V_{rms} voor passage op spoor 2*

3.9 Trillingsniveau per afstand

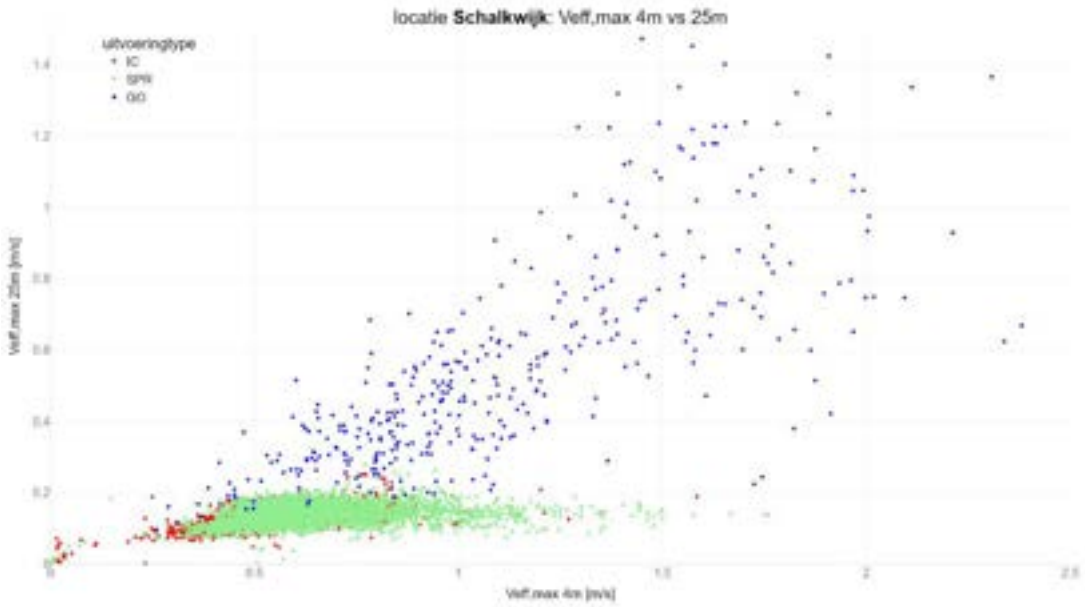
Door de gemeten trillingsniveaus op verschillende afstanden te analyseren kunnen we mogelijk een verband leggen tussen trillingsniveaus, trillingsvoortplanting door de bodem en hinder. Hiervoor kijken we naar de trillingsniveaus V_{rms} en $V_{eff,max}$ op 4m en 25m.

Allereerst de algemene verdeling van de V_{rms} per uitvoeringstype. Hierin is duidelijk te zien dat elk uitvoeringtype een eigen cluster heeft. Voor de intercity's en sprinters is dit cluster redelijk plat. Dit betekend dat voor zowel lage als hoge V_{rms} waardes op 4m er een matige V_{rms} waarde op 25m gemeten is. Anders gezegd: de trillingsniveaus dicht bij het spoor dempen redelijk vlot uit naarmate je verder van het spoor meet. Voor goederentreinen is dit beeld anders. Daar zien we dat een bepaalde waarde op 4m zich beter voortplant richting de meetlocatie op 25m. De trillingen van goederentreinen zijn dus beter waarneembaar op grotere afstand dan trillingen van intercity's en sprinters met eenzelfde trillingsintensiteit dichtbij (4m).



figuur 16 *Verband tussen V_{rms} waardes op 4m en 25m*

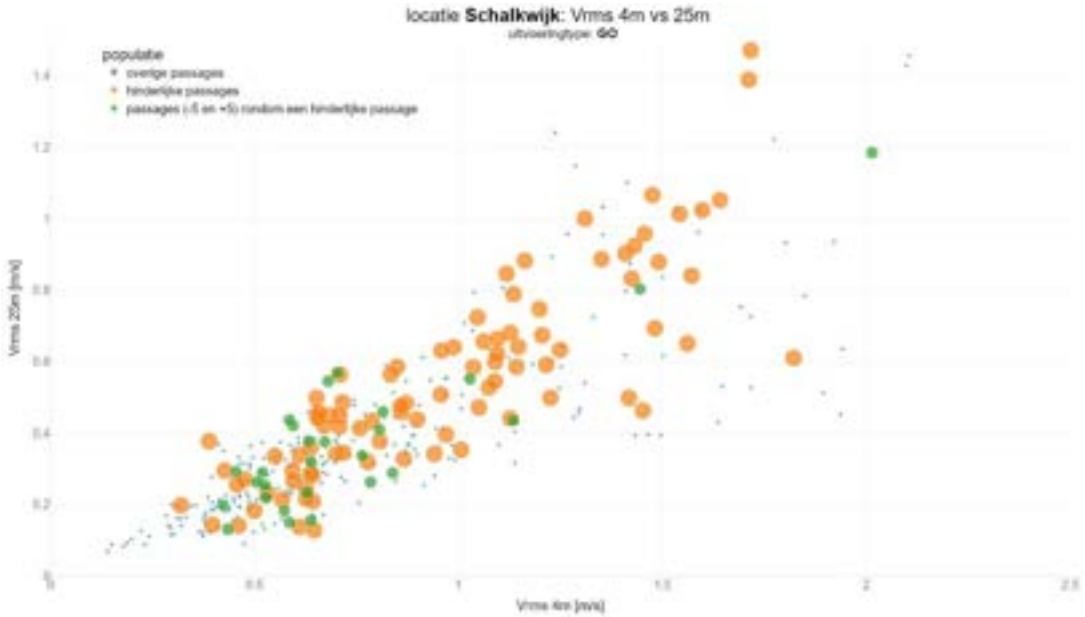
Voor $V_{eff,max}$ is eenzelfde beeld te zien. Er is een grote spreiding in dit trillingsniveau op 4m voor alle uitvoeringtypes maar het niveau op 25m blijft beperkt, behalve voor goederentreinen die wel hogere niveaus op 25m laten zien. Echter is het verband voor de goederentreinen iets minder duidelijk in vergelijking met het verband bij V_{rms}.



figuur 17 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m*

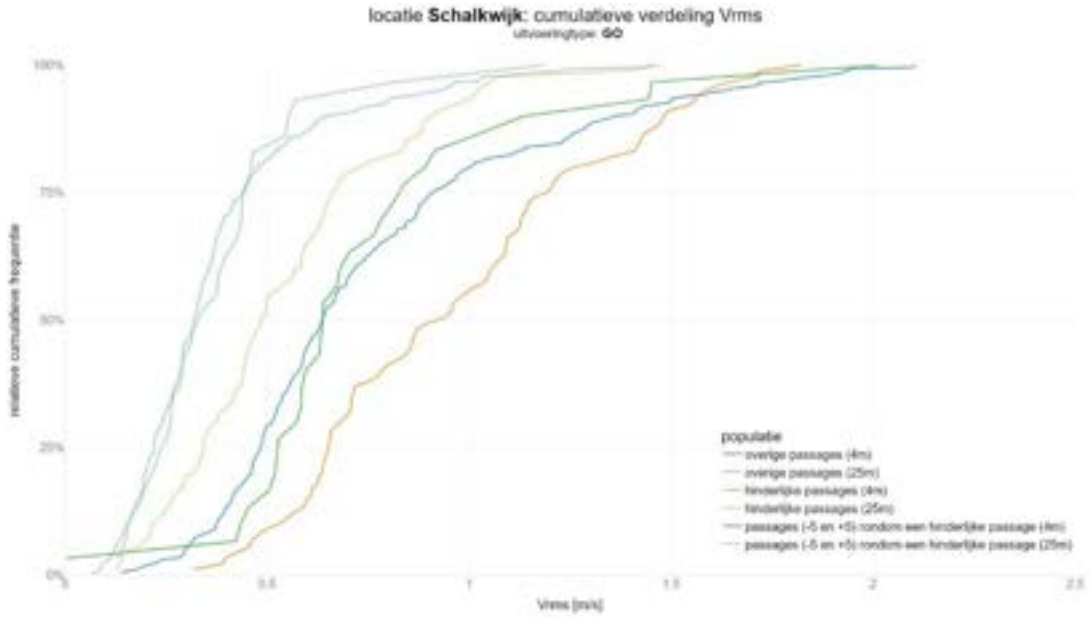
We hebben gezien dat de spreiding in de trillingsparameters op 4m en 25m verschilt voor de verschillende uitvoeringstypes. Maar dit zegt nog niet perse iets over de hinderlijkheid. Daarvoor kijken we naar het verband tussen de trillingsniveaus op 4m en 25m per uitvoeringstype in figuur 16, figuur 18 en figuur 20 en de cumulatieve verdeling van de trillingsniveaus in figuur 17, figuur 19 en figuur 21.

Voor goederentreinen zien we dat de hinderlijke passages ten opzichte van de ander populaties vaker een hogere waarde hebben voor V_{rms}, met name in vergelijking met de populatie ‘rondom een hinderlijke passage’. Andersom is een lager V_{rms} niveau voor goederentreinen geen garantie dat de passage niet als hinderlijk wordt ervaren.



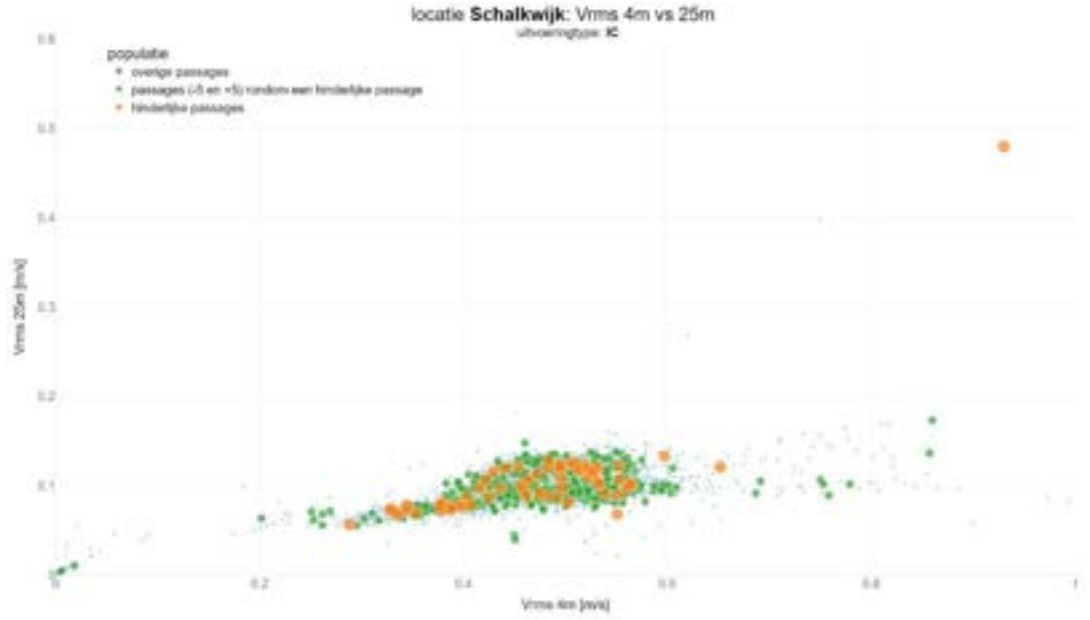
figuur 18 *Verband tussen V_{rms} waardes voor goederentreinen op 4m en 25m en relatie met hinder*

De hogere waarden voor V_{rms} voor passages met hinderregistratie zijn ook duidelijk zichtbaar in de cumulatieve verdeling van de trillingswaardes in figuur 17. Daar zien we dat hogere trillingsamplitudes voor komen in de populatie ‘hinderlijk’ voor zowel 4m als 25m afstand.

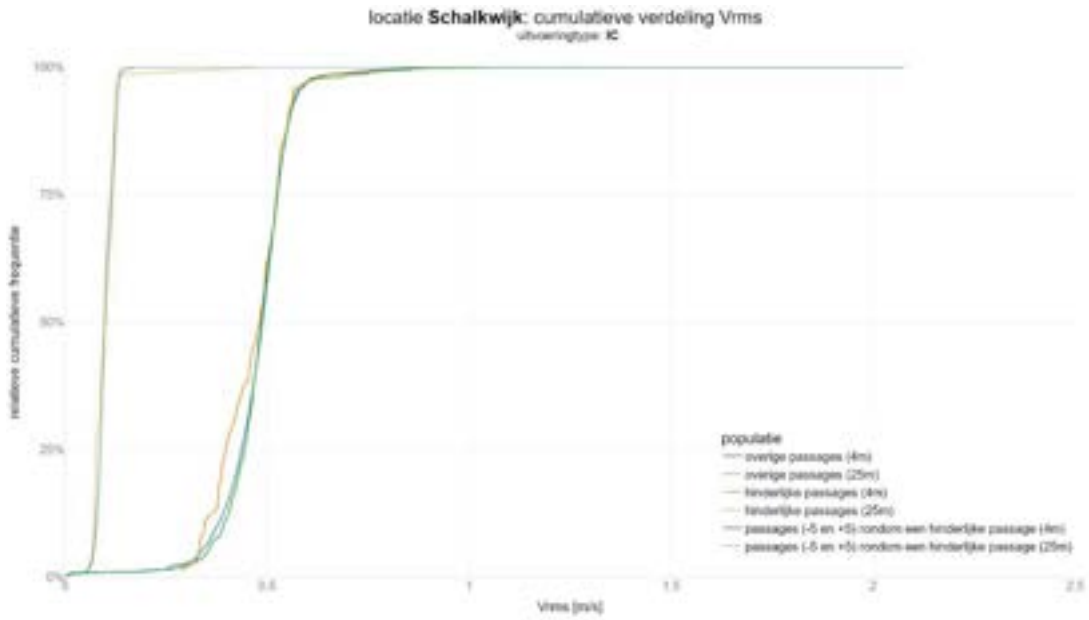


figuur 19 *Cumulatieve verdeling van V_{rms} waardes voor goederentreinen*

Voor de uitvoeringstypes IC en SPR is er geen significant gevonden tussen de waarde van V_{rms} en hinderlijkheid, zoals valt af te leiden uit figuur 18 tot en met figuur 21: zowel de scatterplots als de cumulatieve verdelingen tonen nauwelijks verschil voor de verschillende populaties.

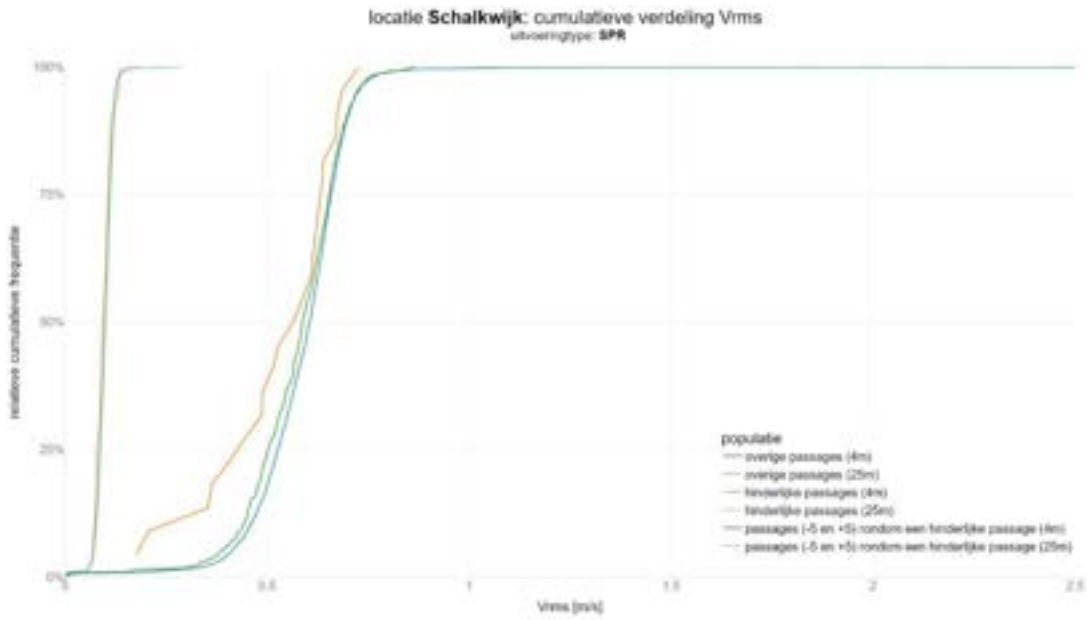


figuur 20 *Verband tussen V_{rms} waardes op 4m en 25m voor intercity’s en relatie met hinder*



figuur 21 *Cumulatieve verdeling van V_{rms} waardes voor intercity's*

figuur 22 *Verband tussen V_{rms} waardes op 4m en 25m voor sprinters en relatie met hinder*



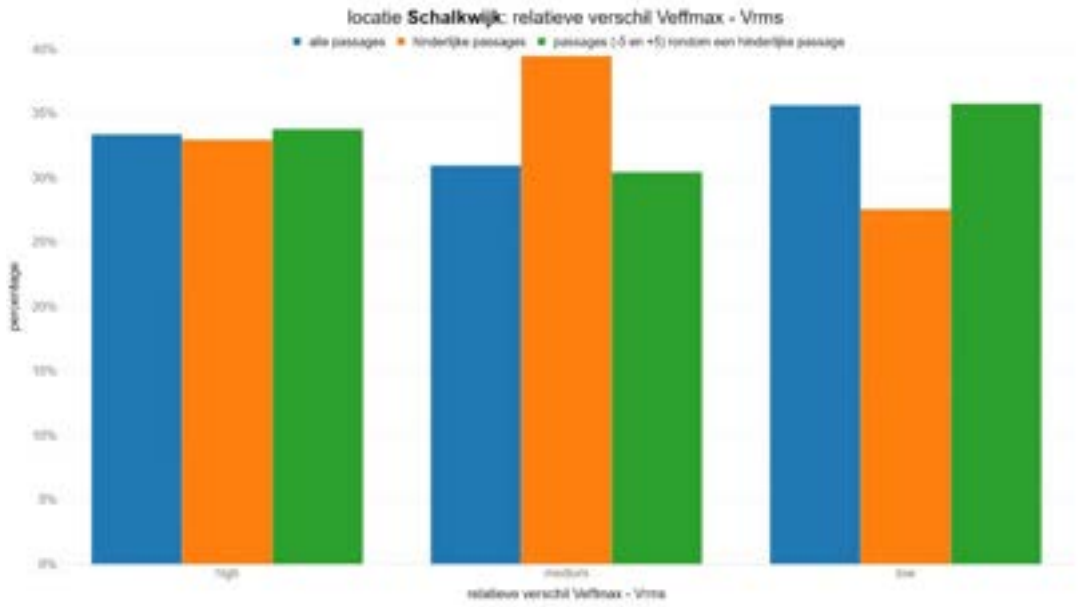
figuur 23 *Cumulatieve verdeling van V_{rms} waardes voor sprinters*

In bijlage C zijn vergelijkbare plots te zien voor $V_{eff,max}$. Ook hier is er wel een duidelijk verband tussen trillingsamplitude (in dat geval $V_{eff,max}$) en hinderlijkheid gevonden voor goederentreinen, maar niet voor IC's en SPR's.

In het algemeen worden (in de literatuur) hogere trillingsniveaus geassocieerd met meer hinder, maar de hier gepresenteerde analyse laat zien dat voor de locatie Schalkwijk dit verband kan worden aangetoond voor goederentreinen, maar niet voor intercity's en sprinters.

3.10 Variatie van trillingsniveau

Het relatieve verschil tussen de $V_{eff,max}$ en V_{rms} geeft inzicht hoe de passage in de tijd is verlopen. De $V_{eff\ max}$ is het maximale trillingsniveau in de passage en de V_{rms} is het gemiddelde trillingsniveau over de passages. Een groot verschil tussen deze twee eenheden kan er op duiden dat een bepaalde as er qua trillingsniveau 'uit springt' binnen de totale passage en dat dat de hinder veroorzaakt. De analyse van deze verschillen in figuur 22 laat zien dat inderdaad passages die een 'medium' relatief verschil hebben tussen $V_{eff,max}$ en V_{rms} vaker dan normaal als hinderlijk worden geregistreerd.



figuur 24 *Relatieve verschil $V_{eff\,max}$ - V_{rms} verschil per populatie*

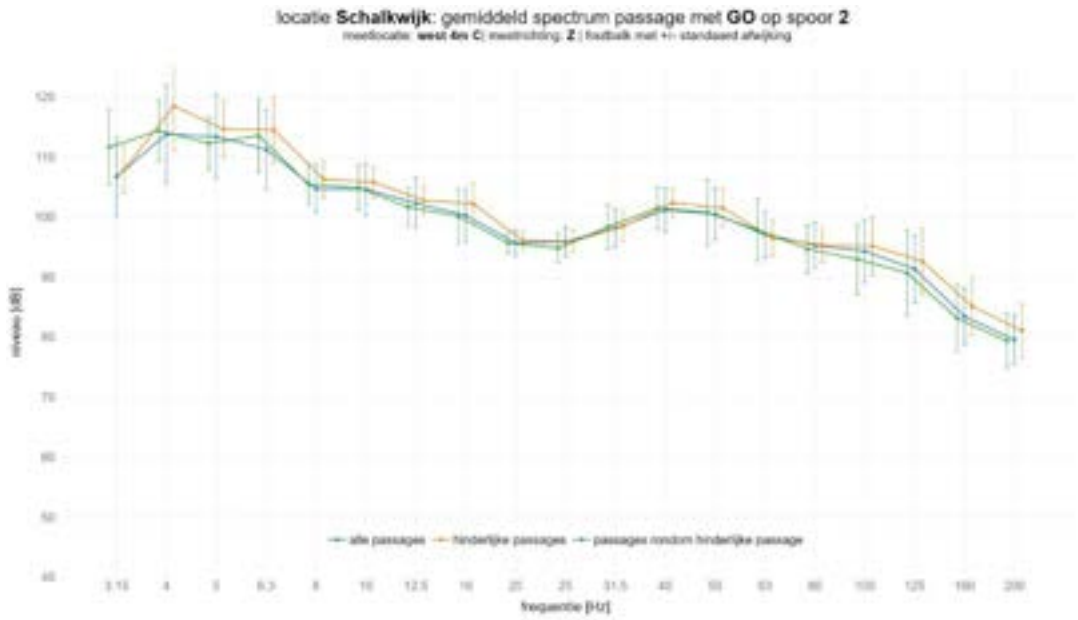
3.11 Trillingsspectra

De trillingsparameters $V_{eff,max}$ en $V_{eff,max}$ zijn een maat (één-getalswaarde) voor de totale trillingsenergie op een meetlocatie. Daarvoor vonden we in de vorige secties alleen voor goederentreinen een verband met de hinder. We hebben ook gekeken naar het verband tussen het trillingsspectrum per passage (de trillingsenergie per frequentieband) en de hinder. We hebben per populatie gekeken naar het gemiddelde trillingsspectrum in een bepaalde meetrichting op een bepaalde meetlocatie. De vraag is of er voor hinderlijke passages afwijkingen in het spectrum te zien zijn. Daarnaast kan de voorplanting/uitdemping van trillingen door de bodem bekeken worden door het gemiddelde trillingsspectrum op 4m en 25m met elkaar te vergelijken. In figuur 23, figuur 24, figuur 25 zijn de trillingsspectra te zien voor 4m en in figuur 26, figuur 27, figuur 28 zijn de trillingsspectra voor 25m weergegeven.

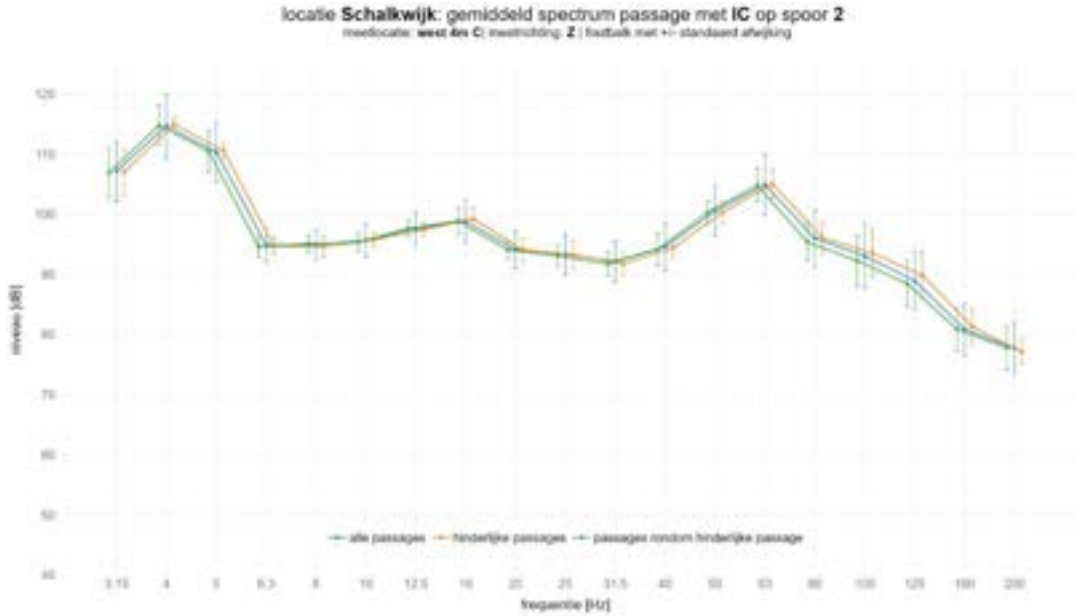
Vergelijking van de trillingsspectra per uitvoeringstype op zowel 4m als op 25m laat zien dat elk uitvoeringstype een karakteristiek spectrum heeft. Op 4m is te zien dat voor alle drie uitvoeringtypes de hoogste niveaus in het frequentiegebied 3.15Hz tot 5.0Hz zitten. De intercity's en sprinters hebben rond de 63Hz nog een duidelijke piek in het spectrum.

Op 25m zit voor de goederentreinen de hoogste piek nog steeds in de 4Hz band. Voor de intercity's en sprinters is de piek verschoven naar de 10Hz band. Waar voor de intercity's en sprinters het spectrum duidelijk lager is op 25m is voor de goederentreinen geen afname te zien in de lage frequenties. In de hogere frequenties is er wel een afname.

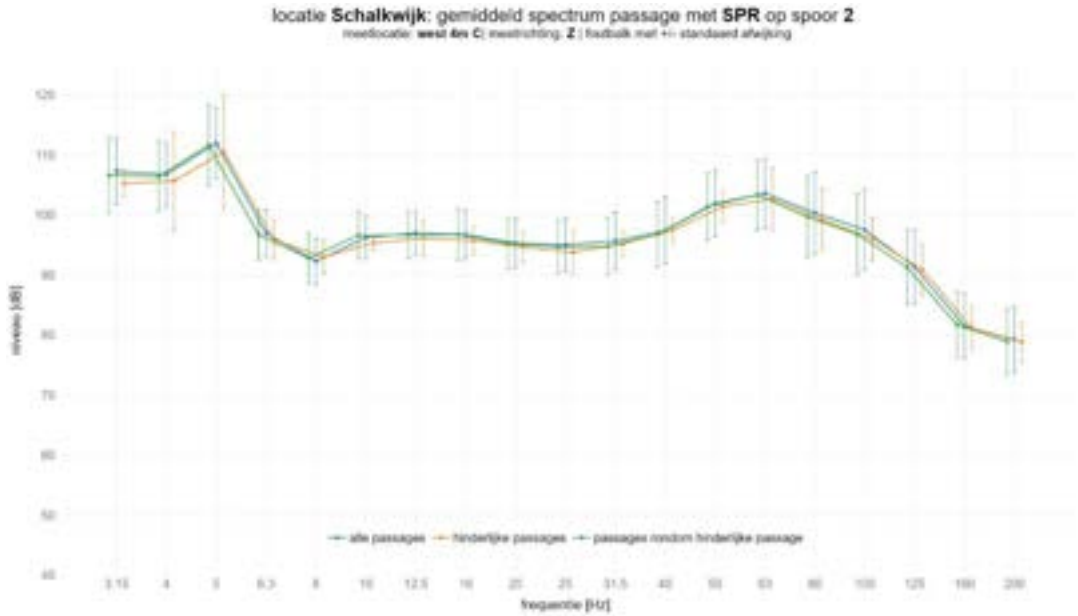
Uit de analyse is geen duidelijk verband gevonden tussen het trillingsspectrum en de hinderlijkheid van een bepaald uitvoeringstype: voor zowel 4m als 25m zijn er geen *significante* verschillen te zien tussen de verschillende populaties. De zichtbare verschillen tussen de spectra, bijv. de iets hogere waardes voor goederentreinen op 25 m) vallen ruimschoots binnen de foutenbalken die de spreiding in de resultaten weergeven. Deze conclusie sluit aan bij de conclusie voor de analyse van de trillingsparameters in paragraaf 3.8.



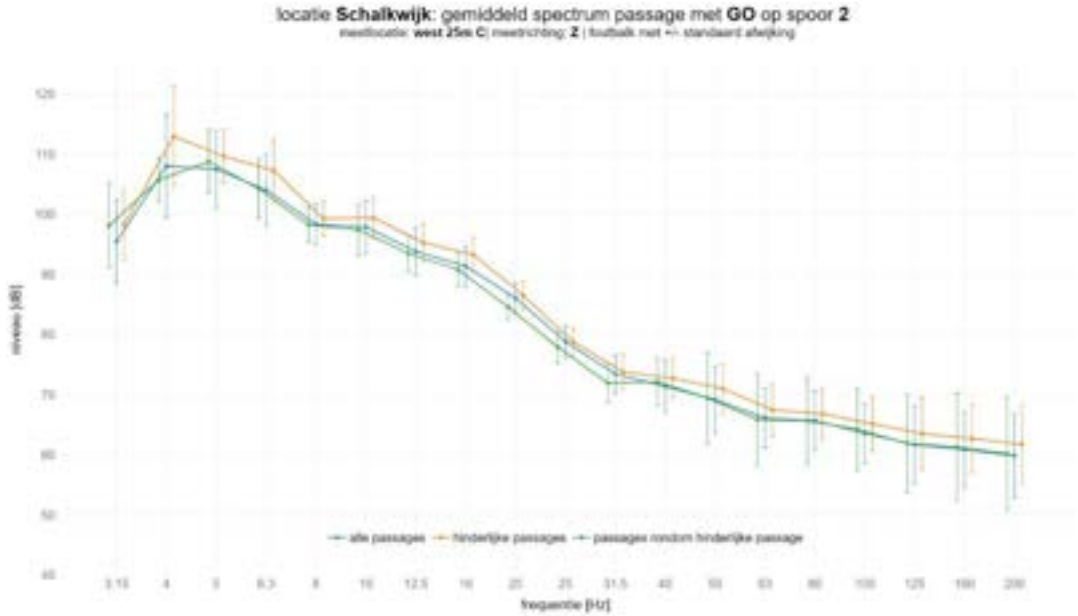
figuur 25 *Gemiddeld spectrum 4m west, Z richting voor goederentreinen*



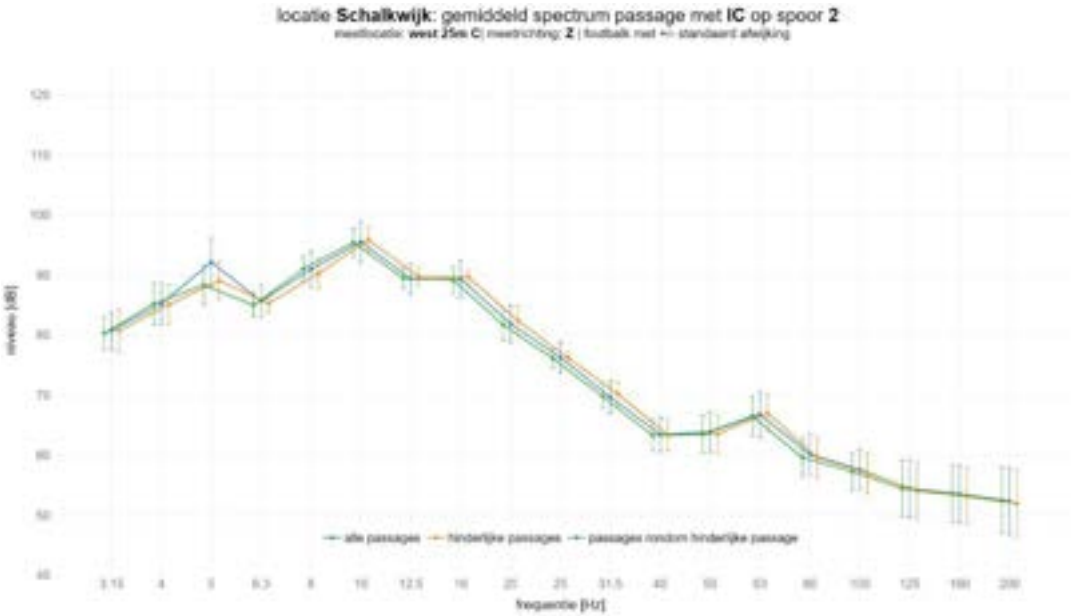
figuur 26 *Gemiddeld spectrum 4m west, Z richting voor intercity's*



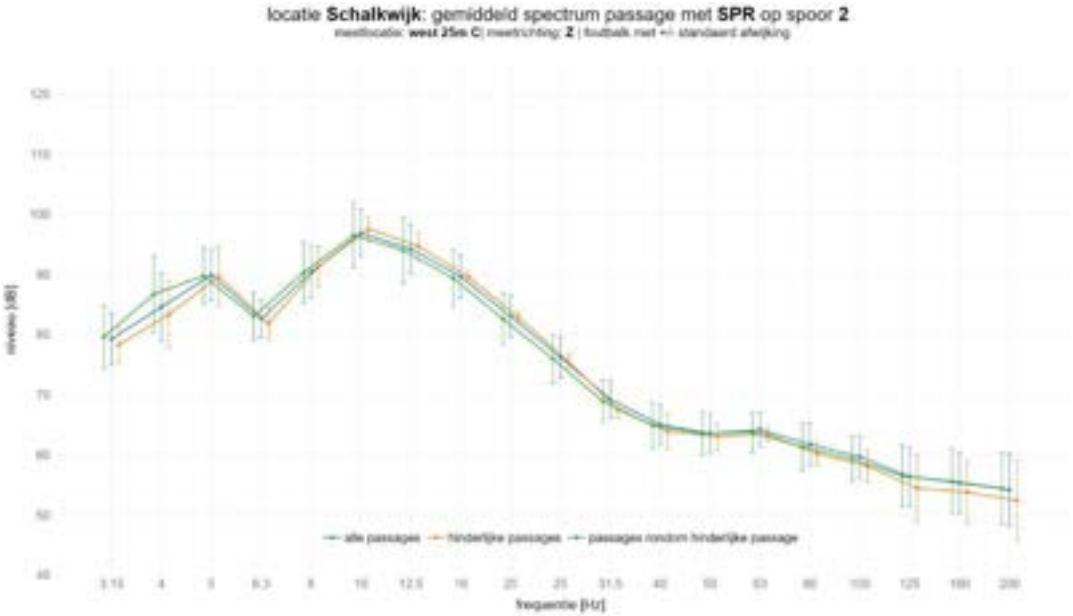
figuur 27 *Gemiddeld spectrum 4m west, Z richting voor sprinters*



figuur 28 *Gemiddeld spectrum 25m west, Z richting voor goederentreinen*



figuur 29 *Gemiddeld spectrum 25m west, Z richting voor intercity's*



figuur 30 *Gemiddeld spectrum 25m west, Z richting voor sprinters*

Alle andere trillingsspectra zijn te vinden in bijlage E. Hierin is voor elke meetlocatie, per meetrichting en voor ieder uitvoeringtype apart een spectrum weergegeven. Voor deze spectra geldt dezelfde conclusie: er is geen significant verband tussen de gemiddelde spectrale waarden en hinder(populatie) gevonden.

3.12 Conclusies

De gecombineerde analyse treineigenschappen, trillingsmetingen en hinderregistraties heeft inzichten opgeleverd in de kenmerkende factoren van hinderlijke treinpassages. Die zijn hieronder samengevat.

Op de onderzoekslocatie Schalkwijk blijkt dat een kleine 2% van alle passages daar tot hinderregistraties heeft geleid. Van 11% van de registraties kon geen koppeling gemaakt worden met een treinpassage. Van alle passages met goederenmaterieel (dat hier niet veel rijdt) is een hoog aandeel, namelijk 24% als hinderlijk wordt geregistreerd. Dat aandeel is in absolute zin net iets groter dan bij de andere uitvoeringstypes samen. Maar dat betekent niet dat de hinder van passagiersmaterieel verwaarloosbaar is: in de registraties van hinder komen intercity's ook veel voor en sprinters in iets mindere mate. Binnen het intercitymaterieel is de VIRM-IV iets vaker betrokken bij hinderlijke passages.

Wat betreft de materieel-gerelateerde factoren, blijkt uit de data dat wielschade vaker voorkomt bij hinderlijke passages en dat het dan gaat om vlakke plaatsen en polygonisatie en niet om onrondheid, maar dat er bij bijna de helft van de hinderlijke passages geen wielschade voorkomt. De kans op hinder neemt aanzienlijk toe als er meerdere wielschades in een trein aanwezig zijn.

Er is wel een indicatie in de data dat aslast en aslastvariatie een rol spelen bij de hinderlijkheid: goederentreinen met een hogere gemiddelde aslast en weinig aslastvariatie (dus waarbij veel wagons zwaar zijn beladen) zijn vaker als hinderlijk geregistreerd. Dit suggereert dat zwaar beladen wagons een rol spelen in het veroorzaken van hinder.

Ten slotte wijst de analyse van diagonale onbalans op draaistellen uit dat bij passagierstreinen de hinderlijke passages wat vaker een onbalans in meerdere draaistellen hebben. Een enkele hogere waarde in onbalans in een enkel draaistel in een trein met verder weinig onbalans wordt niet snel geassocieerd met hinder. Bij goederentreinen is dit verband nauwelijks aanwezig.

Hinderijke passages met goederentreinen hebben vaker een hoog trillingsniveaus $V_{\text{eff max}}$ en/of V_{rms}. Maar een laag niveau is geen garantie voor niet-hinderlijkheid. Er is voor intercity's en sprinters geen significant verband gevonden tussen de trillingsniveaus $V_{\text{eff max}}$ en V_{rms} enerzijds en hinder anderzijds.

Er is ook geen verband gevonden tussen de trillingsspectra van $V_{\text{eff max}}$ en V_{rms} en hinderlijke passages. De analyse van het relatieve verschil tussen de trillingsniveaus $V_{\text{eff max}}$ en $V_{\text{rms:}}$ $\Delta V_{\text{relatief}}$ toont aan dat grotere relatieve verschillen tussen deze waarden iets vaker hinderlijk zijn dan passages waarbij dit verschil klein is. Het effect is echter niet heel groot.

Voorzichtig concluderen we, voor de locatie Schalkwijk, dat hogere aslast bij goederentreinen, wielschades en meerdere draaistellen met significante diagonale onbalans of variatie in trillingen ($\Delta V_{\text{relatief}}$) binnen een trein een aanwijzing zijn voor hinder. Omdat dergelijke variaties vaker voorkomen bij goederenmaterieel is het ook logisch dat er relatief veel goederentreinen als hinderlijk zijn geregistreerd. Maar bij deze conclusie moeten we wel de kanttekening plaatsen dat deze bevindingen zijn gebaseerd op een beperkte set registraties voor een locatie met veel treinpassages vlak bij elkaar wat de nauwkeurigheid van de analyse negatief beïnvloed. De analyse voor de andere onderzoekslocaties zal inzicht verschaffen of deze voorzichtige conclusie kan worden bevestigd of moet worden verworpen.

4 Resultaten America

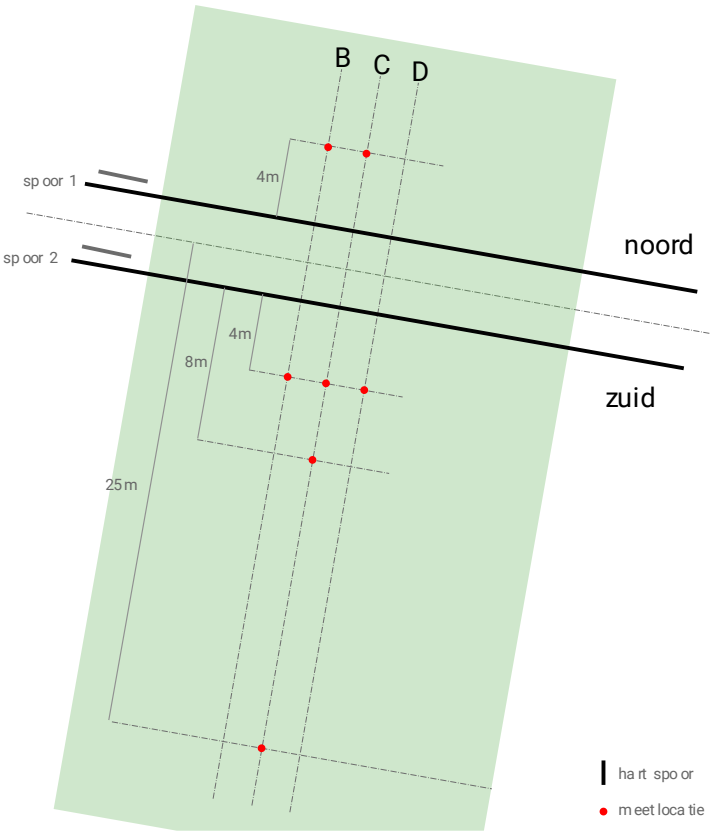
Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de data analyse voor de onderzoekslocatie America. Dit hoofdstuk heeft dezelfde structuur als de hoofdstukken over de resultaten van de andere onderzoekslocaties: we presenteren en analyseren op systematische wijze de relatie tussen treinparameters en -eigenschappen, trillingsdata en de geregistreerde hinder voor verschillende populaties.

4.1 Meetlocaties

In tabel V is een overzicht te zien van de meetlocatie binnen America. De metingen vonden plaats op de lijn Deurne-Horst-Sevenum bij km 17.8. Het aantal raaien en de opzet van de meetlocaties is hetzelfde t.o.v. locatie Schalkwijk, enkel ligt het spoor anders waardoor er een noord- en zuidzijde is.

tabel V *Overzicht meetlocaties en meetrichtingen America*

Meetlocatie	Meetrichtingen
America gebouw	X, Y en Z
America noord 4m B	Z
America noord 4m C	Y, Z
America zuid 4m B	Z
America zuid 4m C	Y, Z
America zuid 4m D	Z
America zuid 8m C	X, Y en Z
America zuid 25m C	X, Y en Z



figuur 31 *Meetlocaties op onderzoekslocatie America*

4.2 Kentallen

De kentallen van het onderzoek in America zijn weergegeven in tabel VI. In America zijn door 15 omwonenden klachtenregistratie bijgehouden. Dit heeft geresulteerd in een totaal van 494 registraties in de periode (27 december 2023 t/m 12 februari 2024) waarin ook trillingsmetingen zijn uitgevoerd. Uit deze 494 registraties zijn er 46 registraties die rondom hetzelfde tijdstip zijn geregistreerd op meerdere adressen, er zijn dus 448 registraties aanwezig met een uniek tijdstip.

Van deze 448 registratie zijn er 363 (81%) gekoppeld aan één of meerdere treinpassages volgens eerder vastgestelde condities voor het koppelen van een registratie aan een treinpassage. Uiteindelijk zijn er 477 treinpassages die binnen de tolerantie rondom een registratie tijdstip vielen en dus aangeduid zijn als ‘hinderlijk’. Dat is 8,5% van het totaal aantal passages. Dat is een stuk meer dan in Schalkwijk. In dit onderzoek deden 15 adressen mee terwijl er in Schalkwijk maar 5 adressen deelnamen. Dat zou een deel van de verklaring kunnen zijn: bij meer adressen is het aannemelijk dat er vaker mensen thuis zijn om eventuele hinder te registreren. De aanwezigheid is in het onderzoek echter niet meegewogen.

De controlepopulatie (populatie passages – 5 en +5 rondom hinderlijk) bedraagt 38% van de populatie.

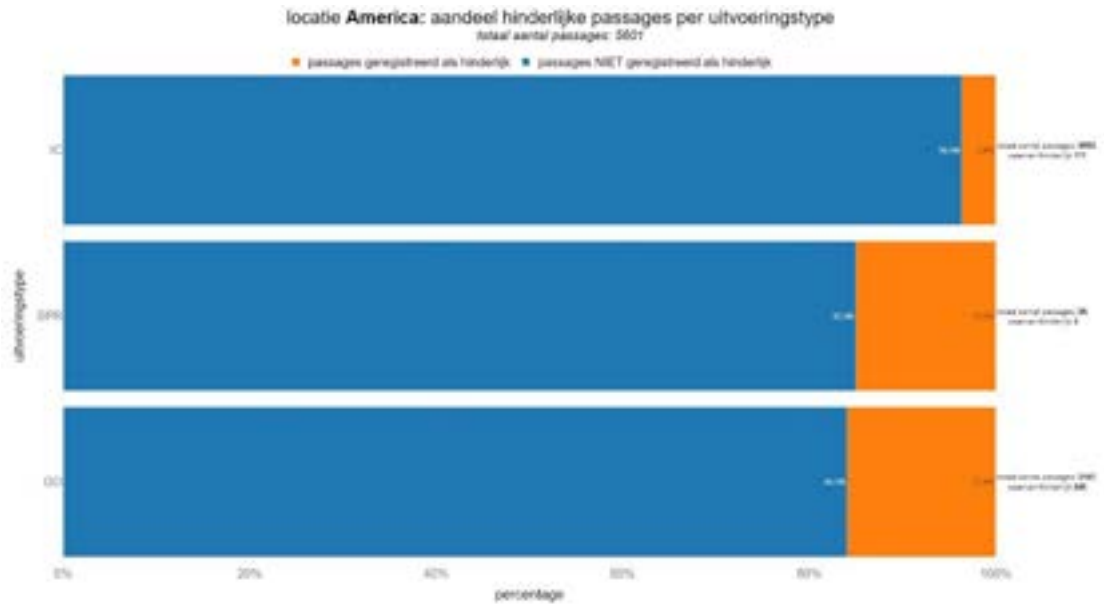
tabel VI *Kentallen van hinderregistraties in America*

Kental	Aantal
Adressen	15
Meetperiode (dagen)	48

Kental	Aantal
Hinderregistraties	494
Unieke hinderregistraties	448
Hinderregistraties gekoppeld aan treinpassage	363
waarvan gekoppeld aan enkele treinpassage	258
waarvan gekoppeld aan meerdere treinpassages	105
Hinderregistraties zonder gekoppelde treinpassage	85
Treinpassage tijdens onderzoeksperiode (populatie alle passages)	5601
waarvan intercity's	3053
waarvan sprinters	20
waarvan goederentreinen	2167
waarvan overig	316
Treinpassages gekoppeld aan hinderregistraties (populatie hinderlijke passages)	477
waarvan intercity's	111
waarvan sprinters	3
waarvan goederentreinen	345
waarvan overig	18
Treinpassages rondom hinderregistraties die niet als hinderlijk zijn geregistreerd (populatie passages – 5 en +5 rondom hinderlijk)	2137
waarvan intercity's	1188
waarvan sprinters	10
waarvan goederentreinen	763
waarvan overig	176

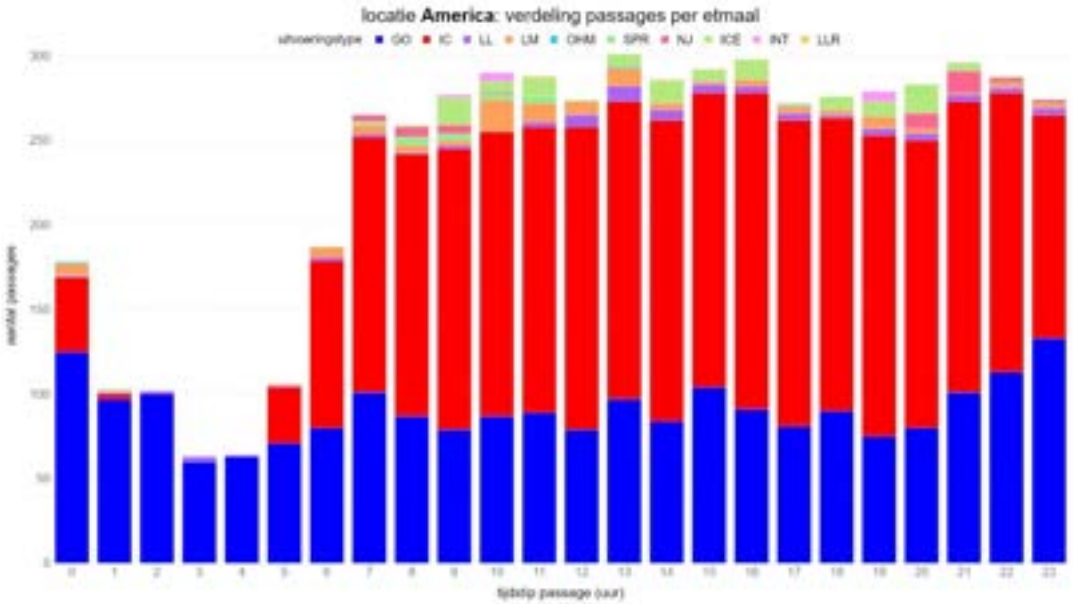
85 unieke hinderregistraties (19%) konden niet worden gekoppeld aan een treinpassage op basis van de beschikbare trillingsmeetdata niet aan een treinpassage te koppelen. Van deze mismatches is niet vast te stellen of dit komt door ontbreken van QuoVadis data, of dat de registratietijdstippen onnauwkeurig waren, of dat er hinder werd geregistreerd die niet afkomstig was van treinpassages (maar bijvoorbeeld van passages van vrachtwagens of anderszins). Dit percentage is behoorlijk meer dan op de locatie Schalkwijk en vraagt om nader onderzoek. Dit kan een aanzienlijke invloed hebben op de analyse en de conclusies die uit het onderzoek naar voren komen.

De relatieve bijdrage van de verschillende uitvoeringstypes is weergegeven in figuur 30. Bij de meeste hinderregistraties zijn passages van goederentreinen betrokken. Relatief is het echter wat minder dan in Schalkwijk (15,9% hier en 23,5% in Schalkwijk) maar in absolute zin een stuk meer omdat er überhaupt meer goederentreinen passeren. Het aandeel intercity's in de klachten is hier weer groter dan in Schalkwijk (3,6% hier en 1,4% in Schalkwijk). We zien verder dat er een relatief groot aandeel sprinters is waaraan klachtenregistraties zijn gekoppeld. Er zijn echter in totaal maar heel weinig passages met sprinters. Dit betekent dat we de resultaten voor deze locatie voorzichtig moeten interpreteren met betrekking tot sprinters om geen voorbarige conclusies te trekken uit de hier gepresenteerde verbanden (of juist het ontbreken van verbanden).

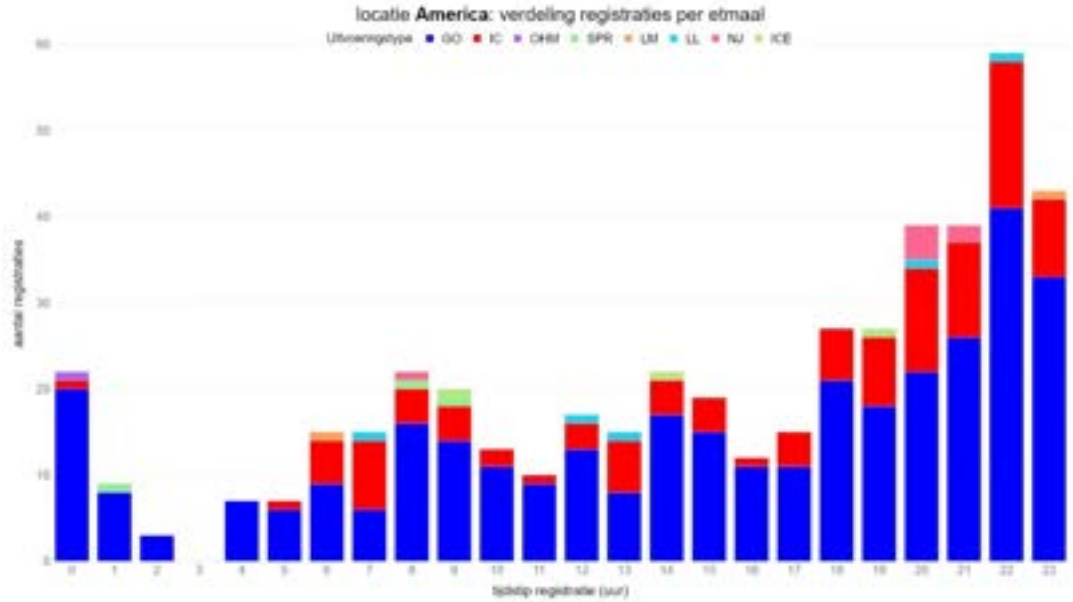


figuur 32 *Aandeel hinderlijke passages in totale populatie per uitvoeringstype*

In figuur 33 en figuur 34 is weergegeven respectievelijk op welk tijdstip in het etmaal er treinpassages zijn en op welk tijdstip er hinder is geregistreerd voor elk uitvoeringstype. We zien een redelijk constant verkeersaanbod tussen 7 uur tot en met 23 uur. De hinderregistraties volgen dat patroon niet. Bijvoorbeeld: het aantal goederentreinen is tamelijk constant, maar er zijn duidelijk meer hinderregistraties in de avond dan overdag en ’s nachts. Dat kan te maken hebben met een groter aantal aanwezige bewoners in de avond, maar kan ook te maken hebben met een groter bewustzijn van de passages in de avonduren als het overige verkeer minder wordt.



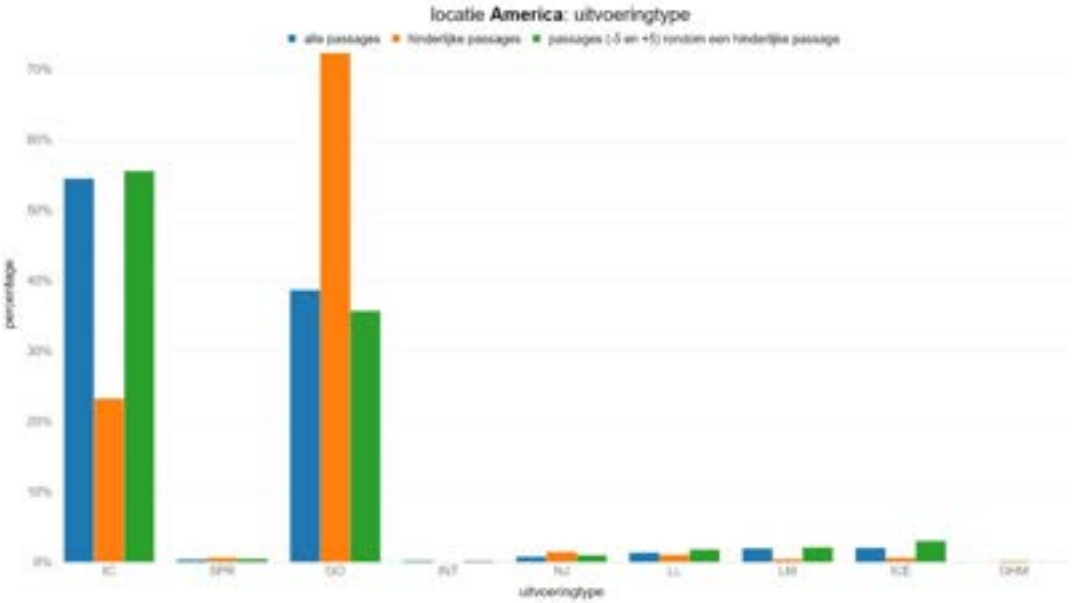
figuur 33 *Verspreiding van passages van treinen over het etmaal*



figuur 34 *Verspreiding van registraties van hinder over het etmaal*

4.3 Uitvoeringstype

Een analyse van de resultaten op basis van het uitvoeringstype van de trein (intercity, sprinter, goederen) laat zien dat er bij als hinderlijke gemarkeerde passages hoofdzakelijk goederenmaterieel betrokken is. Bij 25% van de hinderlijke passages wordt veroorzaakt door het intercitymaterieel. Over sprinters kunnen we geen uitspraak doen.



figuur 35 *Uitvoeringstype per populatie*

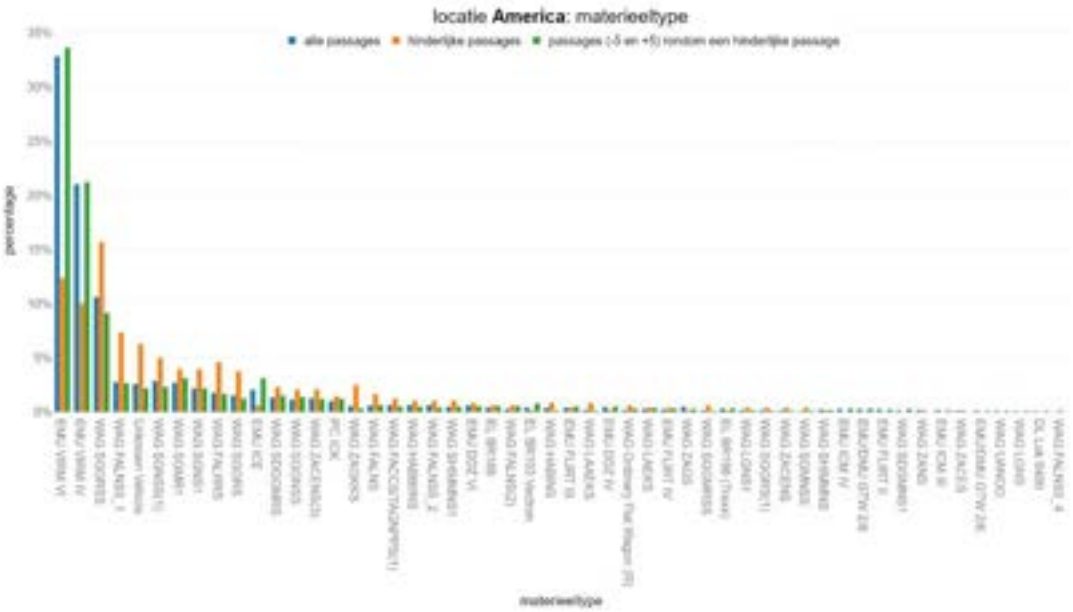
Als we kijken naar de kentallen van de uitvoeringstypes in tabel VII, dan wordt het beeld bevestigd dat op deze locatie heel vaak een goederentrein betrokken is bij een hinderregistratie: bij ruim 70% van de registraties is een passage van een goederentrein aanwezig. Maar ook de andere uitvoeringstypes (IC en overig) leveren een niet verwaarloosbaar aandeel in de registraties op.

tabel VII *Kentallen van hinderregistraties in America per uitvoeringtype*

Kental	Aantal
Hinderregistraties gekoppeld aan enkele treinpassage	258
met IC of SPR	39
met GO	209
met overig	10
Hinderregistraties gekoppeld aan meerdere treinpassage	105
met meerdere IC of SPR	2
met meerdere GO	30
Gemengd IC/SPR en GO	73

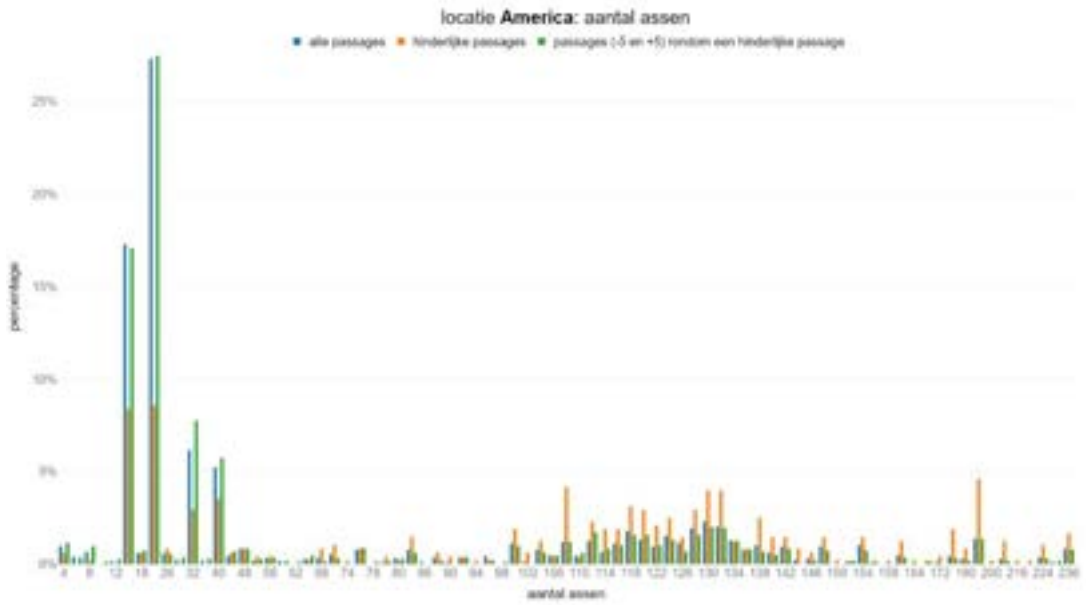
4.4 Materieeltype en aantal assen

Binnen een uitvoeringtype kan er ook onderscheid worden gemaakt naar het materieeltype. We hebben daarbij het meest voorkomende materieeltype in de treinsamenstelling gekoppeld aan de hinder. We zien we dat goederenwagons relatief vaker als hinderlijk zijn geregistreerd. Binnen het intercitymaterieel (VIRM-IV en VIRM-VI) zijn beide materieeltypes relatief ongeveer even vaak als hinderlijk worden geregistreerd. De wagontypes voor bulkgoederen (FALNS5, FALRRS) en containers (SGGRSS, SGNS/SGNSS) en ook ketelwagens (ZAGKKS) worden relatief vaak als hinderlijk worden ervaren.



figuur 36 *Materieeltype per populatie*

Aanvullend kan er gekeken worden naar het aantal assen binnen een treinpassage, hierin is duidelijk te zien dat bij hoge aantallen assen, de passages relatief vaker voor komen bij als hinderlijk geregistreerd passages dan bij de andere populaties. Een hoog aantal assen komt voor bij goederentreinen dus dit resultaat komt overeen met de bevindingen voor de uitvoeringstypes uit paragraaf 4.3.



figuur 37 *Aantal assen per populatie*

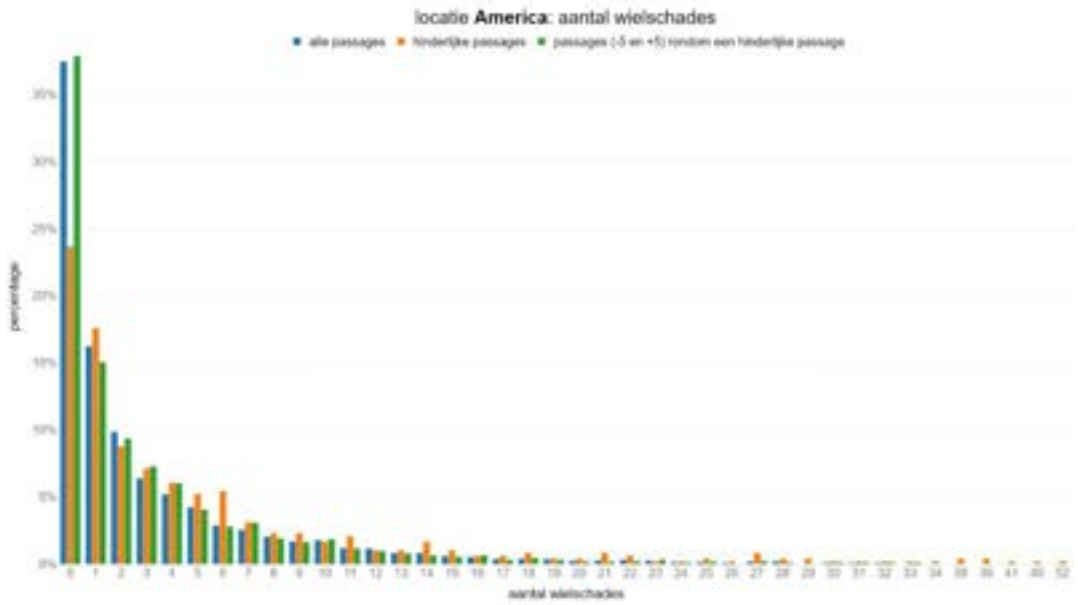
4.5 Wielschade

Een QuoVadis meetstation registreert individuele passages van de assen van een trein en levert per as een indicatie of er sprake kan zijn van wielschade en wat voor soort schade het betreft. We kijken bij de relatie naar hinder naar twee indicatoren voor mogelijke wielschade: het aantal mogelijk wielschades en het mogelijke type van de wielschade.

Allereerst bekijken we de hoeveelheid wielschade in figuur 34. Duidelijk is te zien dat pas vanaf 5 of meer wielschades in een trein de passages relatief vaker als hinderlijk wordt geregistreerd. Maar de relatie tussen aantal wielschades en hinder is minder prominent als in Schalkwijk. Dat komt ook omdat er op deze locatie sowieso een hoog aantal wielschades is: bij een kleine 65% van de passerende treinen is een indicatie voor wielschade afgegeven. Het is niet bekend waarom er op dit traject of in deze vloot meer wielschades voorkomen.

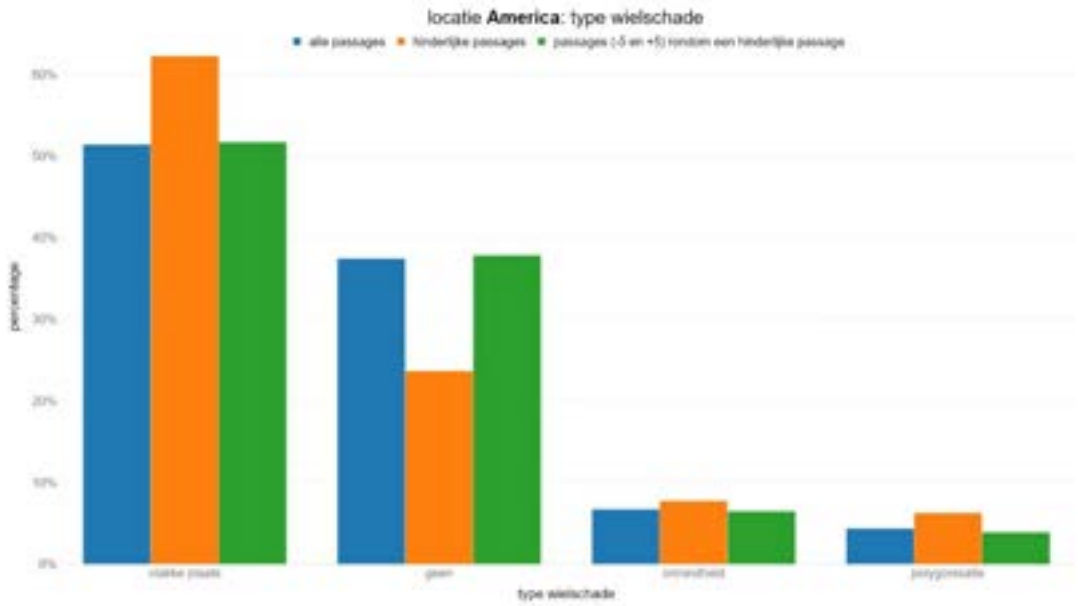
En ook treinen zonder wielschade indicatie worden als hinderlijk ervaren: bij 25% van de hinderlijke passages heeft QuoVadis geen indicatie voor wielschade afgegeven.

Kijken we in figuur 35 naar het type wielschade dat is geregistreerd, dan is te zien dat ‘vlakke plaats’, ‘onrondheid’ en ‘polygonisatie’ allen een iets hoger percentage hebben onder de populatie “hinderlijke passages”. Vlakke plaatsen komen überhaupt als type wielschade het meeste voor en dat is ook zo bij de hinderlijke passages.



figuur 38 *Aantal wielschades per populatie*

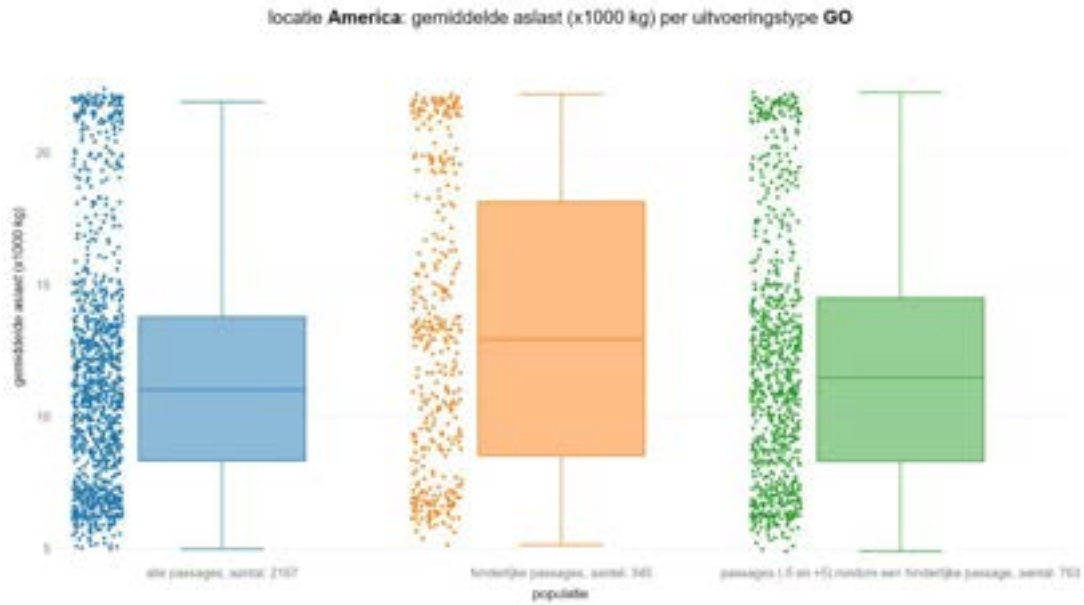
Met betrekking tot veel wielschades kunnen we concluderen dat wielschades oververtegenwoordigd zijn bij hinderlijke passages, maar andersom is het niet zo dat een hinderlijke passage altijd wielschades heeft.



figuur 39 *Type wielschade per populatie*

4.6 Aslast

Een analyse van de gemiddelde aslast per uitvoeringstype in figuur 36 laat zien dat voor goederentreinen een (iets) hogere gemiddelde aslast wat vaker voorkomt bij hinderlijke passages en dat de spreiding voor de gemiddelde aslast ook hoger is: homogeen zwaar beladen goederen treinen zijn vaker aanwezig in klachtenregistraties. Dit stemt overeen met de bevindingen in Schalkwijk.

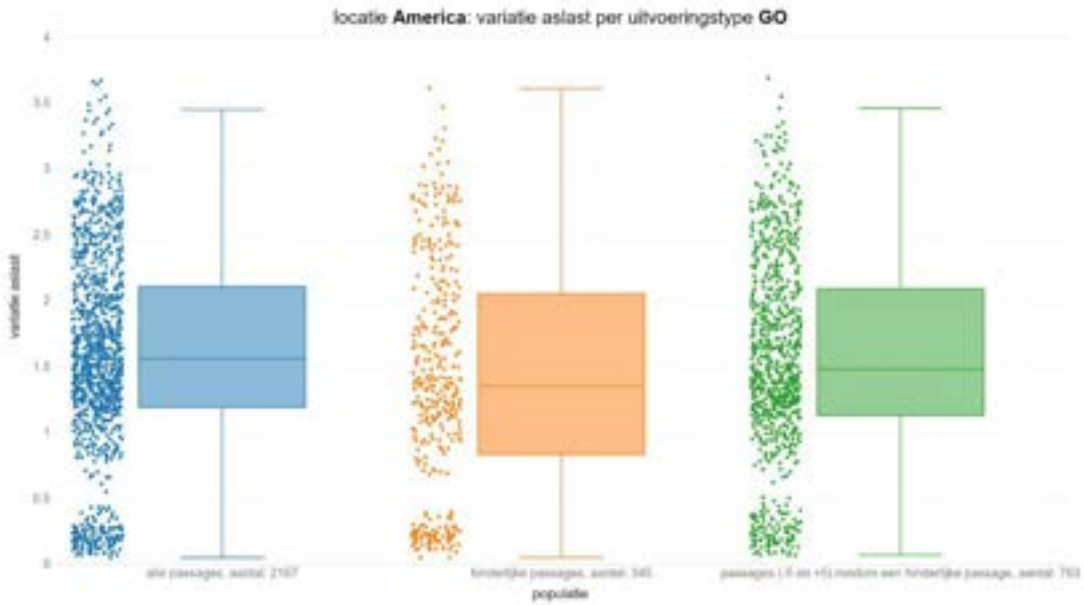


figuur 40 *Gemiddelde aslast voor goederentreinen per populatie*

Voor reizigersmaterieel is dit verband niet zomaar te zien aangezien de aslast minder variatie laat zien ten opzichte van de goederenmaterieel. Voor de intercity's zijn de resultaten te zien in bijlage F. Daaruit blijkt geen verband tussen aslast en hinder. De sprinters zijn vanwege de kleine populatie niet meegenomen in de analyse.

Naast de gemiddelde aslast kan er ook gekeken worden naar de variatie van de aslast in de passage. Dit laat namelijk zien of er zich lege of minder zware beladen wagons bevinden tussen zwaarder beladen wagons (variatie >> 1) of dat de aslast redelijk gelijk is (variatie = 0). Voor goederentrein laat een analyse van deze resultaten in figuur 37 zien dat de hinderlijke passages een iets lagere variatie te hebben in de aslast, oftewel de belading is redelijk constant. Het verschil is echter een stuk minder prominent dan in Schalkwijk.

In bijlage F zijn vergelijkbare grafieken te zien voor de intercity's. Daarin zien we geen verband tussen aslast of variatie aslast en hinder. Voor sprinters hebben we geen resultaten opgenomen omdat deze populatie te klein is om conclusies op te baseren.



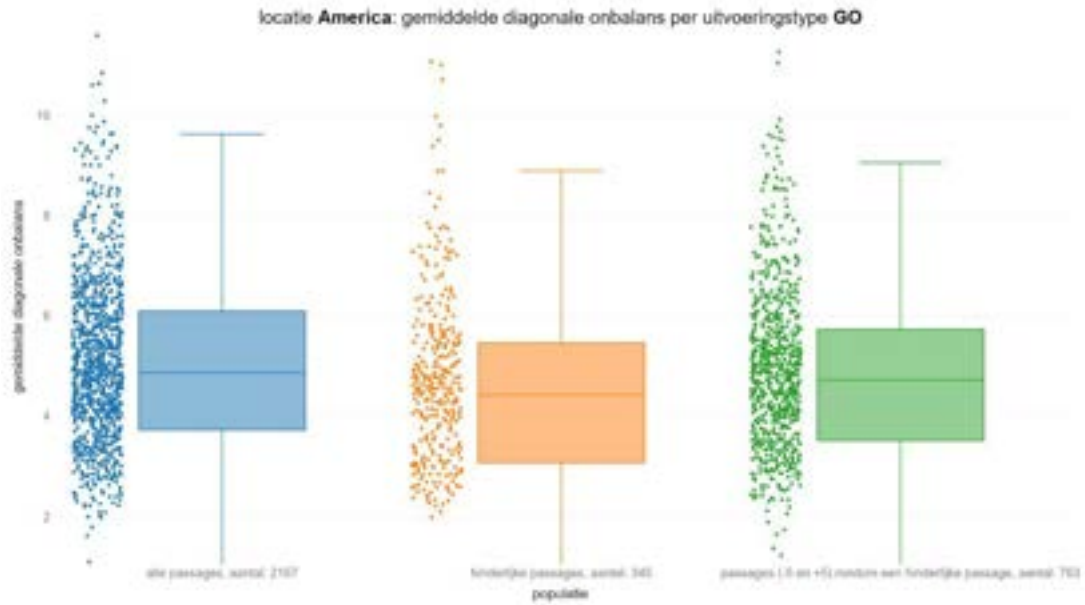
figuur 41 *Variatie aslast voor goederentreinen per populatie*

4.7 Diagonale onbalans

Een diagonale onbalans op een draaistel leidt tot grotere verticale en horizontale krachten vanuit de trein op de spoorstaven. Deze krachten kunnen trillingen veroorzaken in de spoorconstructie die zich eventueel voortplanten naar de omgeving. Dit kan dus een eventuele factor zijn voor hinderlijke passages.

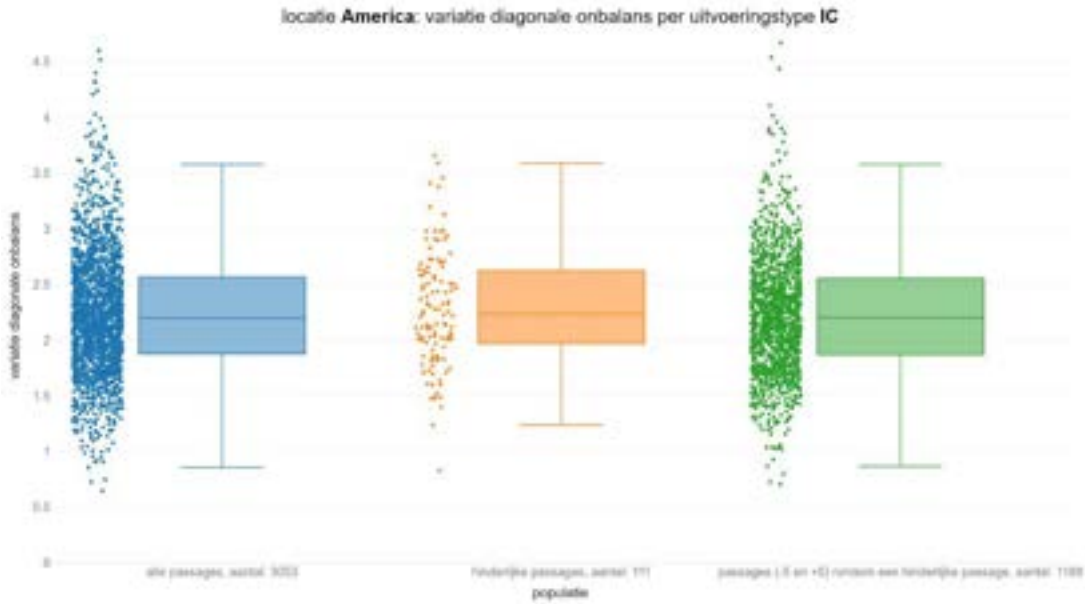
Een analyse van de diagonale onbalans in figuur 38 laat zien dat voor de goederentreinen er een nauwelijks afwijkende diagonale onbalans is bij passages welke als hinderlijk zijn geregistreerd. De mediaan en spreiding van deze waarde wijkt niet af voor de hinderlijke passages ten opzichte van de overige populaties.

Voor intercity's zien we in bijlage G dat de diagonale onbalans ook niet zoveel verschilt tussen de populaties, maar dat lage waardes voor diagonale onbalans niet zoveel voorkomen bij hinderlijke passages. Dit is vergelijkbaar de bevindingen in Schalkwijk. Sprinters zijn vanwege de kleine populatie ook hier niet nader geanalyseerd.



figuur 42 *Gemiddelde diagonale onbalans voor goederentreinen per populatie*

Ook de variatie in de diagonale onbalans laat voor geoderentreinen geen afwijkende resultaten zien bij de passages welke als hinderlijk worden geregistreerd ten opzichte van de andere populaties, zie bijlage G. Voor intercity's zien we in figuur 39 dat voor hinderlijke passages wat minder hoge waardes voor variatie in onbalans voorkomen dan voor de andere populaties. Dit duidt er op dat er minder uitschieters zijn, oftewel, de gemiddelde onbalanswaarde komt relatief meer voor. Het effect is echter klein. De sprinters zijn vanwege de kleine populatie niet verder geanalyseerd.



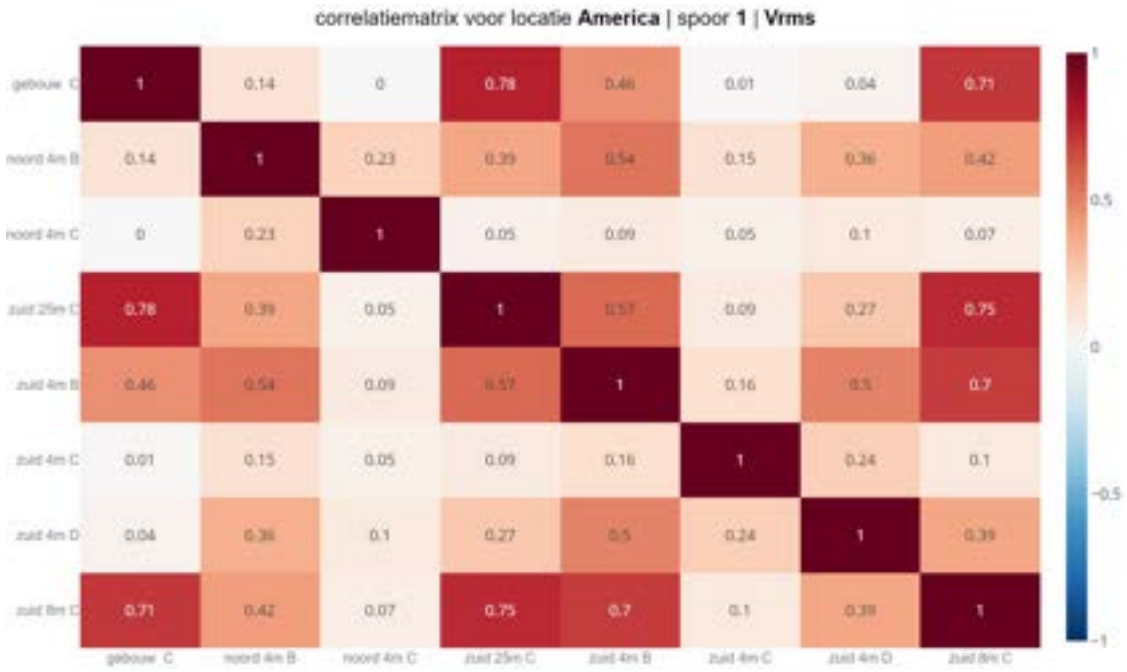
figuur 43 *Variatie diagonale onbalans voor intercity's per populatie*

4.8 Correlatie tussen trillingsmetingen

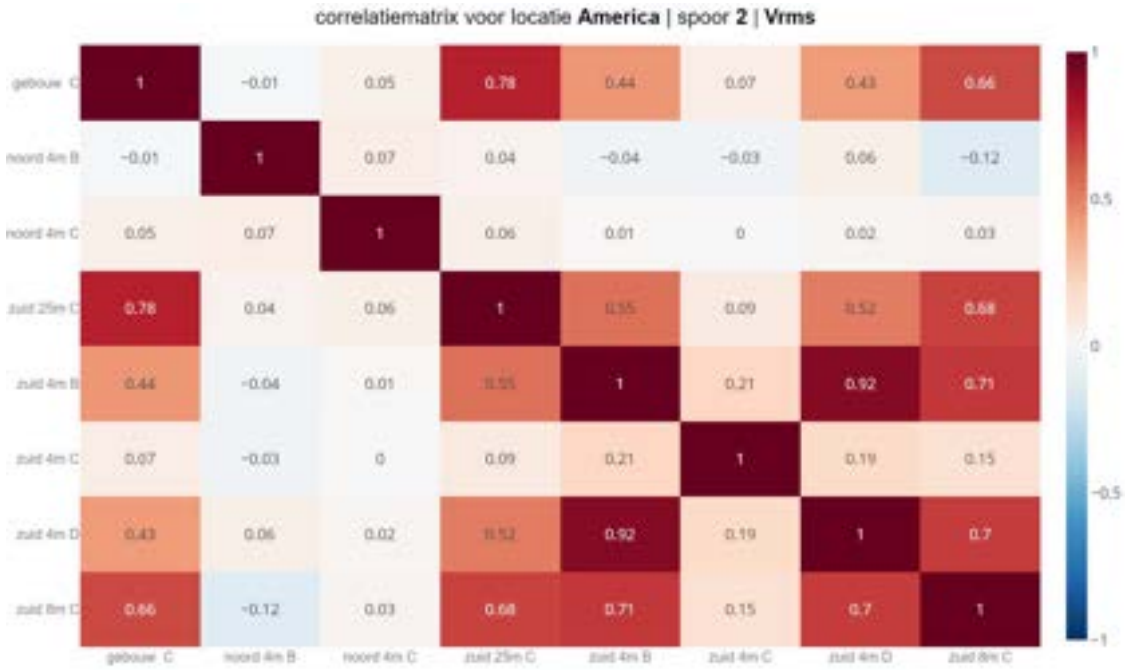
We hebben de onderlinge samenhang tussen de trillingsmetingen op de onderzoekslocatie America onderzocht met behulp van correlatie analyse. Voor deze locatie is in figuur 40 en figuur 41 weergegeven of de V_{rms} op een bepaalde meetlocatie gecorreleerd is met de V_{rms} op een andere meetlocatie. De waarde voor de correlatie varieert daarbij tussen 0 (geen verband) en 1 (sterk gecorreleerd). In bijlage H zijn de resultaten van de correlatie op basis van $V_{eff,max}$ opgenomen.

De resultaten uit de correlatie analyse laten zien dat de resultaten in verschillende doorsnedes veel minder gecorreleerd zijn dan we in Schalkwijk hebben vastgesteld. Het is bijvoorbeeld opvallend dat meetlocatie zuid 4m C slecht correleert met de andere meetwaarden in dezelfde doorsnede (zuid 8m C en zuid 25m C) en op dezelfde afstand in andere meetraaien (zuid 4m B en zuid 4m D). Datzelfde zien we aan de noordzijde voor 4m B en 4m C.

De correlatiematrix voor $V_{eff,max}$ in bijlage H toont een wat sterkere correlatie maar deze is ook weer minder dan voor de onderzoekslocatie Schalkwijk.



figuur 44 *Correlatie matrix V_{rms} voor passage op spoor 1*

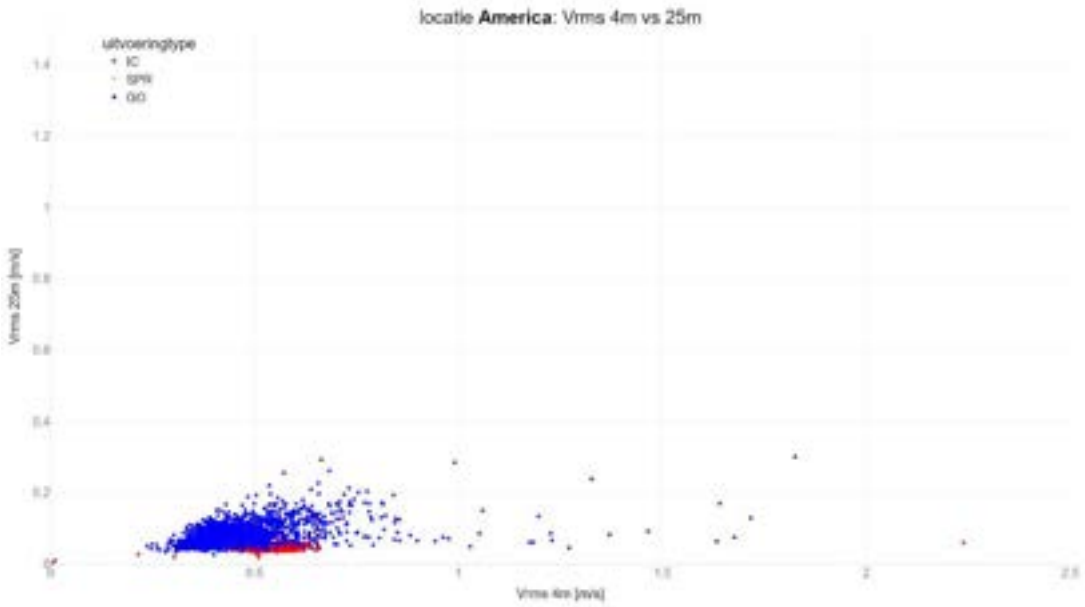


figuur 45 *Correlatie matrix V_{rms} voor passage op spoor 2*

4.9 Trillingsniveau per afstand

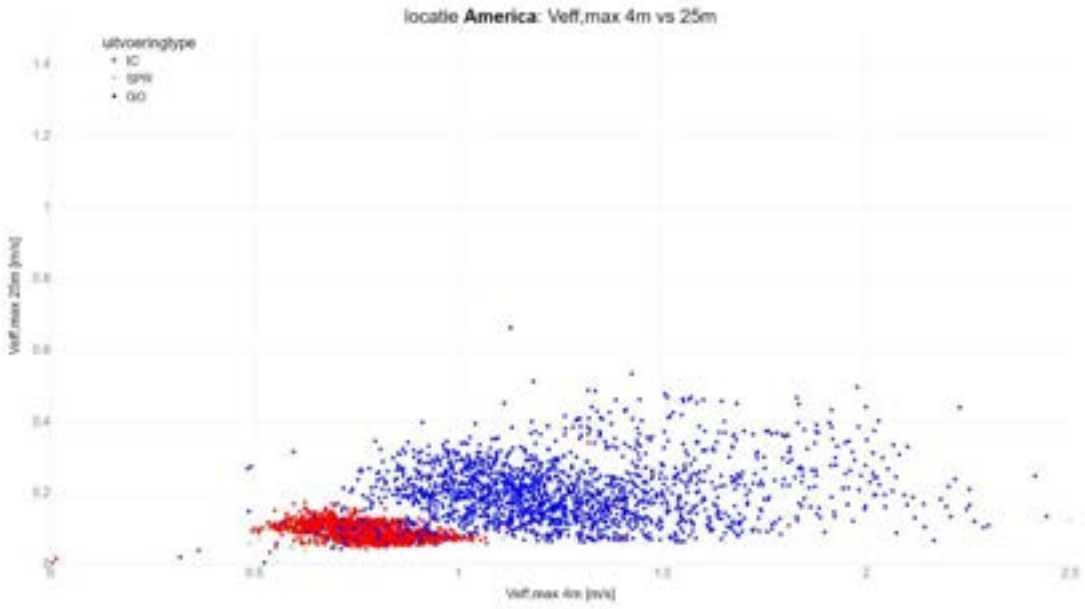
Door de gemeten trillingsniveaus op verschillende afstanden te analyseren kunnen we mogelijk een verband leggen tussen trillingsniveaus, trillingsvoortplanting door de bodem en hinder. Hiervoor kijken we naar de trillingsniveaus V_{rms} en $V_{eff,max}$ op 4m en 25m.

Allereerst de algemene verdeling van de V_{rms} per uitvoeringstype. Hierin is te zien dat er één cluster is waarin de uitvoeringtypes zich bevinden, er is dus weinig onderscheid tussen de uitvoeringtypes. Ook is te zien dat het cluster redelijk plat is, hoge(re) niveaus op 4m leiden niet per se tot hoge niveaus op 25 m. Voor zowel hoge als lage V_{rms} waardes op 4m is er een lage V_{rms} waarde 25m. Anders gezegd: de trillingsniveaus dicht bij het spoor dempen redelijk vlot uit naarmate je verder van het spoor meet. In vergelijking tussen Schalkwijk en America zien we dat de trillingsniveaus (van met name de goederentreinen) op grote afstand dus een stuk lager zijn in America dan in Schalkwijk.



figuur 46 *Verband tussen V_{rms} waardes op 4m en 25m per uitvoeringstype*

Voor $V_{eff,max}$ is iets ander beeld te zien, er is te zien dat elk uitvoeringtype een eigen cluster heeft. Voor goederentreinen is er een grote spreiding in het trillingsniveau op 4m, maar het niveau op 25m blijft beperkt. Er lijkt zelfs een dalende trend in het verband tussen trillingsniveaus op 4m en 25m: trillingen van goederentreinen met een niveau van rond de 1 m/s op 4 m planten zich beter voort naar 25m dan goederentreinen die een niveau van rond de 1,5 m/s op 4 m veroorzaken. Voor intercity's is een eenzelfde beeld te zien als bij V_{rms}. Deze bevinding is consistent met de correlatieanalyse uit sectie 4.7 waaruit al bleek dat de niveaus op 4 m slecht correleerden met de niveaus op andere afstanden. Er is geen voor de hand liggende verklaring hiervoor.



figuur 47 *America: verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m per uitvoeringstype*

Bovenstaande figuren laten zien dat de spreiding verschilt per beschouwd trillingsniveau en uitvoeringtype en dat niveaus nabij (4m) een slechte indicatie zijn voor niveaus verder (25m) van het spoor op deze locatie.

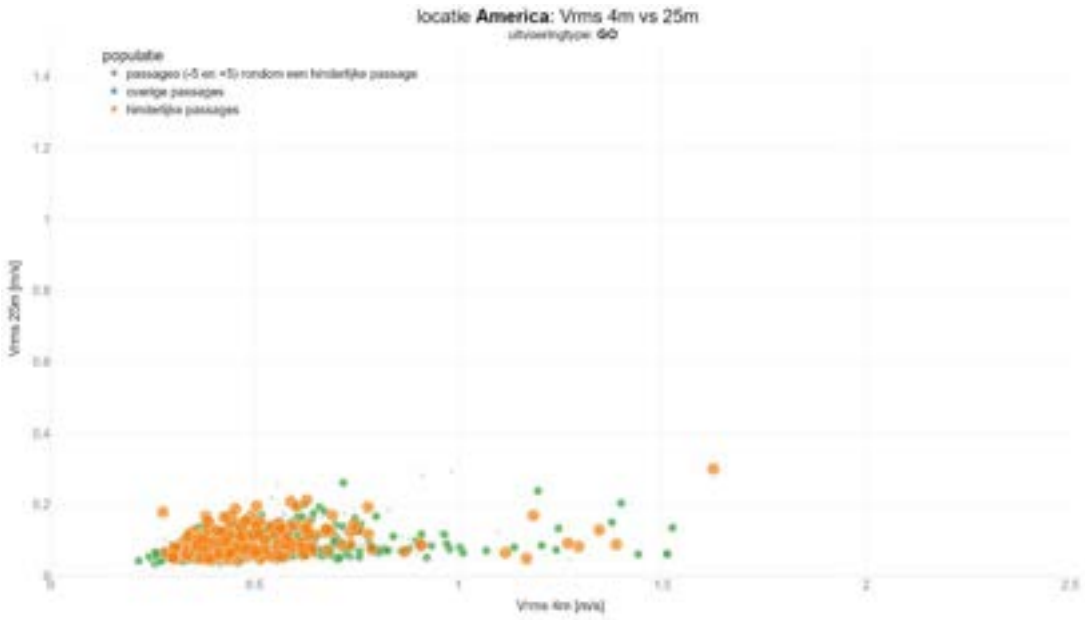
Voor de relatie met hinderlijkheid kijken we naar het verband tussen de trillingsniveaus op 4m en 25m per uitvoeringstype in figuur 44 en figuur 46.

In figuur 44 herkennen we geen duidelijke clustering van de hinderlijke passages ten opzichte van niet-hinderlijke passages voor goederentreinen, in tegenstelling tot Schalkwijk. Dit beeld wordt bevestigd in de cumulatieve verdeling van de trillingsniveaus in figuur 45. Het is dus voor America niet zo dat de als hinderlijk aangemerkte passages van goederentreinen een hoger V_{rms} niveau hebben op 4m of 25m.

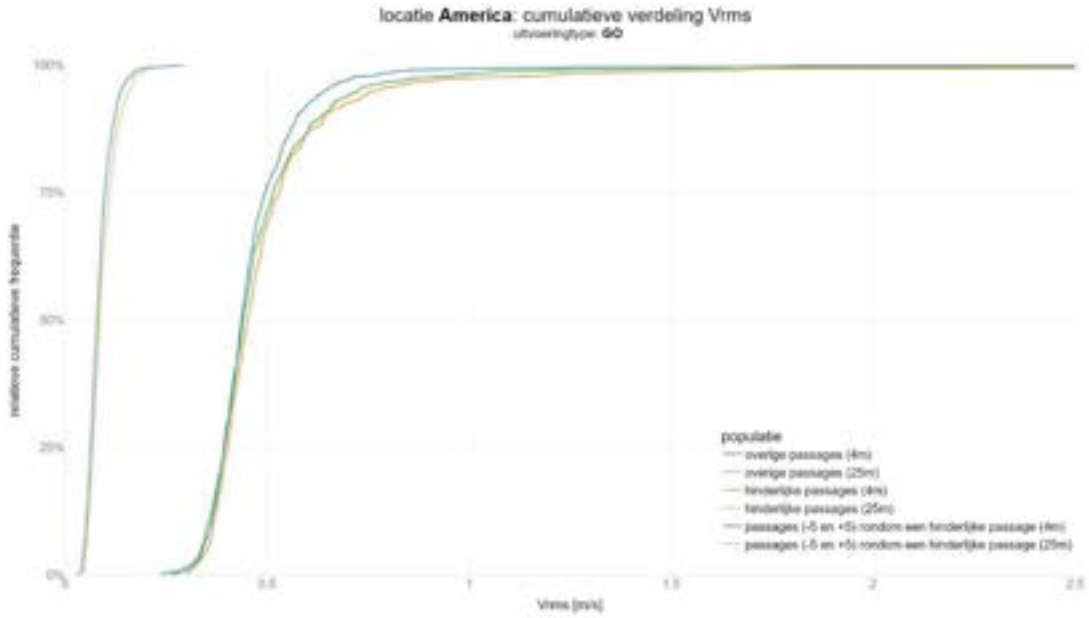
Voor intercity's zien we in figuur 46 ook geen verband tussen niveaus en hinder. We zien wel twee clusters, maar die hebben te maken met het spoor waarover de treinpassage plaatsvindt: bij passage over spoor 2 is het niveau op 25 m duidelijk hoger dan bij passage over spoor 1, zie figuur 47. De cumulatieve verdelingen van de trillingsniveaus (niet opgenomen als figuren) laten ook geen verband zien tussen trillingsniveau per afstand en hinderlijkheid.

In bijlage H zijn vergelijkbare plots te zien voor $V_{eff,max}$. Ook hier is geen duidelijk onderscheid te maken tussen niveau en hinder in de verschillende uitvoeringstypes.

In het algemeen worden hogere trillingsniveaus geassocieerd met meer hinder, maar de hier gepresenteerde analyse laat zien dat voor de locatie America dit verband niet kan worden aangetoond op basis van de beschikbare hinderregistraties, zelfs niet voor goederentreinen.

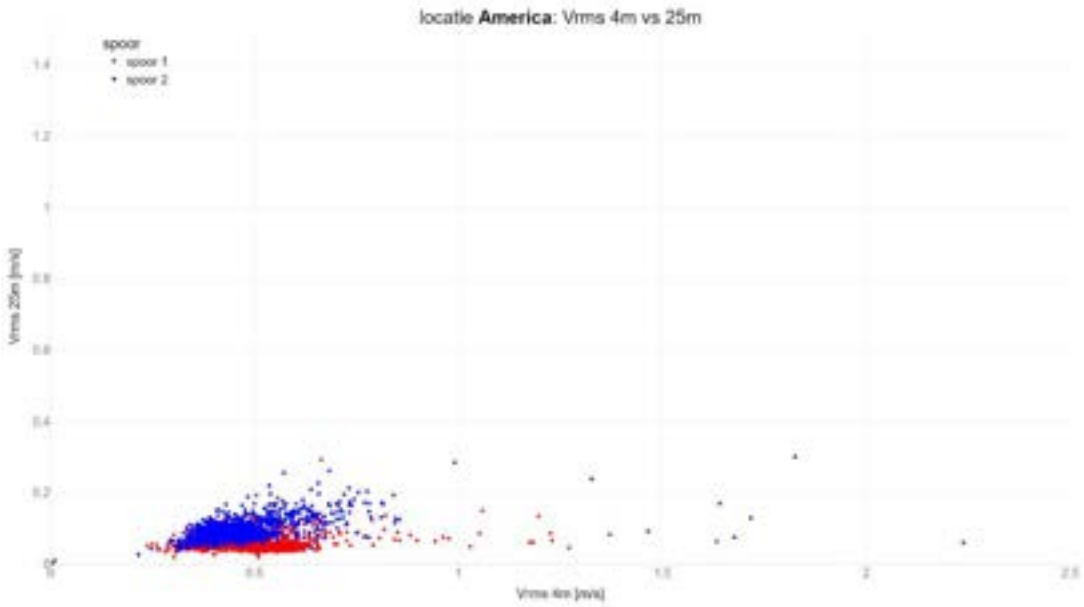


figuur 48 *Verband tussen V_{rms} waardes voor goederentreinen op 4m en 25m en relatie met hinder*



figuur 49 *Cumulatieve verdeling van V_{rms} waardes voor goederentreinen*

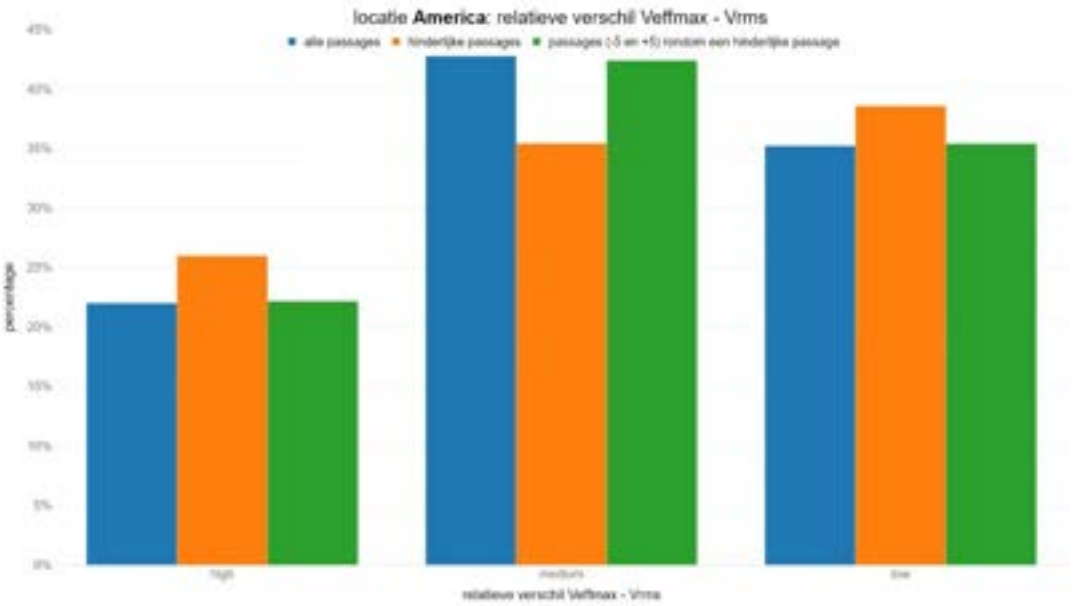
figuur 50 *Verband tussen V_{rms} waardes voor intercity's op 4m en 25m en relatie met hinder*



figuur 51 *Verband tussen V_{rms} waardes op 4m en 25m voor passages over een bepaald spoor*

4.10 Variatie van trillingsniveau

De variatie van het trillingsniveau kunnen we inzichtelijk maken via het relatieve verschil tussen de $V_{eff,max}$ en V_{rms}. Deze parameter kan inzicht geven over hoe de passage is verlopen. Een groot verschil tussen deze twee eenheden kan er op duiden dat het trillingsniveau op een as een uitschieter is binnen de totale passage en dat dat de hinder veroorzaakt. De analyse van deze verschillen in figuur 48 laat zien dat inderdaad passages die een hoog relatief verschil hebben tussen $V_{eff,max}$ en V_{rms} (iets) vaker dan normaal als hinderlijk worden geregistreerd. Maar ook als dat verschil klein is, is er iets meer hinder. Dus er is geen duidelijke correlatie.



figuur 52 *Relatieve verschil $V_{eff\,max}$ - V_{rms} verschil per populatie*

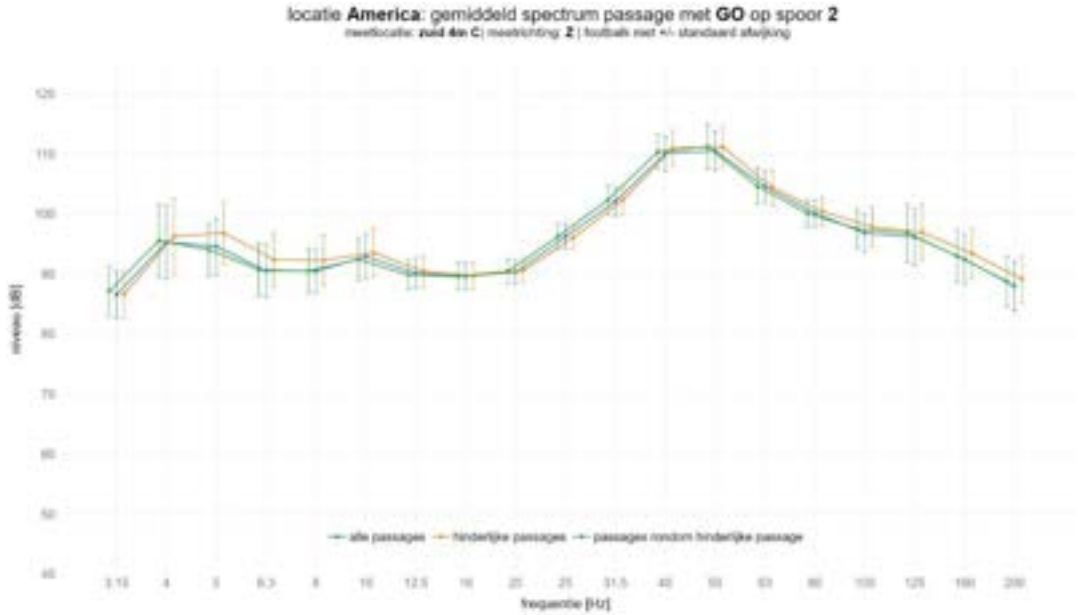
4.11 Trillingsspectra

Om de relatie tussen frequentiecomponenten van de trillingen en hinder te onderzoeken hebben we het verband tussen het trillingsspectrum per passage en de hinder in kaart gebracht. We hebben per populatie gekeken naar het gemiddelde trillingsspectrum in een bepaalde meetrichting op een bepaalde meetlocatie. De vraag is of er voor hinderlijke passages afwijkingen in het spectrum te zien zijn. Daarnaast kan de voorplanting/uitdemping van trillingen door de bodem bekeken worden door het gemiddelde trillingsspectrum op 4m en 25m met elkaar te vergelijken. In figuur 49 en figuur 51 zijn de trillingsspectra te zien voor 4m en in figuur 50 en figuur 52 zijn de trillingsspectra voor 25m weergegeven.

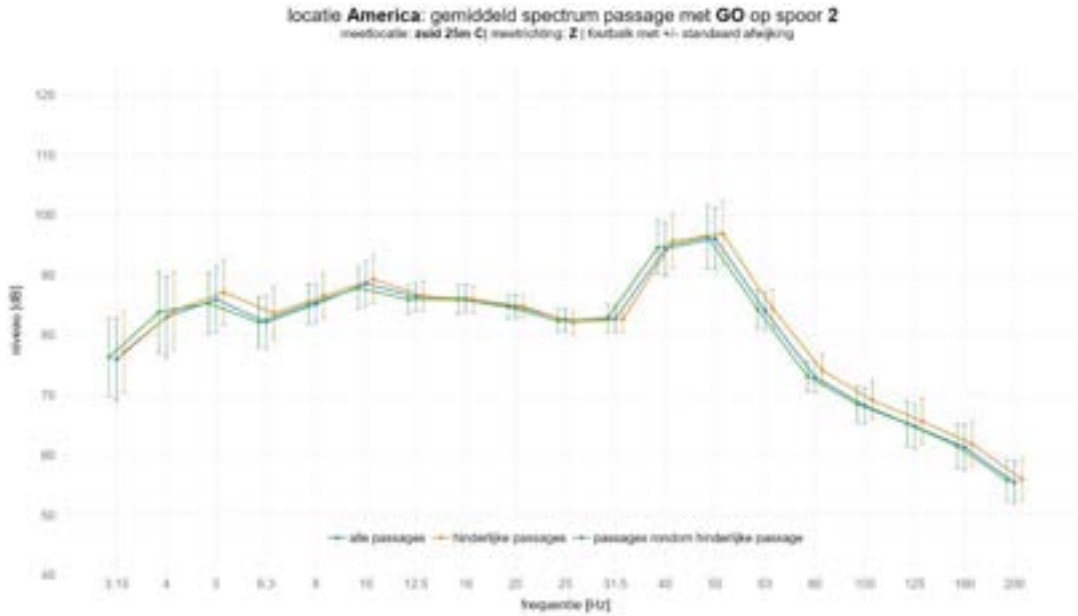
Vergelijking van de trillingsspectra per uitvoeringstype op zowel 4m als op 25m laat zien dat elk uitvoeringstype een karakteristiek spectrum heeft. Op 4m is te zien dat voor de goederentreinen de hoogste niveaus in de 40Hz en 50Hz frequentiebanden zitten, waar dit op 4m voor de intercity's de 63hz frequentie is. Voor goederentreinen is te zien dat er in de lage frequenties een vlak spectrum is waar dit voor intercity's een meer natuurlijke stijgende lijn is.

Op 25m hebben de intercity's rond de 63Hz nog een duidelijke piek in het spectrum. Op 25m zit voor de goederentreinen de hoogste piek nog steeds in de frequentiebanden rond de 50Hz band. Die maximale waarden voor de spectra op 25m liggen duidelijk lager dan die voor 4 m, maar de lagere frequenties laten weinig afname zien: voornamelijk de 10Hz band laat nauwelijks tot geen afname zien tussen 4m en 25m.

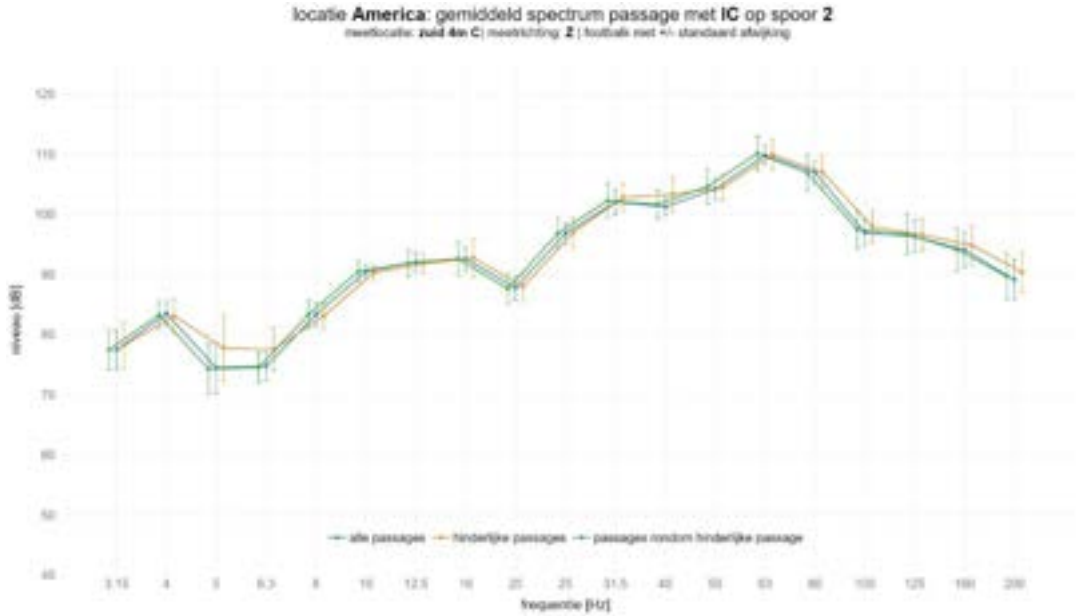
Uit de analyse is geen duidelijk verband gevonden tussen het trillingsspectrum en de hinderlijkheid van een bepaald uitvoeringstype: voor zowel 4m als 25m zijn er geen significante verschillen te zien tussen de verschillende populaties. De zichtbare verschillen tussen de spectra vallen ruimschoots binnen de foutenbalken die de spreiding in de resultaten weergeven. Deze conclusie sluit aan bij de conclusie voor de analyse van de trillingsparameters in paragraaf 4.7.



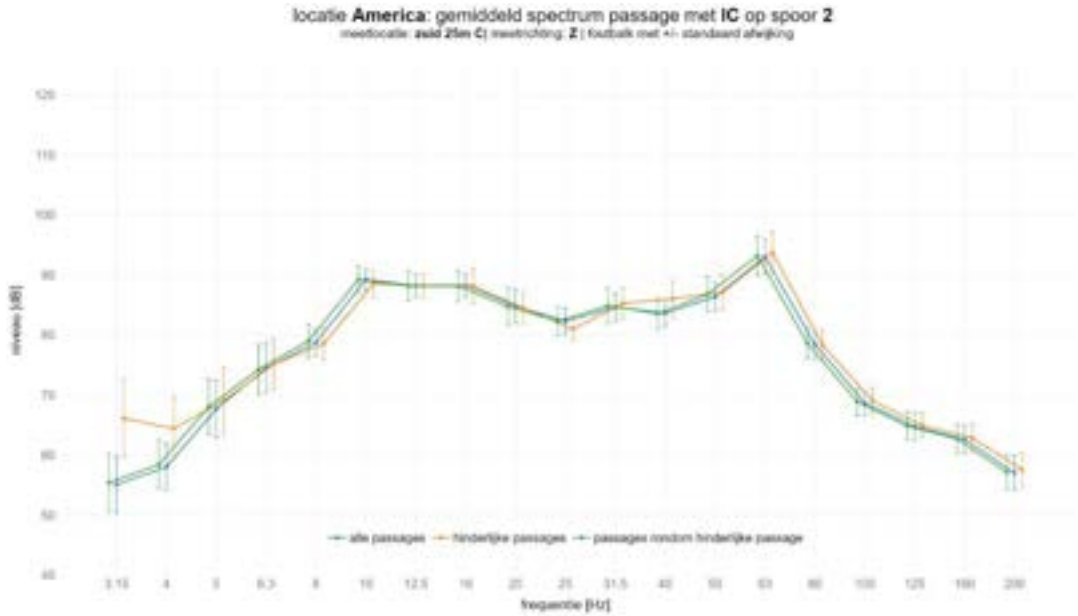
figuur 53 *Gemiddeld spectrum 4m zuid, Z richting voor goederentreinen*



figuur 54 *Gemiddeld spectrum 25m zuid, Z richting voor goederentreinen*



figuur 55 *Gemiddeld spectrum 4m zuid, Z richting voor intercity's*



figuur 56 *Gemiddeld spectrum 25m zuid, Z richting voor intercity's*

Alle andere trillingsspectra zijn te vinden in bijlage J. Hierin is voor elke meetlocatie, per meetrichting en voor ieder uitvoeringtype apart een spectrum weergegeven. Voor deze spectra geldt dezelfde conclusie: er is geen significant verband tussen spectrale waarden en hinder gevonden. In de spectra voor sprinters zien we op sommige locaties wel grotere verschillen in de gemiddelde spectra voor de populatie "hinderlijke passages" ten opzichte van de andere populaties. Maar dit verschil is gebaseerd op slechts een klein aantal passages.

4.12 Conclusies

De belangrijkste conclusies voor de locatie America zijn hieronder opgesomd.

In America werd in het onderzoek 8,5% van alle passages als hinderlijk geregistreerd. Ruim 70% van die geregistreerde hinder konden we relateren aan passages van goederenmaterieel. Opvallend was wel dat 18% van de klachten niet aan een trein te koppelen op basis van de ter beschikking gestelde data. Dit vraagt om nader onderzoek want dit percentage is een stuk groter dan in Schalkwijk.

Hoewel het grootste gedeelte van de hinderregistraties kon worden gerelateerd aan goederentreinen, blijft het aantal registraties over intercity's ook relevant, omdat er veel intercity's passeren. Net als in Schalkwijk wordt er binnen het intercitymaterieel relatief iets vaker klachten geregistreerd voor de VIRM-IV dan voor de VIRM-VI.

Wat betreft de materieel-gerelateerde factoren, blijkt uit de data dat wielschade vaker voorkomt bij hinderlijke passages. Maar op deze locatie komen sowieso veel wielschades voor en die leiden lang niet allemaal tot hinderregistraties. Wel neemt de kans op hinder aanzienlijk toe als er meerdere wielschades in een trein aanwezig zijn.

Als het type wielschade relateren aan de hinderregistraties dan blijkt dat alle types wielschade meer voorkomen in de hinderlijke passages dan in de overige populaties. Vlakke plaatsen zijn prominenter aanwezig bij hinderlijke passages dan de andere types wielschade. Deze bevindingen stemmen overeen met de conclusies in Schalkwijk

Er is in America een indicatie dat aslast en aslastvariatie een rol spelen bij hinderlijkheid, vergelijkbaar met Schalkwijk. Er is weinig invloed geconstateerd van diagonale onbalans bij de hinderlijkheid.

In America is er geen significant verband gevonden tussen de trillingsniveaus $V_{\text{eff max}}$ en V_{rms} enerzijds en hinder anderzijds. Dit is vergelijkbaar met Schalkwijk voor intercity's en sprinters, maar niet voor goederentreinen, want in Schalkwijk vonden we wel een verband voor goederentreinen. Er is verder ook geen verband gevonden tussen de trillingsspectra van $V_{\text{eff max}}$ en V_{rms} en hinderlijke passages. De analyse van het relatieve verschil tussen de trillingsniveaus $V_{\text{eff max}}$ en V_{rms} $\Delta V_{\text{relatief}}$ toont ook in America aan dat grotere relatieve verschillen tussen deze waarden iets vaker hinderlijk zijn dan passages waarbij dit verschil klein is. Het effect is echter ook voor deze locatie niet heel groot.

5 Resultaten Holten

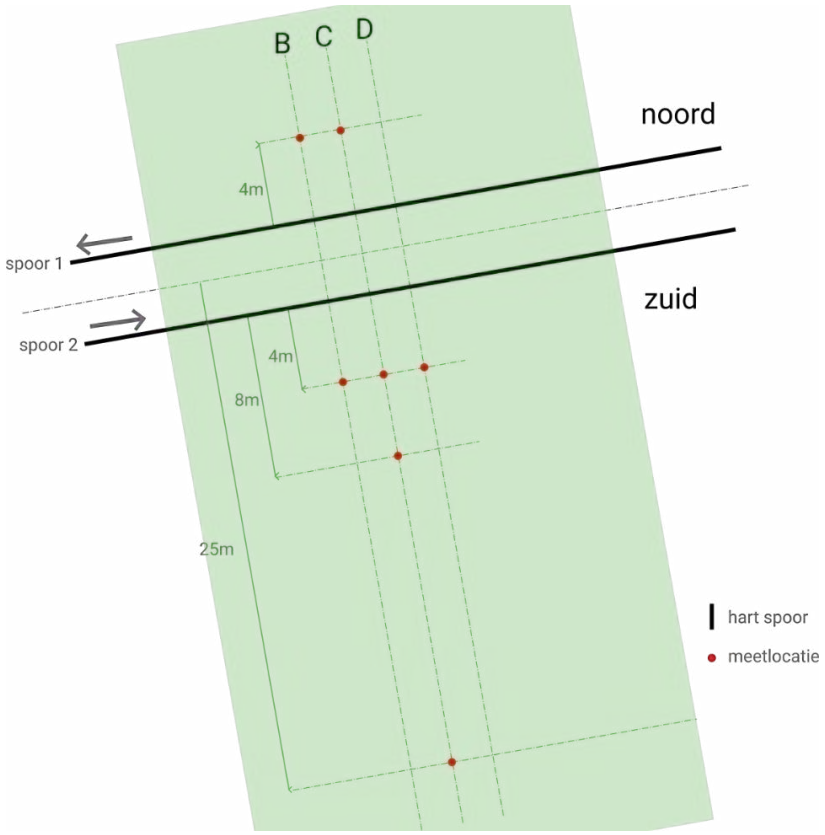
Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de data analyse voor de onderzoekslocatie Holten. Dit hoofdstuk heeft dezelfde structuur als de hoofdstukken over de resultaten van de andere onderzoekslocaties: we presenteren en analyseren op systematische wijze de relatie tussen treinparameters en -eigenschappen, trillingsdata en de geregistreerde hinder voor verschillende populaties.

5.1 Meetlocaties

In tabel V is een overzicht te zien van de meetlocatie voor Holten. De opzet van de meetlocaties is vergelijkbaar als bij de locatie America. De metingen vonden plaats op de lijn Holten-Rijssen op km 21.605.

tabel VIII *Overzicht meetlocaties en meetrichtingen Holten*

Meetlocatie	Meetrichtingen
Holten gebouw	X, Y en Z
Holten noord 4m B	Z
Holten noord 4m C	X, Y en Z
Holten zuid 4m B	Z
Holten zuid 4m C	X, Y en Z
Holten zuid 4m D	Z
Holten zuid 8m C	X, Y en Z
Holten zuid 25m C	X, Y en Z



figuur 57 *Meetlocaties op onderzoekslocatie Holten*

5.2 Kentallen

De kentallen van het onderzoek in Holten zijn weergegeven in tabel IX. In Holten zijn door 31 omwonenden klachtenregistratie bijgehouden. In de periode van 1 augustus tot en met 26 september 2024 dat er gelijktijdig trillingsmetingen zijn gedaan zijn er in totaal van 628 registraties. Uit deze registraties zijn er 188 registraties die rondom hetzelfde tijdstip zijn geregistreerd op meerdere adressen. Er zijn dus 440 registraties aanwezig met een uniek tijdstip.

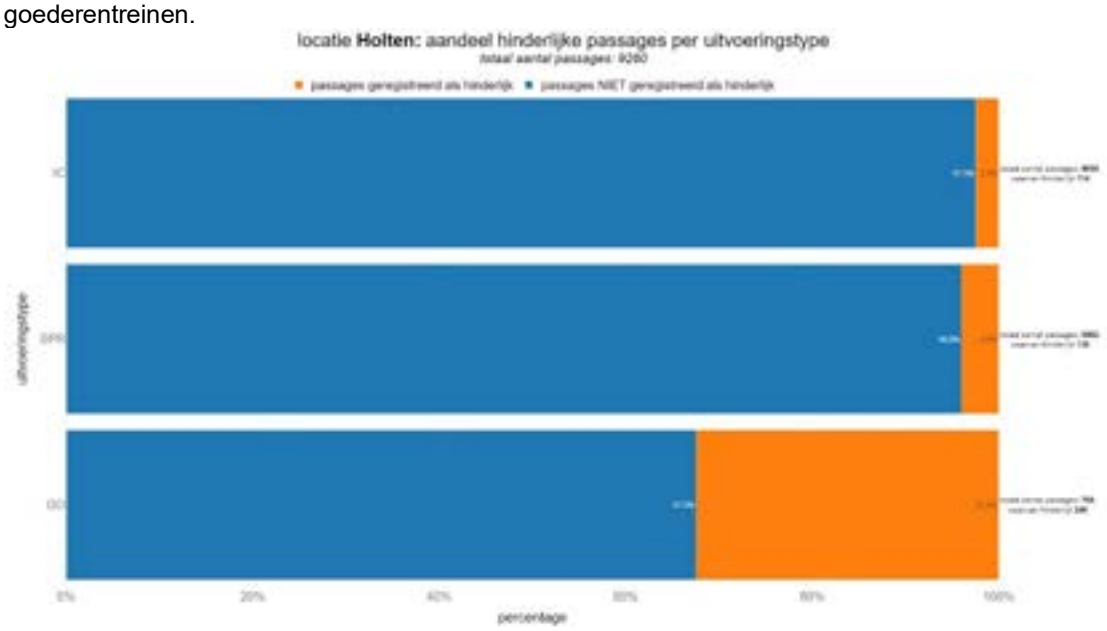
Van deze 440 unieke registraties zijn er 347 (79%) gekoppeld aan één of meerdere treinpassages volgens eerder vastgestelde condities voor het koppelen van een registratie aan een treinpassage. De overige 93 unieke hinderregistraties (21%) konden niet worden gekoppeld aan een treinpassage. Uiteindelijk zijn er 504 treinpassages die binnen de tolerantie rondom een registratie tijdstip vielen en dus aangeduid zijn als ‘hinderlijk’, oftewel 5,4% van het totaal aantal passages. De controlepopulatie (populatie passages – 5 en +5 rondom hinderlijk) bedraagt 27% van de populatie.

tabel IX *Kentallen van hinderregistraties in Holten*

Kental	Aantal
Adressen	31
Meetperiode (dagen)	57
Hinderregistraties	628
Unieke hinderregistraties	440
Hinderregistraties gekoppeld aan treinpassage	347
waarvan gekoppeld aan enkele treinpassage	203

Kental	Aantal
waarvan gekoppeld aan meerdere treinpassages	144
Hinderregistraties zonder gekoppelde treinpassage	93
Treinpassage tijdens onderzoeksperiode (populatie alle passages)	9260
waarvan intercity's	4634
waarvan sprinters	3462
waarvan goederentreinen	756
waarvan overig	406
Treinpassages gekoppeld aan hinderregistraties (populatie hinderlijke passages)	504
waarvan intercity's	114
waarvan sprinters	138
waarvan goederentreinen	246
waarvan overig	6
Treinpassages rondom hinderregistraties die niet als hinderlijk zijn geregistreerd (populatie passages – 5 en +5 rondom hinderlijk)	2490
waarvan intercity's	1289
waarvan sprinters	933
waarvan goederentreinen	169
waarvan overig	99

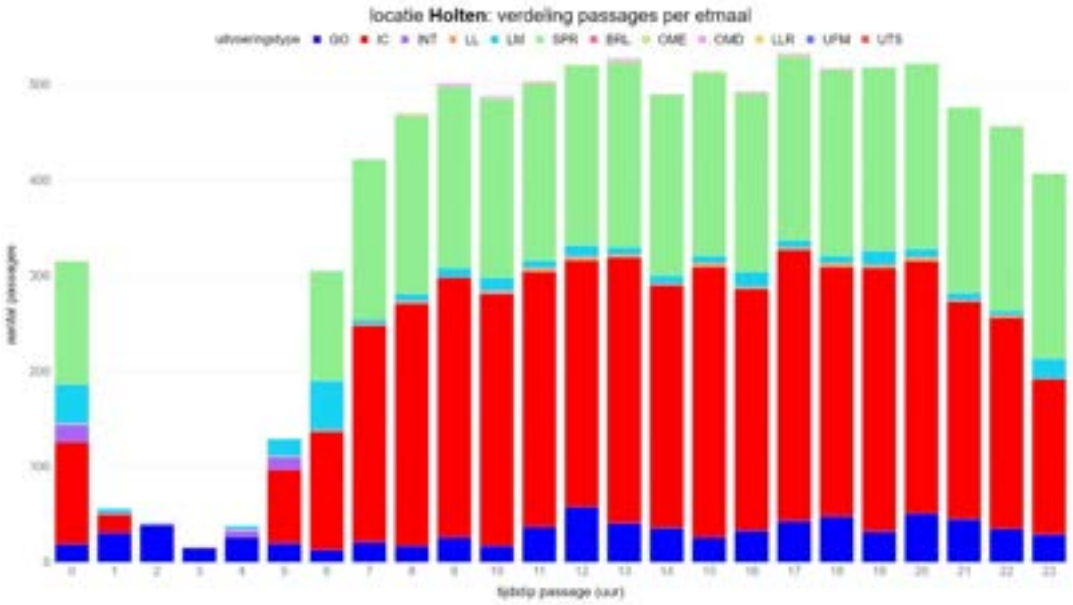
Voor Holten zien we in figuur 54, dat een ruim een derde van alle passerende goederentreinen hinder veroorzaakt. Voor intercity's en sprinters is dat aandeel een stuk lager, maar in absolute aantallen is dit nog steeds significant omdat er veel meer passagierstreinen passeren dan goederentreinen.



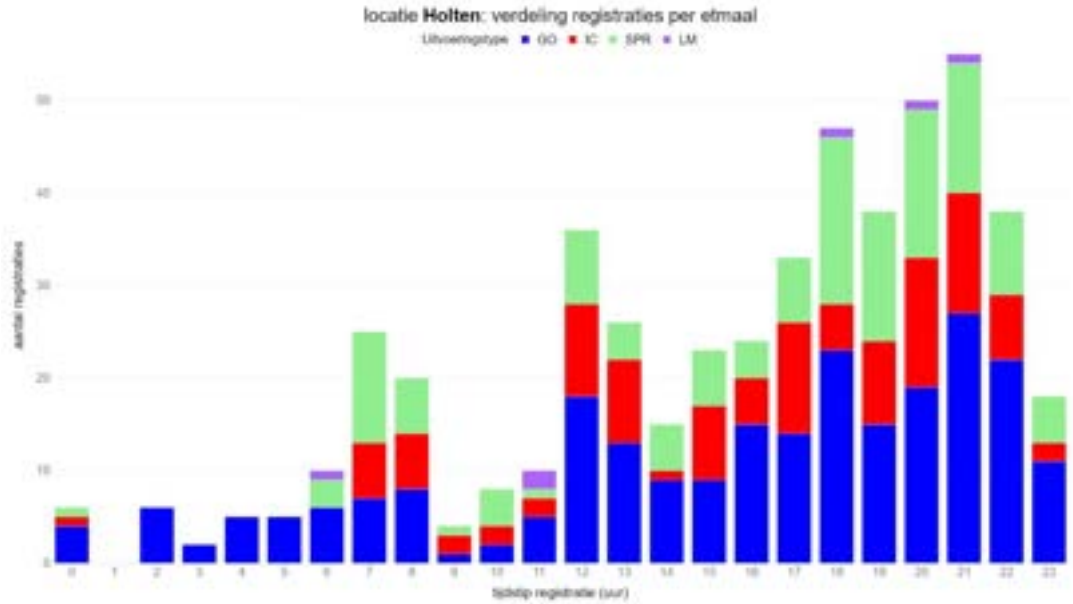
figuur 58 *Aandeel hinderlijke passages in totale populatie per uitvoeringstype*

In figuur 59 en figuur 60 is weergegeven respectievelijk op welk tijdstip in het etmaal er treinpassages zijn en op welk tijdstip er hinder is geregistreerd voor elk uitvoeringstype. We zien,

net als op de andere locaties een redelijk constant verkeersaanbod tussen 7 uur en 23 uur, maar ook hier zijn er meer hinderregistraties in de avond. Opvallend is hier ook de hinder (van goederentreinen) die hier gedurende de nacht is geregistreerd. Dat zagen we niet op de andere locaties.



figuur 59 *Verspreiding van passages van treinen over het etmaal*

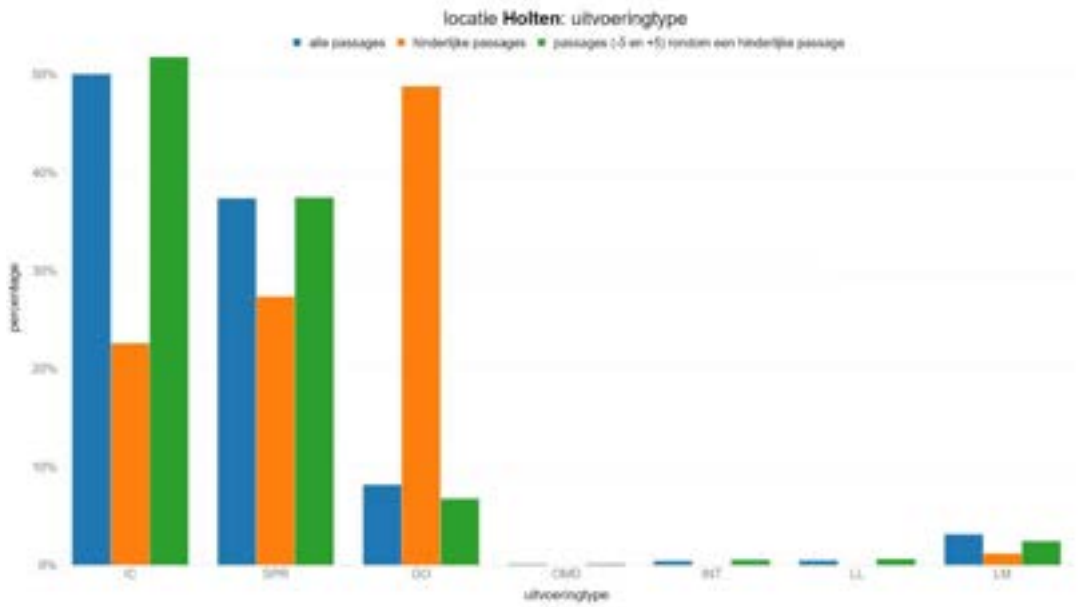


figuur 60 *Verspreiding van registraties van hinder over het etmaal*

5.3 Uitvoeringstype

Een analyse van de resultaten op basis van het uitvoeringstype van de trein (intercity, sprinter, goederen) laat zien dat de hinderlijke passages voor de helft worden veroorzaakt door passagiersmaterieel en voor de andere helft door goederenmaterieel. Opvallend is dat het aandeel

sprinters in de hinderregistraties. Dit percentage is hoger in Holten dan in bij de onderzoekslocaties Schalkwijk en America.



figuur 61 *Uitvoeringstype per populatie*

Uit de kentallen van tabel X kunnen we in ieder geval concluderen dat het aandeel intercity's en sprinters in de registraties nooit verklaard kan worden als onterechte registraties omdat er meerdere passages aan een tijdstip zijn gekoppeld: een flink aantal van de enkele treinpassages en ook bij meerdere passages zijn direct gekoppeld aan passages zonder goederenmaterieel.

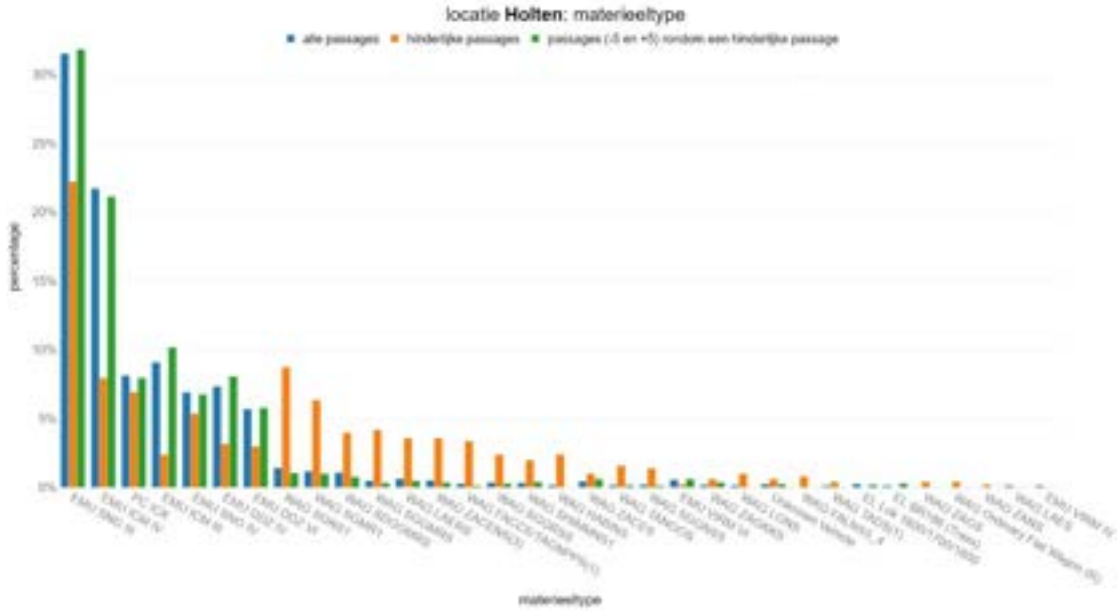
tabel X *Kentallen van hinderregistraties in Holten per uitvoeringtype*

Kental	Aantal
Hinderregistraties gekoppeld aan enkele treinpassage	203
met IC of SPR	77
met GO	122
met overig	4
Hinderregistraties gekoppeld aan meerdere treinpassage	144
met meerdere IC of SPR	26
met meerdere GO	5
Gemengd IC/SPR en GO	113

5.4 Materieeltype en aantal assen

Binnen een uitvoeringtype kan er ook onderscheid worden gemaakt naar het materieeltype. We bepalen voor elke treinpassage welk materieeltype het vaakst voorkomt in de trein. In figuur 56 zien we bij goederentreinen dat wagons voor containers (SGNS1, SGMR1, SGGMRS, etc), voor bulkgoederen (FACCS) en ketelwagens (ZACENS), net als op de andere onderzoekslocaties. Opvallend voor deze locatie zijn ook de hogere relatieve bijdrage van autotransporters (LAERS) en gesloten wagens (HABINS) die bijv. in America tot relatief minder hinder leiden.

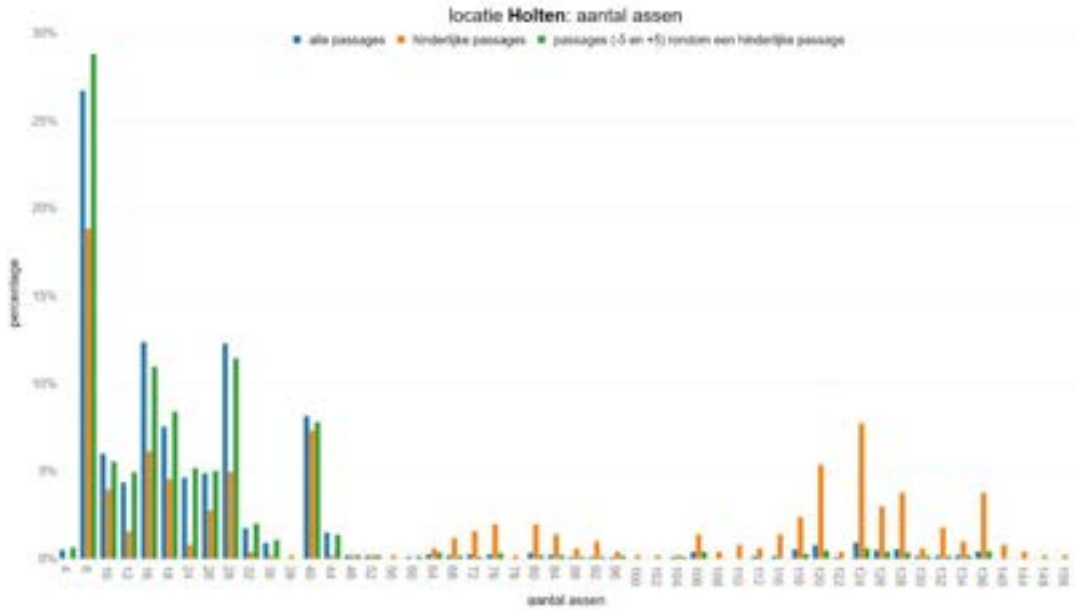
Bij passagierstreinen valt op dat er relatief veel sprinters type SNG III voorkomen en in iets mindere mate SNG IV. In Schalkwijk zijn er ook veel passages met sprinters, maar daar zijn ze van het type SLT en die werden daar maar beperkt geassocieerd met hinder.



figuur 62 *Materieeltype per populatie*

Als we de verdeling van het aantal assen per populatie bekijken in figuur 57, dan zijn de (lange) goederentreinen goed vertegenwoordigd bij de als hinderlijk geregistreerde treinen. Er zijn ook relatief veel hinderregistraties bij voertuigen met 8 assen. Dit zijn de SNG III treinen.

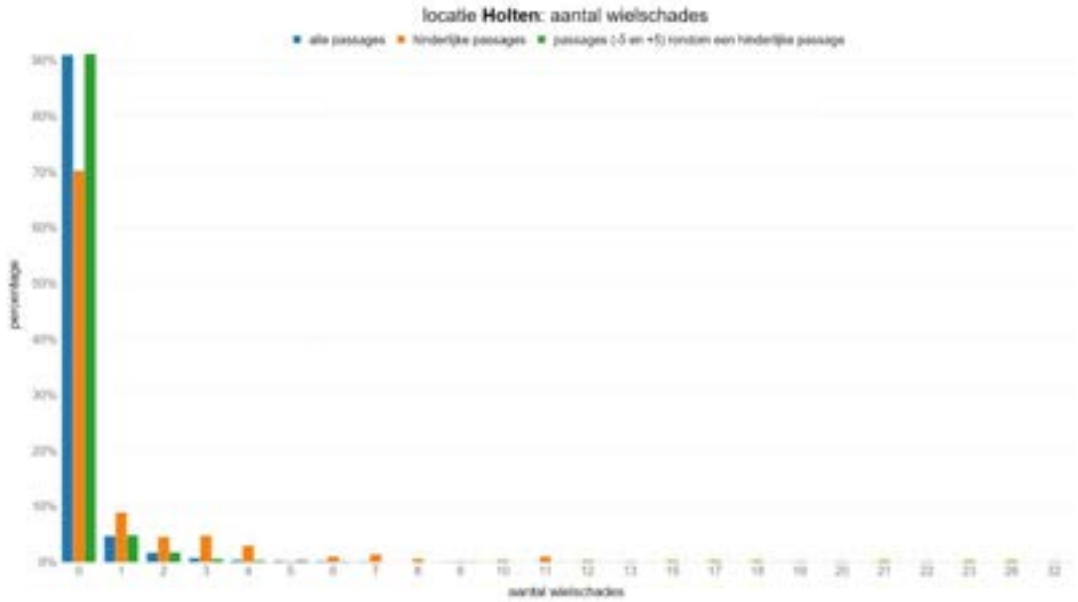
,



figuur 63 *Aantal assen per populatie*

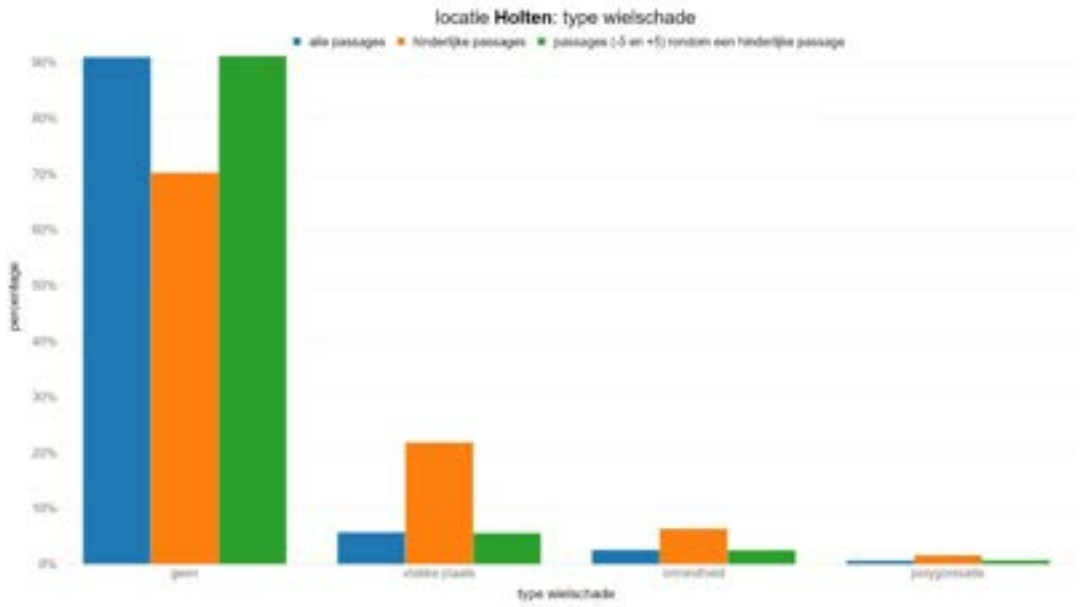
5.5 Wielschade

Voor de relatie tussen hinder en eventuele wielschade hebben we gekeken naar de QuoVadis indicator voor wielschade: onrondheid, vlakke plaats of polygonisatie. We kijken bij de relatie naar hinder naar twee afgeleide grootheden: het aantal mogelijk wielschades per trein en het meest voorkomende mogelijke type van de wielschade. De resultaten zijn weergegeven in figuur 58 en figuur 59.
In Holten hebben de meeste voertuigen waarvoor hinder is geregistreerd geen wielschade (70%). Als er meerdere mogelijke wielschades zijn gevonden, dan worden deze treinen significant vaker als hinderlijk geregistreerd. Net als bij de andere locaties kunnen we dus concluderen dat veel wielschades een goede indicator is voor hinder, maar dat het ontbreken van wielschades dat niet is.



figuur 64 *Aantal wielschades per populatie*

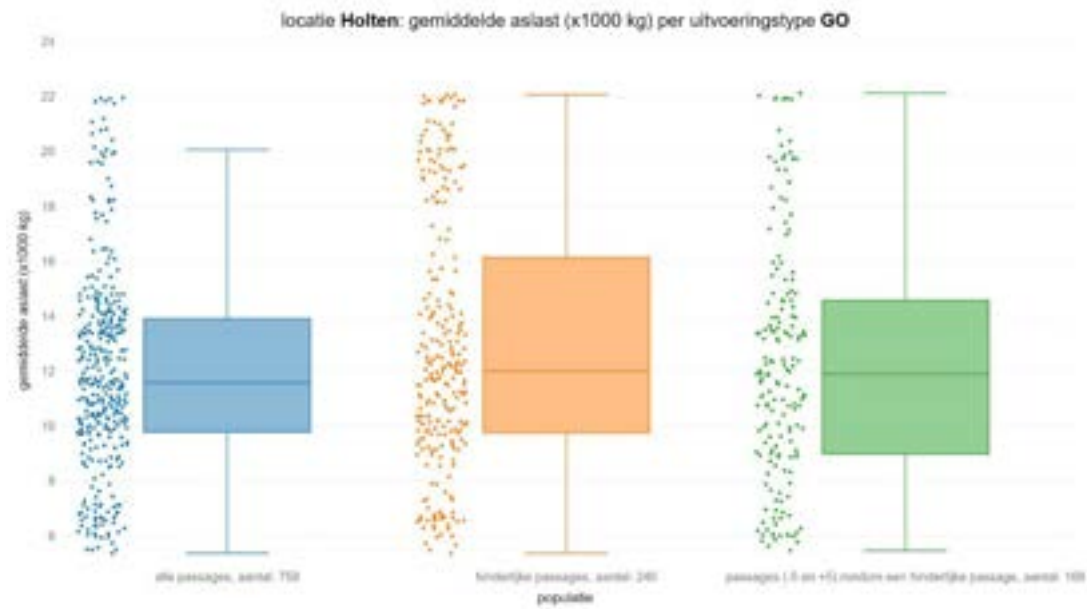
Als we kijken naar het type (mogelijke) wielschade dat wordt gemeld door QuoVadis dan levert dat in Holten hetzelfde beeld is voor de andere onderzoekslocaties: vlakke plaatsen komen als type wielschade het meeste voor en dat is ook zo bij de hinderlijke passages. Maar relatief gezien dragen alle types wielschade in vergelijkbare mate bij aan de hinder of anders gezegd: het is niet zo dat er één bepaald type wielschade uitspringt als hinderlijk.



figuur 65 *Type wielschade per populatie*

5.6 Aslast

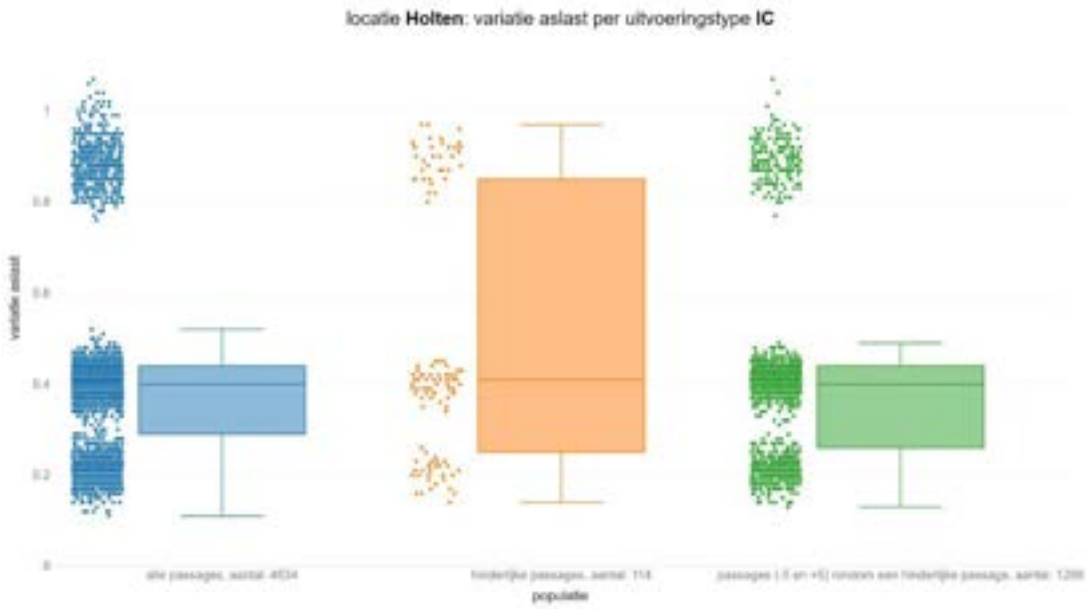
Een analyse van de gemiddelde aslast voor goederentreinen voor de verschillende populaties in figuur 60 laat zien dat wij bij als hinderlijk geregistreerde goederentreinen iets vaker een hogere gemiddelde aslast tegenkomen dan als in de andere populaties. Dat wijst in dezelfde richting als de resultaten in Schalkwijk en America, maar het effect is hier een stuk minder prominent. Voor de andere uitvoeringstypes zien we geen effect van de gemiddelde aslast, zie bijlage K.



figuur 66 *Gemiddelde aslast voor goederentreinen per populatie*

Als we kijken naar de variatie van de aslast voor verschillende populaties, dan zien we voor goederentreinen in bijlage K dat er geen significant onderscheid is. Voor intercity's zien we wel een onderscheid, zie figuur 61: in de hinderlijke passages zijn de passages met meer variatie sterker

vertegenwoordigd. Dit hebben we niet gezien op de andere locaties. Voor sprinters zien we geen onderscheid, zie bijlage K.

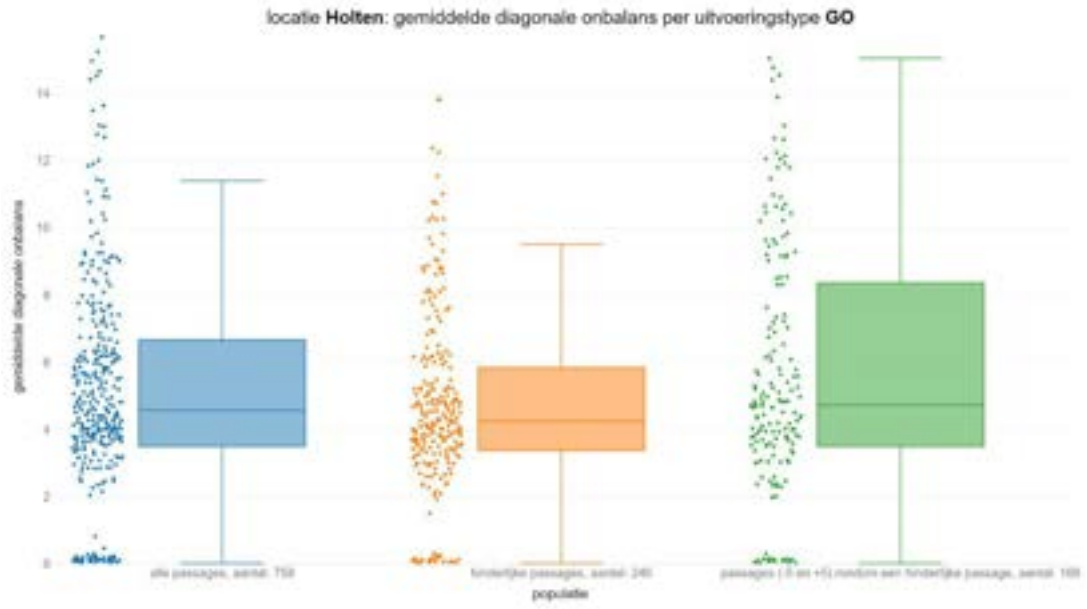


figuur 67 *Variatie aslast voor intercity's per populatie*

5.7 Diagonale onbalans

Een analyse van de gemiddelde diagonale onbalans in figuur 62 laat zien dat voor de goederentreinen de spreiding in gemiddelde diagonale onbalans bij hinderlijke passages wat kleiner is ten opzichte van de overige populaties.

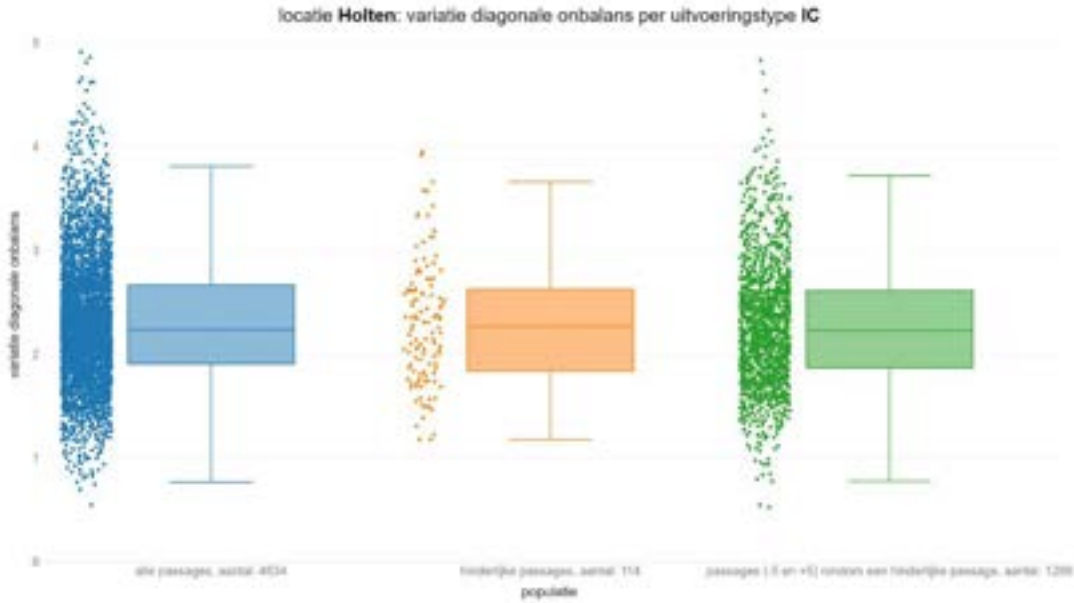
Voor intercity's en sprinters zien we in bijlage L dat de gemiddelde diagonale onbalans niet zoveel verschilt tussen de populaties, maar dat lage waardes voor diagonale onbalans niet zoveel voorkomen bij hinderlijke passages. Dit is vergelijkbaar de bevindingen in Schalkwijk en America.



figuur 68 *Gemiddelde diagonale onbalans voor goederentreinen per populatie*

Ook de variatie in de diagonale onbalans laat voor geoderentreinen geen afwijkende resultaten zien bij de passages welke als hinderlijk worden geregistreerd ten opzichte van de andere populaties, zie bijlage L. Voor intercity's zien we in figuur 63 dat voor hinderlijke passages veel minder hoge waardes voor variatie in onbalans voorkomen dan voor de andere populaties. Dit duidt er op dat er minder uitschieters zijn, oftewel, de gemiddelde onbalanswaarde komt relatief meer voor. Voor sprinters zien we in bijlage L een vergelijkbaar maar kleiner effect.

De bevindingen voor variatie van diagonale onbalans voor passagierstreinen komen overeen met wat we hebben aangetroffen in Schalkwijk en America: de range van onbalans heeft geen grote uitschieters naar boven of naar beneden. We hebben hier niet direct een fysische verklaring voor gevonden.



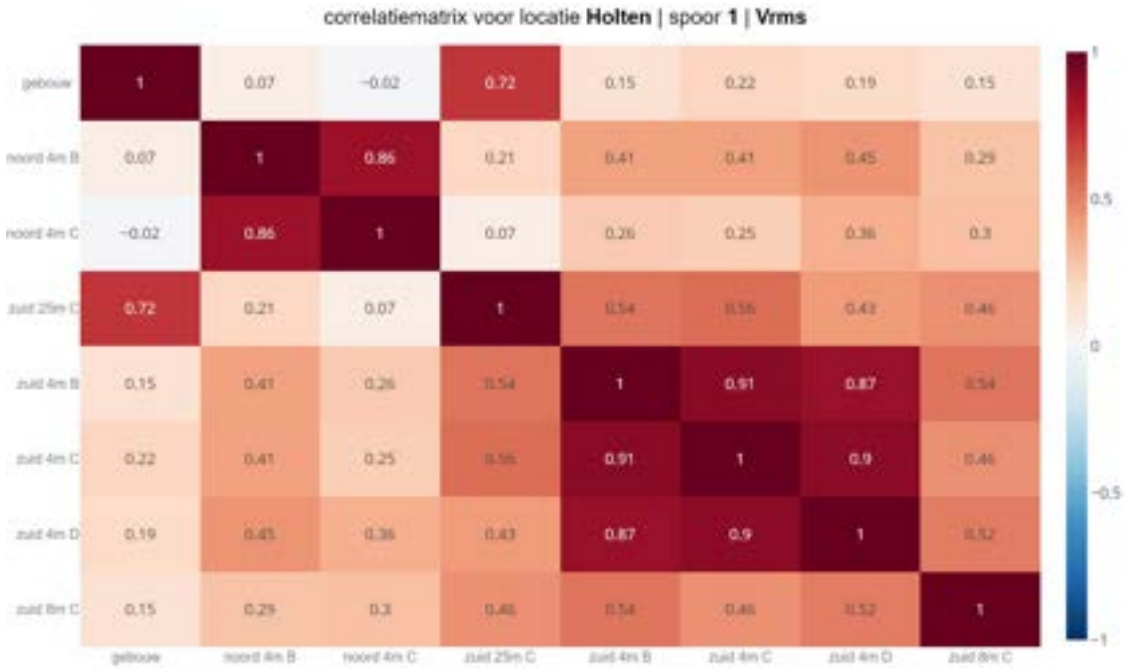
figuur 69 *Variatie diagonale onbalans voor intercity's per populatie*

5.8 Correlatie tussen trillingsmetingen

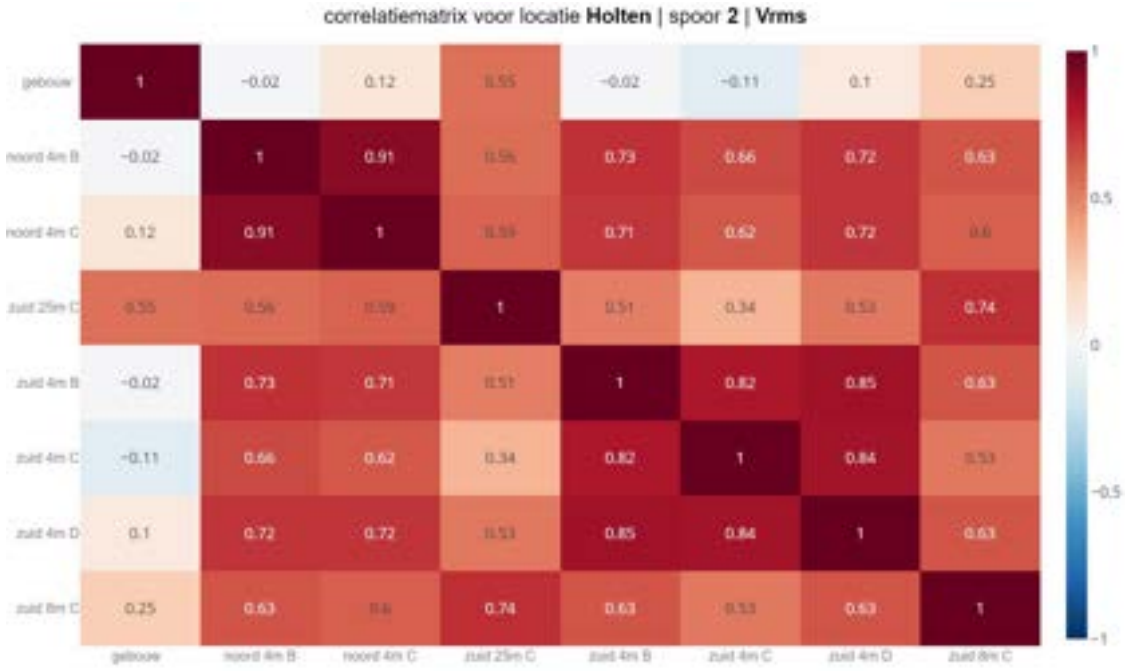
De samenhang tussen de trillingsniveaus op de verschillende meetlocaties is onderzocht met behulp van correlatie analyse en weergegeven in figuur 64 en figuur 65. De waarde voor de correlatie varieert daarbij tussen 0 (geen verband) en 1 (sterk gecorreleerd). In bijlage M zijn de resultaten van de correlatie op basis van $V_{eff,max}$ opgenomen.

De resultaten uit de correlatie analyse laten zien dat de resultaten in verschillende meetraaien op dezelfde afstand sterk gecorreleerd zijn. De correlatie is net wat lager dan in Schalkwijk maar een stuk hoger dan we in America hebben gevonden.

De correlatiematrix voor $V_{eff,max}$ in bijlage M toont een wat sterkere correlatie dan voor V_{rms}. Dit komt overeen met de bevindingen in Schalkwijk en America.



figuur 70 *Correlatie matrix V_{rms} voor passage op spoor 1*

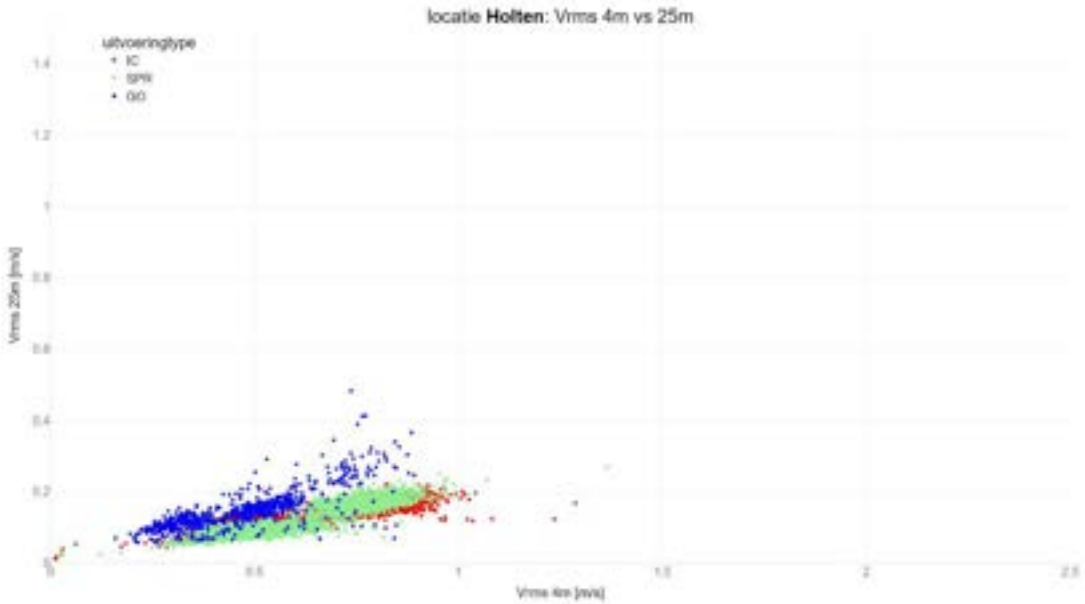


figuur 71 *Correlatie matrix V_{rms} voor passage op spoor 2*

5.9 Trillingsniveau per afstand

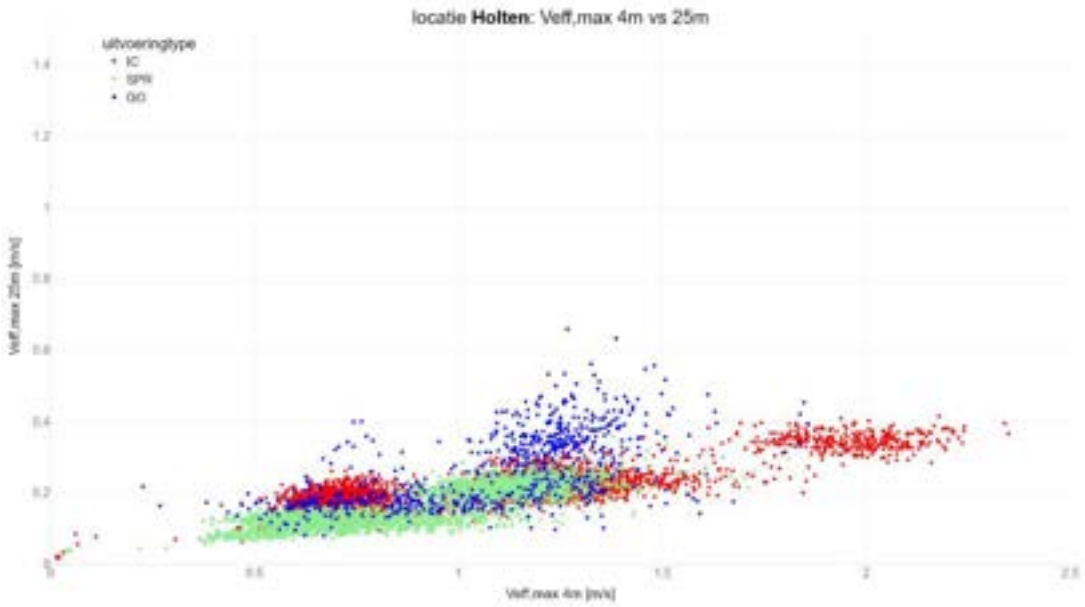
Door de gemeten trillingsniveaus op verschillende afstanden te analyseren kunnen we mogelijk een verband leggen tussen trillingsniveaus, trillingsvoortplanting door de bodem en hinder. Hiervoor kijken we naar de trillingsniveaus V_{rms} en $V_{eff,max}$ op 4m en 25m.

We hebben het trillingsniveau V_{rms} op 4m en 25m tegen elkaar uitgezet en gelabeld met het uitvoeringstype. Hierin is duidelijk te zien dat elk uitvoeringtype een eigen cluster heeft waarbij de clusters van intercity en sprinter overlappen en het cluster voor goederentreinen ligt daar iets boven. De passages van goederentreinen leiden dus op korte afstand tot trillingsniveaus die vergelijkbaar zijn met die van passagierstreinen. Echter, op 25 m blijft daarvan meer trillingsenergie over. De trillingen van goederentreinen zijn dus beter waarneembaar op grotere afstand dan trillingen van intercity's en sprinters met eenzelfde trillingsintensiteit dichtbij (4m). Dat hebben we ook in Schalkwijk gezien.



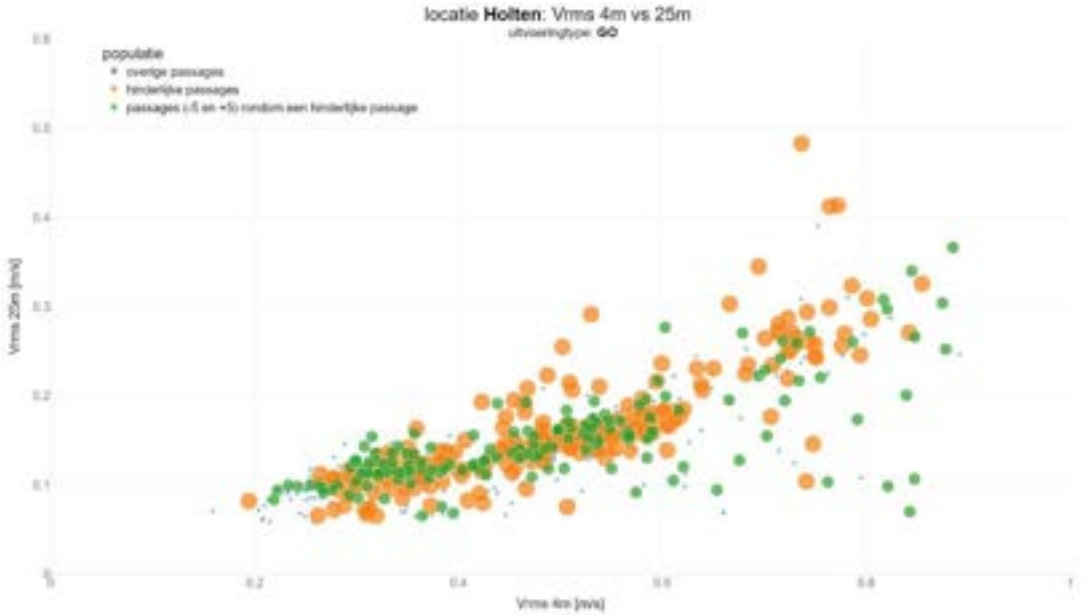
figuur 72 *Verband tussen V_{rms} waardes op 4m en 25m*

Als we het trillingsniveau $V_{eff,max}$ op 4m en 25m tegen elkaar uitzetten, zie in figuur 67, dan zien we een vergelijkbaar beeld. Opvallend in deze resultaten is het cluster intercity's met een $V_{eff,max}$-niveau in de buurt van 2 m/s op 4 m. Deze zijn afkomstig van treinen met als meest voorkomende materieeltype ICK. Deze treinen hebben een hogere $V_{eff,max}$ maar geen duidelijk hogere V_{rms}. Waarschijnlijk wordt deze hoge $V_{eff,max}$-waarde veroorzaakt door de trekkende locomotief van deze intercity rijtuigen.

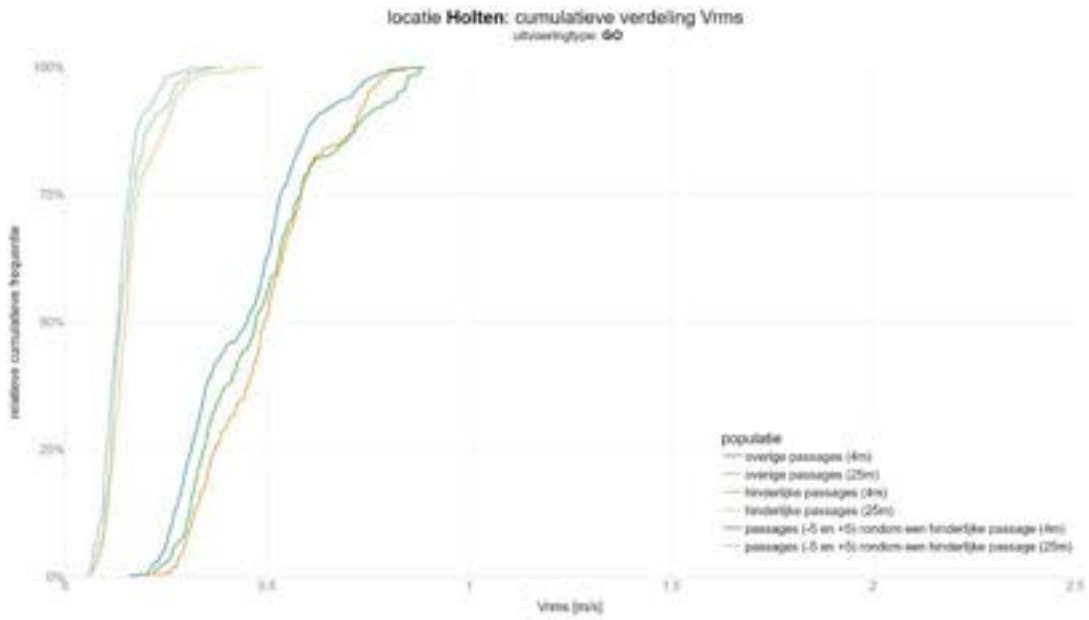


figuur 73 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m*

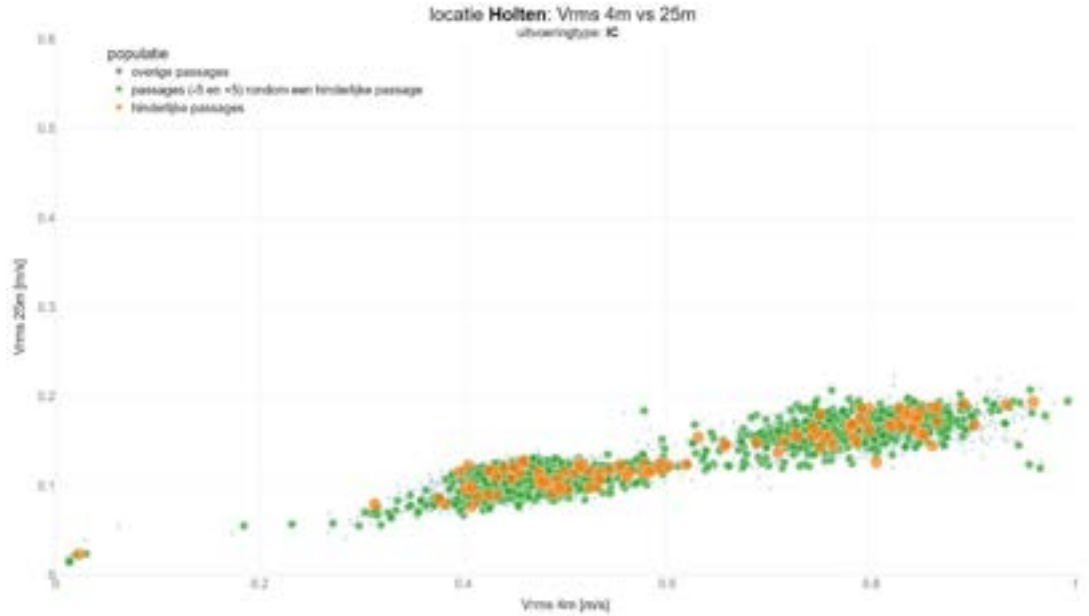
Voor de relatie met hinderlijkheid kijken we naar het verband tussen de trillingsniveaus op 4m en 25m per uitvoeringstype in figuur 68 t/m figuur 71. Voor goederentreinen zien we een zelfde spreiding van de hinderlijke passages ten opzichte van de ander populaties. Het V_{rms}-niveau (op 4m en op 25m) blijkt hier een slechte indicator voor hinder zoals wordt bevestigd in figuur 69. Dat beeld is hetzelfde voor intercity's en sprinters. De waarneembare clustering in voor die treintypes heeft te maken met het spoor waarover de treinen rijden.



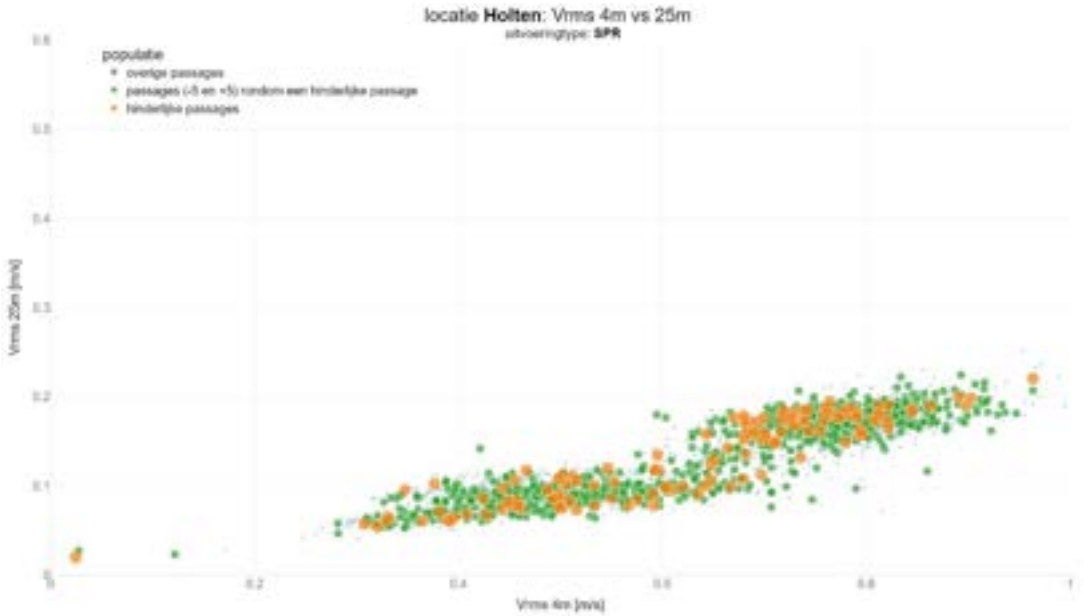
figuur 74 *Verband tussen V_{rms} waardes voor goederentreinen op 4m en 25m en relatie met hinder*



figuur 75 *Cumulatieve verdeling van V_{rms} waardes voor goederentreinen*

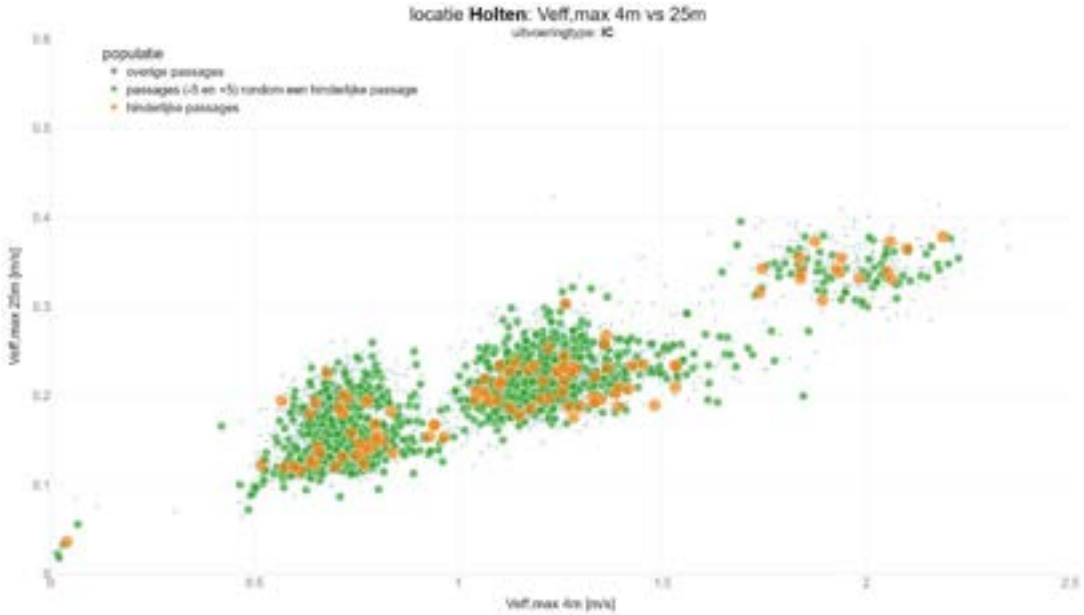


figuur 76 *Verband tussen V_{rms} waardes voor intercity's op 4m en 25m en relatie met hinder*

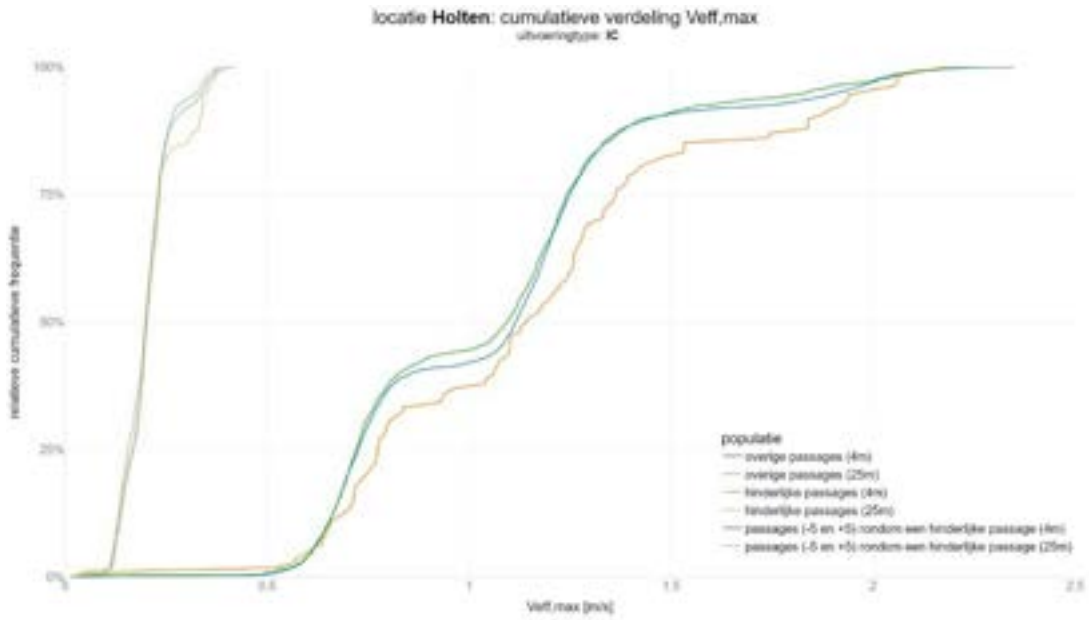


figuur 77 *Verband tussen V_{rms} waardes voor sprinters op 4m en 25m en relatie met hinder*

Als we kijken naar $V_{eff,max}$ dan zien we voor goederen en sprinters geen verband (bijlage N). De conclusies zijn daar hetzelfde als voor V_{rms}: ook $V_{eff,max}$ is geen goede voorspeller van de geregistreerde hinder. Voor intercity's vonden we wel een klein effect: in figuur 72 zien we dat de hogere niveaus iets vaker voorkomen bij als hinderlijk geregistreerde passages. De cumulatieve verdeling in figuur 73 bevestigd dat. Daar zien we dat dat effect iets groter is op 4m dan op 25m. Deze hogere waardes blijken afkomstig van getrokken ICK treinen.



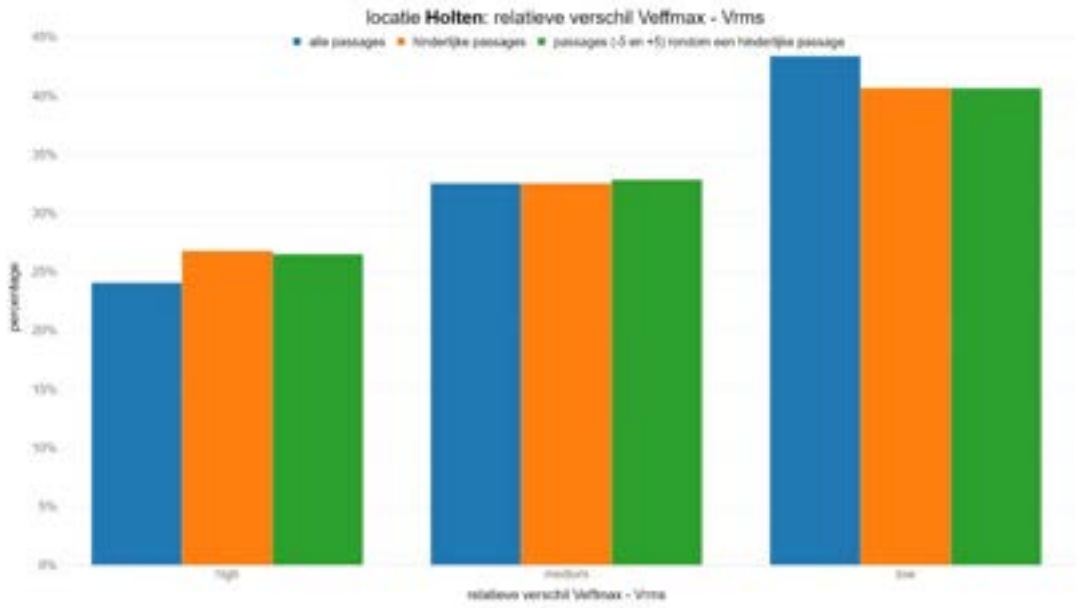
figuur 78 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m voor intercity's en relatie met hinder*



figuur 79 *Cumulatieve verdeling van $V_{eff,max}$ waardes voor intercity's*

5.10 Variatie van trillingsniveau

De variatie van het trillingsniveau geeft inzicht in de dynamiek van de trillingsniveaus in de passage en wordt in dit onderzoek uitgedrukt in het verschil tussen de $V_{eff,max}$ en V_{rms}. Een groot verschil tussen deze twee eenheden kan er op duiden dat het trillingsniveau op een as een uitschieter is binnen de totale passage en dat dat de hinder veroorzaakt. De analyse van deze verschillen in figuur 74 laat zien dat deze grootheid in Holten niet onderscheidend is gebleken voor het registreren van hinder, in tegenstelling tot Schalkwijk en America waar we wel enig verband vonden tussen variatie van trillingsniveau en hinder.

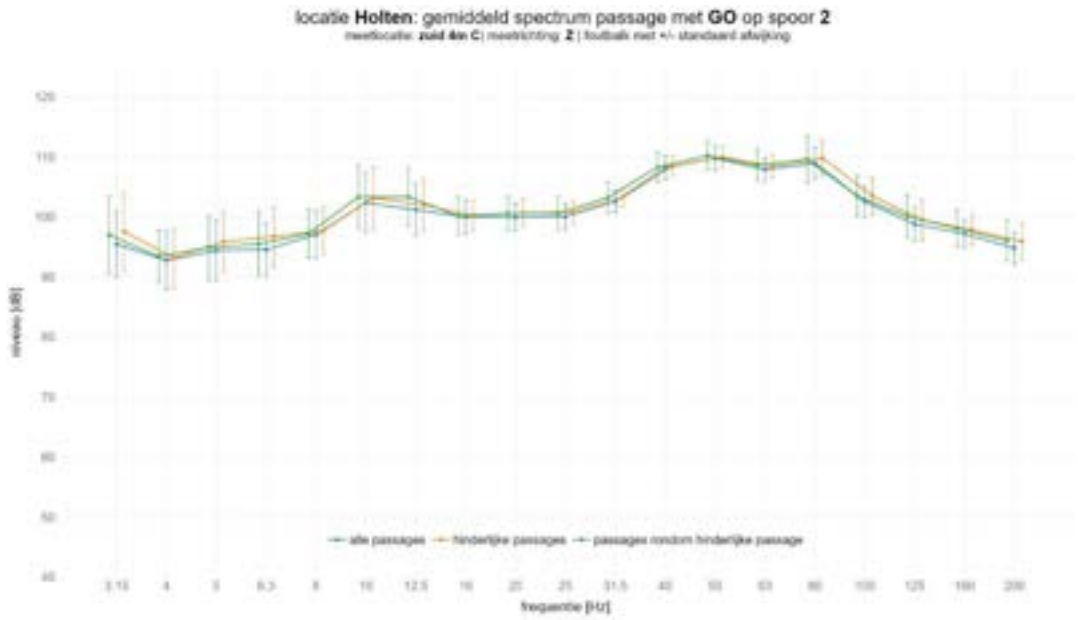


figuur 80 *Relatieve verschil $V_{eff\,max}$ - V_{rms} verschil per populatie*

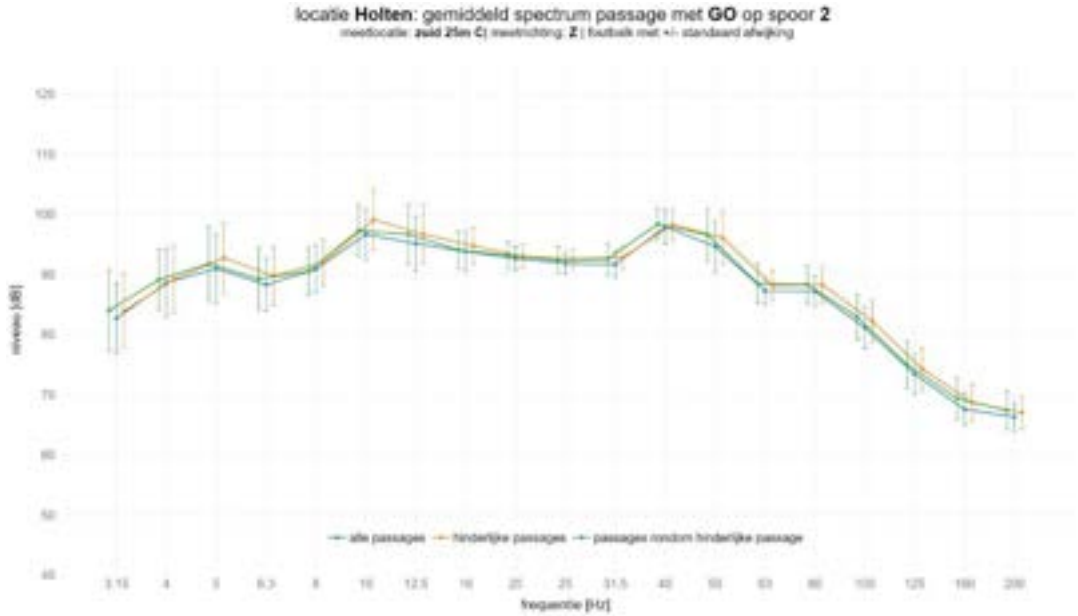
5.11 Trillingsspectra

Per populatie hebben we het gemiddelde trillingsspectrum in een bepaalde meetrichting op een bepaalde meetlocatie bepaald. De vraag is of er voor hinderlijke passages afwijkingen in het spectrum te zien zijn ten opzichte van de andere populaties. Daarnaast kan de voorplanting/uitdemping van trillingen door de bodem bekeken worden door het gemiddelde trillingsspectrum op nabij en verder van het spoor met elkaar te vergelijken. Het gemiddelde spectrum (in Z-richting in meetraai C per populatie) op 4m en 25m, voor respectievelijk goederentreinen, intercity's en sprinters is weergeven in figuur 75 t/m figuur 80. Voor alle andere meetposities en meetrichtingen zijn de spectra opgenomen in bijlage O.

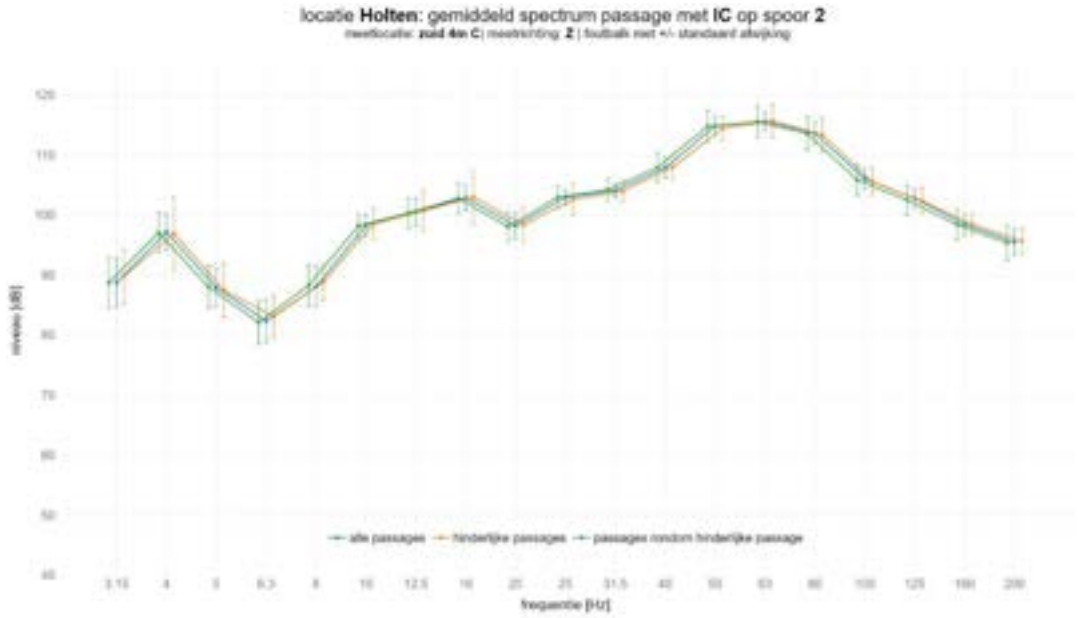
We zien voor alle uitvoeringstypes dat het gemiddelde spectrum voor hinderlijke passages niet significant afwijkt van het gemiddelde spectrum voor niet-hinderlijke passages. Deze bevinding is consistent met de analyse van de trillingsniveaus als ééngetalswaarde en komt ook overeen met de bevindingen voor de andere onderzoekslocaties.



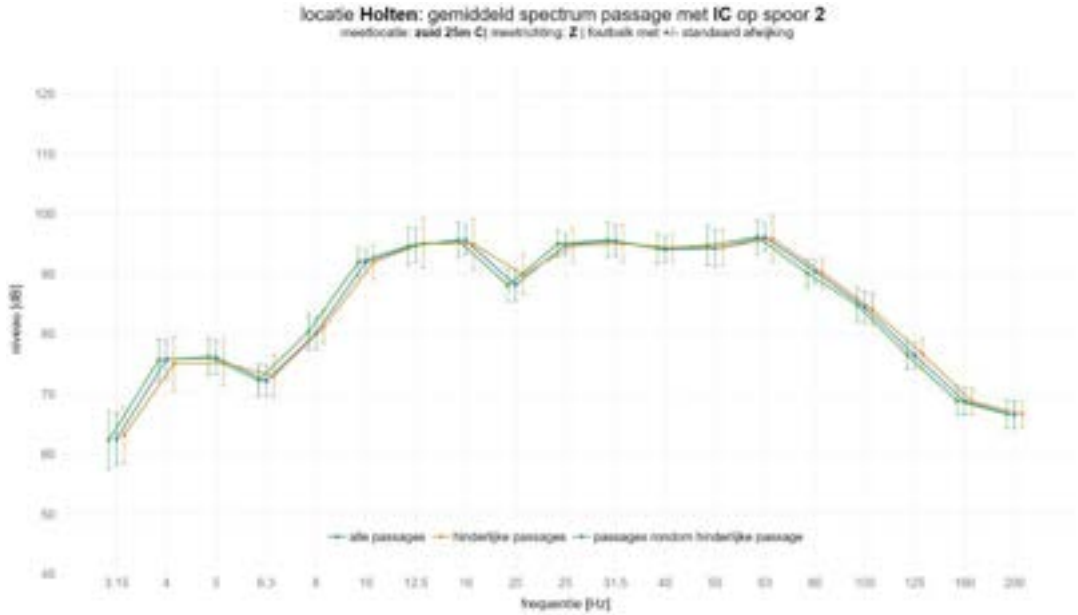
figuur 81 *Gemiddeld spectrum 4m zuid, Z richting voor goederentreinen*



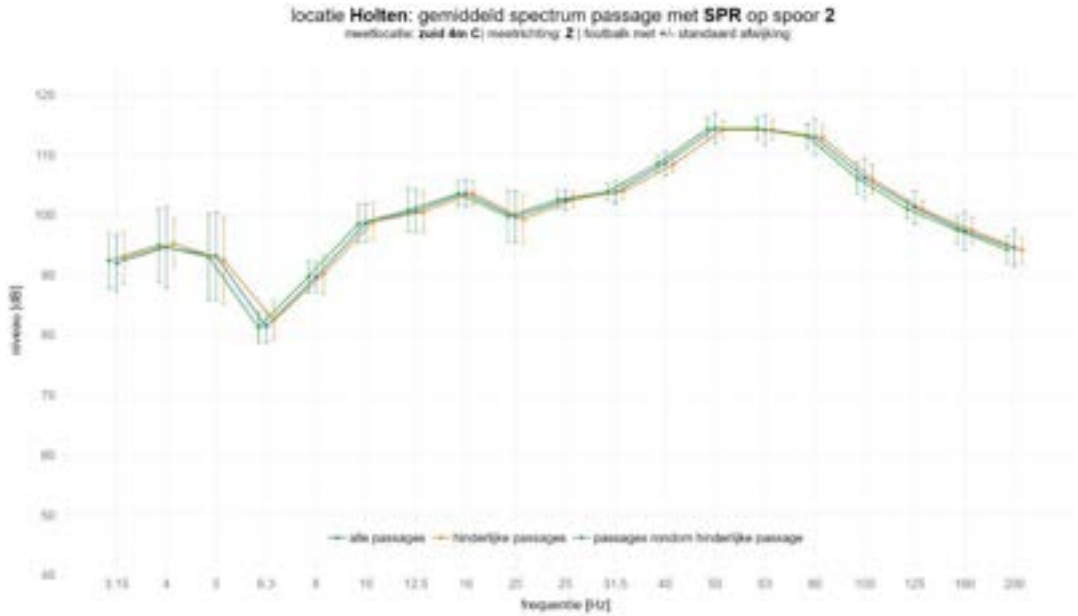
figuur 82 *Gemiddeld spectrum 25m zuid, Z richting voor goederentreinen*



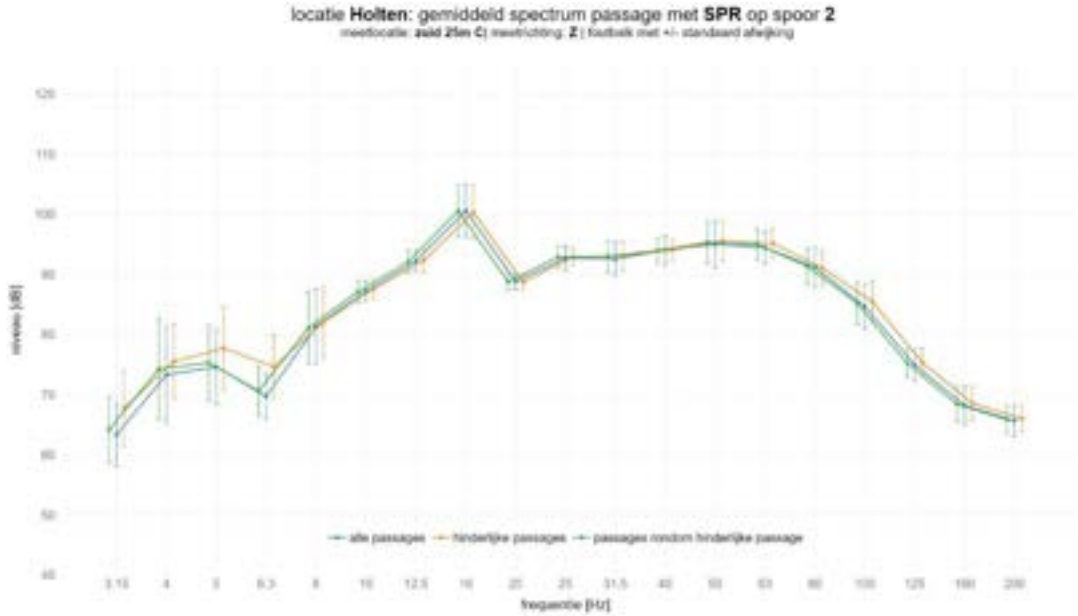
figuur 83 *Gemiddeld spectrum 4m zuid, Z richting voor intercity's*



figuur 84 *Gemiddeld spectrum 25m zuid, Z richting voor intercity's*



figuur 85 *Gemiddeld spectrum 4m zuid, Z richting voor sprinters*



figuur 86 *Gemiddeld spectrum 25m zuid, Z richting voor sprinters*

5.12 Conclusies

De belangrijkste conclusies voor de locatie Holten zijn hieronder opgesomd.

In Holten werd in het onderzoek 5,4% van alle passages als hinderlijk geregistreerd. Het aandeel goederentreinen in die registraties was gelijk aan het aantal passagierstreinen. Opvallend was, net als in America, het relatief grote aandeel (21%) van registraties dat niet aan een trein te koppelen was op basis van de ter beschikking gestelde data. Dit vraagt net als in America om nader onderzoek.

Opvallend in de hinderregistraties was dat het aandeel sprinters, meer precies het materieeltype SNG-III vaak voorkwam in de hinderregistraties.

Wat betreft de materieel-gerelateerde factoren, blijkt ook voor deze locatie weer dat het aanwezig zijn van meerdere wielschades in een QuoVadis rapportage een sterke indicator is voor hinder. Eveneens geldt dat ruim 70% van geregistreerde klachten gaat over voertuigen zonder wielschade.

In Holten speelt de gemiddelde aslast van goederentreinen een rol in de hinderlijkheid: een grotere gemiddelde aslast zien we vaker goederentreinen die als hinderlijk worden geregistreerd. Een grotere variatie van de aslast werd juist bij intercity's gevonden als een indicator voor hinderlijkheid. Er is hier, net als in America maar weinig invloed geconstateerd van diagonale onbalans bij de hinderlijkheid.

Er kon geen nadrukkelijk verband worden gevonden tussen hinder enerzijds en de trillingsniveaus $V_{\text{eff,max}}$ en V_{rms} anderzijds, met uitzondering van een klein effect voor IC(K)-wagons. Dit geldt voor zowel de ééngetalswaarden als de spectra en dat voor zowel de niveaus gemeten nabij het spoor en verder weg. Er kon ook geen relatie worden gelegd met het relatieve verschil tussen de trillingsniveaus $V_{\text{eff max}}$ en V_{rms}.

6 Resultaten Wierden

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van de data analyse voor de onderzoekslocatie Wierden. Dit hoofdstuk heeft dezelfde structuur als de hoofdstukken over de resultaten van de andere onderzoekslocaties: we presenteren en analyseren op systematische wijze de relatie tussen treinparameters en -eigenschappen, trillingsdata en de geregistreerde hinder voor verschillende populaties.

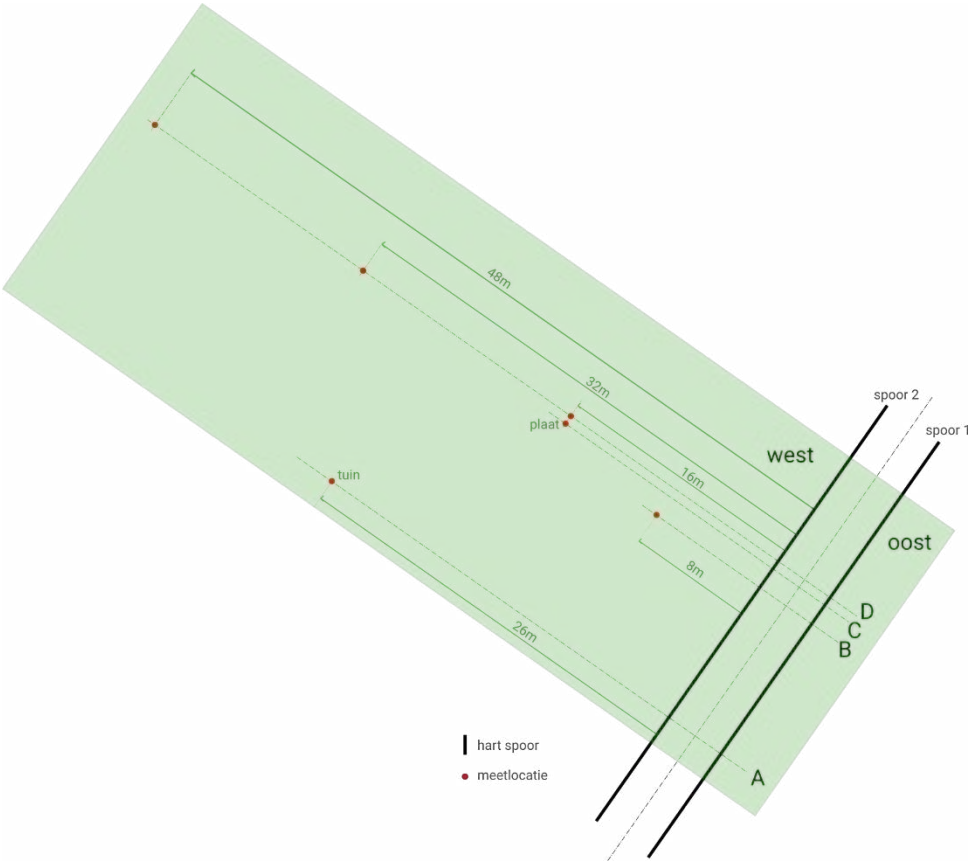
6.1 Meetlocaties

In tabel XI is een overzicht te zien van de meetlocaties voor Wierden. De meetraaien en de opzet van de meetlocaties is afwijkend van de locaties Schalkwijk, America en Holten. De metingen vonden plaats op de lijn Rijssen-Wierden tussen km 31.94 en 32.15.

De meetlocaties in Wierden zijn anders ingericht dan de meetlocaties van de voorgaande locaties Schalkwijk, America en Holten. Er is op andere afstanden gemeten en niet aan beide zijden van het spoor. In de uitwerking is alleen de $V_{eff,max}$ beschikbaar en niet de V_{rms}.

tabel XI *Overzicht meetlocaties en meetrichtingen Wierden*

Meetlocatie	Meetrichtingen	Km
Wierden tuin 26m A	X, Y en Z	31.943
Wierden west 8m B	X, Y en Z	32.135
Wierden plaat 16m C	X, Y en Z	32.150
Wierden west 16m D	X, Y en Z	32.155
Wierden west 32m D	X, Y en Z	32.155
Wierden west 48m D	X, Y en Z	32.155



figuur 87 *Meetlocaties op onderzoekslocatie Wierden*

6.2 Kentallen

De kentallen van het onderzoek in Wierden zijn weergegeven in tabel XIItabel IX. In Wierden zijn door 29 omwonenden klachtenregistratie bijgehouden. In de periode van 25 november tot en met 5 december 2024 dat er gelijktijdig trillingsmetingen zijn gedaan zijn er in totaal van 582 registraties. Uit deze registraties zijn er 140 registraties die rondom hetzelfde tijdstip zijn geregistreerd op meerdere adressen. Er zijn 324 registraties aanwezig met een uniek tijdstip.

Van deze 324 unieke registraties zijn er 265 (82%) gekoppeld aan één of meerdere treinpassages volgens eerder vastgestelde condities voor het koppelen van een registratie aan een treinpassage. De overige 59 unieke hinderregistraties (18%) konden niet worden gekoppeld aan een treinpassage. Dit is vergelijkbaar met de locaties America en Holten.

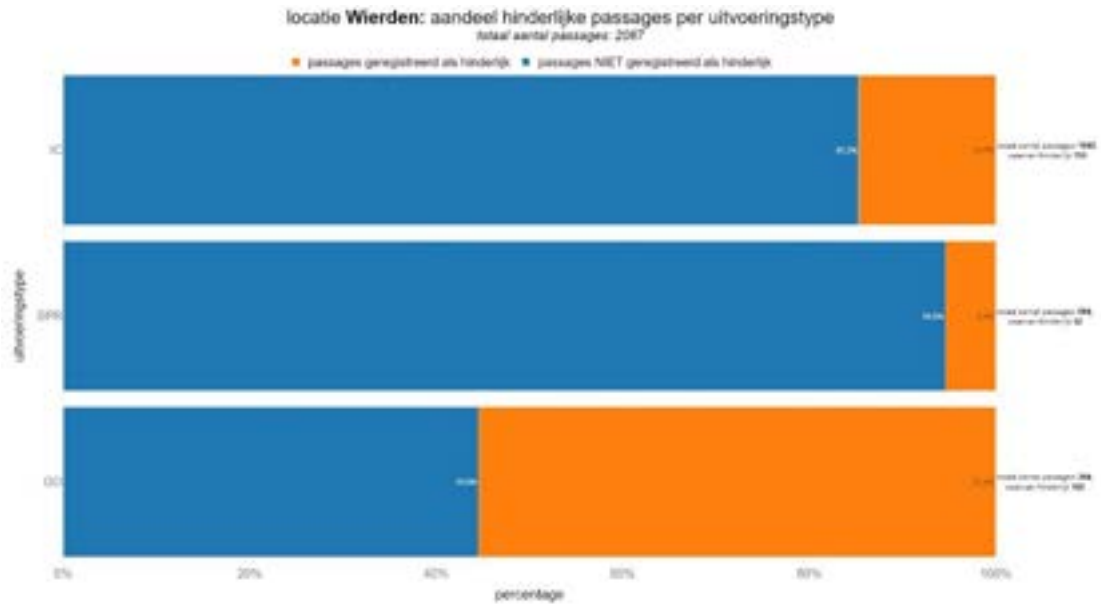
Uiteindelijk zijn er 373 treinpassages die binnen de tolerantie rondom een registratie tijdstip vielen en dus aangeduid zijn als ‘hinderlijk’, oftewel 18% van het totaal aantal passages. Dit laatste percentage is een stuk hoger dan voor de andere drie locaties (Schalkwijk: 1,9%, America: 8,5% en Holten: 5,4%). Qua aantal deelnemende adressen, locatie en verkeer lijkt de locatie Wierden sterk op de locatie Holten dus dit verschil is opvallend.

De controlepopulatie (populatie passages – 5 en +5 rondom hinderlijk) bedraagt 48% van de populatie.

tabel XII *Kentallen van hinderregistraties in Wierden*

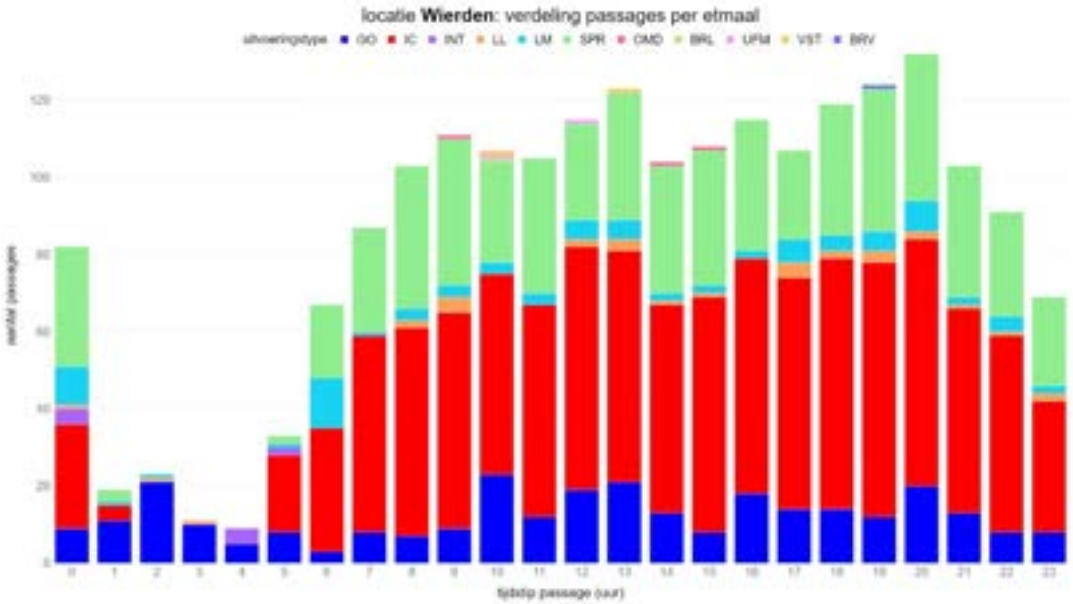
Kental	Aantal
Adressen	29
Meetperiode (dagen)	11
Hinderregistraties	582
Unieke hinderregistraties	324
Hinderregistraties gekoppeld aan treinpassage	265
waarvan gekoppeld aan enkele treinpassage	171
waarvan gekoppeld aan meerdere treinpassages	94
Hinderregistraties zonder gekoppelde treinpassage	59
Treinpassage tijdens onderzoeksperiode (populatie alle passages)	2067
waarvan intercity's	1043
waarvan sprinters	594
waarvan goederentreinen	294
waarvan overig	136
Treinpassages gekoppeld aan hinderregistraties (populatie hinderlijke passages)	373
waarvan intercity's	153
waarvan sprinters	32
waarvan goederentreinen	163
waarvan overig	25
Treinpassages rondom hinderregistraties die niet als hinderlijk zijn geregistreerd (populatie passages – 5 en +5 rondom hinderlijk)	1002
waarvan intercity's	529
waarvan sprinters	359
waarvan goederentreinen	47
waarvan overig	67

Voor Wierden zien we in figuur 82 allereerst het grote aandeel registraties met passages van goederentreinen: meer dan de helft van de passages heeft tot een klachtenregistratie geleid. Maar ook de percentages voor intercity's (14,7%) en sprinters (5,4%) is hoog en veel hoger dan op de andere locaties. Dus het grotere aantal klachten voor deze locatie ten opzichte van de andere drie locaties is niet te wijten aan één bepaald uitvoeringstype maar is over de hele linie aanwezig.



figuur 88 *Aandeel hinderlijke passages in totale populatie per uitvoeringstype*

In figuur 89 en figuur 90 is weergegeven respectievelijk op welk tijdstip in het etmaal er treinpassages zijn en op welk tijdstip er hinder is geregistreerd voor elk uitvoeringstype. We zien, een redelijk constant verkeersaanbod tussen 8 uur en 20 uur waarbij er wel wat variatie in het aanbod van goederentreinen is. In tegenstelling tot de andere locaties zien we hier niet alleen registraties van hinder in de avond maar ook overdag en ’s nachts. En ook het grote aandeel van registraties over reizigersmaterieel is hier zichtbaar gedurende de dag en avond. Dat hebben we niet waargenomen op de andere locaties.

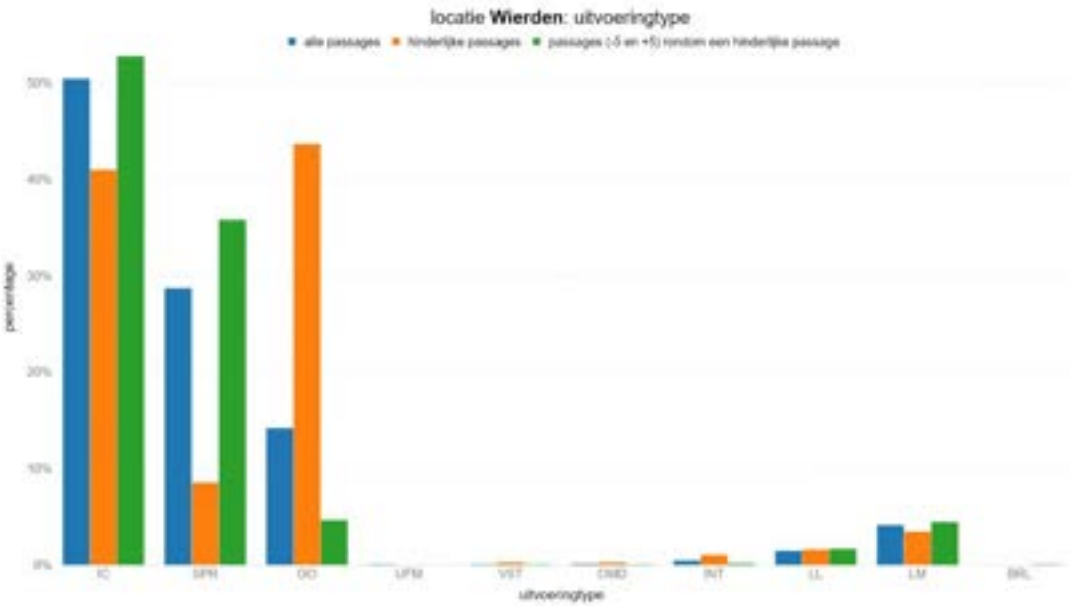


figuur 89 *Verspreiding van passages van treinen over het etmaal*

figuur 90 *Verspreiding van registraties van hinder over het etmaal*

6.3 Uitvoeringstype

Een analyse van de resultaten op basis van het uitvoeringstype van de trein (intercity, sprinter, goederen) laat zien dat passages met intercity's en goederentreinen in vergelijkbare mate aanwezig zijn in de gekoppelde klachtenregistraties. De kentallen in tabel XIII bevestigen dat beeld: in absolute zin zijn er iets meer klachten gekoppeld aan reizigersmaterieel dan aan goederenmaterieel. En het is duidelijk dat het geen onterechte toewijzing aan reizigersmaterieel is bij een registratie met meerdere passages, want ook bij registraties met enkele passages komt reizigersmaterieel veel voor.



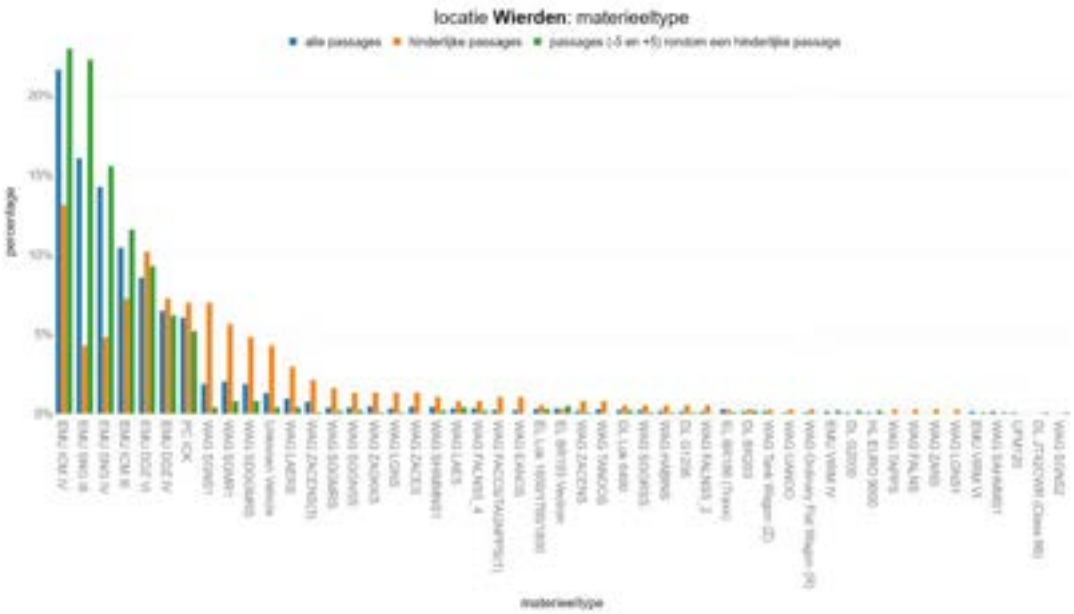
figuur 91 *Uitvoeringstype per populatie*

tabel XIII *Kentallen van hinderregistraties in Wierden per uitvoeringtype*

Kental	Aantal
Hinderregistraties gekoppeld aan enkele treinpassage	171
met IC of SPR	84
met GO	83
met overig	4
Hinderregistraties gekoppeld aan meerdere treinpassage	94
met meerdere IC of SPR	12
met meerdere GO	7
Gemengd IC/SPR en GO	75

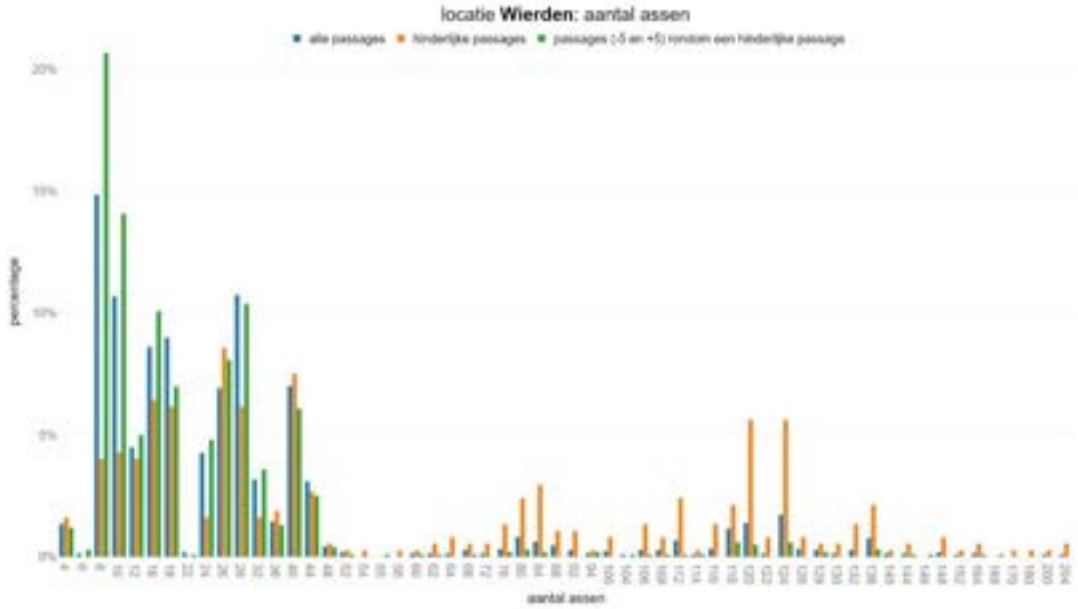
6.4 Materieeltype en aantal assen

Binnen een uitvoeringtype kan er ook onderscheid worden gemaakt naar het materieeltype. We bepalen voor elke treinpassage welk materieeltype het vaakst voorkomt in de trein. In figuur 84 zien we dat van het reizigersmaterieel de DDZ-IV en DDZ-VI relatief vaak voorkomen in de klachtenregistraties. Voor het goederenmaterieel zijn dat het de wagons voor containers (SGNS1, SGMR1, SDGGMRS, SGGMRS, SGGNSS, LGNS), autotransport LAERS, en ketelwagens (ZACENS, ZAGKKS) die veel voorkomen bij in de registraties.



figuur 92 *Materieeltype per populatie*

Als we de verdeling van het aantal assen per populatie bekijken in figuur 85, dan zien we, naast het (gebruikelijke) beeld van goederentreinen met veel assen die betrokken zijn bij hinderregistraties, ook een flink aandeel (reizigers)treinen met minder assen. Dit komt overeen met de conclusies uit de analyse van de uitvoeringstypes.

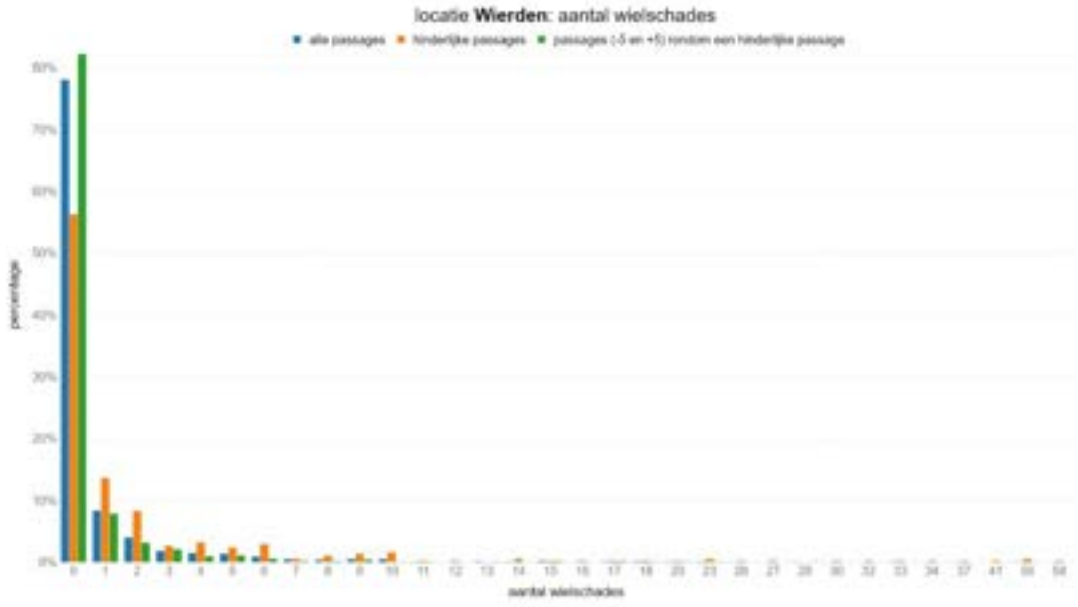


figuur 93 *Aantal assen per populatie*

6.5 Wielschade

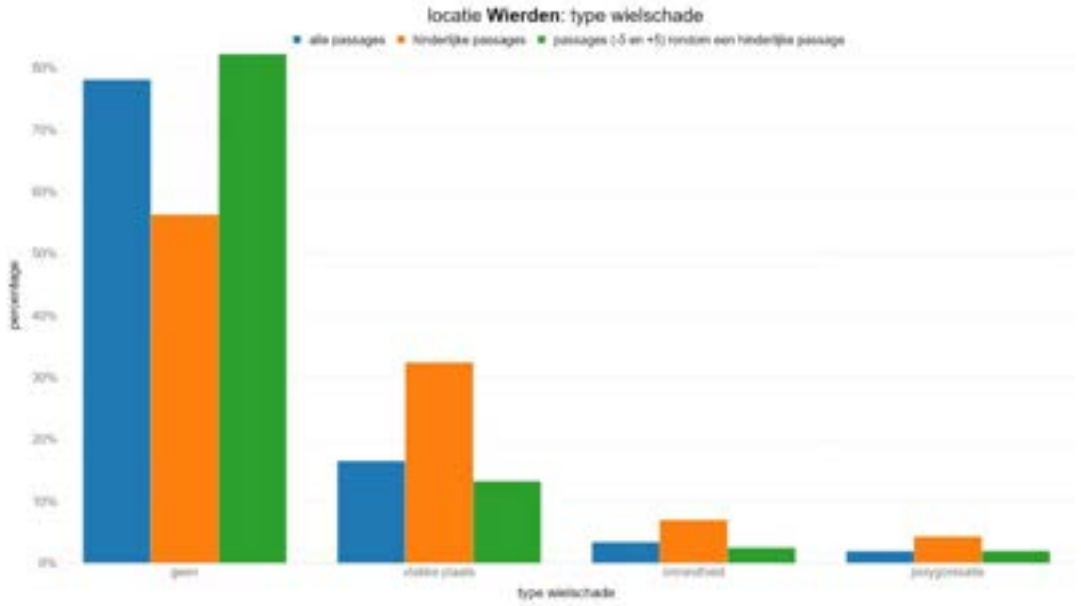
Voor de relatie tussen hinder en eventuele wielschade hebben we gekeken naar de QuoVadis indicator voor wielschade: onrondheid, vlakke plaats of polygonisatie. We kijken bij de relatie naar hinder naar twee afgeleide grootheden: het aantal mogelijk wielschades per trein en het meest voorkomende mogelijke type van de wielschade. De resultaten zijn weergegeven in figuur 86 en figuur 87.

In Wierden zien we dat de meeste treinen geen wielschade hebben. Naarmate het aantal wielschades per trein toeneemt wordt de kans op hinderregistratie groter. Dit beeld bevestigd de eerdere bevindingen dat meerdere wielschades een indicatie geven voor hinder.



figuur 94 *Aantal wielschades per populatie*

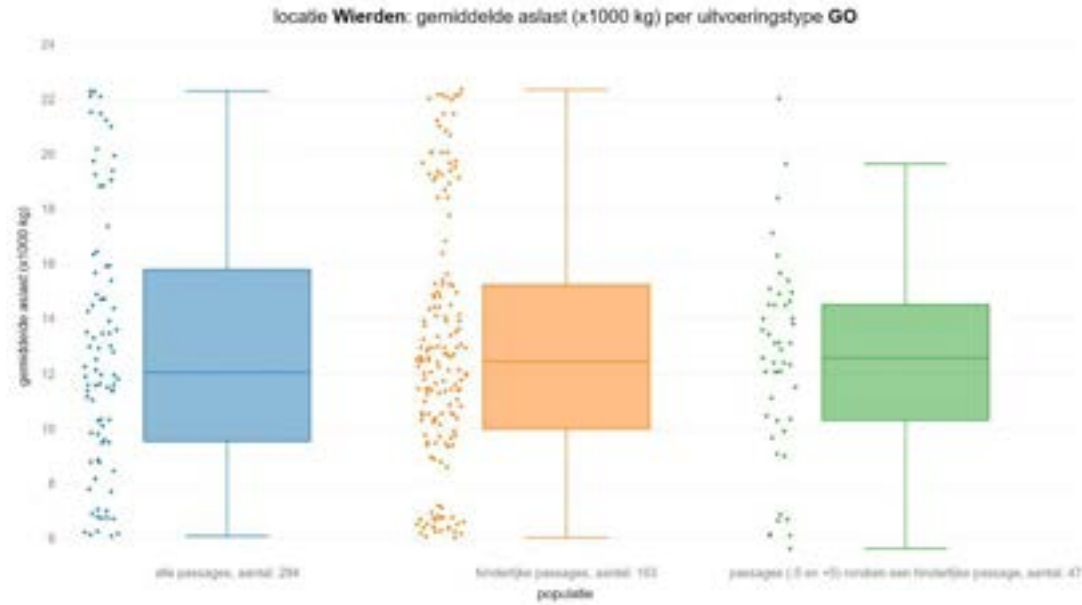
Als we kijken naar het type (mogelijke) wielschade dan zien we ook hier dat met name vlakke plaatsen vaak voorkomen bij hinderregistraties.



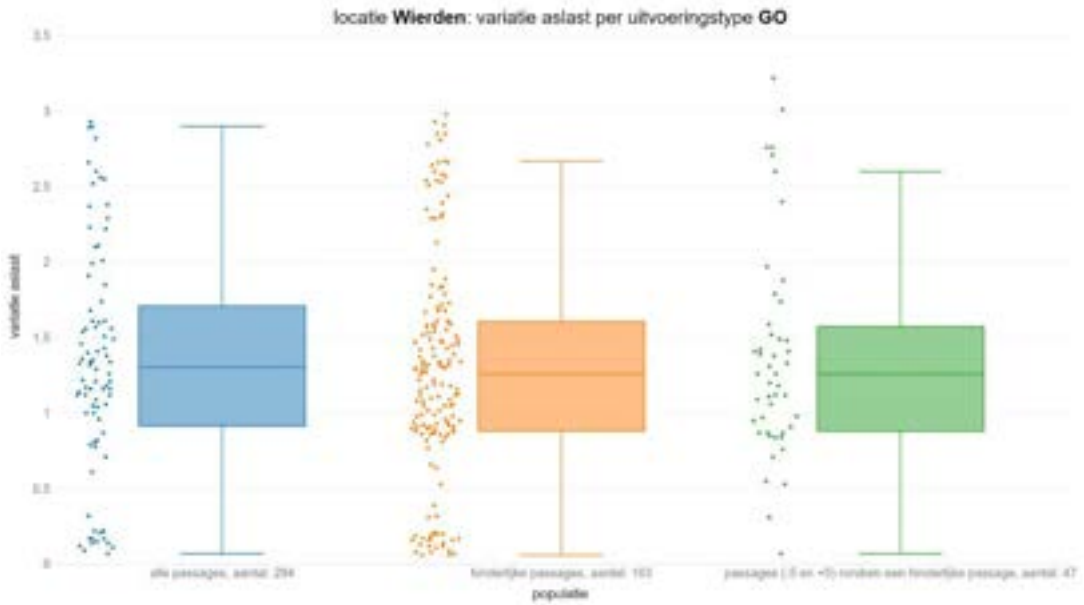
figuur 95 *Type wielschade per populatie*

6.6 Aslast

In tegenstelling tot de andere locaties zijn we voor goederentreinen in Wierden niet een duidelijk verband tussen gemiddelde aslast en hinderregistraties. Ook de aslastvariatie lijkt geen parameter van invloed te zijn.



figuur 96 *Gemiddelde aslast voor goederentreinen per populatie*

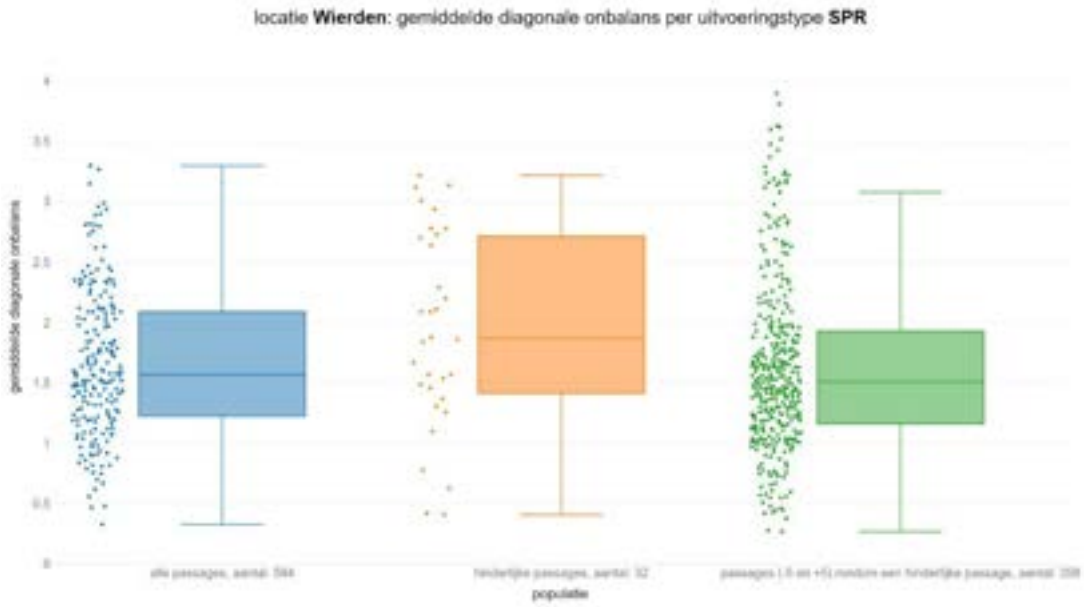


figuur 97 *Variatie aslast per voor goederentreinen populatie*

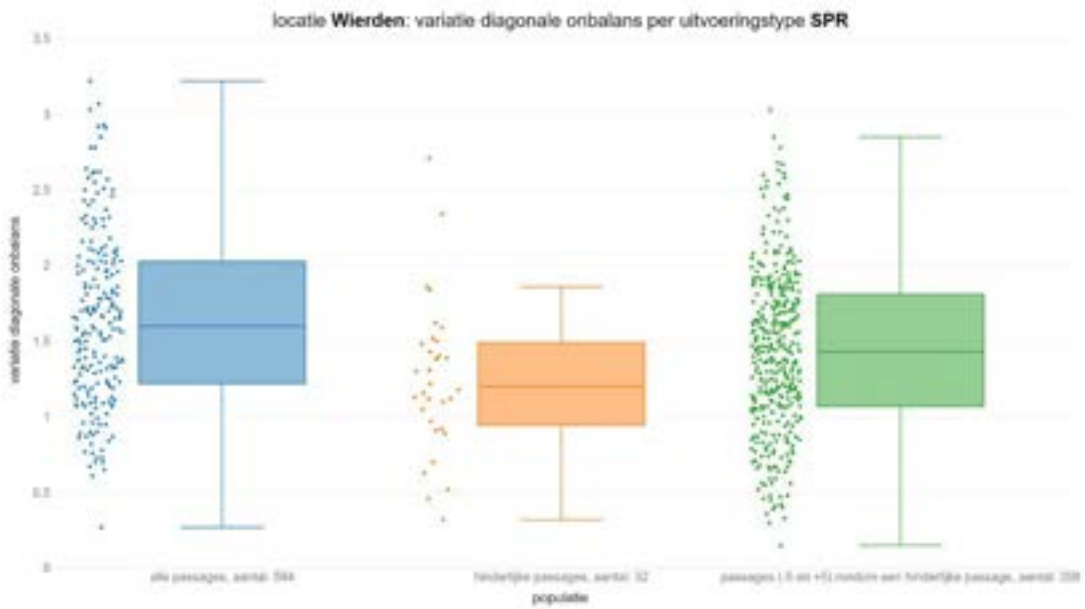
6.7 Diagonale onbalans

Een analyse van de gemiddelde diagonale onbalans in bijlage Q laat zien dat voor goederentreinen en intercity's de spreiding in gemiddelde diagonale onbalans bij hinderlijke passages niet afwijkt ten opzichte van de overige populaties.

Voor sprinters zien we in figuur 90 dat de gemiddelde diagonale onbalans wat groter is bij de als hinderlijk geregistreerde passages en in figuur 91 zien dat de variatie wat kleiner is. Dit wijst in dezelfde richting als de bevindingen in Schalkwijk, America en Holten al moeten we voorzichtig zijn om veel waarde te hechten aan deze bevinding want het aantal voertuigen in de populatie 'hinder geregistreerd bij sprinters' is klein.



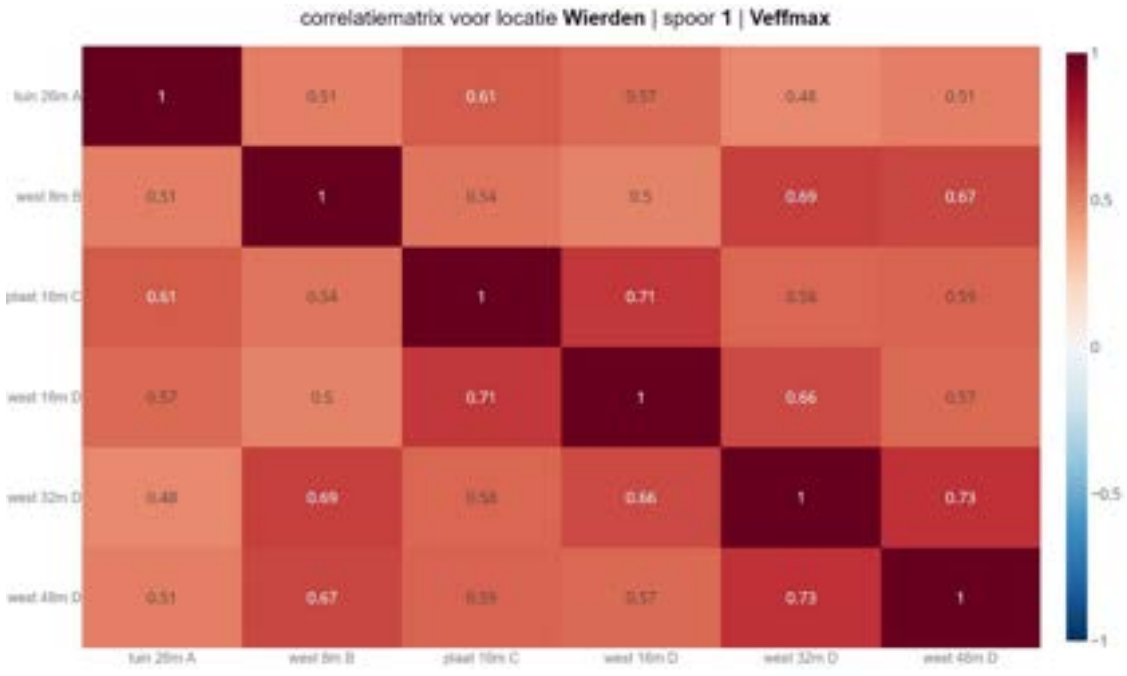
figuur 98 *Gemiddelde diagonale onbalans voor sprinters per populatie*



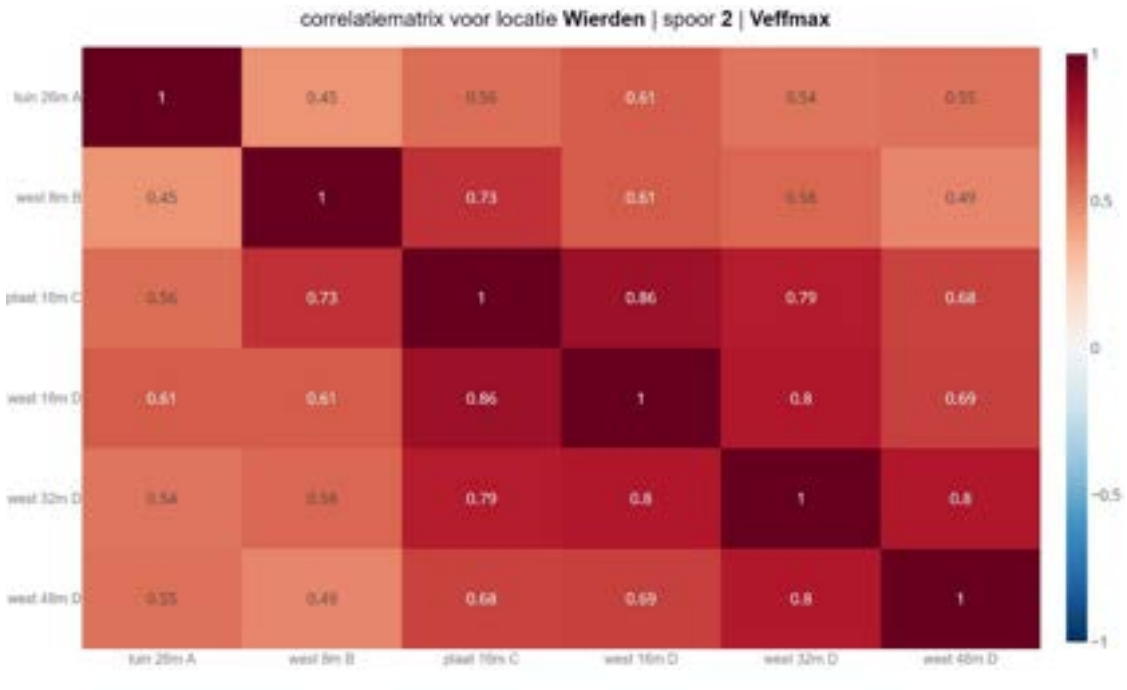
figuur 99 *Variatie diagonale onbalans voor sprinters per populatie*

6.8 Correlatie tussen trillingsmetingen

De samenhang tussen de trillingsniveaus op de verschillende meetlocaties is onderzocht met behulp van correlatie analyse en weergegeven in figuur 92 en figuur 93. De waarde voor de correlatie varieert daarbij tussen 0 (geen verband) en 1 (sterk gecorreleerd). We hebben hier alleen resultaten voor $V_{eff,max}$ want V_{rms} was niet voorhanden.



figuur 100 *Correlatie matrix $V_{eff,max}$ voor passage op spoor 1*



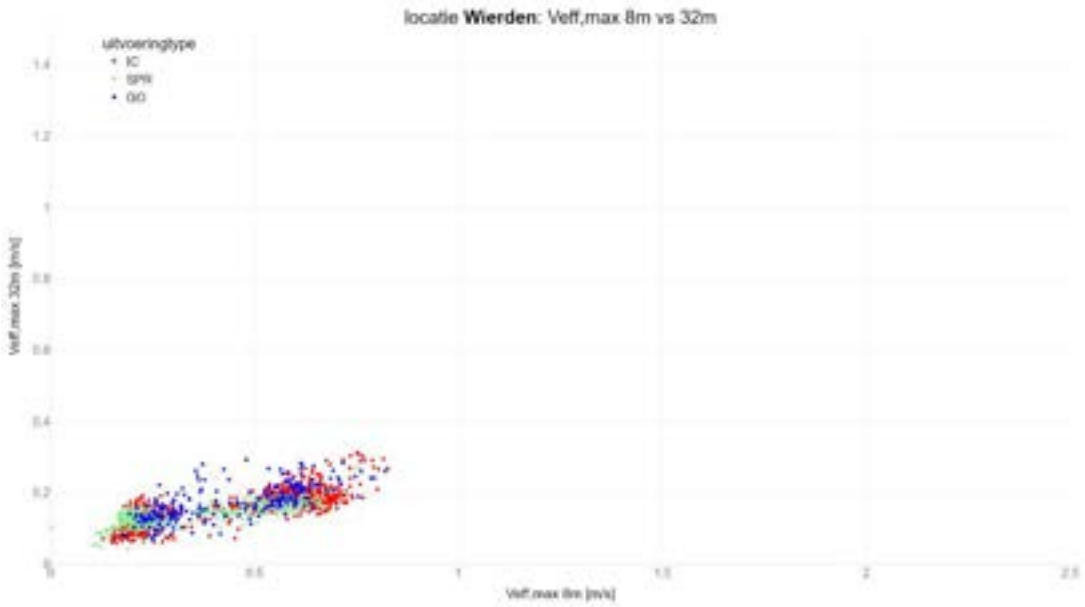
figuur 101 *Correlatie matrix $V_{eff,max}$ voor passage op spoor 2*

We zien een redelijk sterke correlatie voor passages over spoor 2 en iets minder over spoor 1. Dat is logisch aangezien de meetposities zich bevinden aan de zijde van spoor 2.

6.9 Trillingsniveau per afstand

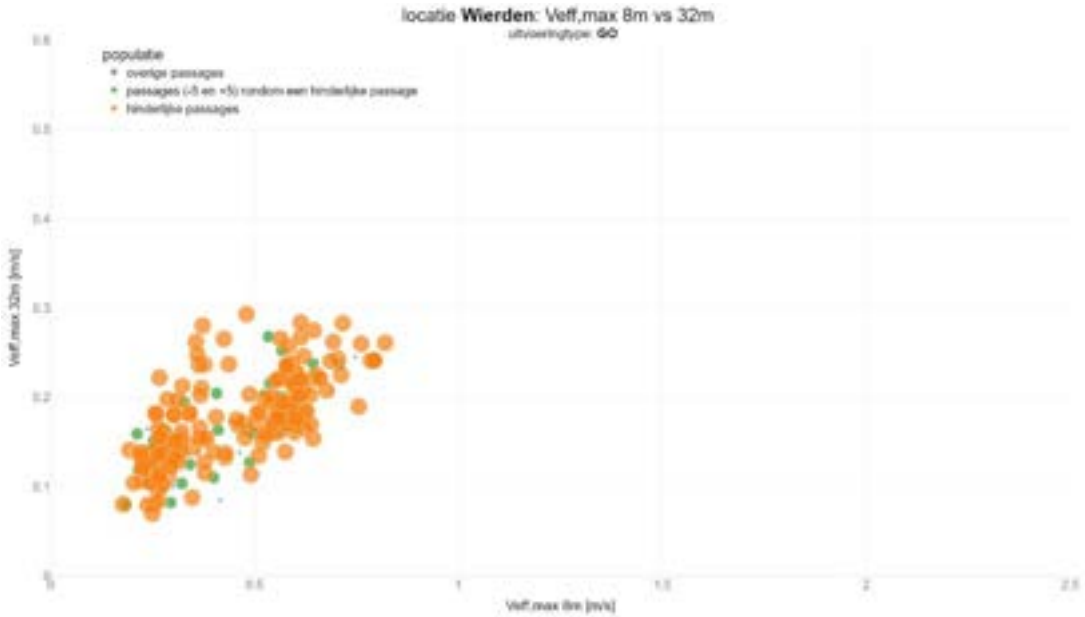
Door de gemeten trillingsniveaus op verschillende afstanden te analyseren kunnen we mogelijk een verband leggen tussen trillingsniveaus, trillingsvoortplanting door de bodem en hinder. Hiervoor kijken we naar de trillingsniveaus $V_{eff,max}$ op 8m en 32m. We kiezen deze afstanden omdat deze het meest in de buurt komen bij de afstanden voor de andere locaties: 4m en 25m.

Allereerst de algemene verdeling van de $V_{eff,max}$ per uitvoeringstype. Hierin is te zien dat de trillingsniveaus voor alle uitvoeringstypes de hele range beslaan. Er is dus weinig onderscheid tussen de uitvoeringtypes. We zien verder een redelijk lineair verband: hoge(re) niveaus op 8m leiden ook tot hoge(re) niveaus op 32m. Het is verder niet goed mogelijk om de absolute waarde van de trillingsniveaus te vergelijken omdat de meetposities op een andere afstand van het spoor waren gelokaliseerd.

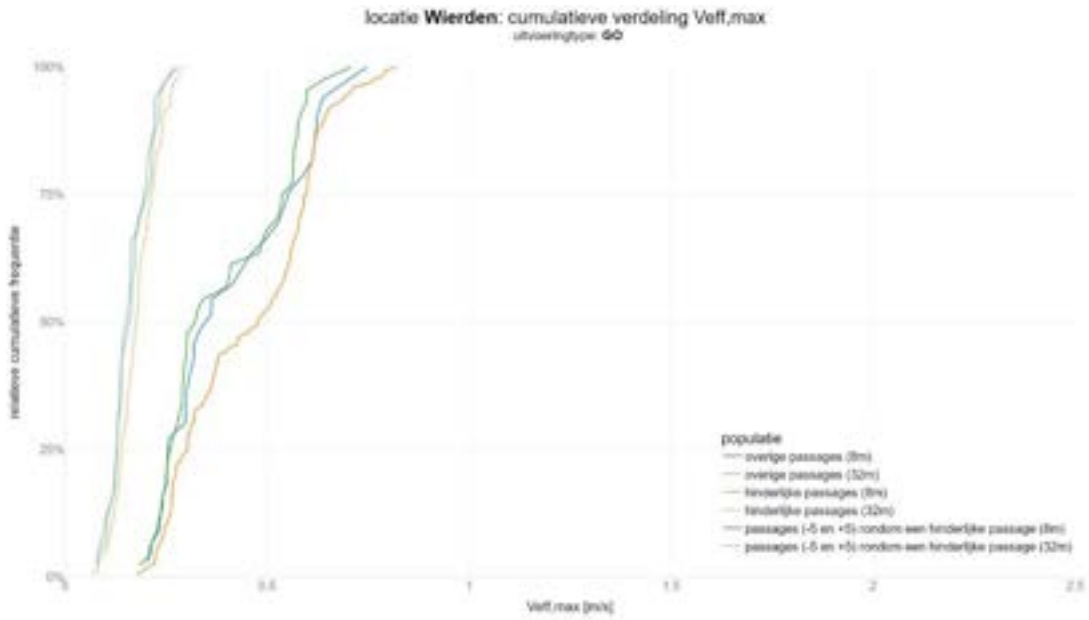


figuur 102 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 8m en 32m per uitvoeringstype*

Als we kijken naar de relatie tussen trillingsniveau en hinder dan zien we voor goederentreinen een duidelijk verband tussen trillingsniveaus en hinder. Dat is niet direct zichtbaar in de scatterplot in figuur 95 waar wel in de cumulatieve verdeling van de trillingsniveaus op 8m in figuur 96. Voor 32m is dat effect net wat kleiner.

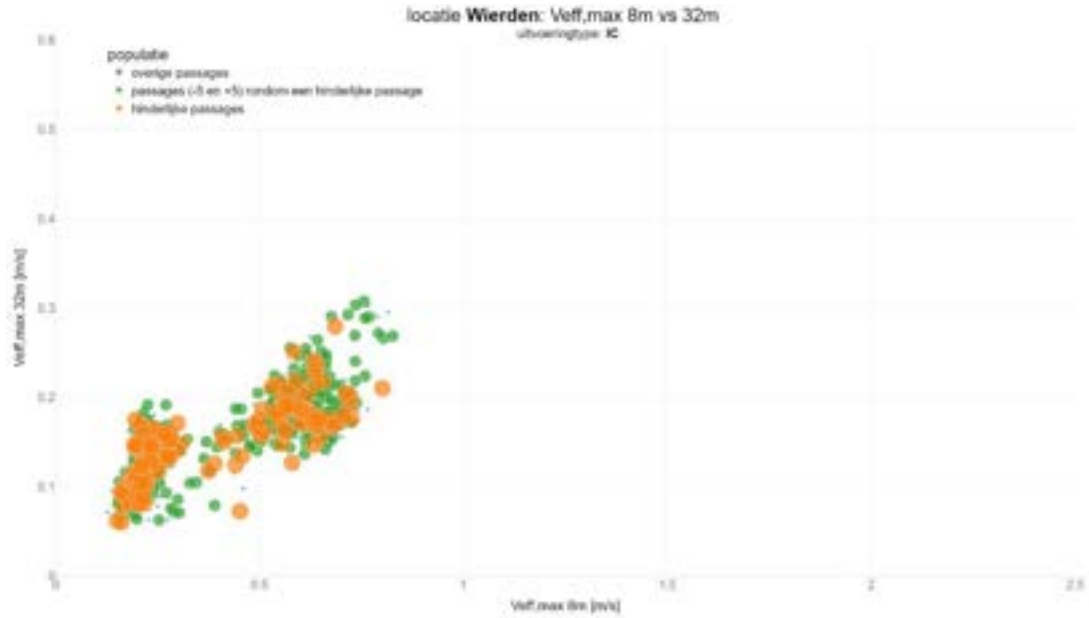


figuur 103 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes voor goederentreinen op 8m en 32m en relatie met hinder*

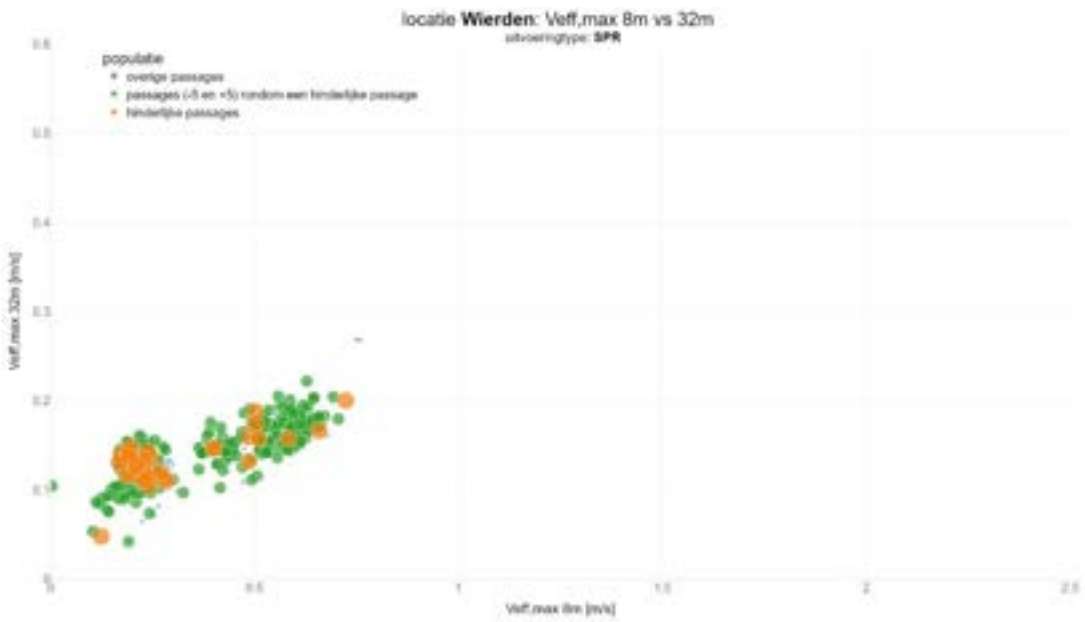


figuur 104 *Cumulatieve verdeling van $V_{eff,max}$ waardes voor goederentreinen*

Voor intercity's en sprinters is dat verband tussen trillingsniveau en hinderlijkheid niet zichtbaar in figuur 97 en figuur 98 en ook niet in de cumulatieve verdelingen (hier verder niet afgebeeld).



figuur 105 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes voor intercity's op 8m en 32m en relatie met hinder*



figuur 106 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes voor sprinters op 8m en 32m en relatie met hinder*

6.10 Variatie van trillingsniveau

De variatie van het trillingsniveau geeft inzicht in de dynamiek van de trillingsniveaus in de passage en wordt in dit onderzoek uitgedrukt in het verschil tussen de $V_{eff,max}$ en V_{rms}. Omdat de V_{rms} niet is gemeten in Wierden kon deze variatie ook niet worden berekend. De verdere analyse is dus niet uitgevoerd voor deze locatie.

6.11 Trillingsspectra

In Wierden zijn geen trillingsspectra bepaald dus er is voor deze locatie geen verdere analyse van trillingsspectra uitgevoerd.

6.12 Conclusies

De belangrijkste conclusies voor de locatie Wierden zijn hieronder opgesomd.

In Wierden werd in het onderzoek 18% van alle passages als hinderlijk geregistreerd. Dit aandeel was opvallend hoger dan voor de andere locaties. Daarvoor is geen verklaring gevonden. Ook hier was weer een aanzienlijk deel van de registraties (18%) niet te koppelen aan een passage.

In Wierden werd er een stuk meer hinder geregistreerd dan op de andere locaties. De helft van alle passerende goederentreinen kon worden gekoppeld aan registraties van hinder. En daarnaast was het aandeel van reizigerstreinen in de registraties ook een stuk groter dan voor de andere locaties. Het materieeltype DDZ was daarin oververtegenwoordigd.

Het is natuurlijk de vraag wat de oorzaak zijn van de toename van klachten. Wierden en Holten liggen aan hetzelfde spoortraject en het verkeersaanbod is vergelijkbaar. Ook het aantal en opzet van het belevingsonderzoek. Dus daarom verwachtten we in eerste instantie vergelijkbare hinderregistraties. Kan de toename van de hinder in Wierden ten opzichte van Holten verklaard worden uit verschil in infra, bodem, seizoen of demografie of gevoeligheid van de deelnemers voor trillingshinder? Of is het een subjectief effect? Daarover is op basis van de beschikbare gegevens in dit onderzoek geen uitspraak te doen. Een complicerende factor is dat we de trillingsniveaus ook niet goed kunnen vergelijken met de andere locaties omdat de meetposities hier anders waren.

Wat betreft de materieel-gerelateerde factoren, blijkt ook voor deze locatie weer dat het aanwezig zijn van meerdere wielschades en met name vlakke plaatsen in een QuoVadis rapportage een indicator is voor hinder.

In Wierden speelt de gemiddelde aslast van goederentreinen géén rol in de hinderlijkheid. Verder vonden we een kleine afhankelijkheid van diagonale onbalans bij de hinderlijkheid van sprinters.

Het trillingsniveau $V_{\text{eff,max}}$ heeft in Wierden voor goederentreinen een correlatie met de hinderlijkheid. Voor intercity's en sprinters was die correlatie niet in de data zichtbaar.

7 Samenvatting van conclusies en discussie

In de volgende paragrafen staat per onderzoeksparameter een samenvatting van de belangrijkste conclusies.

7.1 Kentallen

- In de gehanteerde proefopzet konden 10 à 20% van de registraties niet gekoppeld worden aan passerende treinen. De oorzaak hiervan kan liggen in ontbrekende gegevens over passages of in onnauwkeurige of toekennen van ervaren hinder aan treinpassages terwijl de hinder een ander veroorzaker heeft. Dit was op voorhand niet verwacht en verdient nader onderzoek.
- Afhankelijk van de onderzoekslocatie varieert het aandeel van geregistreerde klachten in het totaal aantal passages tussen de 1,9 en 18%.
- Registraties van klachten komen vooral voor in de avonduren, terwijl het verkeersaanbod overdag dan vergelijkbaar is met overdag. Omdat we geen aanwezigheidsregistratie hebben van de deelnemers aan het onderzoek kunnen we niet vaststellen of het komt omdat er ’s avonds meer bewoners aanwezig zijn of dat de bewustwording dan groter is omdat het in het algemeen rustiger is in de avonduren.

7.2 Uitvoeringstype

- Goederentreinen worden relatief vaak als hinderlijk geregistreerd.
- Het aandeel passagierstreinen dat als hinderlijk wordt ervaren is relatief/percentueel klein, maar in absolute zin niet te verwaarlozen omdat er op de meeste locaties veel passagierstreinen voorbij komen.
- Er zijn meerdere hinderregistraties waarbij meerdere treinen van verschillende uitvoering passeren. In die gevallen is het niet mogelijk om de hinder aan een individuele trein toe te kennen en mogelijk wordt de hinder juist veroorzaakt/ervaren door het passeren van meerdere treinen in kort tijdsbestek.

7.3 Materieeltype en aantal assen

- Goederentreinen met overwegend containers, ketelwagens of (open) bulkgoederenwagons worden vaak als hinderlijk geregistreerd.
- Passagierstreinen van het type VIRM-IV, SNG III en DDZ worden relatief vaker als hinderlijk geregistreerd dan de andere intercity- of sprinter-types.
- Het aantal assen is gerelateerd aan hinder, maar ook aan materieeltype: treinen met veel assen leveren het vaakst hinder, maar dat zijn altijd lange goederentreinen. Voor de lagere aantallen assen correleert het aantal assen sterk met het materieeltype en dus ook met de hinder.

7.4 Wielschade

- Indien er meerdere wielschades in een trein aanwezig zijn dan stijgt de kans dat er hinder wordt geregistreerd.
- Met name (meerdere) vlakke plaatsen en/of polygonisatie zijn belangrijker voor hinder dan onrondheid.

7.5 Aslast

- Voor goederentreinen is er meestal een duidelijke relaties tussen aslast en hinder: treinen met een hogere aslast komen relatief vaker voor bij goederentreinen waarvoor hinder is geregistreerd. Maar dat is niet bij alle locaties het geval.

- Hinder-gevende goederentreinen hebben een lagere variatie in aslast. Samen met de vorige bevinding betekent dit dat homogeen beladen zware goederentreinen vaker als hinderlijk worden geregistreerd.
- Voor passagierstreinen (intercity's en sprinters) is er geen significant verschil in aslast of variatie in aslast tussen als hinderlijk en niet als hinderlijk geregistreerde treinen.

7.6 Diagonale onbalans

- De (gemiddelde) diagonale onbalans in een trein kan niet worden gerelateerd aan trillingen.
- Voor passagierstreinen lijkt er een relatie te zijn tussen hinder en de variatie van de diagonale onbalans: hinderlijke treinen hebben een kleinere variatie, oftewel: er zijn minder uitschieters naar boven en naar beneden van de diagonale onbalans. Dit fenomeen kunnen we niet direct koppelen aan een fysisch proces. Het lijkt interessant om dit nader te onderzoeken.

7.7 Correlatie trillingsmetingen

- De metingen in verschillende meetraaien op dezelfde afstand van het spoor zijn sterk gecorreleerd, behalve in America.
- De metingen in dezelfde meet op verschillende afstand van het spoor blijken ook tamelijk sterk gecorreleerd spoor, behalve in America.

7.8 Trillingsniveau per afstand

- De trillingsniveaus van goederentreinen gemeten op een bepaalde afstand van het spoor blijken in Schalkwijk en Wierden een indicator voor hinderregistraties. Voor de overige locaties en uitvoeringstypen is het trillingsniveau geen geschikte indicator want er is daar geen verband tussen trillingsniveau en hinder gevonden.

7.9 Variatie van trillingsniveau

- De variatie van het trillingsniveau gedurende een passage heeft een lichte correlatie met hinder. Voor een aantal locaties zien we dat als de variatie groter is dan is de kans op hinder ook groter. Echter dit beeld is niet op alle locaties aanwezig.

7.10 Trillingsspectra

- We zien voor alle uitvoeringstypes, alle meetrichtingen en afstanden tot het spoor dat het gemiddelde spectrum voor hinderlijke passages niet significant afwijkt van het gemiddelde spectrum voor niet-hinderlijke passages. Het beschouwen van de spectra leverde dus geen inzicht op in de hinderlijkheid van de passage.

7.11 Discussie

Er is geen eenduidig beeld van de oorzaken van hinderlijkheid van trillingen door spoorverkeer ontstaan na de uitgebreide data analyse van voertuig- en trillingsparameters op vier locaties in Nederland. Wat is er wel duidelijk? Goederentreinen worden relatief vaker als hinderlijk geregistreerd, maar in absolute zin wordt er even vaak trillingshinder ervaren van reizigerstreinen. Het trillingsniveau is een indicator voor die hinderlijkheid, maar alleen bij goederentreinen en niet bij reizigerstreinen. De vorm van het trillingsspectrum speelt daarbij geen rol. Verder lijken wielschades, homogene zware belading en diagonale onbalans ook een rol te spelen. Maar niet altijd en niet overal. En er zijn voldoende hinderregistraties van lichtere treinen, die lagere trillingsniveaus veroorzaken en waarbij er geen wielschades zijn. De vraag is waarom mensen deze treinen als hinderlijk registreren?

In dit onderzoek zijn de registraties van hinder door omwonenden zonder waardeoordeel meegenomen: er is gevraagd om hinder door trillingen te registreren en de resultaten zijn als zodanig geïnterpreteerd. Echter, het is niet vast te stellen of al deze hinder ook echt door trillingen is veroorzaakt of dat geluid mogelijk ook een (perceptieve) rol heeft gespeeld (zie ook [2]). Verder is het ook opvallend dat er op drie locaties een flink aantal registraties niet aan passages gekoppeld kon worden en dat er zo'n groot verschil in hinderbeleving is tussen Wierden en Holten die qua locatie en verkeersaanbod sterk op elkaar lijken. We kiezen er voor om hier niet te speculeren over de oorzaken van deze bevindingen, maar er is dus meer aan de hand dan makkelijk objectiveerbare oorzaak – gevolg relatie tussen treinpassage en hinderregistratie.

We weten dus kennelijk niet voldoende van uitwerking van treinpassages op de mens om de ervaren trillingshinder van omwonenden te verklaren. Wat we wel weten is dat het lastig is om trillingshinder (geheel) te voorkomen door wijzigingen aan voertuigen en infra om trillingsniveaus omlaag te brengen. Willen we alle ervaren hinder ook omlaag brengen dan moeten we de perceptie van deze hinder beter gaan begrijpen. Met een beter begrip voorkomen we ook dat investeringen in gangbare fysieke maatregelen ter vermindering van trillingsniveaus niet leiden tot een evenredige vermindering van hinder.

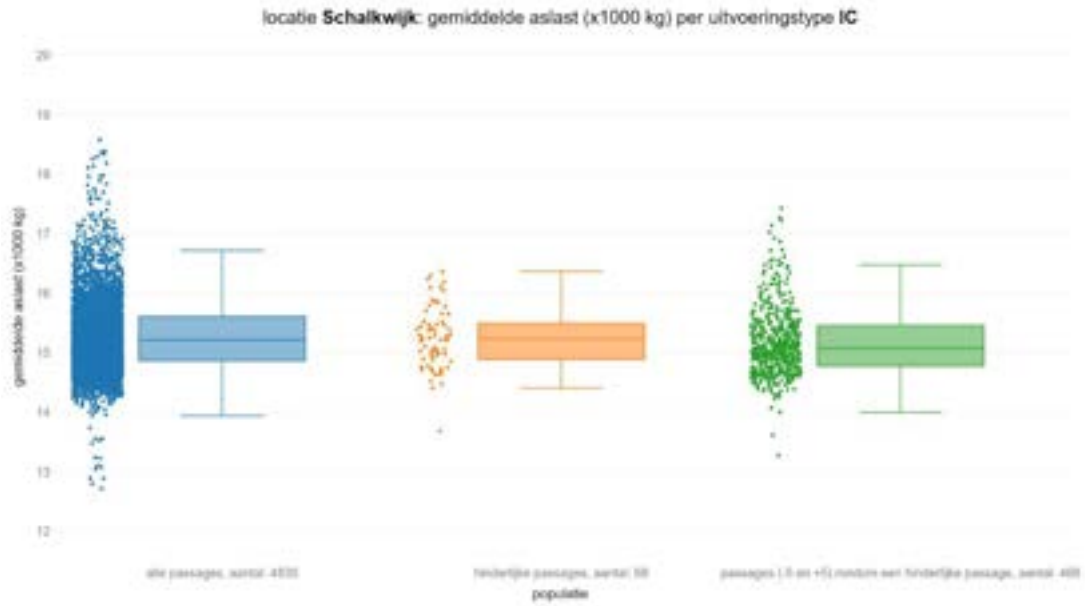
8 Literatuur

[1] A. Seidler, M. Schubert, Y. Mehrjerdian, K Krapf, C. Popp, I. van Kamp, M. Ögren, J. Hegewald. Health effects of railway-induced vibration combined with railway noise – A systematic review with exposure-effect curves, Environmental Research, 233:116480, 2023.

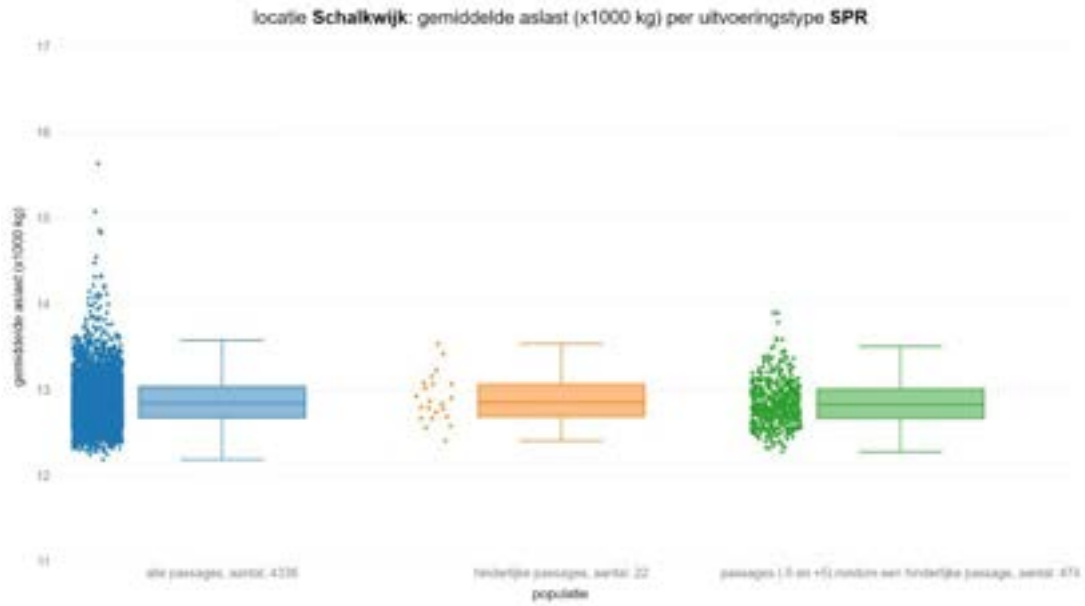
[2] E. van Kempen, J. Hoekstra, S. Simon, A. Kok, J. van de Kassteele, and H. van Wijnen. Hinder en slaapverstoring door trillingen van treinen. RIVM rapport 2023-0327, DOI 10.21945/RIVM-2023-0327, 2023.

Bijlages

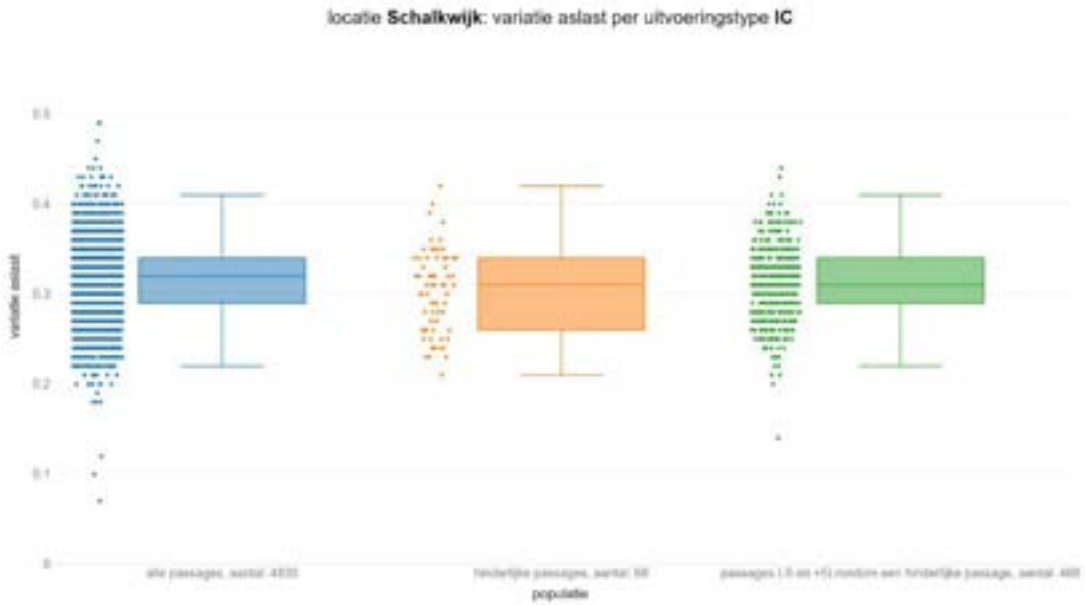
A Schalkwijk: aslast



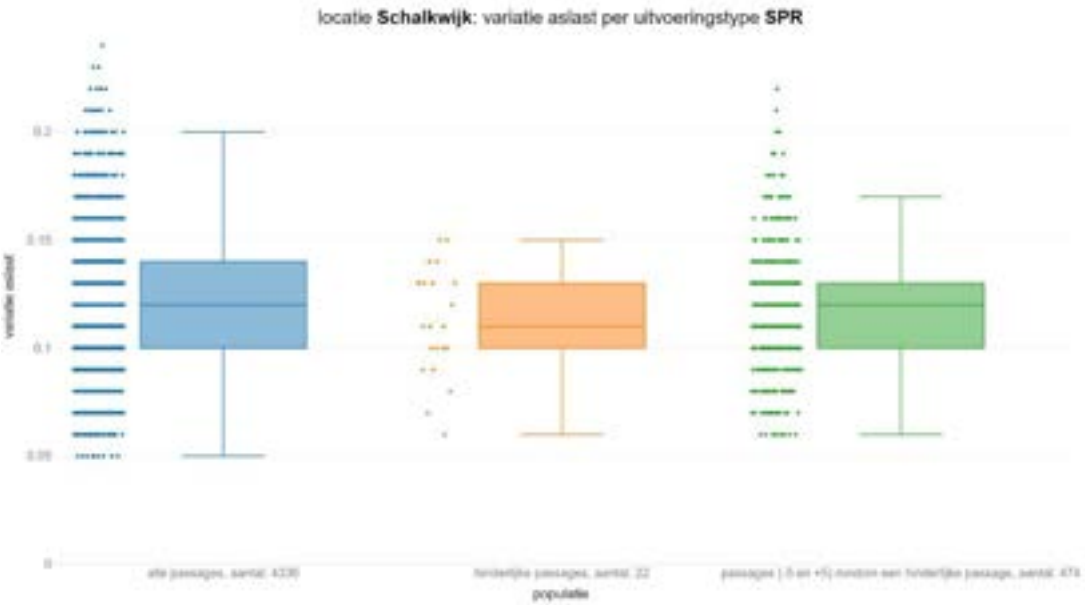
figuur 107 *Gemiddelde aslast voor intercity's per populatie*



figuur 108 *Gemiddelde aslast voor sprinters per populatie*

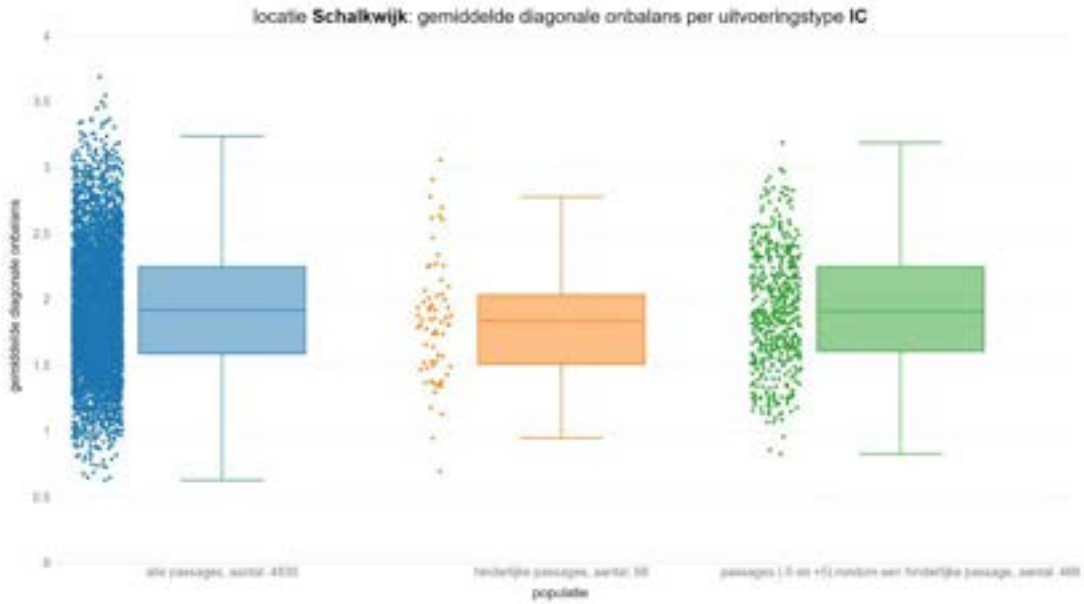


figuur 109 *Variatie aslast voor intercity's per populatie*

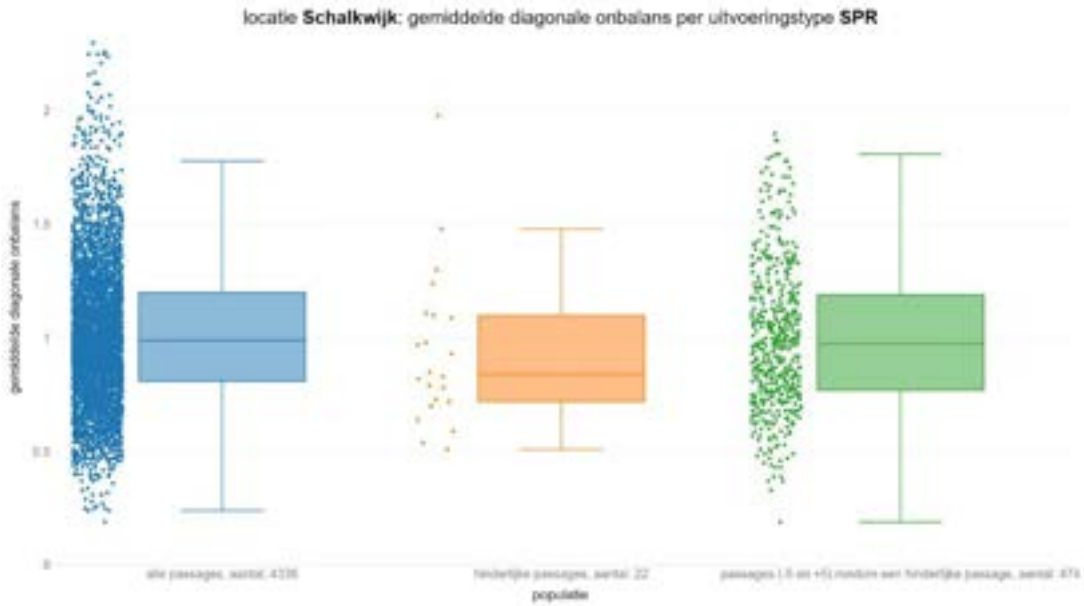


figuur 110 *Variatie aslast voor sprinters per populatie*

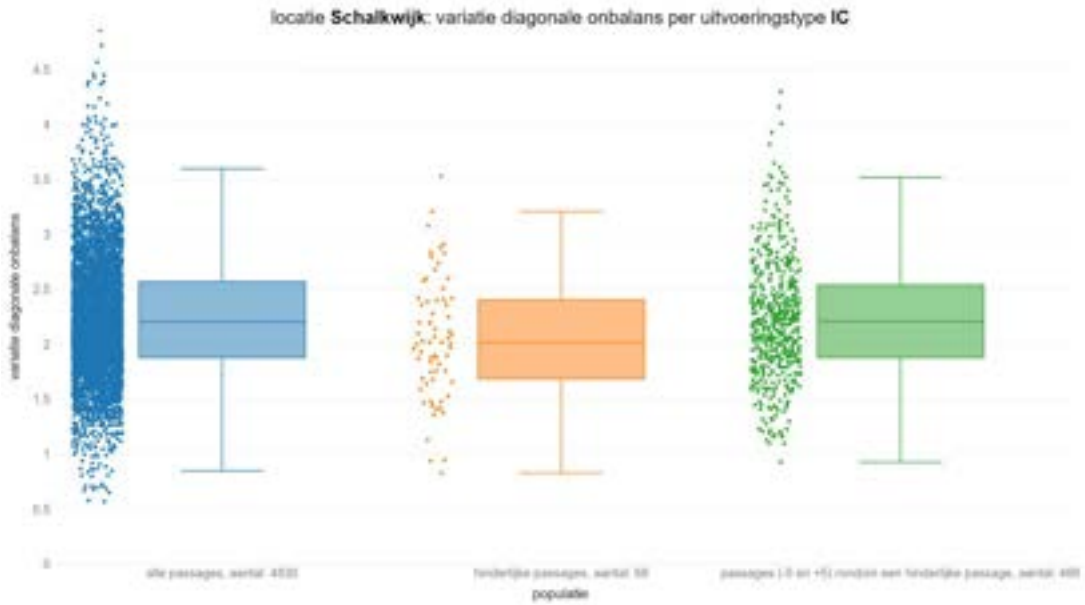
B Schalkwijk: diagonale onbalans



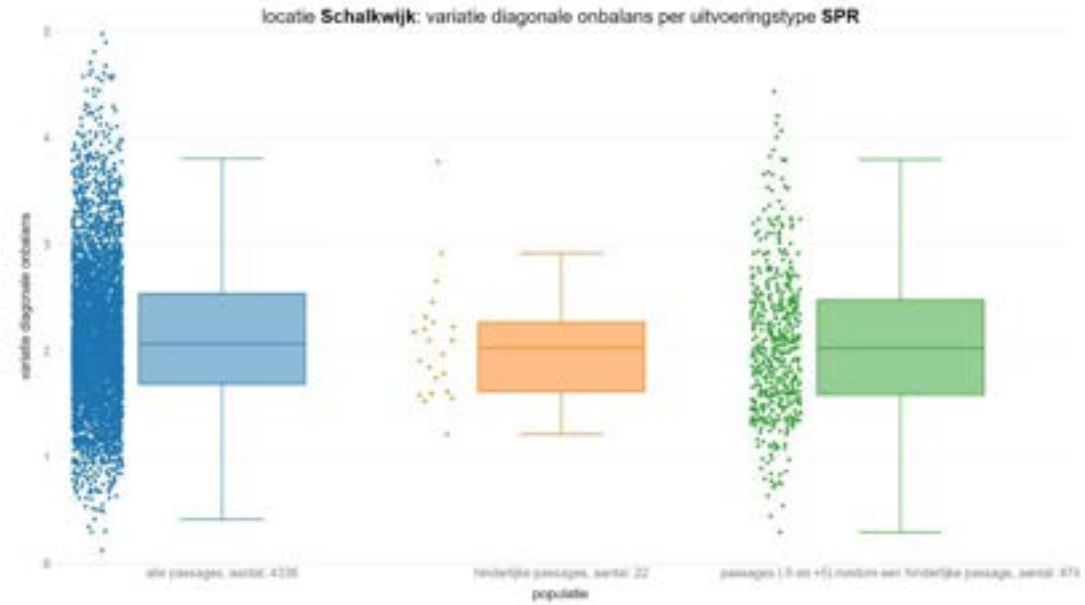
figuur 111 *Gemiddelde diagonale onbalans voor intercity's per populatie*



figuur 112 *Gemiddelde diagonale onbalans voor sprinters per populatie*

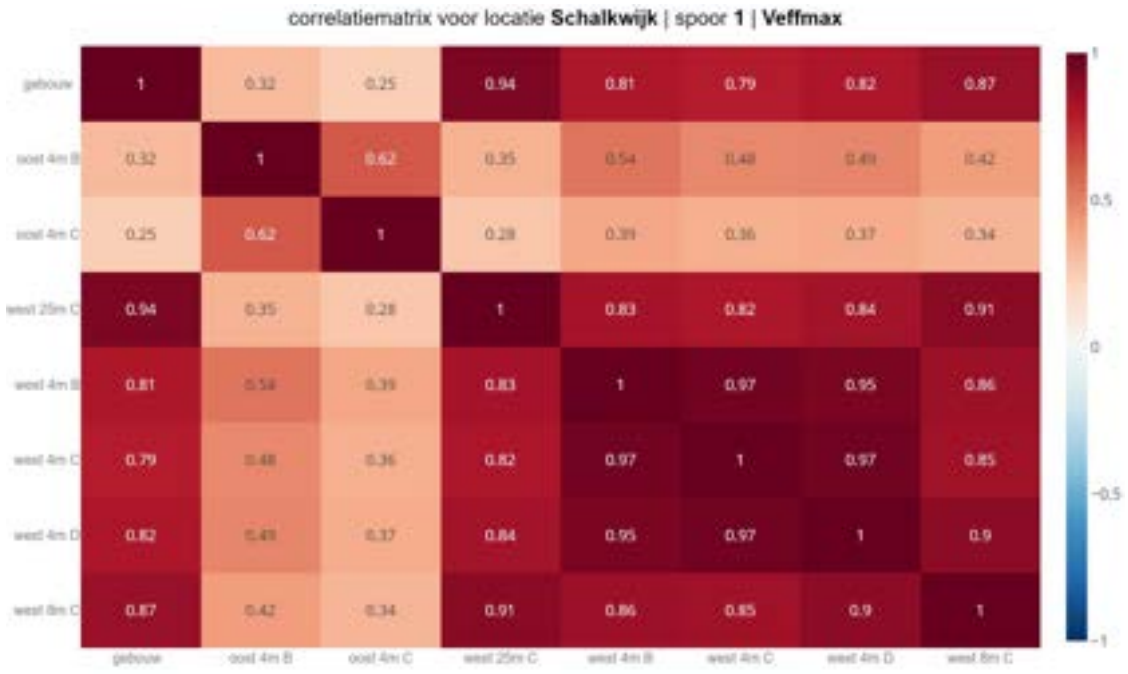


figuur 113 *Variatie diagonale onbalans voor intercity's per populatie*

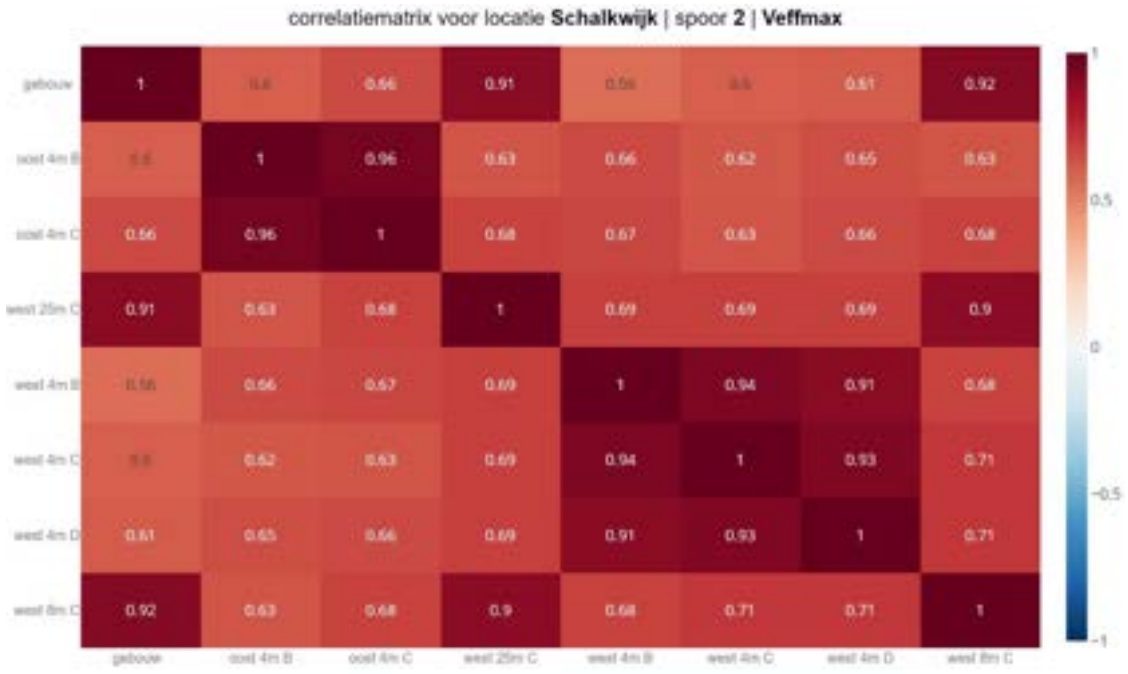


figuur 114 *Variatie diagonale onbalans voor sprinters per populatie*

C Schalkwijk: correlatie tussen trillingsmetingen

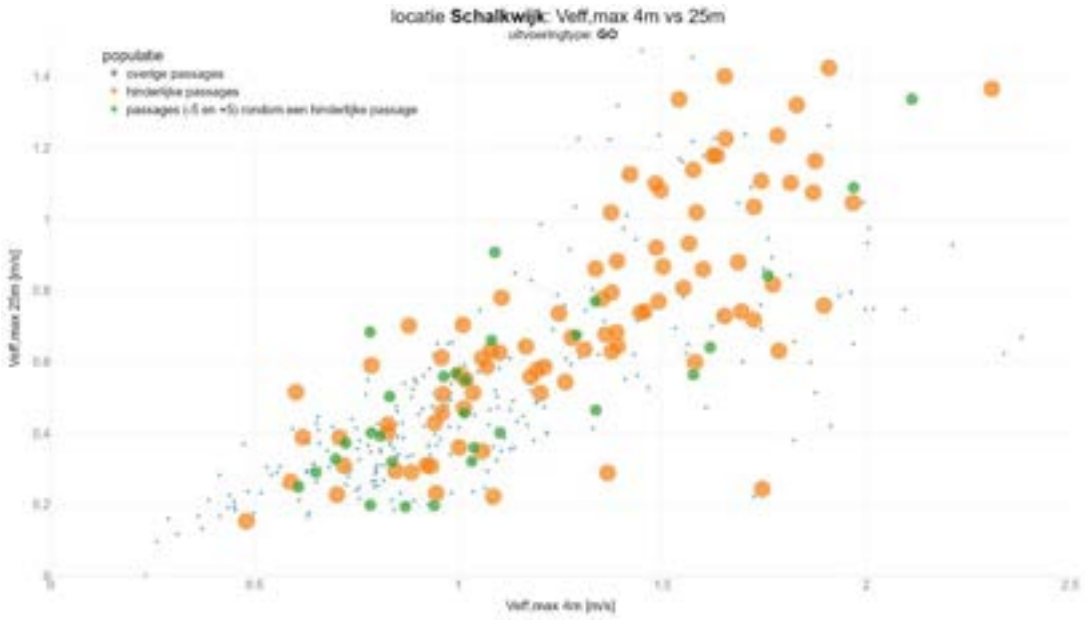


figuur 115 *Correlatie matrix $V_{eff,max}$ spoor 1*

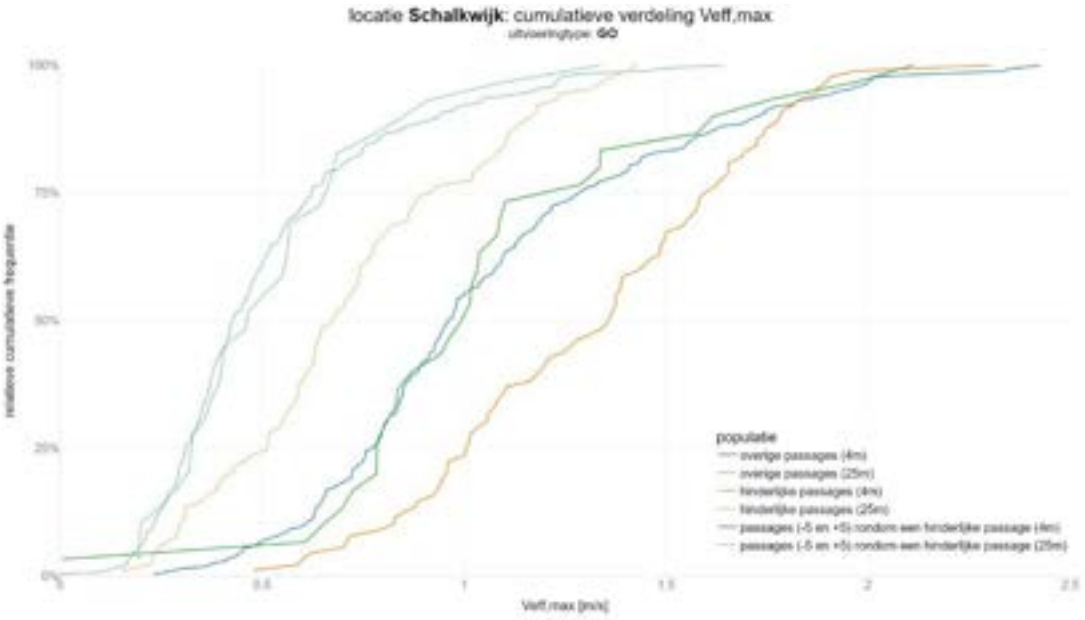


figuur 116 *Correlatie matrix $V_{eff,max}$ spoor 2*

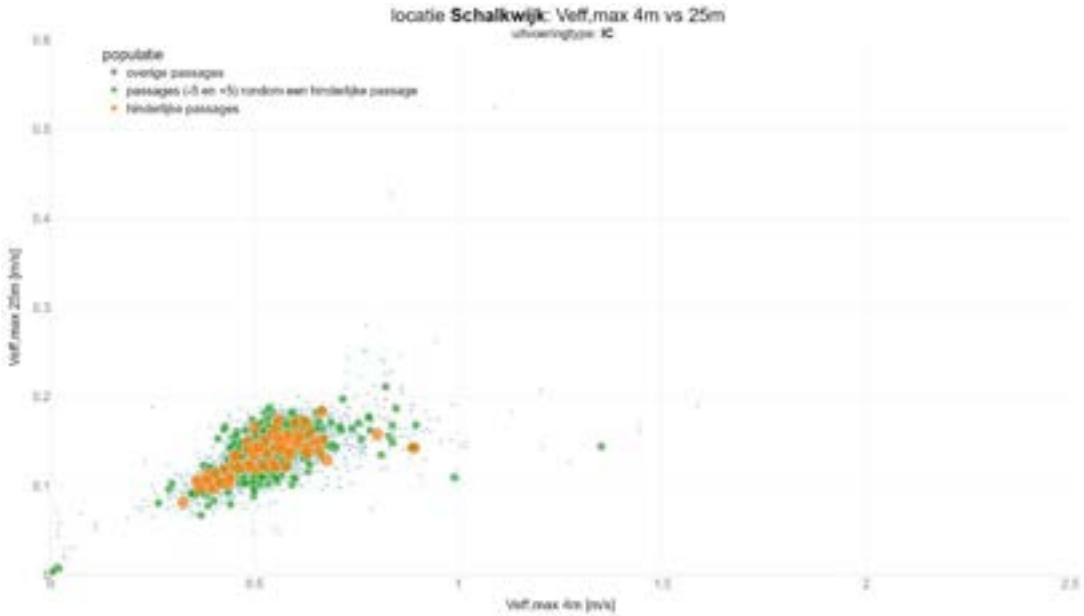
D Schalkwijk: trillingsniveau per afstand



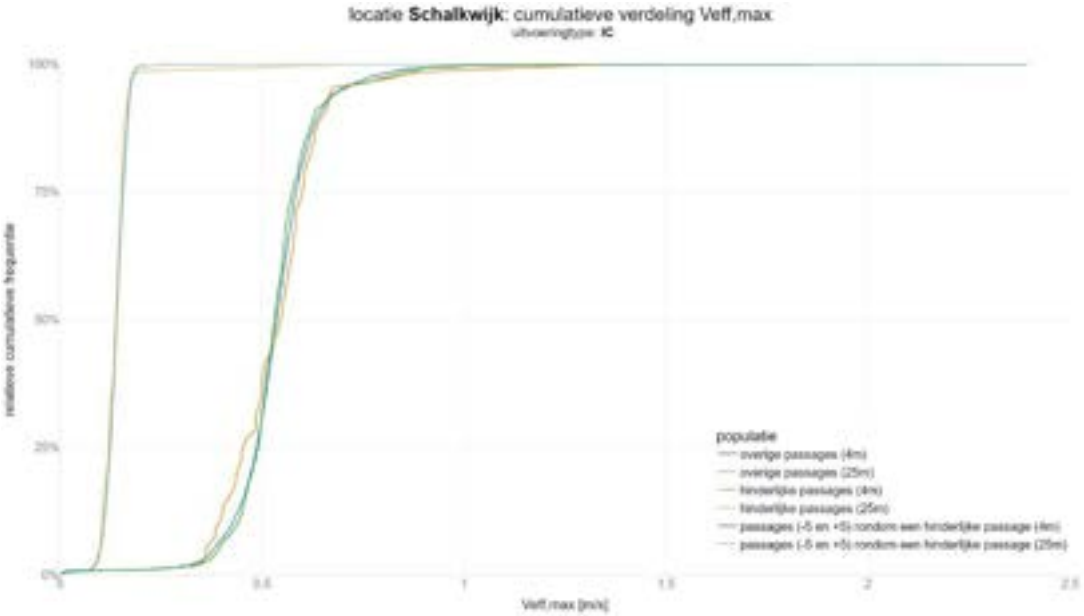
figuur 117 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m voor goederentreinen en relatie met hinder*



figuur 118 *Cumulatieve verdeling van $V_{eff,max}$ waardes voor goederentreinen*

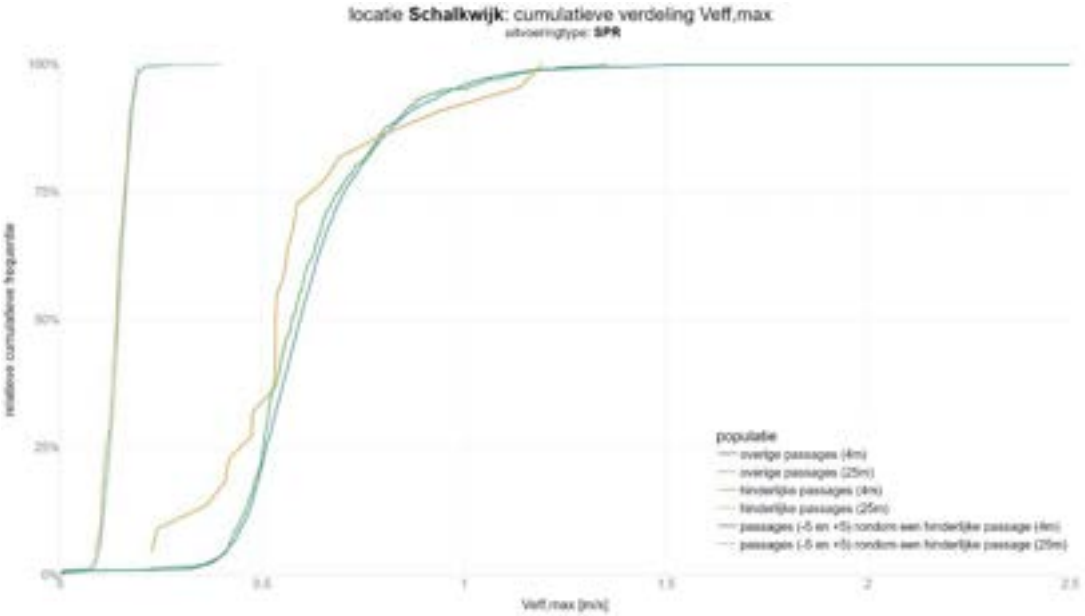


figuur 119 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m voor intercity's en relatie met hinder*



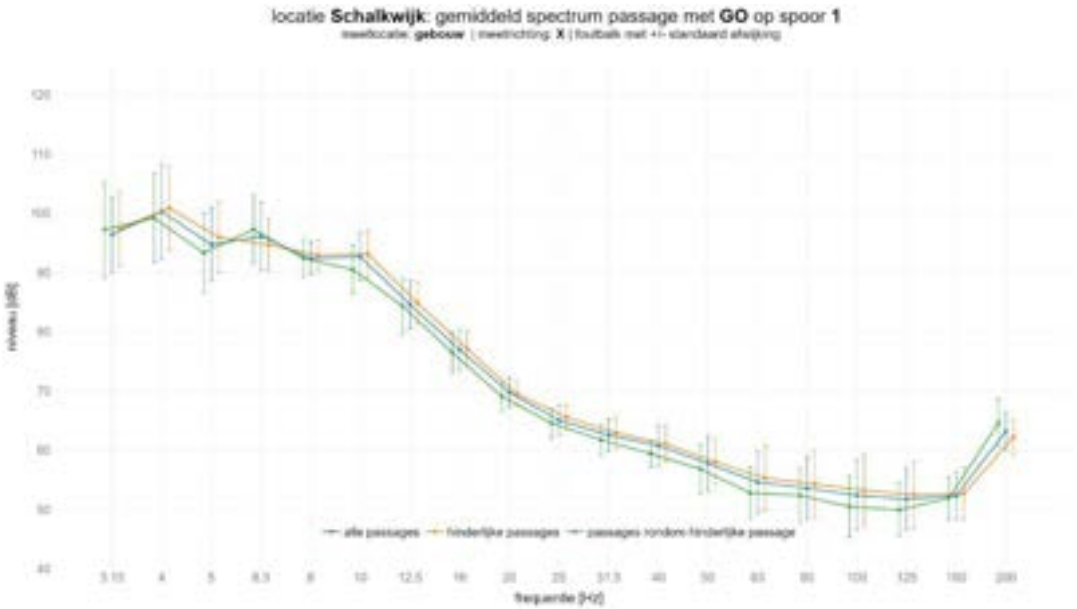
figuur 120 *Cumulatieve verdeling van $V_{eff,max}$ waardes voor intercity's*

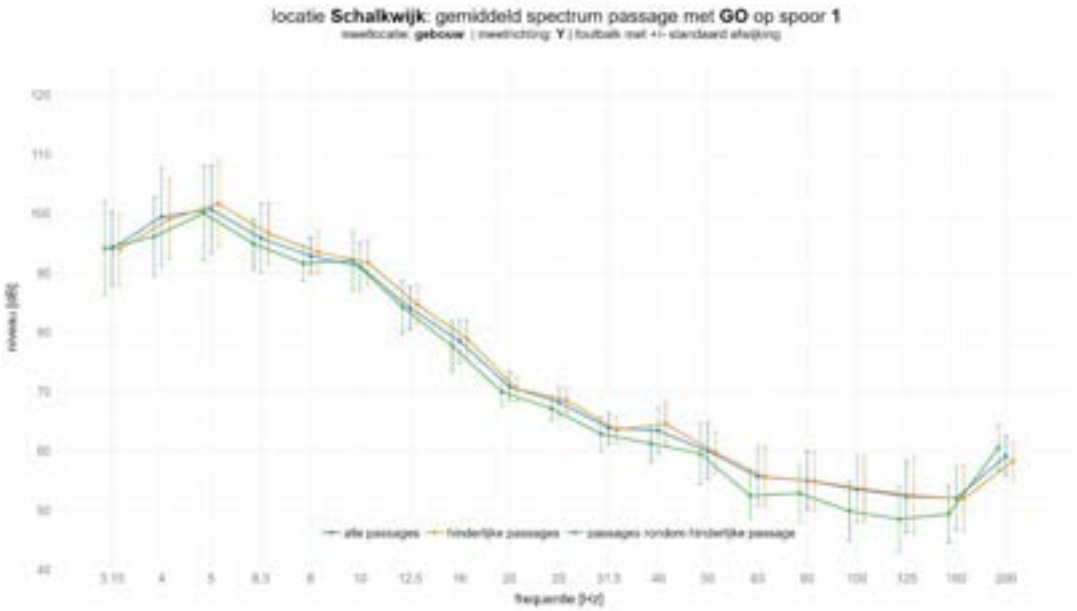
figuur 121 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m voor sprinters en verband met hinder*

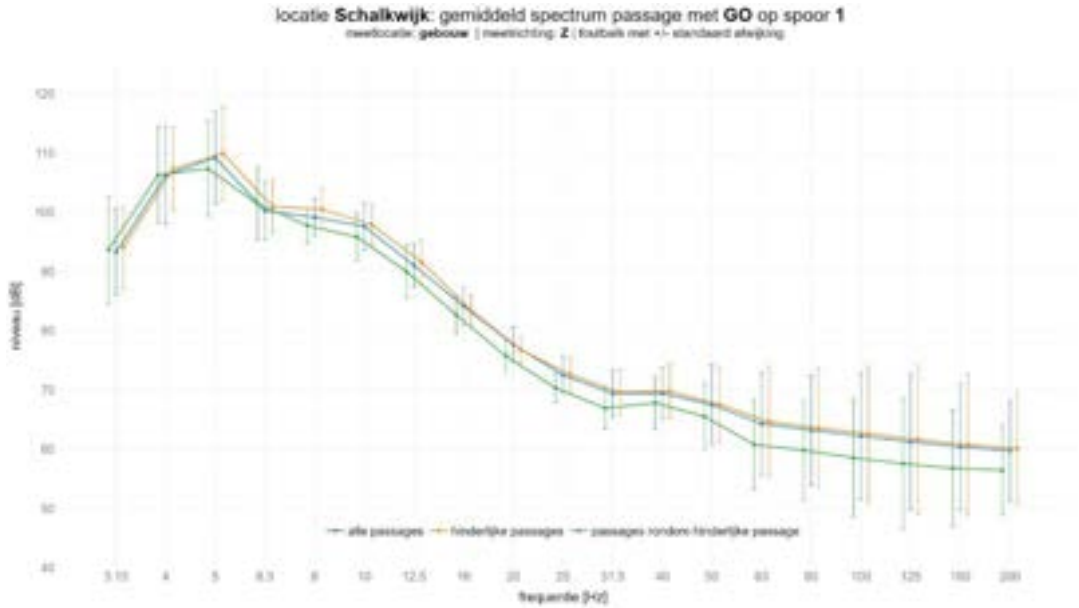


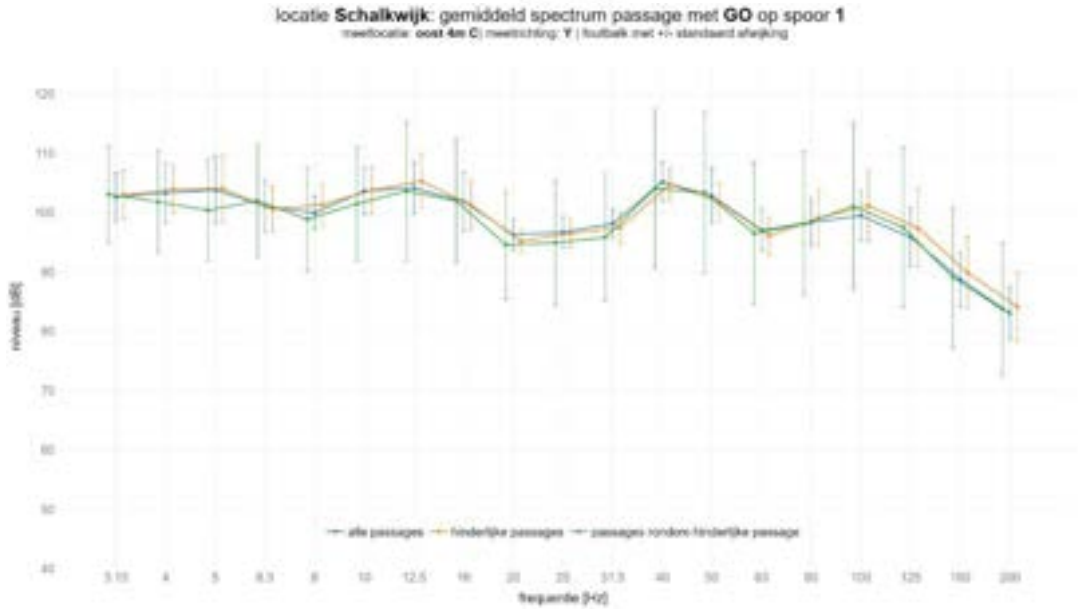
figuur 122 *Cumulatieve verdeling van $V_{eff,max}$ waardes voor sprinters*

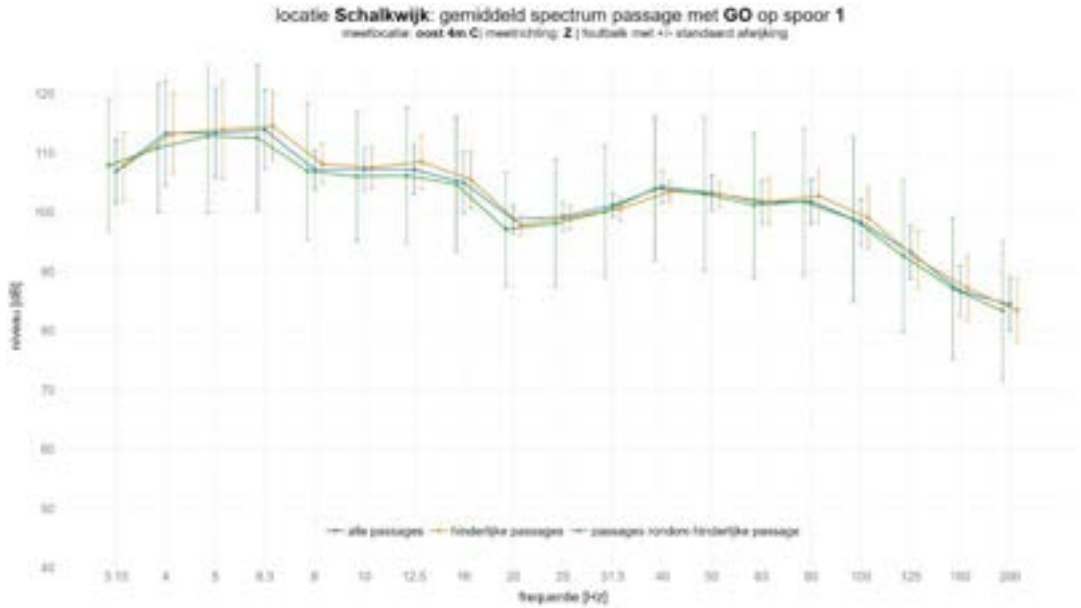
E Schalkwijk: trillingsspectra

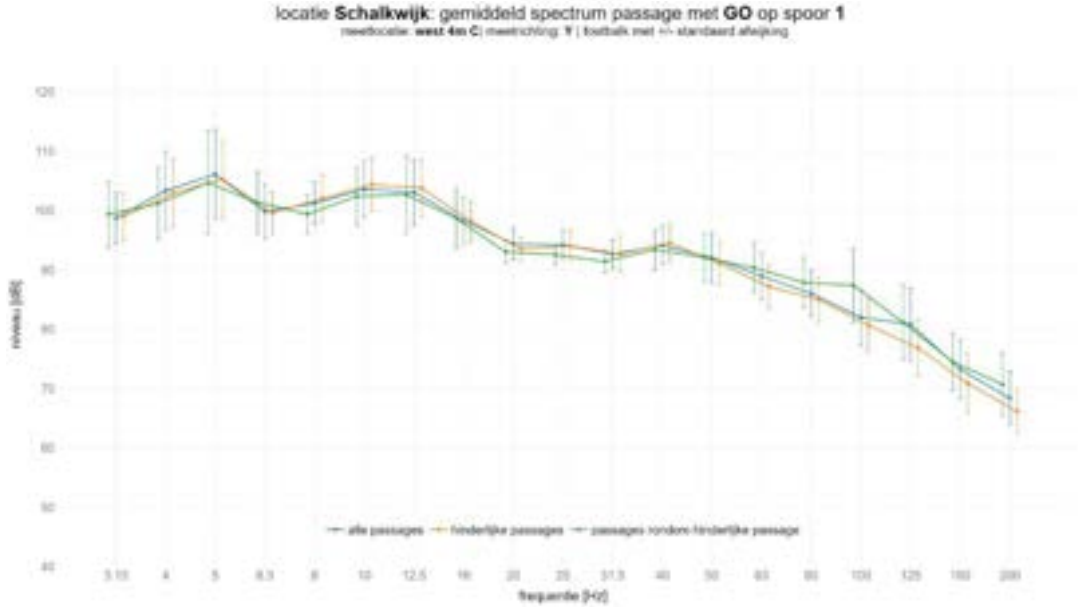


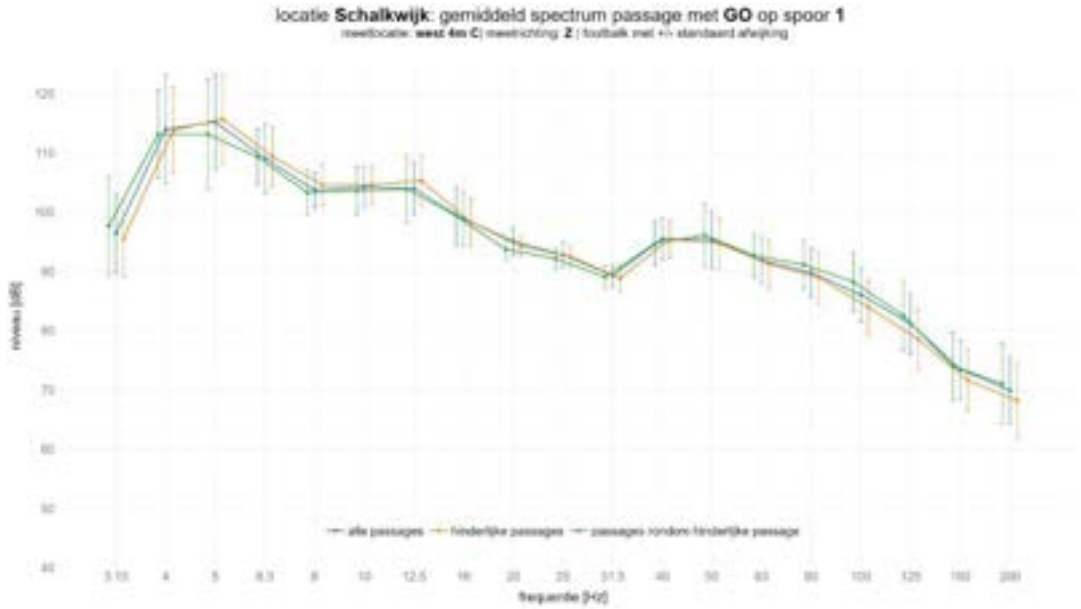


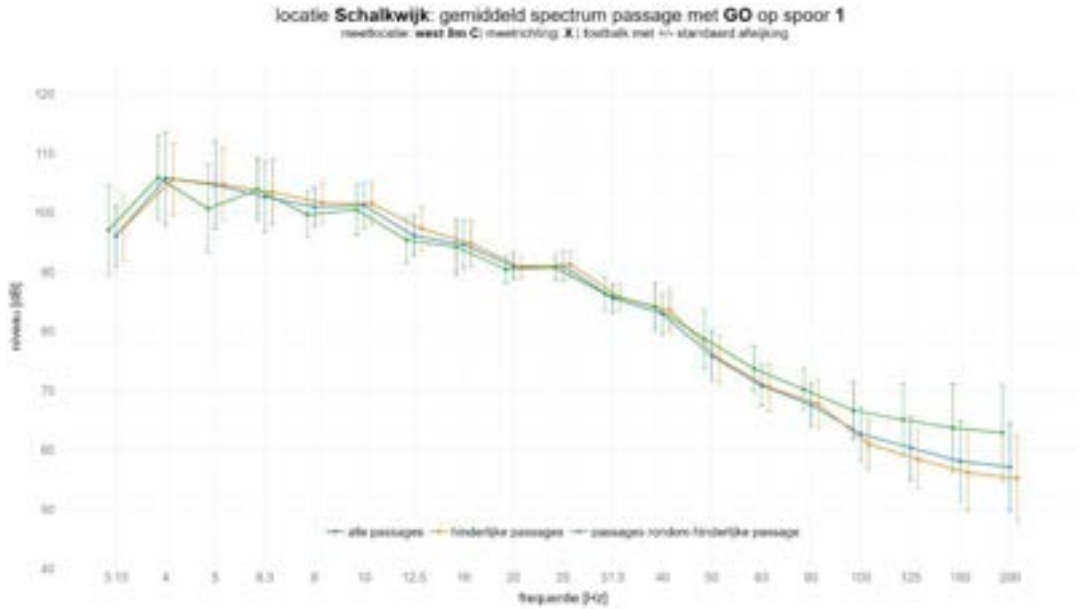

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

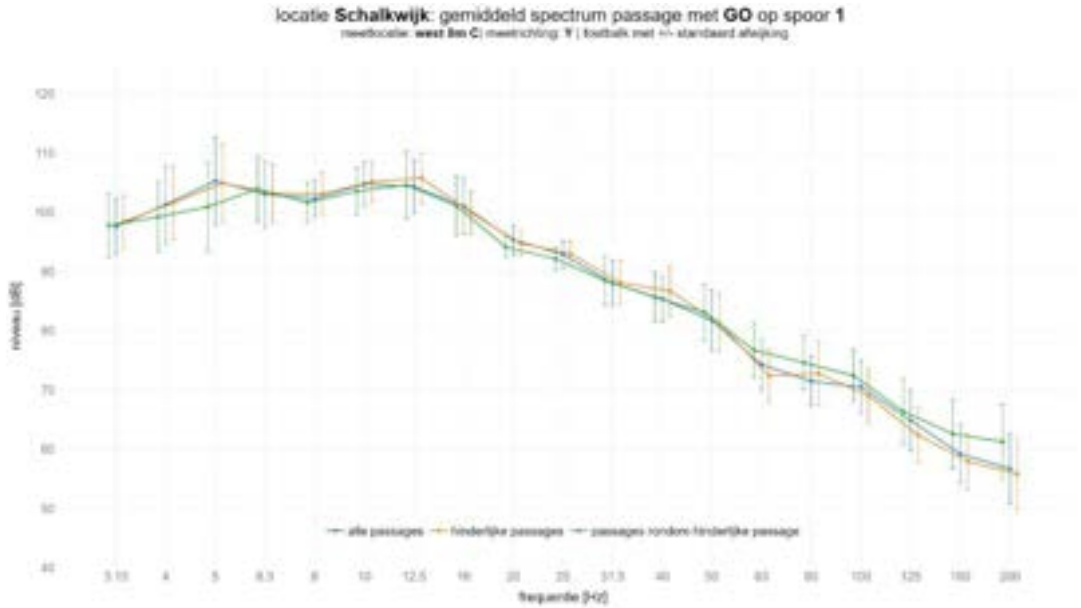

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

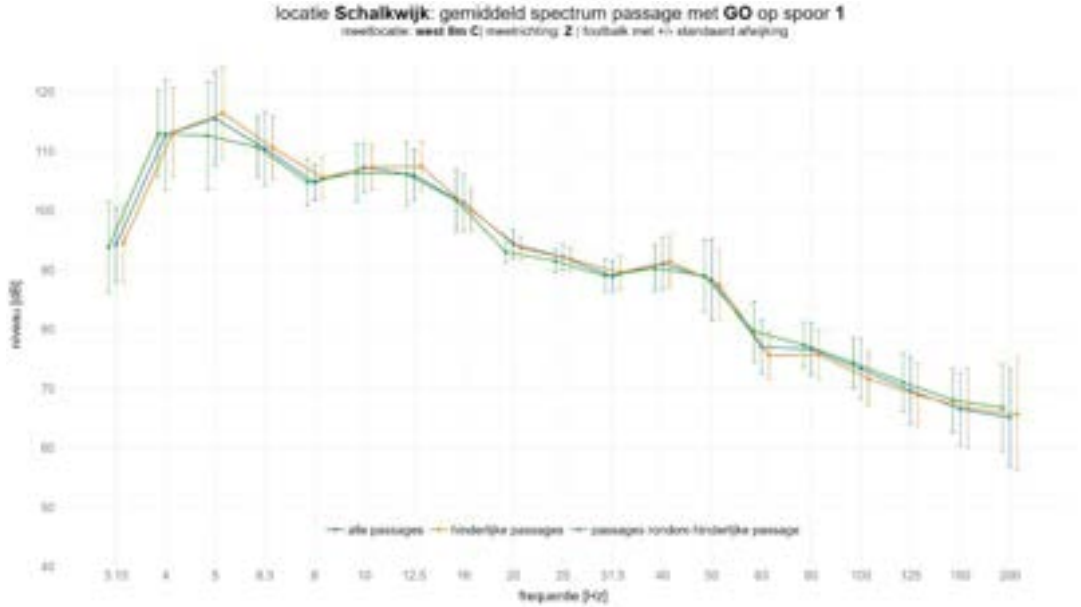

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

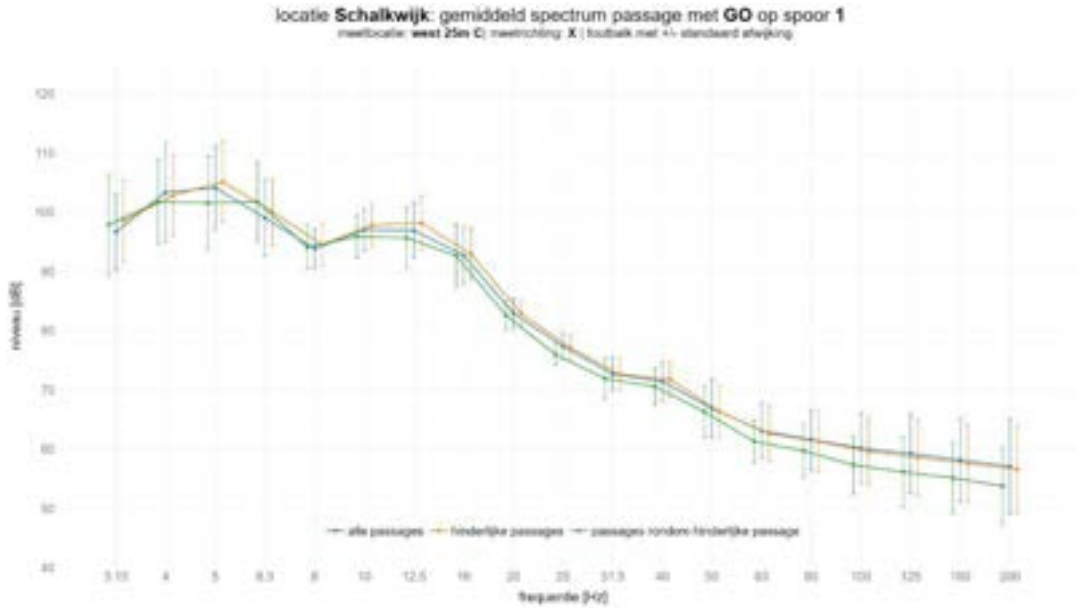

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

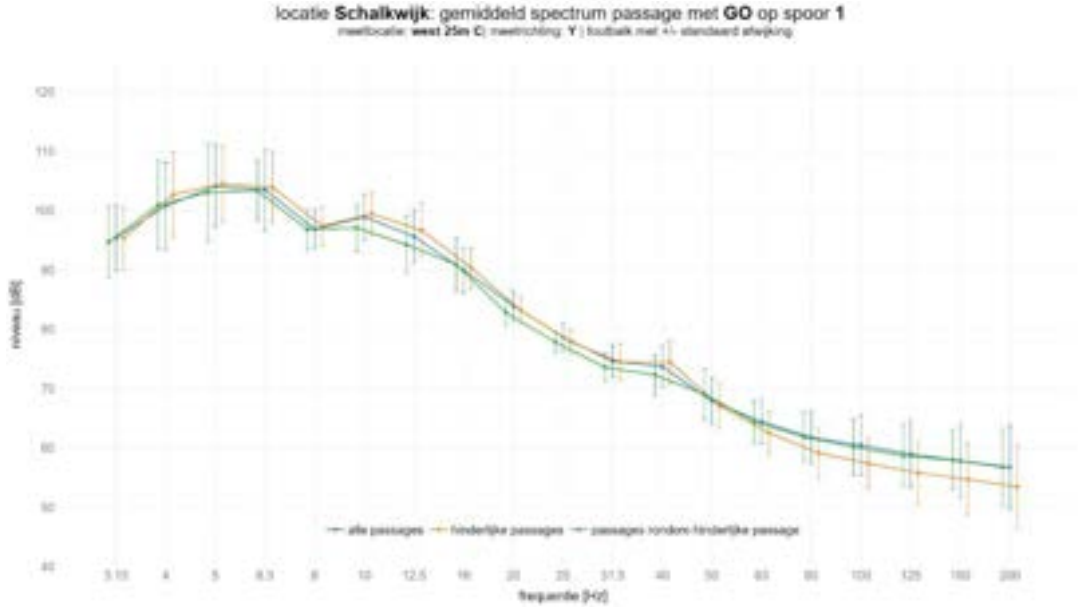

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

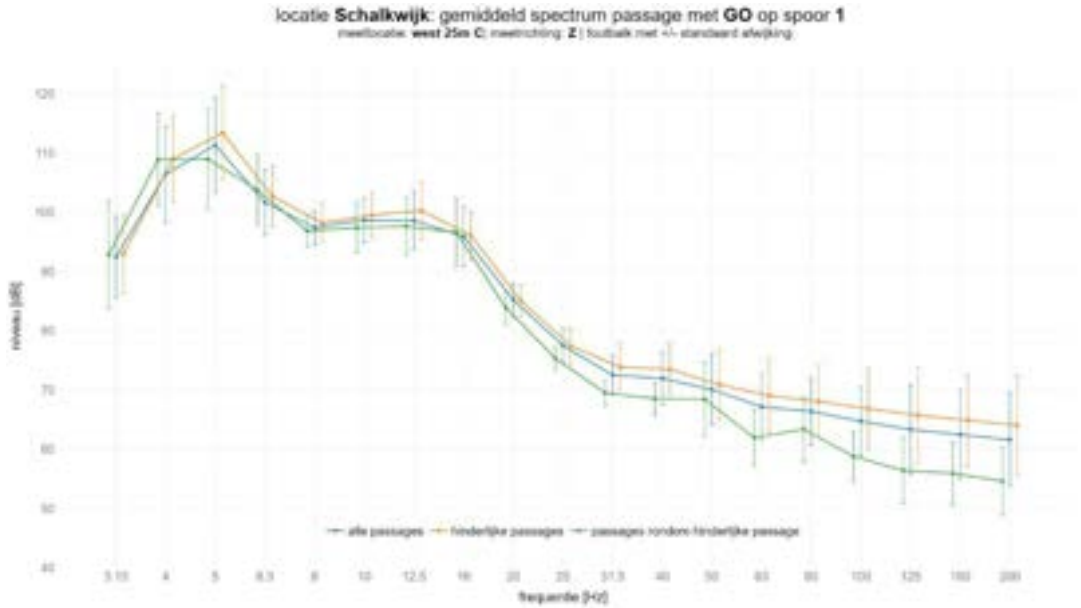

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **west 8m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

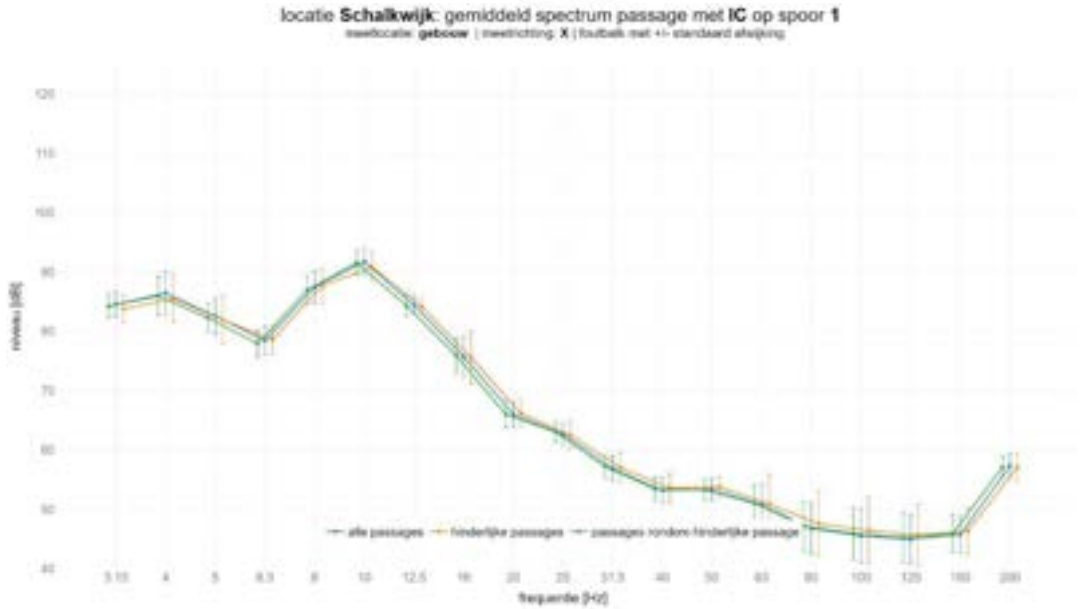

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **west 8m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

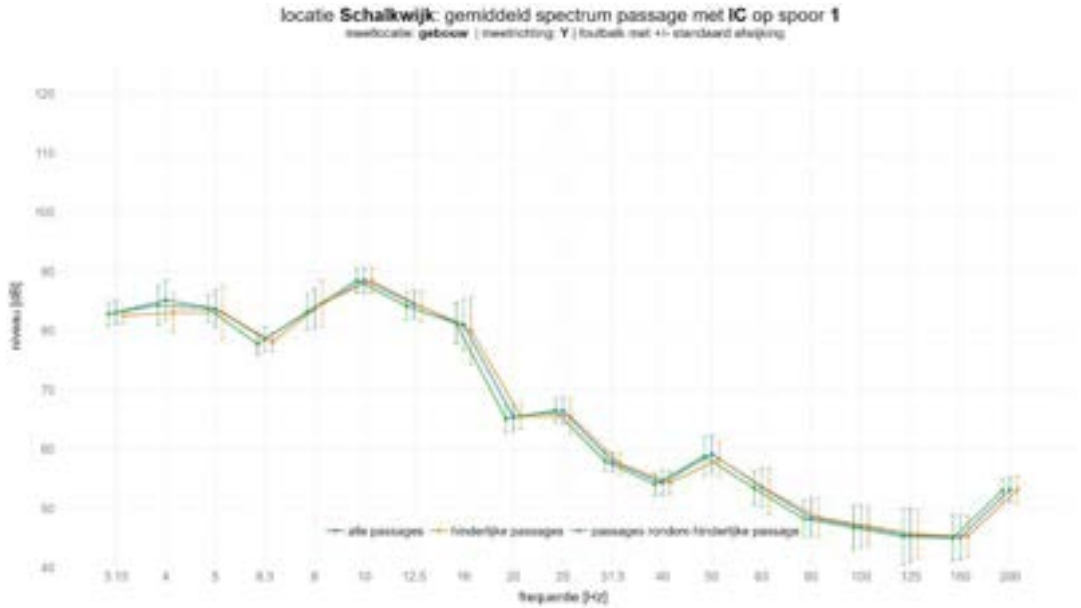

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **west 8m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

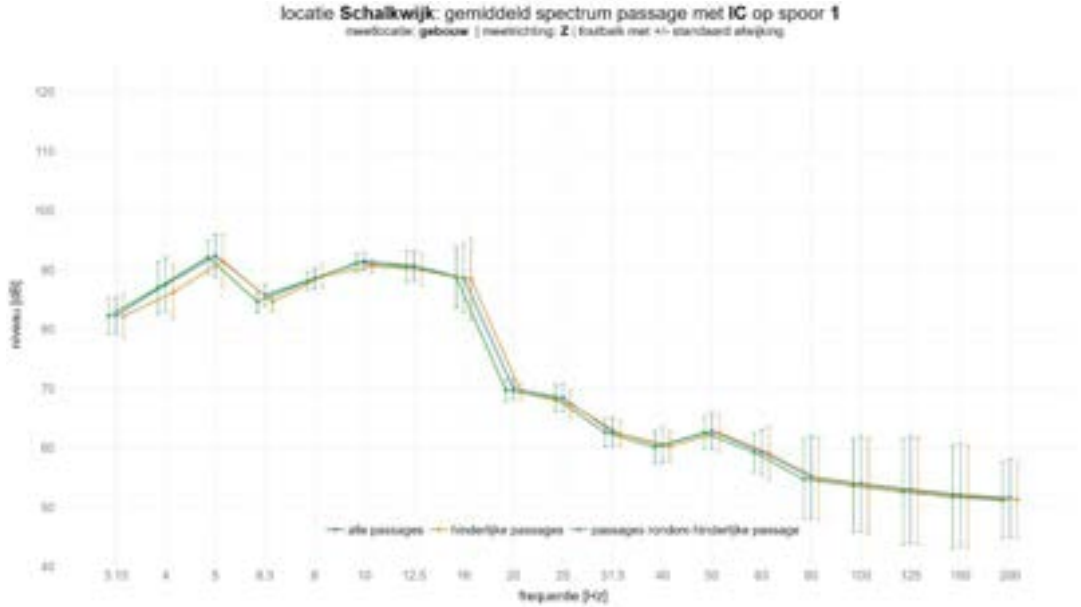

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

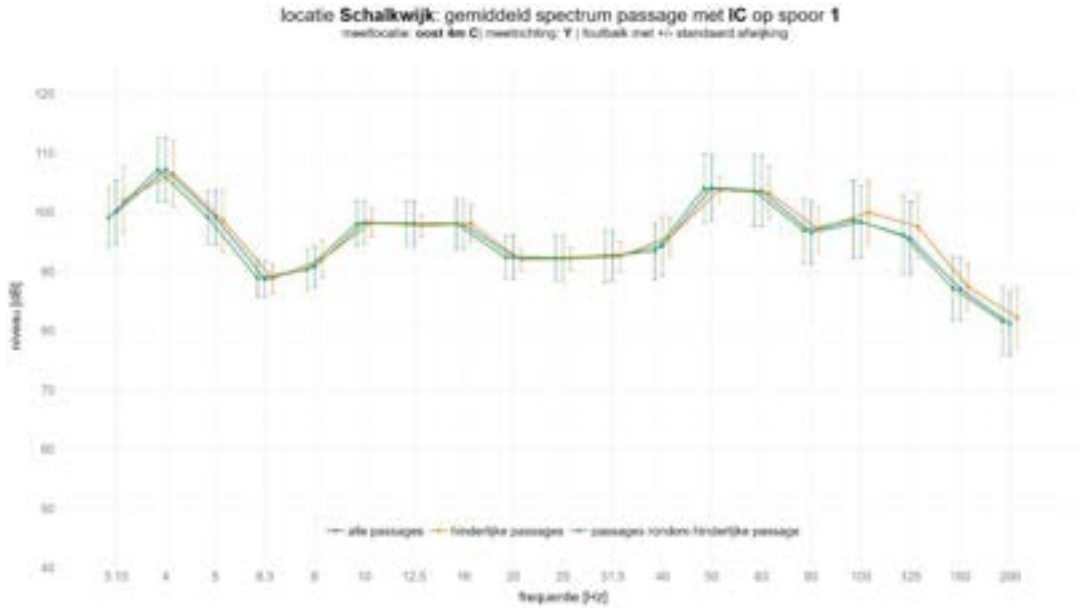

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

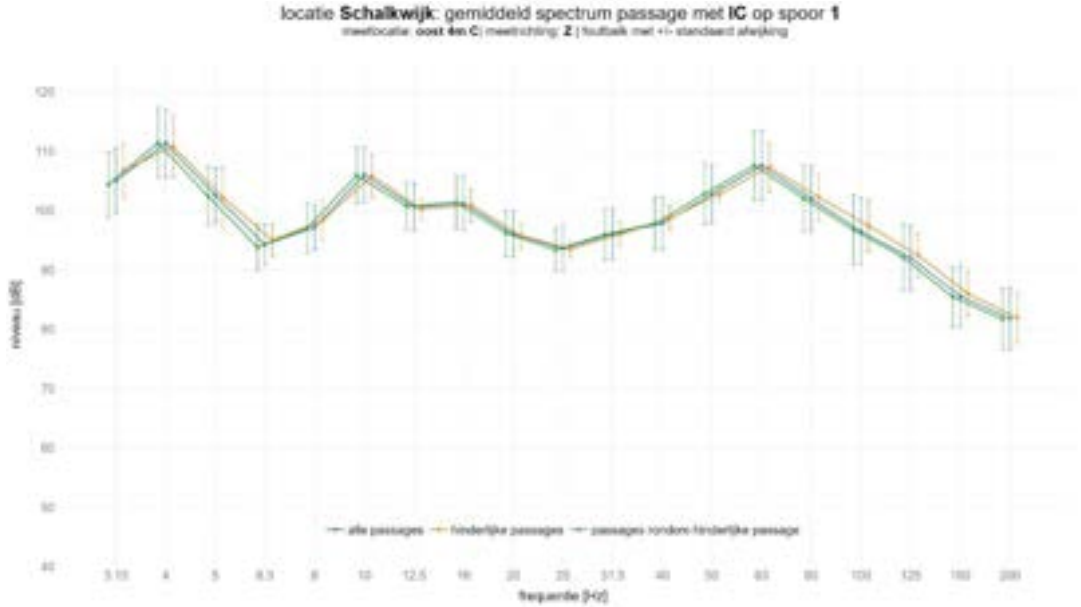

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

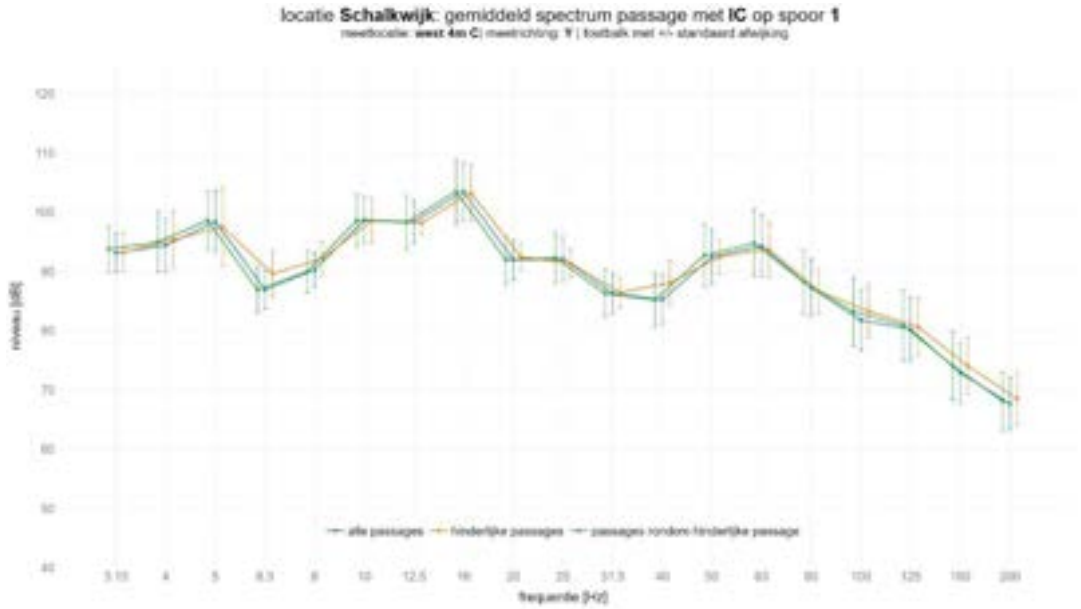

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

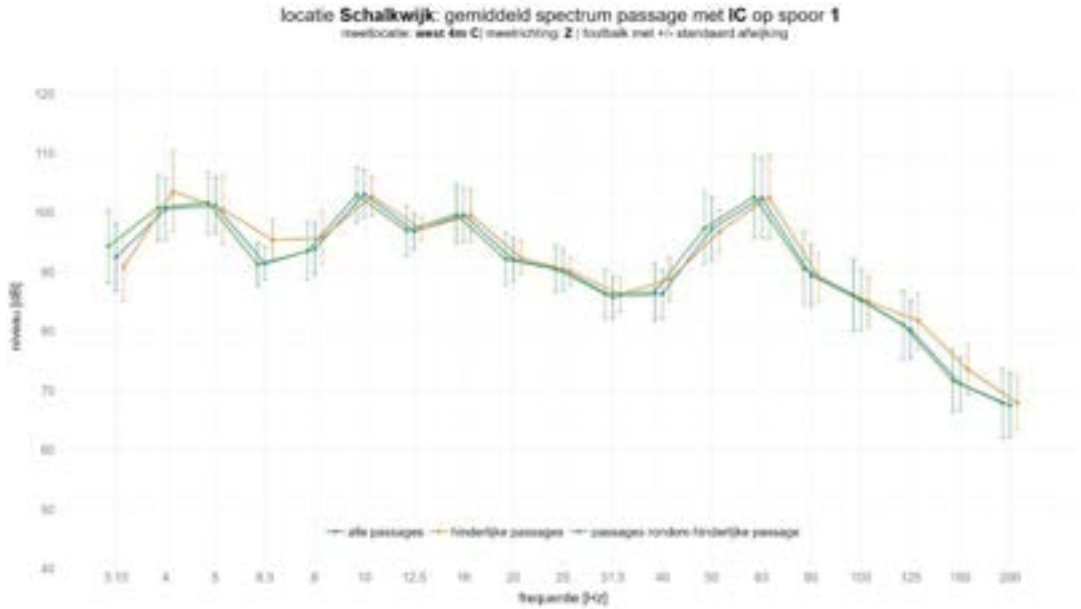

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

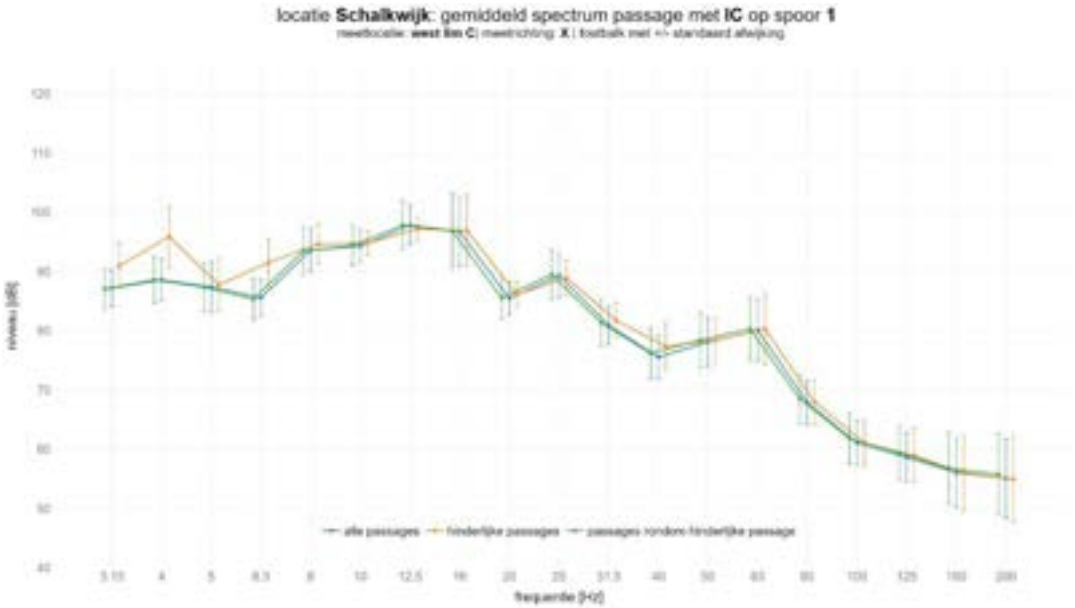

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

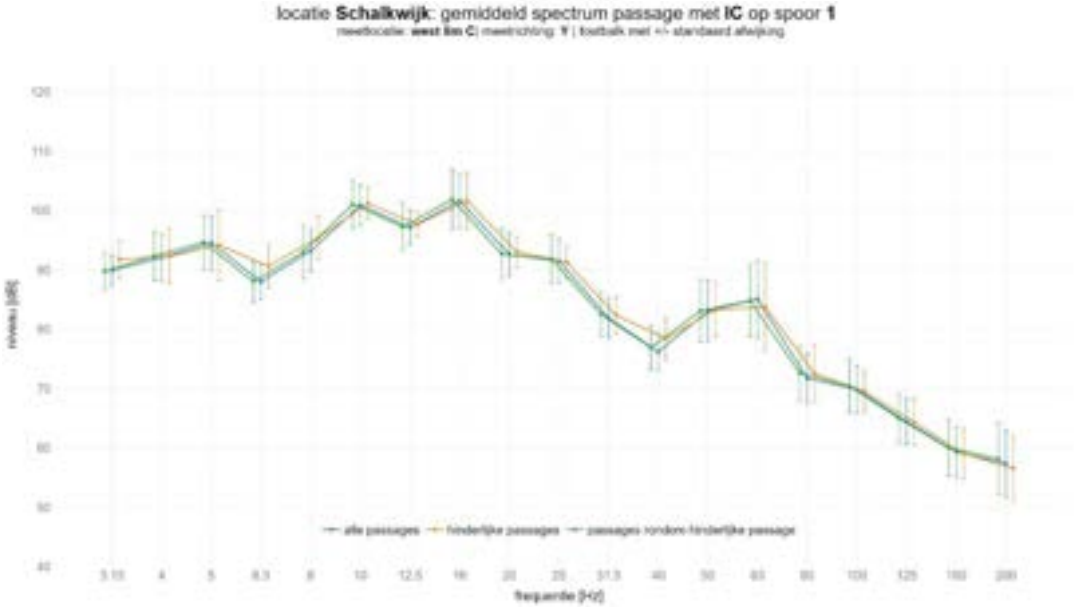

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

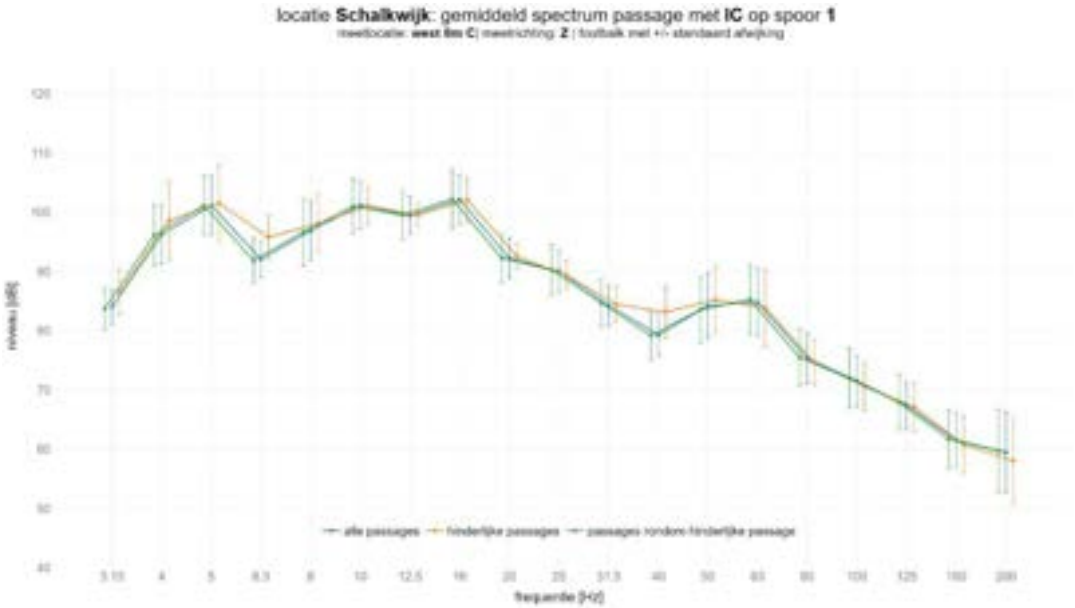

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

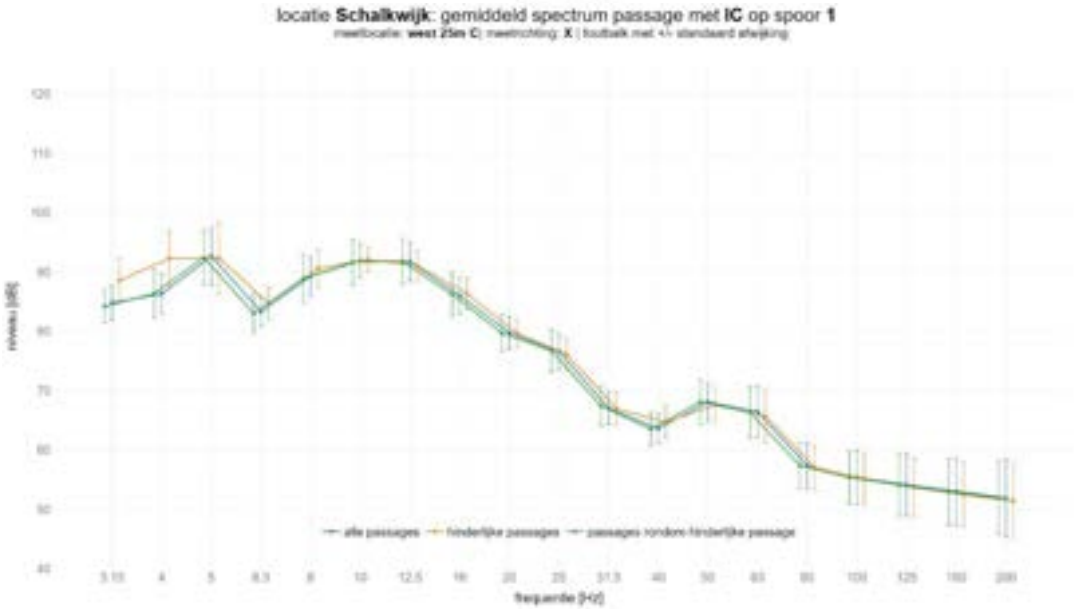

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

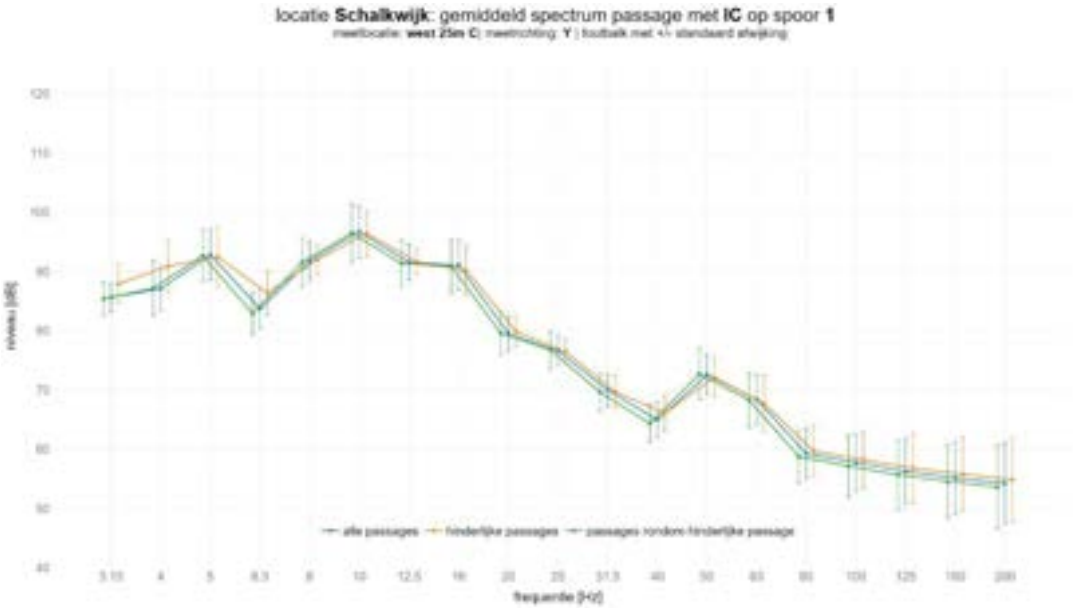

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

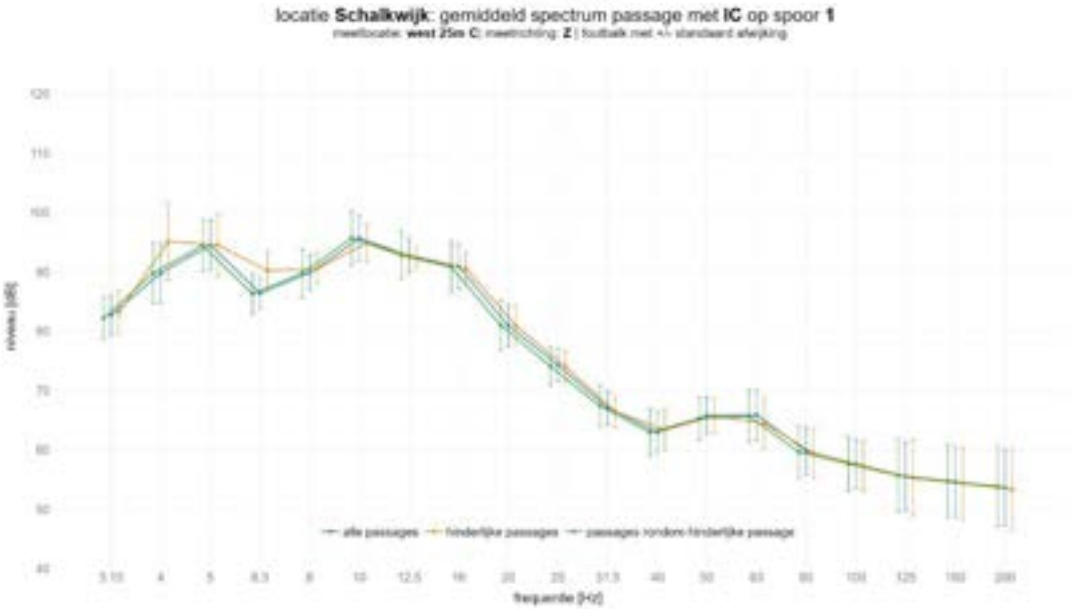

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **west 6m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

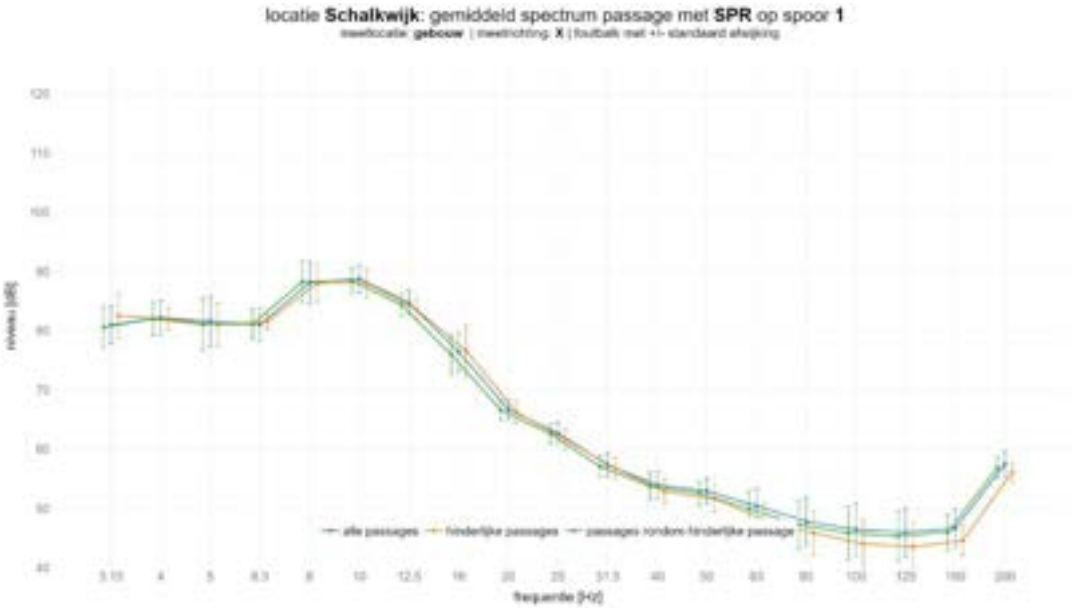

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **west 6m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

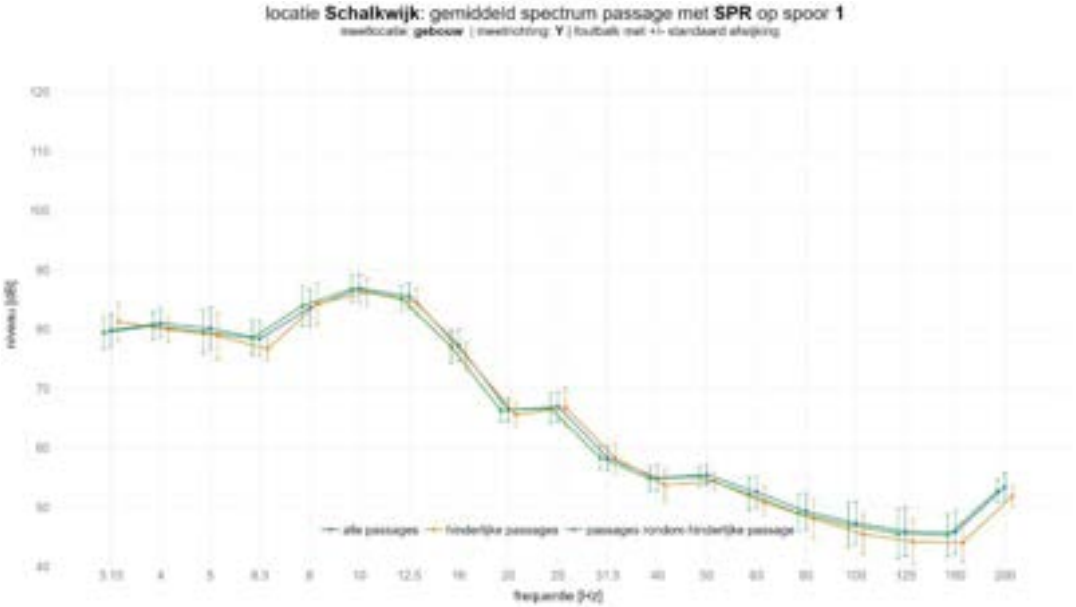

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **west 0m C**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage


locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage


locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

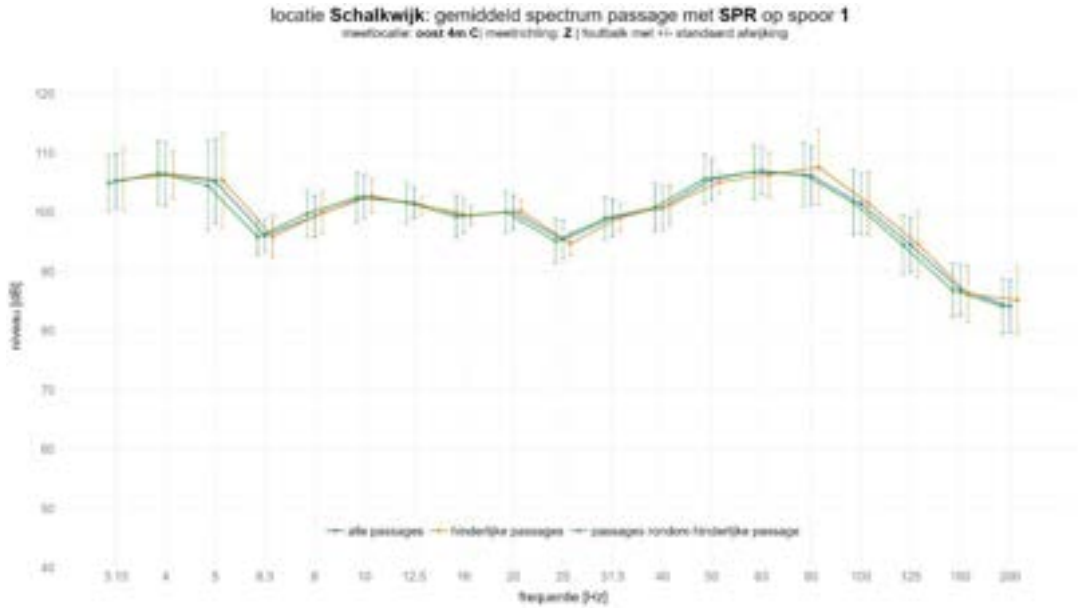

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

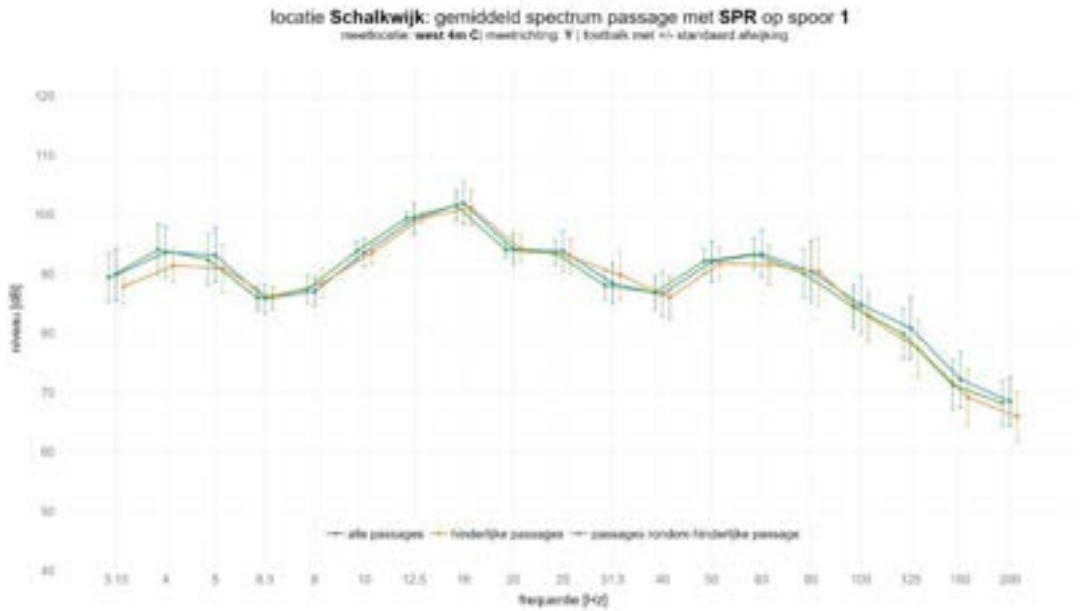

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

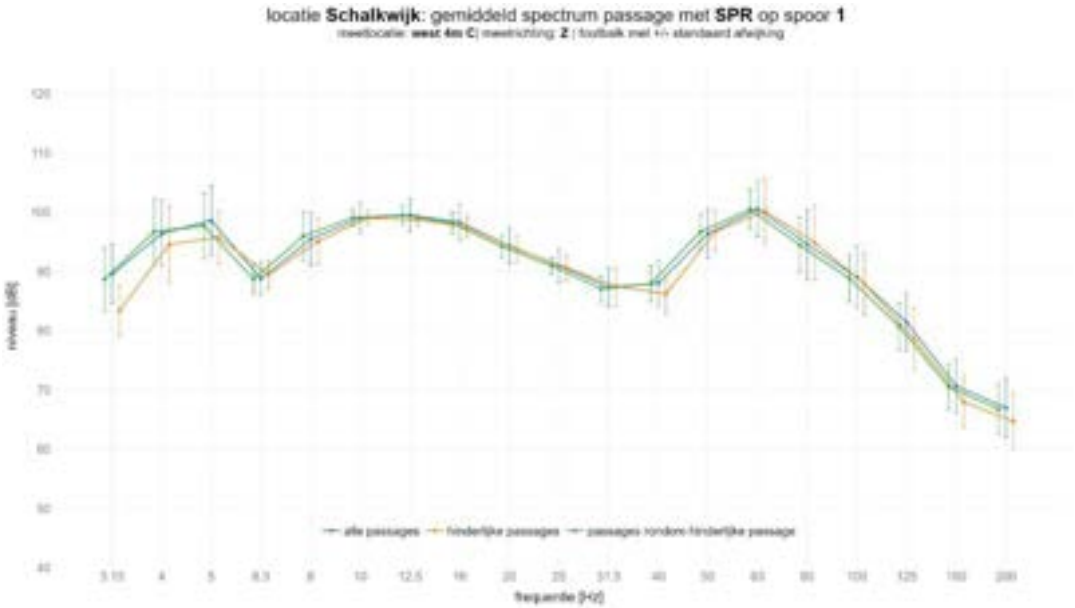

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

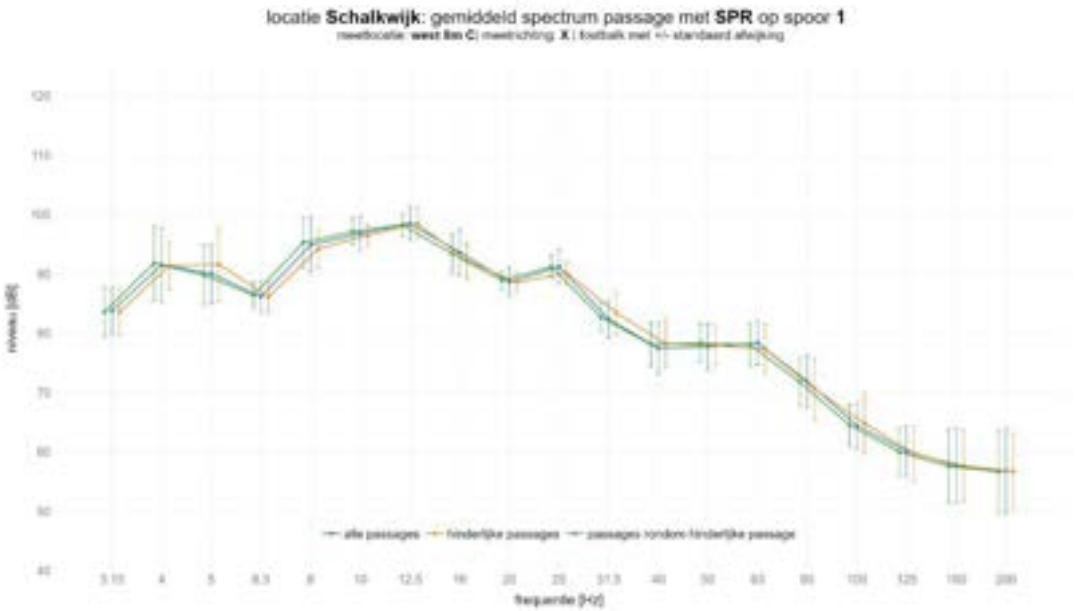
locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

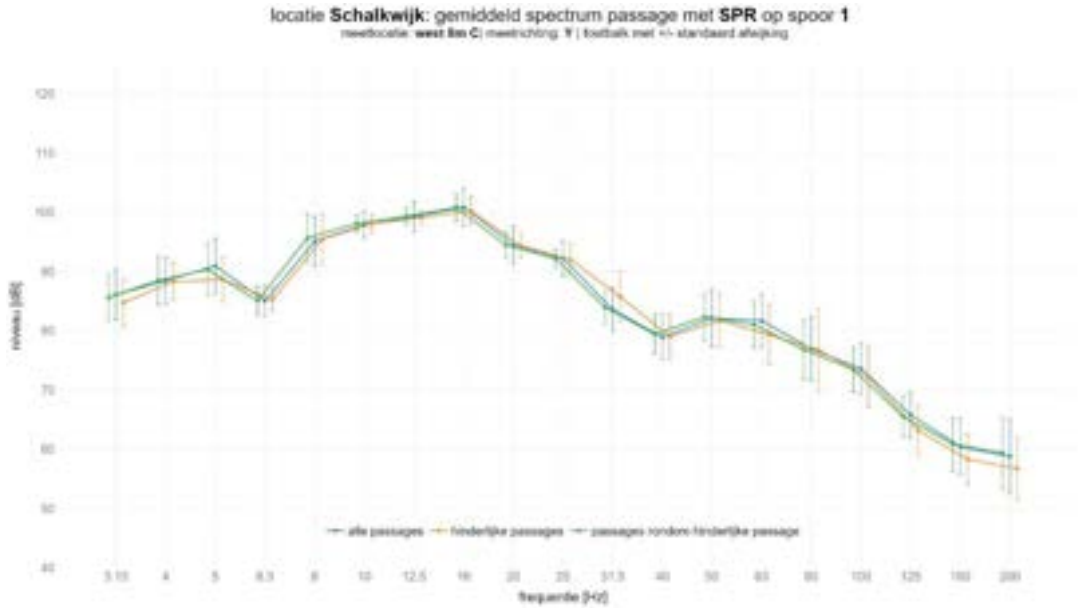
locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage


locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

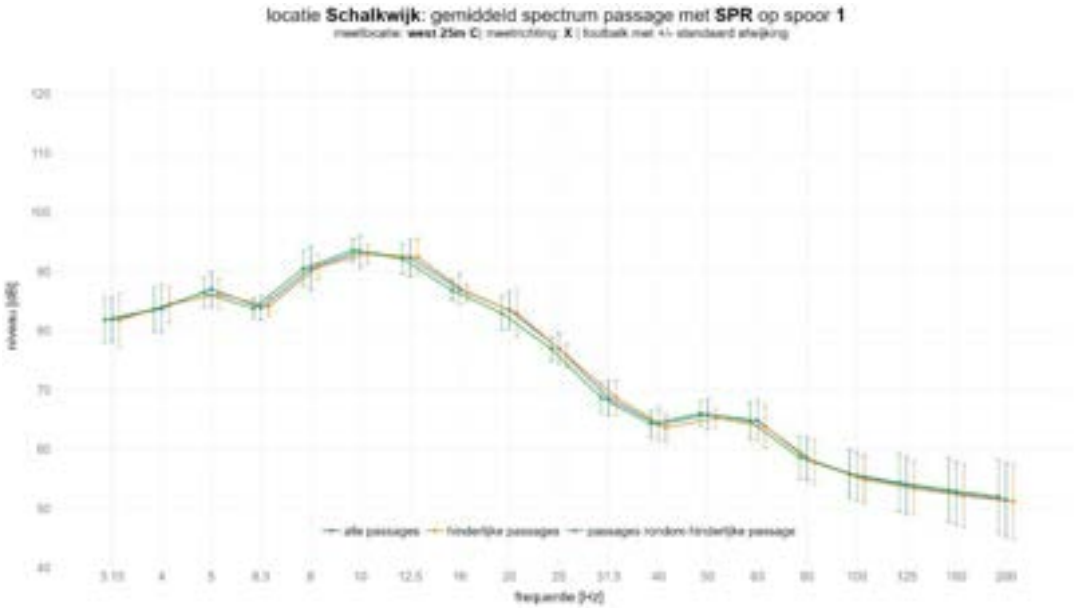

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

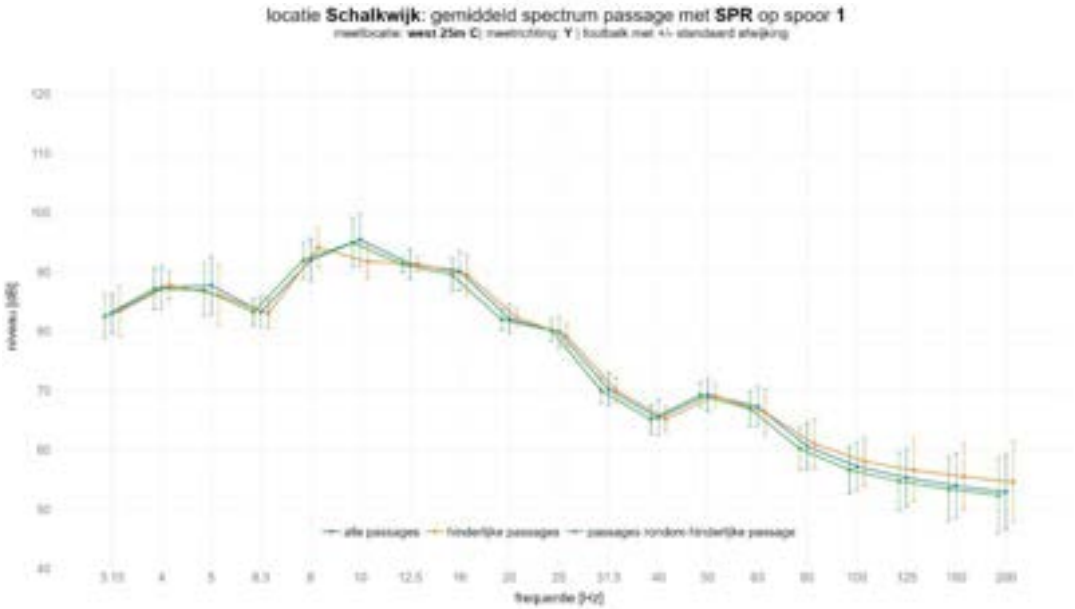

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

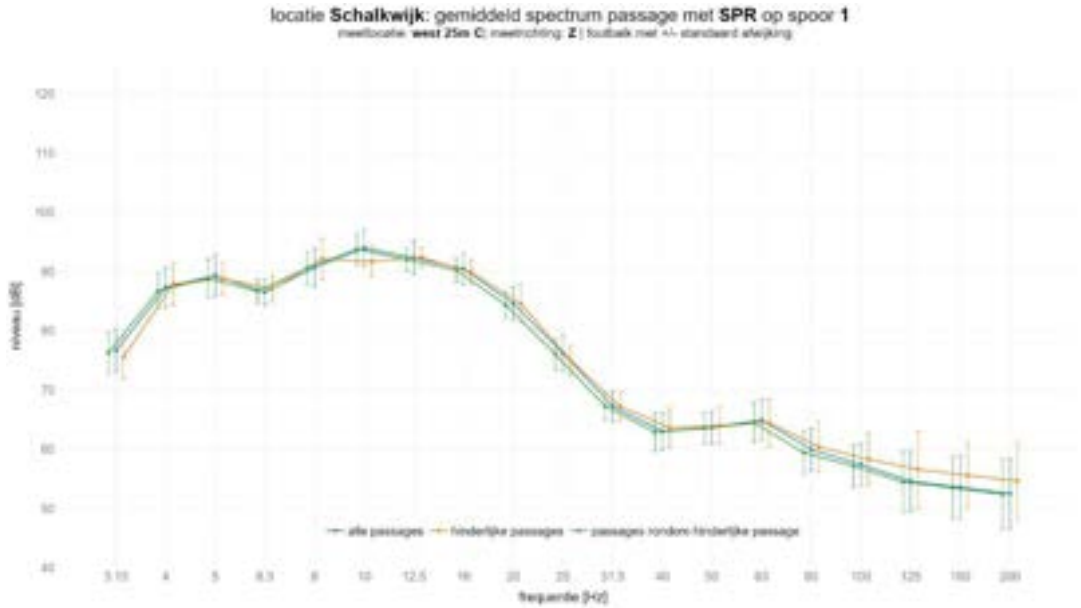

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **west 8m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

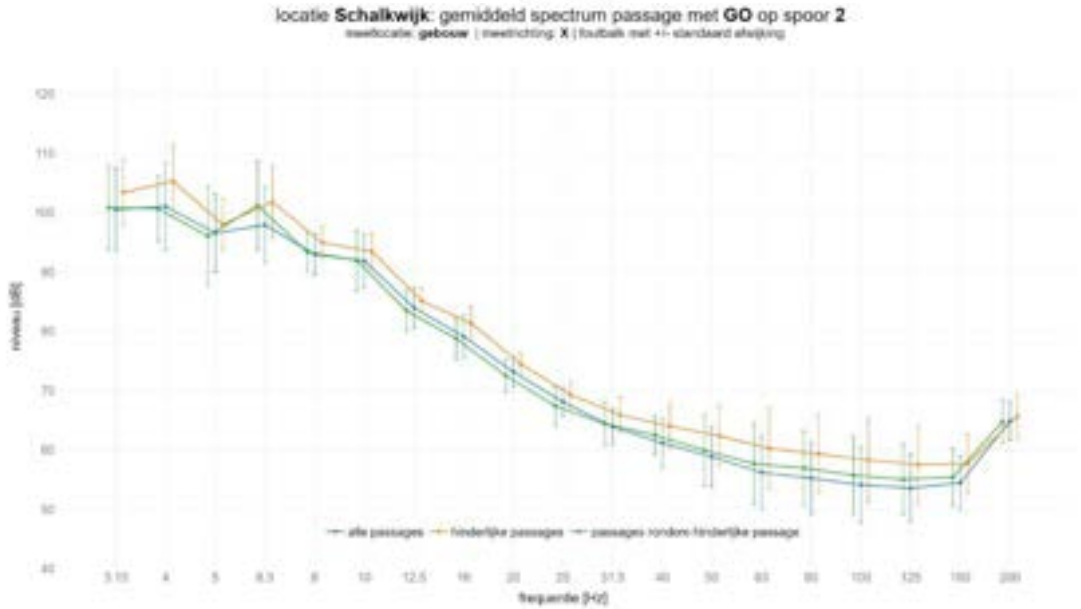

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **west 5m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

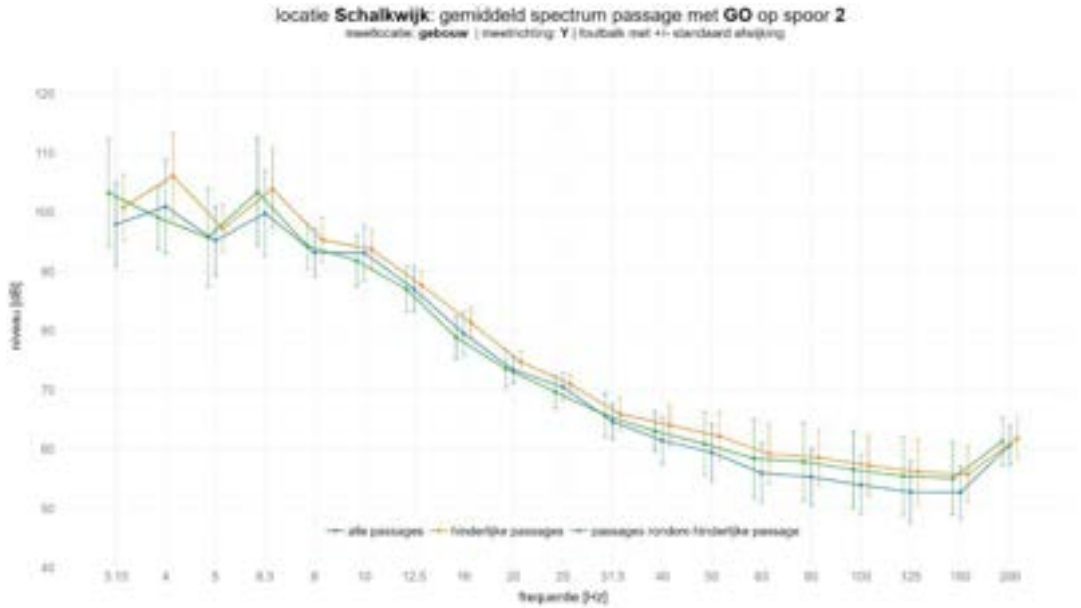
locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **west 5m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

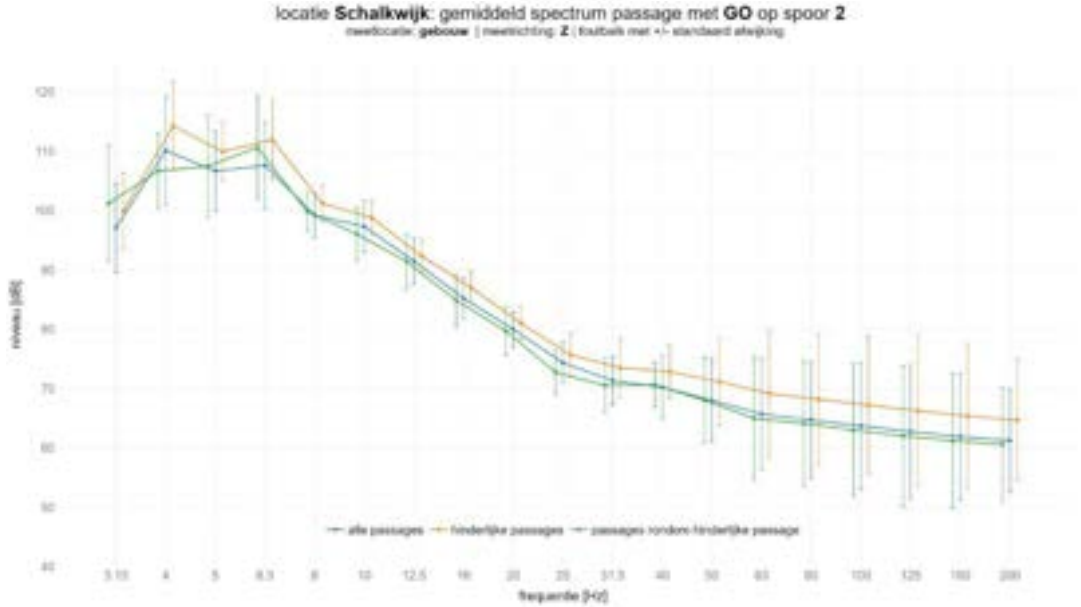

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

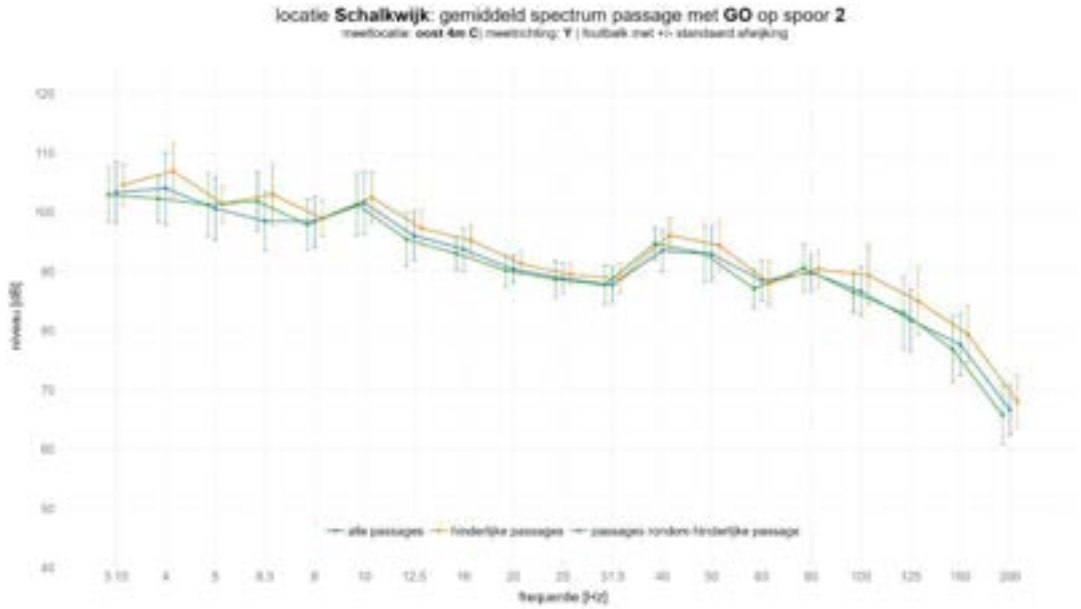

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

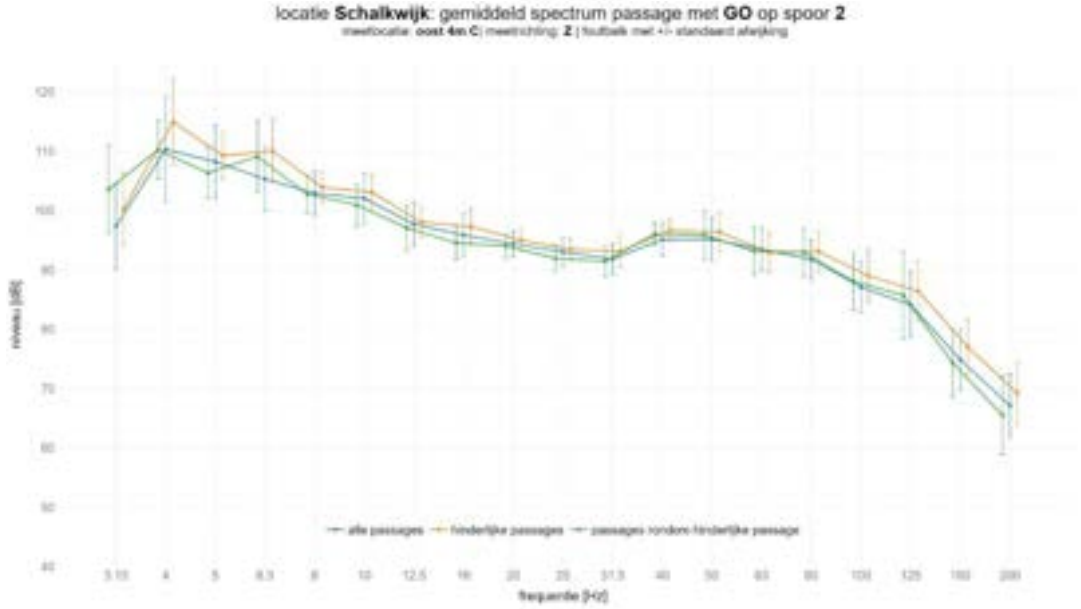

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

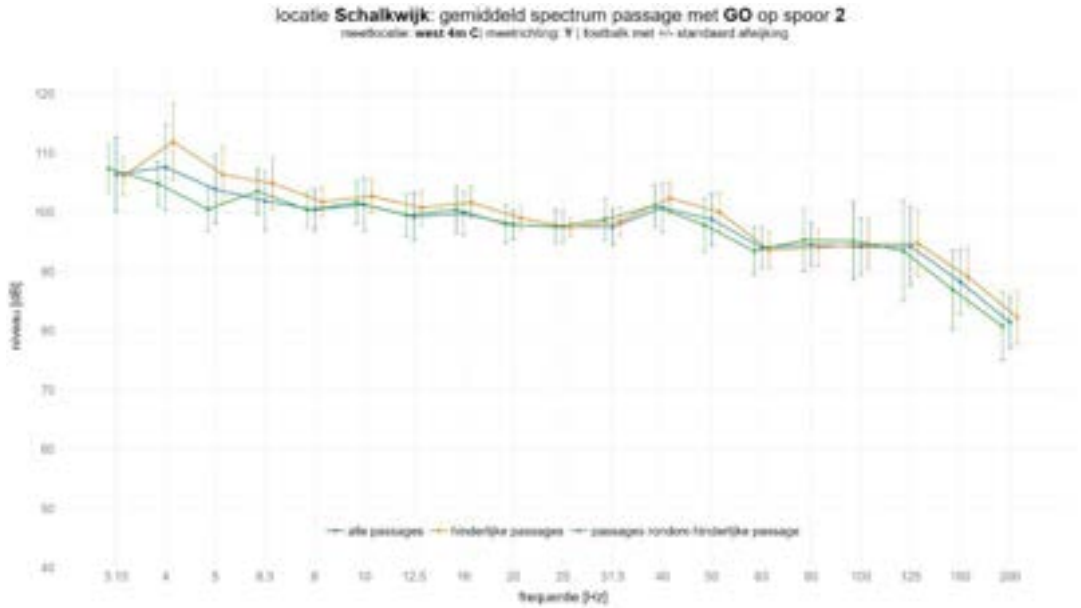

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

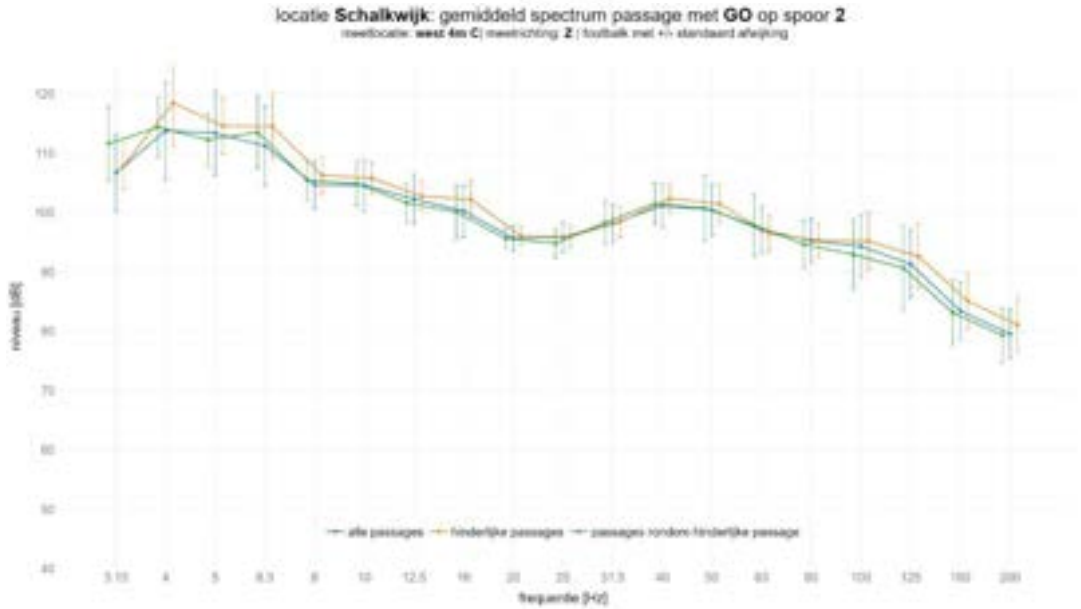

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

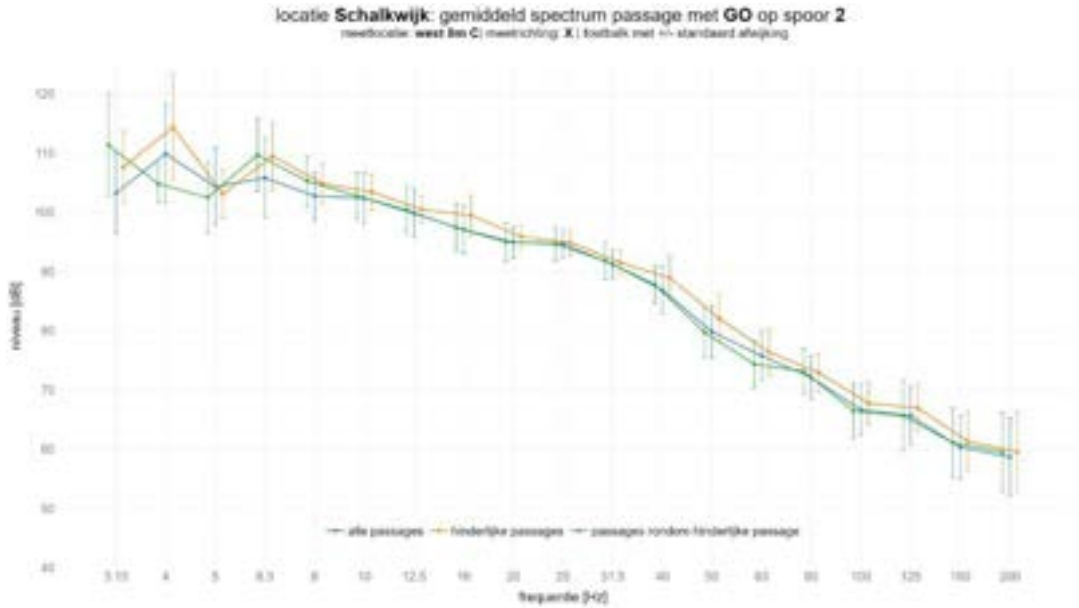

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

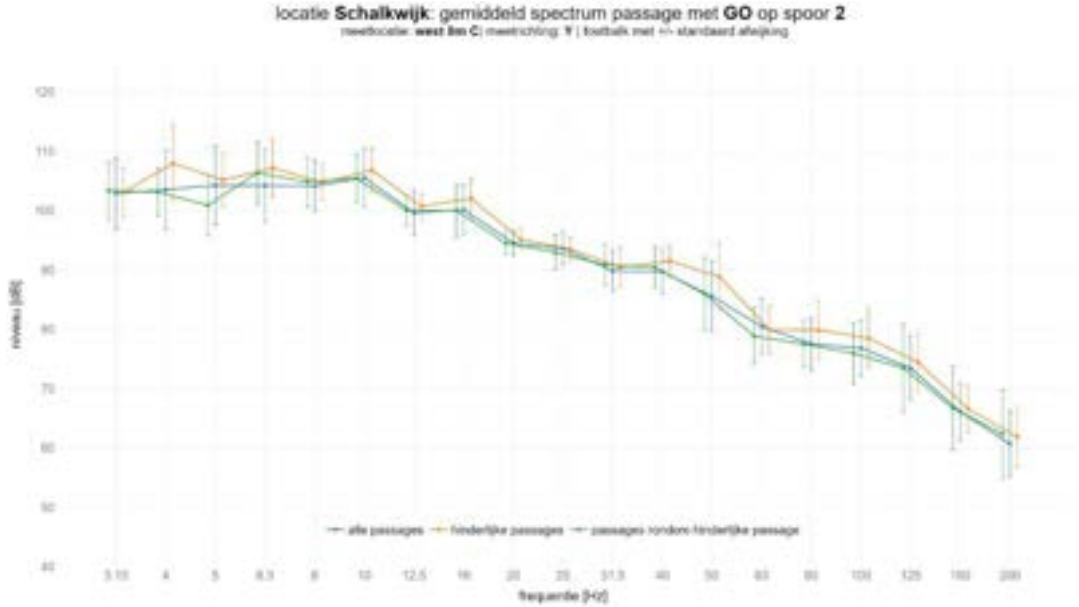

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

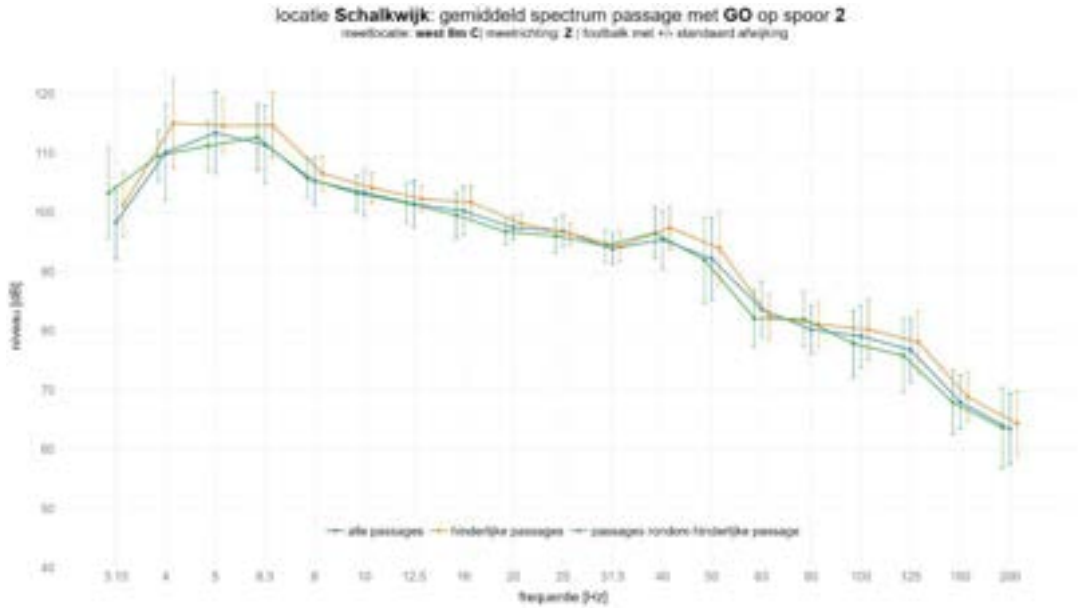

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

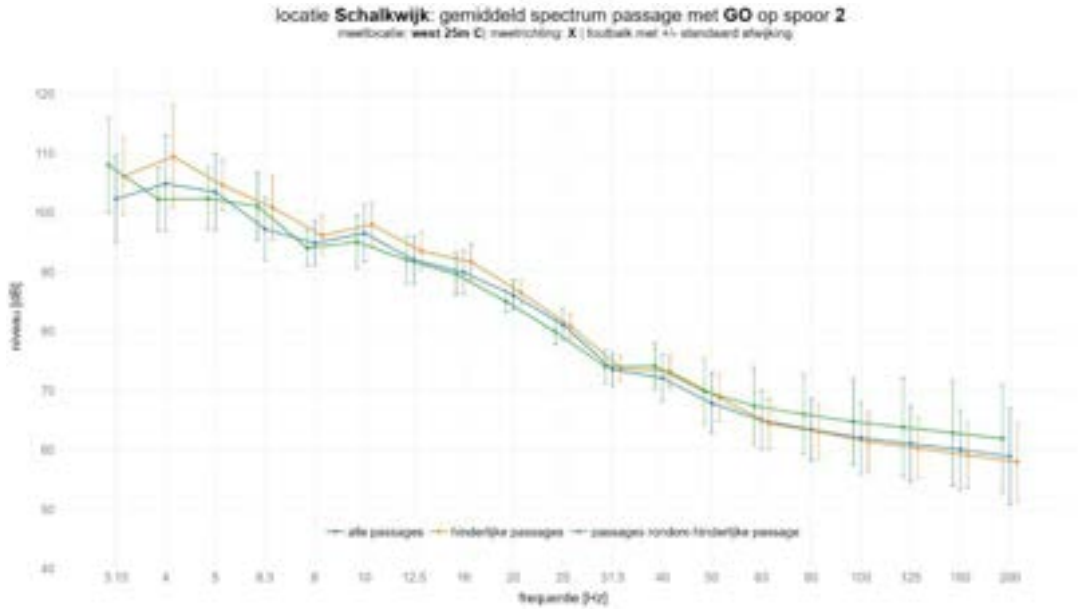

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

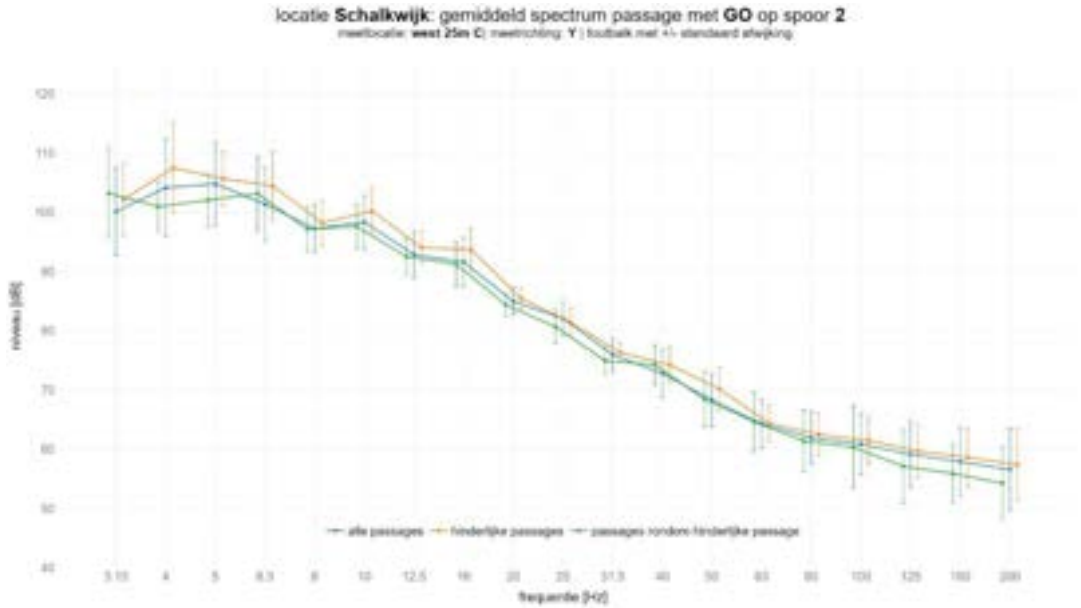

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

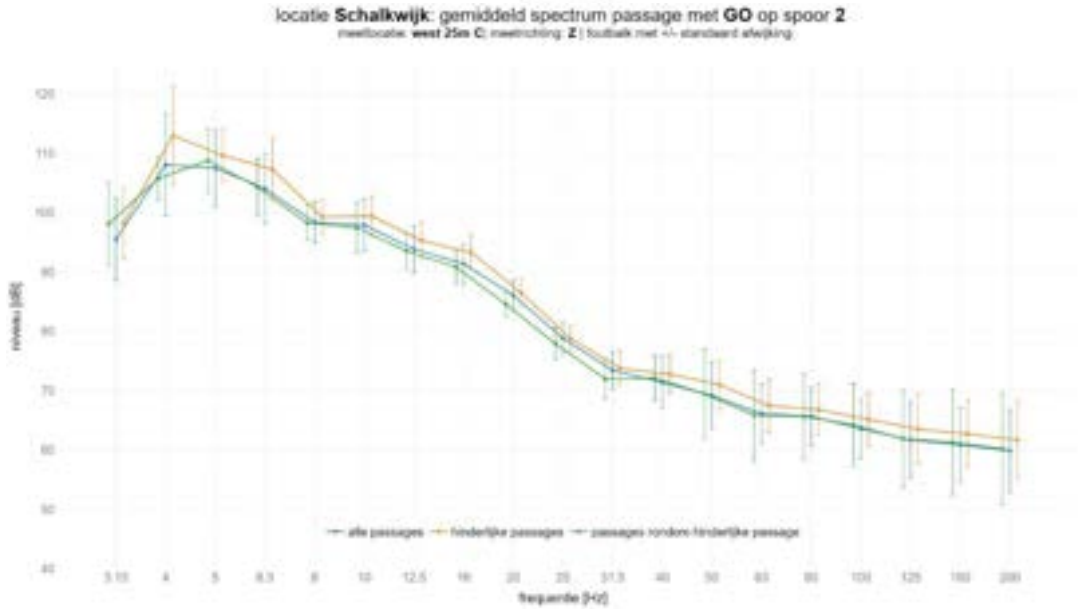

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **west 8m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

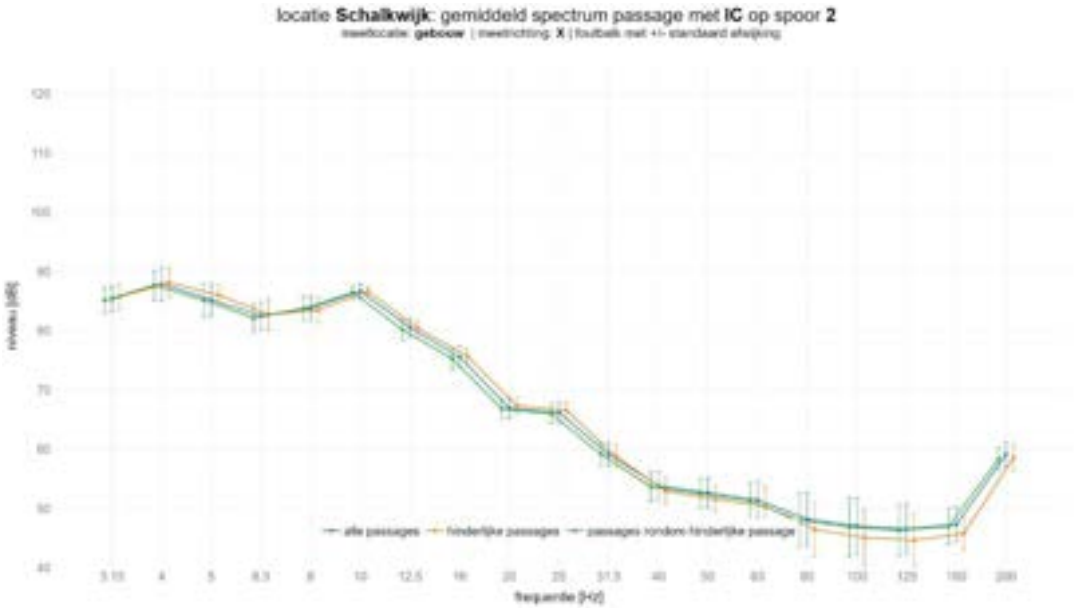

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **west 8m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

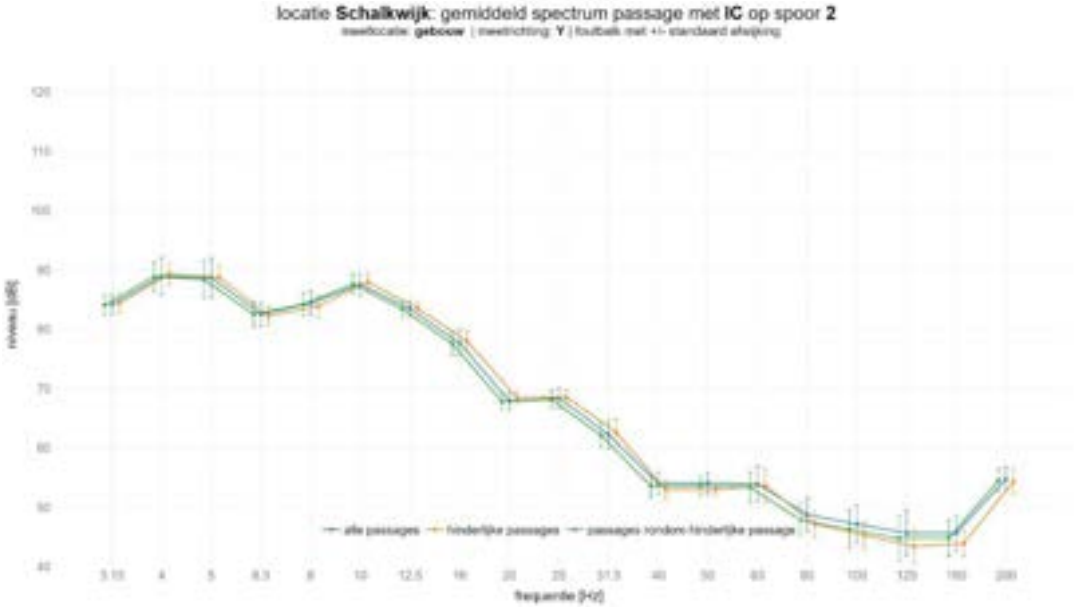

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **west 0m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

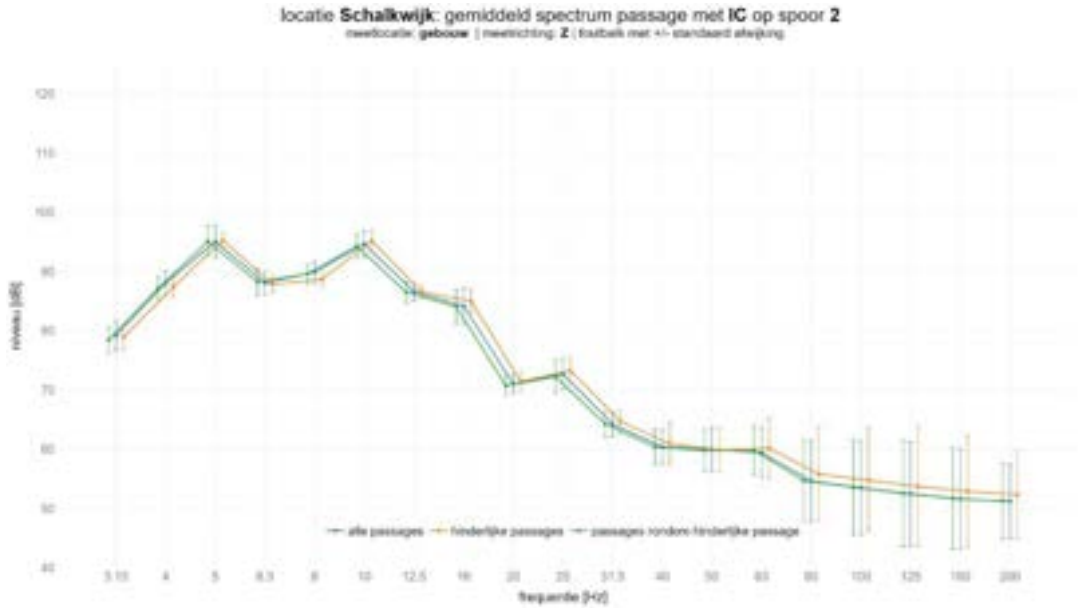

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

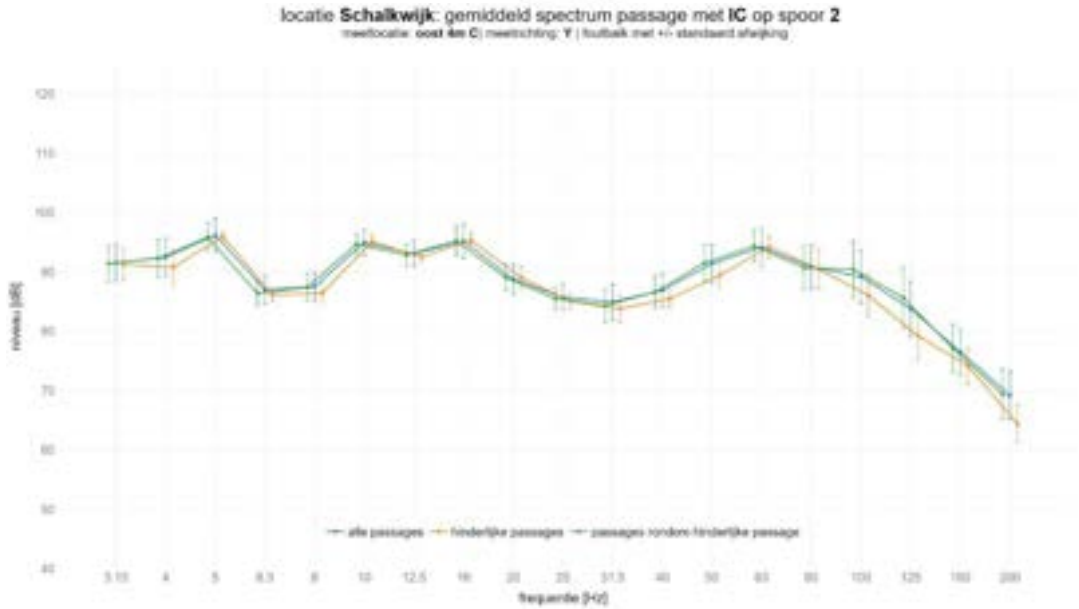

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

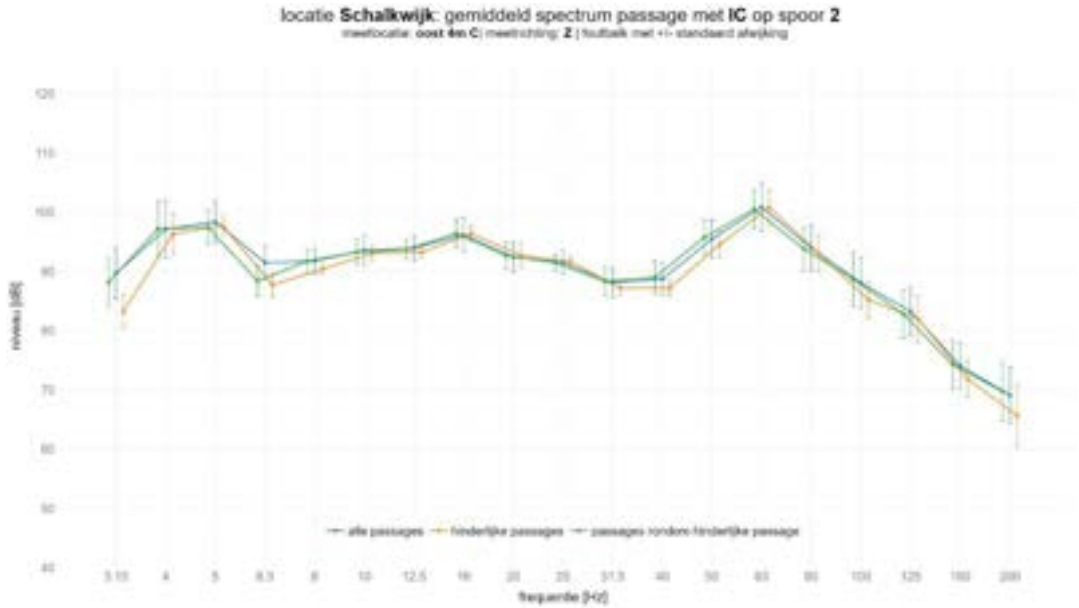

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

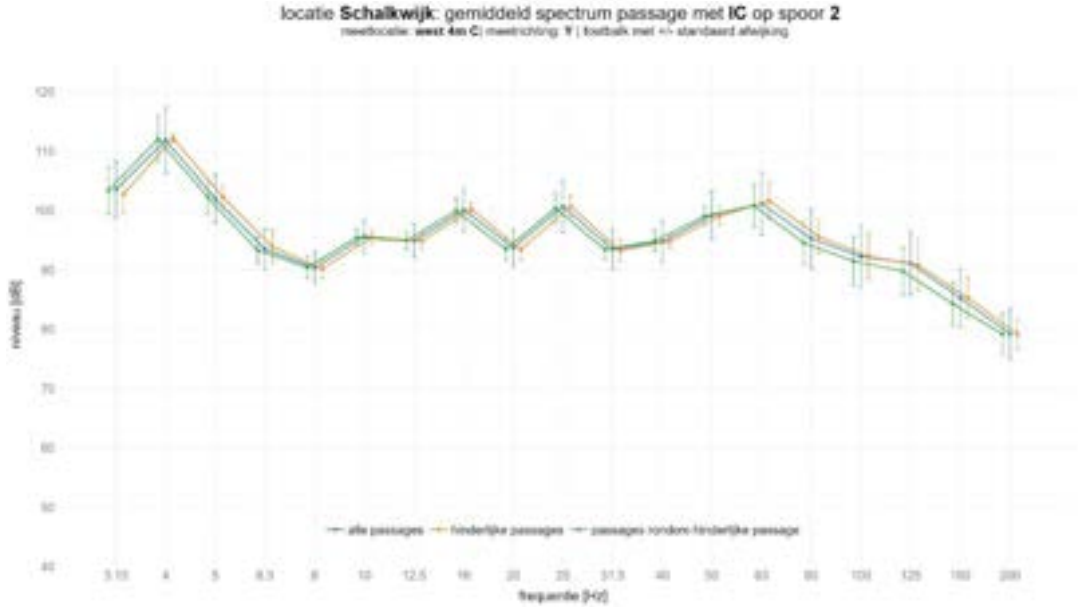

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

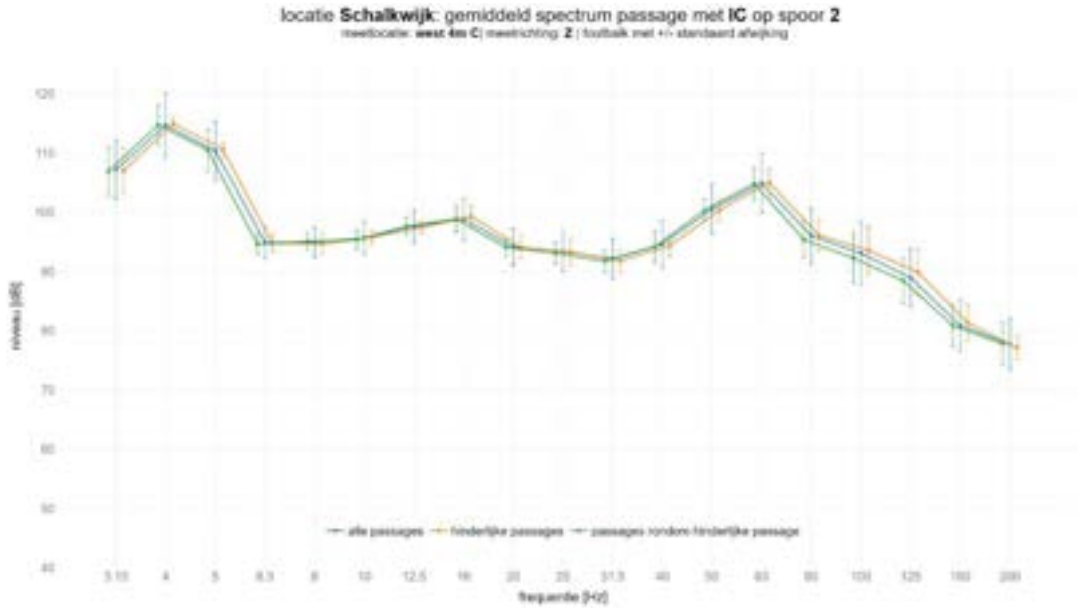

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

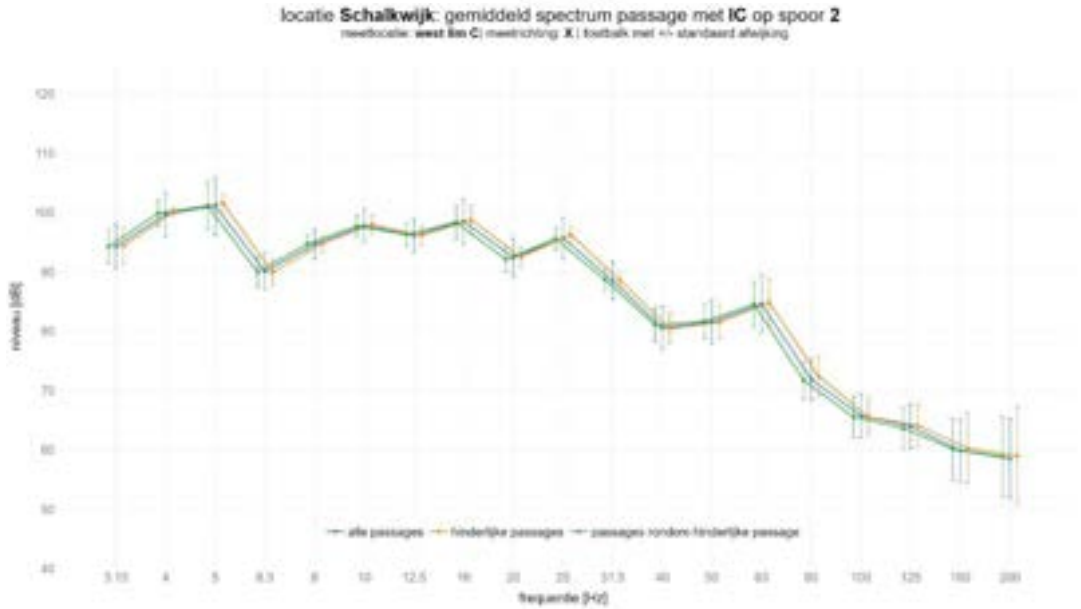

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

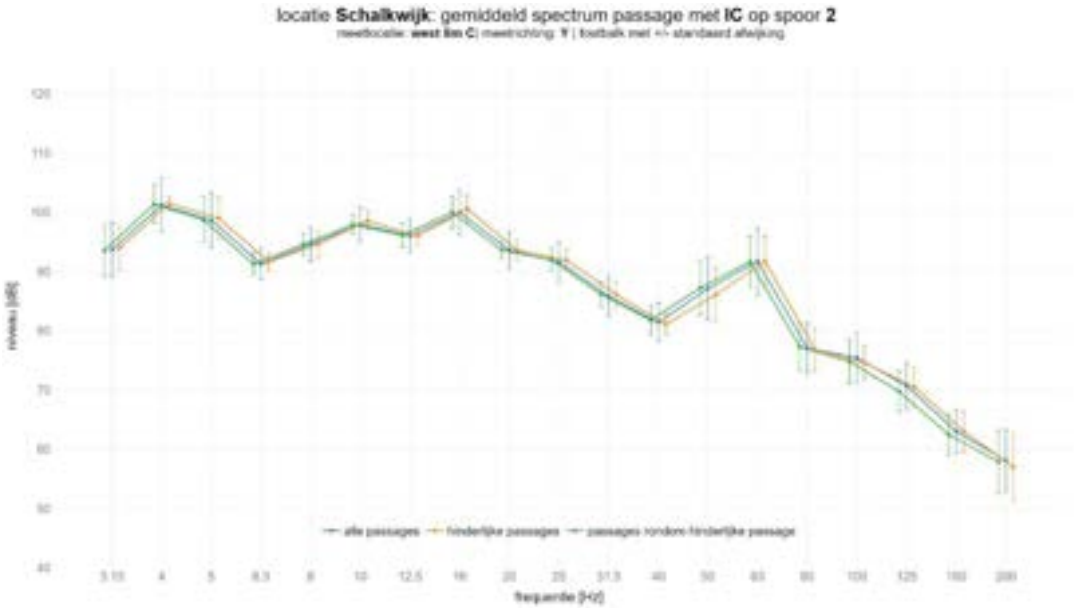

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **oost én C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

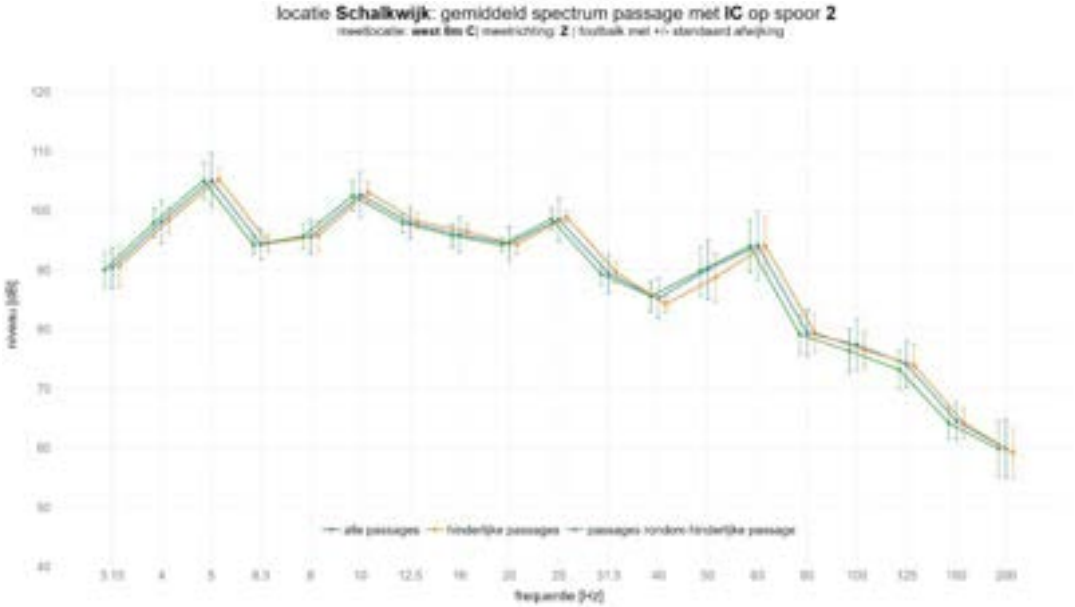

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

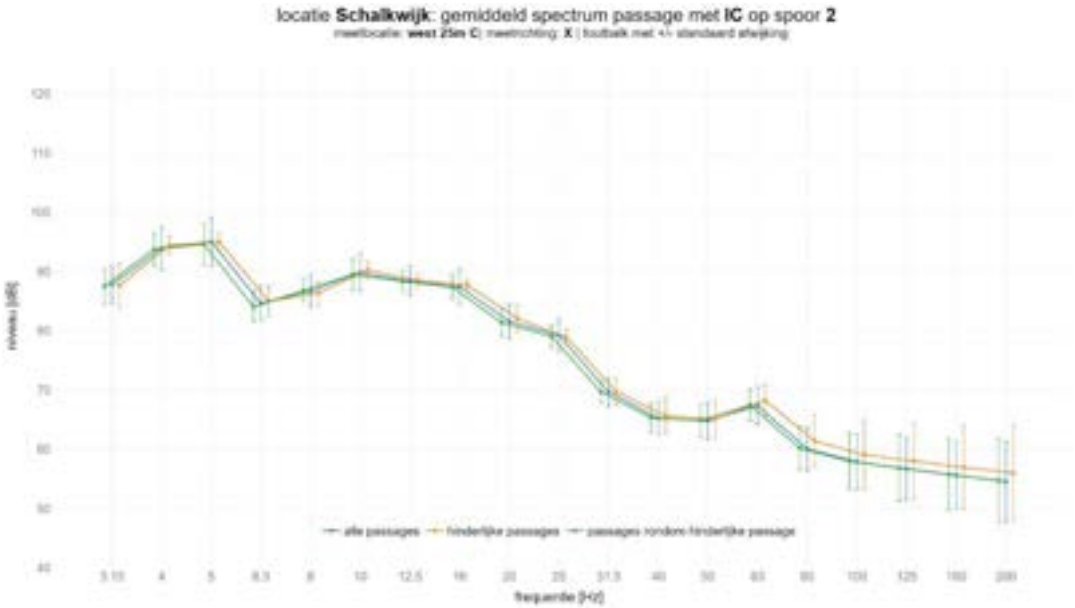

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

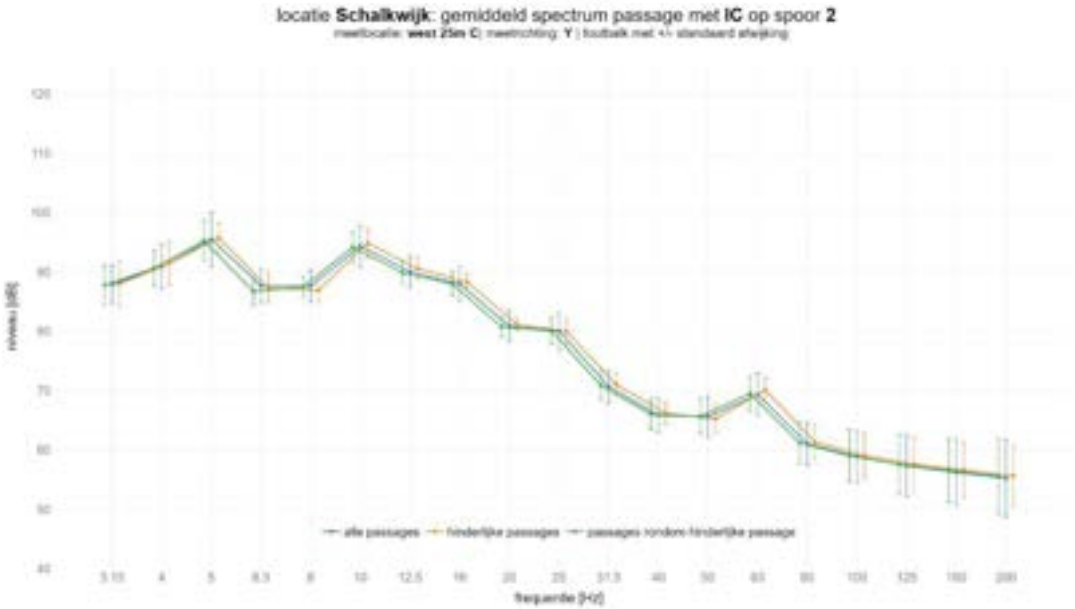

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **west 6m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

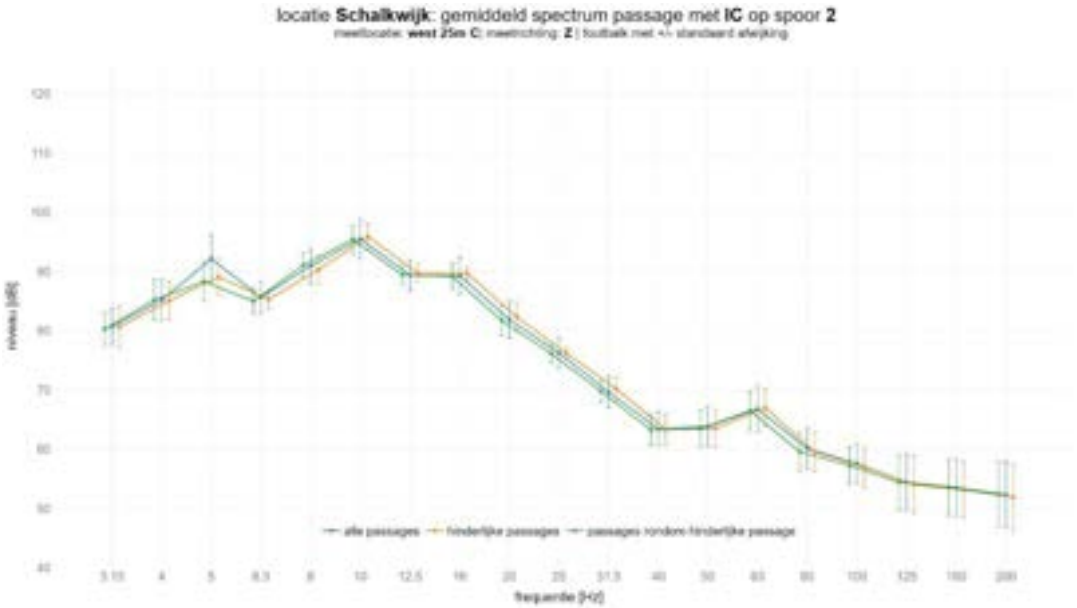

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **west 6m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

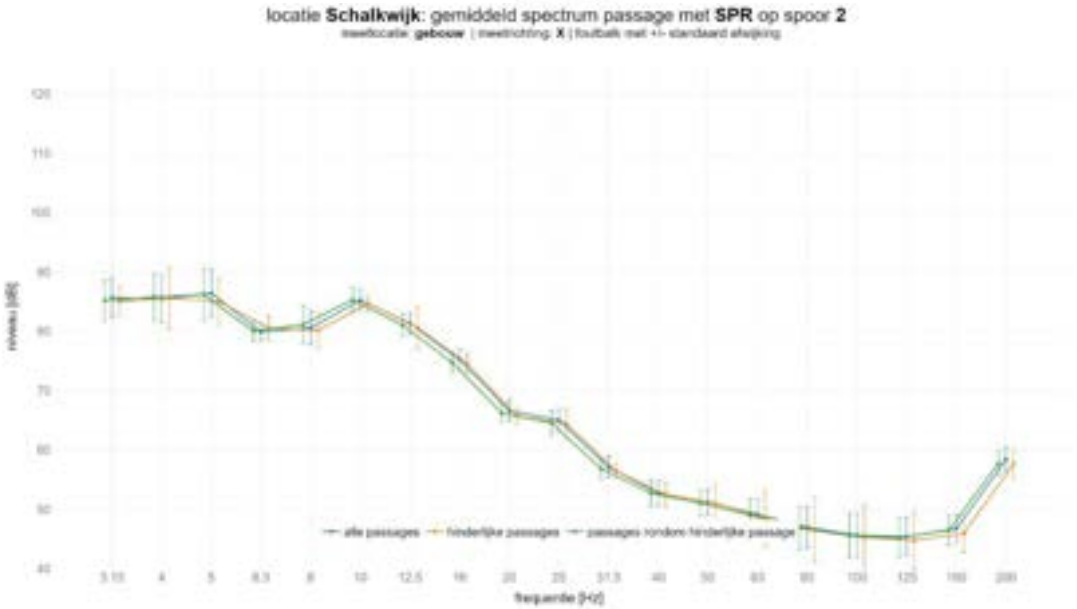

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **west 6m C** | meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

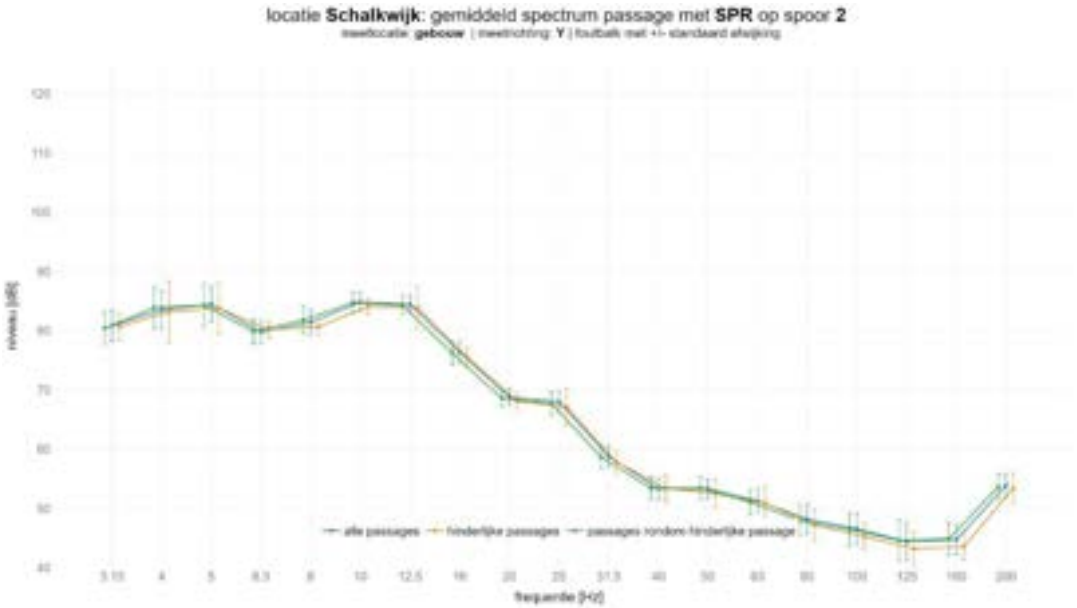

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **west 6m C** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

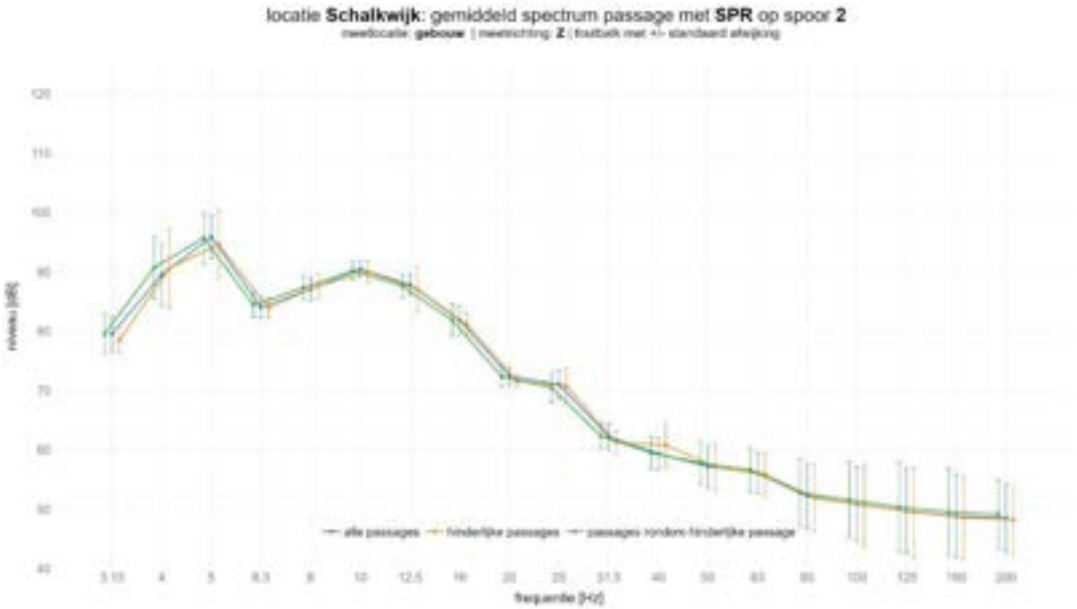

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

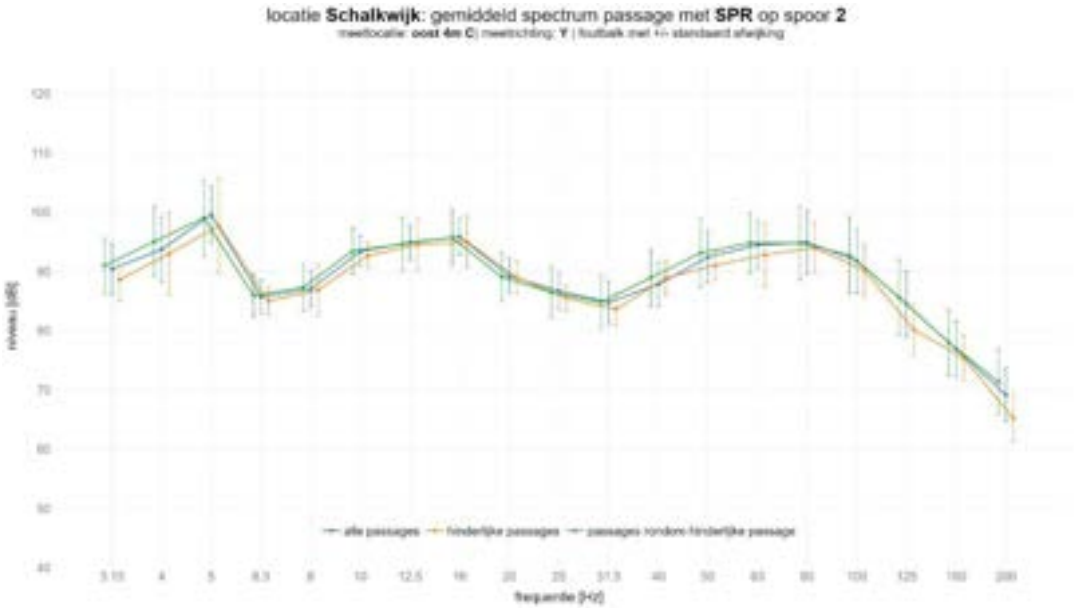

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

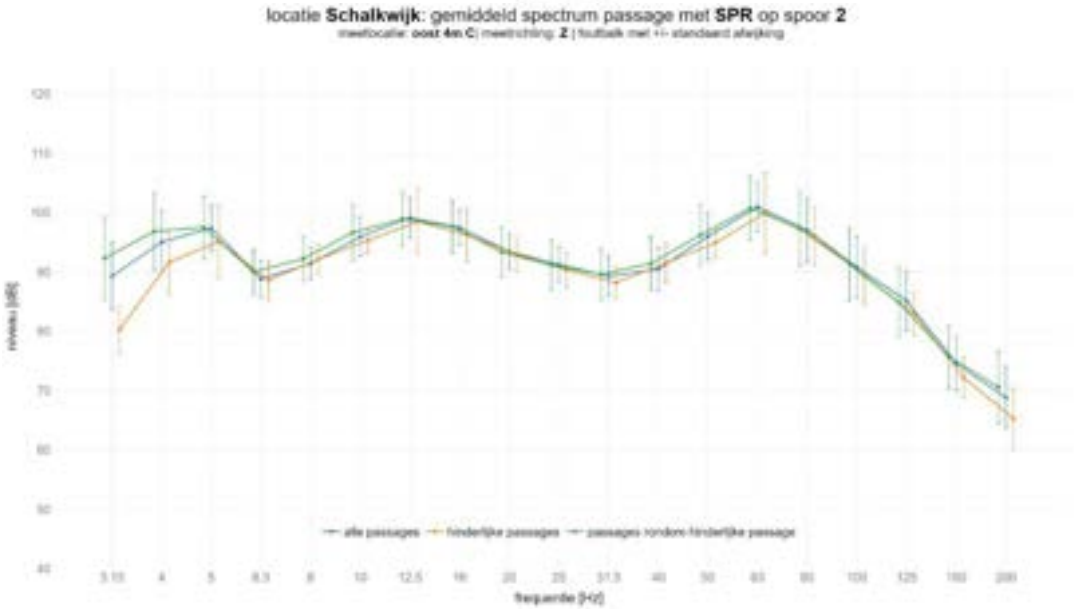

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C**; meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

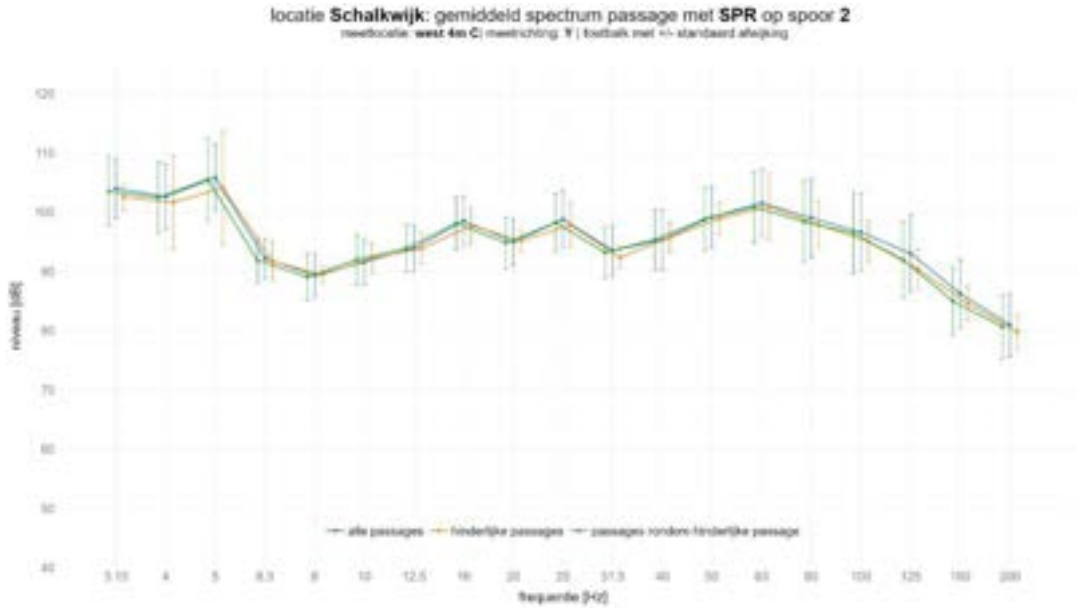

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

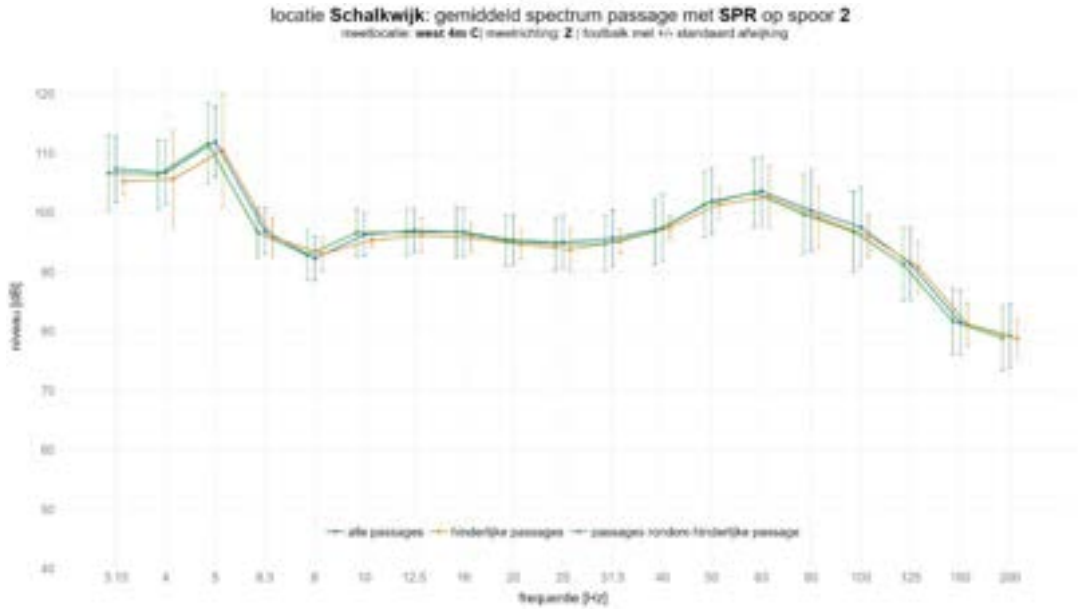

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

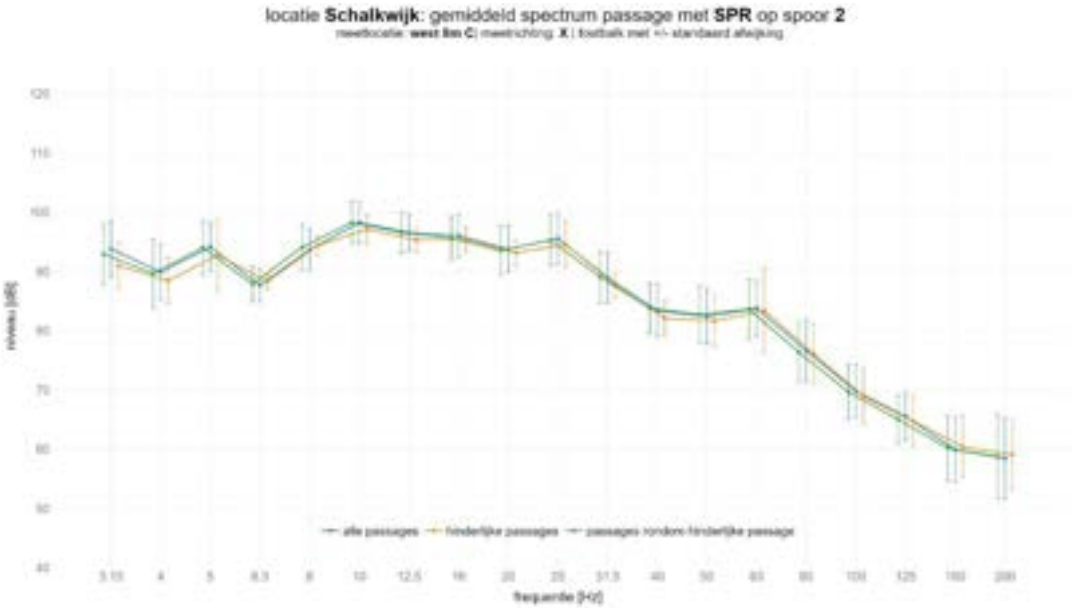

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

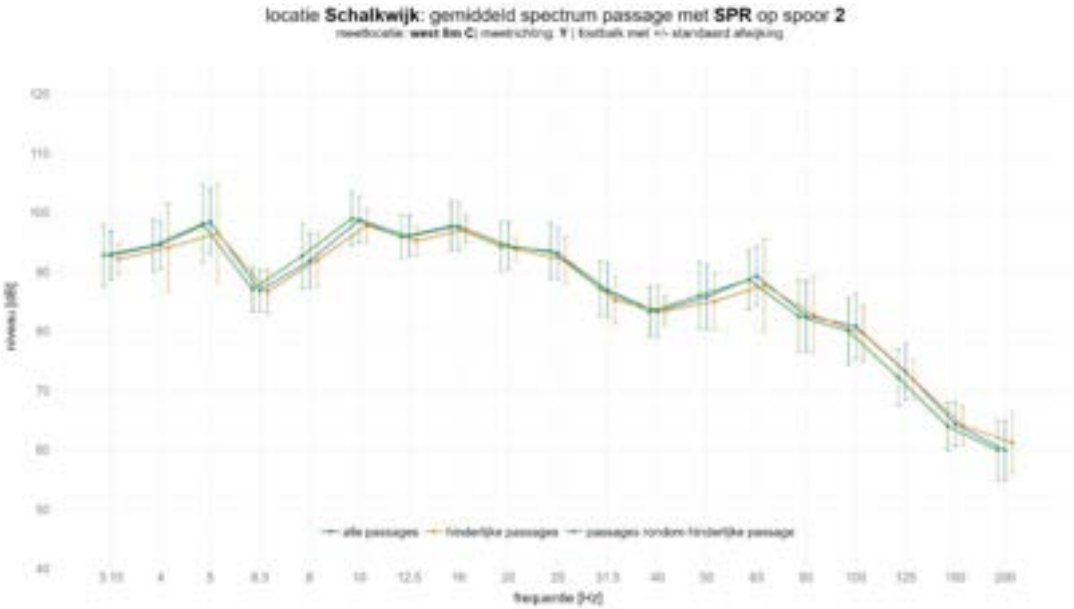

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

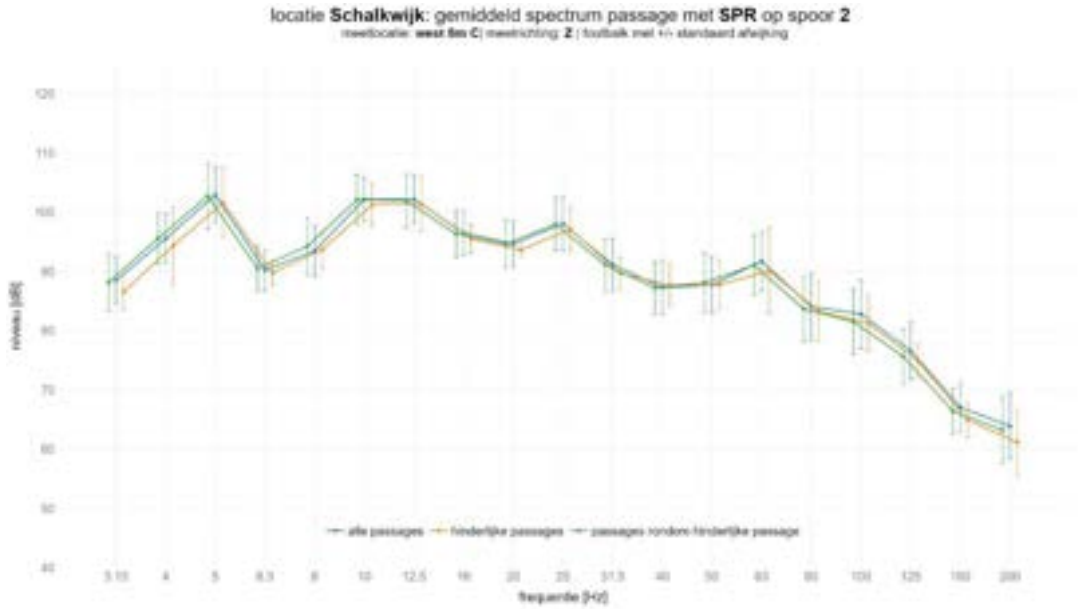

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **oost 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

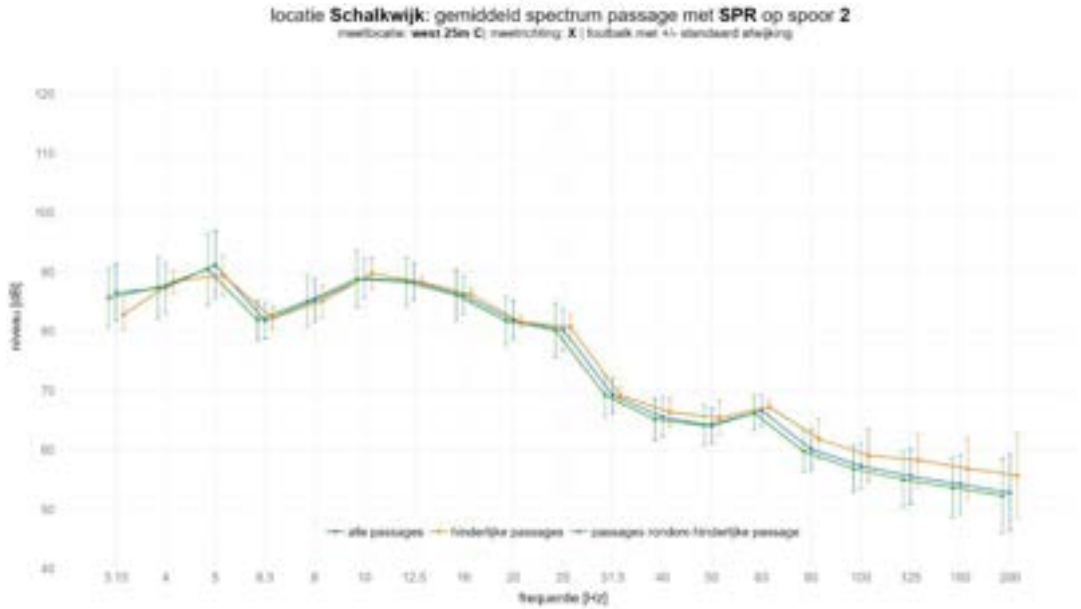

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

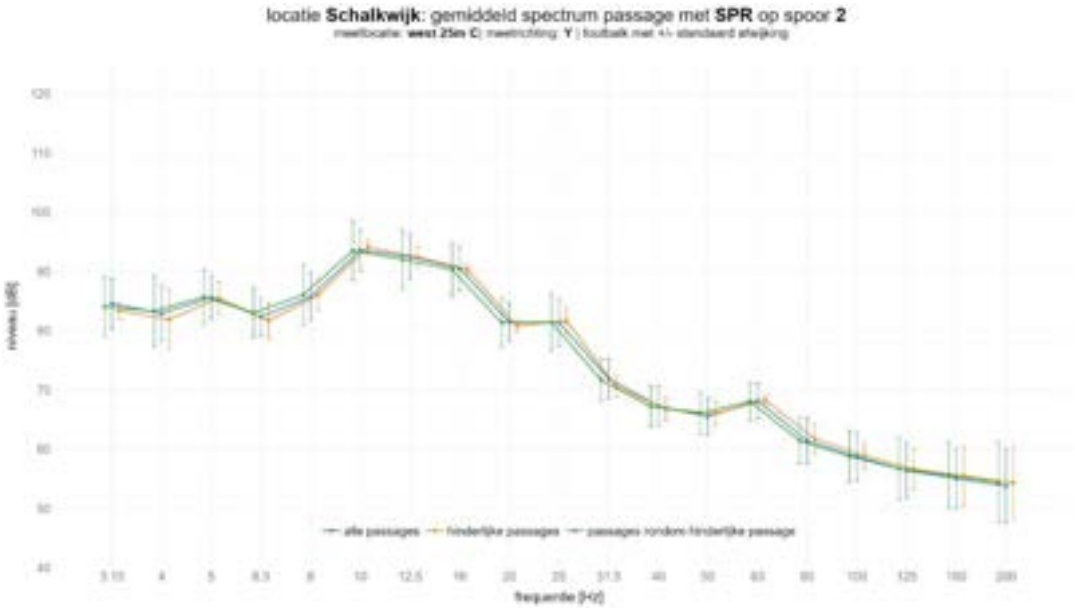

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **west 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

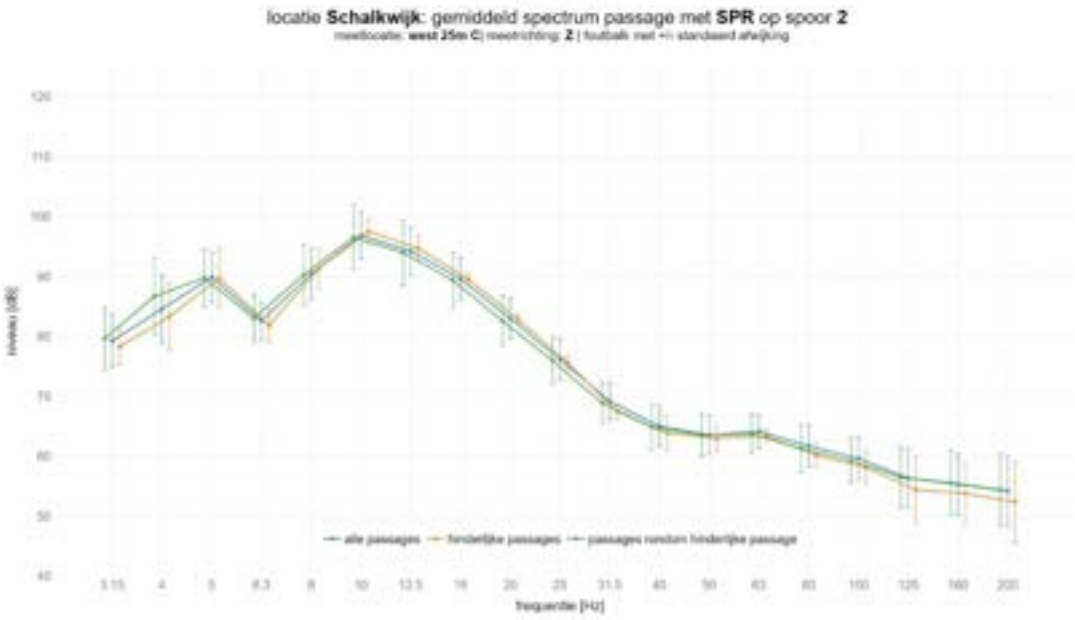

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **west 5m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage


locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **west 5m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

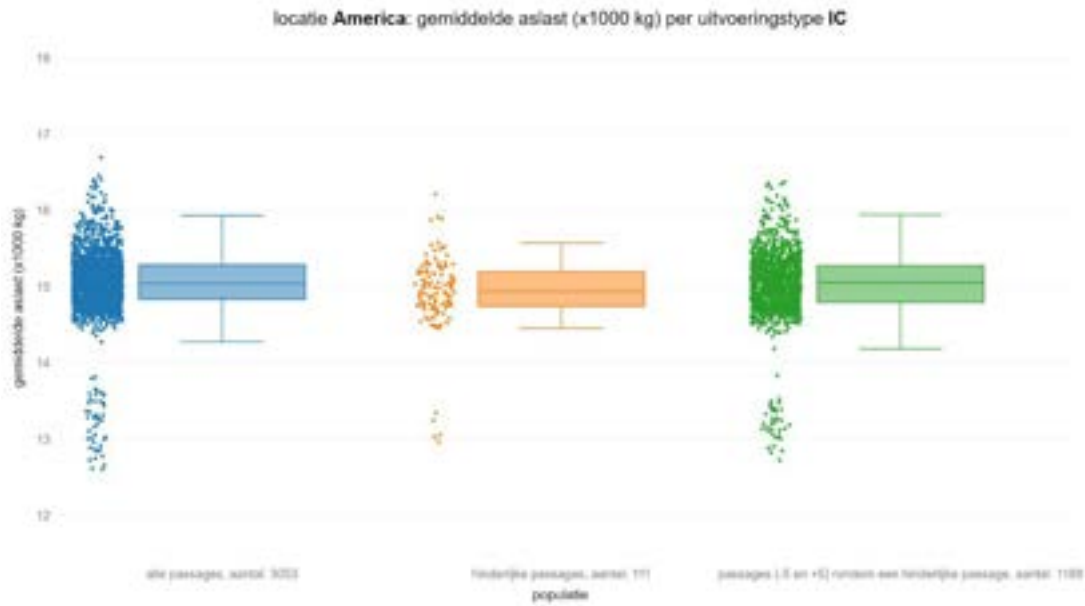

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **west 5m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage


locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

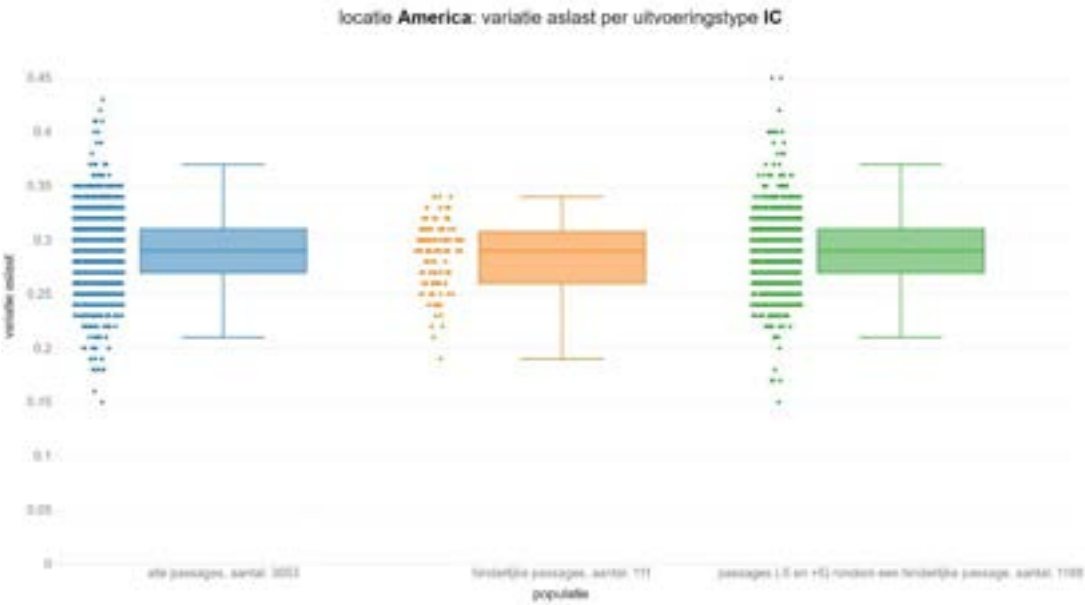

locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]


locatie **Schalkwijk**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **west 25m C**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

F America: aslast

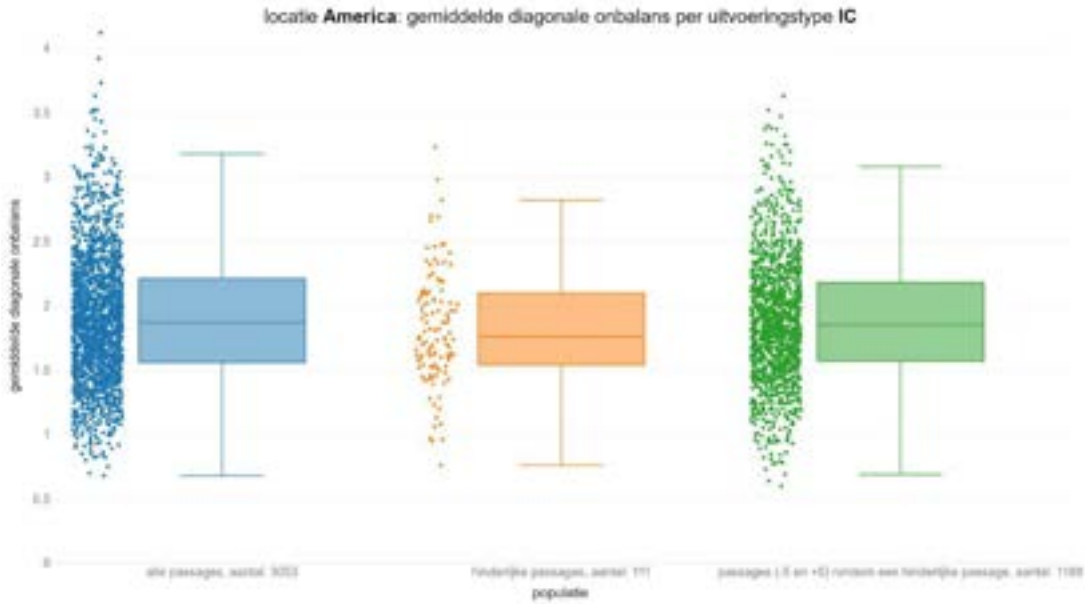


figuur 123 *Gemiddelde aslast voor intercity's per populatie*

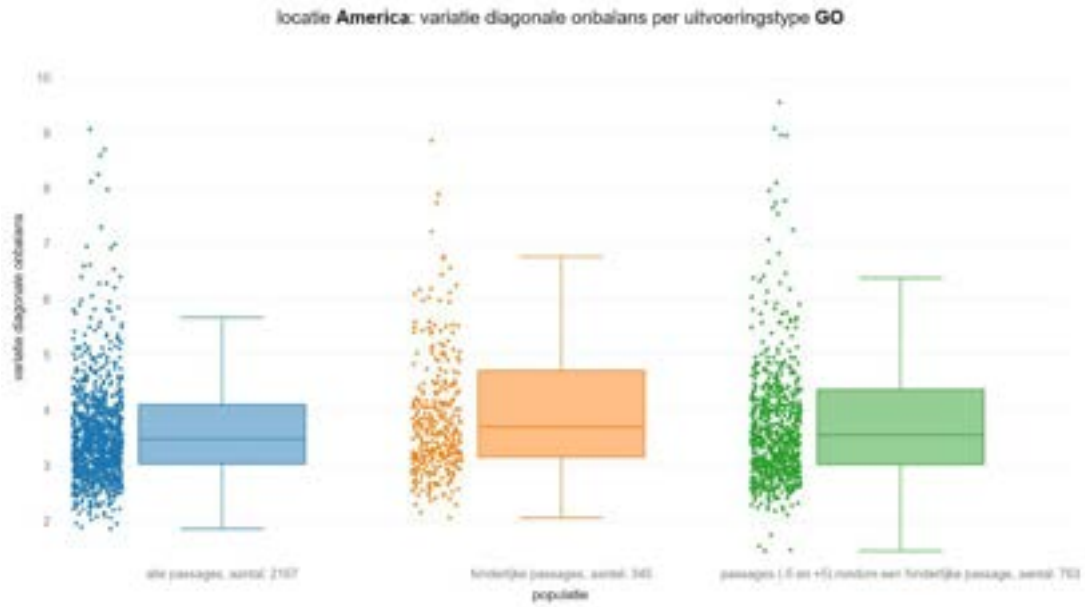


figuur 124 *Variatie aslast voor intercity's per populatie*

G America: diagonale onbalans

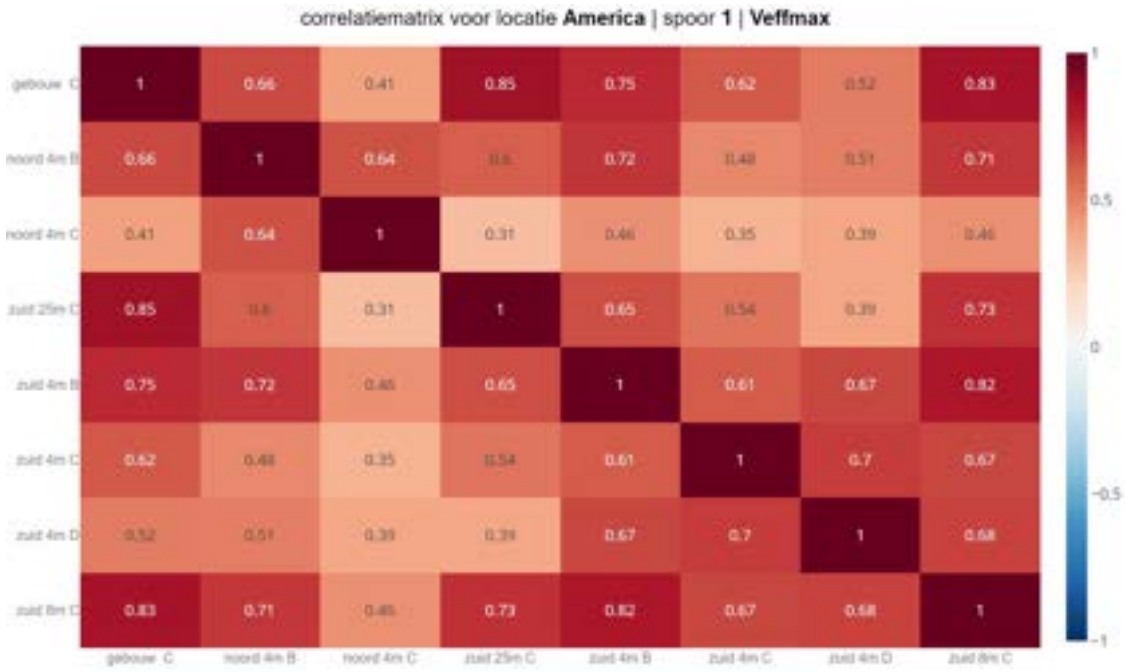


figuur 125 *Gemiddelde diagonale onbalans voor intercity's per populatie*

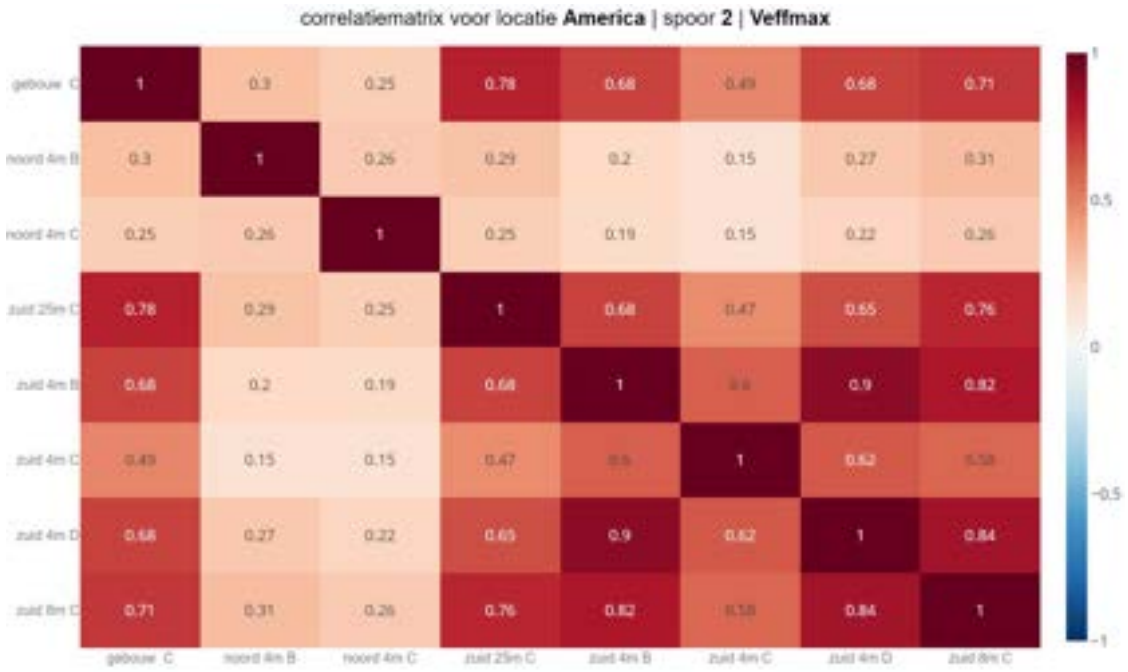


figuur 126 *Variatie diagonale onbalans voor goederentreinen per populatie*

H America: correlatie tussen trillingsmetingen

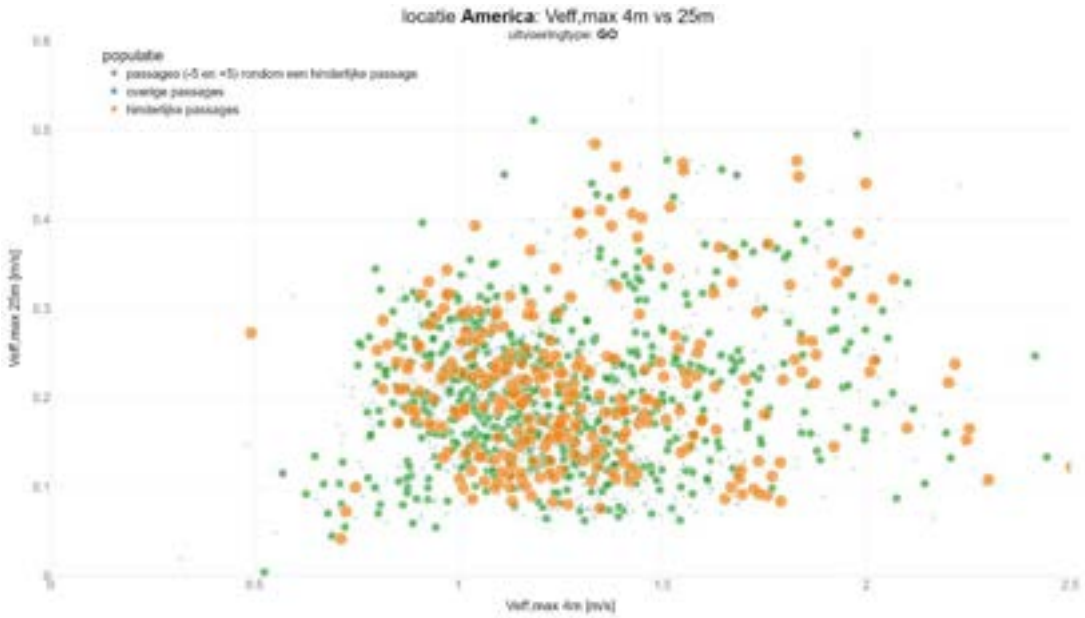


figuur 127 *Correlatie matrix $V_{eff,max}$ spoor 1*



figuur 128 *Correlatie matrix $V_{eff,max}$ spoor 2*

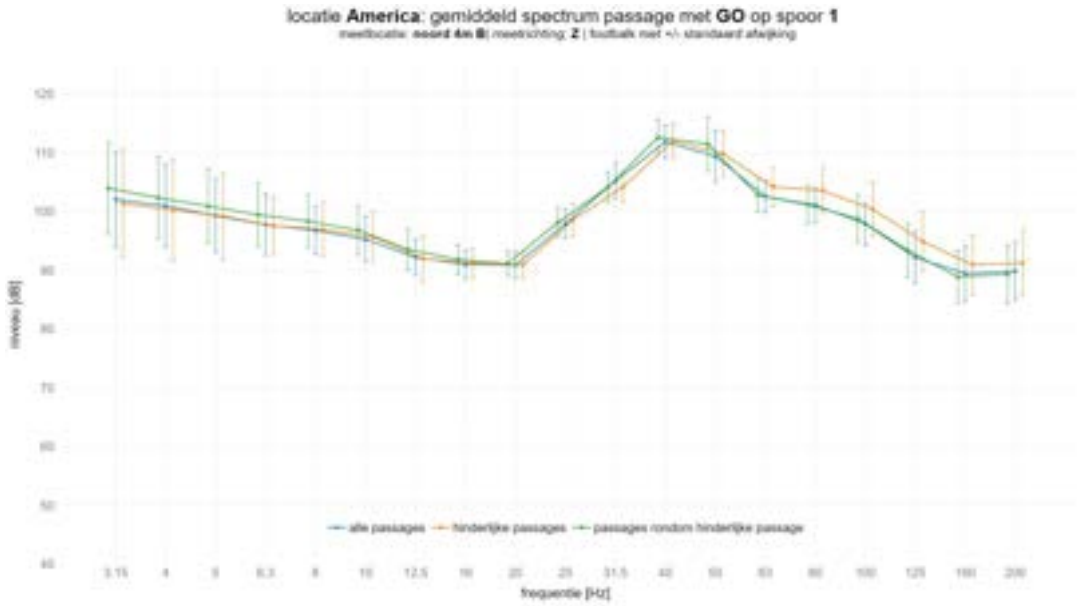
I America: trillingsniveau per afstand

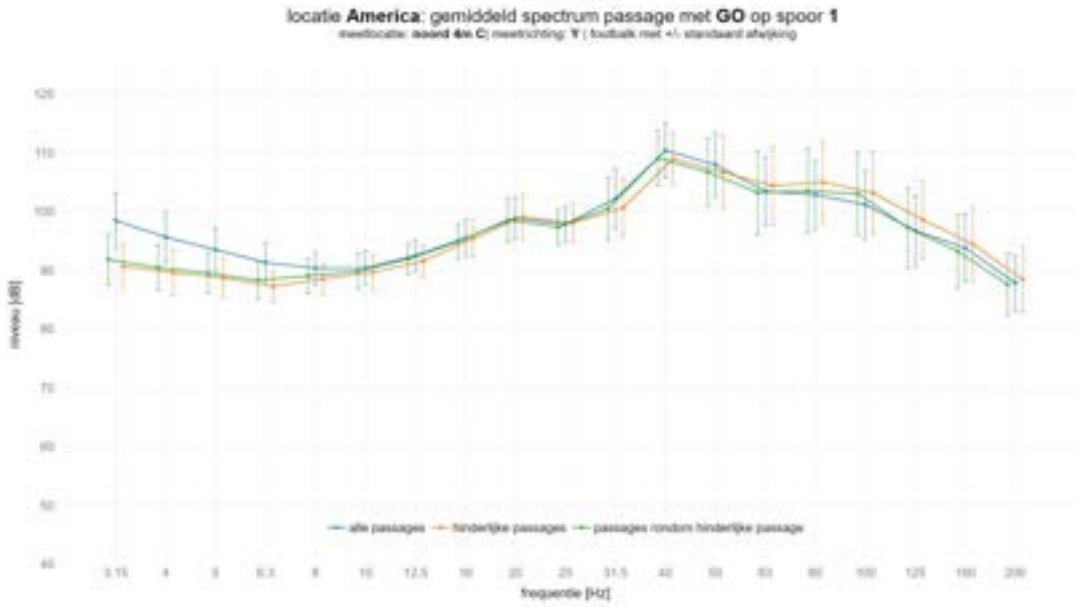


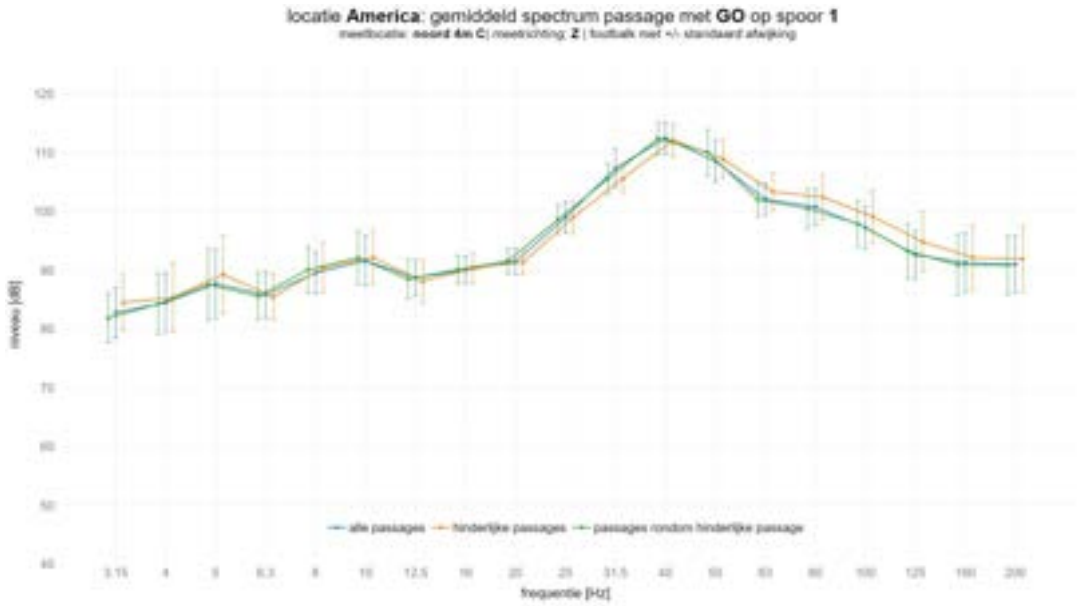
figuur 129 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m voor goederentreinen en relatie met hinder*

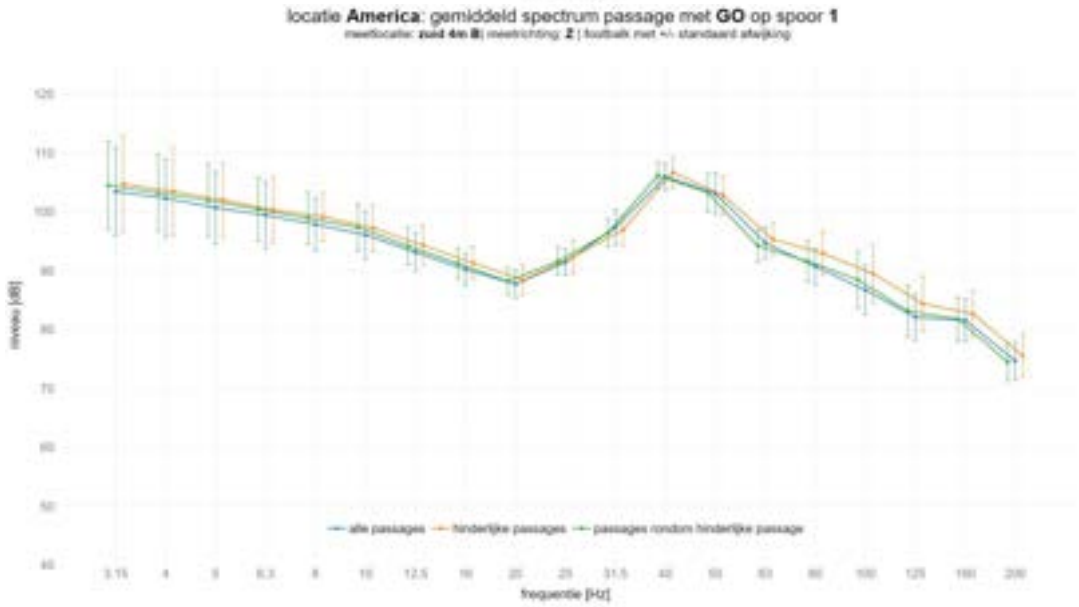
figuur 130 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m voor intercity's en relatie met hinder*

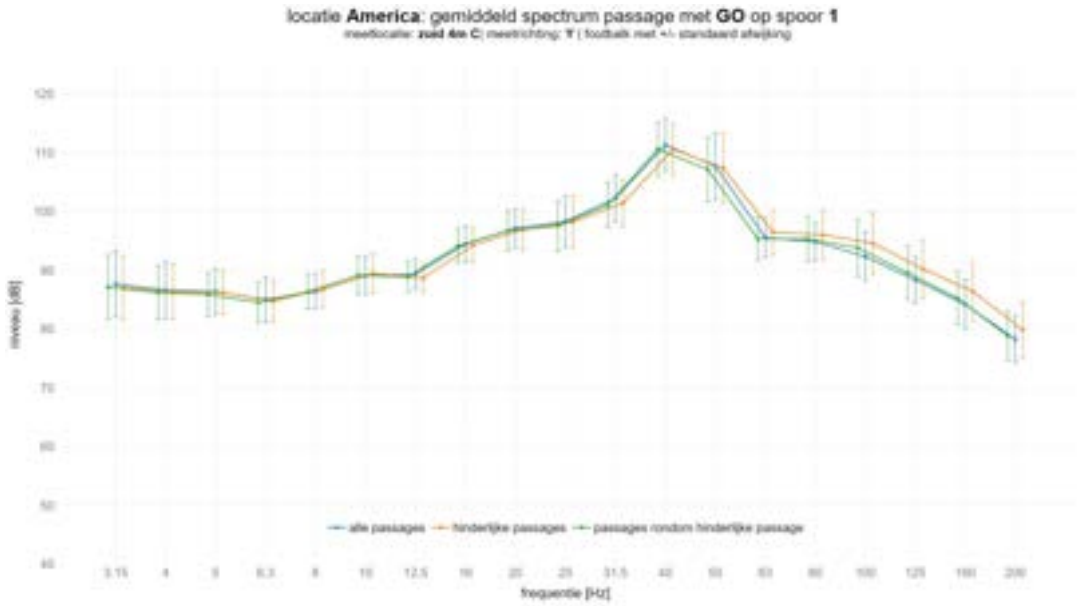
J America: trillingsspectra

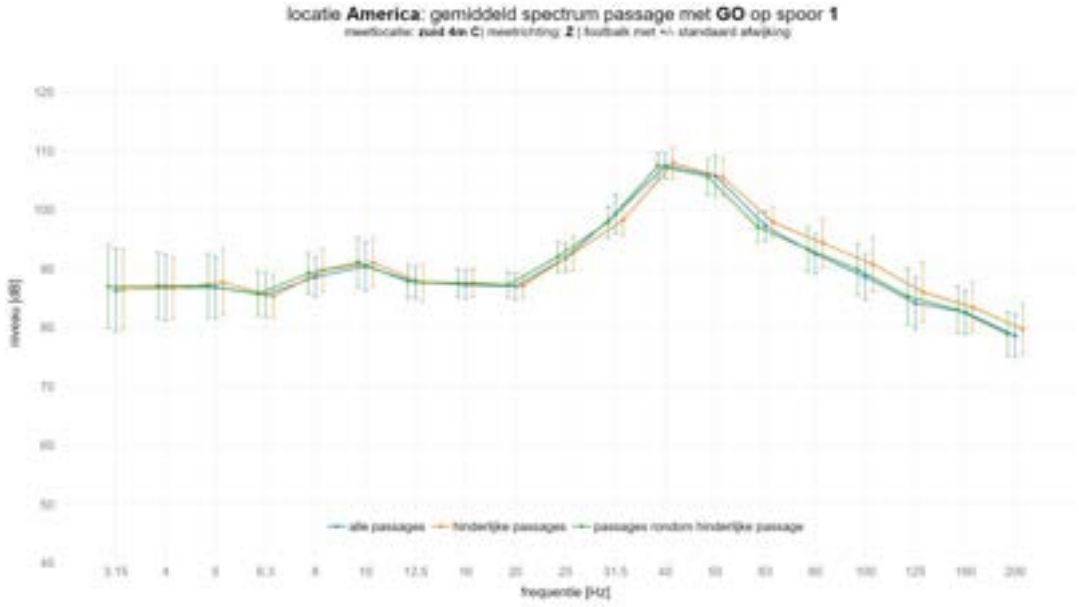


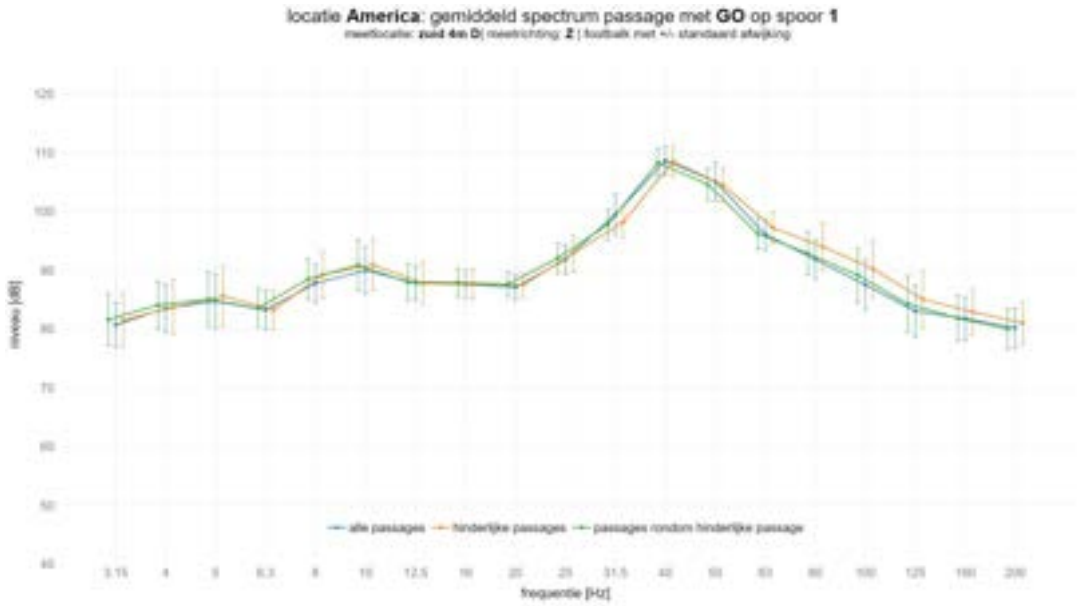


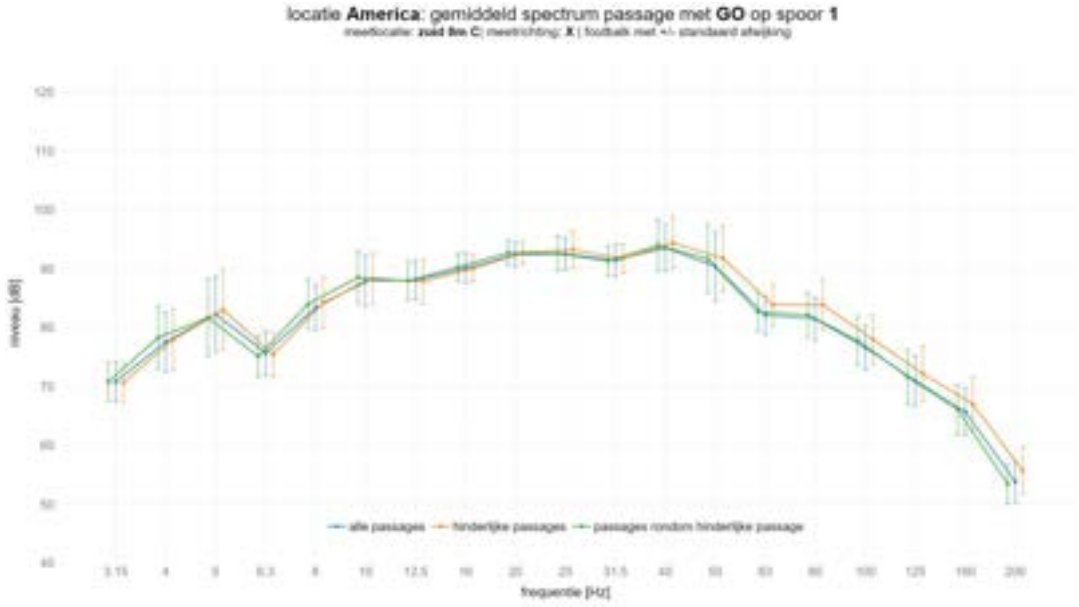

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

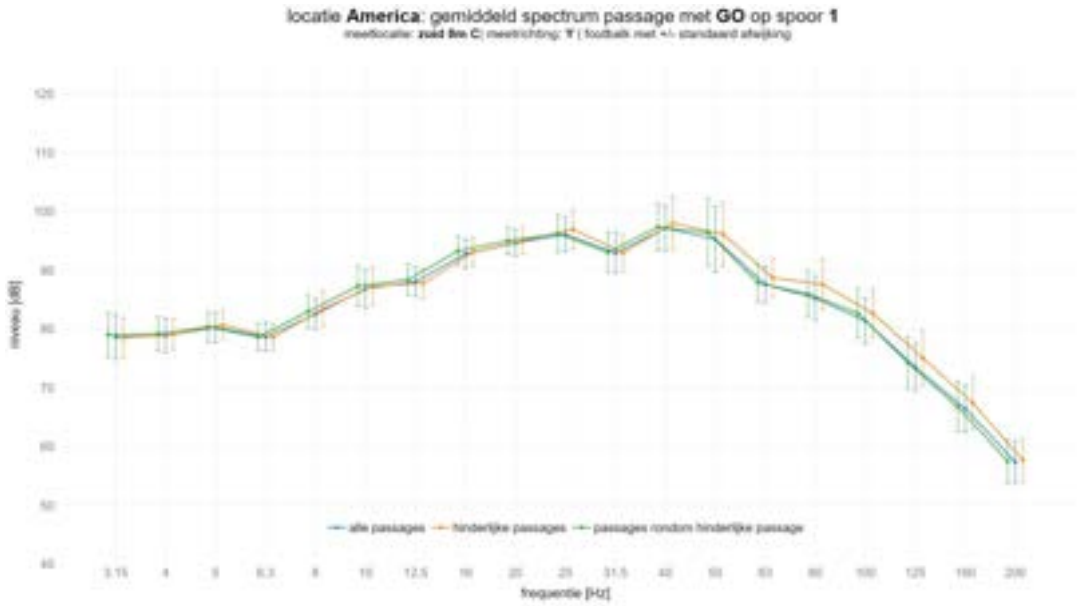

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m B** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

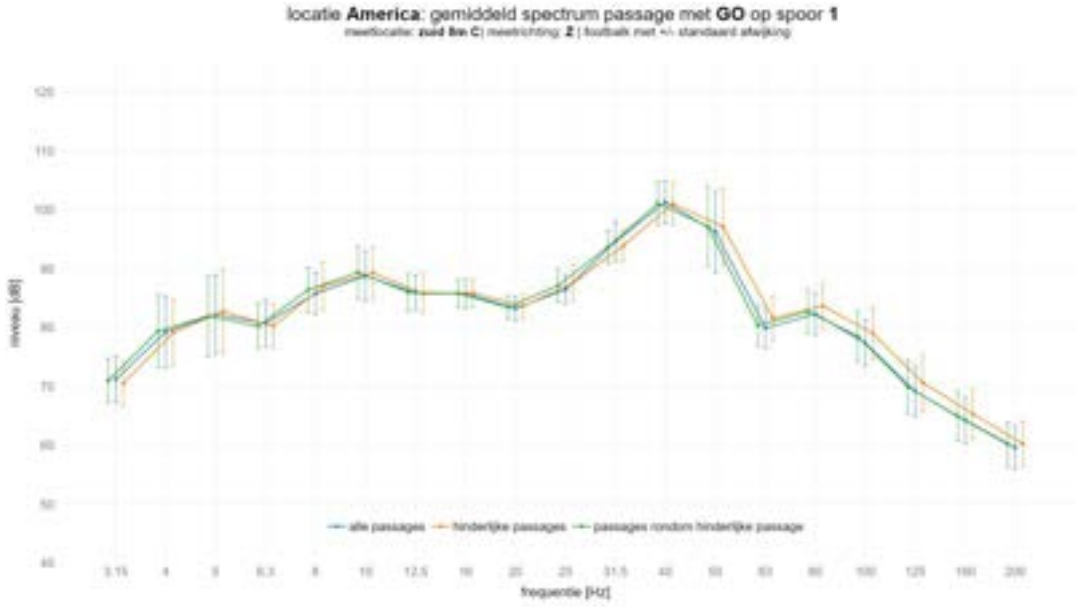

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

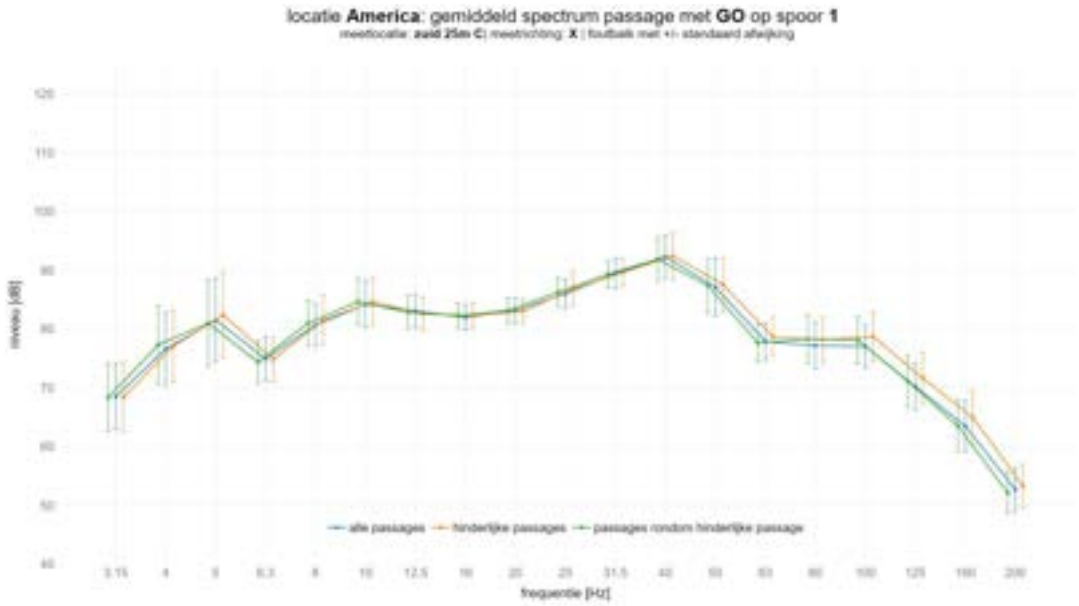

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

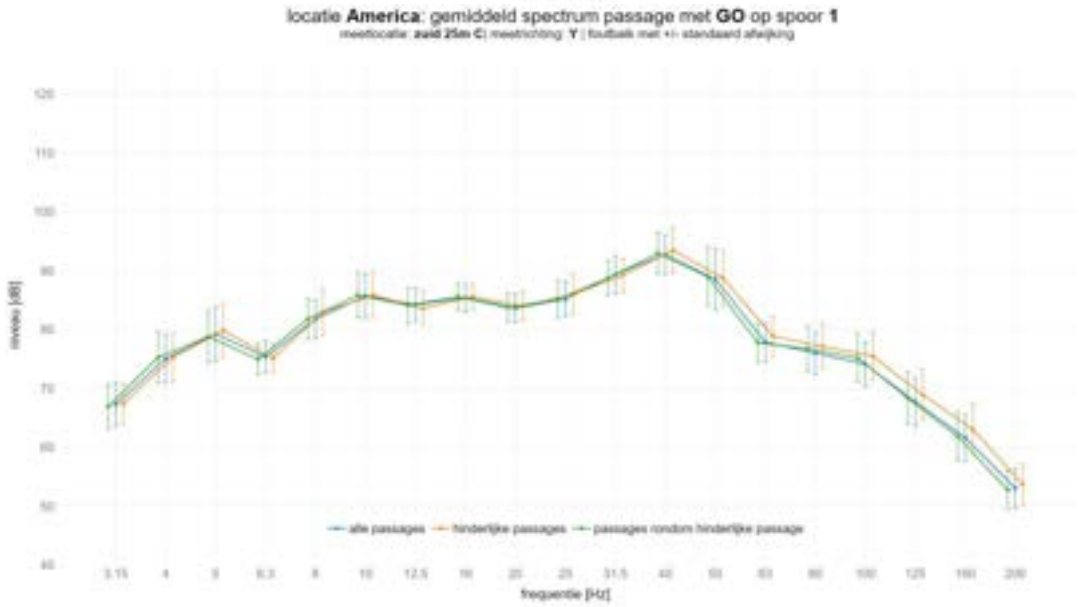

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m D**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

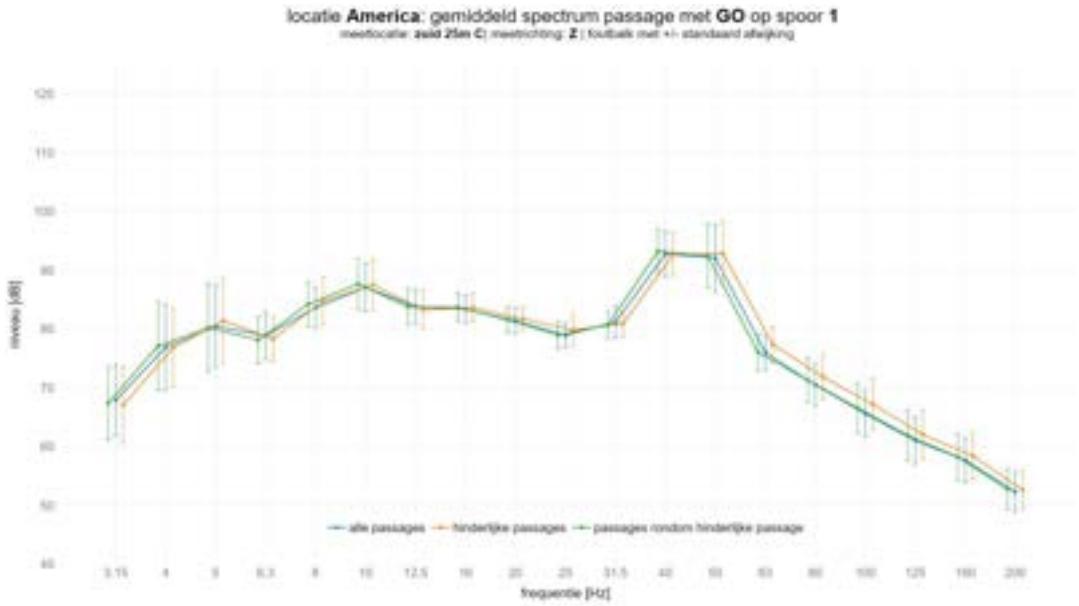

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

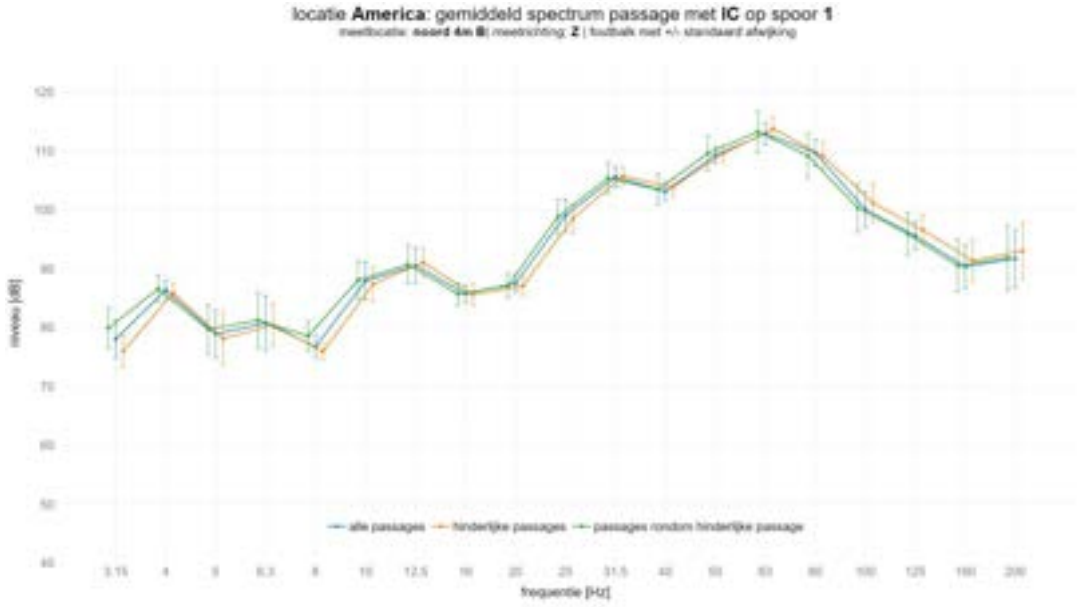

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

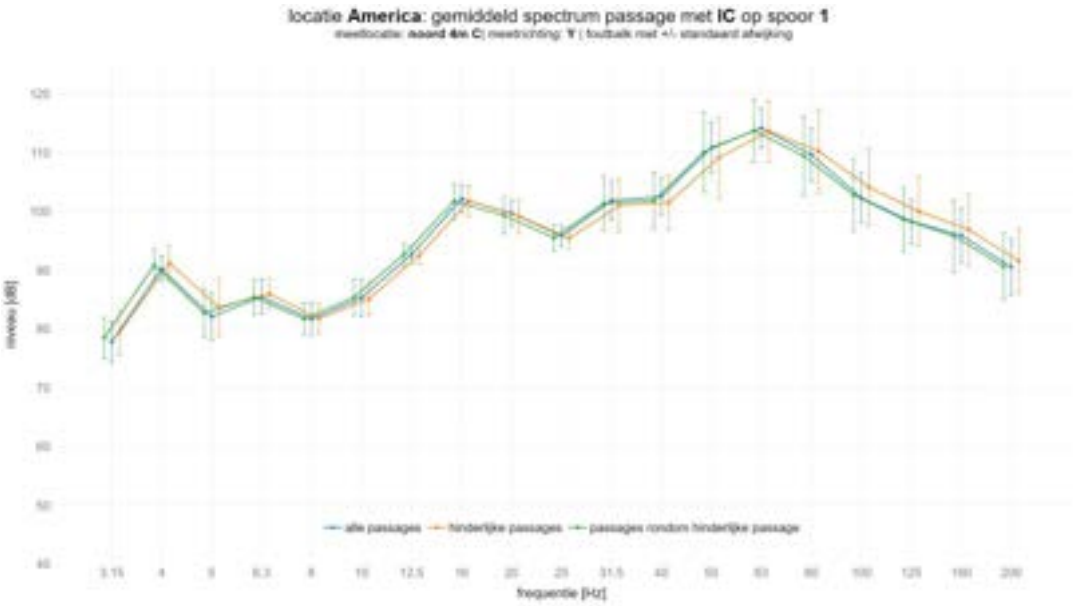

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

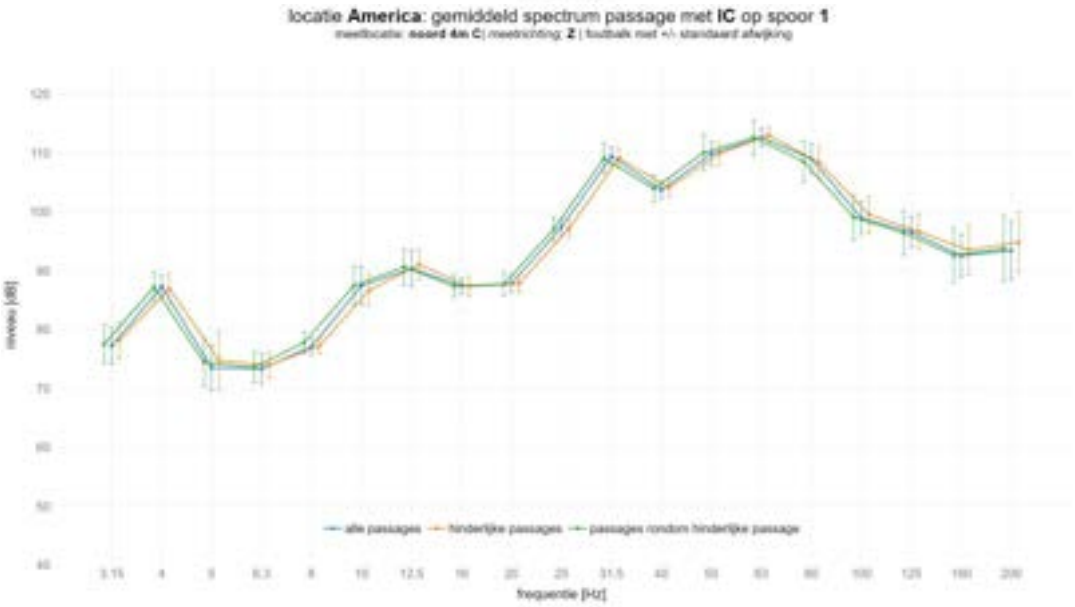

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

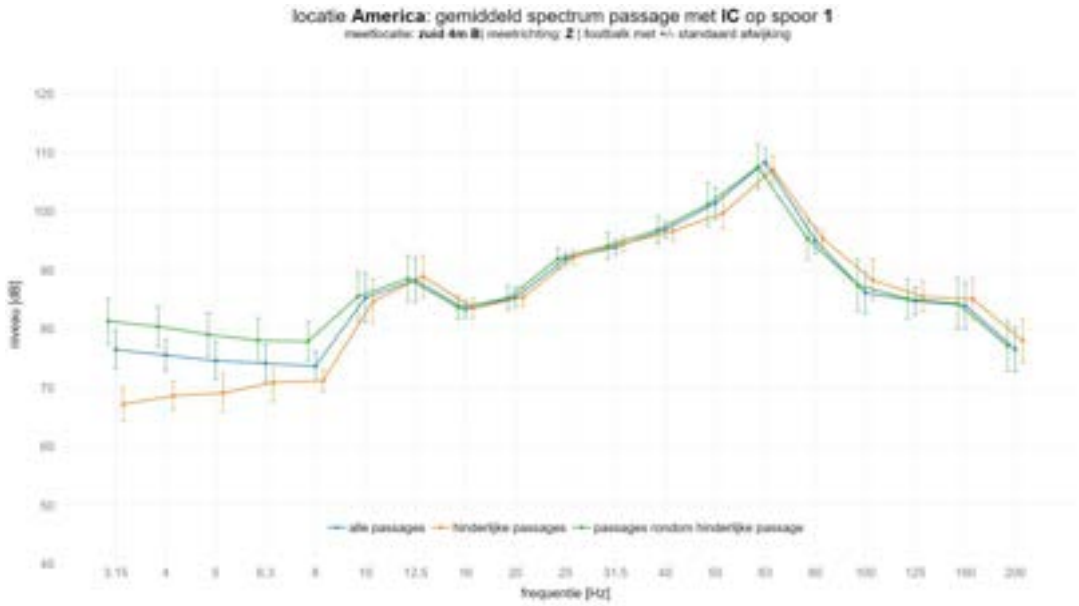

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

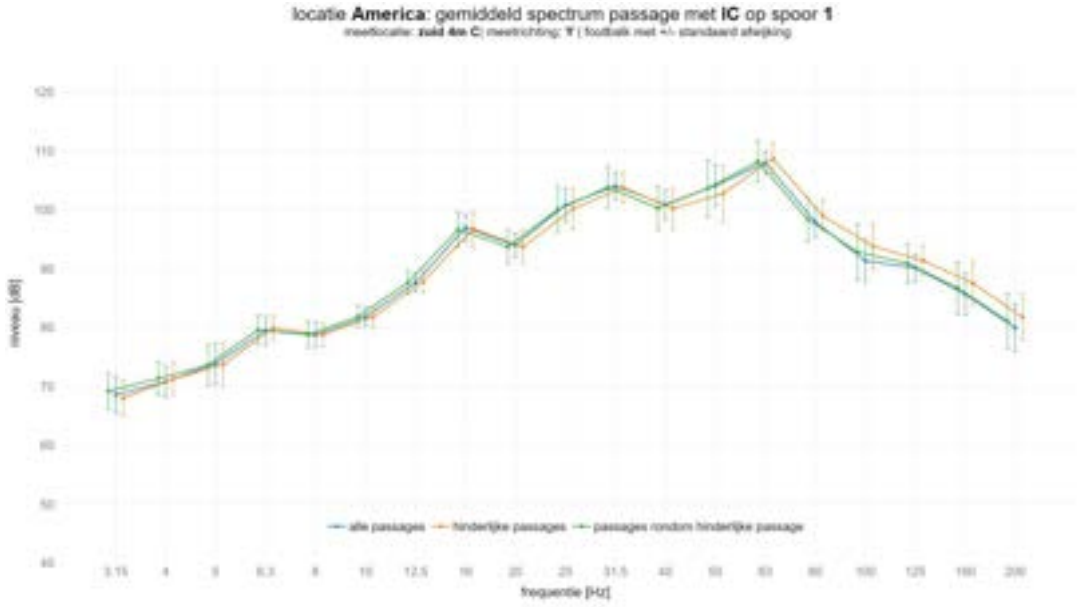

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

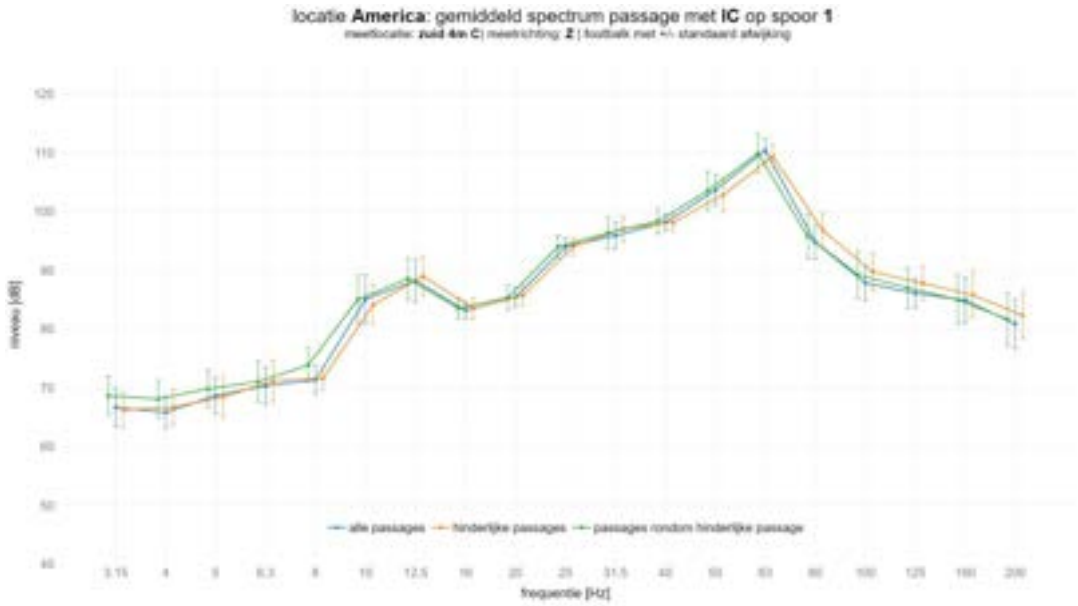

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m B** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

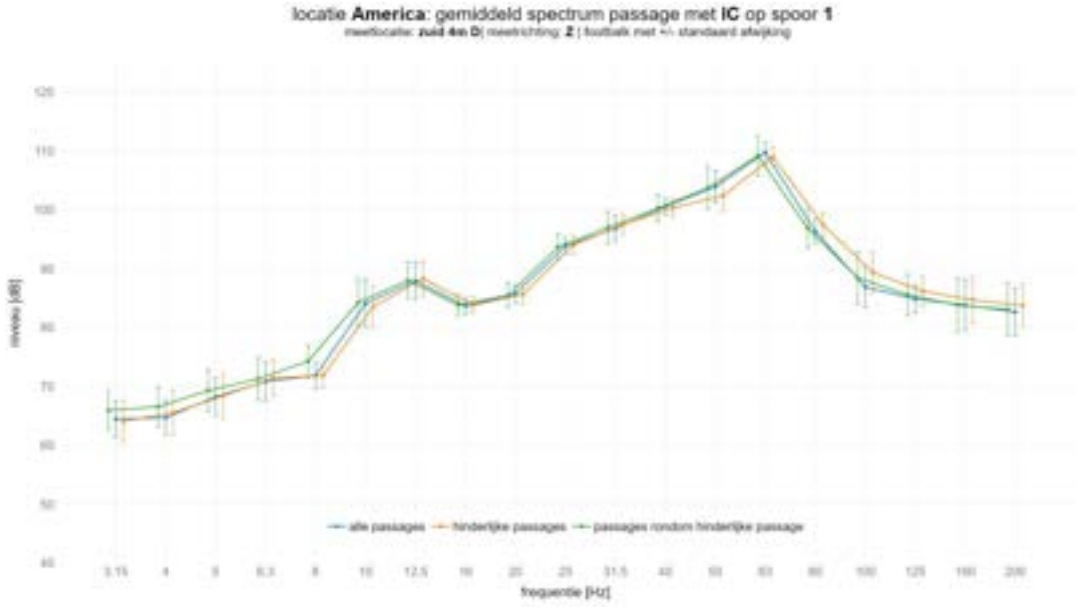

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

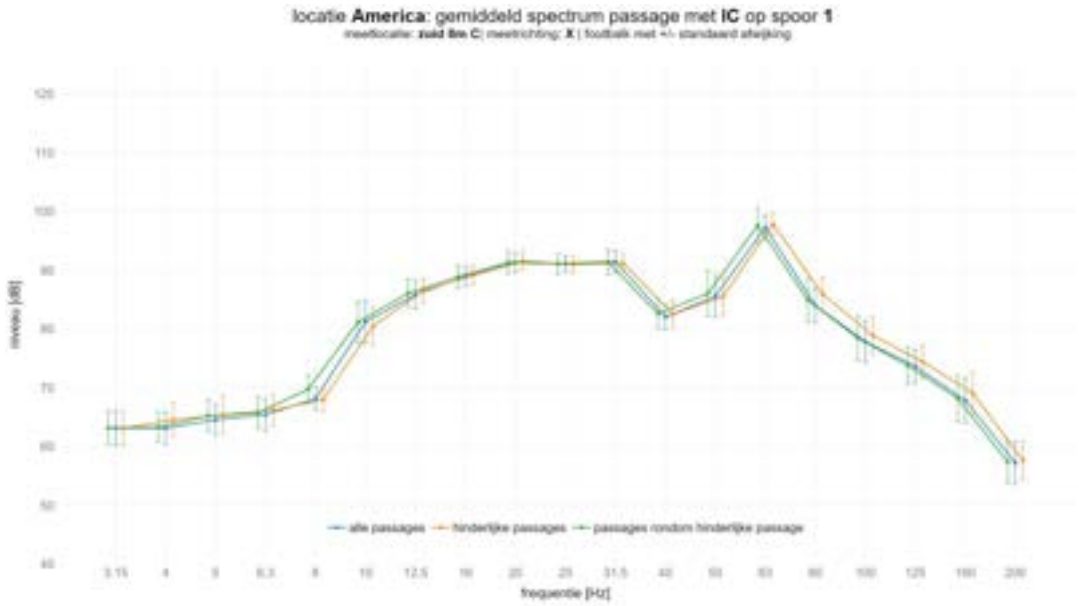

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

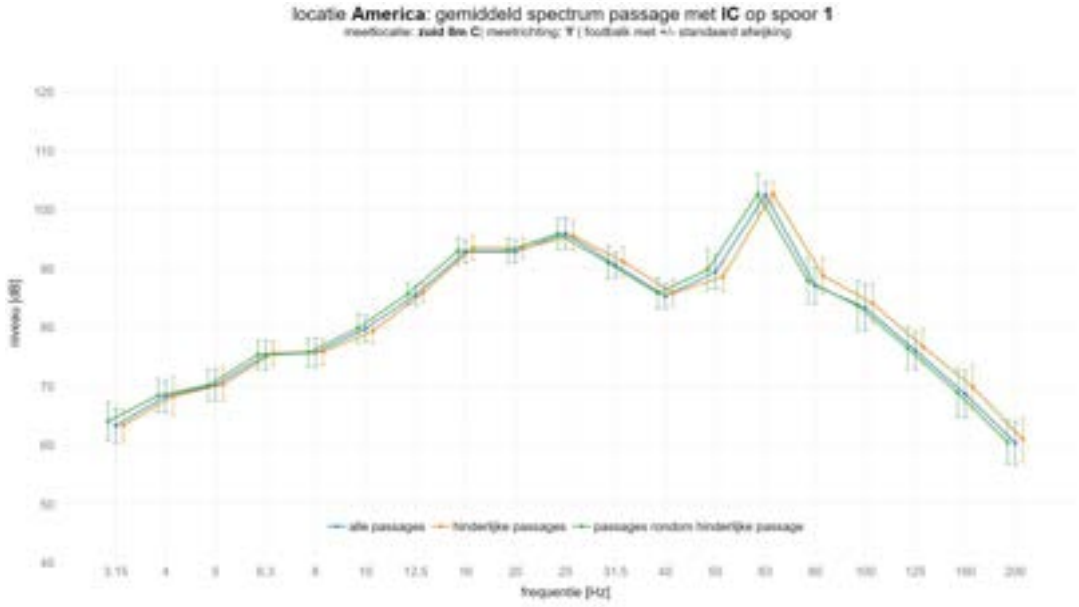

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m B**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

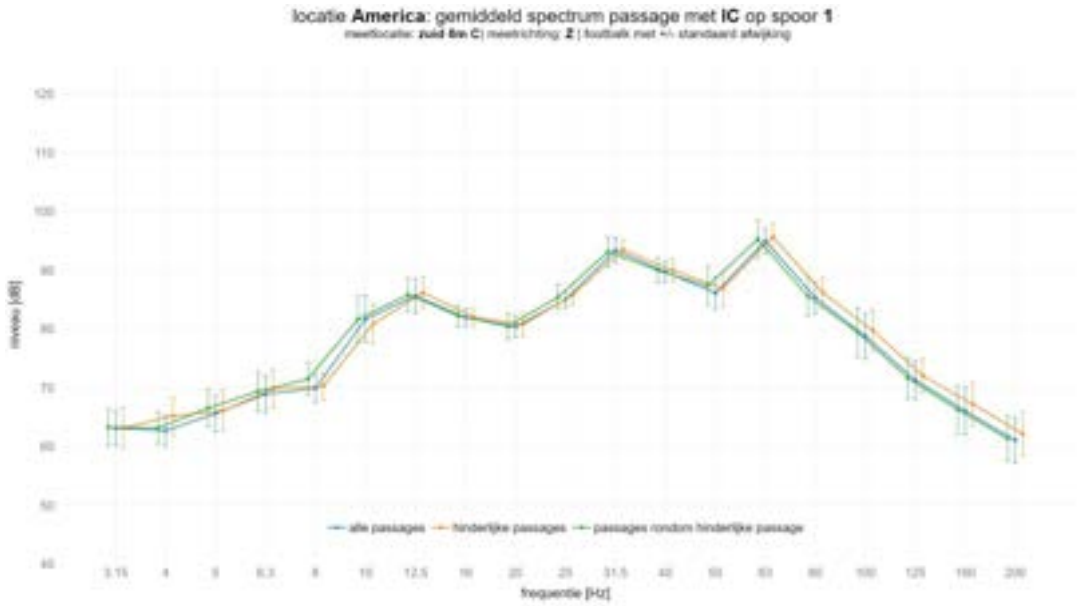

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

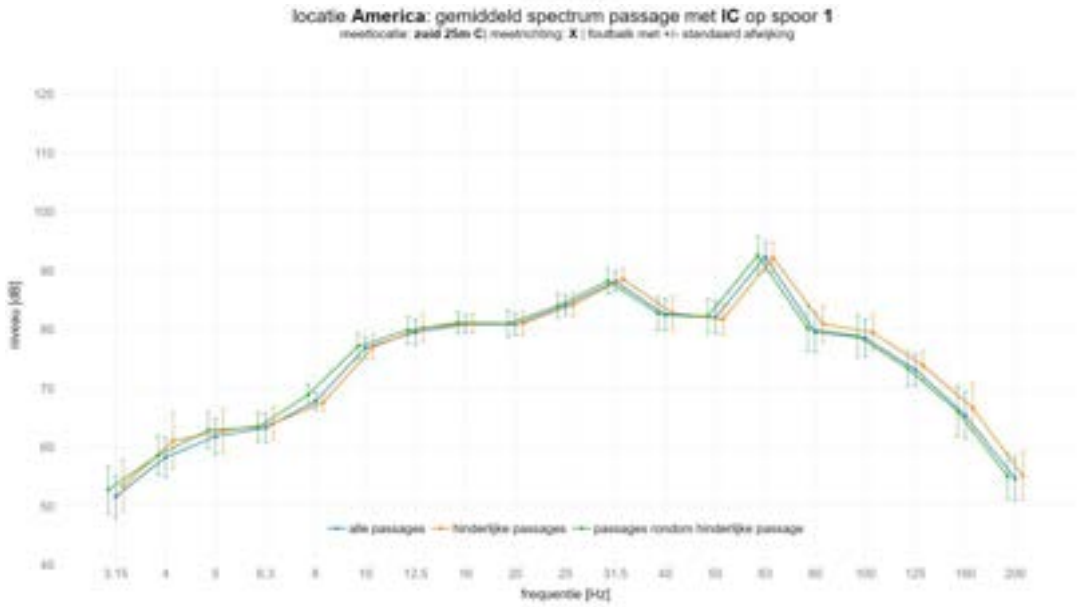

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

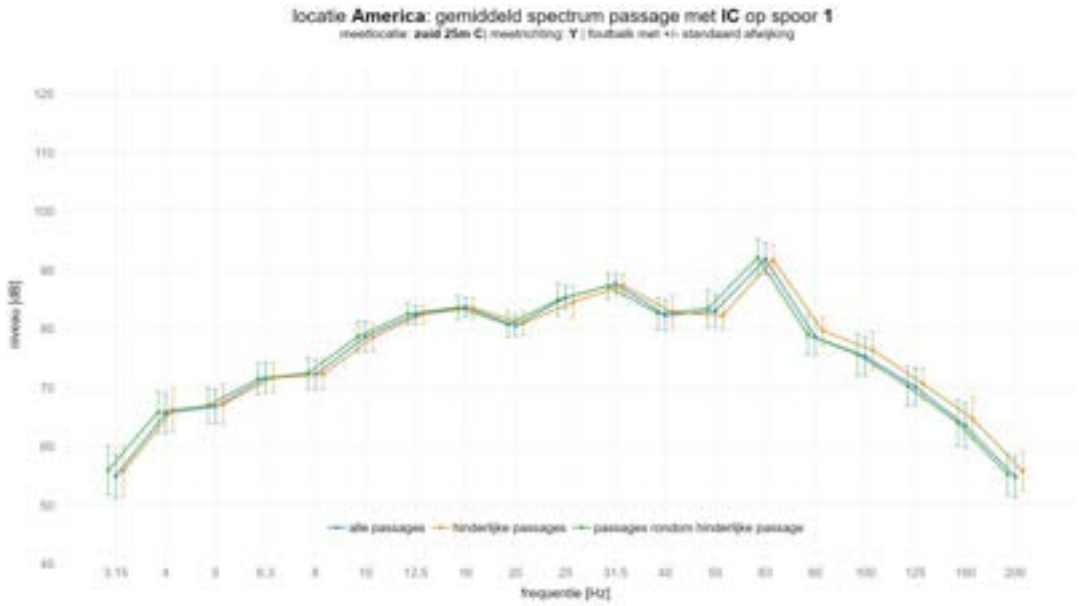

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m D** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

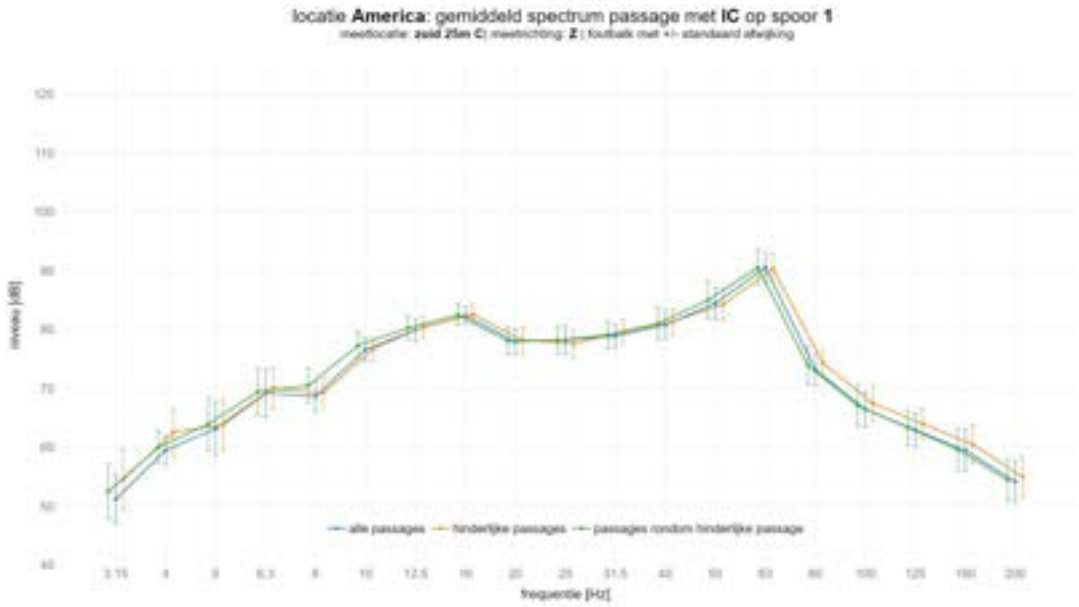

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | footbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

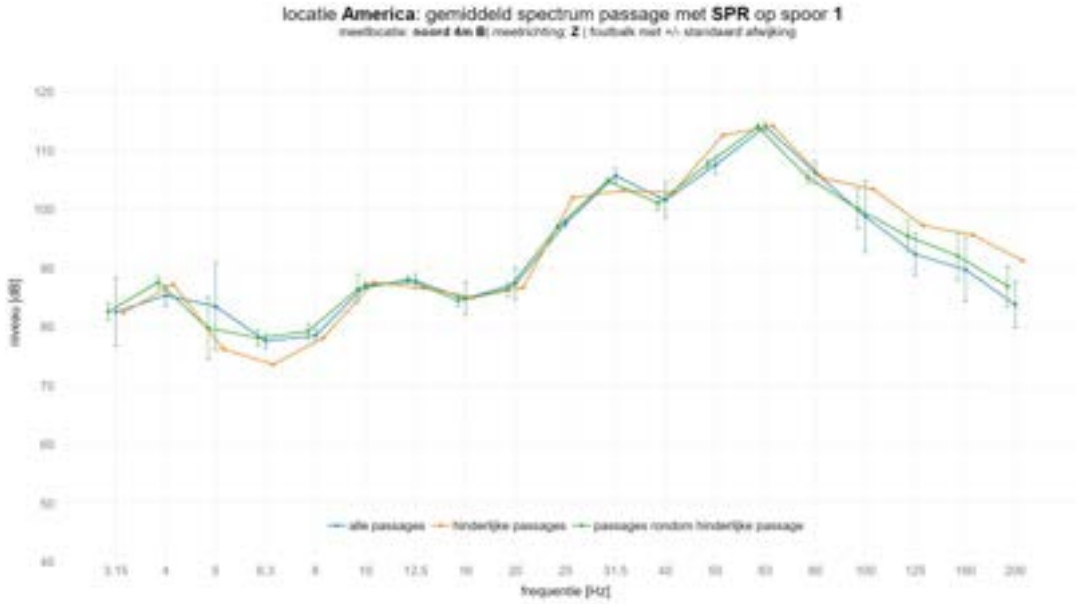

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **Y** | footbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

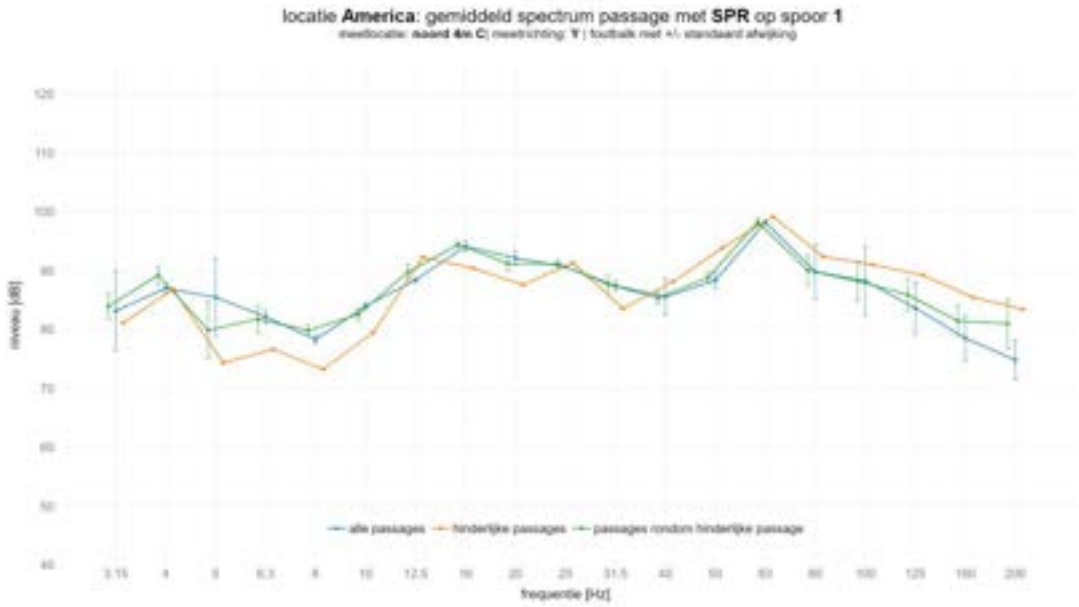

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 6m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]


locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

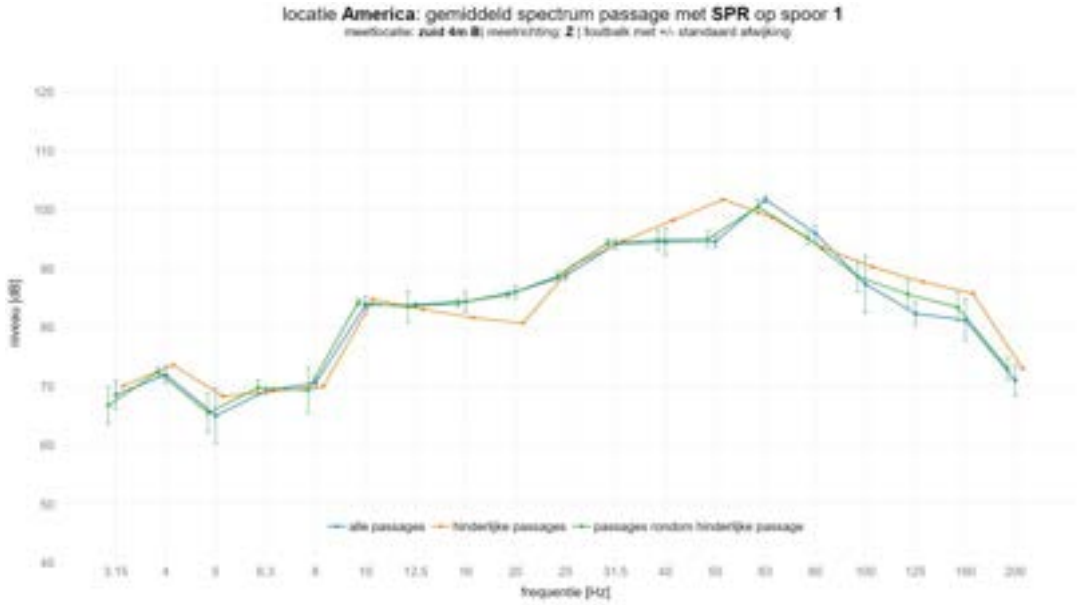

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

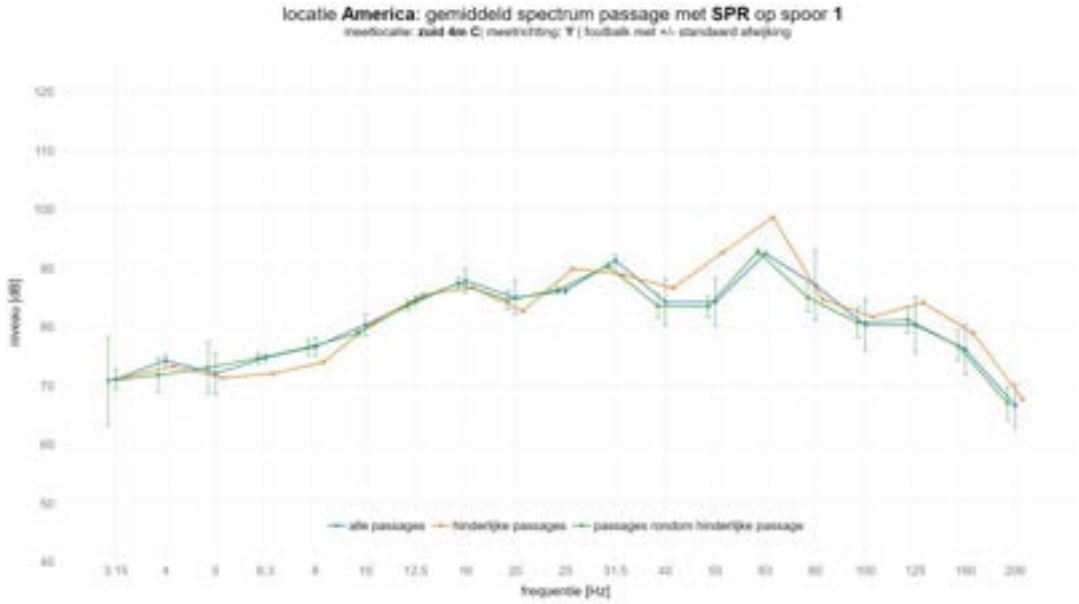

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

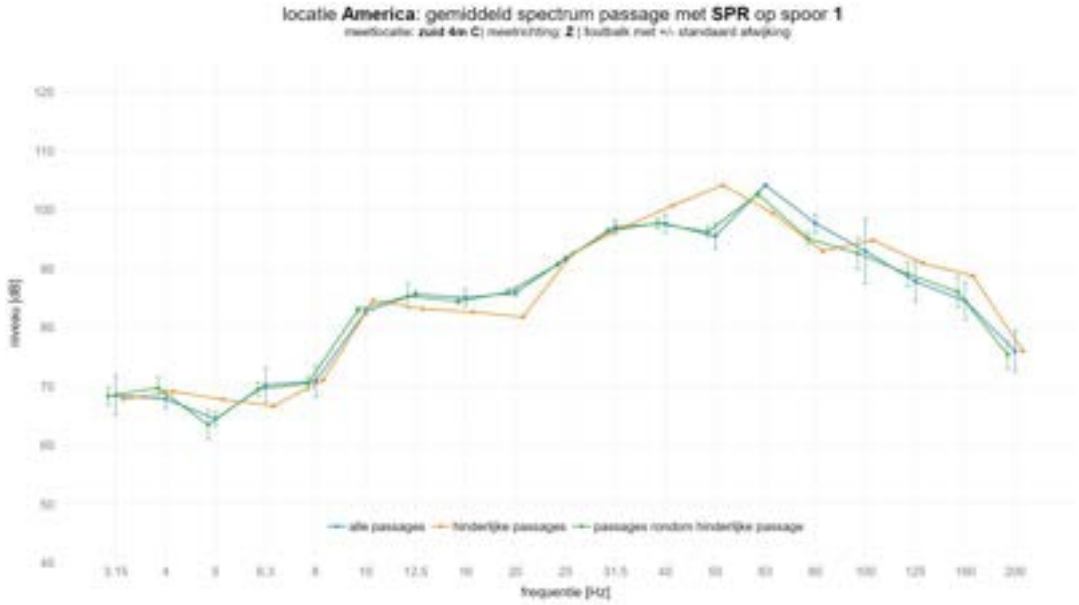

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m B**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

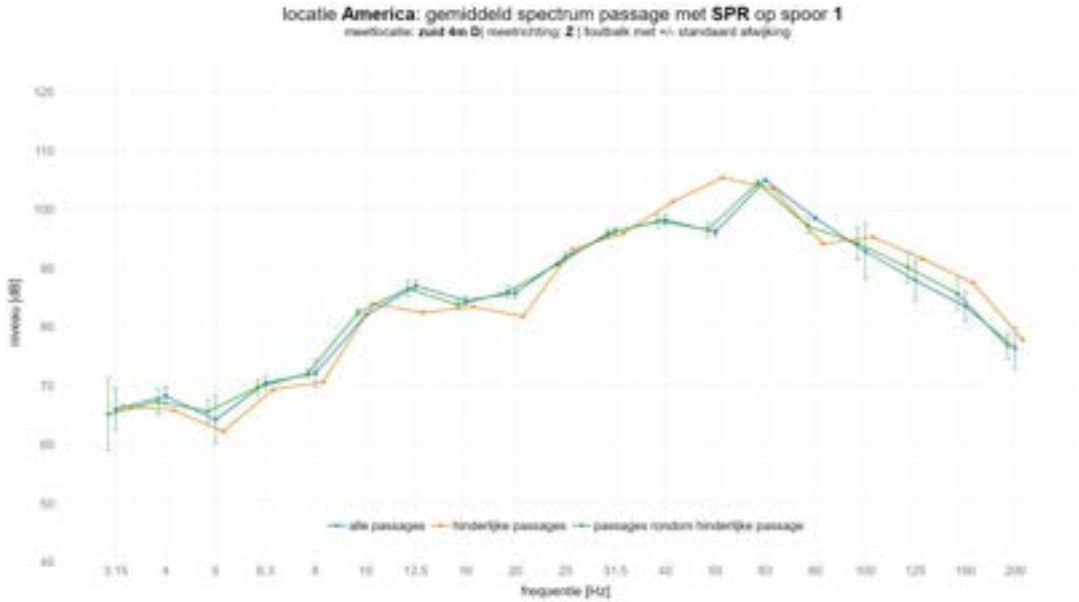

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

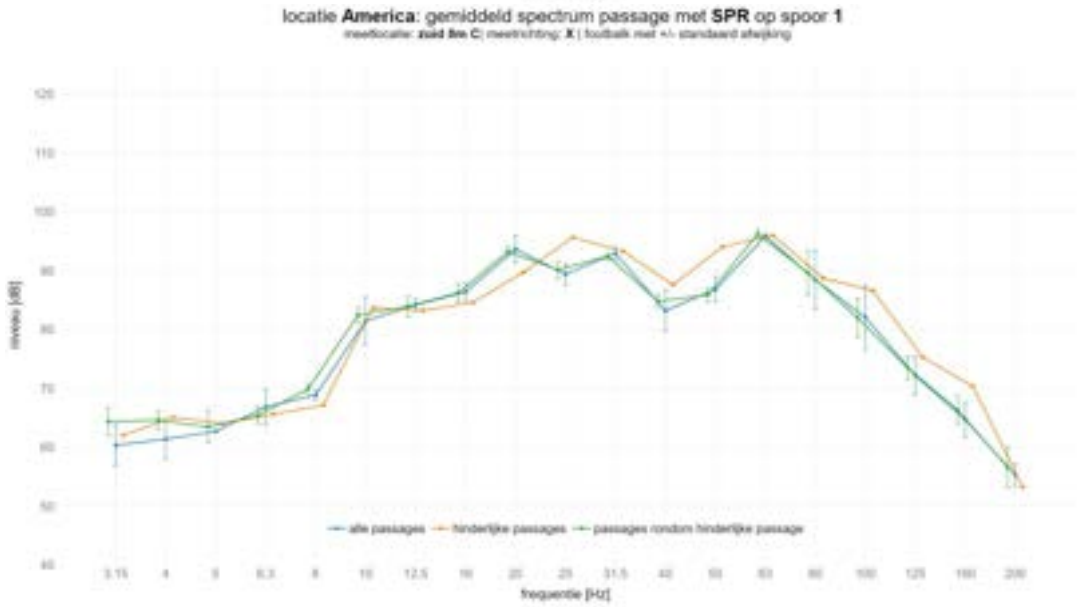
locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
125
110
100
90
80
70
60
50
40
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
3.15
4
5
6.3
8
10
12.5
16
20
25
31.5
40
50
63
80
100
125
160
200
frequentie [Hz]

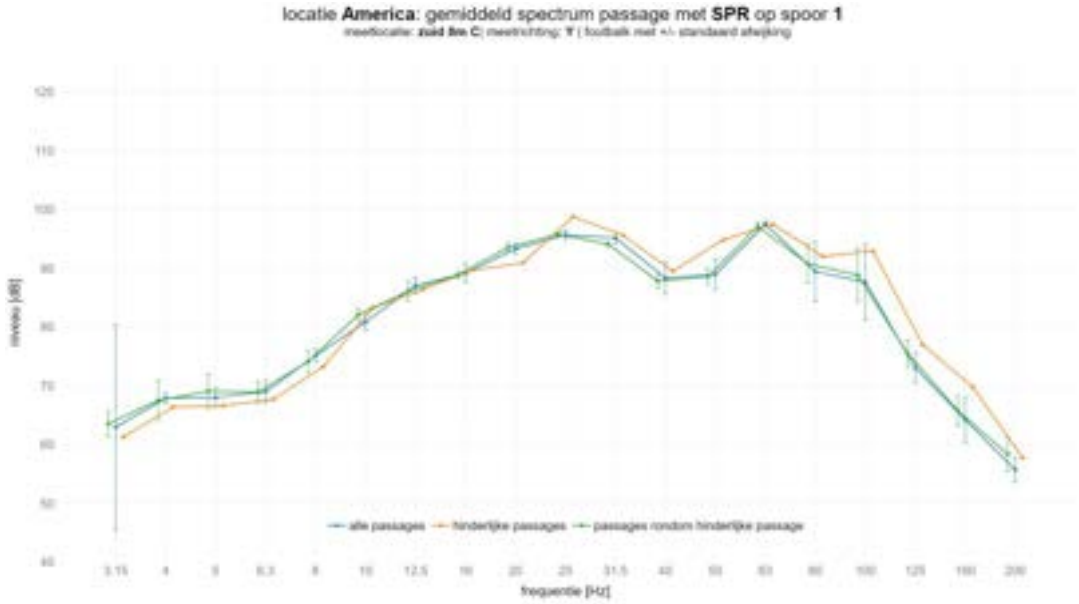

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m B** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
125
110
100
90
80
70
60
50
40
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
3.15
4
5
6.3
8
10
12.5
16
20
25
31.5
40
50
63
80
100
125
160
200
frequentie [Hz]

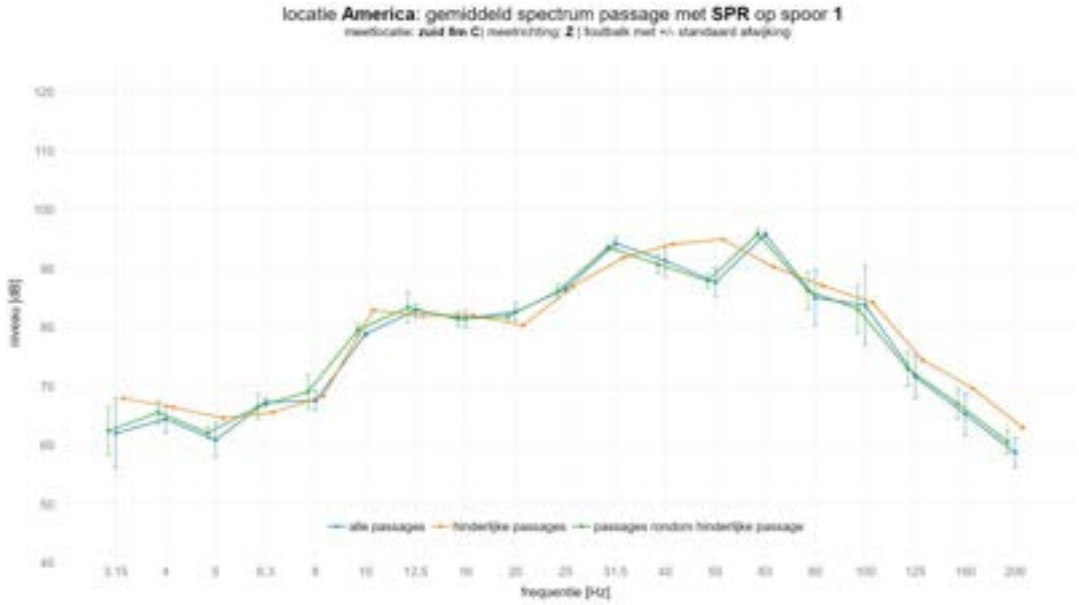

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

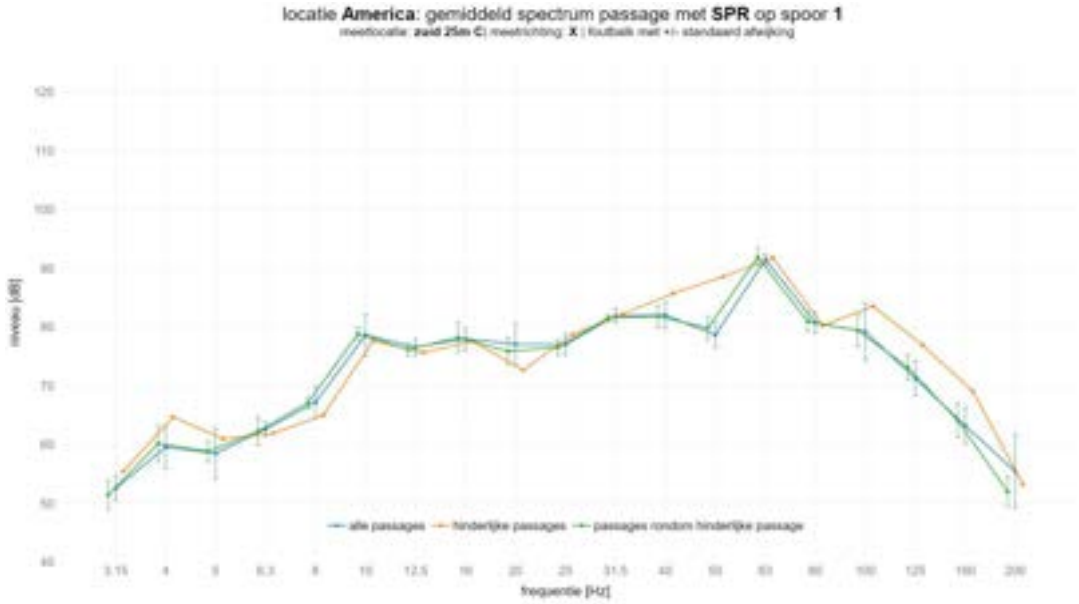

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

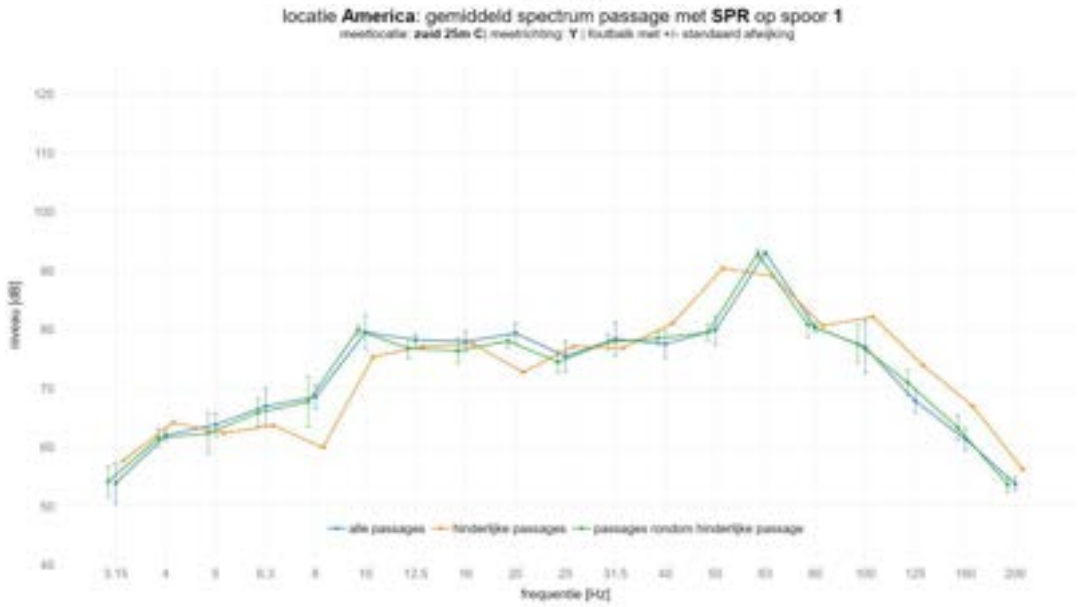

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m D**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

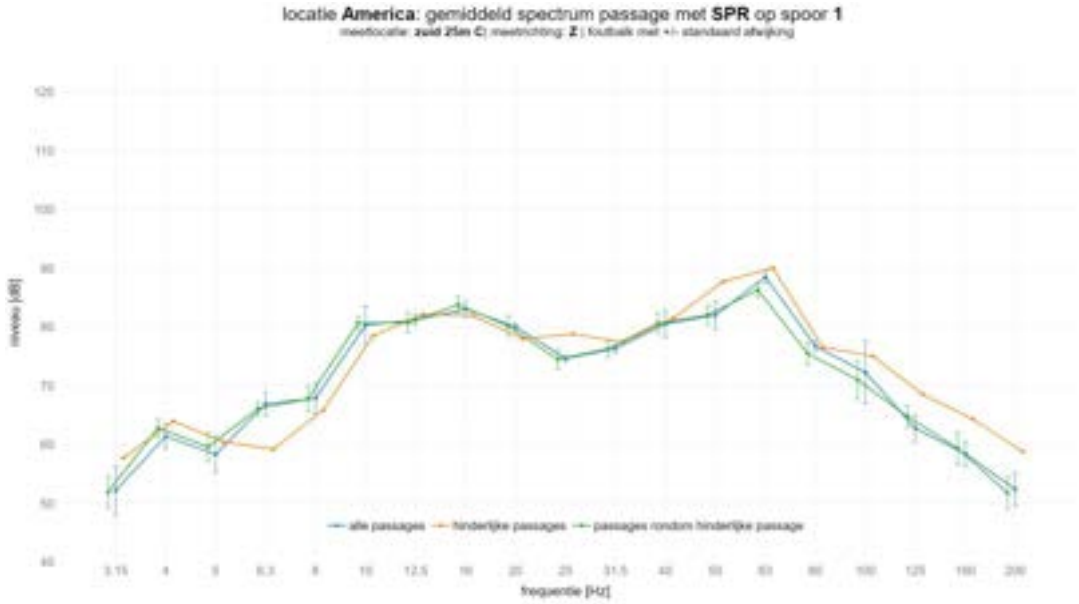

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

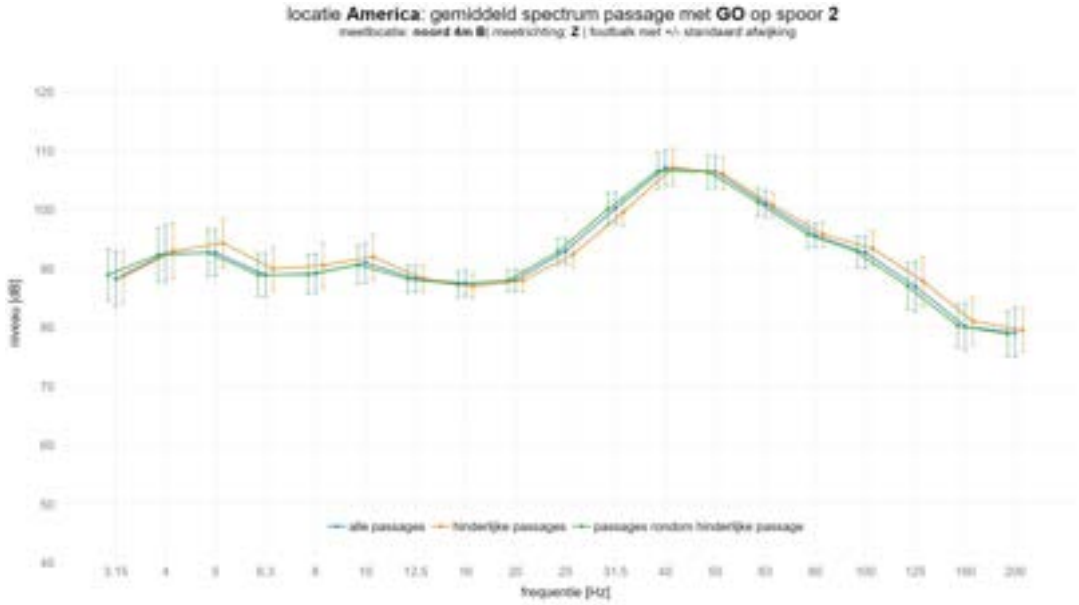

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 5m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

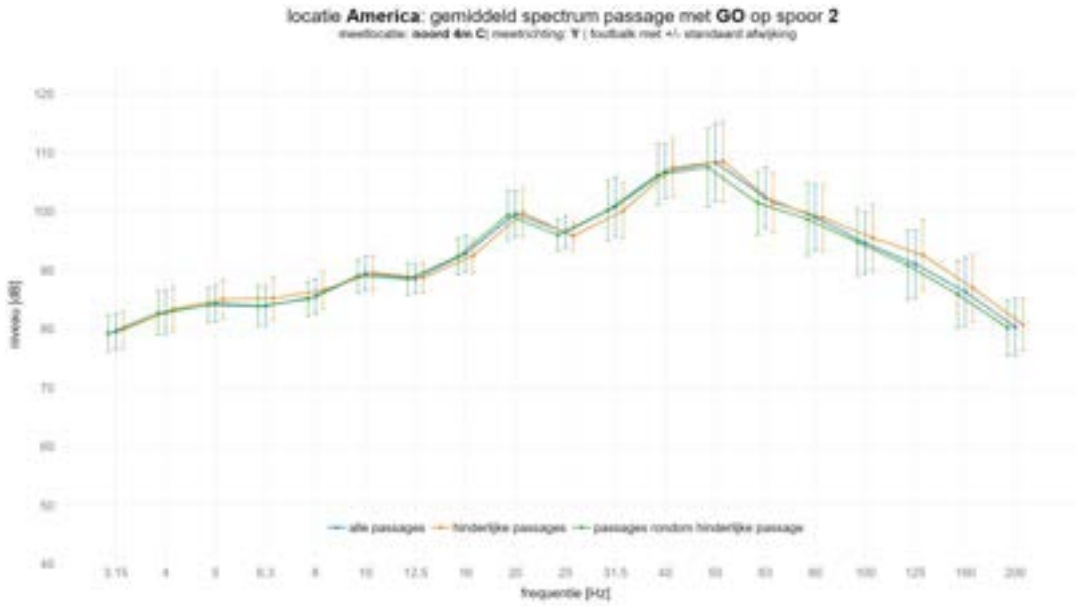

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 5m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

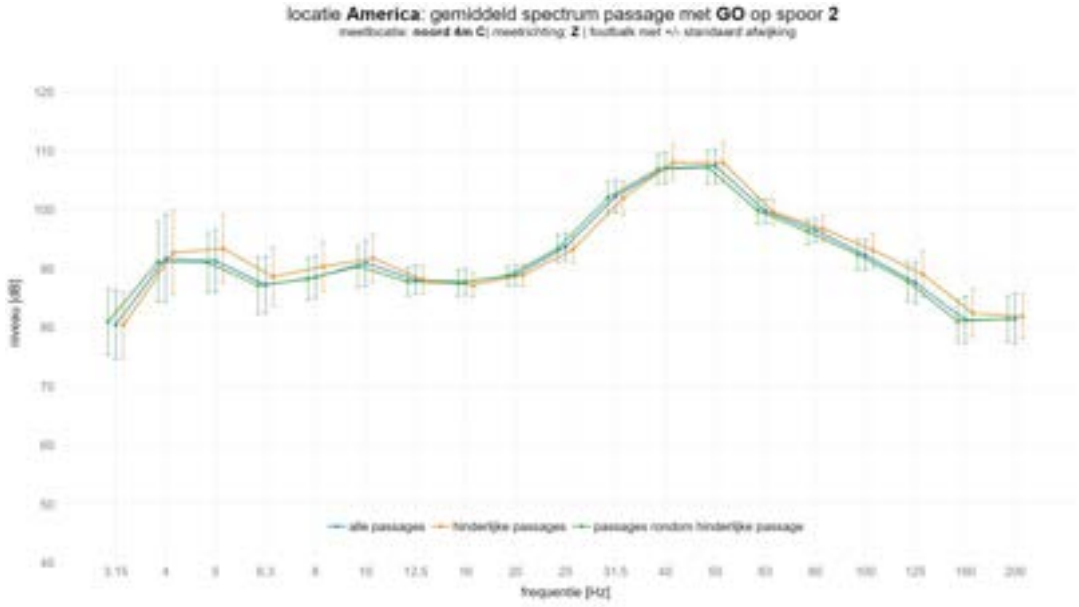

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

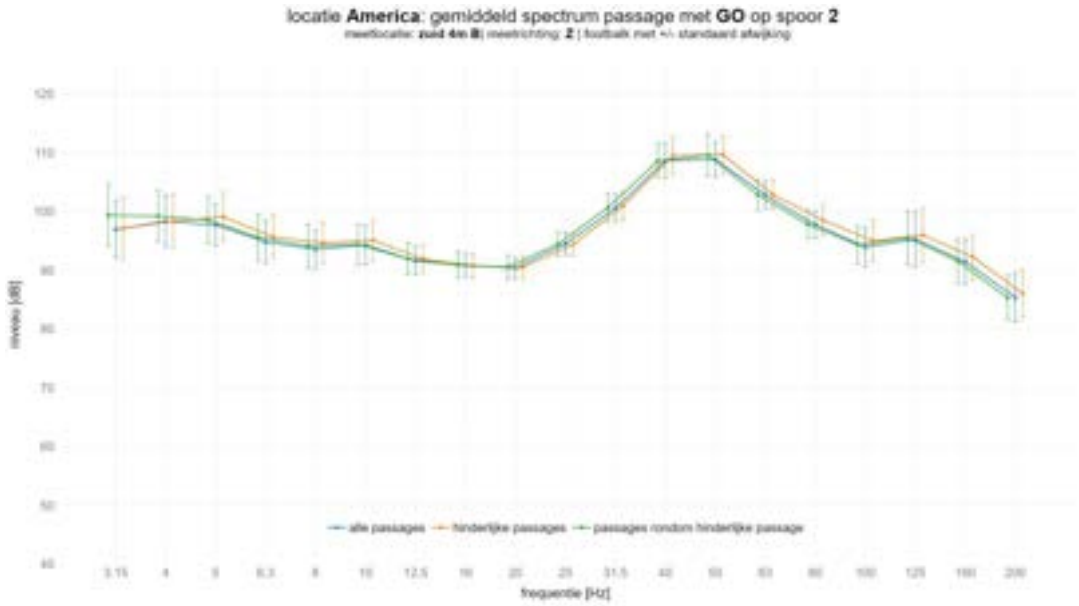

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

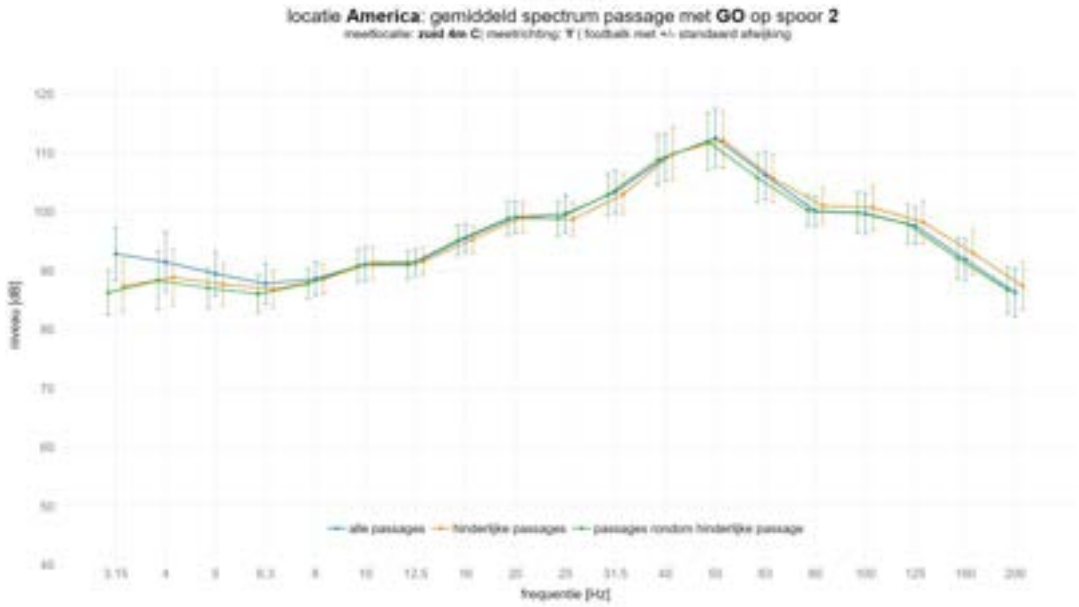

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

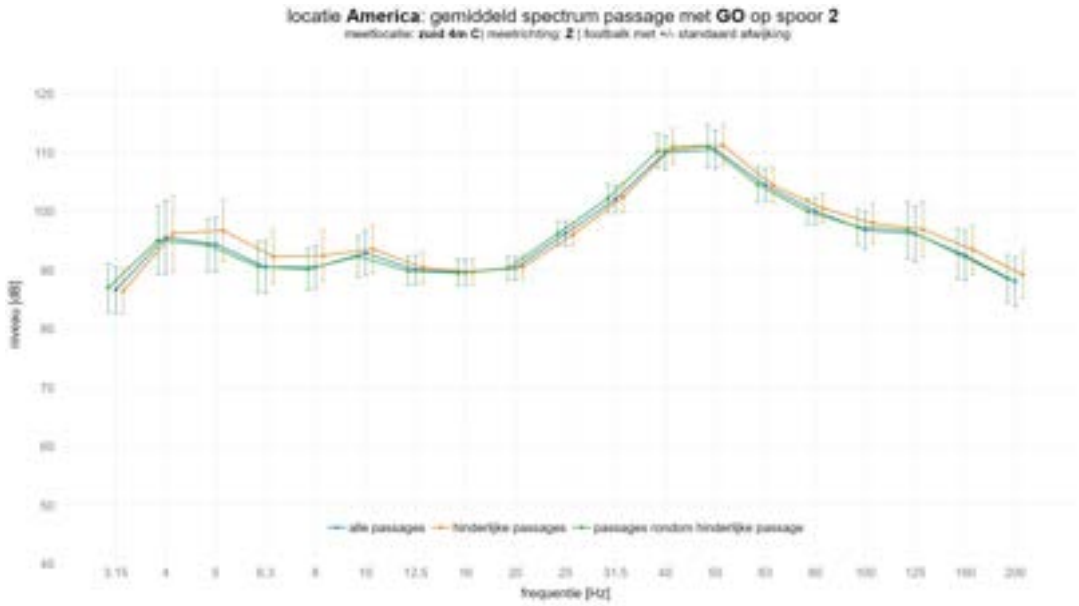

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m B** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

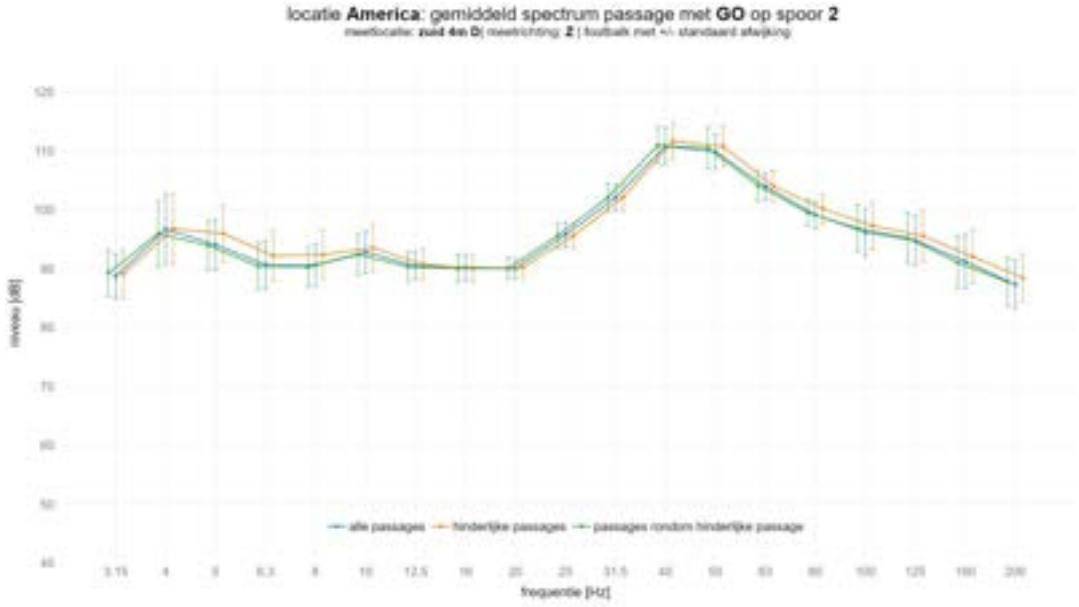

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

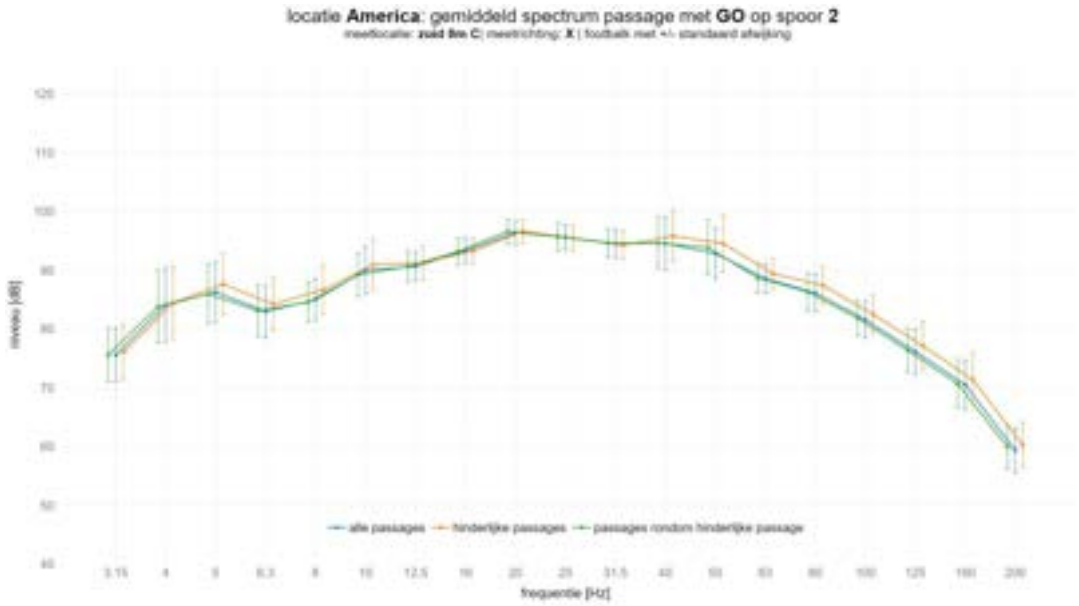

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

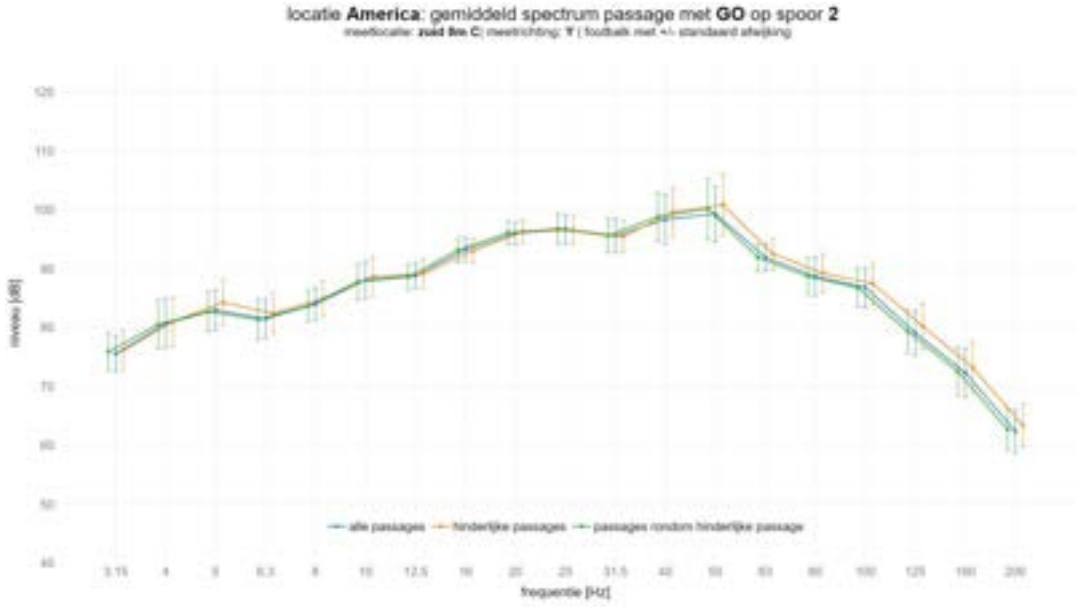

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m B**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

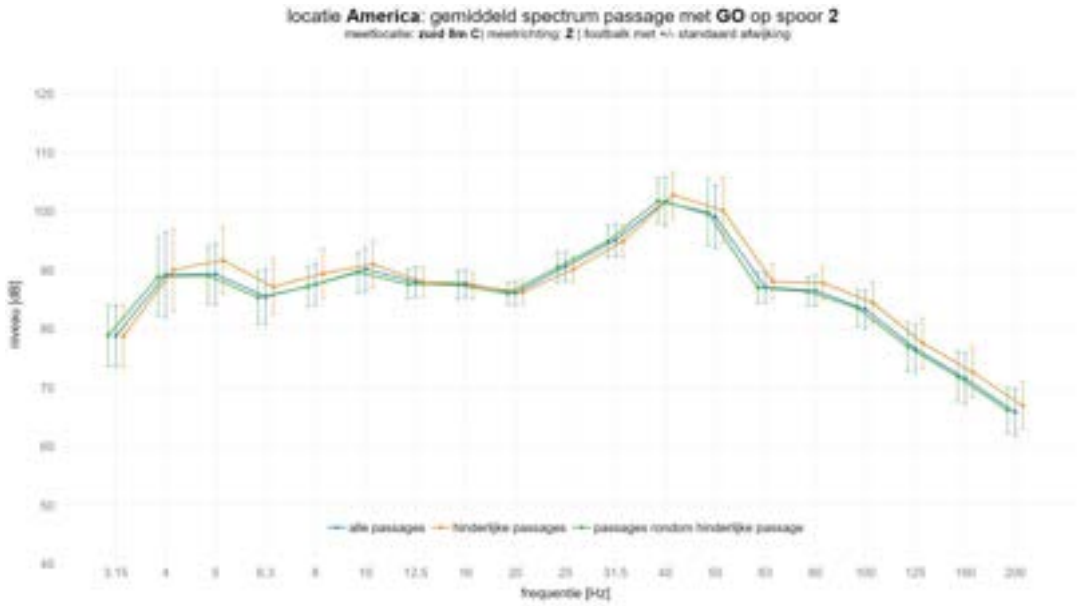

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

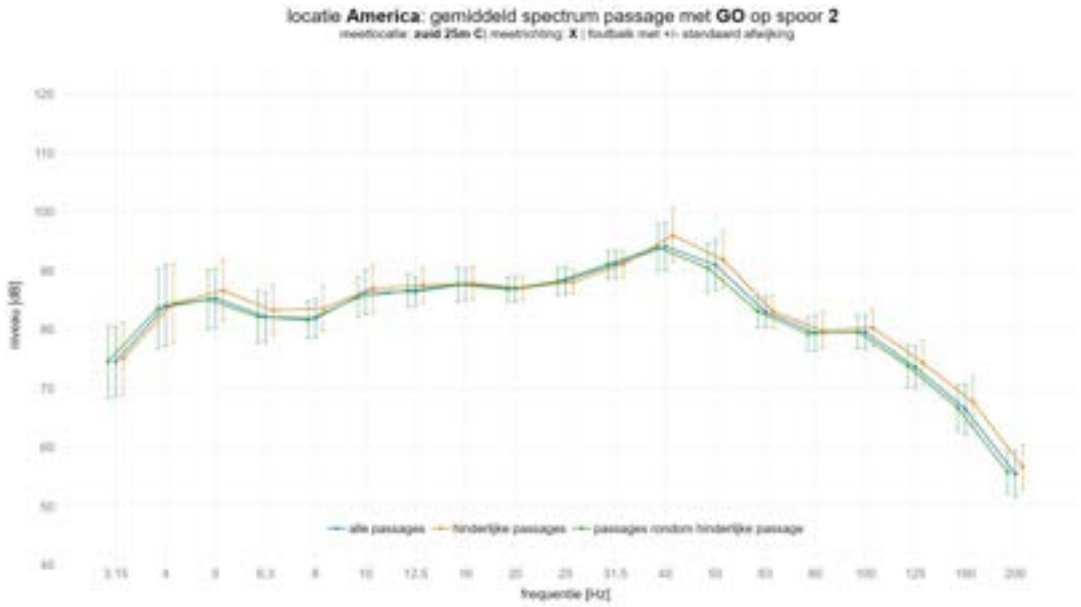

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

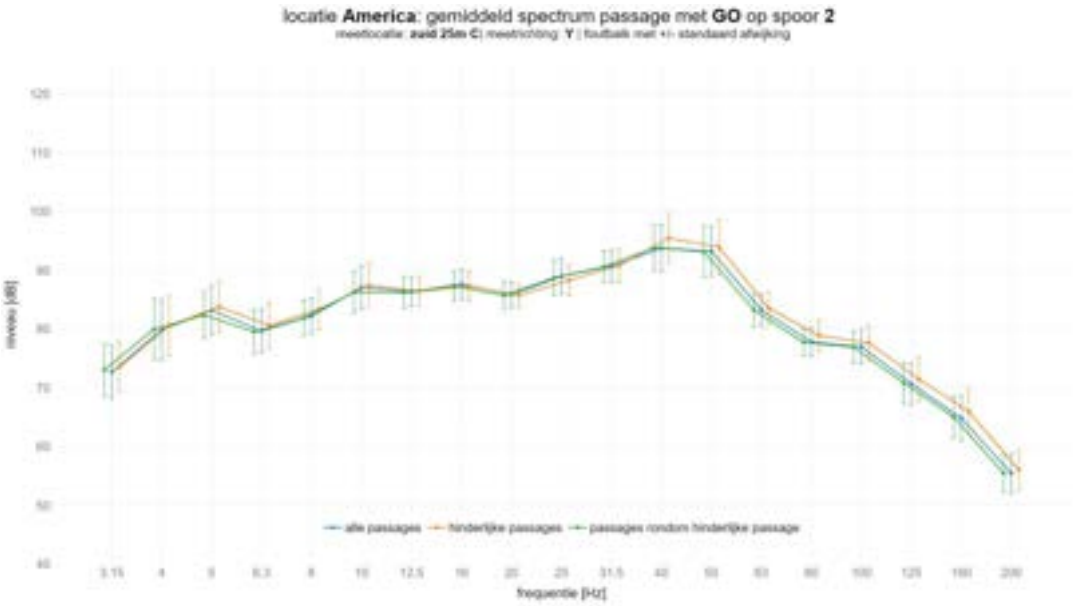

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m D** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

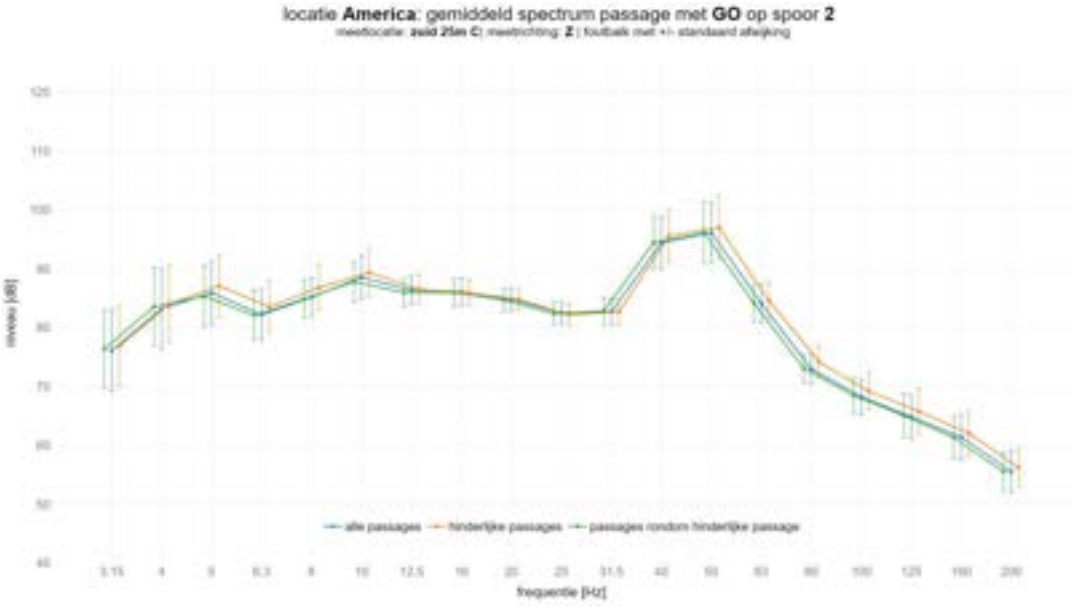

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 9m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

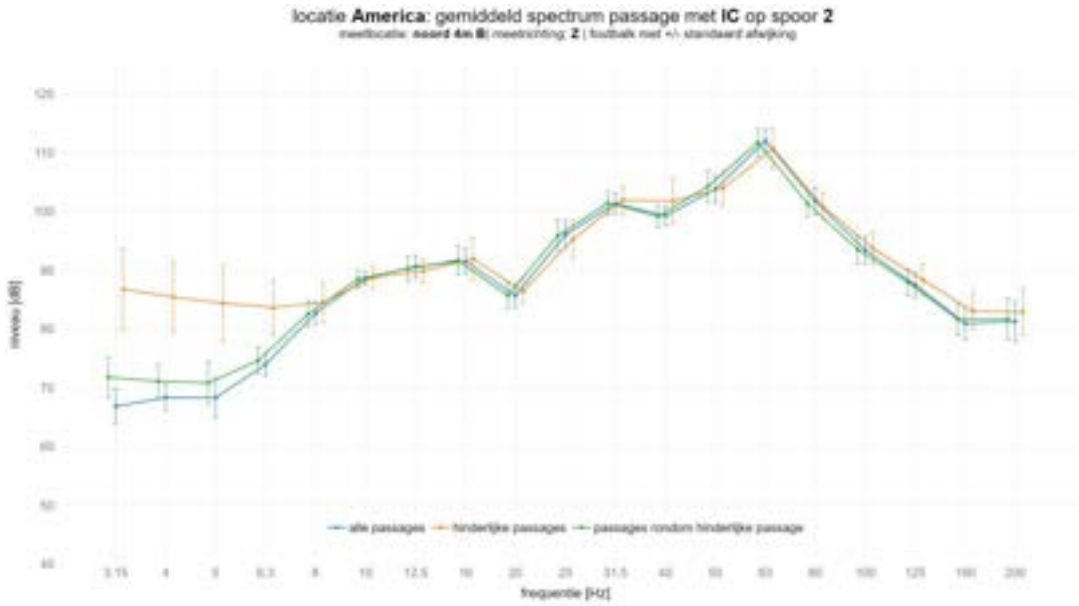

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 9m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

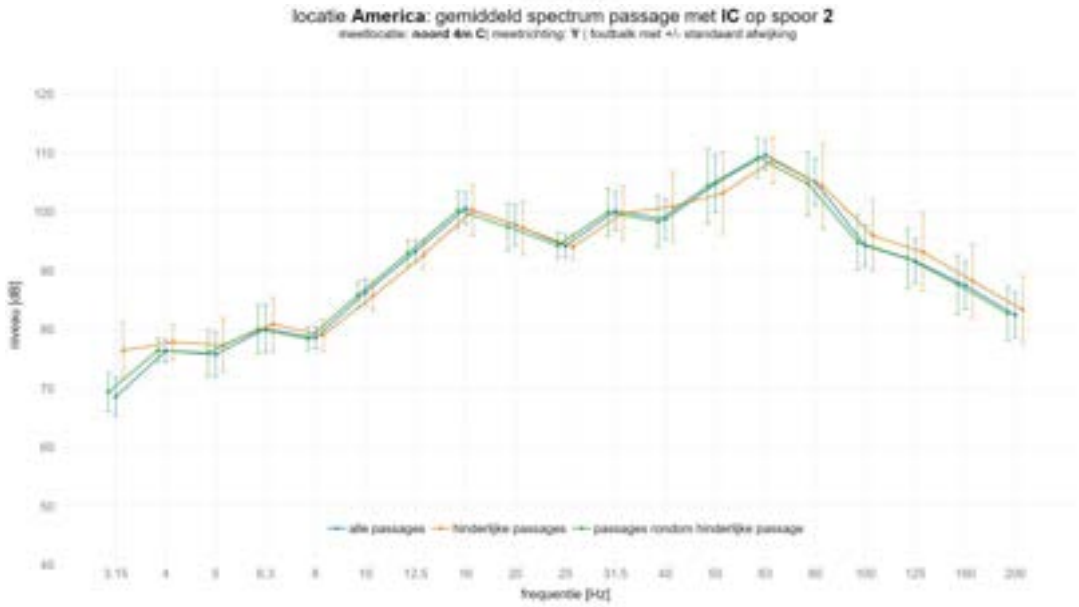

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 5m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] relatief
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

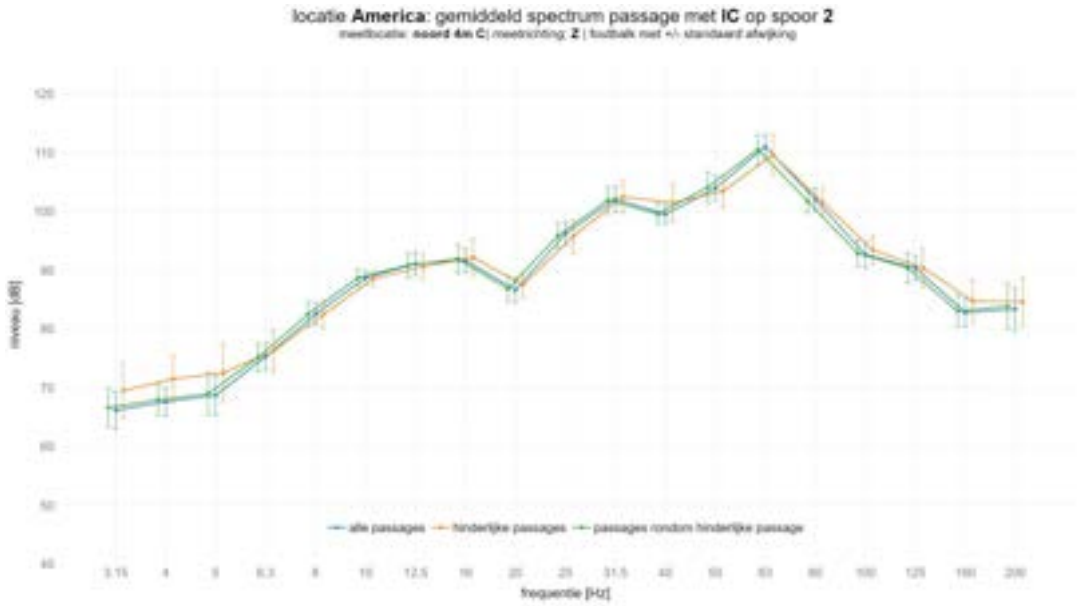

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] relatief
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

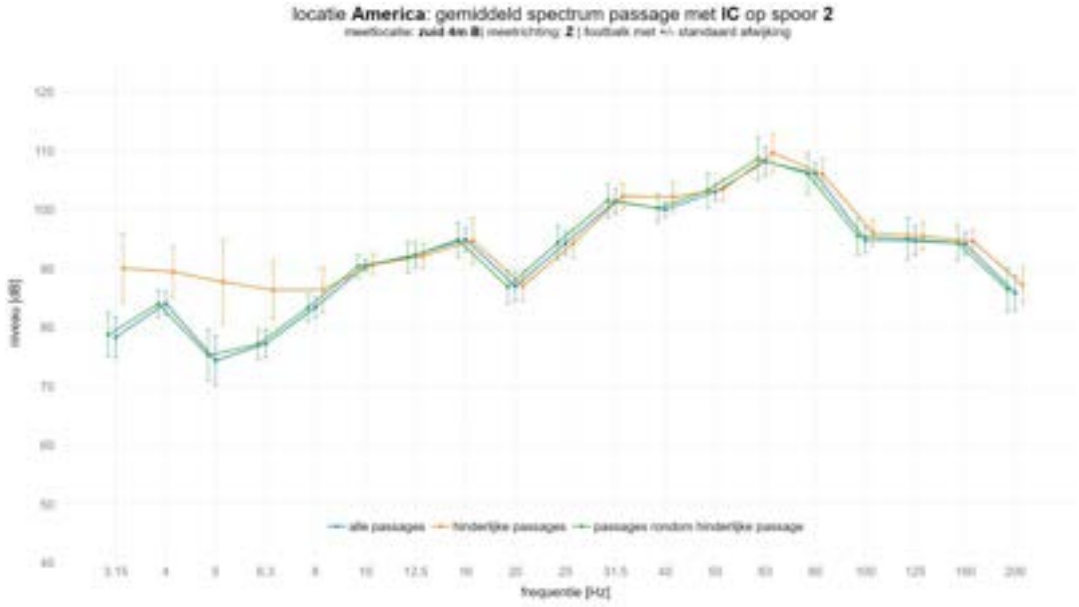

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

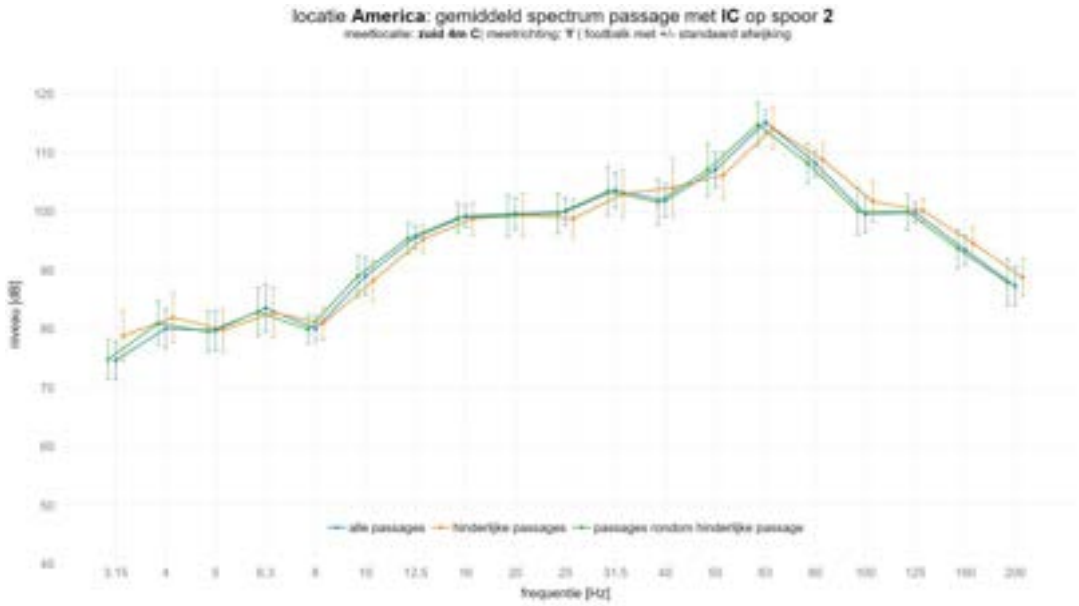

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

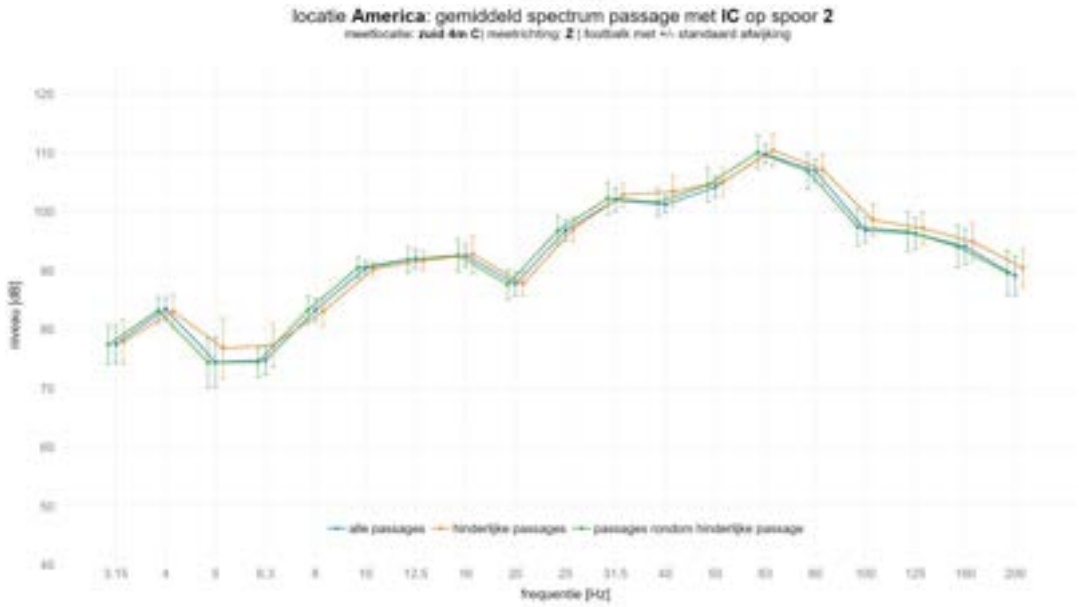

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m B**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

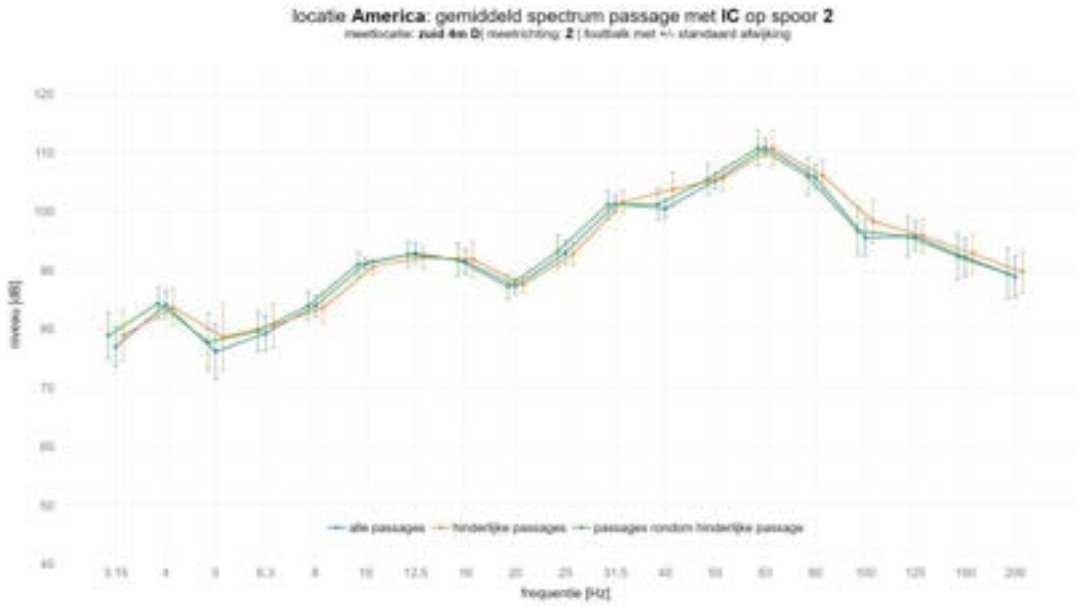

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

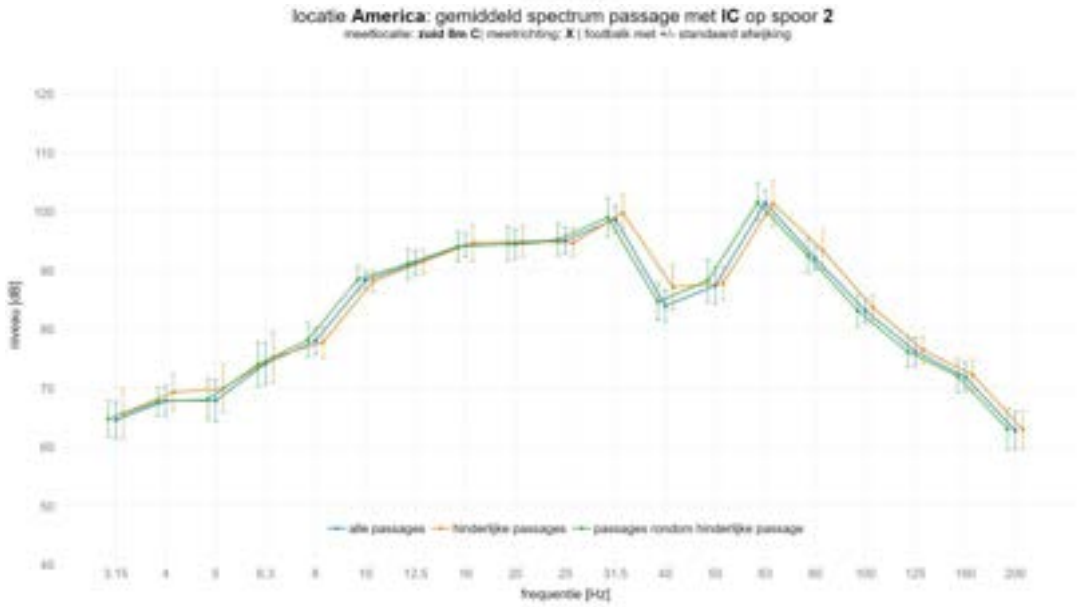

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] relatief
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

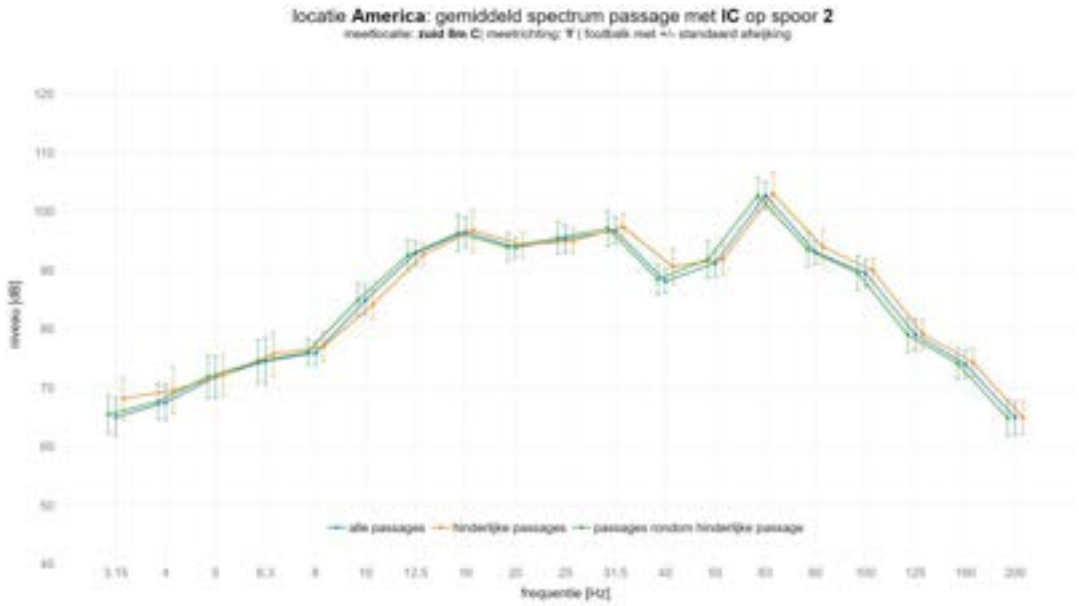

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m B** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] relatief
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

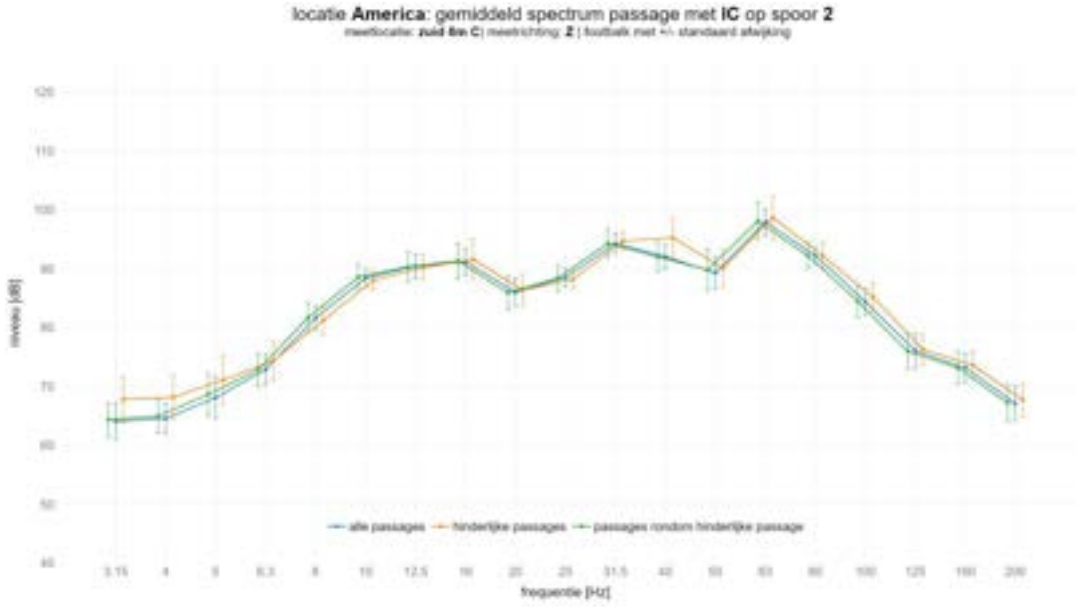

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **T** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

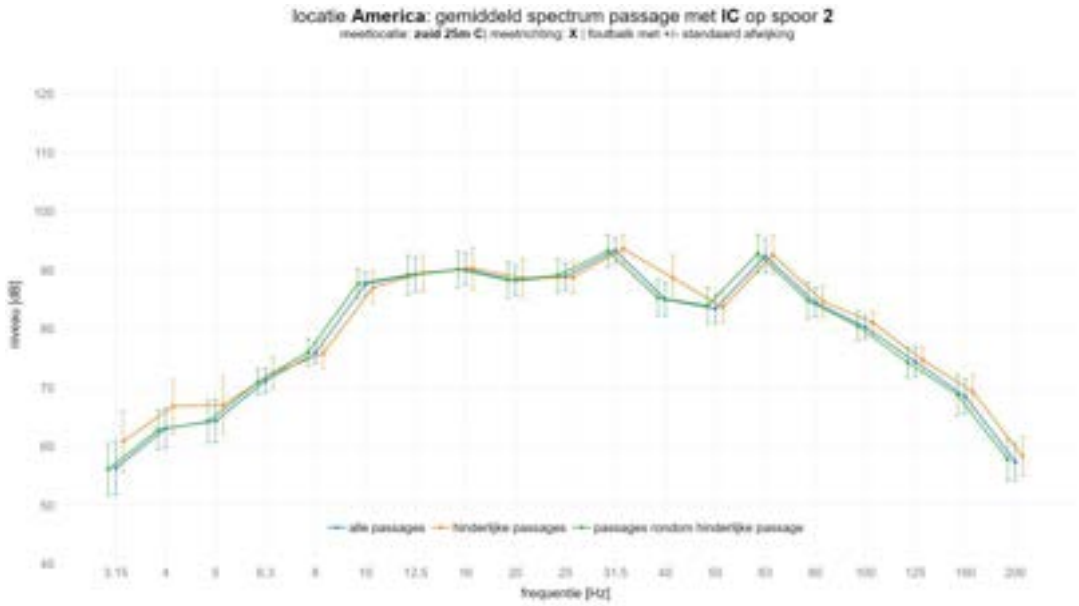

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

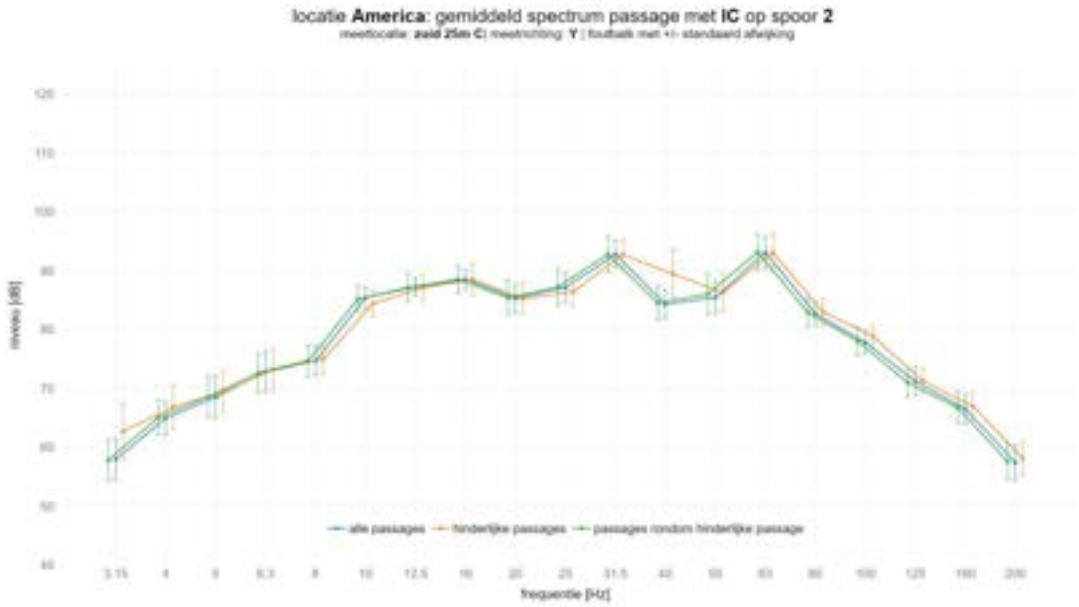

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m D**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

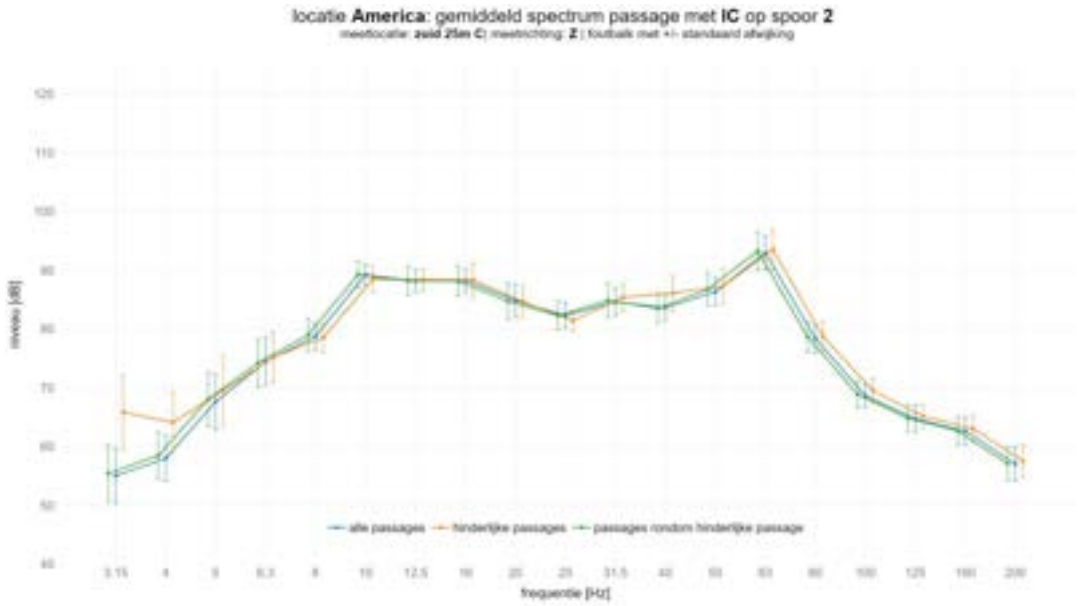

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

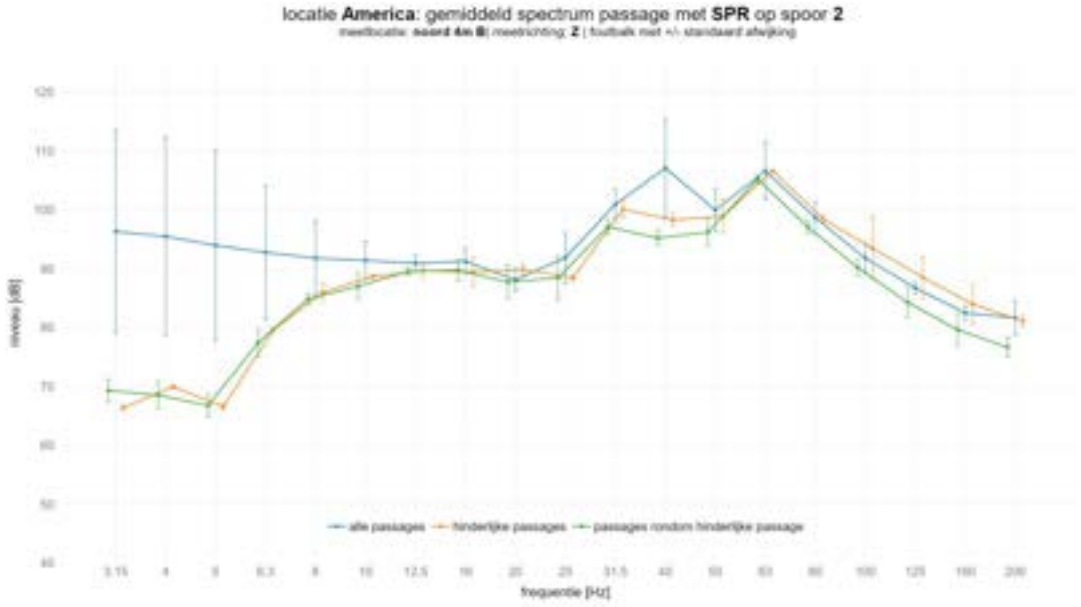

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **T** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

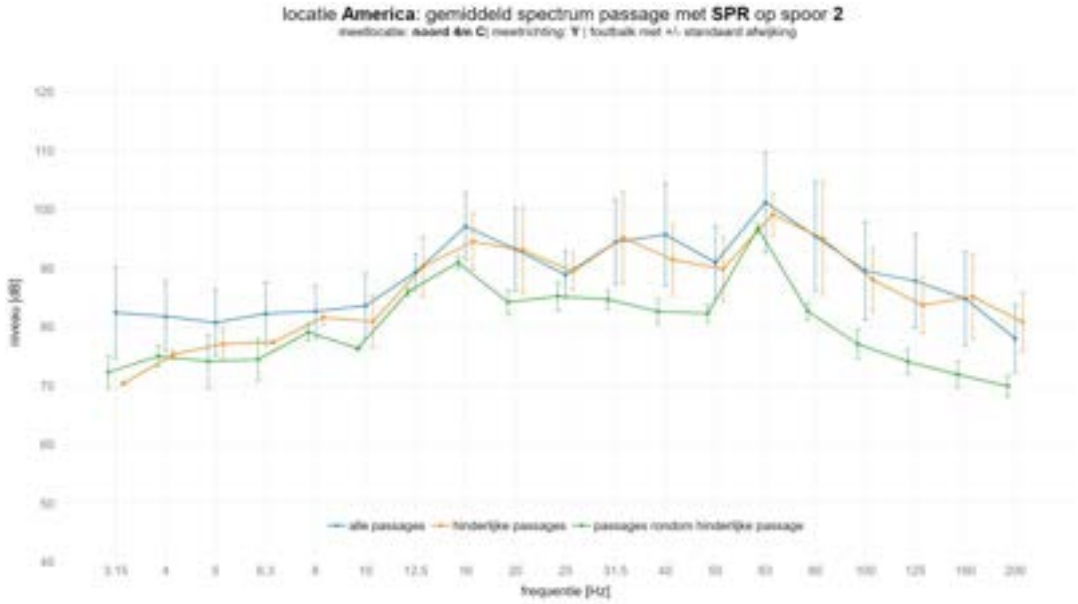

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

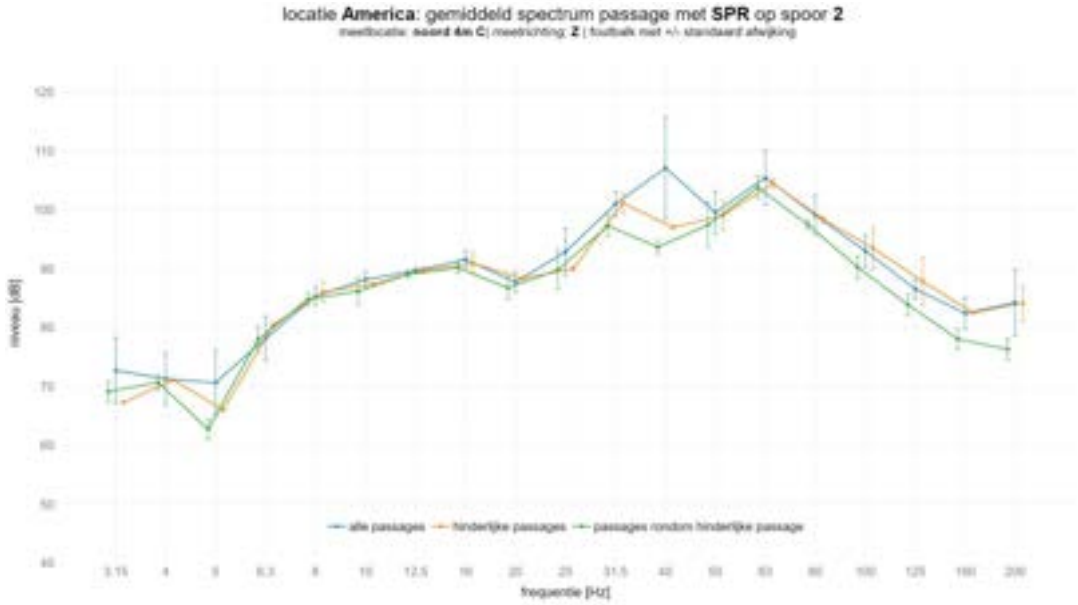

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

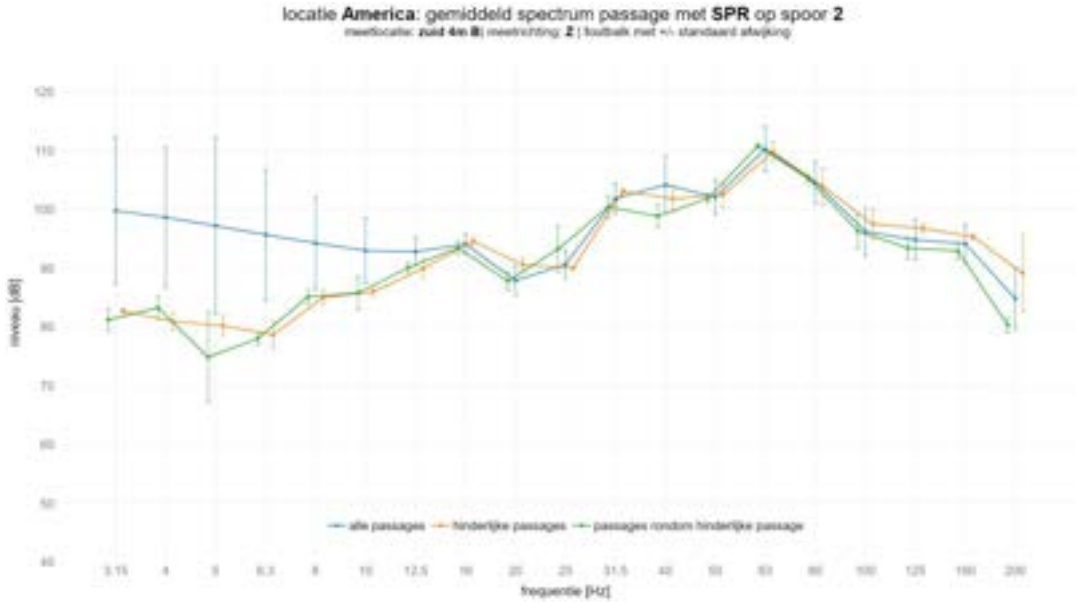

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

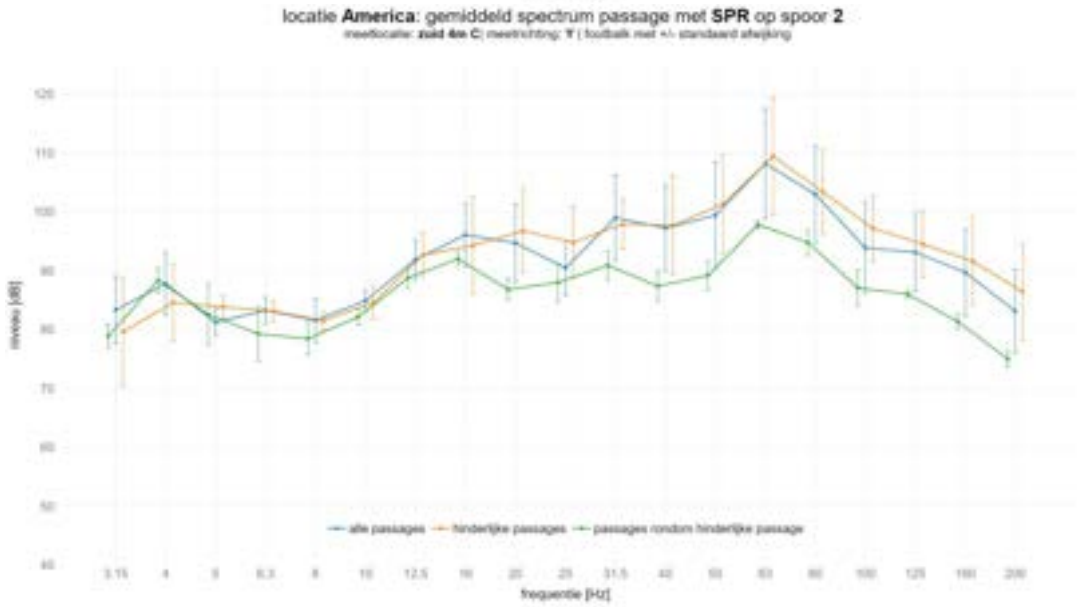

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

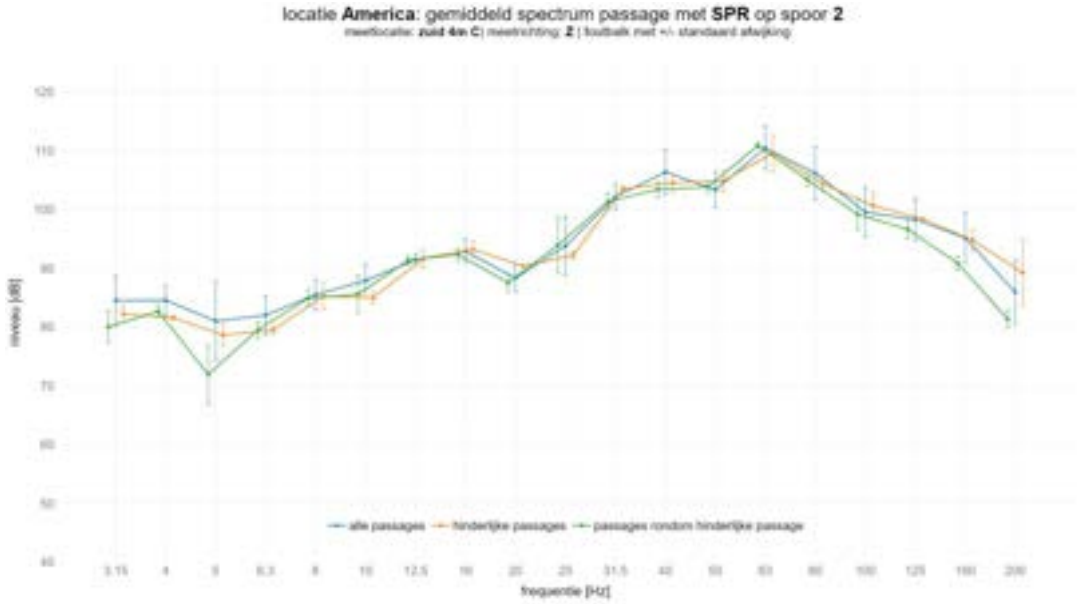

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m B** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

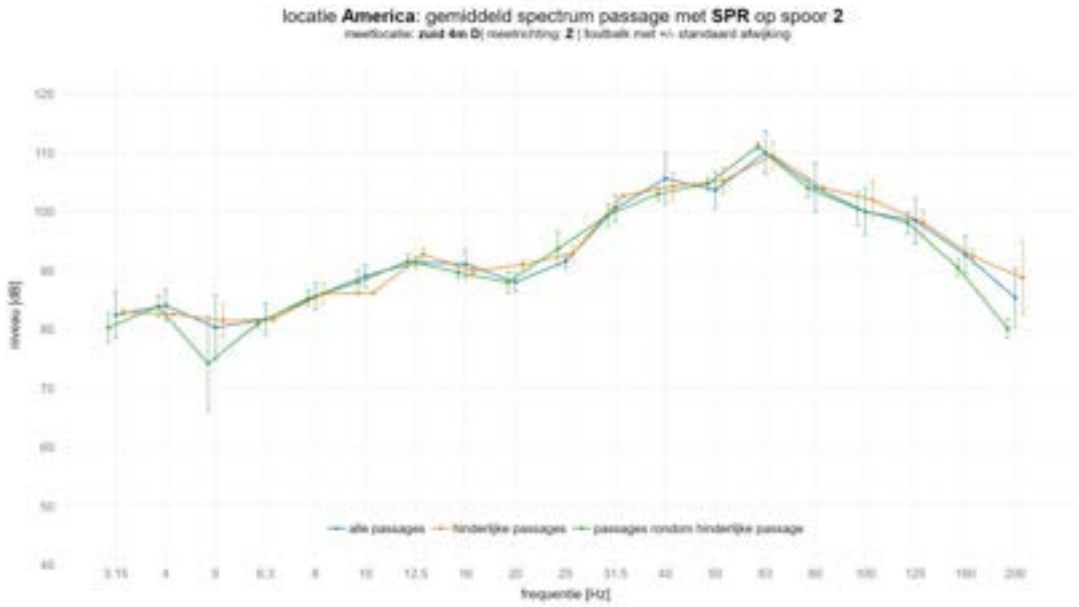

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

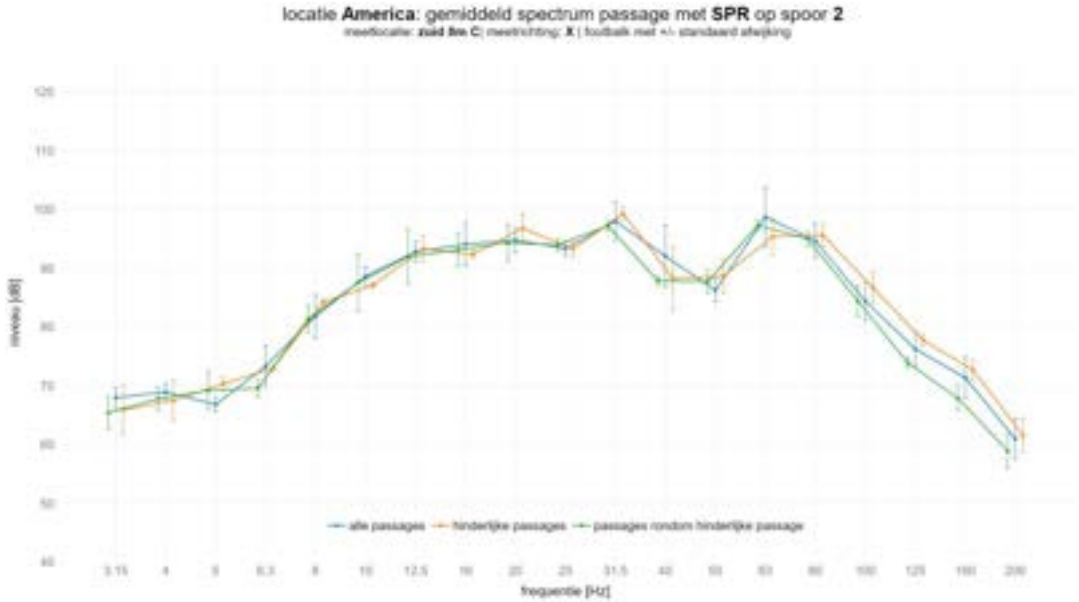

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

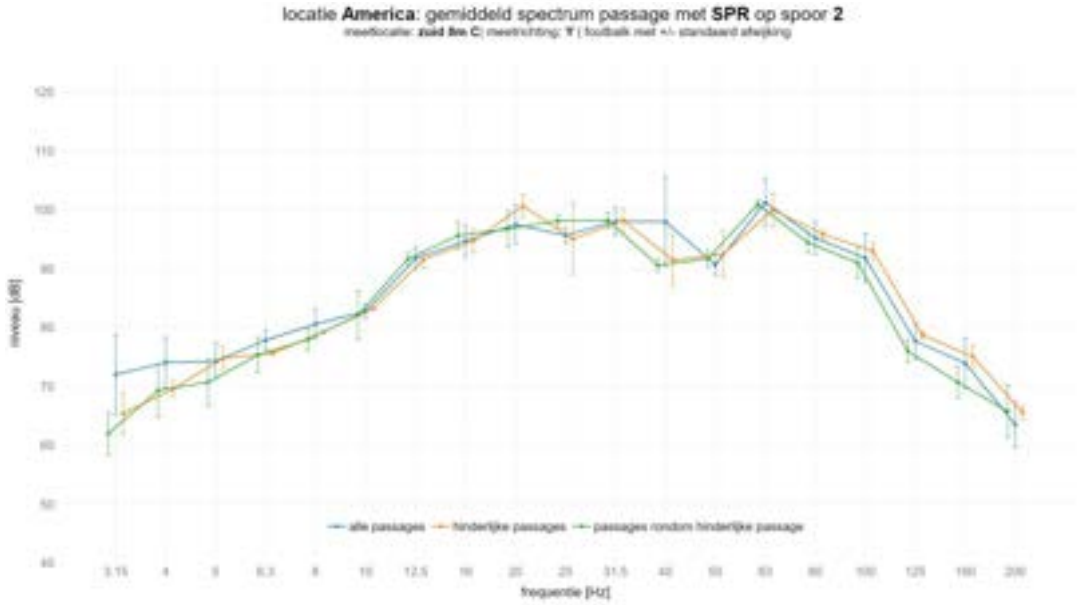

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m B**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluidniveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

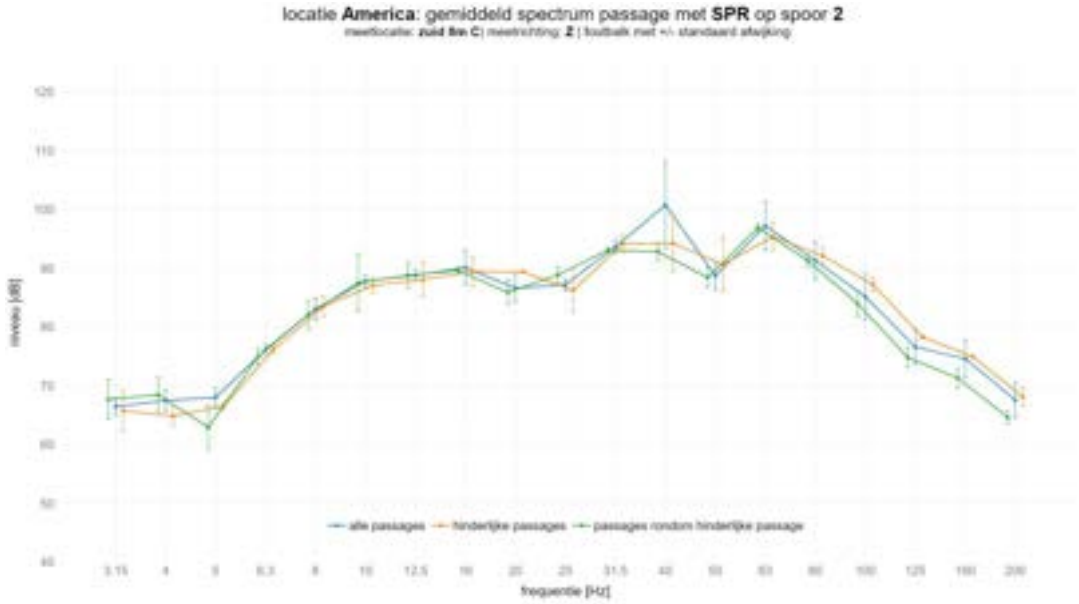

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluidniveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

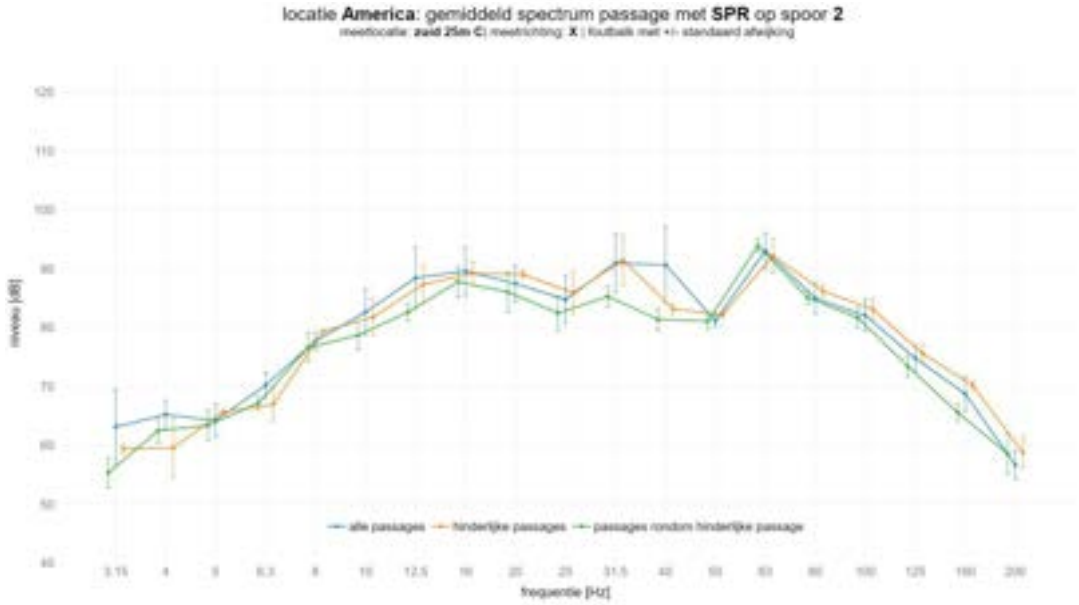

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

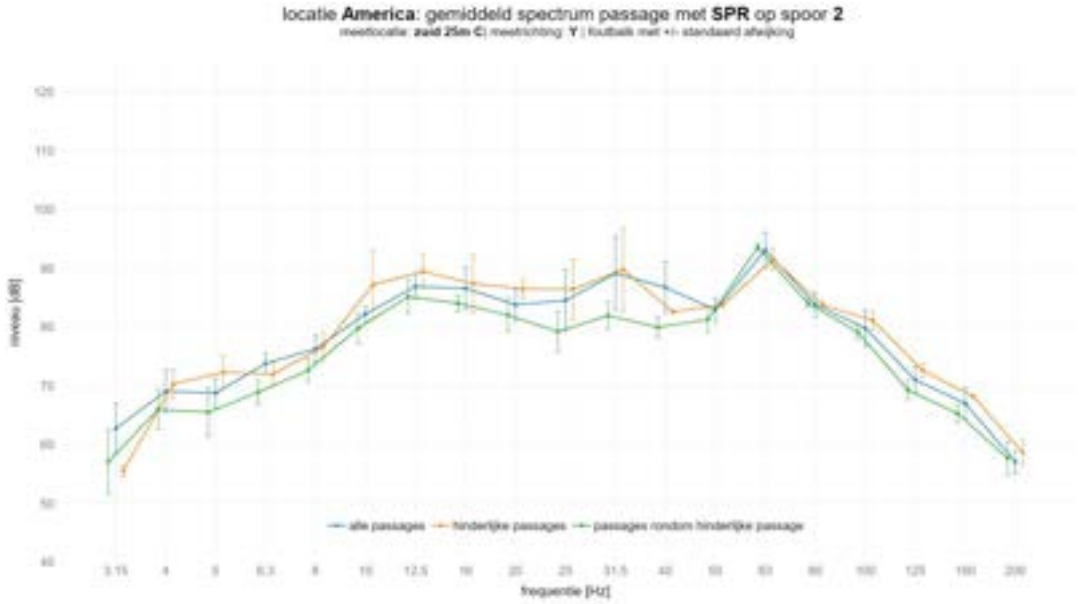

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m D** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

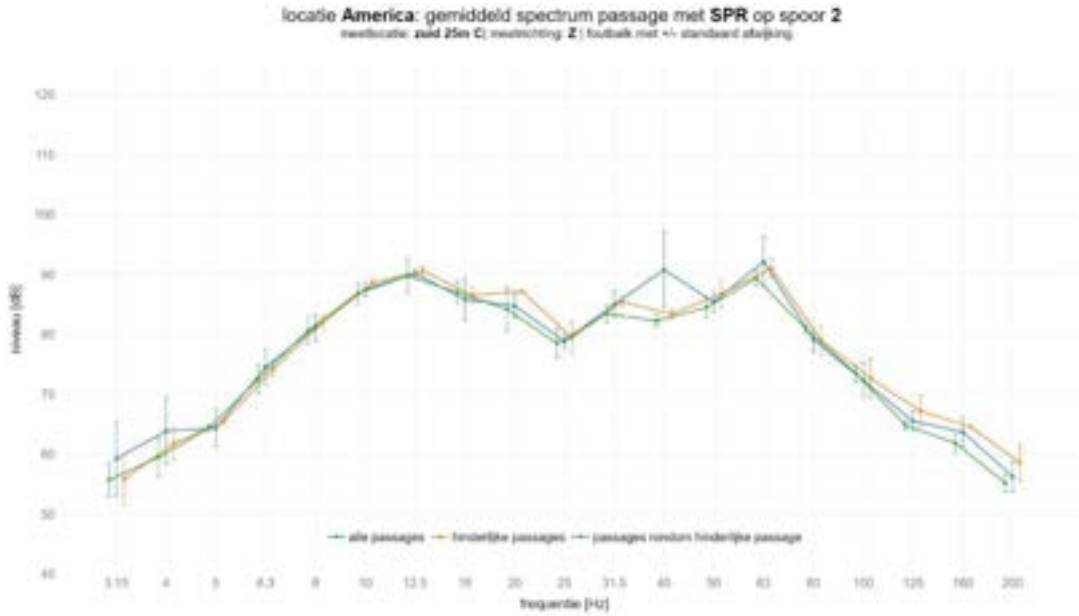

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]


locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

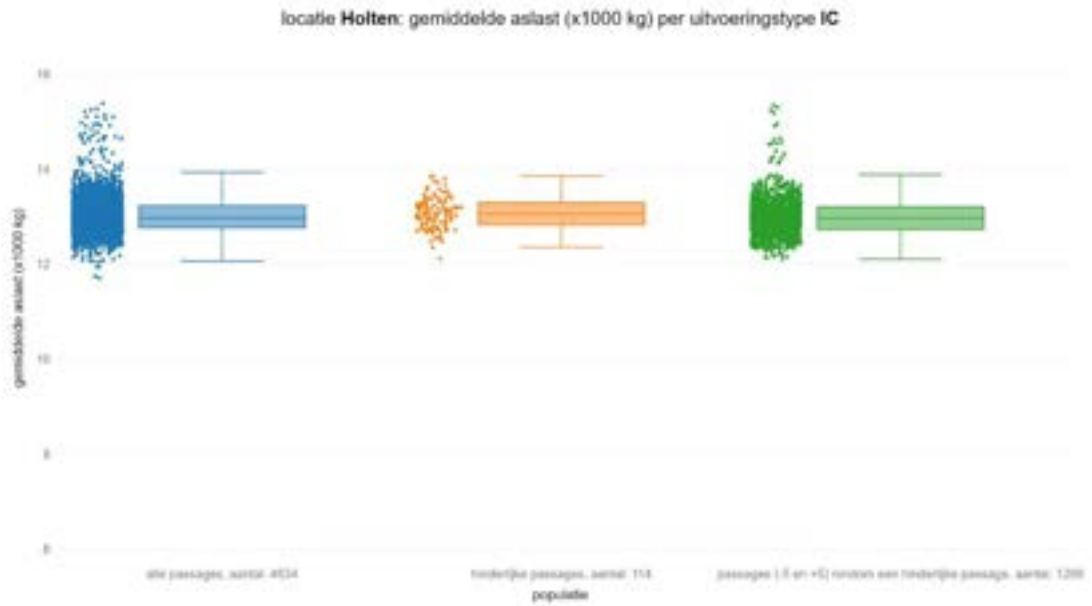

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 5m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]


locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

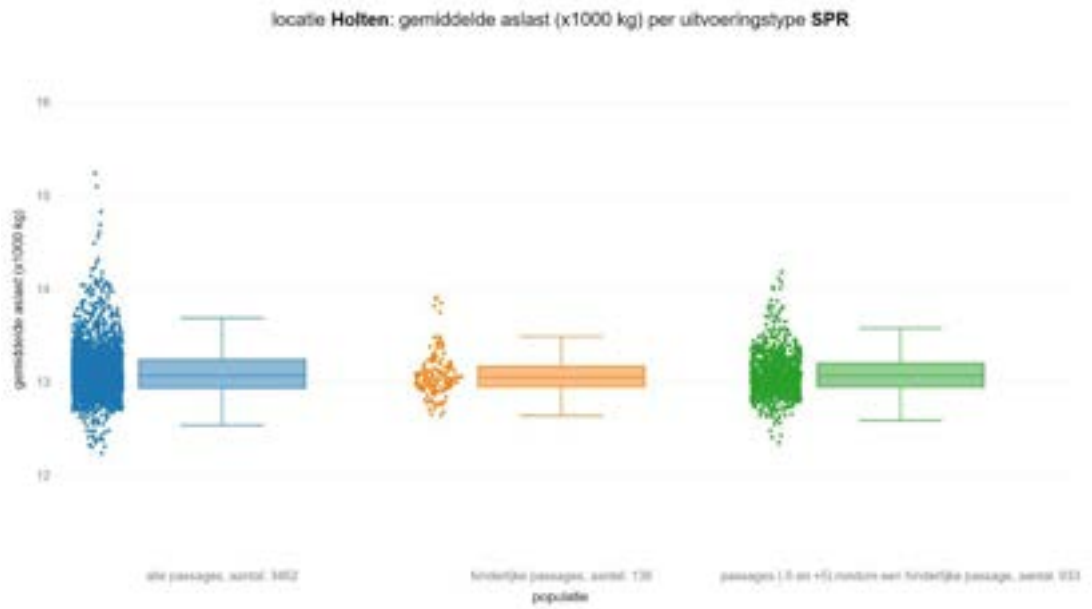

locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage


locatie **America**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

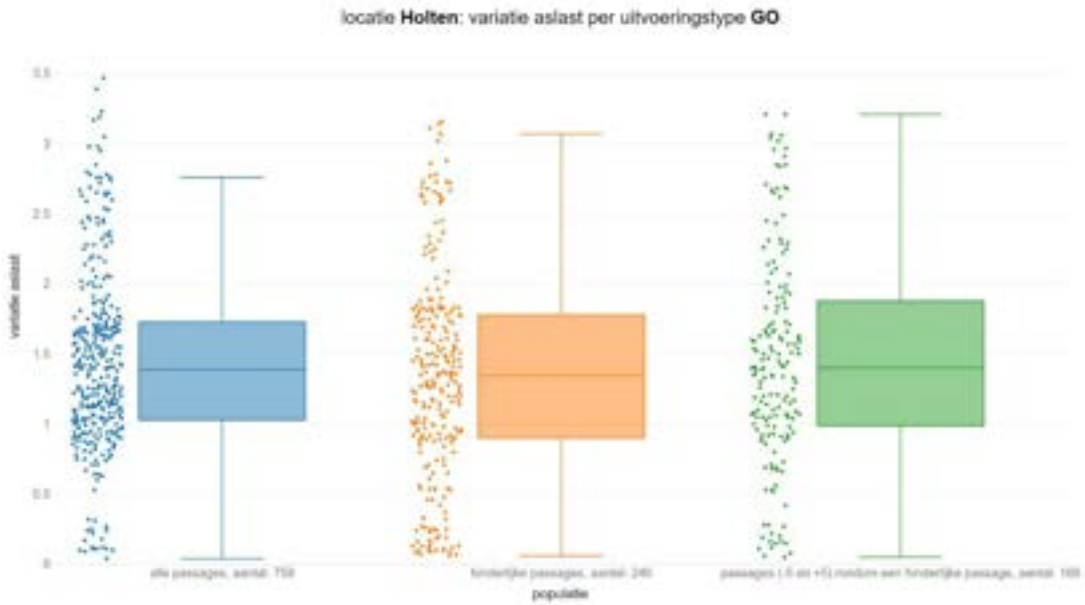
K Holten: aslast



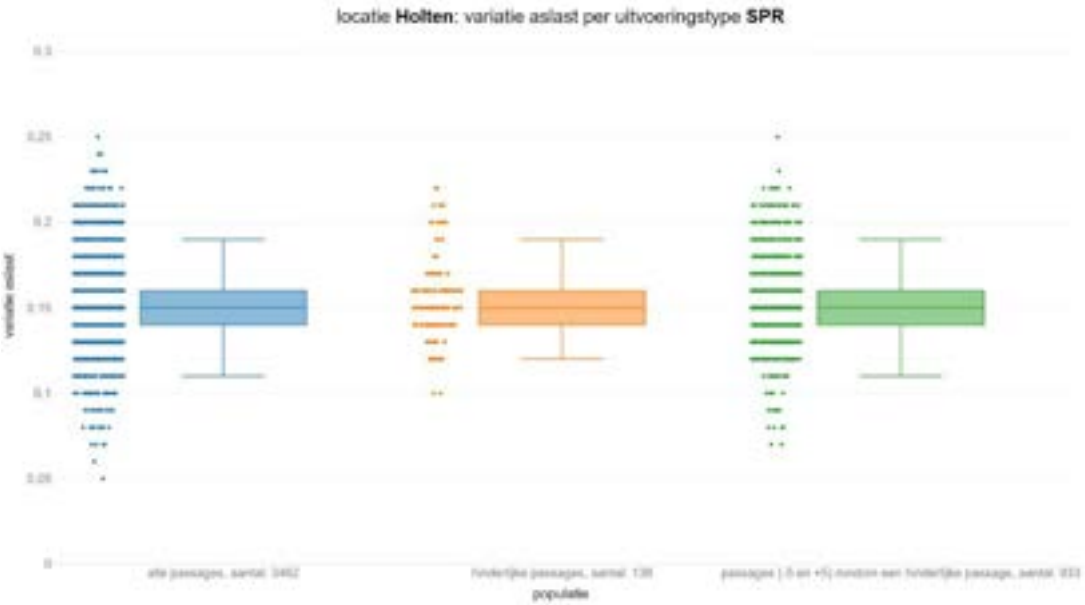
figuur 131 *Gemiddelde aslast voor intercity's per populatie*



figuur 132 *Gemiddelde aslast voor sprinters per populatie*

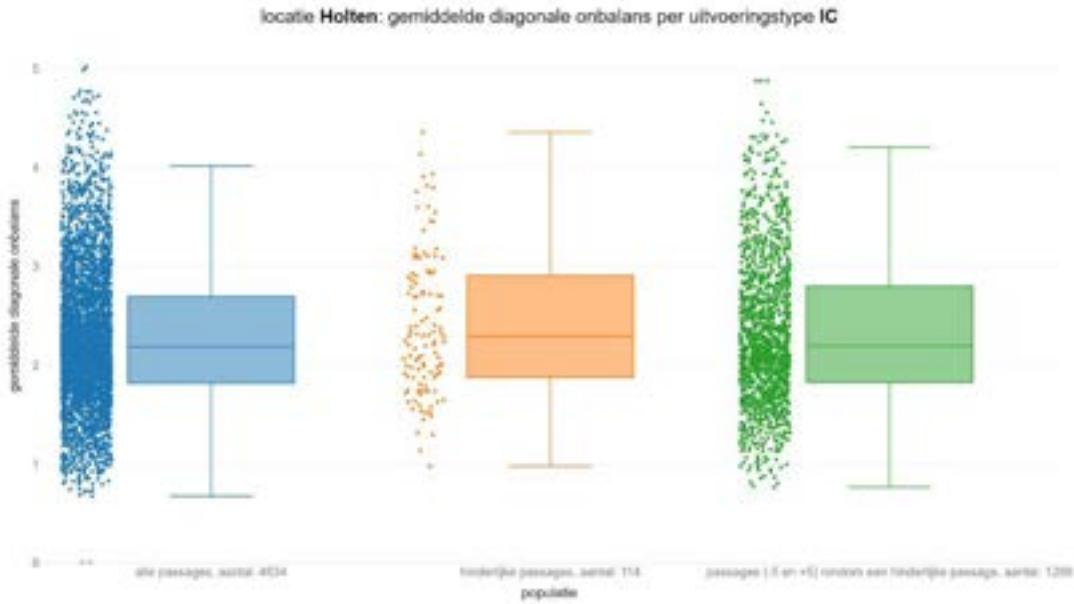


figuur 133 Variatie aslast voor goederentreinen per populatie

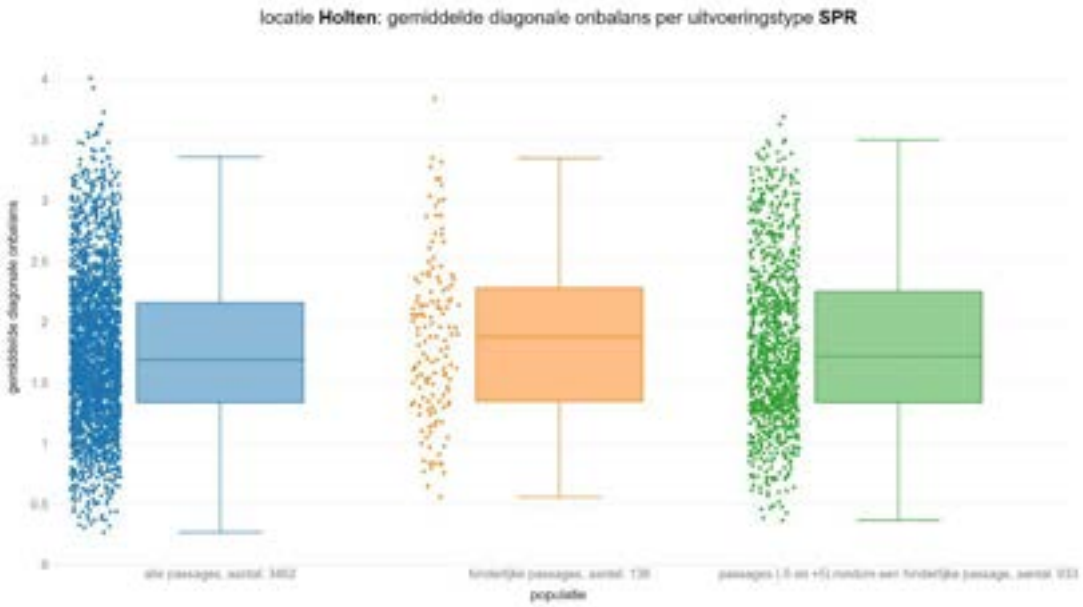


figuur 134 Variatie aslast voor sprinters per populatie

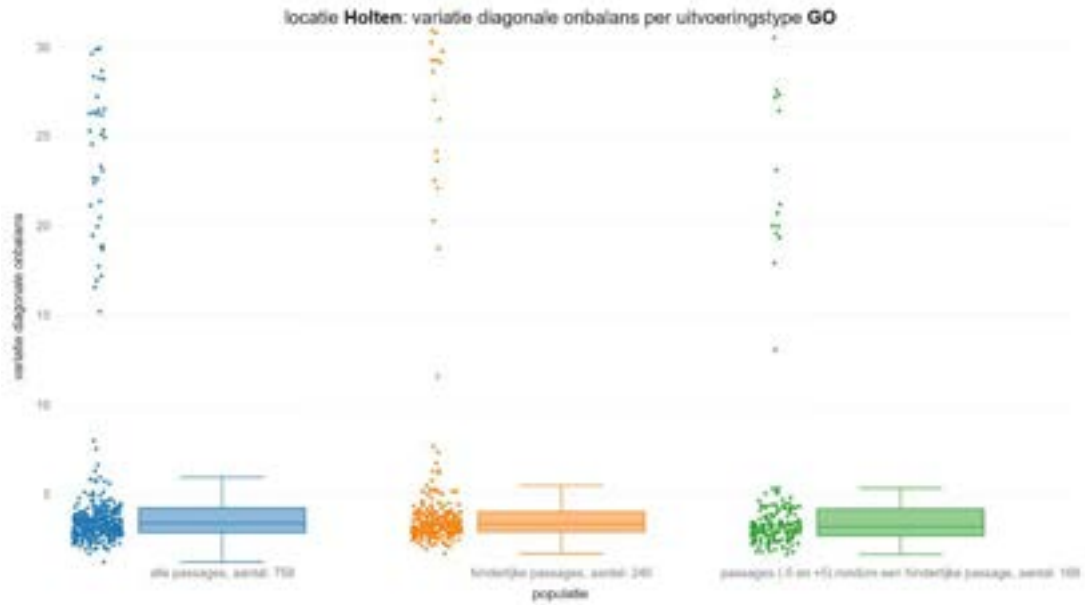
L Holten: diagonale onbalans



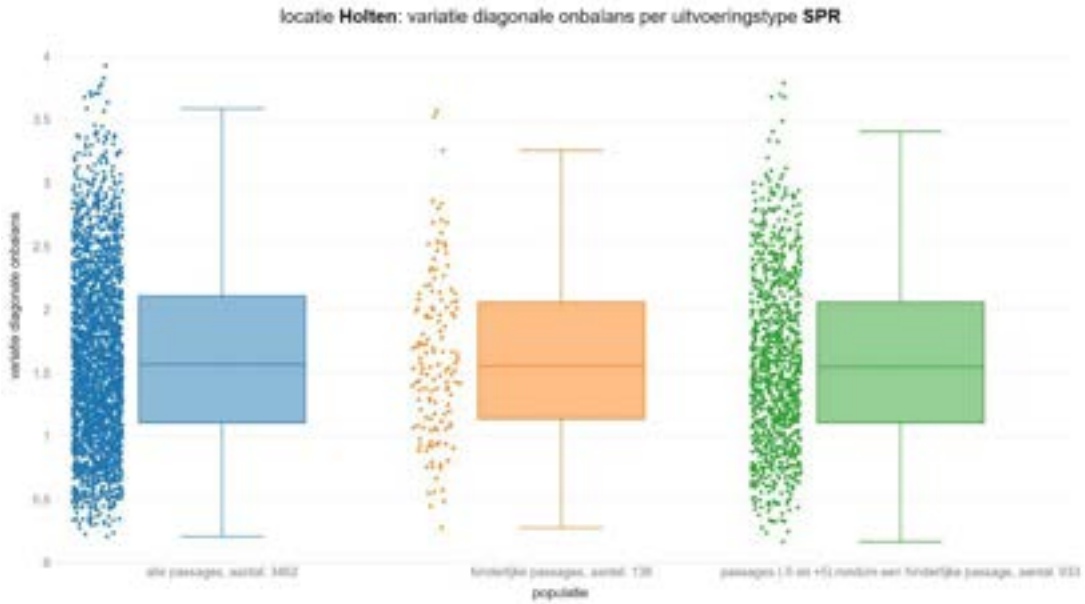
figuur 135 *Gemiddelde diagonale onbalans voor intercity's per populatie*



figuur 136 *Gemiddelde diagonale onbalans voor sprinters per populatie*

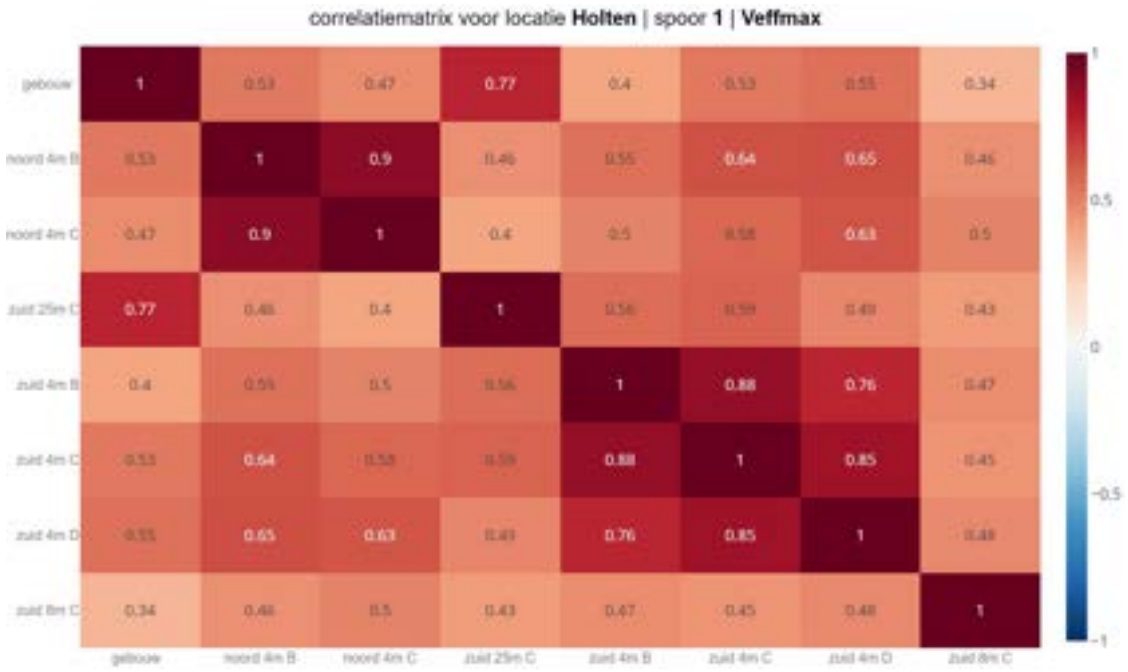


figuur 137 *Variatie diagonale onbalans voor goederentreinen per populatie*

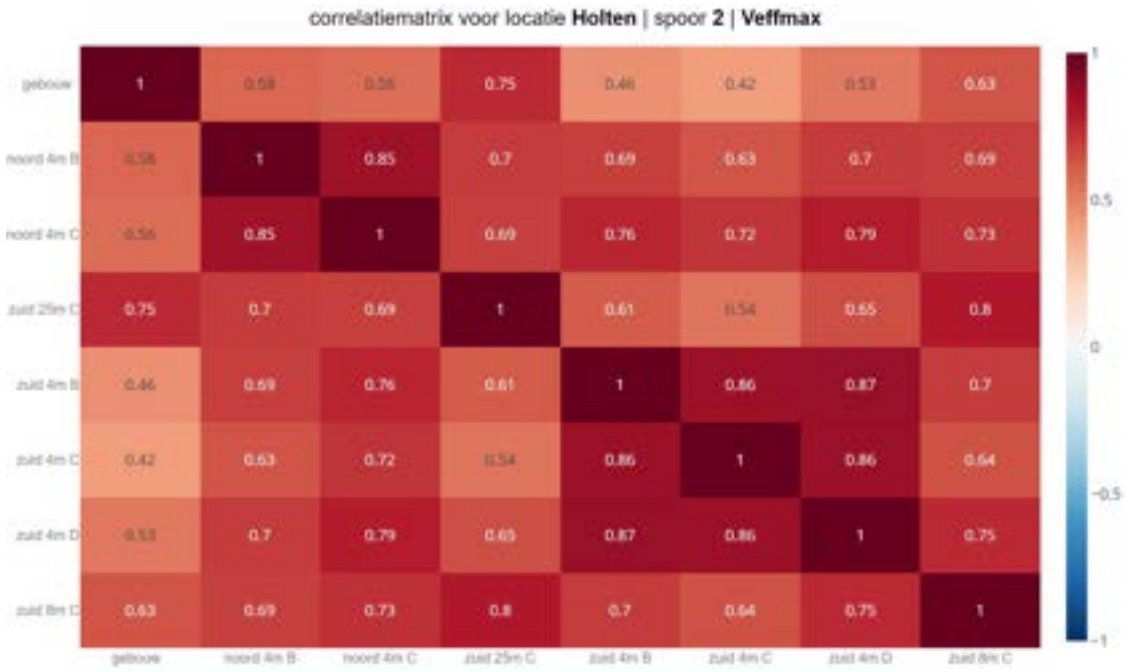


figuur 138 *Variatie diagonale onbalans voor sprinters per populatie*

M Holten: correlatie tussen trillingsmetingen

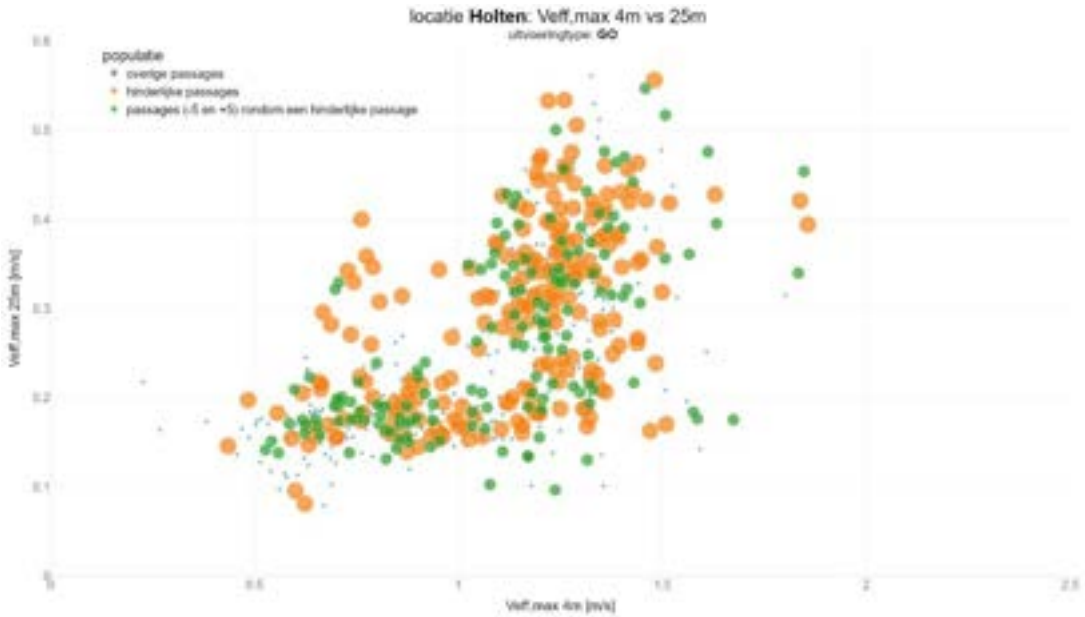


figuur 139 *Correlatie matrix $V_{eff,max}$ spoor 1*

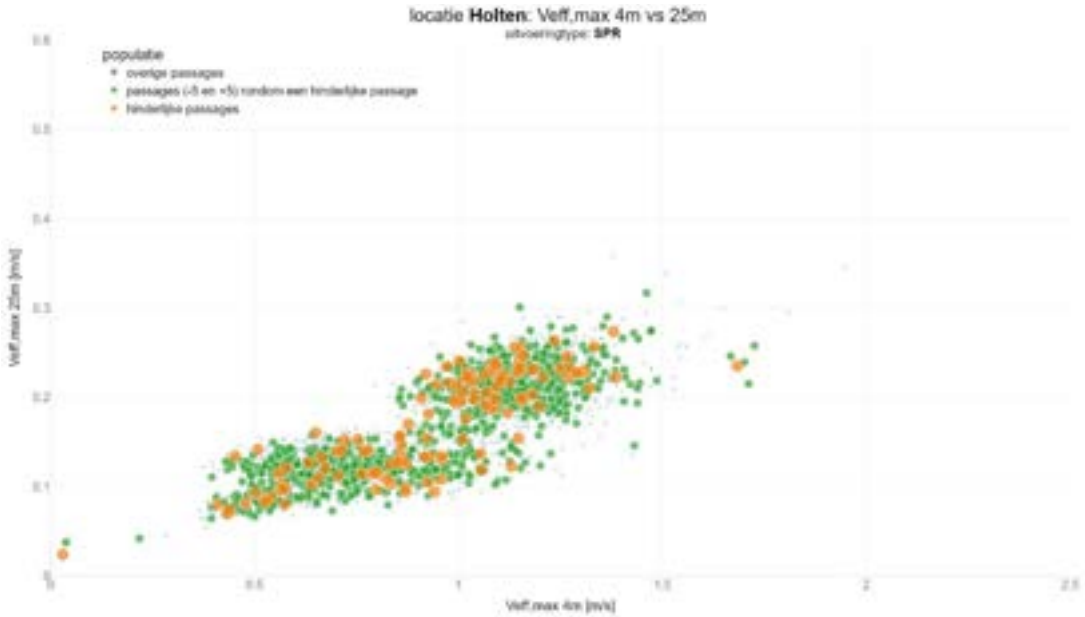


figuur 140 *Correlatie matrix $V_{eff,max}$ spoor 2*

N Holten: trillingsniveau per afstand

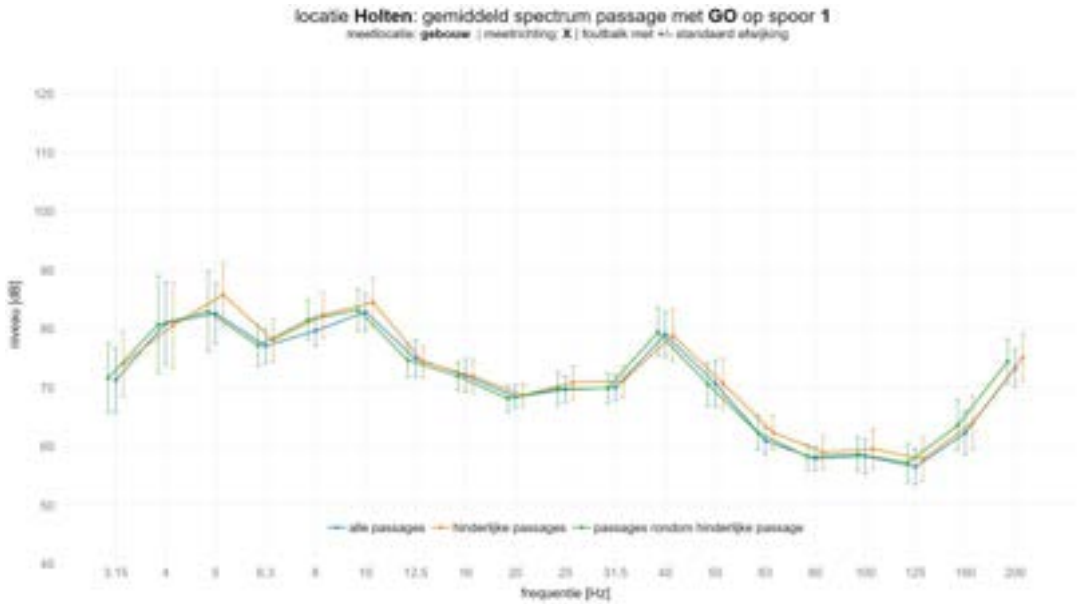


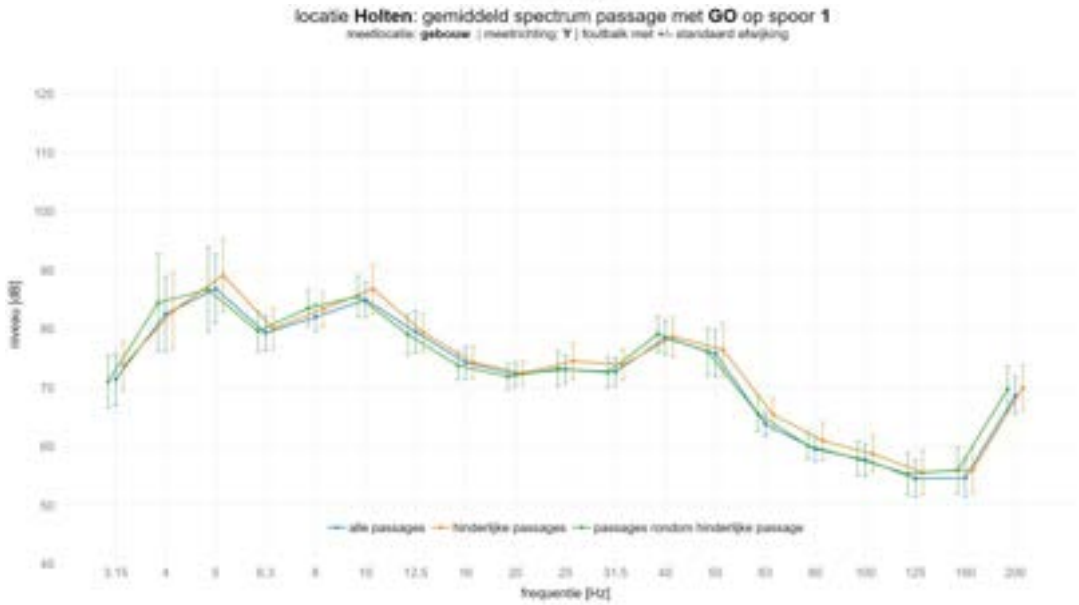
figuur 141 *Verband $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m voor goederentreinen en relatie met hinder*

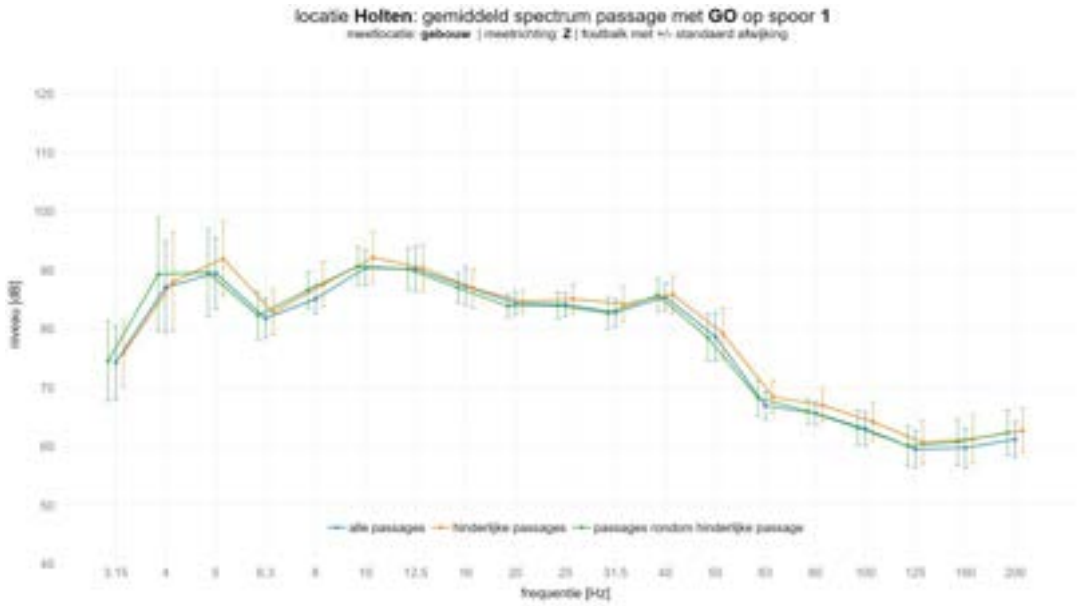


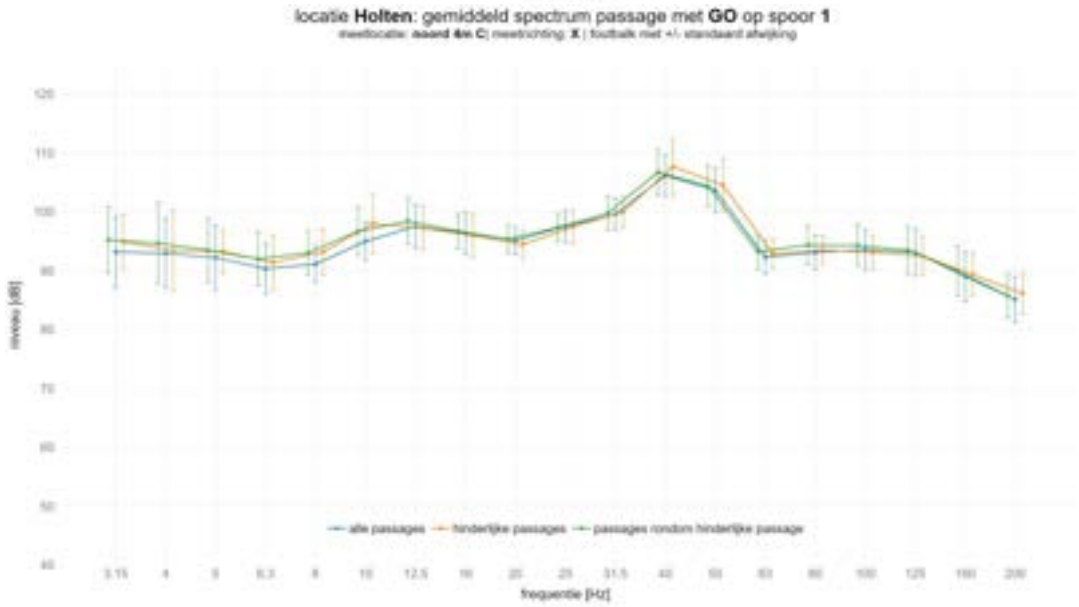
figuur 142 *Verband tussen $V_{eff,max}$ waardes op 4m en 25m voor sprinters en relatie met hinder*

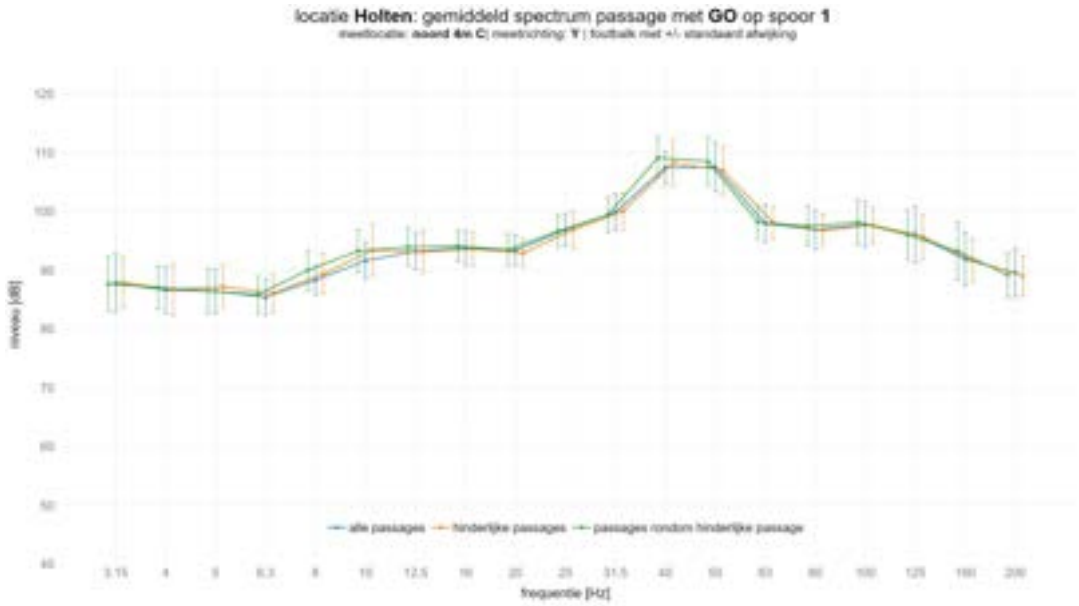
O Holten: trillingspectra

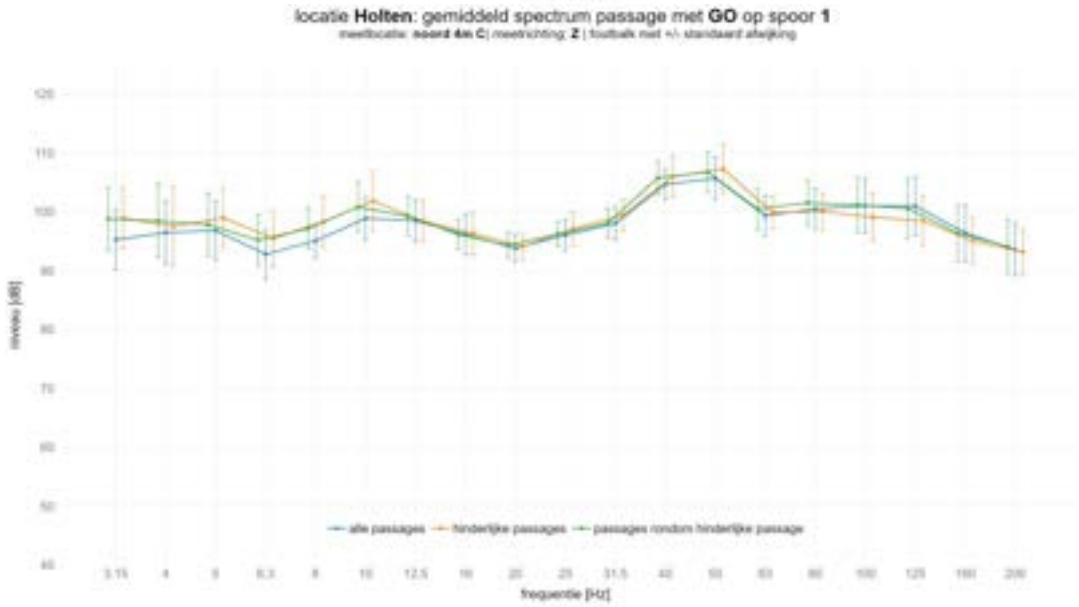


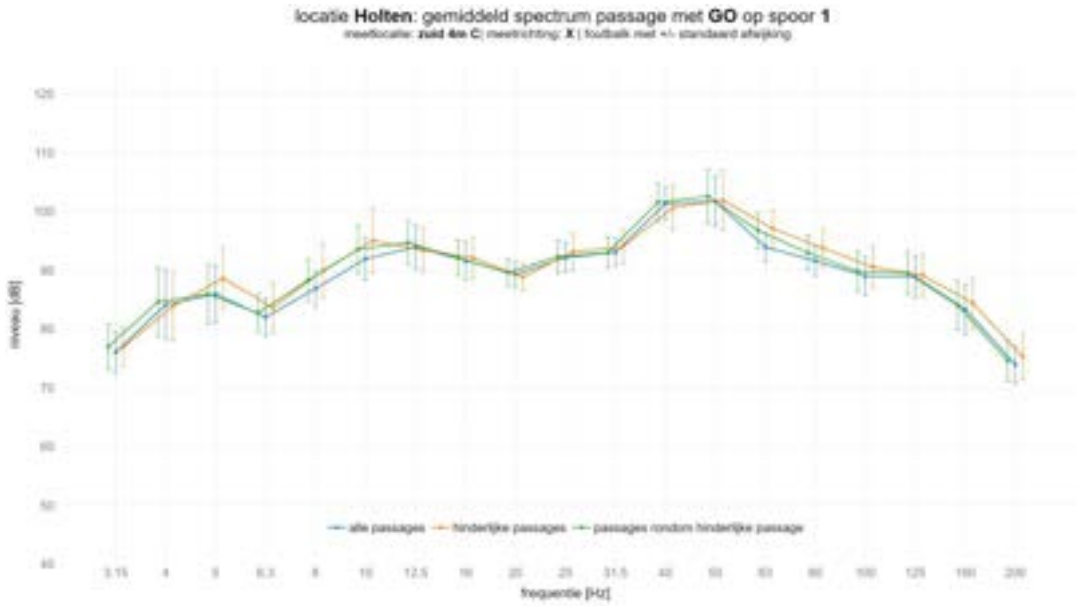


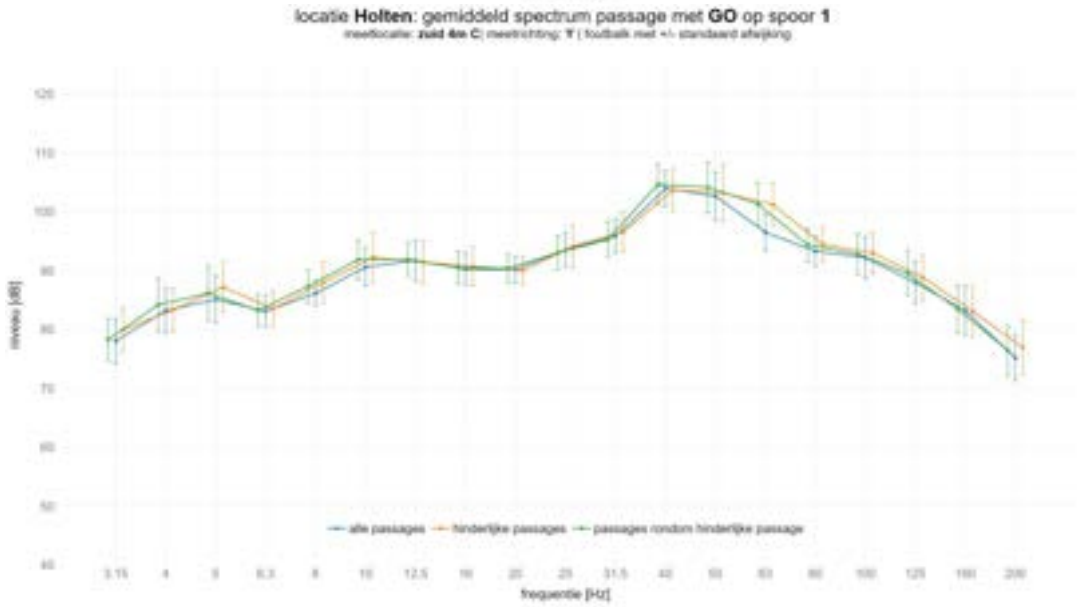

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

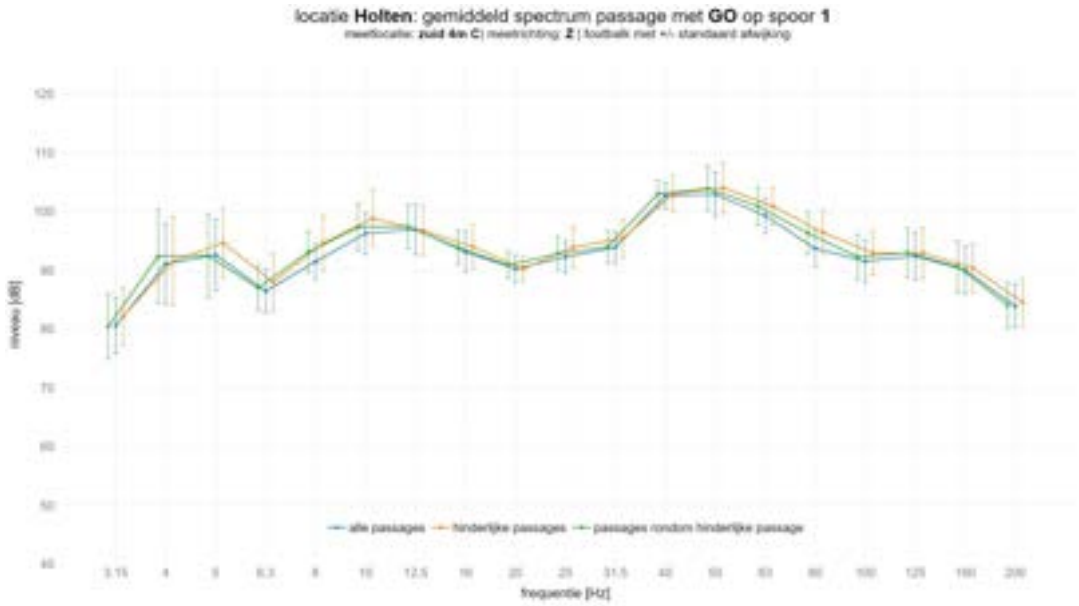

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **asaard 4m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

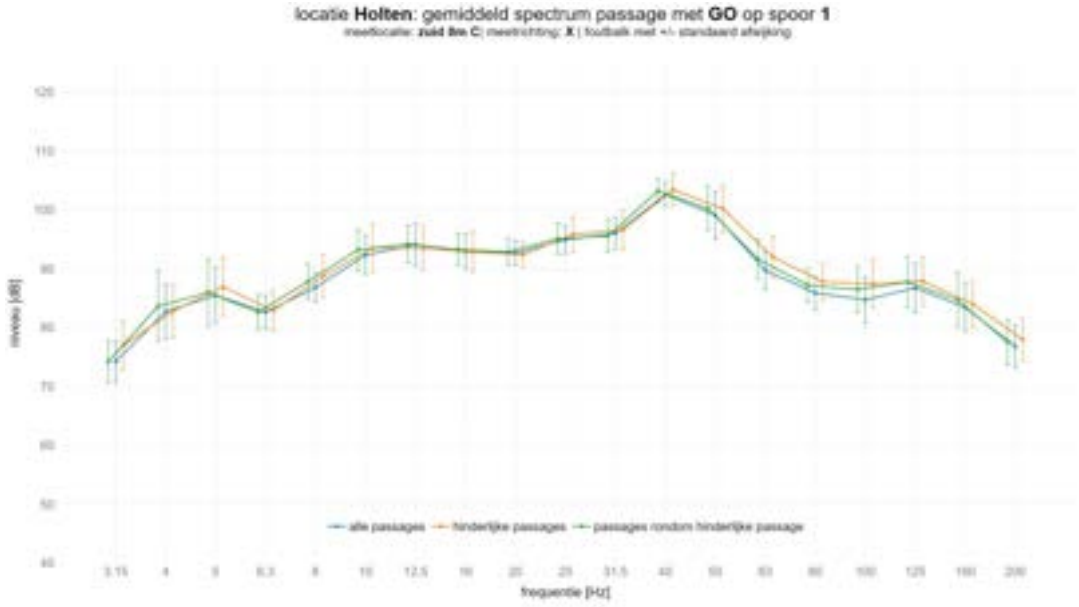

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

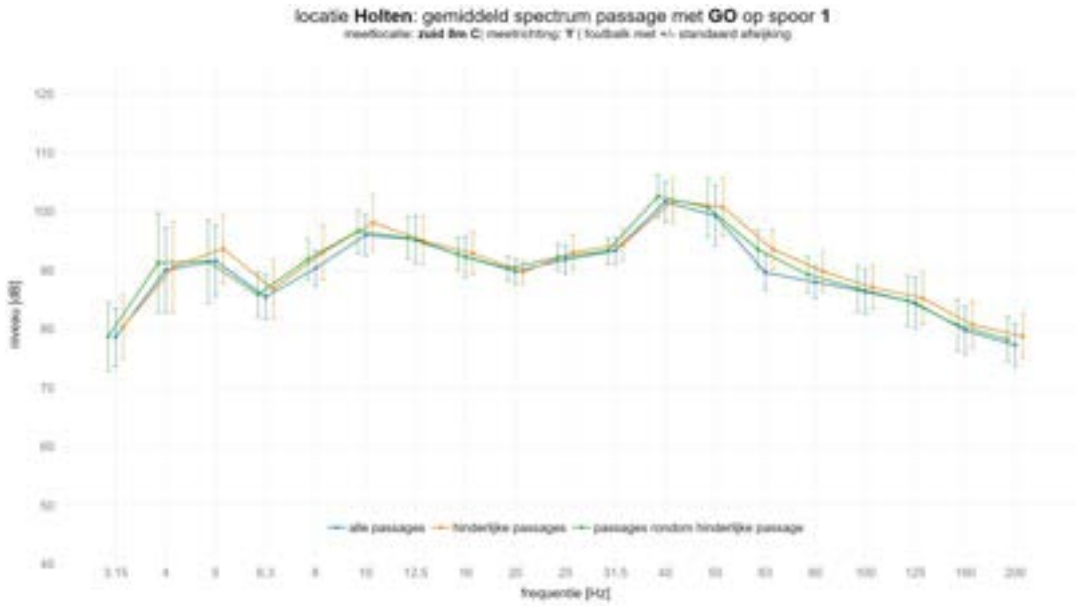

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

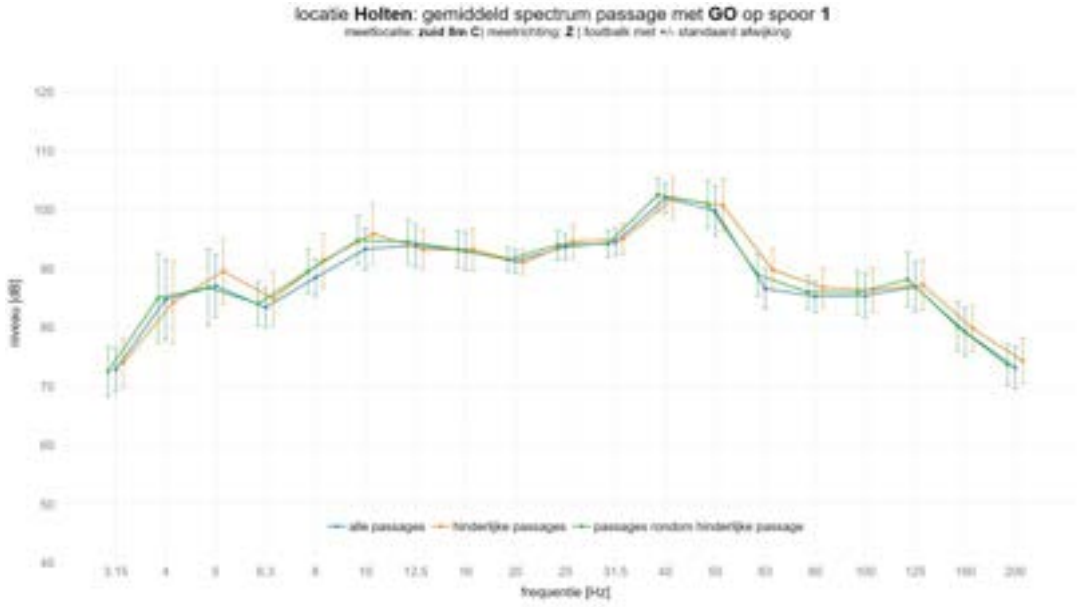

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

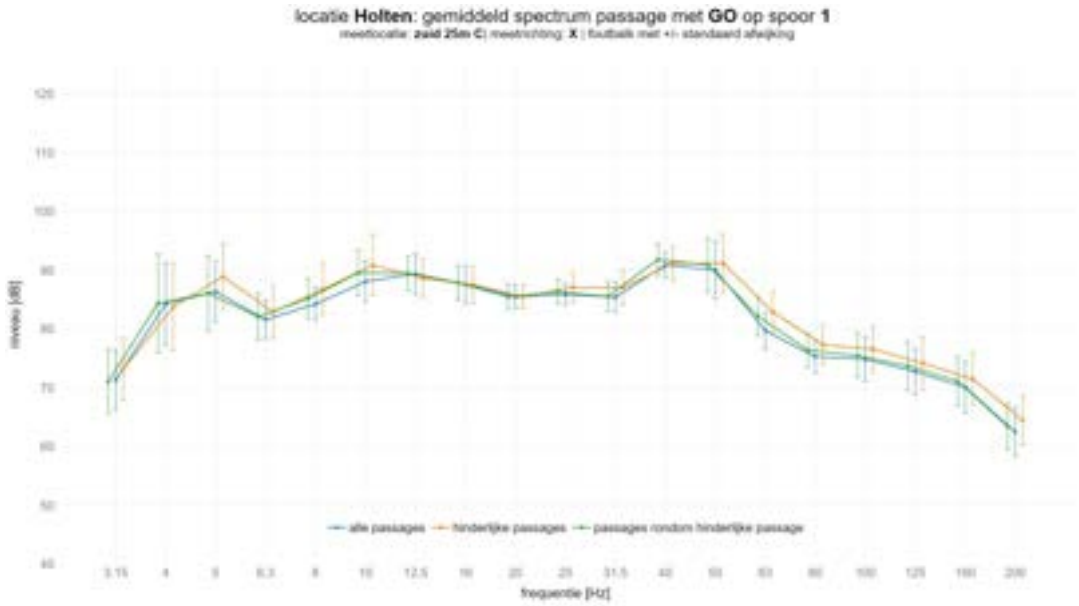

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

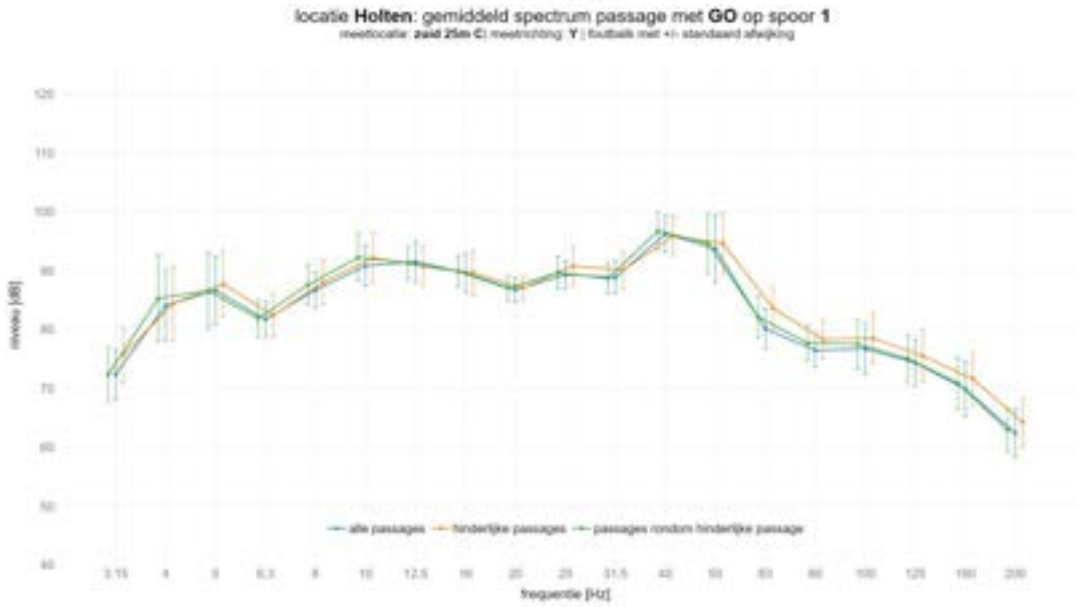

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

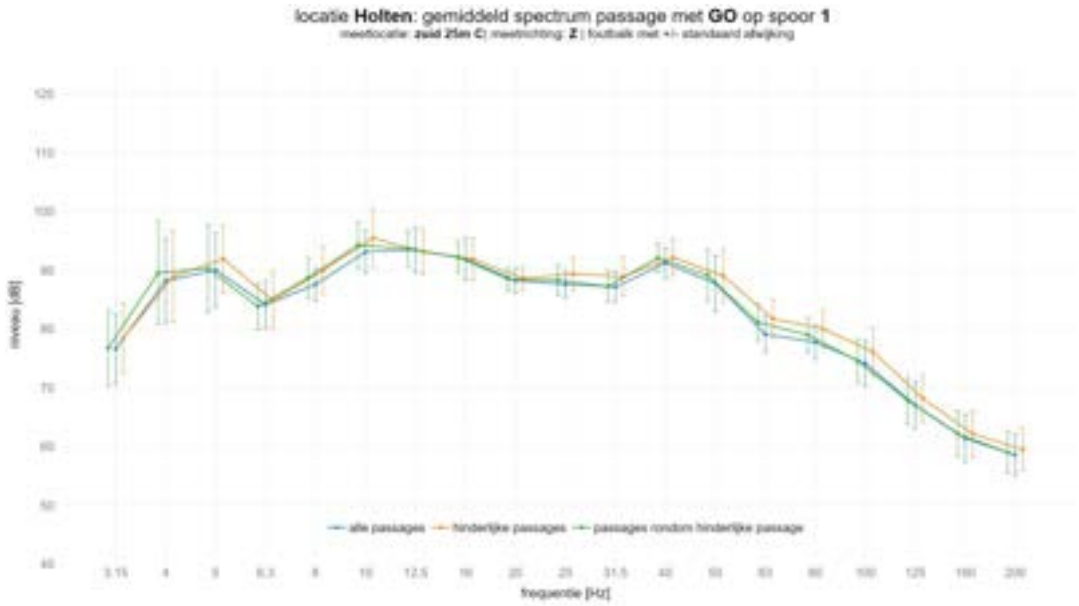

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

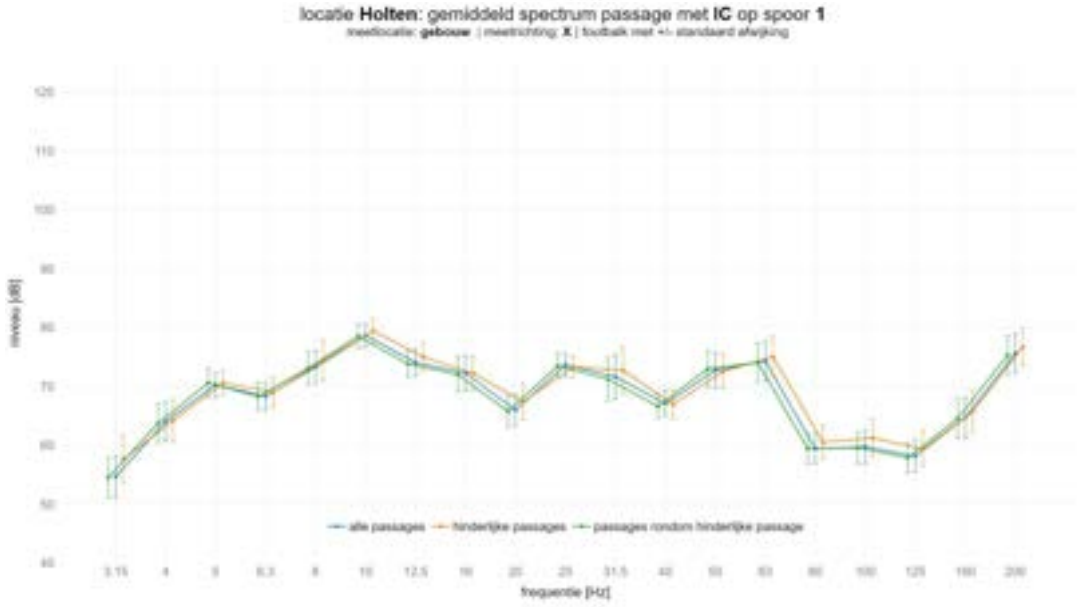

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

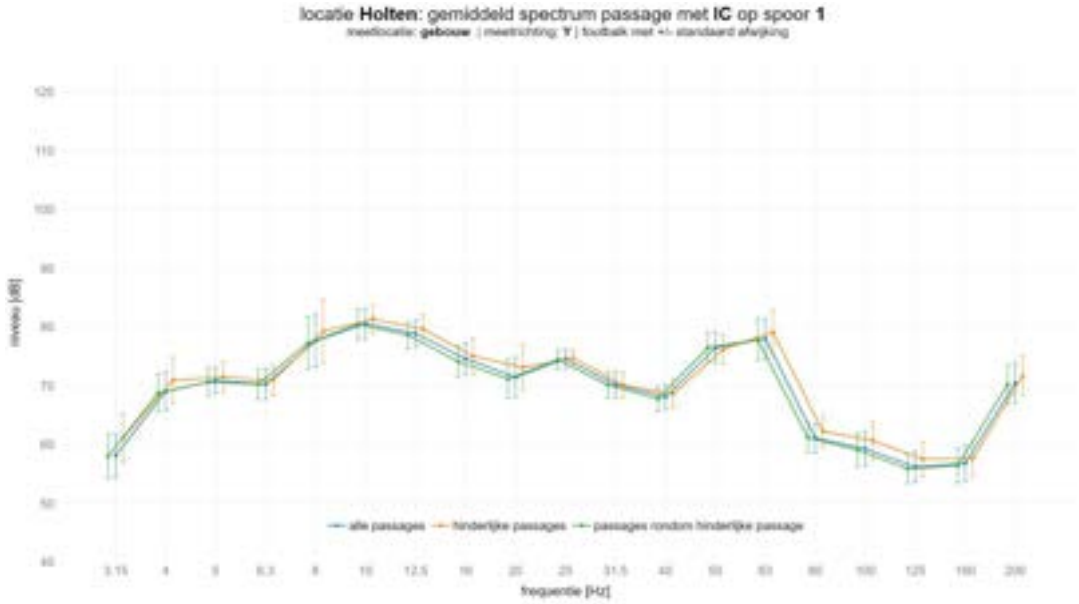

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

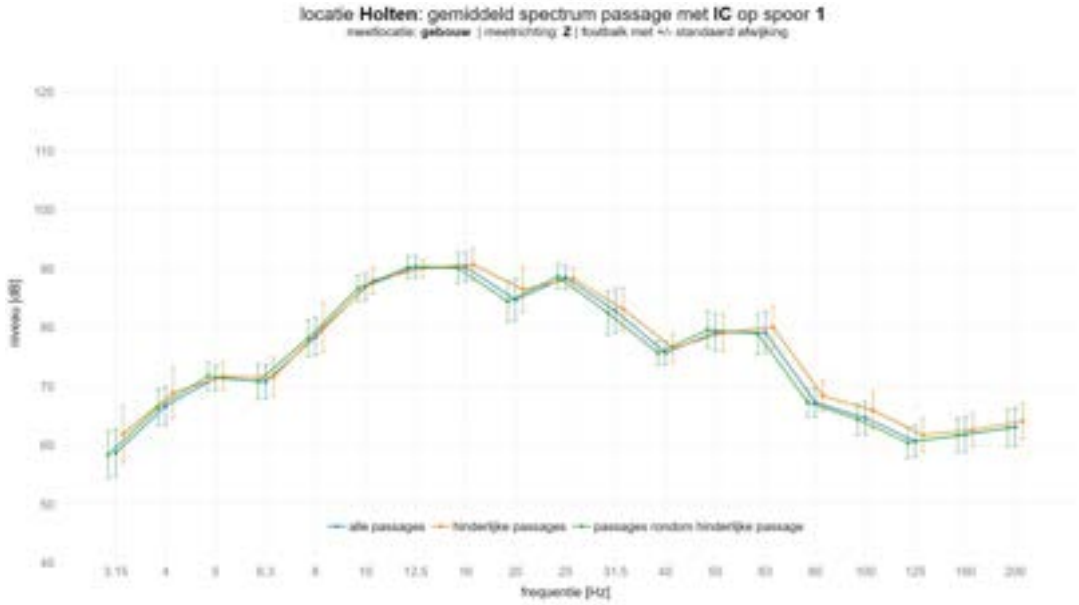

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

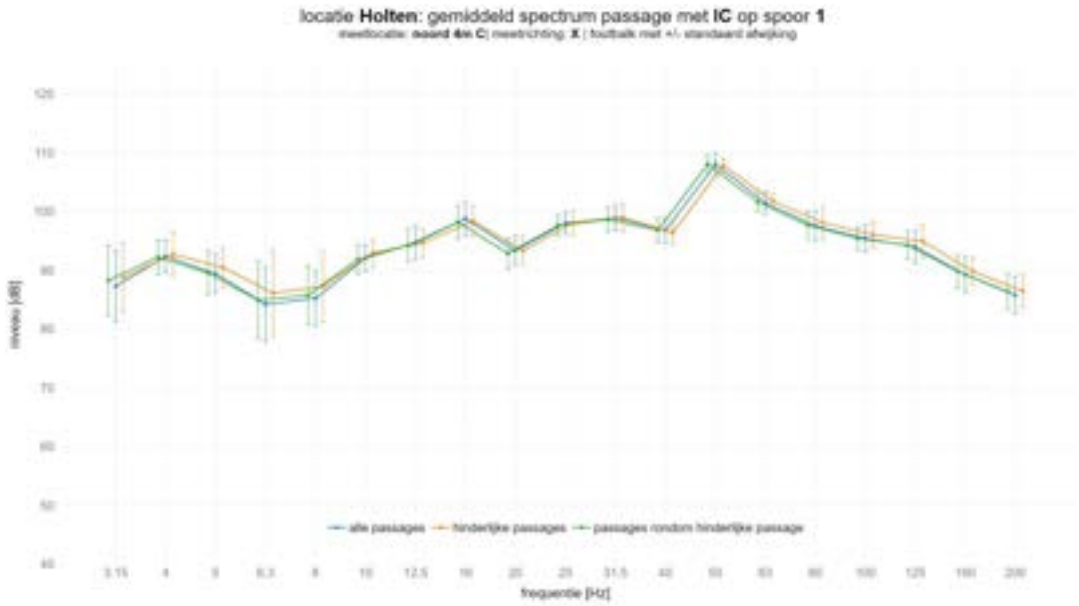

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

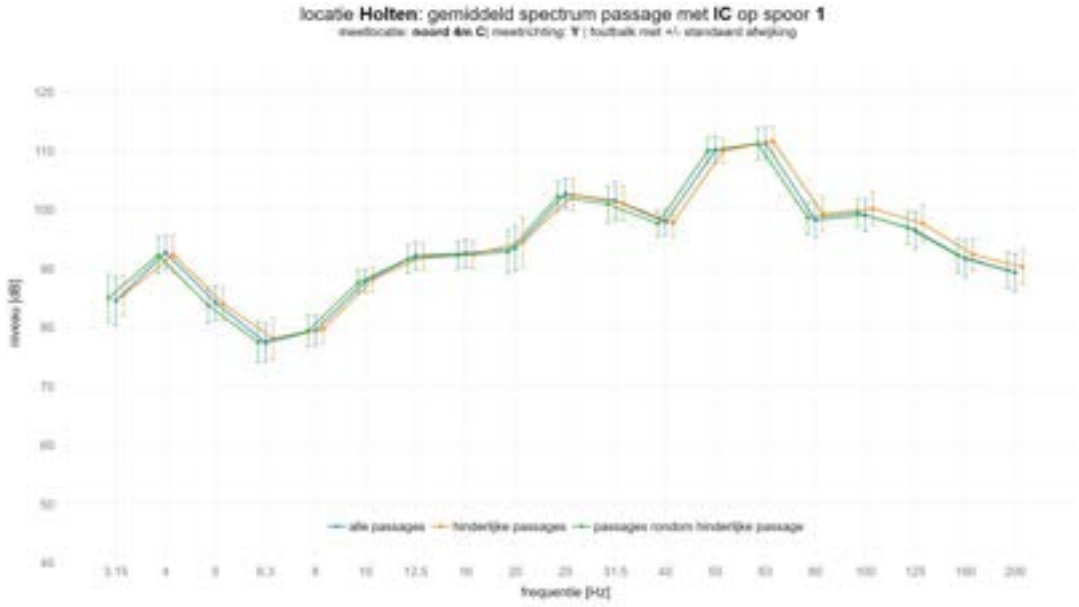

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluidniveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

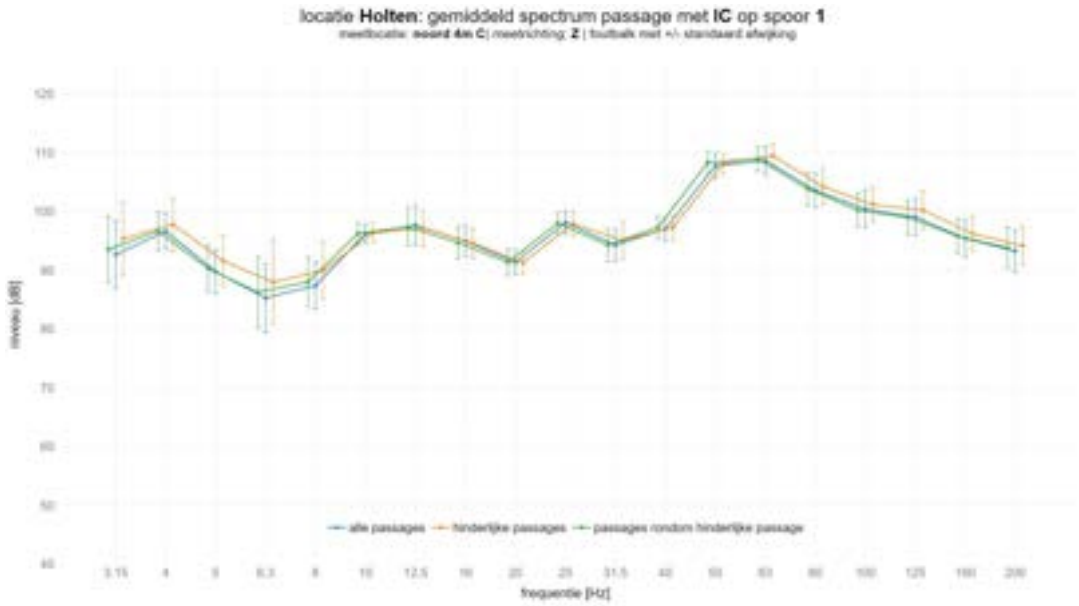

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluidniveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

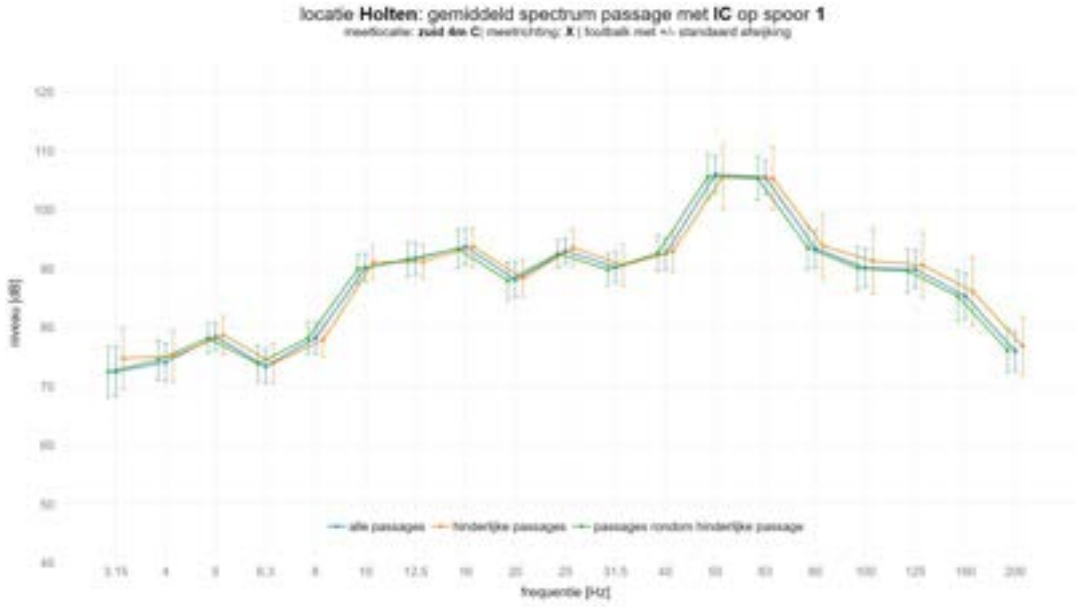

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

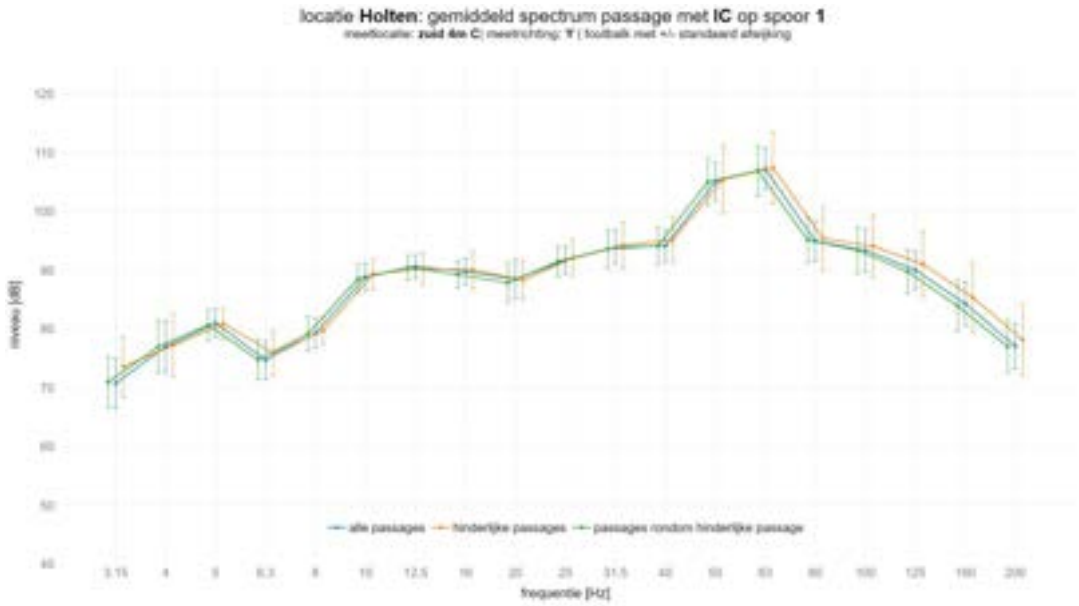

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

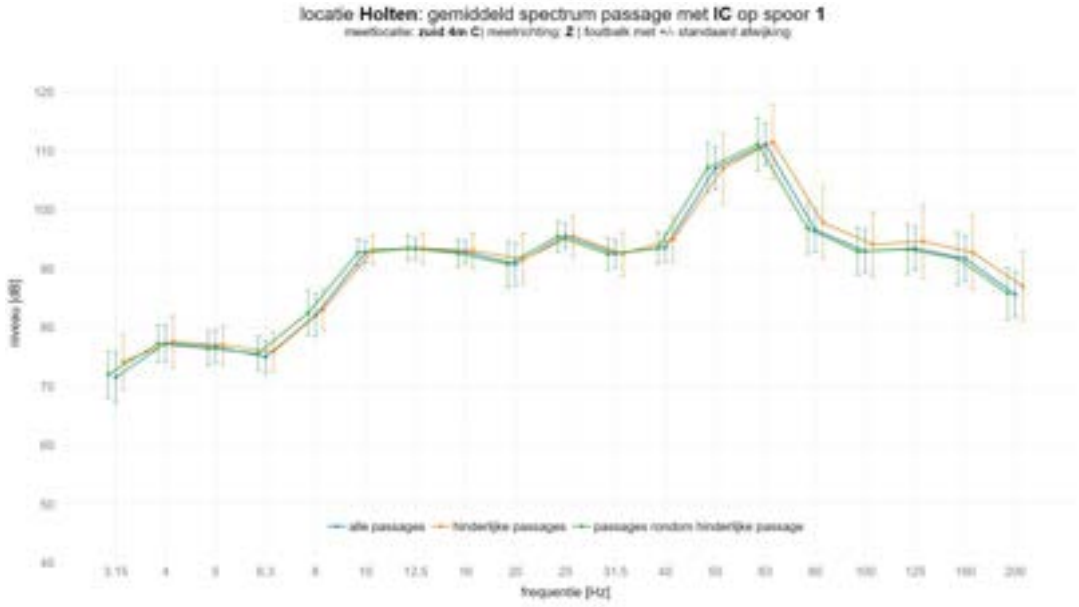

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

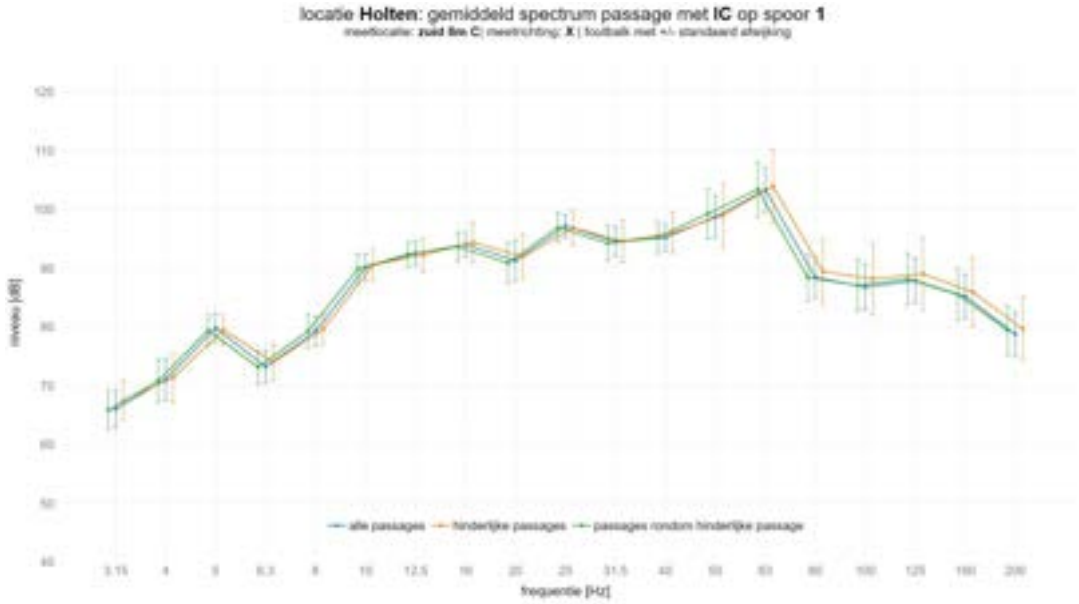

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

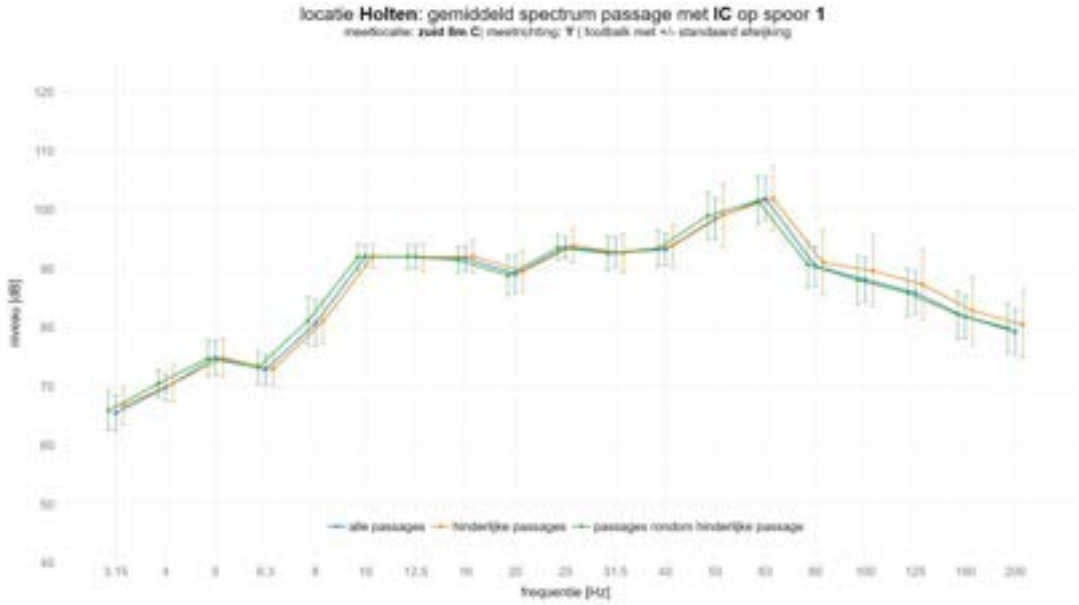

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

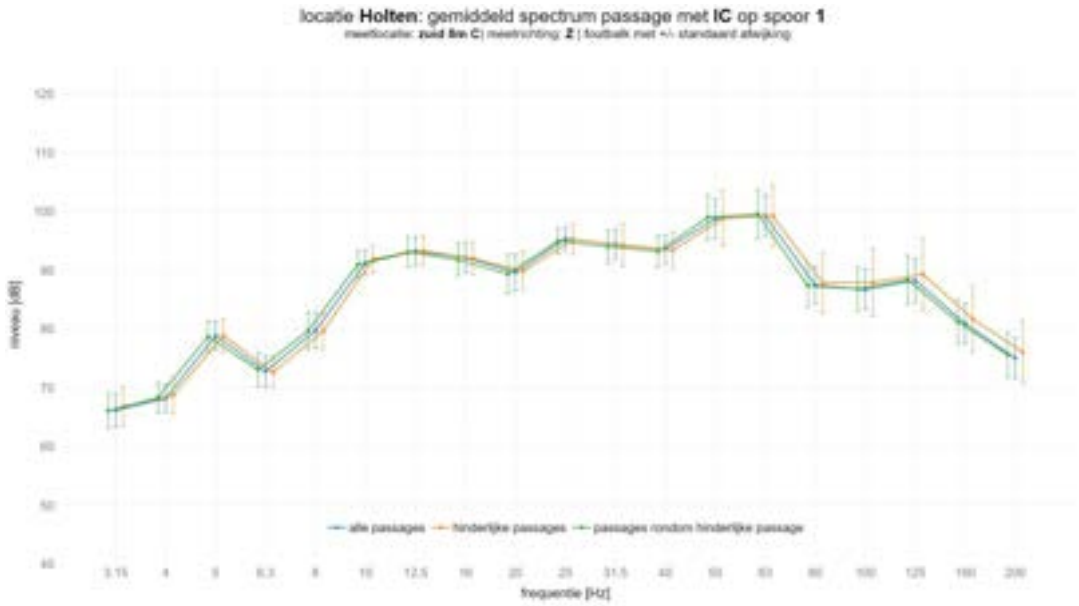

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

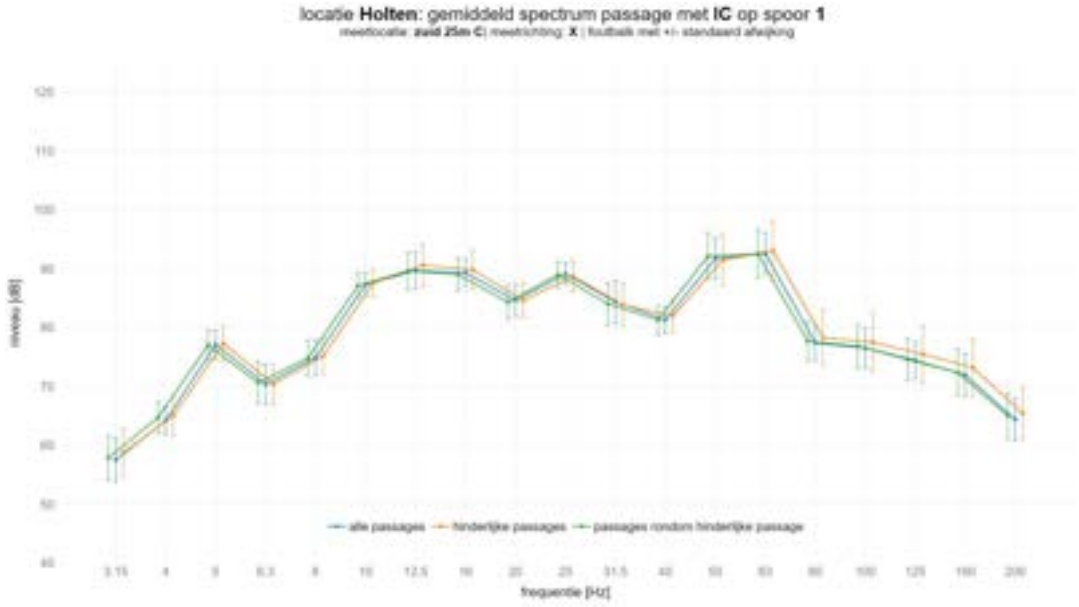

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

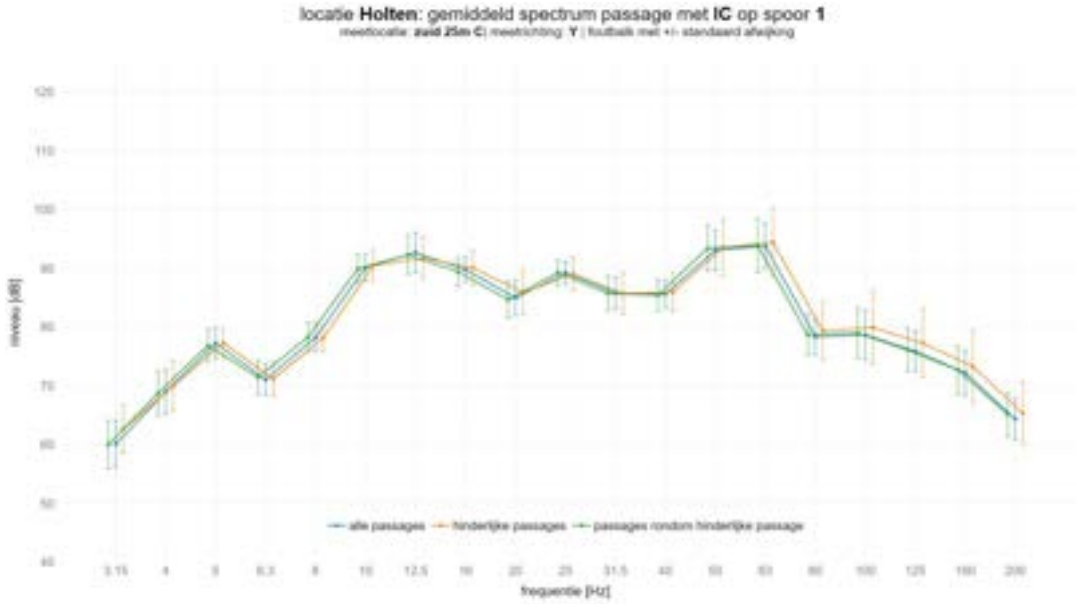

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] niveau
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

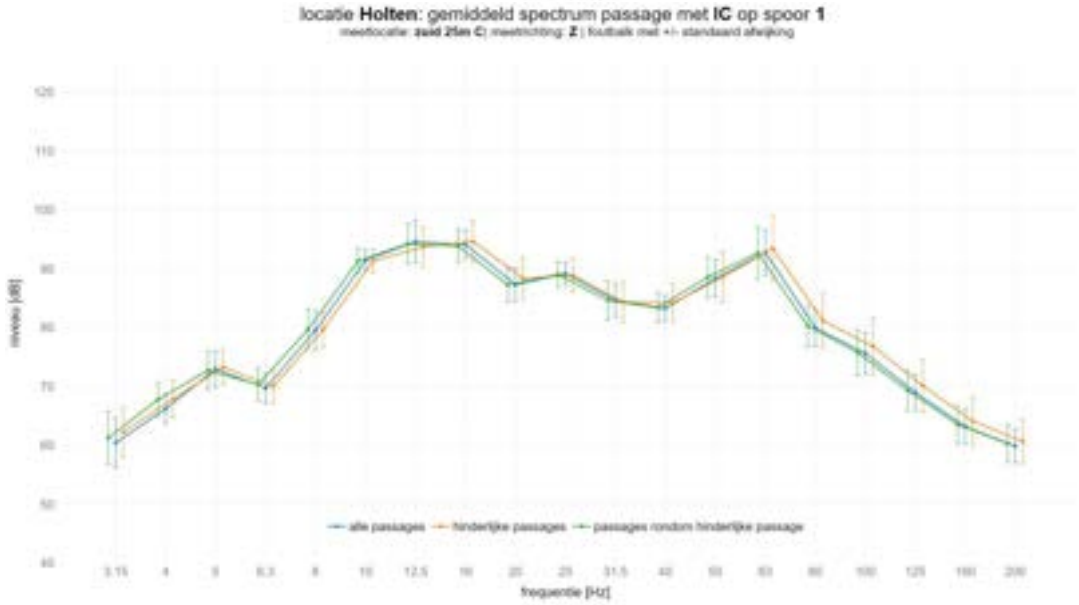

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

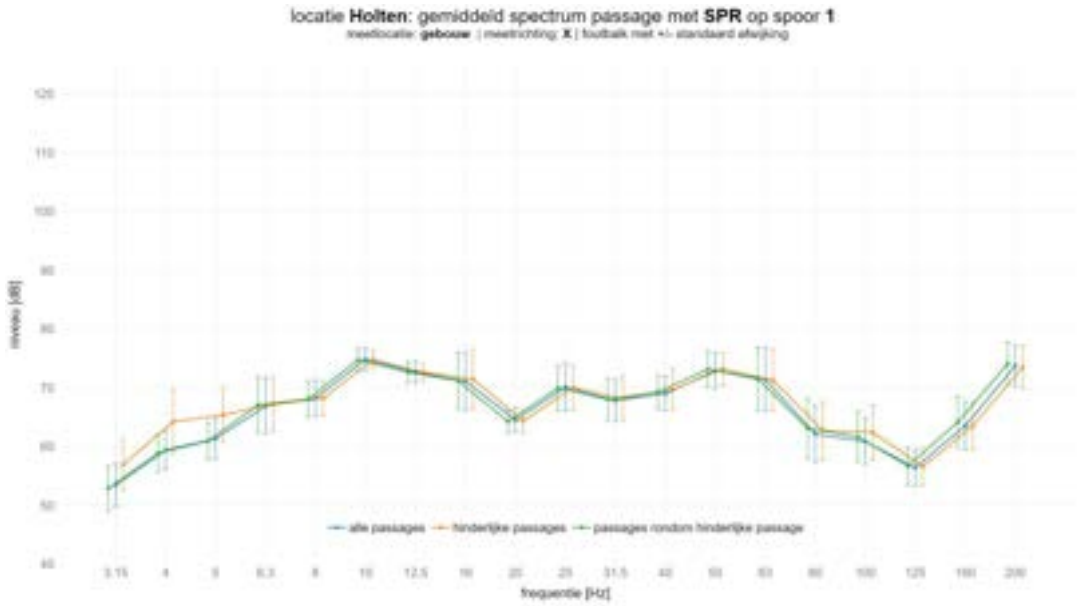

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

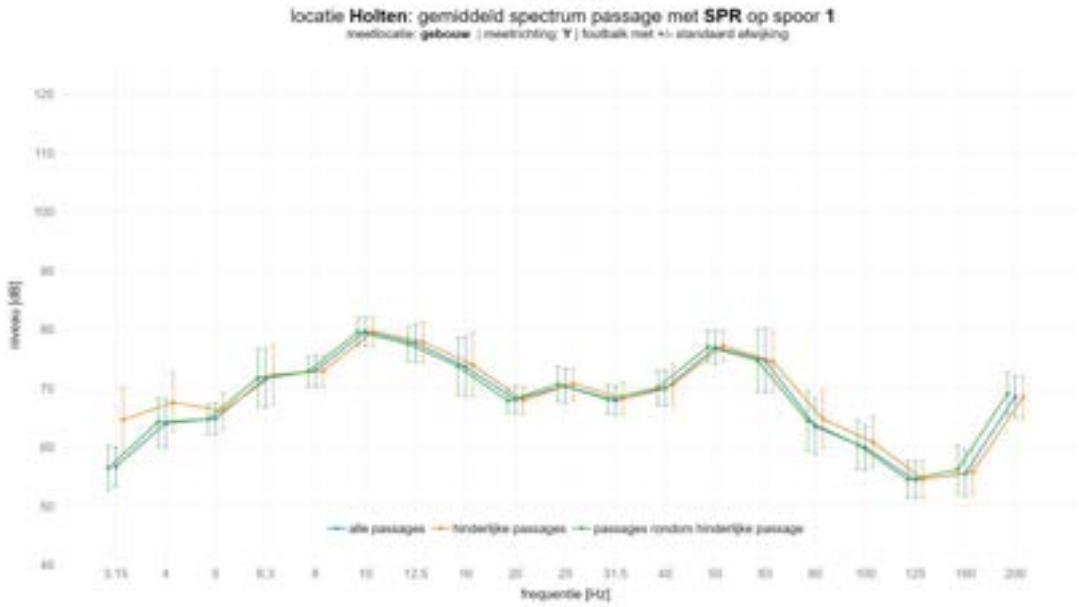

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 5m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

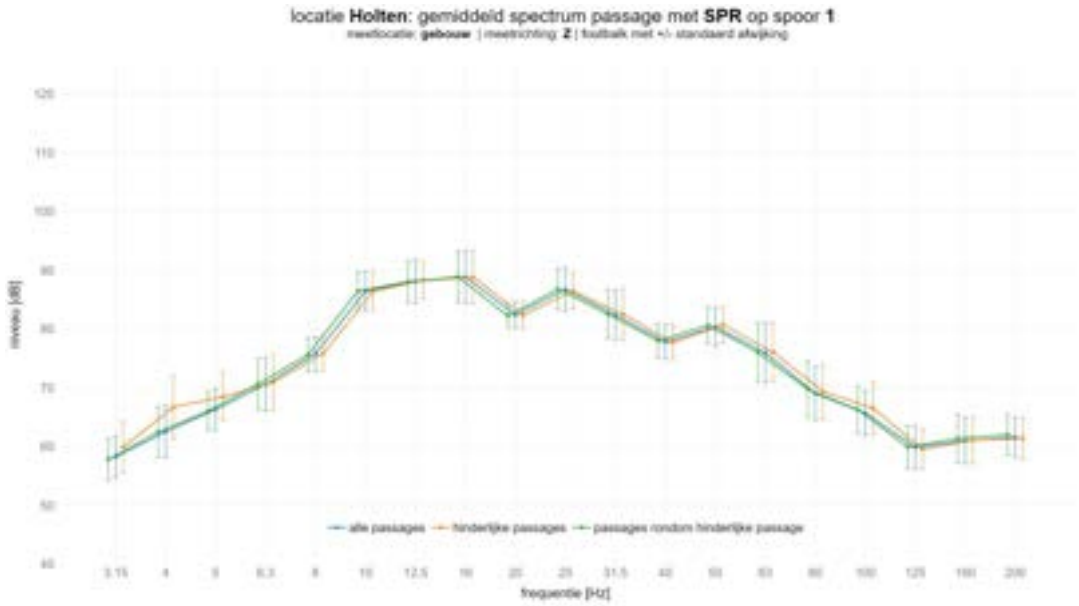

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

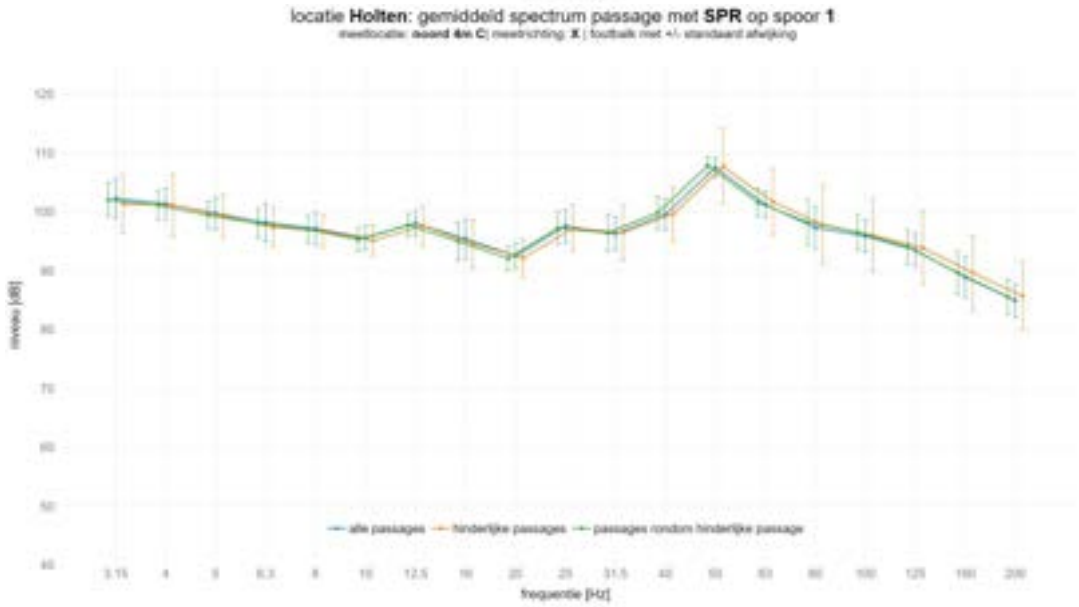

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

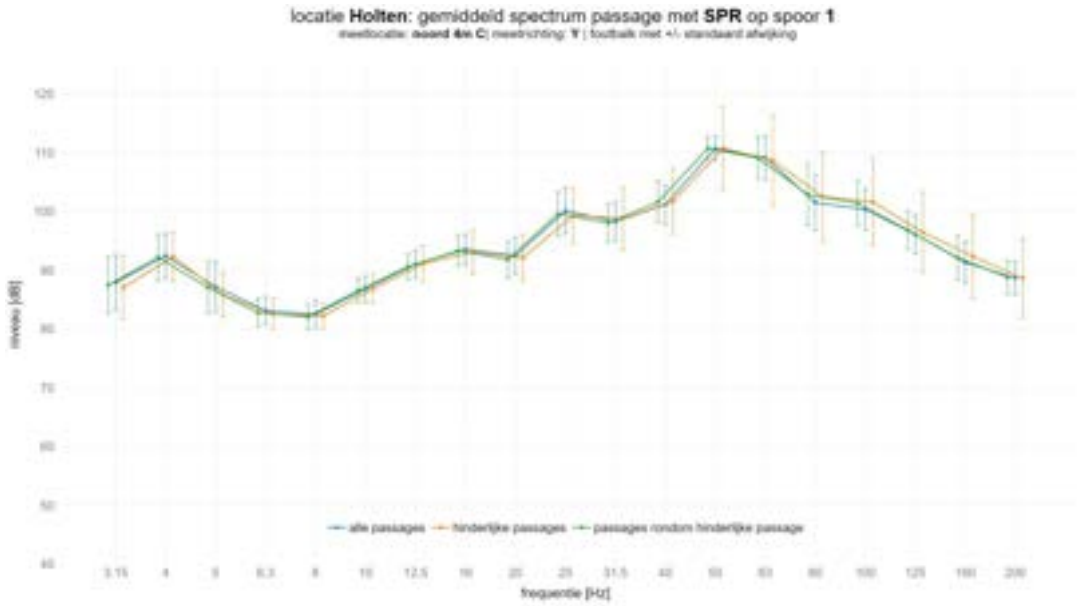

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

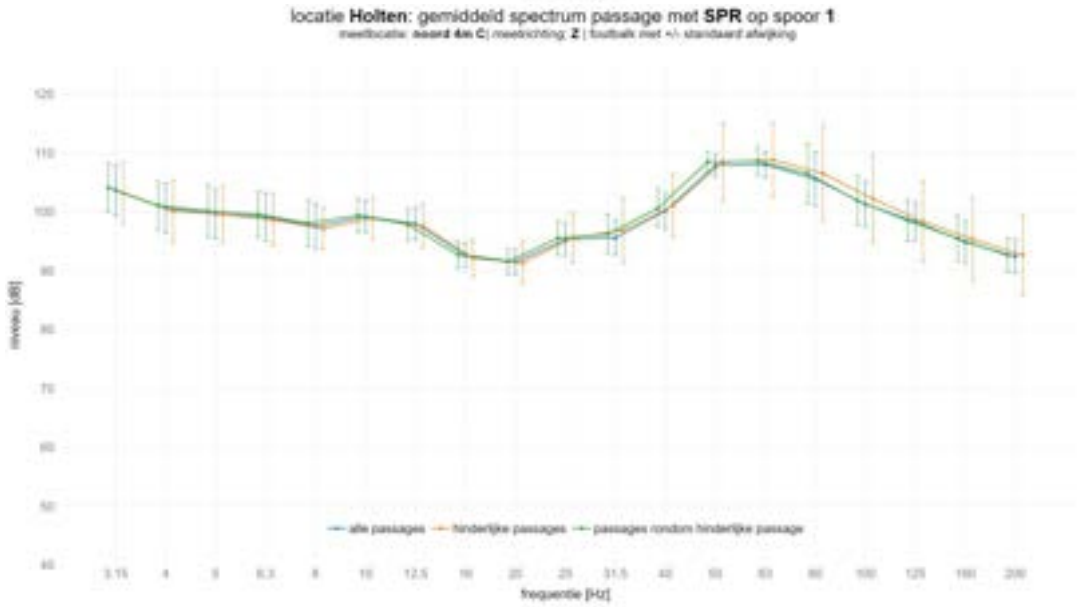

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

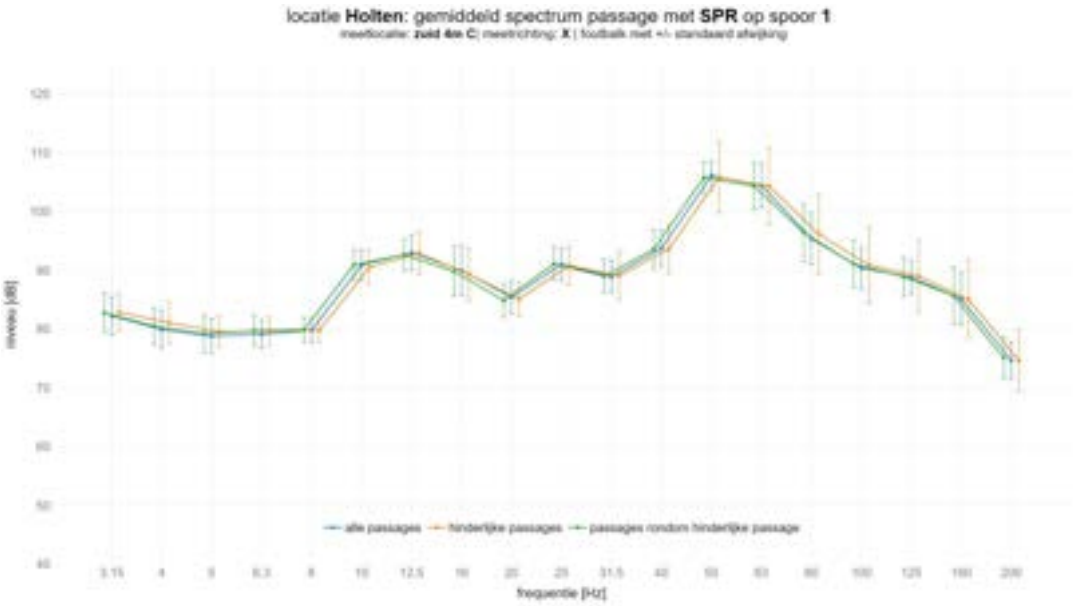

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

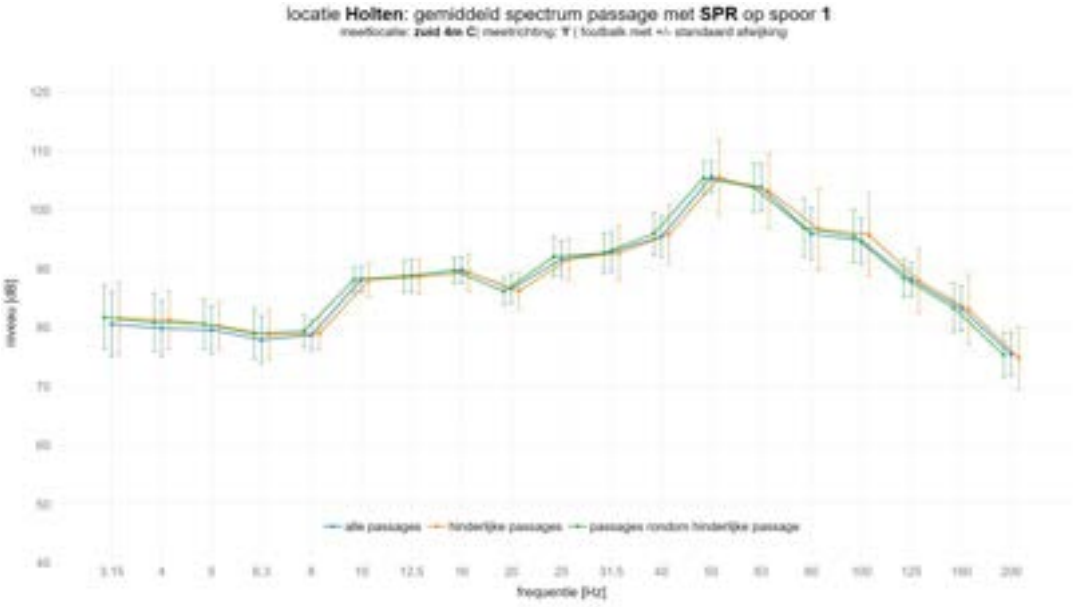

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

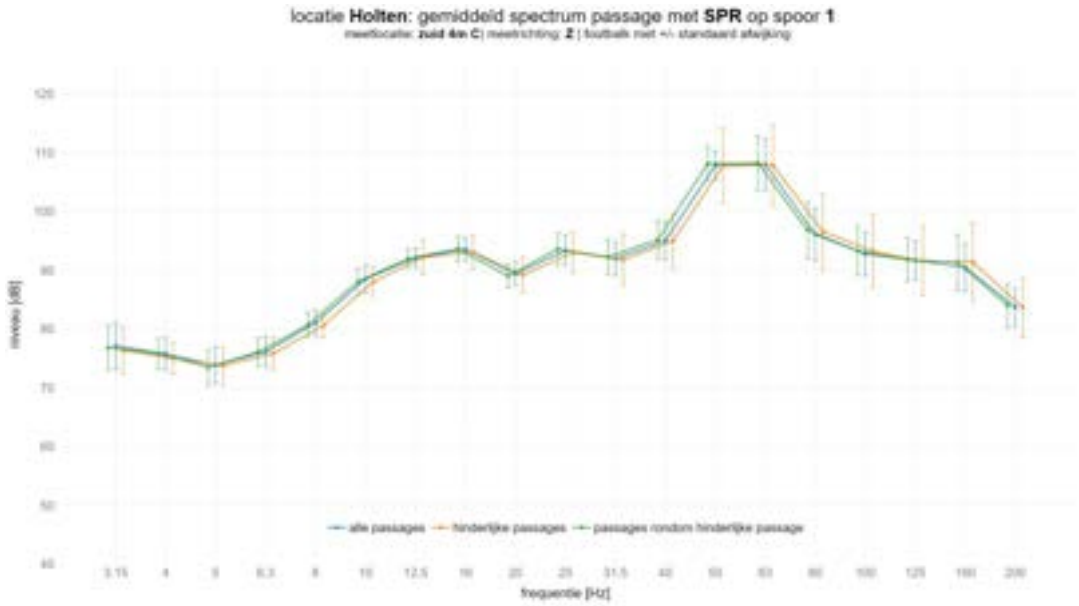

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **ooard én C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

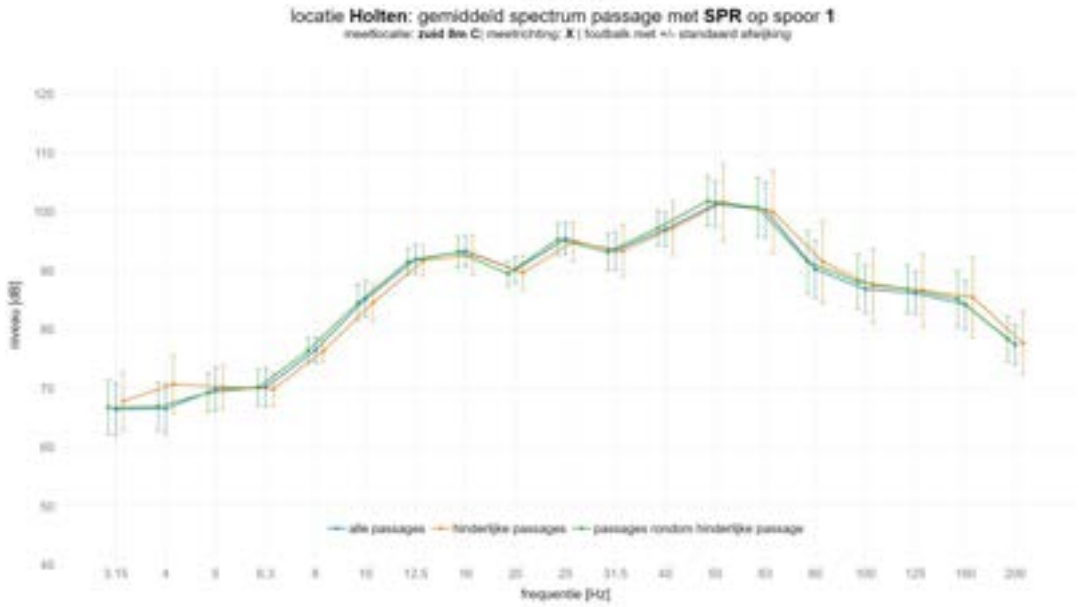

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

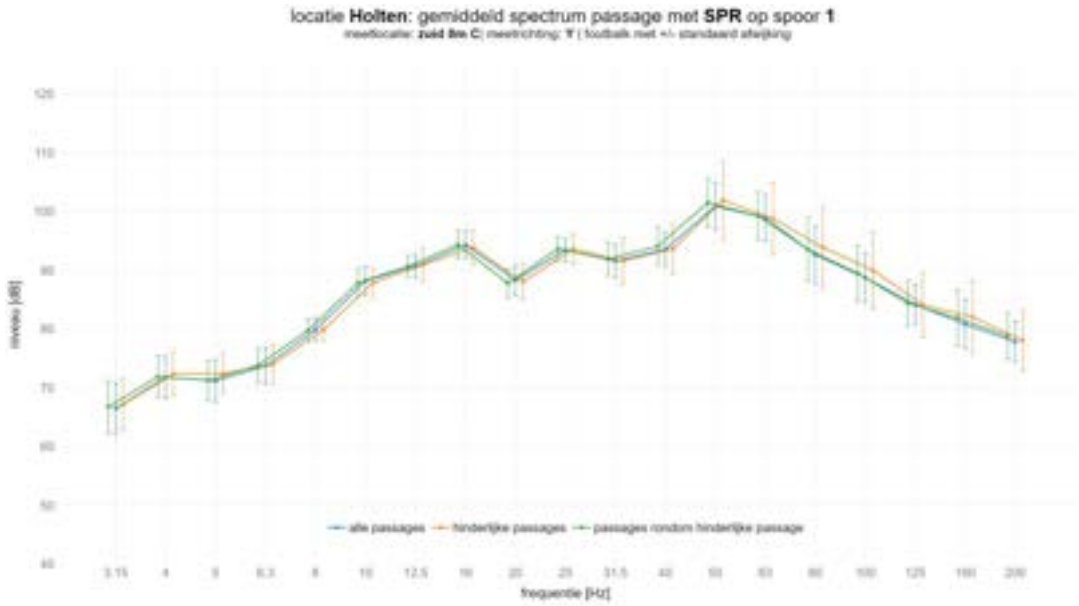

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

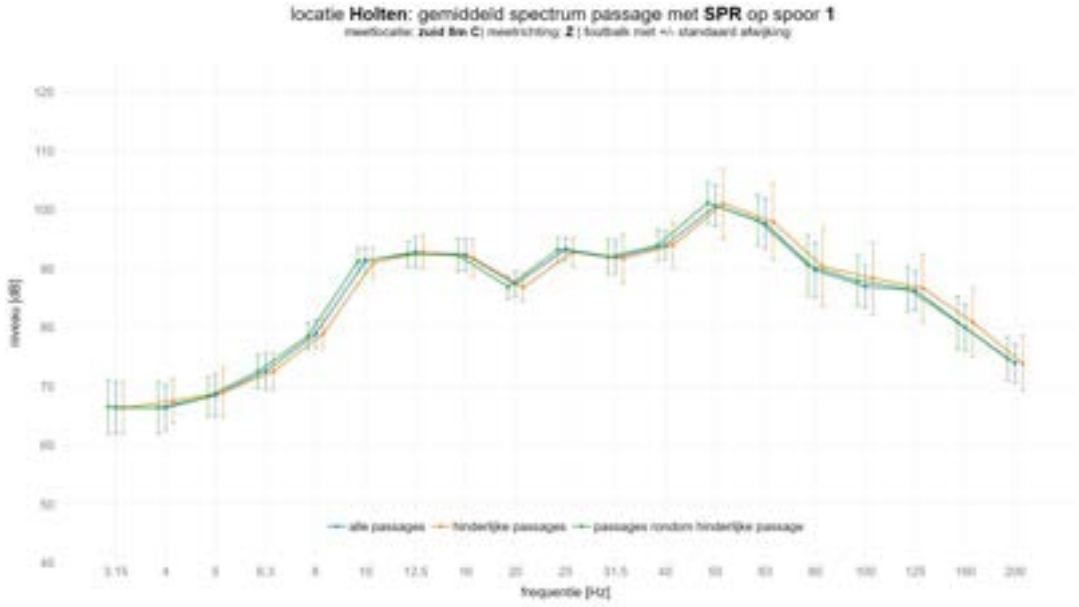

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

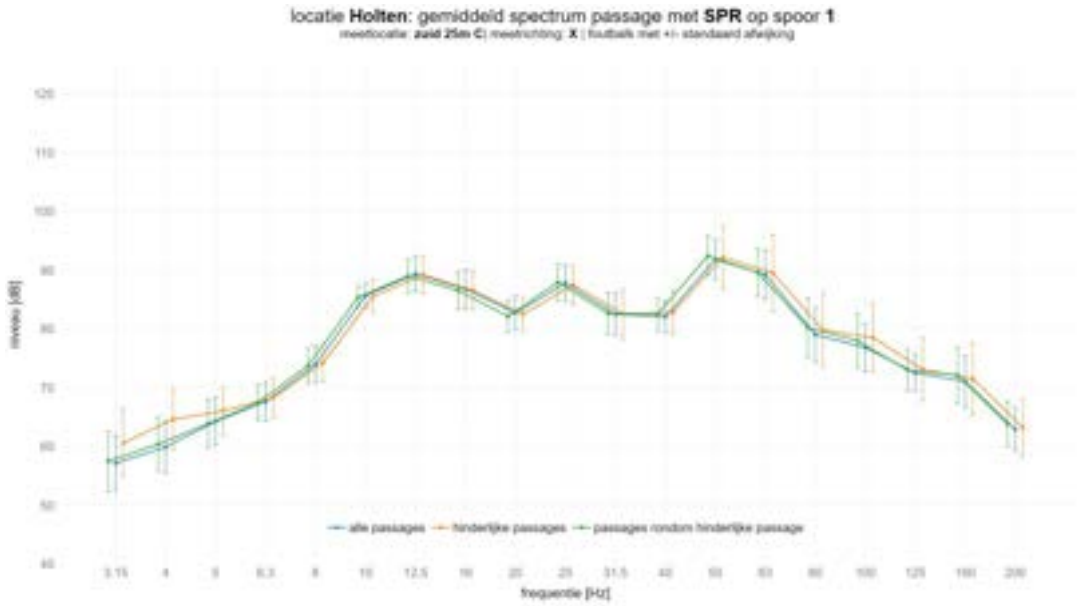

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

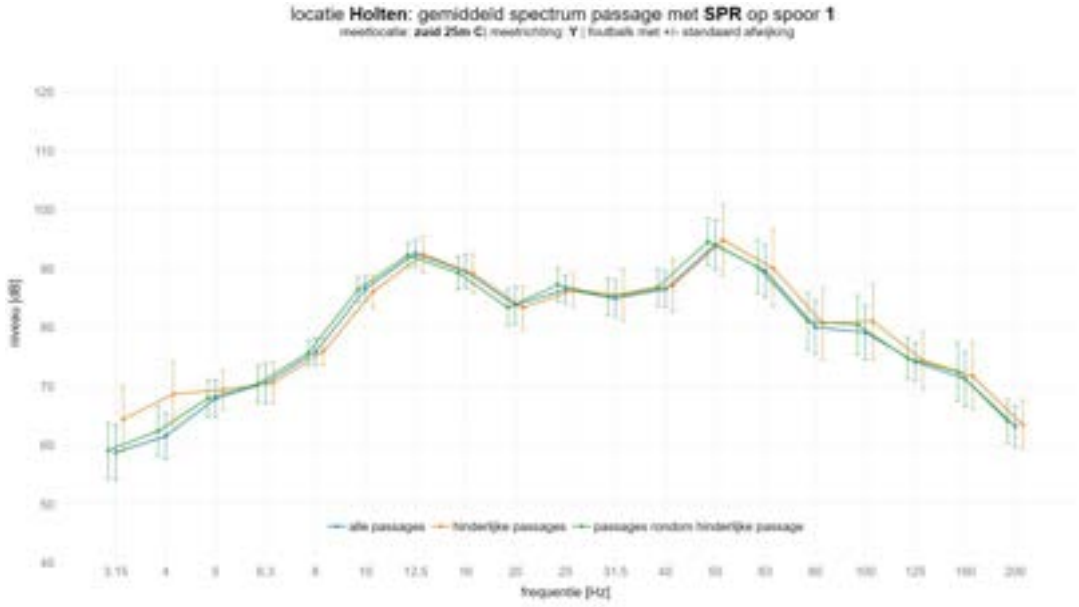

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

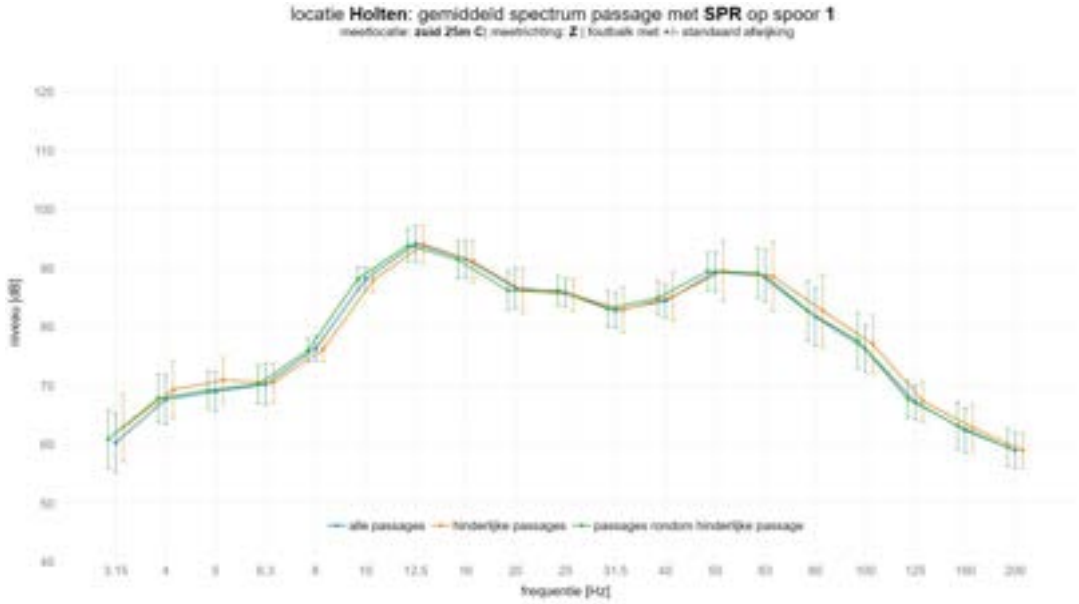

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluid [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

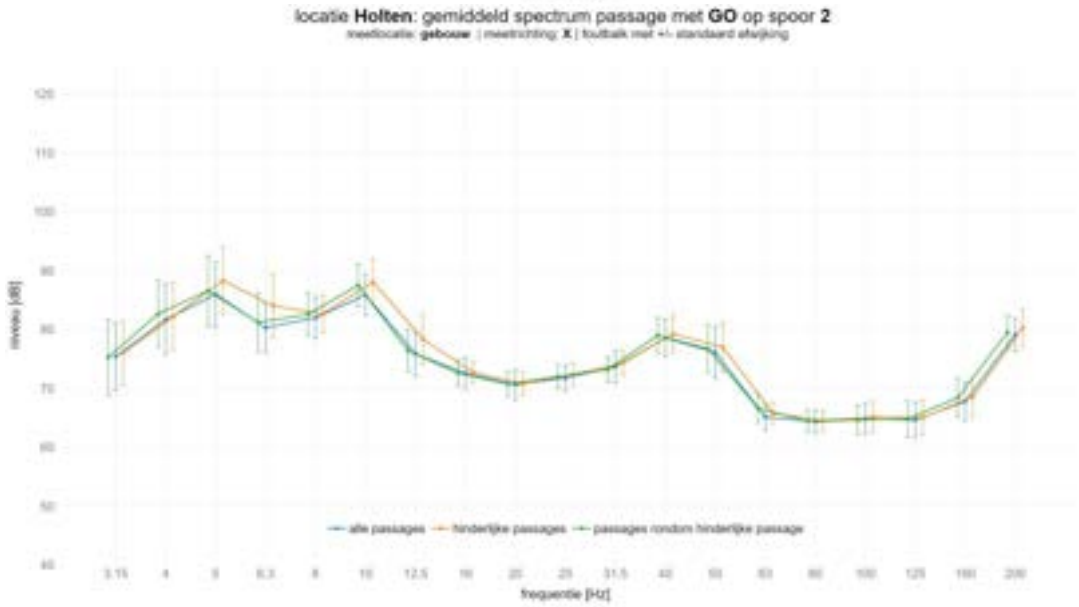

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

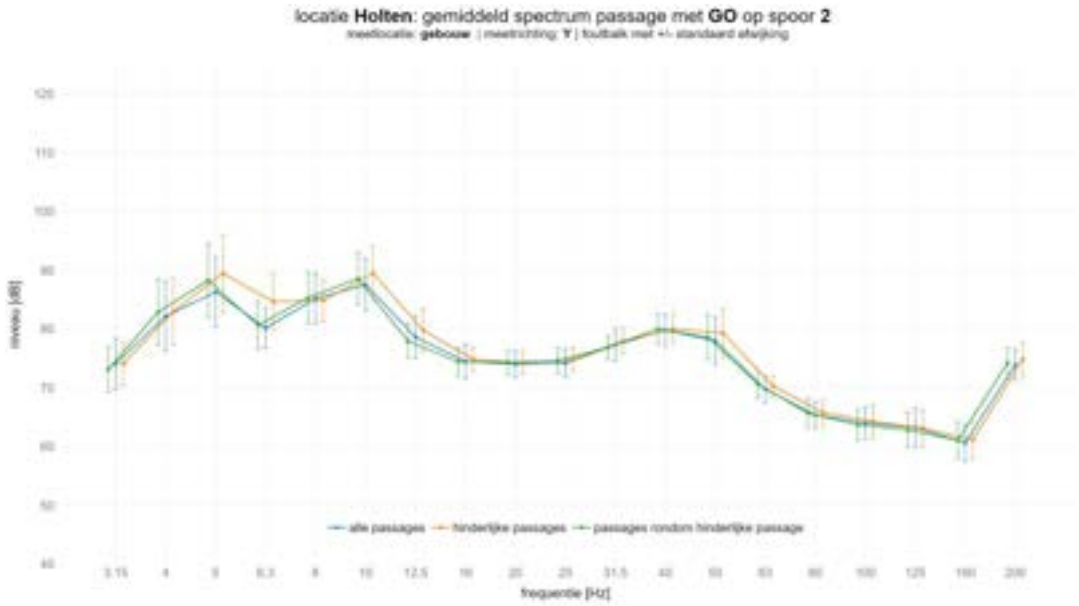

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

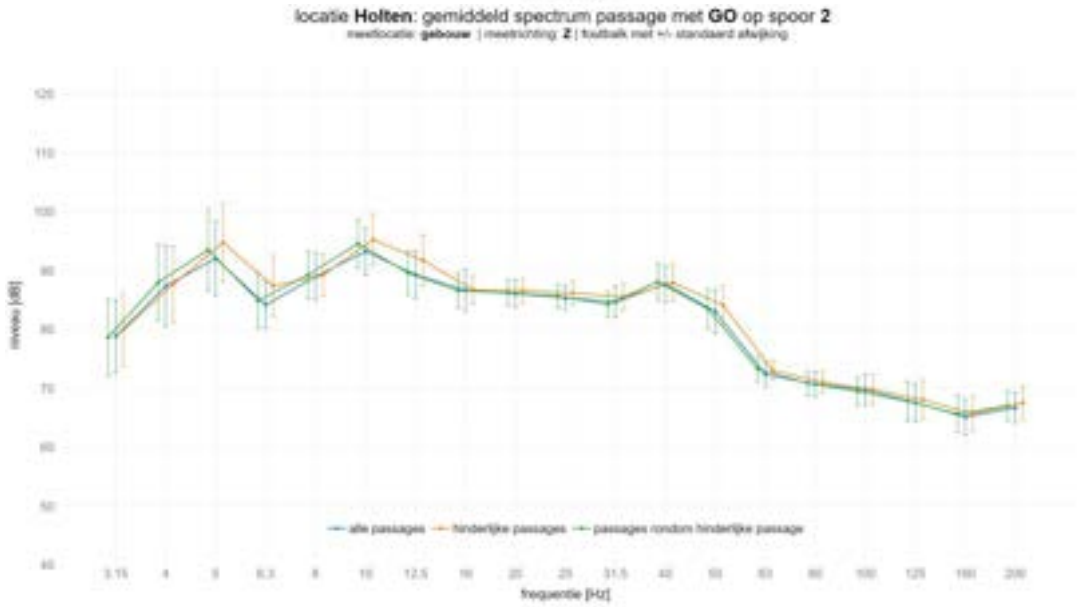

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

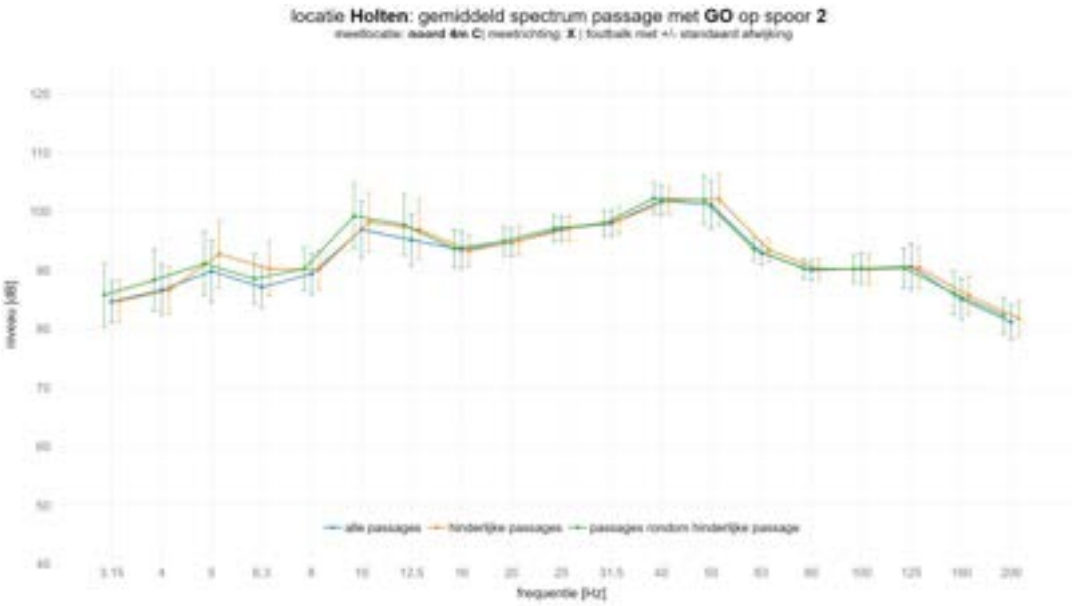

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

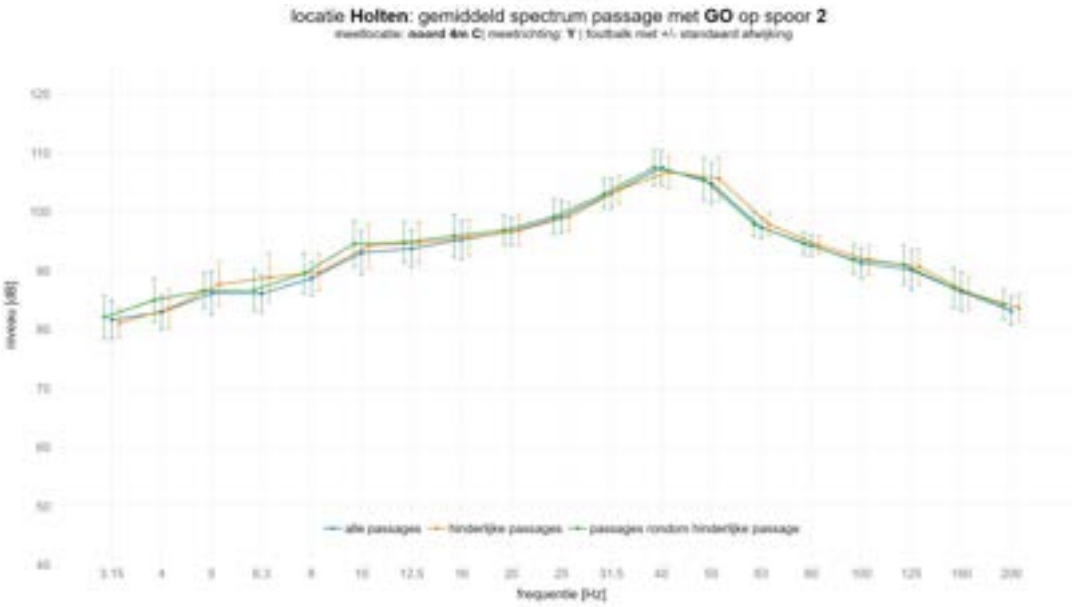

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **1**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluidsniveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

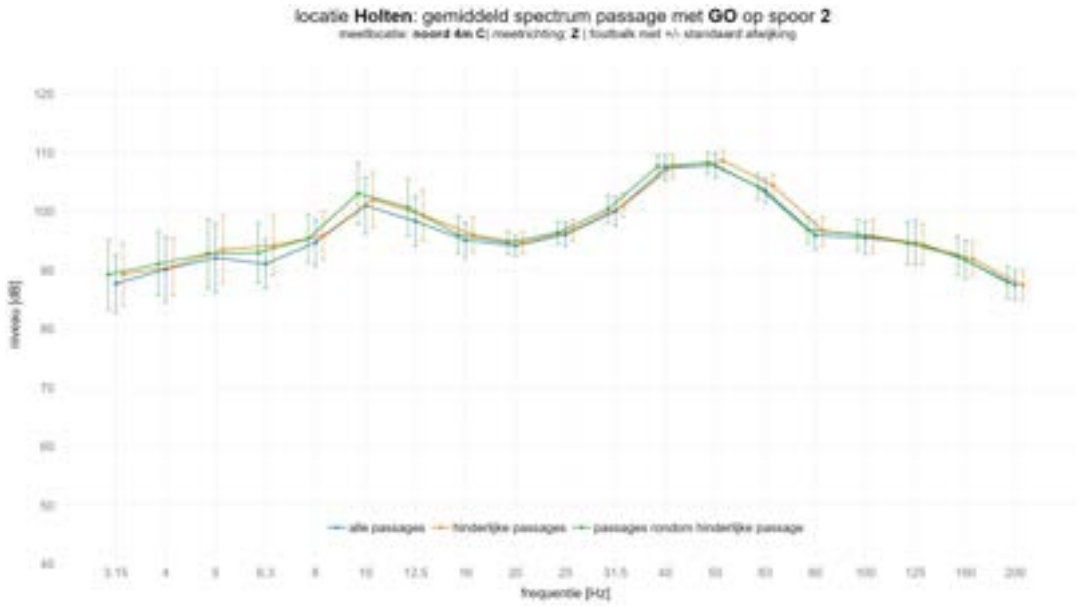

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluidsniveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

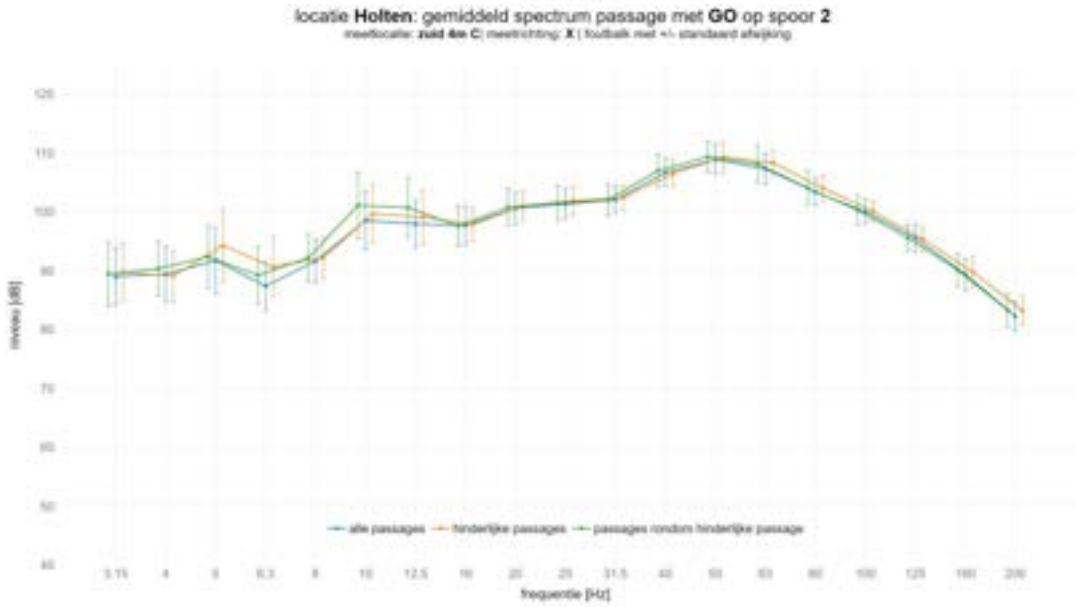

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

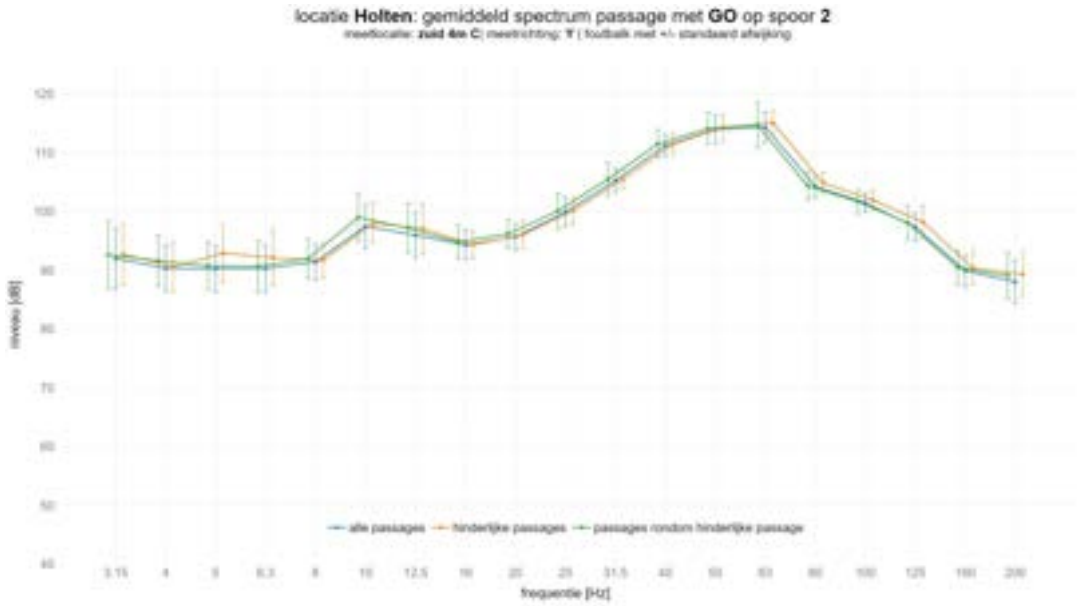

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

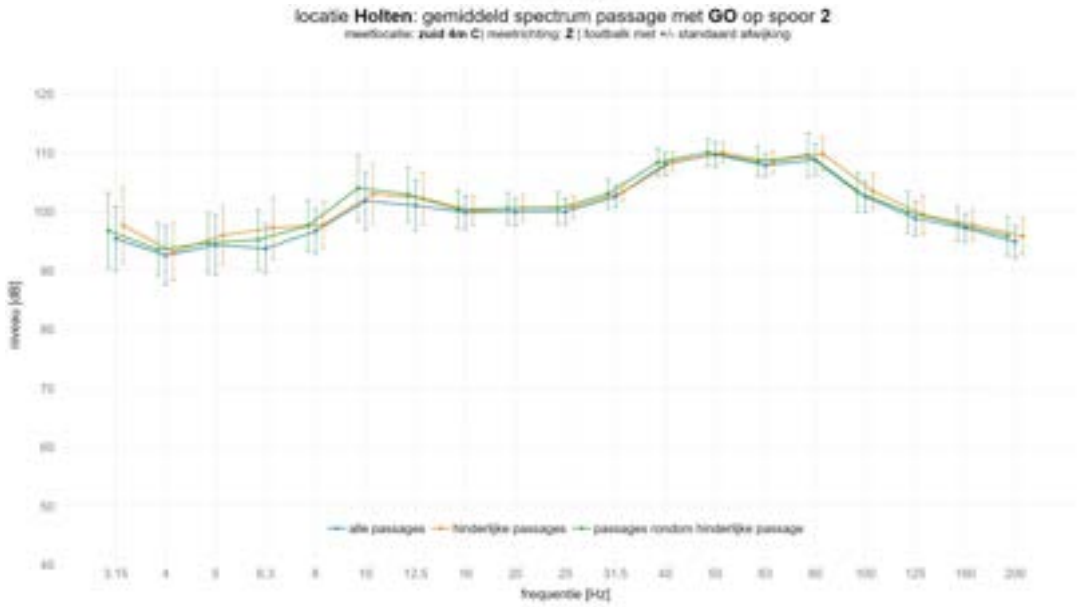

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **aaard 4m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

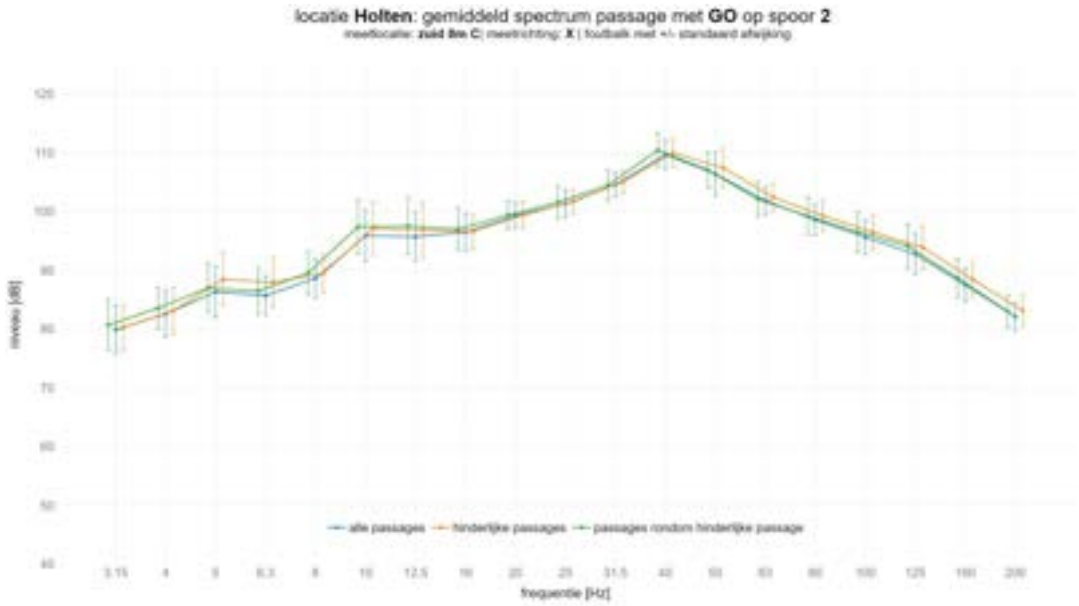

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **aaard 4m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

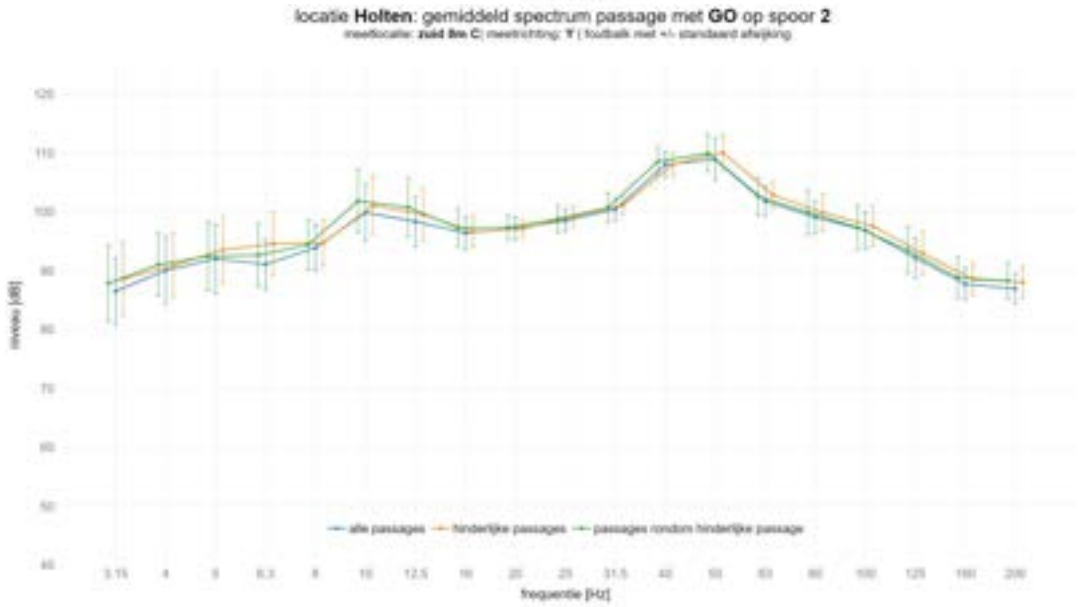

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

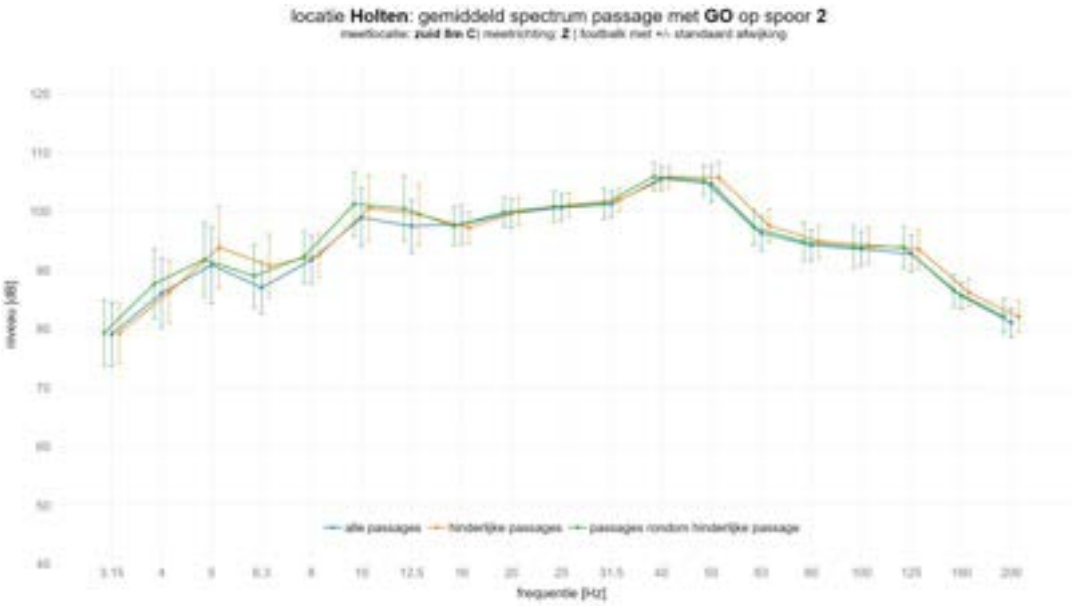

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

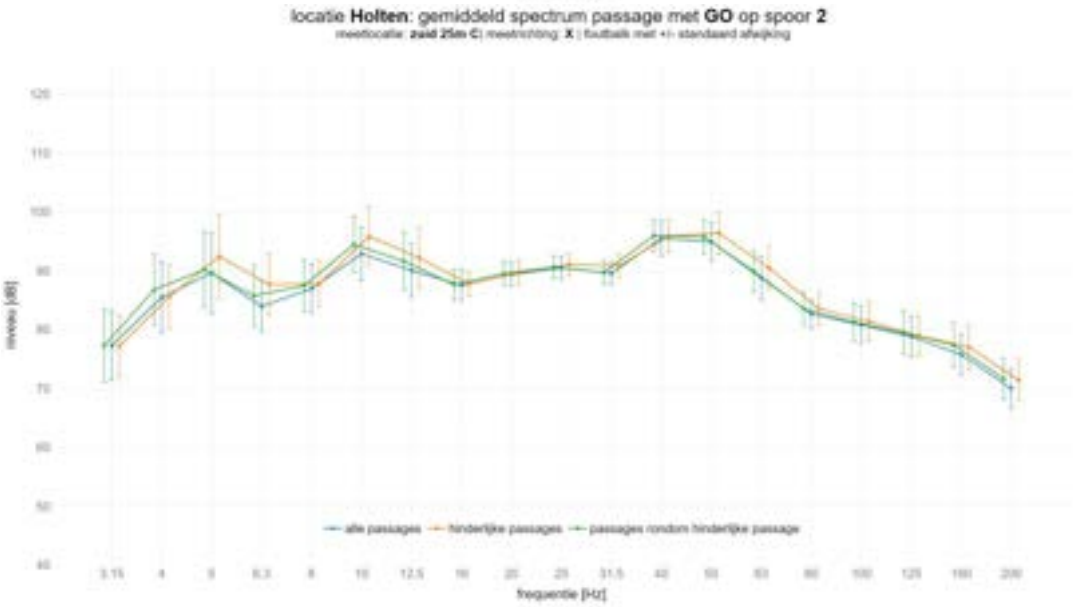

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **T** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

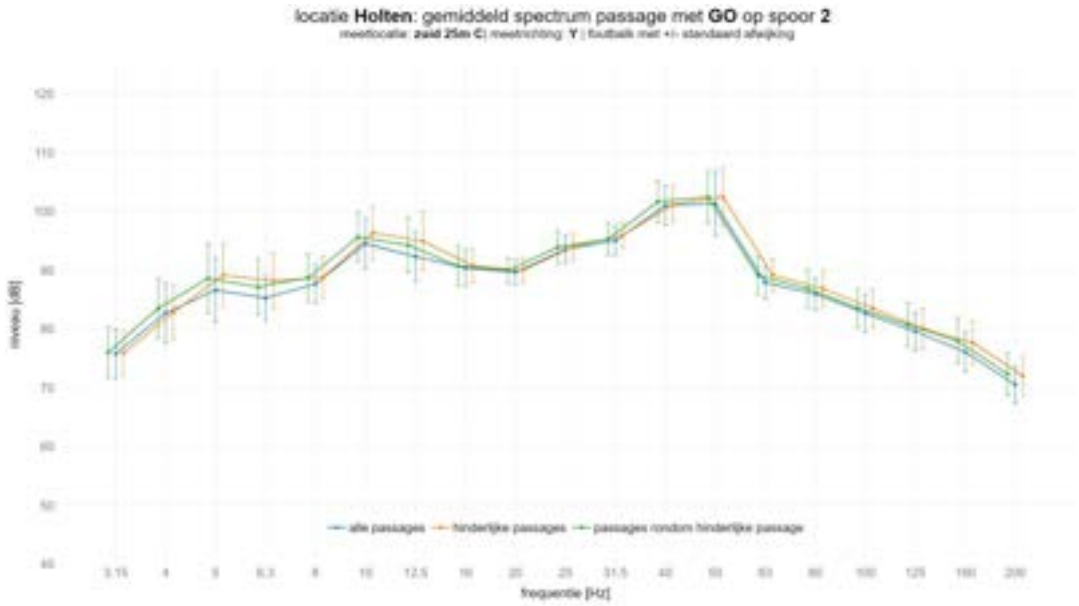

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

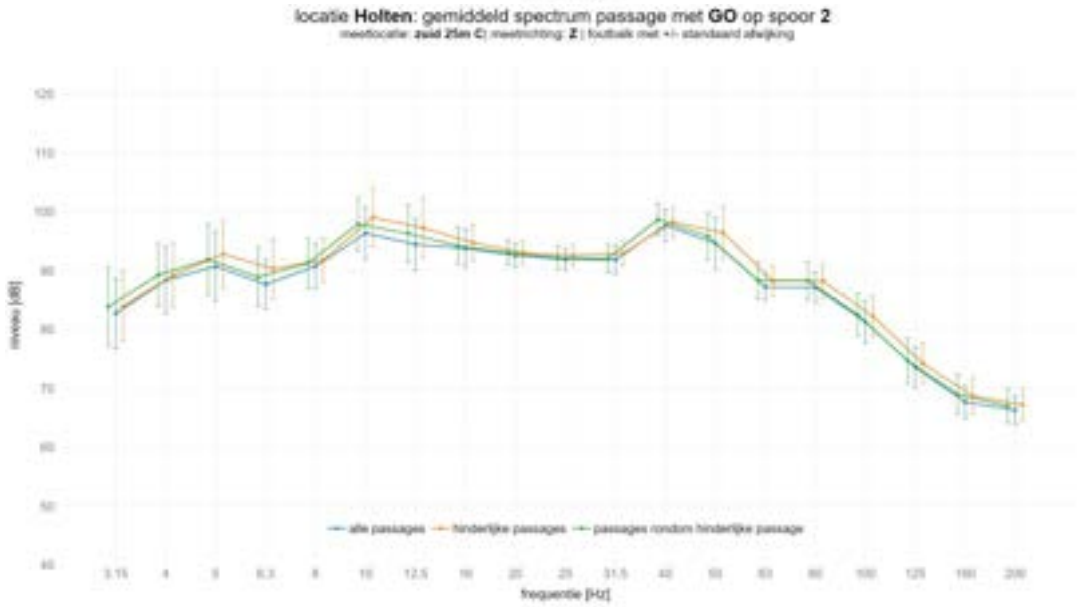

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

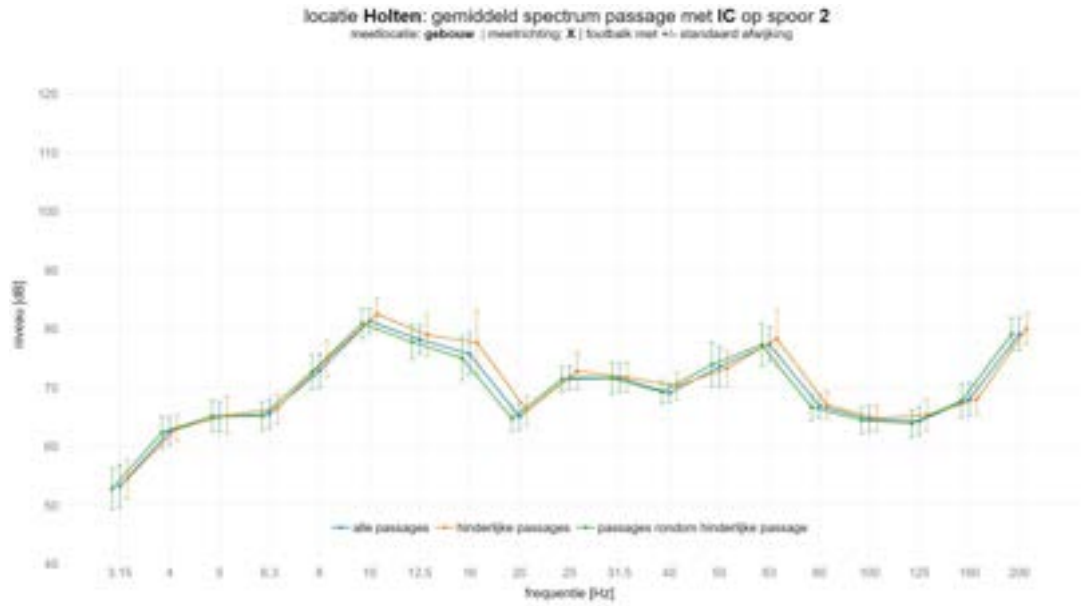

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

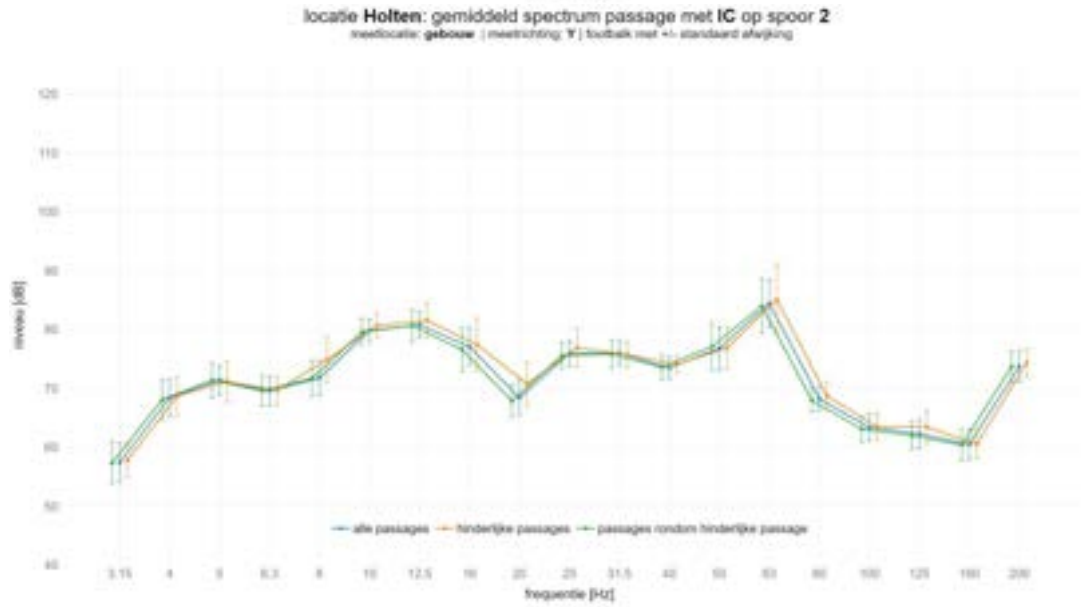

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 5m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

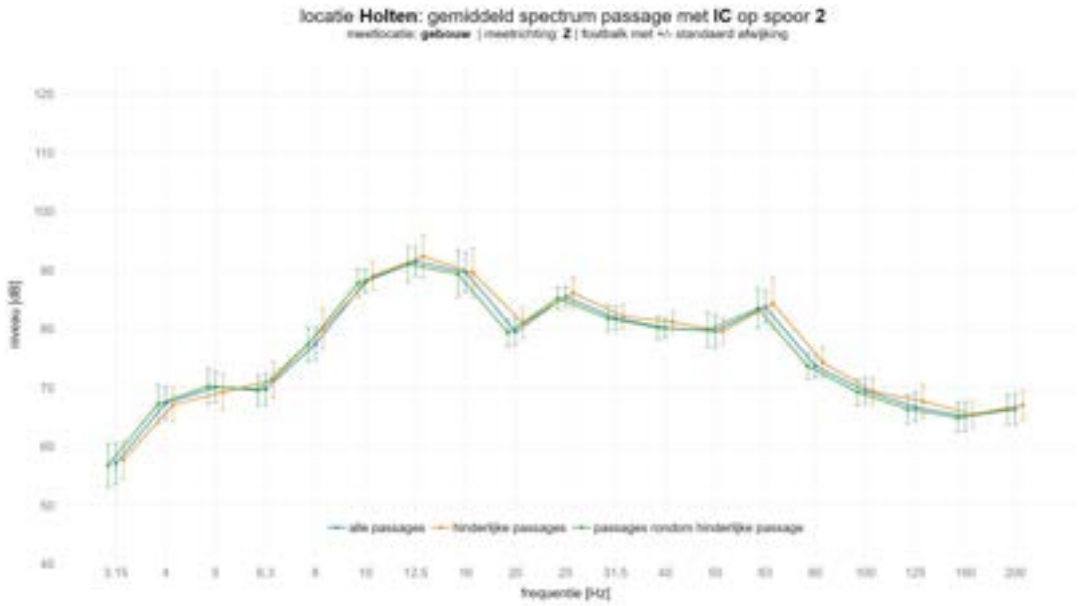

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

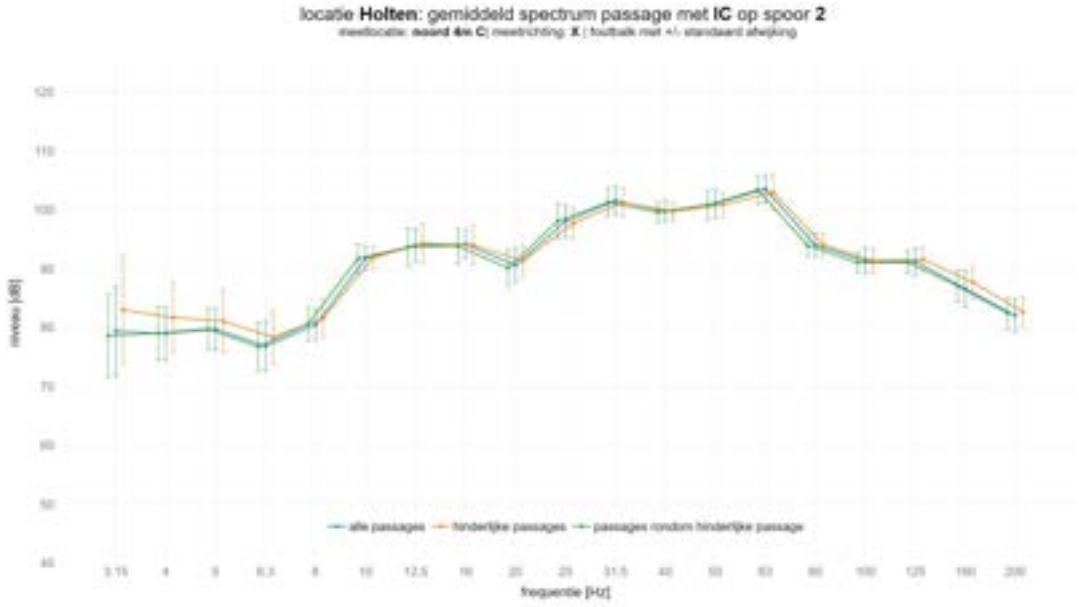

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

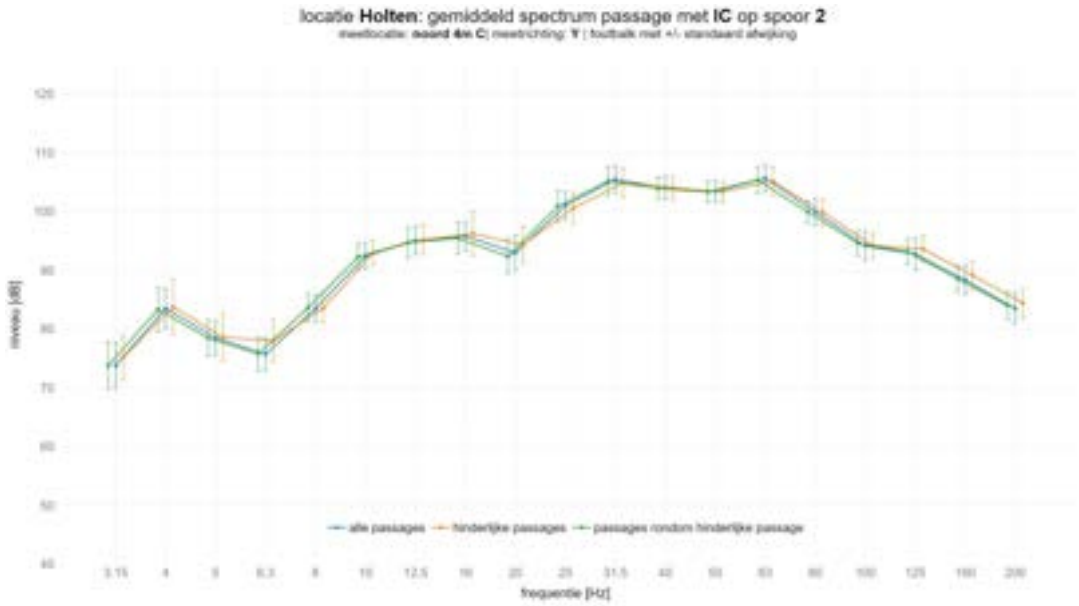

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **GO** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

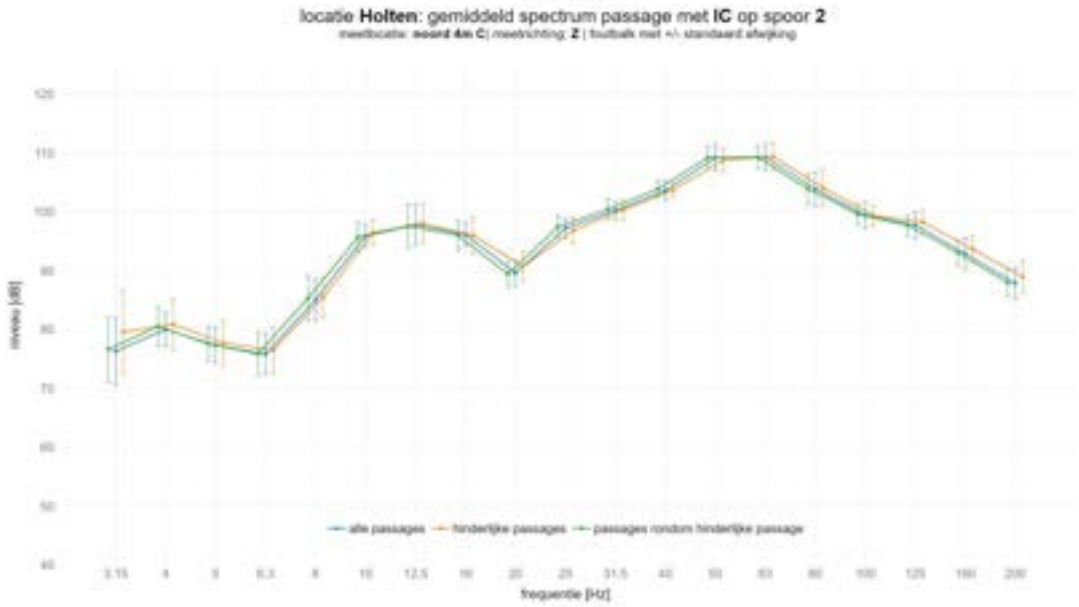

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

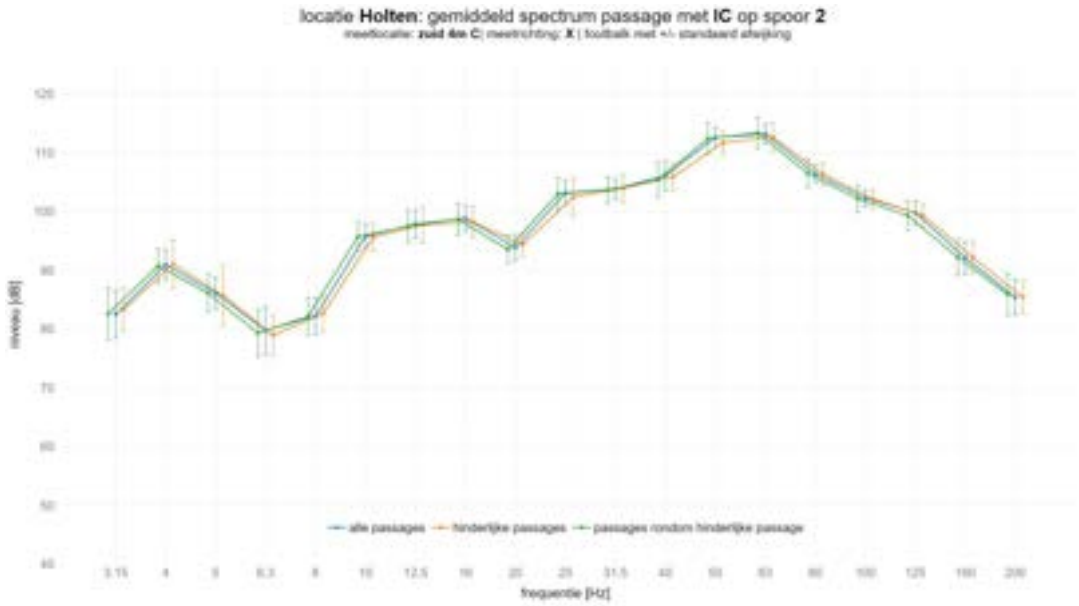

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

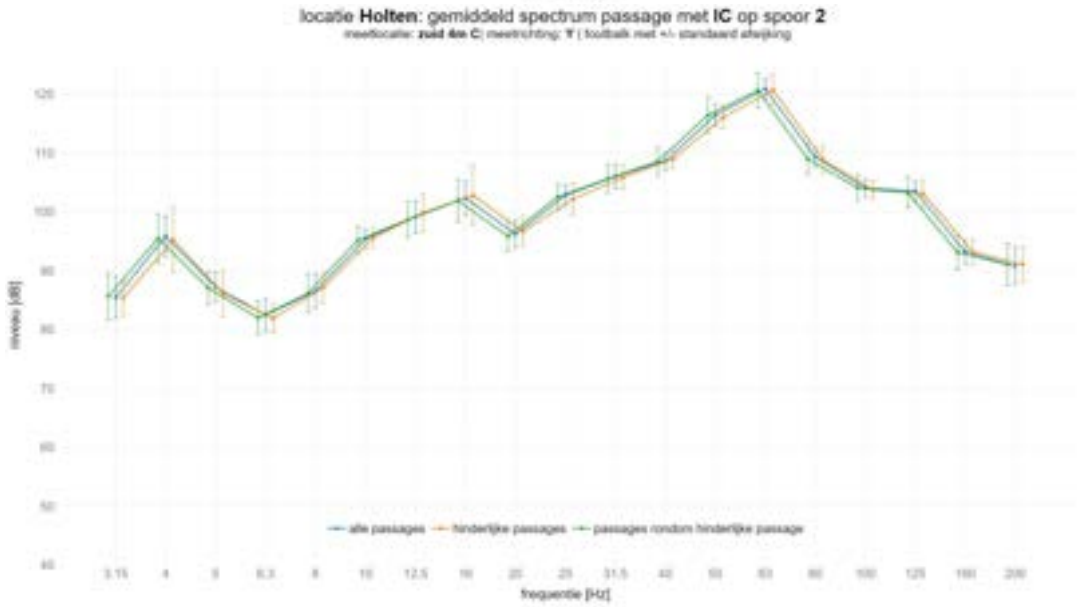

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

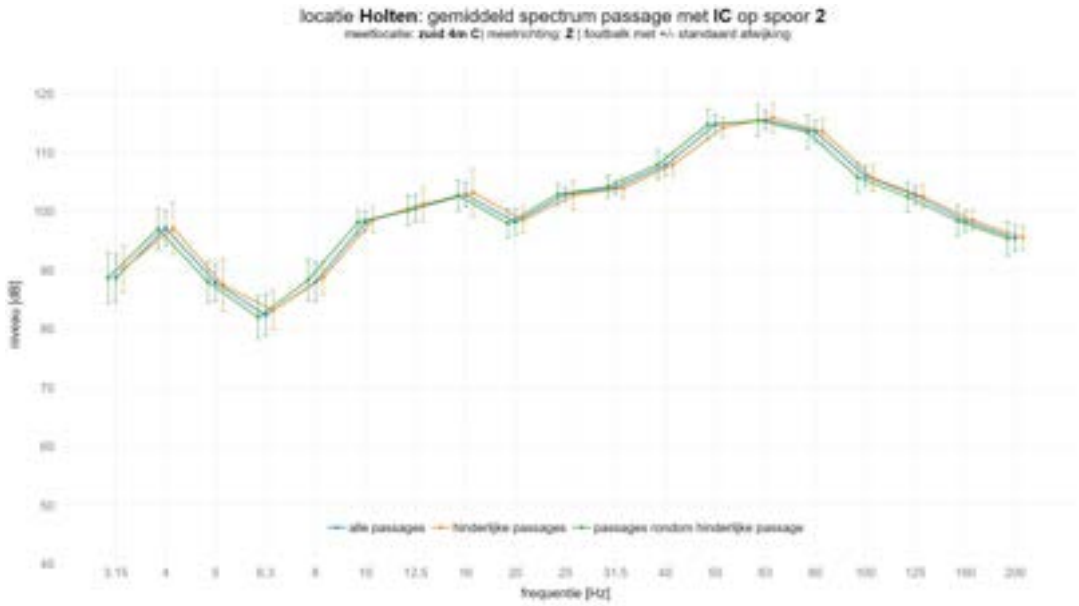

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **ooard 4m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

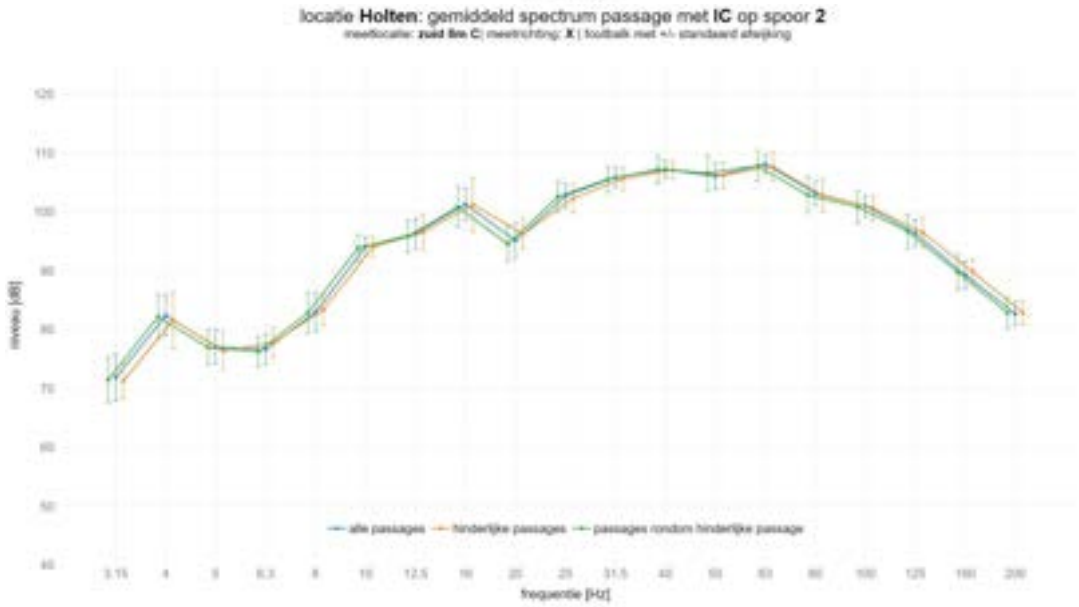

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

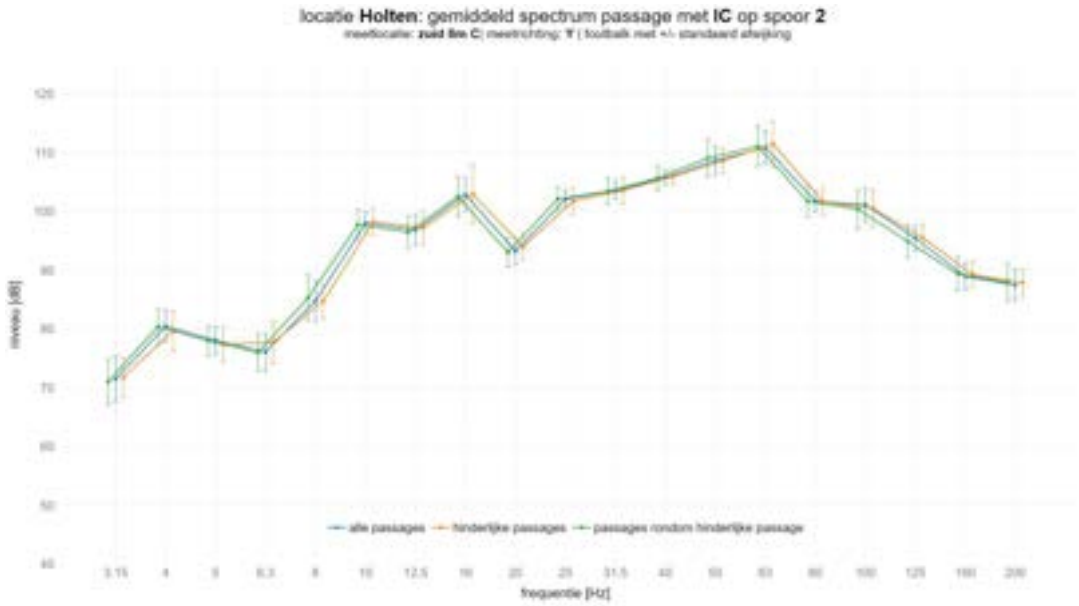

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

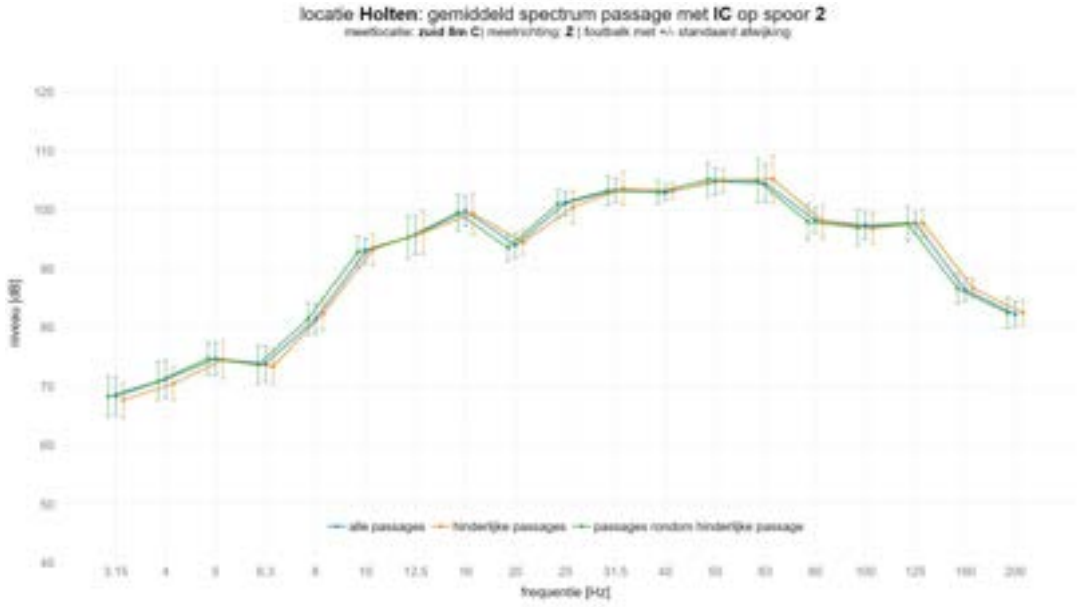

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

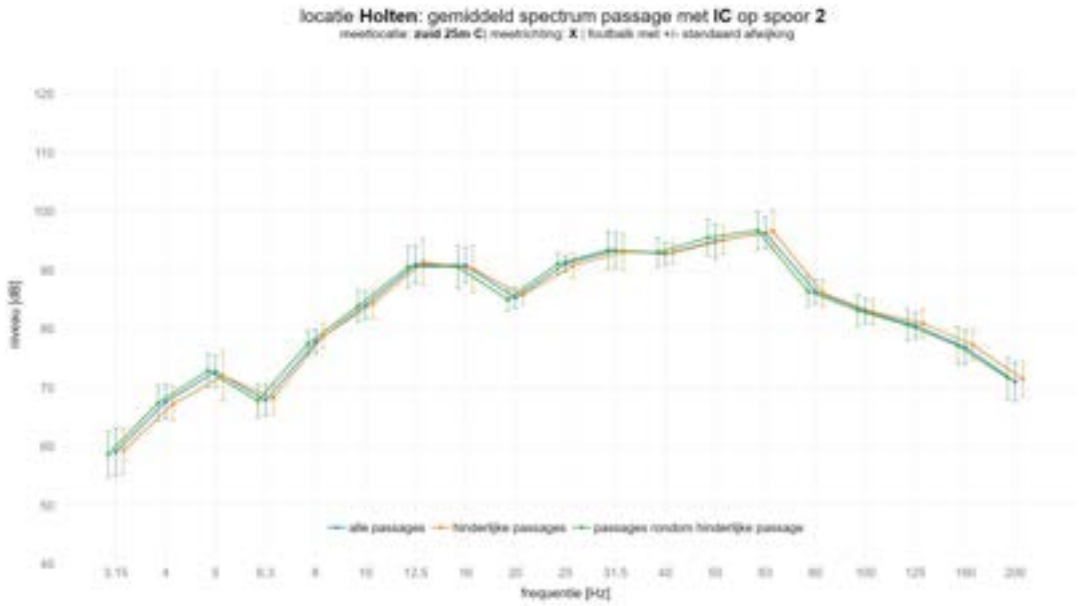

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

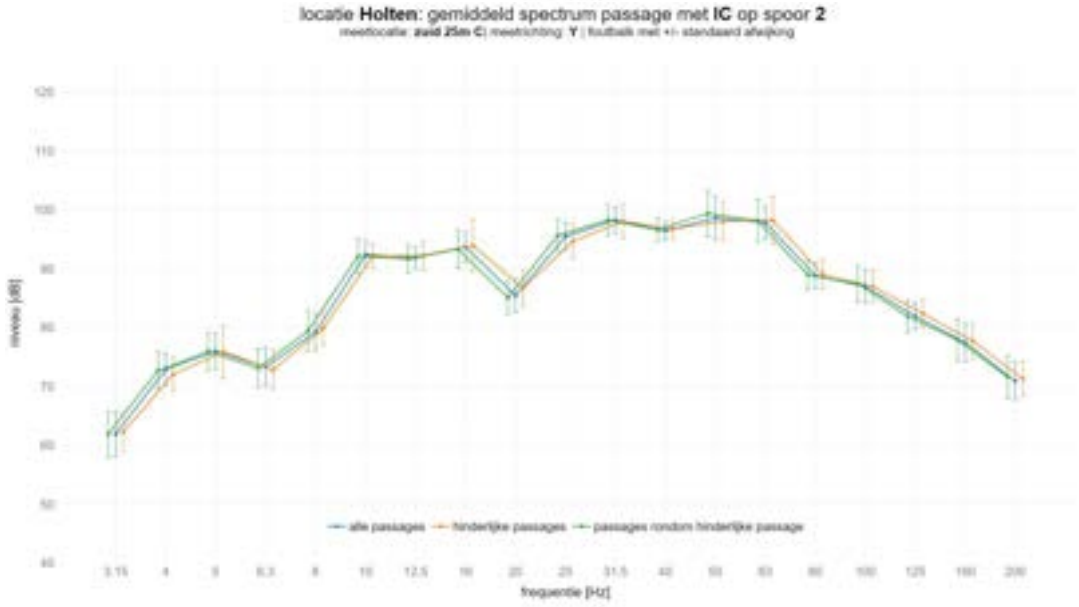

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

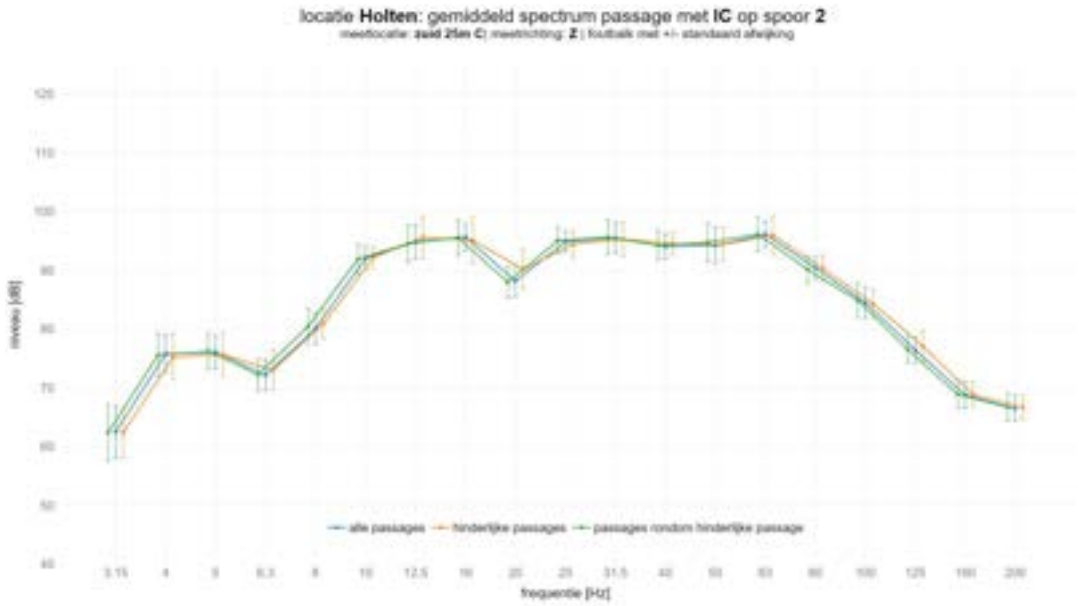

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

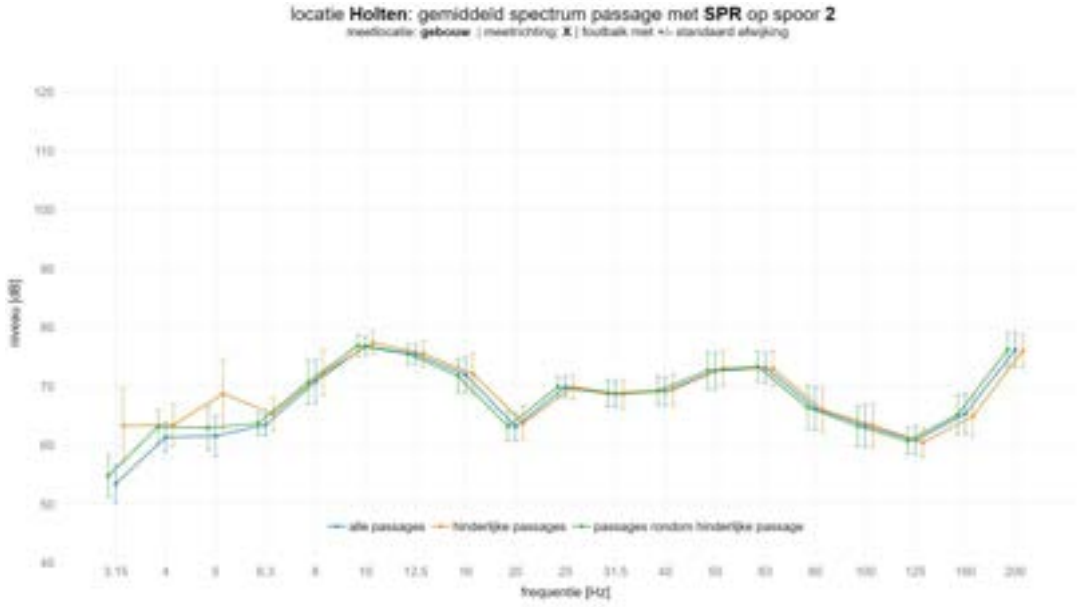

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

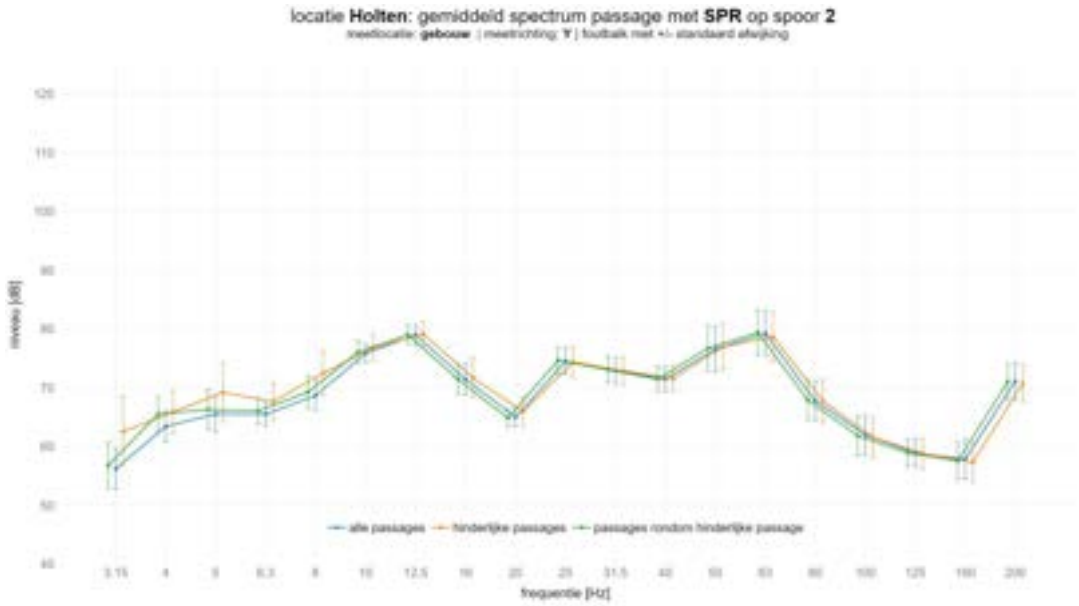

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

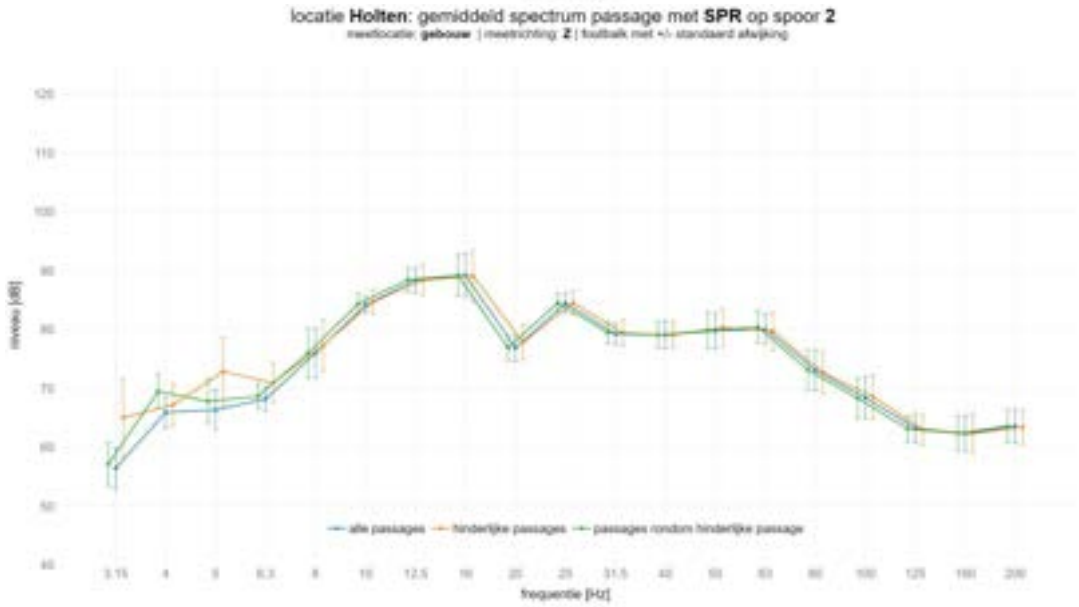

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

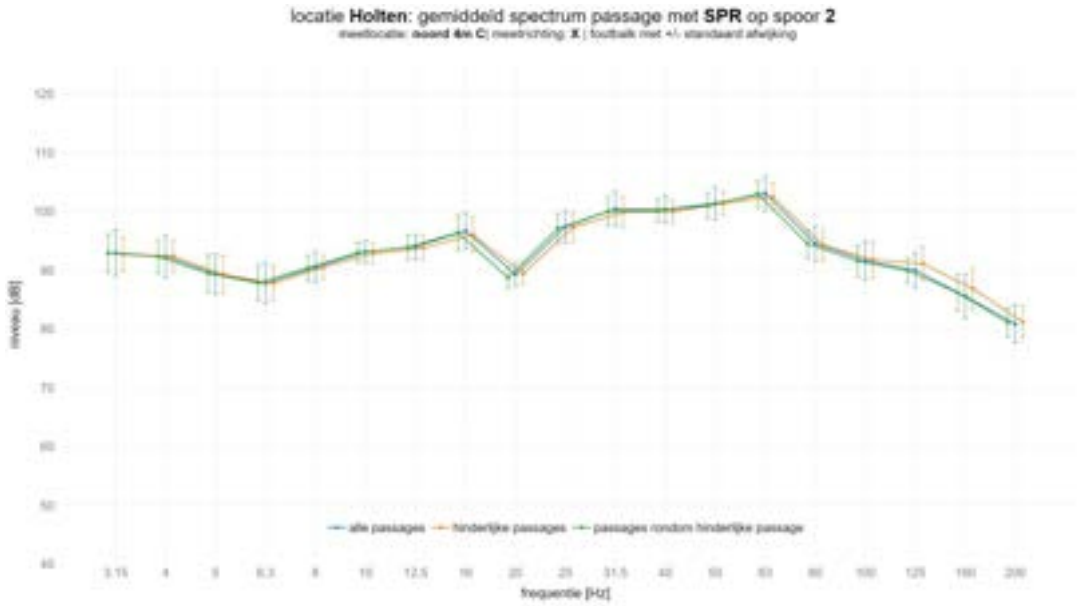

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

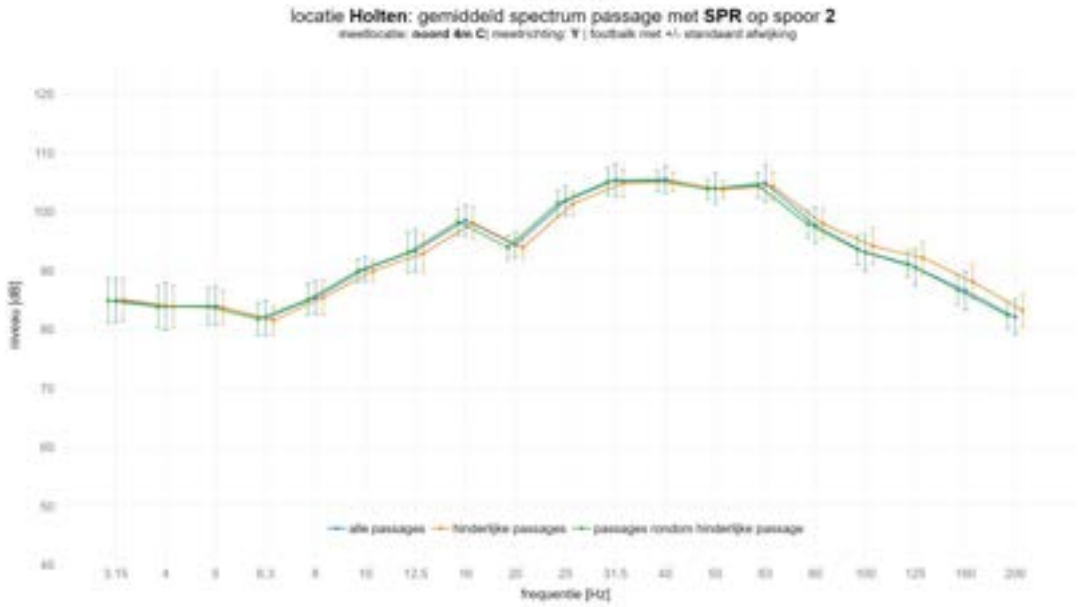

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **IC** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluidsniveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

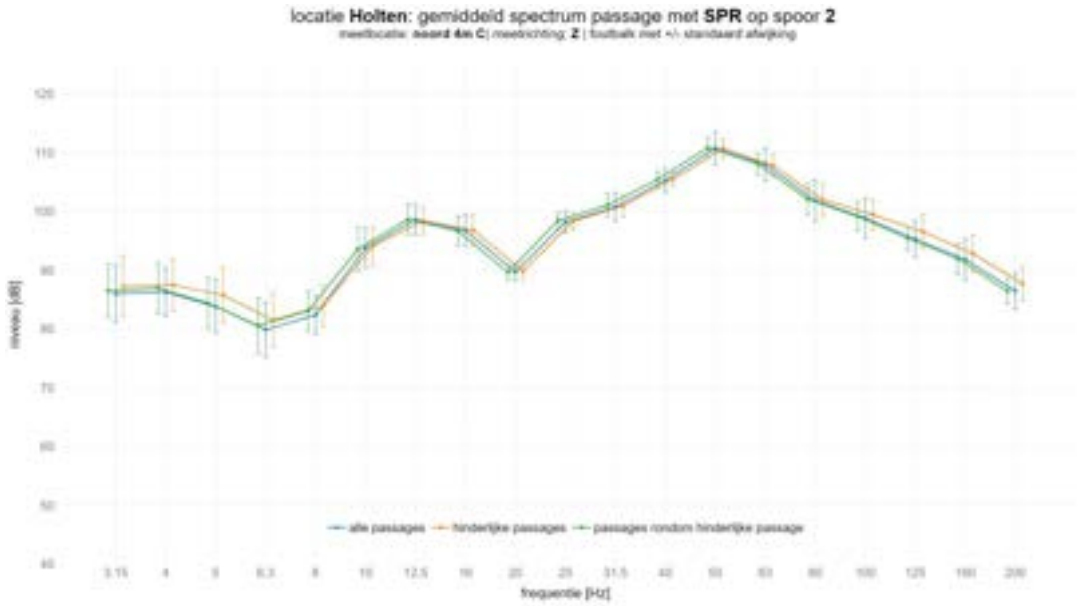

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
geluidsniveau [dB]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

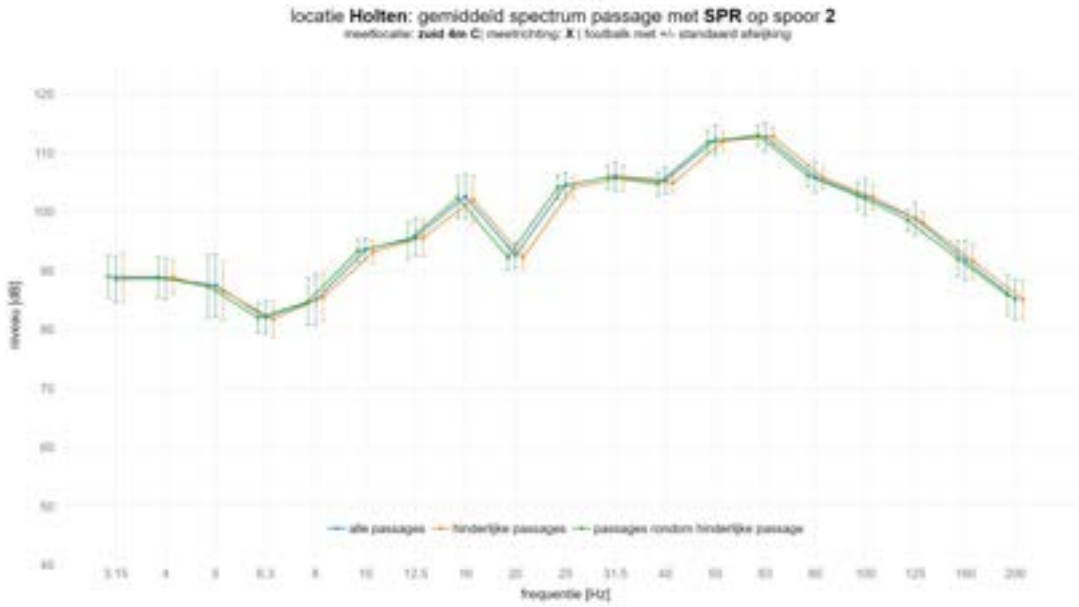

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

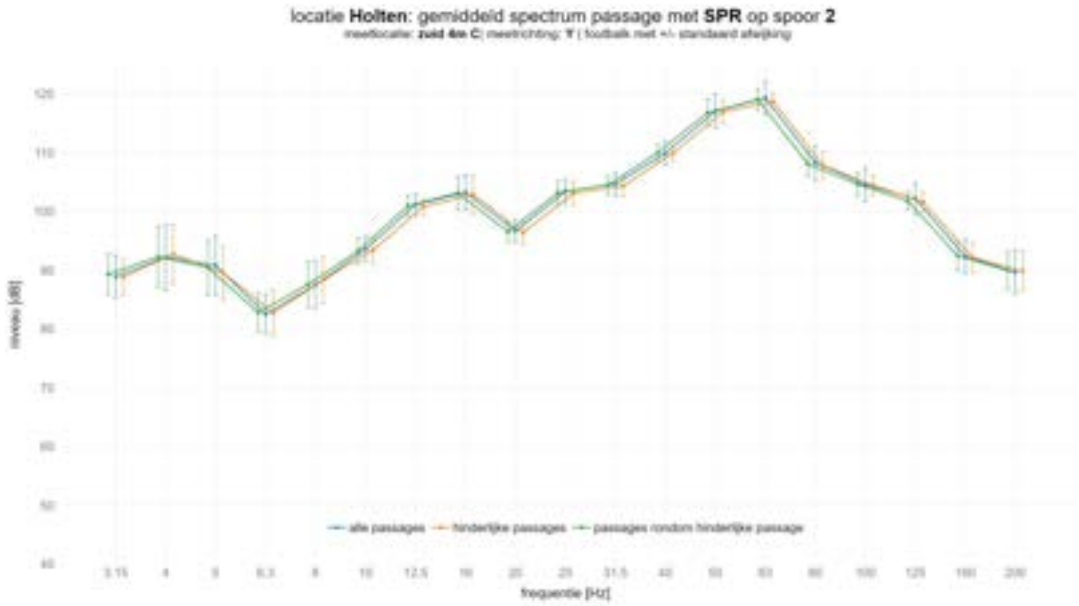

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **gebouw** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meten
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

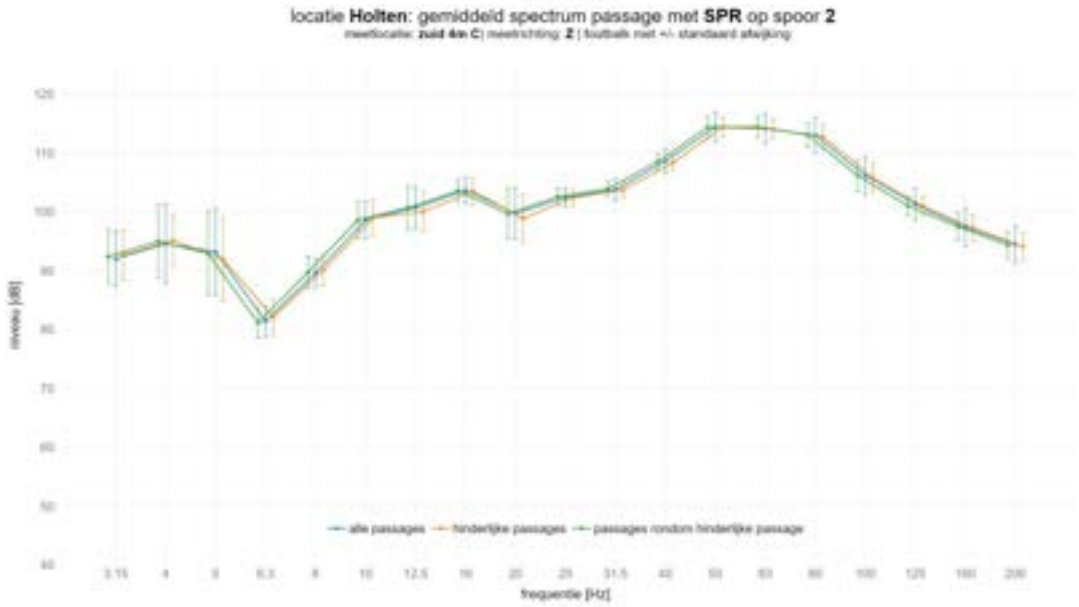

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **oostelijk** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

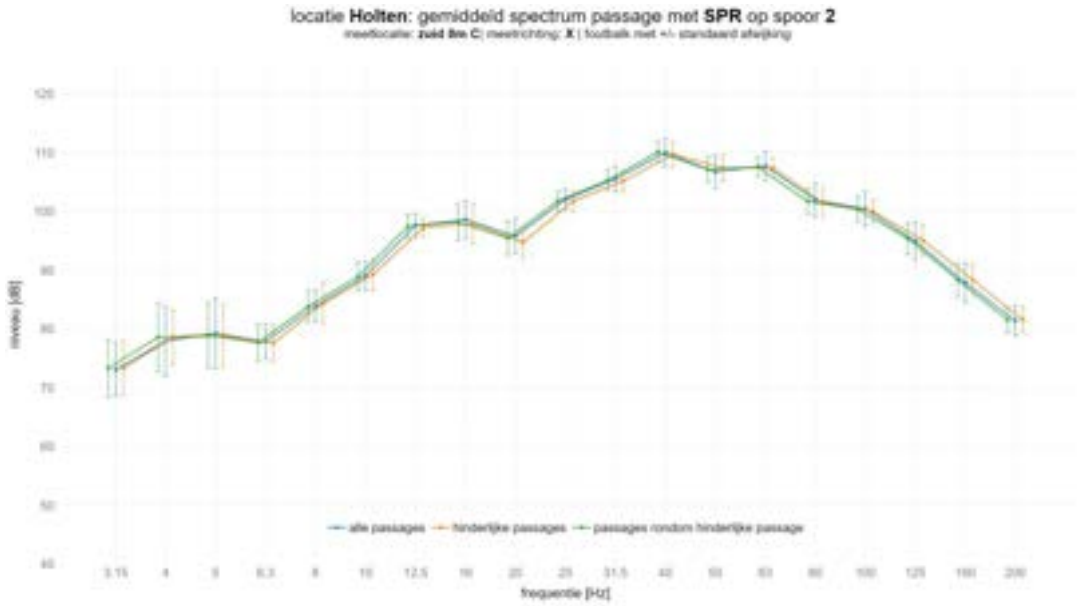

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **oostelijk** | meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

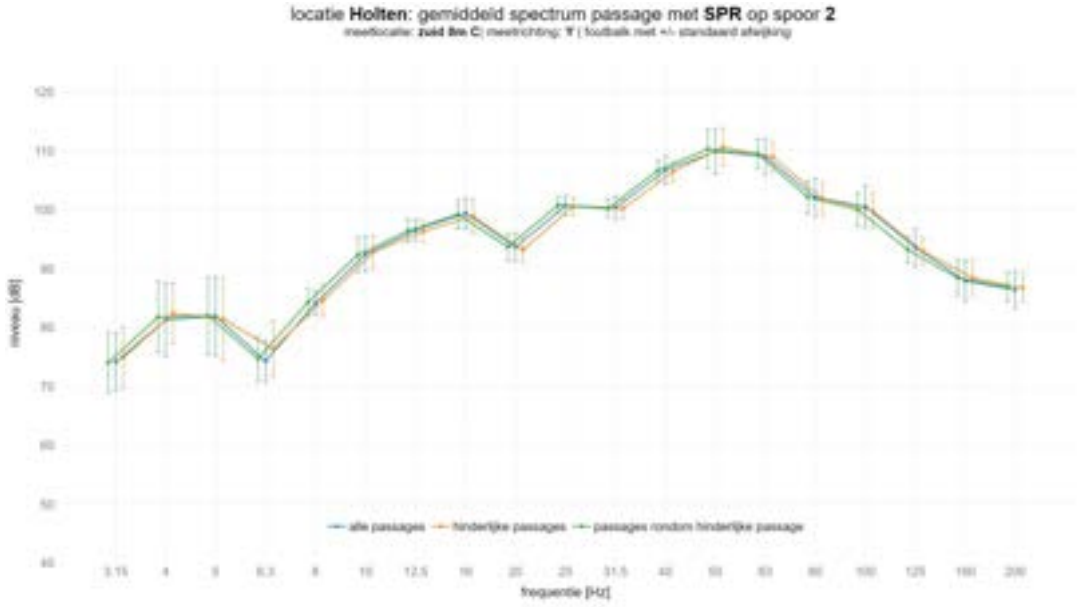

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **noord 4m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

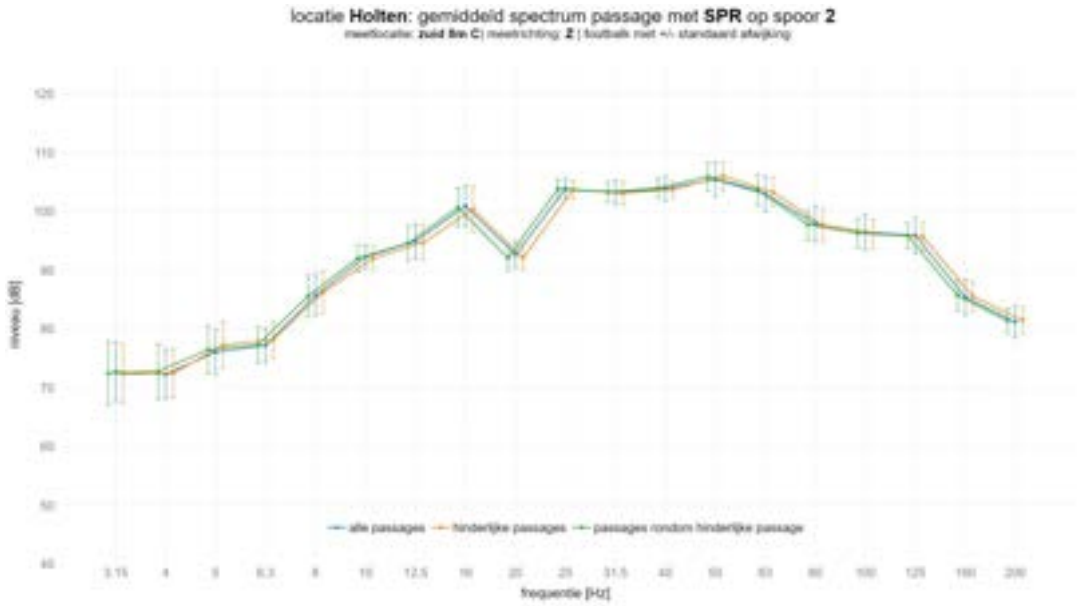

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

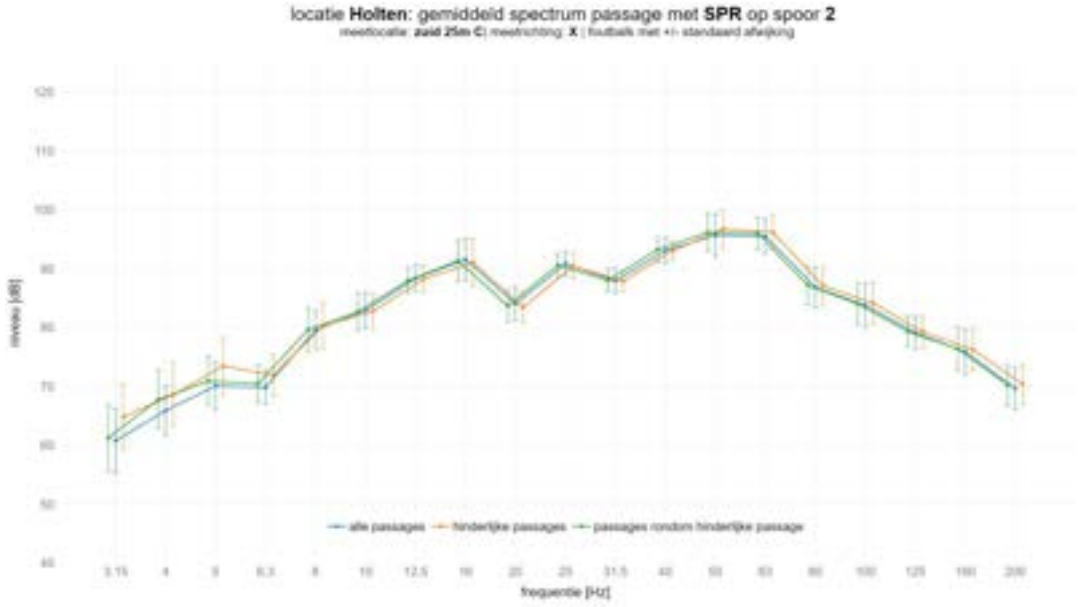

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **1** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

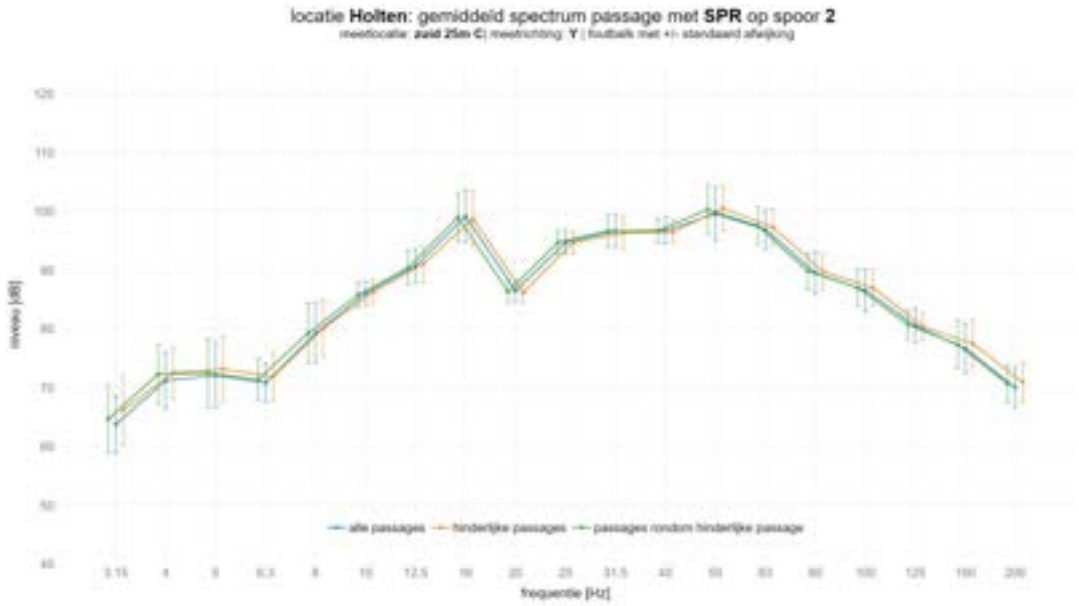

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 4m C**| meetrichting: **2** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

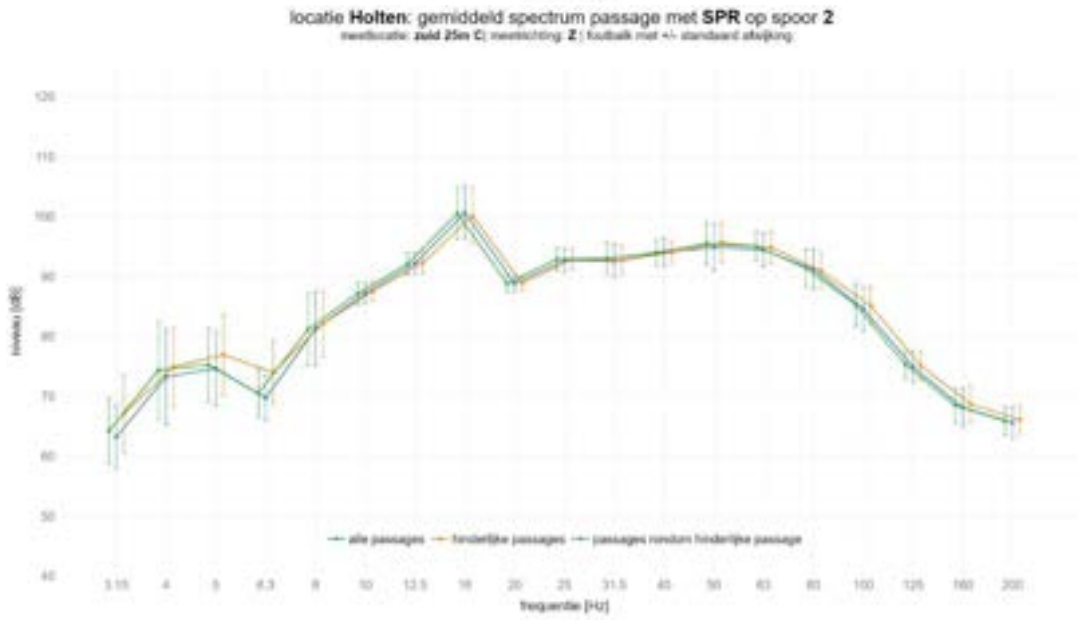

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]


locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 8m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
[dB] meting
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

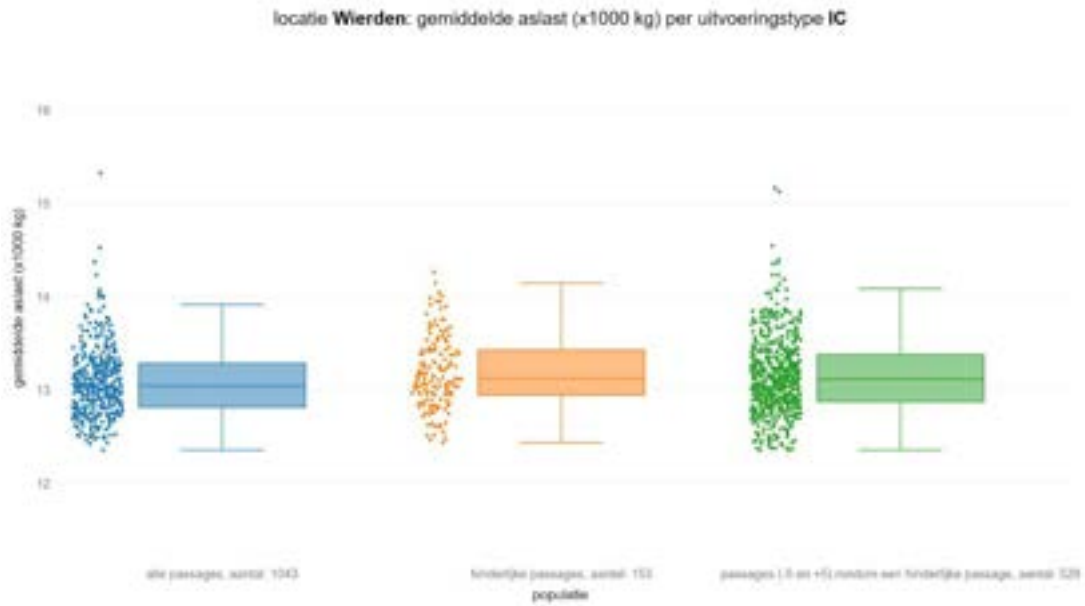

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 5m C** | meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]


locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C** | meetrichting: **X** | foutbalk met +/- standaard afwijking
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage
frequentie [Hz]

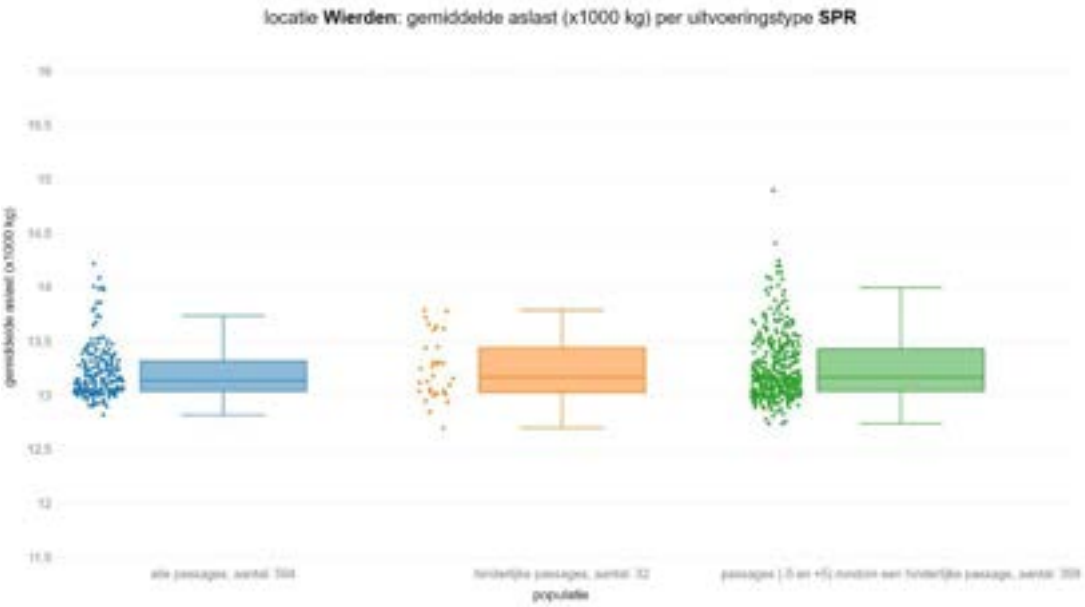

locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C**| meetrichting: **Y** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage


locatie **Holten**: gemiddeld spectrum passage met **SPR** op spoor **2**
meetlocatie: **zuid 25m C**| meetrichting: **Z** | foutbalk met +/- standaard afwijking
niveau [dB]
frequentie [Hz]
alle passages
hinderlijke passages
passages rondom hinderlijke passage

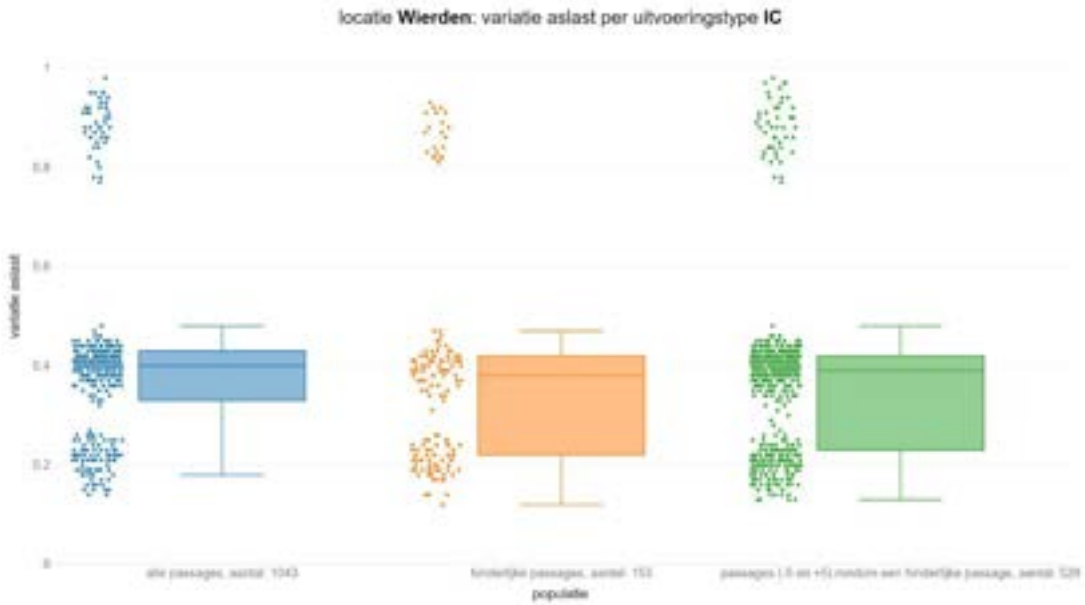
P Wierden: aslast



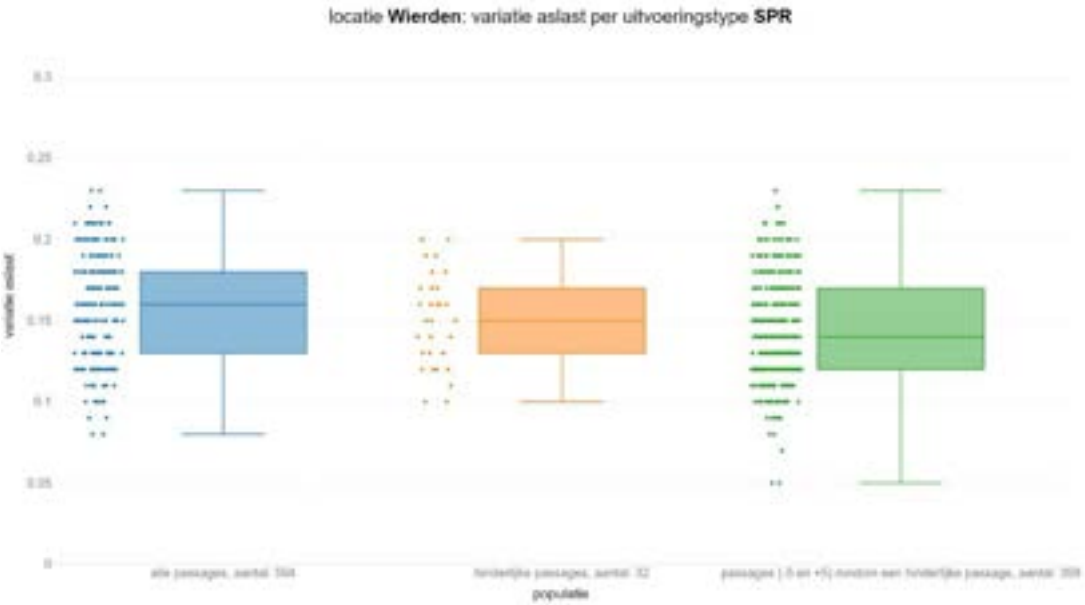
figuur 143 Gemiddelde aslast voor intercity's per populatie



figuur 144 Gemiddelde aslast voor sprinters per populatie

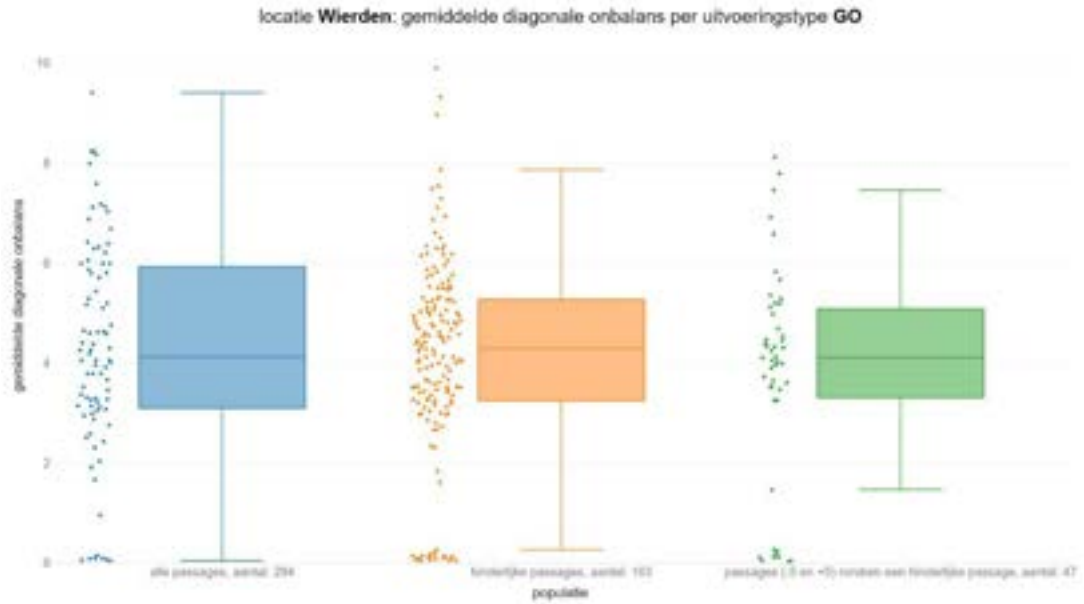


figuur 145 *Variatie aslast voor intercity's per populatie*

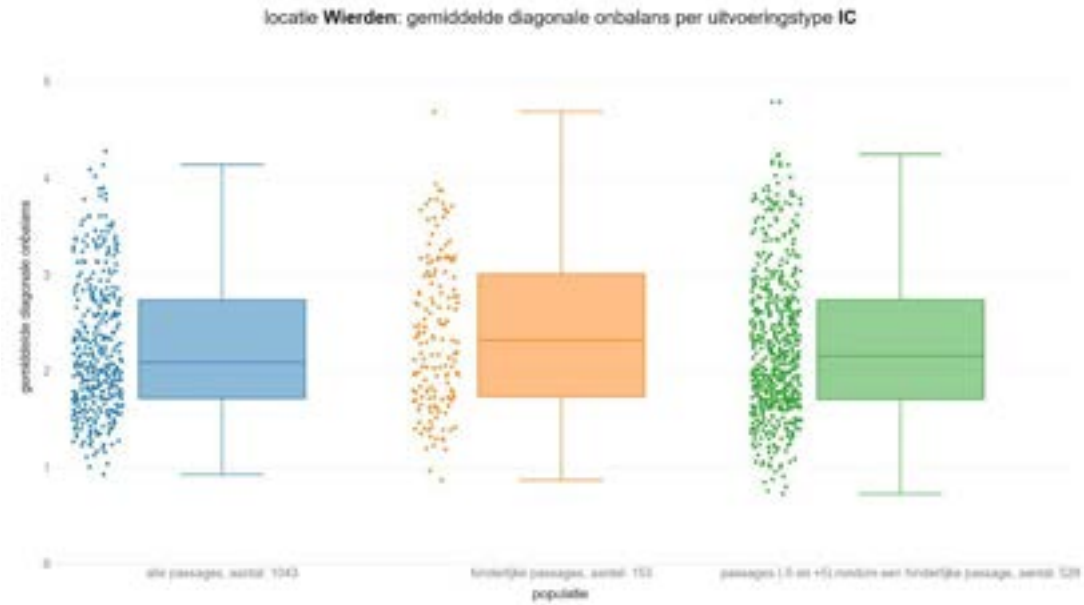


figuur 146 *Variatie aslast voor sprinters per populatie*

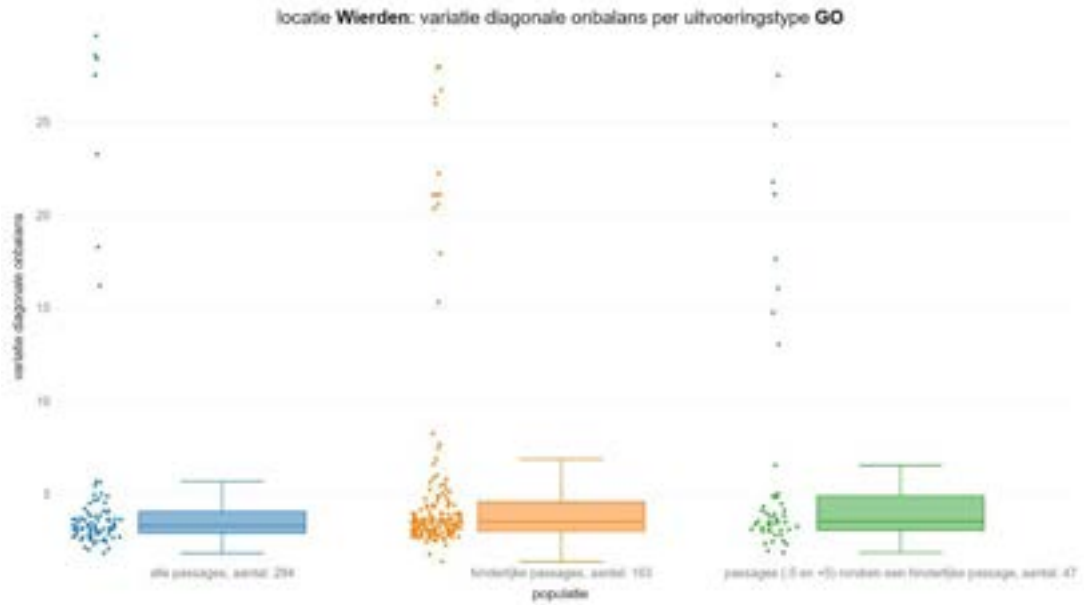
Q Wierden: diagonale onbalans



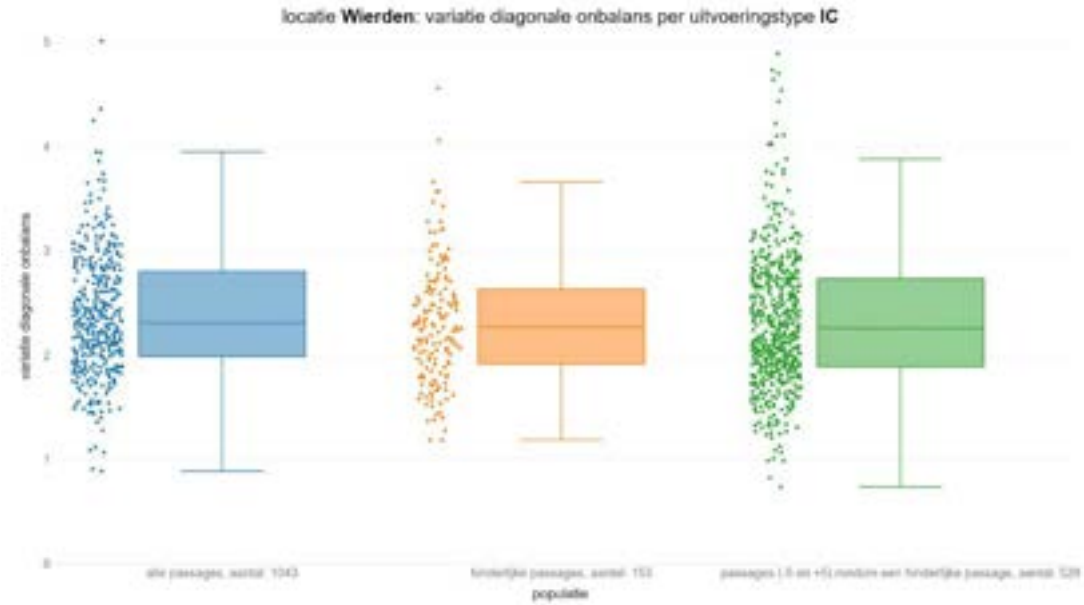
figuur 147 *Gemiddelde diagonale onbalans voor goederentreinen per populatie*



figuur 148 *Gemiddelde diagonale onbalans voor intercity's per populatie*



figuur 149 *Variatie diagonale onbalans voor goederentreinen per populatie*



figuur 150 *Variatie diagonale onbalans voor intercity's per populatie*