

DEKRA Rail

Rapportage pilot hogesnelheidspassages perrons

Kampen Zuid

18 maart 2021



Rapportage pilot hogesnelheidspassages perrons

Kampen Zuid

Opdrachtgever : Prorail B.V. Marcel van Ofwegen, Programmamanager, Stations
Adres : Tulpenburgh 2.28, Moreelsepark 3
: 3511 EP Utrecht

Uw kenmerk : 4028409

Ons kenmerk : DR/21/190392/004

Auteur(s) : Margreet Beuving, Richard van der Weide en Henk Frieling

Referent : Gerrit van Keulen 

Vrijgave : Martin Hiensch 


Datum : 18 maart 2021

Versie : 1.0 definitief

Managementsamenvatting

In opdracht van ProRail hebben Dekra Rail en Intergo een pilot uit te voeren waarbij treinen met hoge snelheid langs perrons rijden. In de pilot is de invloed vastgesteld van de hogere passagesnelheden op de luchtsnelheden, geluidniveaus en de beleving van proefpersonen op het perron. De reizigerstreinen zijn met snelheden tot 160 km/u het perron van station Kampen Zuid gepasseerd. Met de resultaten wil ProRail bepalen hoe de veiligheid en comfort van de reizigers tijdens treinpassages met 160 km/u langs perrons onderzocht en gemeten kan worden.

Dekra heeft de aerodynamische effecten en geluidniveaus van treinpassages tot 160 km/h vastgesteld, zodat hiervan de effecten op de veiligheid en het comfort van reizigers kunnen worden afgeleid. Hierbij zijn diverse fysische parameters gemeten en video-opnames gemaakt op representatieve locaties.

Intergo heeft de subjectieve beoordeling/ervaring van proefpersonen op het testperron vastgesteld door het afnemen van een gestructureerd testprogramma door middel van het per proefpersoon per passage afnemen van een vragenlijst.

In totaal zijn 20 treinpassages gemeten, waarvan 12 proeftreinen. De proeftreinen waren de Intercity Direct en de SNG. Door externe omstandigheden kon de ICD niet harder rijden dan 140 km/h.

De objectieve metingen laten duidelijke verschillen te zien tussen luchtsnelheden en versnellingen tijdens de ICD-passages en de SNG-passages. De luchtsnelheden van de ICD vertonen een grillig verloop, terwijl de SNG luchtsnelheden geleidelijker toe- en afnemen.

Op het perron valt op dat de luchtsnelheid van de ICD hogere waarden vertoont dan die van de SNG, met name de ICD in de richting Dronten. Ook de geluidniveaus stijgen dermate snel dat lichte tot matige schrikreacties kunnen ontstaan.

De gemeten luchtsnelheidswaarden op de referentielocatie blijven echter steeds ruim onder de grenswaarde uit de TSI.

Uit de subjectieve metingen blijkt dat een passage van een ICD-trein met 135 km/u op alle variabelen als onprettiger geschouwd dan een passage van een SNG met 155 km/u. Voor de ICD passages met name in rijrichting Zwolle – Dronten is duidelijke onbalans waargenomen in het zog van de trein.

Uit de relatie tussen de objectieve en subjectieve resultaten blijkt dat:

- De gemeten luchtsnelheid en de daarvan afgeleide grootheden versnelling en gust een sterk verband te hebben met de ervaren onbalans.
- Het verband met het referentiemeetpunt ongeveer even sterk is als met de meetpunten op de perrons. Dit betekent dat op basis van het referentiemeetpunt bepaald zou kunnen worden in hoeverre een bepaald treintype potentieel risicovol voor reizigers op een doorsnee perron (basisrisico).
- De relatie met de grootte zoals voorgeschreven in de TSI minder eenduidig is. De TSI grenswaarde blijkt op basis van de proefneming weinig verklarend te zijn voor de subjectieve ervaring van reizigers op een perron.

Uit de pilot zijn veel aanbevelingen en aandachtspunten gekomen, die zich concentreren op het uitbreiden van de proefpopulatie en het gebruiken van objecten (zoals kinderwagens), het te bemeten materieel en de perronkenmerken.

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting	2
Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	6
2 Vraagstelling	6
3 Testkader	6
4 Afkortingen	7
5 Methode	8
5.1 Testconfiguratie	8
5.2 Posities proefpersonen	10
5.3 Vragenlijst	10
5.4 Instrumentatie	11
5.5 Meetonzekerheid	12
6 Meetomstandigheden	12
6.1 Gemeten treinpassages	13
6.2 Personeel	13
7 Resultaten objectieve metingen	14
7.1 Luchtsnelheid van ICD (7) en SNG (7) toegelicht	14
7.2 Resultaten luchtsnelheid	18
7.3 Resultaten Geluid	20
7.3.1 Geluidniveaus	20
7.3.2 Stijgsnelheid	21
8 Resultaten subjectieve metingen	23
8.1 Visualisatie van het effect van een treinpassage	23
8.2 Afstand tot perronrand, materieelsoort, passeersnelheid	24
8.3 Kijkrichting	25
8.4 Perron/gebouw	26
8.5 Subjectieve conclusies	27
9 Relatie subjectieve ervaringen met objectieve meetresultaten	28
9.1 Verbanden tussen objectieve meetwaarden en ervaringen	28
9.2 Samenvattende resultaten	31
10 Uitgangspunten voor toekomstige metingen	34
11 Conclusies	35
12 Referenties	36



Bijlage 1: Foto's meetopstellig	37
--	-----------

Bijlage 2 – Resultaten metingen	38
--	-----------

Versiebeheer overzicht

Nummer	Status	Datum	Auteur	Beschrijving
0.1	Concept	29-1-2021	MB	Eerste versie
0,2	Concept	2-2-2021	MB, GvK	Resultaten toegevoegd
0.3	Concept	15-2-2021	MB	Tabellen 5.4
0.4	Concept	16-2-2021	GvK	review
0,5	Concept	17-2-2021	HF, RvdW	Toevoegingen Intergo
0.6	Concept	18-2-2021	MB	Rapporten samengevoegd
0.7	Concept	19-2-2021	MB	Laatste punten Intergo en Dekra
0.8	Concept	11-3-2021	MB	Verwerking commentaar gedeelte DEKRA
0.9	Concept	15-3-2021	HF, RvdW	Toevoegingen Intergo
1.0	Definitief	18-3-2020	MB	Samenvatting

1 Inleiding

ProRail heeft Dekra Rail en Intergo gevraagd een pilot uit te voeren waarbij treinen met hoge snelheid langs perrons rijden. De maximale snelheid voor perronpassage is momenteel 140 km/u voor reizigerstreinen en 100 km/u voor goederentreinen. In de pilot is de invloed vastgesteld van de hogere passagesnelheden op de luchtsnelheden en de beleving van proefpersonen op het perron. De reizigerstreinen zijn met snelheden tot 160 km/u het perron van station Kampen Zuid gepasseerd. Met de resultaten wil ProRail bepalen hoe de veiligheid en comfort van de reizigers tijdens treinpassages met 160 km/u langs perrons onderzocht en gemeten kan worden.

Intergo en Dekra hebben de proef in samenwerking uitgevoerd volgens het testplan [3]. Het onderliggende document beschrijft de resultaten van de pilot. Dit omvat zowel de objectieve meetresultaten van Dekra als de (subjectieve) belevingsresultaten van de proefpersonen door Intergo.

In een latere fase zal eventueel nog een vervolgonderzoek worden uitgevoerd, dat aangeduid wordt als 'productiemetingen'. Hiervoor zal een separaat project opgestart worden.

Hoofdstuk 6 beschrijft de objectieve metingen van luchtsnelheden en geluid. In hoofdstuk 7 worden de resultaten van de subjectieve metingen beschreven. De relatie tussen de objectieve en de subjectieve metingen is opgenomen in hoofdstuk 8. Daar zal dus pas beschreven worden hoe de gemeten luchtsnelheden effect hebben gehad op de proefpersonen.

2 Vraagstelling

De vragen die beantwoord worden in de pilot zijn

- Wat zijn de luchtsnelheden, luchtdrukken en geluidwaarden op de gedefinieerde locaties op het perron en langs de aarden baan, en hoe verhouden deze zich tot de grenswaarden in de norm?
- Hoe ervaren proefpersonen op het perron de passerende treinen, en hoe verhoudt deze beoordeling zich tot de objectieve meetresultaten?
- Hoe kunnen de metingen zo efficiënt mogelijk worden uitgevoerd? Dit met het oog op eventueel later uit te voeren veldmetingen.

3 Testkader

De EN norm 14067-4 schrijft metingen voor in het open veld. Omdat de metingen voor deze pilot grotendeels op het perron plaatsvinden, wijken de meetposities af van de door de norm voorgeschreven posities. De afstanden tot de perronrand worden bepaald door de CSM, zie hiervoor het vooronderzoek van Intergo [4].

Het referentiemeetpunt is gekozen conform de EN norm 14067-4 voor Aerodynamics on open track [2].



4 Afkortingen

Grootheden

v	De snelheid van een beweging: de afgelegde weg per tijdseenheid. Snelheid kan voor ieder bewegend object worden vastgesteld. In dit rapport wordt zowel de snelheid van de trein zijn, als de snelheid van de lucht met 'v' aangeduid.
$v_{\max}$	De maximale waarde van de gemeten luchtsnelheid
v_{1s}	De gemeten waarde van de luchtsnelheid waarbij steeds gemiddeld is over 1 seconde. Deze grootheid wordt voorgeschreven door de norm EN 14067-4.
$v_{1s\max}$	De maximale waarde van de v_{1s} .
a	Versnelling of acceleratie is de verandering per tijdseenheid van de snelheid van een object.
$a_{\max}$	De maximale versnelling.
da/dt	Gust. Dit is de afgeleide waarde van de versnelling. Dit betekent dat het de waarde van de snelheid van de verandering van de versnelling weergeeft. De reden dat deze grootheid in dit rapport is opgenomen is dat het een maat is voor de ruk die wordt ervaren bij plotselinge windvlagen (bijvoorbeeld plotselinge verandering van windrichting).
$da/dt_{\max}$	De maximale waarde van de gust.
Stdev	Standaarddeviatie. Dit is een maat voor de spreiding van een variabele of van een verdeling of populatie.

Eenheden

Graden	Dit is een wiskundige aanduiding voor de grootte van een hoek.
%	Dit is een aanduiding voor 'percentage' (een honderdste deel).
RH	Relative Humidity. Dit is een aanduiding voor de relatieve luchtvochtigheid.
hPa	Hectopascal. De h betekent 10^2 . De pascal (symbool Pa) is de SI-eenheid voor druk.
$^{\circ}\text{C}$	Graden Celsius. Dit is de eenheid voor temperatuur.
m	Meter. De meter (symbool m) is de SI-eenheid voor lengte.
m/s	Snelheid is de mate van verandering per tijdseenheid. De snelheid van lucht wordt uitgedrukt in meter per seconde.
km/h	Snelheid van de trein wordt uitgedrukt in kilometer per uur.
m/s^2	De versnelling wordt uitgedrukt in meter per (seconde in het kwadraat).
m/s^3	De gust wordt uitgedrukt in meter per (seconde tot de derde).
dB	De decibel, symbool dB, is een eenheid voor geluid. Het geeft de verhouding aan op een logaritmische schaal van vermogen of energie.
σ	Aanduiding van de standaarddeviatie.

5 Methode

De metingen zijn uitgevoerd zoals beschreven in testplan [3].

Dekra heeft de aerodynamische effecten en geluidniveaus van treinpassages tot 160 km/h vastgesteld, zodat hiervan de effecten op de veiligheid en het comfort van reizigers kunnen worden afgeleid. Hierbij zijn diverse fysische parameters gemeten en video-opnames gemaakt op representatieve locaties.

Intergo heeft de subjectieve beoordeling/ervaring van proefpersonen op het testperron vastgesteld door het afnemen van een gestructureerd testprogramma door middel van het per proefpersoon per passage afnemen van een vragenlijst.

5.1 Testconfiguratie

De testopstelling bestaat uit 5 luchtsnelheidssensoren (waarvan vier op het perron en één referentiemeetpunt op 400 meter voor het perron), een meteosensor, 4 microfoons, een snelheidsmeter en 4 camera's.

Nr.	Omschrijving kanaal	Omschrijving verwerking	Signaal naam	Eenheid	Aantallen doorsneden en afstanden			Aantal sensoren totaal
					x	y	z	
1	Luchtsnelheid op perron	Luchtsnelheid (mean)	$V_{2\sigma}$	m/s	2	2	1	4
2		Luchtsnelheid duur	V_t	m/s				
3		Versnelling	a	m/s ²				
4		Gust	da/dt	m/s ³				
5	Referentiemeetpunt Luchtsnelheid Voor/na perron	Luchtsnelheid (mean)	$V_{2\sigma}$	m/s	1	1	1	1
6		Luchtsnelheid duur	V_t	m/s				
7		Versnelling	a	m/s ²				
8		Gust	da/dt	m/s ³				
9	Wind meteo	Windkracht meteo	Meteo-U	Bft / m/s	1	1	1	1
10		Windrichting meteo	Meteo-Hoek	°				
11	Geluid	Geluid: geluidsniveau	L	dB(A)	2	2	1	4
12		Geluid: geluid stijgsnelheid	L-helling	dB(A)				
13	Passagesnelheid	Snelheid trein langs perron	v-trein	Km/h	1	1	1	1
14	Camerabeeld	Videobeelden van reizigers	Camera 1-4	-				4

Tabel 1 : Te onderzoeken parameters en aantallen sensoren

In de figuur 1 is de meetopstelling geschetst.

5.2 Posities proefpersonen

De groep van 6 proefpersonen bestond hoofdzakelijk uit mannen (5 man, 1 vrouw), was van middelbare leeftijd (categorie 30 tot 60 jaar) en had een gemiddelde tot lange lichaamslengte (1,75 tot 1,96 m). De proefpersonen staan op een onderlinge afstand van 5 meter. Tussen de 3 proefpersonen bij de overkapping en de 3 proefpersonen op het gedeeltelijk open perron is de afstand 10 m (één tussenpositie wordt als het ware vrijgelaten zodat de perron-proefpersonen geheel vrijstaan van het gebouw). Er is zodoende een aparte proefpersonen “overkapping-groep” en een “perron-groep”, die gedurende de test regelmatig van positie wisselde om daarmee de vergelijkbaarheid van de 2 “groepen” zo goed mogelijk te kunnen borgen.

In tegenstelling van het eerdere uitgangspunt voor de minimale sta-afstanden voor proefpersonen vanaf de perronrand bij 140 km/u op 80 cm afstand en bij 160 km/u op 100 cm afstand zijn bij de pilot proefneming de volgende sta posities aangehouden:

- 140 km/u: 90 cm = perronzijde van huidige witte stippel-streep
- 160 km/u: 105 cm = perronzijde van mogelijk te verschuiven witte stippel-streep (uitgaande van een perron met standaard stoeptegels 30 x 30 cm)

Bij de eerdere set referentietreinen uit de dienstregeling met circa 140 km/u:

- Gewenning Safety First: 120 cm
- Opbouwen risico: 105 cm
- Minimale afstand: 90 cm

Bij de testtreinen ICD (7) en SNG (7) is de afstand van de proefpersonen geweest:

- Gewenning (Safety First): 120 cm
- Minimale afstand: 105 cm

5.3 Vragenlijst

Figuur 2 toont de vragenlijst voor de subjectieve beoordeling/ervaring van proefpersonen.

Beoordeling treinpassage door proefpersoon													
1	Trein passage												
1.1	Nr												
2	Proefpersoon												
2.1	Code LETTER												
2.2	Stappositie op perron (omcirkel het cijfer)												
2.3	Sta houding (omcirkel de ingenomen houding)												
2.4	Start Sta-afstand (omcirkel de ingenomen afstand)												
<table border="1"> <tr> <td>naast gebouw</td> <td>bij gebouw</td> </tr> <tr> <td>1 - 2 - 3</td> <td>4 - 5 - 6</td> </tr> <tr> <td>richting spoor</td> <td>richting Zwolle</td> </tr> <tr> <td></td> <td>richting Dronten</td> </tr> <tr> <td>peronrand</td> <td>peronrand</td> </tr> <tr> <td>peronrand</td> <td>peronrand</td> </tr> </table>		naast gebouw	bij gebouw	1 - 2 - 3	4 - 5 - 6	richting spoor	richting Zwolle		richting Dronten	peronrand	peronrand	peronrand	peronrand
naast gebouw	bij gebouw												
1 - 2 - 3	4 - 5 - 6												
richting spoor	richting Zwolle												
	richting Dronten												
peronrand	peronrand												
peronrand	peronrand												
<table border="1"> <tr> <td>90 cm direct achter streep</td> <td>105 cm 0,5 tegel verder</td> <td>120 cm 1 tegel verder</td> <td>135 cm 1,5 tegel verder</td> <td>150 cm 2 tegels verder</td> </tr> </table>		90 cm direct achter streep	105 cm 0,5 tegel verder	120 cm 1 tegel verder	135 cm 1,5 tegel verder	150 cm 2 tegels verder							
90 cm direct achter streep	105 cm 0,5 tegel verder	120 cm 1 tegel verder	135 cm 1,5 tegel verder	150 cm 2 tegels verder									
Vragen													
3	Welke ervaringen heeft u tijdens de treinpassage waargenomen? OMCIRKEL GETAL van uw keuze												
3.1	Ik voelde een TEMPERATUURDALING / ZUCHTJE WIND langs huid												
3.2	Ik voelde mijn HAAR bewegen												
3.3	Ik voelde dat mijn KLEREN bewogen of er aan getrokken werd												
3.4	STOF EN/OF GRUIS werd in mijn gezicht en ogen geblazen												
3.5	Ik moest mijn HOOFD POSITIE veranderen												
3.6	Ik moest mijn BOVENLICHAAM POSITIE veranderen												
3.7	Ik moest mijn VOETEN bewegen												
3.8	Ik voelde dat ik ergens aan VAST WILDE HOUDEN												
3.9	Ik was helemaal UIT BALANS												
4	Geef aan in welke mate u zich ONVEILIG GEVOELD heeft?												
5	Geef aan in welke mate u van de treinpassage bent GESCHROKKEN?												
6	Geef aan in welke mate u HINDER door GELUID van de passerende trein heeft ervaren?												
7	Overige opmerking												

Figuur 2: Vragenlijst proefpersonen.

5.4 Instrumentatie

De gebruikte apparatuur inclusief kalibratiedata wordt beschreven in de volgende tabel.

Apparaat / Instrument	Nadere omschrijving	Identificatie
	Eight channel front end acquisition	HBM type MX840B
Weerstation	Luchtsnelheid en meteo; windrichting, barometrische druk, relatieve	type HD2003, "Ultrasonic anemometer"

	luchtvochtigheid, luchttemperatuur.	
Luchtsnelheid referentie	Luchtsnelheid, 4 Hz	Windsonic
Microfoon	Geluidsniveau	½" condensatormicrofoons klasse1 type 4189
	Eight channel front end acquisition	LMS Pimento
Camera's	Videobeelden van reizigers	UTP- camera's @
Snelheidsensoren	Passagesnelheid	Gatso radar

Tabel 2: Gebruikte apparatuur.

5.5 Meetonzekerheid

Weerstation HD2003			
wind direction	0 .. 360 graden		1,6 graden
relative humidity	50%RH	2,30%	1,2 %RH
barometric pressure	1000 hPa	0,12%	1.2 hPa
Air temperature (sonic)	18 °C	1,40%	0,26 °C
wind speed	30 m/s	1,20%	0,35 m/s
Microfoon			
½" condensatormicrofoon klasse 1 type 4189	1 Pa = 94.0 dB	0,005	0,5 dB
Gatso radar			
Snelheid trein (150 km/h)	41,7 m/s	0,70%	0,3 m/s

Tabel 3: Meetonzekerheid van de gebruikte apparatuur.

Zoals gebruikelijk wordt in technische rapporten een inzage gegeven in de meetonzekerheid van de gemeten waarden. Dit is bedoeld om de kwaliteit van de metingen te duiden en om eventuele reproductie mogelijk te maken. Voor een toelichting van de eenheden zie hoofdstuk 4.

6 Meetomstandigheden

In de nacht van 9 op 10 januari 2021 zijn de hogesnelheidsmetingen uitgevoerd op Station Kampen Zuid. De metingen zijn uitgevoerd onder rustige en droge weersomstandigheden. De temperatuur was ca -1 graden Celsius. Gedurende de gehele meetperiode zijn normaal heersende windsnelheden gemeten tussen 0 en 2 m/s, met een gemiddelde waarde van 0,7 m/s. De wind kwam overwegend uit de richting van Dronten (west/noord-west).

6.1 Gemeten treinpassages

Om 23:01 werd de eerste treinpassage van de reguliere dienstregeling gemeten, en om 1:09 werd gestart met de proeftreinen. De laatste meting vond plaats om 4:34. In totaal zijn 20 treinpassages gemeten, waarvan 12 proeftreinen.

Passage	Dienstregeling	Materieel	Rijrichting	Doorkomsttijd	Snelheid [km/h]
1R	Regulier	VIRM 6	ZI - Dron	23:01	130
2R	Regulier	ICM 3+4	ZI - Dron	23:02	105
3R	Regulier	ICM 4	ZI - Dron	23:27	130
4R	Regulier	ICM 3+4	ZI - Dron	23:29	130
5R	Regulier	ICM 3	ZI - Dron	23:59	125
6R	Regulier	ICM 3	ZI - Dron	00:01	120
1T	Test	ICD(7)	Dron - ZI	01:09	135
3T	Test	ICD(7)	ZI - Dron	01:54	135
5T	Test	ICD(7)	Dron - ZI	02:19	135
6T	Test	SNG (7)	Dron - ZI	02:09	155
7T	Test	ICD(7)	ZI - Dron	02:51	135
8T	Test	SNG (7)	ZI - Dron	02:55	155
9T	Test	ICD(7)	Dron - ZI	03:14	135
10T	Test	SNG (7)	Dron - ZI	03:21	155
11T	Test	ICD(7)	ZI - Dron	03:44	135
12T	Test	SNG (7)	ZI - Dron	03:48	155
14T	Test	SNG (7)	Dron - ZI	04:12	155
16T	Test	SNG (7)	ZI - Dron	04:34	155

Tabel 4: Treinpassages

Door externe omstandigheden kon de Intercity Direct (ICD(7)) niet harder rijden dan 140 km/h. ICD(7) was samengesteld uit 7 rijtuigen met aan iedere zijde een Traxx-locomotief ('sandwichbedrijf'). De SNG (7) was samengesteld uit een treinstel met 3 en een treinstel met 4 bakken.

6.2 Personeel

Het personeel dat de testen heeft uitgevoerd staat vermeld in onderstaande tabellen.

Functie	Organisatie	Naam
Testleider algemeen	Dekra	Gerrit van Keulen

Tabel 5: Testleiding

Functie	Organisatie	Naam
Testleider	Dekra	Thijs Hendrikx
Technisch expert	Dekra	Patrick Zijlmans
Technisch expert	Dekra	Remy Bernard

Tabel 6: Team objectieve metingen

Functie	Organisatie	Naam
Testleider	Intergo	Henk Frieling
Proefpersoon	Intergo	Richard van der Weide
Proefpersoon	ProRail	Marcel van Ofwegen

Proefpersoon	ProRail	Rick Rademaker
Proefpersoon	ProRail	Geert Knigge
Proefpersoon	Dekra	Eric Möhringer
Proefpersoon	Dekra	Margreet Beuving

Tabel 7: Team subjectieve metingen

7 Resultaten objectieve metingen

7.1 Luchtsnelheid van ICD (7) en SNG (7) toegelicht

De onderstaande figuren geven een voorbeeld van de gemeten luchtsnelheid en de versnelling. Figuur 3 en 4 zijn meetwaarden van een ICD en figuur 5 en 6 van een SNG.

Het eerste plaatje in de figuren laat de gemeten luchtsnelheden zien (blauwe lijn) en een lopend gemiddelde over 1 seconde (rode lijn). Het tweede plaatje geeft de versnellingswaarden van de lucht. Dit zijn de afgeleide waarden van de rode lijn in het eerste plaatje.

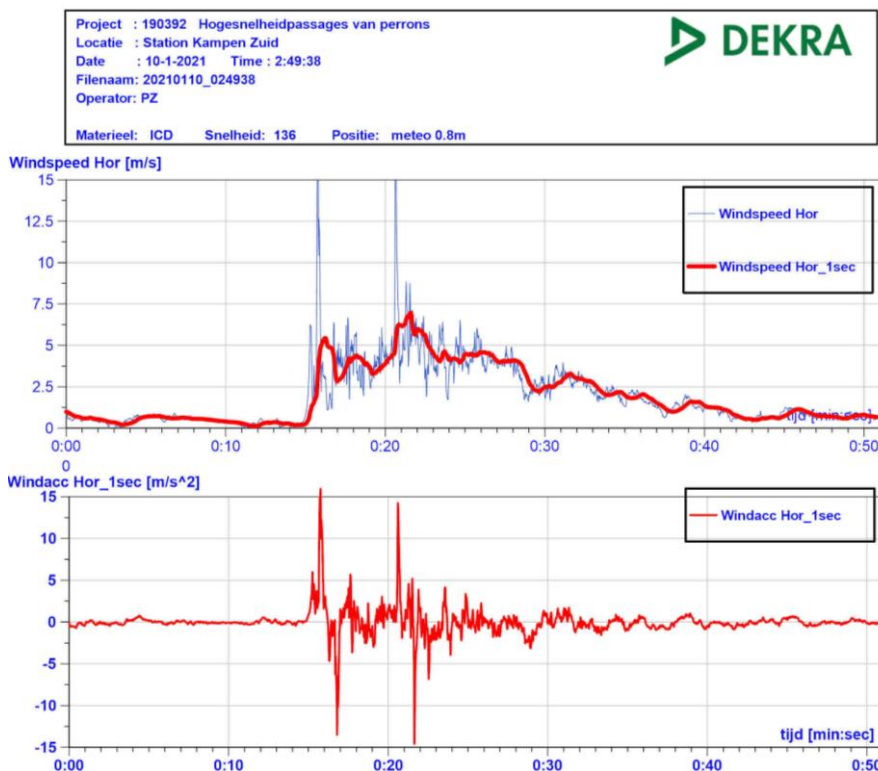
Er zijn duidelijke verschillen te zien tussen luchtsnelheden en versnellingen van de ICD-passages en de SNG-passages. De luchtsnelheden van de ICD nemen plotseling toe, en blijven gedurende de hele passage vrij hoog en vertonen een grillig verloop, waarbij hoge versnellingswaarden van meer dan 15 m/s^2 optreden. De proefpersonen op het perron ondervinden hier dus plotselinge versnellingen van de lucht. De versnellingswaarde is evenredig met de kracht op het menselijk lichaam. Dit betekent: hoe groter de versnelling, hoe groter de kracht die proefpersonen ondervinden.

De versnellingspiek bij 19,2 seconden in figuur 3 (en bij 21,5 s in figuur 4) treedt op wanneer de trein bijna gepasseerd is. In de literatuur wordt dit moment de near-wake (bijna-zog) van de trein genoemd.

De studie [5] beschrijft dat de hoogste turbulentie-intensiteiten optreden in het bijna-zog van de trein. De metingen bevestigen dit. Zodra de trein bijna gepasseerd is treden de hoogste waarden op.

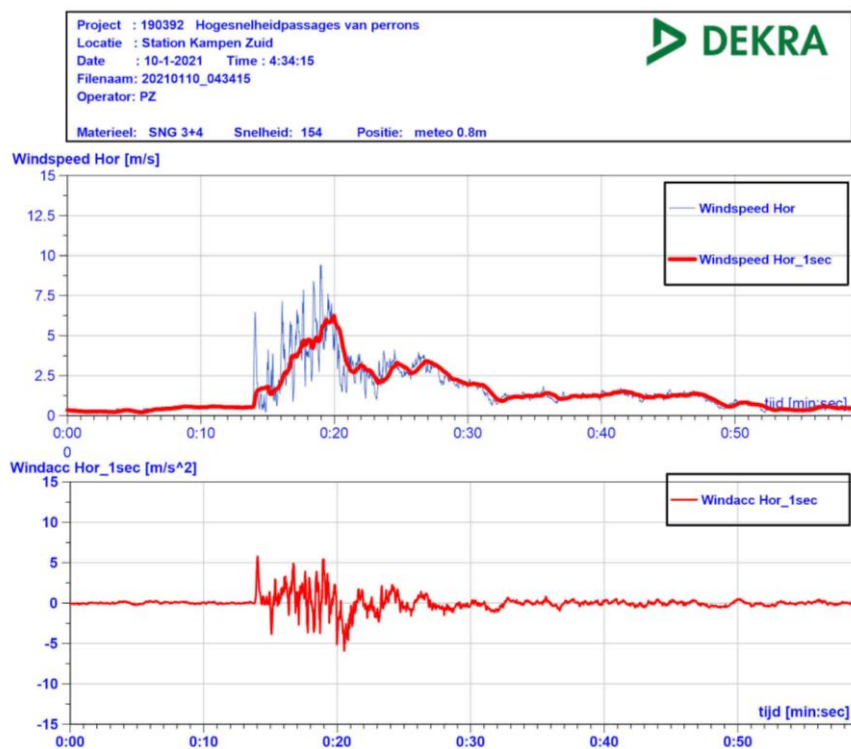


Figuur 3: Gemeten luchtsnelheden ICD (7) richting Dronten, doorsnede 2.



Figuur 4: Gemeten luchtsnelheden ICD (7) richting Dronten, doorsnede 1.

Bij een SNG-passage nemen de luchtsnelheden geleidelijker toe, en nemen na het passeren van de neus van de trein ook weer geleidelijk af. De versnellingswaarden zijn dus minder hoog. Het is aannemelijk dat dit wordt veroorzaakt door de aerodynamisch gunstigere vormgeving van de trein.



Figuur 5: Gemeten luchtsnelheden SNG(3+4) richting Dronten, doorsnede 1.

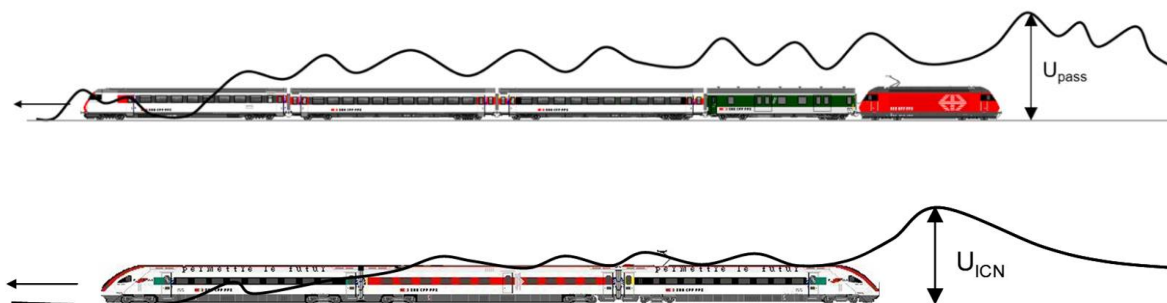


Figuur 6: Gemeten luchtsnelheden SNG(3+4) richting Zwolle, doorsnede 1.

De onderstaande figuur komt uit een onderzoek door de Federal Office of Transport (FOT) uit Zwitserland [8]. De gemeten luchtsnelheden in dit onderzoek vertonen een vergelijkbaar verloop met de curven in de figuren 3 t/m 6.

Figuur 7 laat twee treinen zien met daarbij de luchtsnelheid U . Deze neemt toe naarmate de trein verder gepasseerd is. In het eerste plaatje wordt de trein geduwd door een loc. De luchtsnelheid neemt aan het einde flink toe. Dit beeld komt overeen met de curves van de luchtsnelheid van de ICD (7) in de figuren 3 en 4.

Het tweede plaatje laat een curve zien die vergelijkbaar is met de SNG in figuur 5 en 6.



Figuur 7: Luchtsnelheidscurven uit [8].

7.2 Resultaten luchtsnelheid

In de onderstaande tabellen staan de meetwaarden van de luchtsnelheid per passage op 3 locaties: doorsnede 1, doorsnede 2 en de referentielocatie. Deze locaties komen overeen met de meetlocaties zoals aangegeven in figuur 1.

Bijlage 2 bevat uitgebreidere tabellen met resultaten.

De onderstaande tabel bevat de gemeten luchtsnelheden, versnelling en da/dt op doorsnede 1 (onder de kap), op 0,8 meter en 3,0 meter van de perronrand. Voor uitleg van deze grootheden zie hoofdstuk 4.

Tijd passage	Materieel	T-nummer	Rijrichting	Snelheid [km/h]	v-max 0.8m [m/s]	v-max 3.0m [m/s]	v_1s-max-0.8m [m/s]	v_1s-max-3.0mm [m/s]	a -max-0.8m [m/s ²]	a -max-3.0m [m/s ²]	da/dt -max-0.8m [m/s ³]	da/dt -max-3.0m [m/s ³]
21:58	ICMm		Dr	133	5,3	8,1	4,2	6,1	3,3	6,6	66,4	127,0
22:28	ICMm		Dr	127	13,6	3,5	4,1	2,6	12,9	2,7	395,3	47,8
23:01	VIRM 6	1R	Dr	127	8,3	5,0	6,4	3,8	7,1	3,7	137,4	74,5
23:02	ICM 3+4	2R	Dr	104	5,3	7,6	3,7	5,3	3,0	4,7	58,2	104,9
23:27	ICM 4	3R	Dr	129	8,5	2,9	5,0	1,9	7,9	2,1	113,2	65,7
23:29	ICM 3+4	4R	Dr	130	11,3	4,3	6,9	3,6	8,9	3,3	120,5	58,4
23:59	ICM 3	5R	Dr	127	6,7	3,2	2,7	2,6	5,8	2,2	112,6	58,5
0:01	ICM 3	6R	Dr	121	4,4	5,5	3,4	3,3	4,2	4,6	69,0	92,5
Gemiddeld					7,4	4,8	4,7	3,4	6,2	3,4	101,8	75,8
1:54	ICD (7)	3T	Dr	136	15,0	9,8	7,0	5,4	12,8	8,7	367,7	147,9
2:51	ICD (7)	7T	Dr	136	19,9	9,7	7,0	6,1	15,9	7,9	358,1	154,7
3:44	ICD (7)	11T	Dr	136	21,2	8,0	6,5	4,3	16,1	7,6	492,6	110,8
Gemiddeld					18,7	9,2	6,8	5,3	14,9	8,1	406,1	137,8
1:09	ICD (7)	1T	ZI	136	14,4	6,6	6,4	5,5	12,2	4,6	270,1	89,1
2:19	ICD (7)	5T	ZI	136	7,8	18,4	6,2	10,1	6,5	15,3	99,9	404,3
3:14	ICD (7)	9T	ZI	136	9,3	10,8	6,1	7,3	8,5	8,2	132,5	267,2
Gemiddeld					10,5	11,9	6,2	7,6	9,1	9,4	167,5	253,5
2:55	SNG 3+4	8T	Dr	154	5,7	12,9	4,3	8,2	3,4	11,2	88,9	216,1
3:48	SNG 3+4	12T	Dr	155	8,0	15,4	5,2	9,4	5,8	12,0	101,6	271,8
4:34	SNG 3+4	16T	Dr	154	9,4	8,6	6,2	6,1	5,9	6,8	191,8	159,5
Gemiddeld					7,7	12,3	5,2	7,9	5,0	10,0	127,4	215,8
2:09	SNG 4+3	6T	ZI	155	15,3	9,8	10,2	7,5	9,4	6,8	234,0	156,2
3:21	SNG 4+3	10T	ZI	155	15,4	7,9	9,4	5,8	12,7	5,6	265,7	119,2
4:12	SNG 4+3	14T	ZI	155	10,1	11,6	7,6	8,1	7,8	7,6	128,0	184,5
Gemiddeld					13,6	9,8	9,1	7,1	10,0	6,7	209,2	153,3

Tabel 8: Gemeten luchtsnelheden, versnelling en da/dt op doorsnede 1 (onder de kap), op 0,8 meter en 3,0 meter van de perronrand.

Tijd passage	Materieel	T-nummer	Rijrichting	Snelheid [km/h]	v-max 0.8m [m/s]	v-max 3.0m [m/s]	v_1s-max-0.8m [m/s]	v_1s-max-3.0mm [m/s]	a -max-0.8m [m/s ²]	a -max-3.0m [m/s ²]	da/dt -max-0.8m [m/s ³]	da/dt -max-3.0m [m/s ³]
21:56	ICMm		Dr	133	4,2	19,6	3,4	5,3	4,1	17,7	55,2	448,8
22:24	ICMm		Dr	138	11,1	11,9	5,8	5,9	9,7	13,6	158,8	505,9
22:26	ICMm		Dr	127	7,3	3,4	4,0	2,7	6,3	2,1	145,6	35,3
23:01	VIRM	1R	Dr	127	4,0	9,1	3,3	5,9	2,4	6,0	56,4	184,5
23:02	ICM 3+4	2R	Dr	104	3,9	8,0	2,9	5,7	3,4	5,9	72,5	119,1
23:59	ICM 3	5R	Dr	127	8,1	4,1	4,5	3,3	7,1	3,6	98,8	73,8
0:01	ICM 3	6R	Dr	121	3,4	6,9	2,8	3,9	2,1	6,0	40,0	114,0
Gemiddeld					6,0	9,0	3,8	4,7	5,0	7,8	89,6	211,6
1:54	ICD (7)	3T	Dr	136	24,5	9,2	8,7	7,9	20,3	4,8	665,6	120,5
2:51	ICD (7)	7T	Dr	136	13,1	10,8	6,9	5,9	11,4	9,0	328,1	163,9
3:44	ICD (7)	11T	Dr	136	7,6	14,7	5,1	6,6	4,8	12,9	72,1	190,3
Gemiddeld					15,1	11,6	6,9	6,8	12,2	8,9	355,3	158,2
1:09	ICD (7)	1T	ZI	136	16,5	6,1	9,5	4,9	13,1	4,6	275,1	65,1
2:19	ICD (7)	5T	ZI	136	15,4	7,1	8,9	5,8	11,7	4,0	253,9	81,4
3:14	ICD (7)	9T	ZI	136	12,4	7,5	6,6	5,5	8,7	5,7	258,5	86,1
Gemiddeld					14,8	6,9	8,3	5,4	11,2	4,8	262,5	77,5
2:55	SNG 3+4	8T	Dr	154	11,0	13,1	6,5	7,7	10,5	10,4	129,1	246,0
3:48	SNG 3+4	12T	Dr	155	12,6	5,7	7,3	4,8	7,7	3,6	190,0	68,7
4:34	SNG 3+4	16T	Dr	154	12,9	6,6	9,1	4,6	8,0	5,4	220,0	85,9
Gemiddeld					12,2	8,5	7,6	5,7	8,7	6,5	179,7	133,5
2:09	SNG 4+3	6T	ZI	155	5,6	16,0	4,6	8,8	3,1	9,1	70,8	384,3
3:21	SNG 4+3	10T	ZI	155	12,9	8,4	9,5	5,7	10,3	7,9	193,4	97,9
4:12	SNG 4+3	14T	ZI	155	11,3	7,8	7,6	3,6	8,7	6,5	249,9	114,8
Gemiddeld					9,9	10,7	7,2	6,0	7,4	7,8	171,4	199,0

Tabel 9: Gemeten luchtsnelheden, versnelling en da/dt op doorsnede 2 (buiten de kap), op 0,8m en 3,0m van de perronrand.

Tijd passage	Materieel	T-nummer	Rijrichting	Snelheid [km/h]	v-max-passage 3.0m [m/s]	v_1s-max-passage 3,0m [m/s]	a -max-passage 3.0m [m/s ²]	da/dt -max-passage 3.0m [m/s ³]
23:02	ICM 3+4	2R	Dr	104	4,2	3,7	1,5	4,4
23:27	ICM 4	3R	Dr	129	4,7	3,2	2,7	11,9
23:29	ICM 3+4	4R	Dr	130	8,3	5,9	4,3	14,5
23:59	ICM 3	5R	Dr	127	4,5	3,3	2,5	5,8
0:01	ICM 3	6R	Dr	121	4,8	4,4	2,3	5,3
Gemiddeld					5,3	4,1	2,7	8,4
1:53	T-7xICR-T	3T	Dr	136	7,9	6,6	3,6	14,7
2:48	ICD	7T	Dr	136	9,1	6,3	3,2	15,3
3:41	ICD	11T	Dr	136	8,8	6,7	4,6	18,1
Gemiddeld					8,6	6,5	3,8	16,0
1:07	T-7xICR-T	1T	ZI	136	8,7	7,6	4,0	13,5
2:16	ICD	5T	ZI	136	7,1	6,2	2,2	9,1
3:12	ICD	9T	ZI	136	6,7	6,3	2,8	12,9
Gemiddeld					7,5	6,7	3,0	11,8
2:54	SNG 3+4	8T	ZI	154	8,3	6,9	3,6	16,9
3:45	SNG 3+4	12T	Dr	155	6,0	5,0	4,3	18,3
4:33	SNG 3+4	16T	Dr	154	7,6	6,7	4,0	12,8
Gemiddeld					7,3	6,2	4,0	16,0
2:07	SNG 4+3	6T	Dr	155	9,1	6,7	6,8	16,9
3:22	SNG 4+3	10T	ZI	155	7,1	6,3	2,0	8,8
4:10	SNG 4+3	14T	ZI	155	6,1	5,8	4,1	10,3
Gemiddeld					7,4	6,3	4,3	12,0

Tabel 10: Gemeten luchtsnelheden, versnelling en gust (da/dt) op de referentiedoorsnede op 3.0 m van hart spoor.

De gemiddelde waarden op het perron van de luchtsnelheden, versnelling en gust op 0.8 meter zijn soms groter dan de waarden op 3.0 meter, maar soms ook kleiner. Dit betekent dat de luchtsnelheid blijkbaar een grillig karakter vertoont over de oppervlakte van het perron. De spreiding in de getallen is groot, en het aantal passages was te klein om hier duidelijke conclusies uit te trekken.

De v_{1s} waarden komen overeen met de luchtsnelheden zoals voorgeschreven in de normering [2]. In de norm worden vanaf 160 km/h grenswaarden van 15 a 20 m/s voorgeschreven voor deze v_{1s} . Volgens de norm dient gemeten te worden langs open ballastspoor (een niet-perronlocatie), op 3.0 m van de perronrand. De gekozen referentielocatie voldoet aan deze voorwaarden. De gemeten waarden op de referentielocatie blijven steeds ruim onder deze grenswaarde.

Op het perron (doorsnede 1 en 2) valt op dat de luchtsnelheid (v_{max}), de versnelling a en da/dt hoge waarden hebben voor de ICD (7) in de richting Dronten. Dit komt overeen met de bevindingen van onbalans van de proefpersonen, verderop in dit rapport.

De volgende tabel laat de gemiddelde luchtsnelheden v_{max} en v_{1s} op het perron zien. Hieruit blijkt dat de luchtsnelheden gemiddeld lager zijn op 3.0 meter dan op 0,8 meter. Voor uitleg van de grootheden zie hoofdstuk 4.

In [4] wordt beschreven dat luchtsnelheden groter dan 5 m/s verminderd comfort op het perron veroorzaken. Luchtsnelheden tussen 2,4 en 5,5 m/s zorgen voor opwaaien van haar en problemen bij het lezen van een krant. De gemeten luchtsnelheden op het perron zijn hoger dan de in [4] gestelde comfortwaarde van 5m/s.

7.3 Resultaten Geluid

7.3.1 Geluidniveaus

De onderstaande tabel geeft de gemeten geluidniveaus weer. De $L_{A,max}$ is het A-gewogen, maximale geluidniveau dat gedurende een passage wordt gemeten. De L_{Aeq} is de gemiddelde geluidwaarde over een passage (A-gewogen). Voor uitleg van deze grootheden zie hoofdstuk 4.

De $L_{A,max}$ en de L_{Aeq} bij de perronrand zijn hoger dan op 2,7 meter van de perronrand.

Op de meetlocatie D2 (buiten de overkapping) nemen beide waarden sneller af met de afstand.

Onder de overkapping zijn verschillen tussen de waarden op 1,1 meter en 2,7 meter slechts circa 1 dB(A).

Dit komt doordat het geluidveld onder de overkapping homogener is door reflecties door de volledig gesloten achterwand en de gedeeltelijke overkapping.

Wat verder opvalt is, dat de gemeten geluidniveaus tijdens passages met 155 km/h met het SNG-materieel lager zijn dan het overige materieel tijdens passages met respectievelijk 124 km/h en 135 km/h. Dit wordt veroorzaakt door het relatief stille (nieuwe) SNG-materieel.

Materieel/ passagetijd	Snelheid [km/h]	Glazen achterwand (tot circa 5 m boven perron met half overkapping)				Glazen achterwand geluidscherm (tot 1.2m boven perron)			
		mp 1: D1, 1,1 m perronrand	mp 2: D1, 2,7 m perronrand	mp 3: D2, 1,1 m perronrand	mp 4: D2, 2,7 m perronrand	LAmax	LAeq	LAmax	LAeq
ICM 3+4; Dr; 23:02	104	89,6	87,6	88,1	86,2	90,2	87,6	86,5	84,4
ICM 3; Dr; 0:01	121	94,7	92,9	92,2	90,8	93,2	90,9	89,6	88,1
ICM 4+4; Dr; 22:25	128	95,6	92,9	94,3	92,1	94,8	92,7	92,2	89,6
ICM 4; Dr; 22:30	127	94,6	92,7	93,7	91,6	93,7	91,6	91,2	89,1
VIRM 6; Dr; 23:01	128	91,4	89,5	90,2	88,4	93,2	90,9	88,8	86,4
ICM 4; Dr; 23:27	129	95,3	92,9	93,6	91,6	94,6	92,4	90,8	89,1
ICM 3+4; Dr; 23:29	130	96,7	94,2	94,1	92,6	95,0	92,8	91,4	89,5
ICM 3; Dr; 23:59	127	92,3	91,3	91,6	90,3	94,3	92,0	90,5	88,9
Gemiddelde ICM	127	94,4	92,3	92,8	91,1	94,1	91,9	90,6	88,7
stdev ICM	2,9	1,9	1,5	1,5	1,4	0,8	0,8	1,1	1,1
ICD(7); Zi; 1:09	136	95,0	91,3	93,7	90,3	95,0	92,9	91,9	90,1
ICD(7); Dr; 1:54	136	95,4	91,6	94,8	90,8	95,7	93,5	92,0	89,8
ICD(7); Dr; 2:19	136	95,0	91,2	93,9	90,2	95,0	92,9	91,8	90,0
ICD(7); Zi; 2:51	136	95,5	91,4	94,6	90,7	96,0	93,5	92,2	89,9
ICD(7); Zi; 3:14	136	95,2	91,3	94,1	90,4	95,0	92,9	92,2	90,0
ICD(7); Dr; 3:44	136	95,6	91,5	94,8	90,8	95,6	93,4	92,1	89,8
Gemiddelde ICD(7)	136	95,3	91,4	94,3	90,5	95,4	93,2	92,0	89,9
stdev ICD(7)	0,0	0,3	0,2	0,5	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1
SNG (7); Zi; 2:09	155	92,5	90,8	91,6	89,9	93,2	91,3	89,9	88,4
SNG (7); Dr; 2:55	155	93,1	91,7	92,1	90,8	94,1	92,3	91,3	89,3
SNG (7); Zi; 3:21	155	92,9	91,0	91,8	90,0	92,7	91,2	89,8	88,3
SNG (7); Dr; 3:48	155	93,4	91,8	91,8	90,3	92,7	91,4	89,8	88,6
SNG (7); Zi; 4:12	155	92,4	90,8	91,8	90,0	93,0	91,2	90,1	88,3
SNG (7); Dr; 4:34	154	92,9	91,4	91,8	90,5	94,2	92,3	90,7	89,1
Gemiddelde SNG (7)	155	92,9	91,2	91,8	90,3	93,3	91,6	90,3	88,7
stdev SNG(7)	0,4	0,4	0,4	0,1	0,3	0,7	0,5	0,6	0,4

Tabel 11: Gemeten geluidniveaus van de dienstregelingstreinen (bovenste blok), de ICD- (middelste blok) en de SNG-passages.

In verband met de sterk afwijkende snelheid is de passage ICM van 23:02 u niet in de gemiddelde bepaling mee genomen.

Voor geluidniveaus van treinpassages op perrons bestaan geen normen. Er bestaat wel een Arbo-norm voor de langdurig gemiddelde waarde over 8 uur. Deze bedraagt 80 dB(A). Voor een treinpassage is deze norm niet relevant.

7.3.2 Stijgsnelheid

De volgende tabel laat de stijgsnelheden van de geluidniveaus zien. Als de trein nadert is de afstand tot de trein steeds korter waardoor de geluidbron dichterbij de waarnemer komt. Met het kleiner worden van de afstand neemt de geluidintensiteit toe. Een toenemende intensiteit vertaalt zich in een hoger waargenomen geluidniveau op het perron. De snelheid waarmee dit gebeurt heet de stijgsnelheid. Mensen schrikken van nature van snel toenemende geluidniveaus omdat dit op gevaar kan duiden. De activiteit die een mens ontplooit na schrik heet een schrikreactie.

Dichterbij de perronrand zijn de stijgsnelheden het grootst. Verder zijn de stijgsnelheden direct afhankelijk van de treinsnelheid. Dit betekent dat als de snelheid van de trein groter is, hij sneller nadert, en het geluidniveau daarmee ook sneller toeneemt.

		Glazen achterwand (tot circa 5 m boven perron met half overkapping)		Glazen achterwand geluidscherm (tot 1.2m boven perron)	
Materieel/ passagetijd	Snelheid [km/h]	mp 1; D1, 1,1 m perronrand dB/s	mp 2; D1, 2,7 m perronrand dB/s	mp 3; D2, 1,1 m perronrand dB/s	mp 4; D2, 2,7 m perronrand dB/s
ICM 3+4; Dr; 23:02	104	22,1	22,6	23,6	20,6
ICM 3; Dr; 0:01	121	27,5	22,0	23,6	20,0
ICM 4+4; Dr; 22:25	128	23,6	23,3	26,3	24,9
ICM 4; Dr; 22:30	127	25,5	20,7	26,1	23,1
VIRM 6; Dr; 23:01	128	25,0	23,7	27,8	23,1
ICM 4; Dr; 23:27	129	26,9	24,6	28,4	25,2
ICM 3+4; Dr; 23:29	130	25,7	22,3	23,8	19,8
ICM 3; Dr; 23:59	127	26,8	23,0	25,6	21,6
Gemiddelde ICM	127	25,9	22,8	25,9	22,5
stdev ICM	2,9	1,3	1,3	1,8	2,2
ICD(7); ZI; 1:09	136	26,9	23,3	23,6	21,2
ICD(7); Dr; 1:54	136	35,4	31,6	34,3	28,6
ICD(7); Dr; 2:19	136	30,0	27,8	32,7	28,1
ICD(7); ZI; 2:51	136	35,4	31,4	37,9	29,4
ICD(7); ZI; 3:14	136	30,9	32,6	23,2	21,2
ICD(7); Dr; 3:44	136	32,0	31,7	34,3	29,2
Gemiddelde ICD(7)	136	31,8	29,7	31,0	26,3
stdev ICD(7)	0,0	3,3	3,6	6,1	4,0
SNG (7); ZI; 2:09	155	27,4	33,0	38,9	30,3
SNG (7); Dr; 2:55	155	37,2	22,7	24,9	21,9
SNG (7); ZI; 3:21	155	32,7	35,3	39,2	33,8
SNG (7); Dr; 3:48	155	37,0	28,4	32,8	27,8
SNG (7); ZI; 4:12	155	31,9	33,0	38,6	30,7
SNG (7); Dr; 4:34	154	37,0	31,3	34,4	29,2
Gemiddelde SNG (7)	155	33,9	30,6	34,8	29,0
stdev SNG(7)	0,4	4,0	4,5	5,5	4,0

Tabel 12: Gemeten stijgsnelheid van de geluidniveaus van de dienstregelingtreinen (bovenste blok), de ICD (middelste blok) en de SNG-passages. 1^{ste} twee ritten niet bij proefpersonen

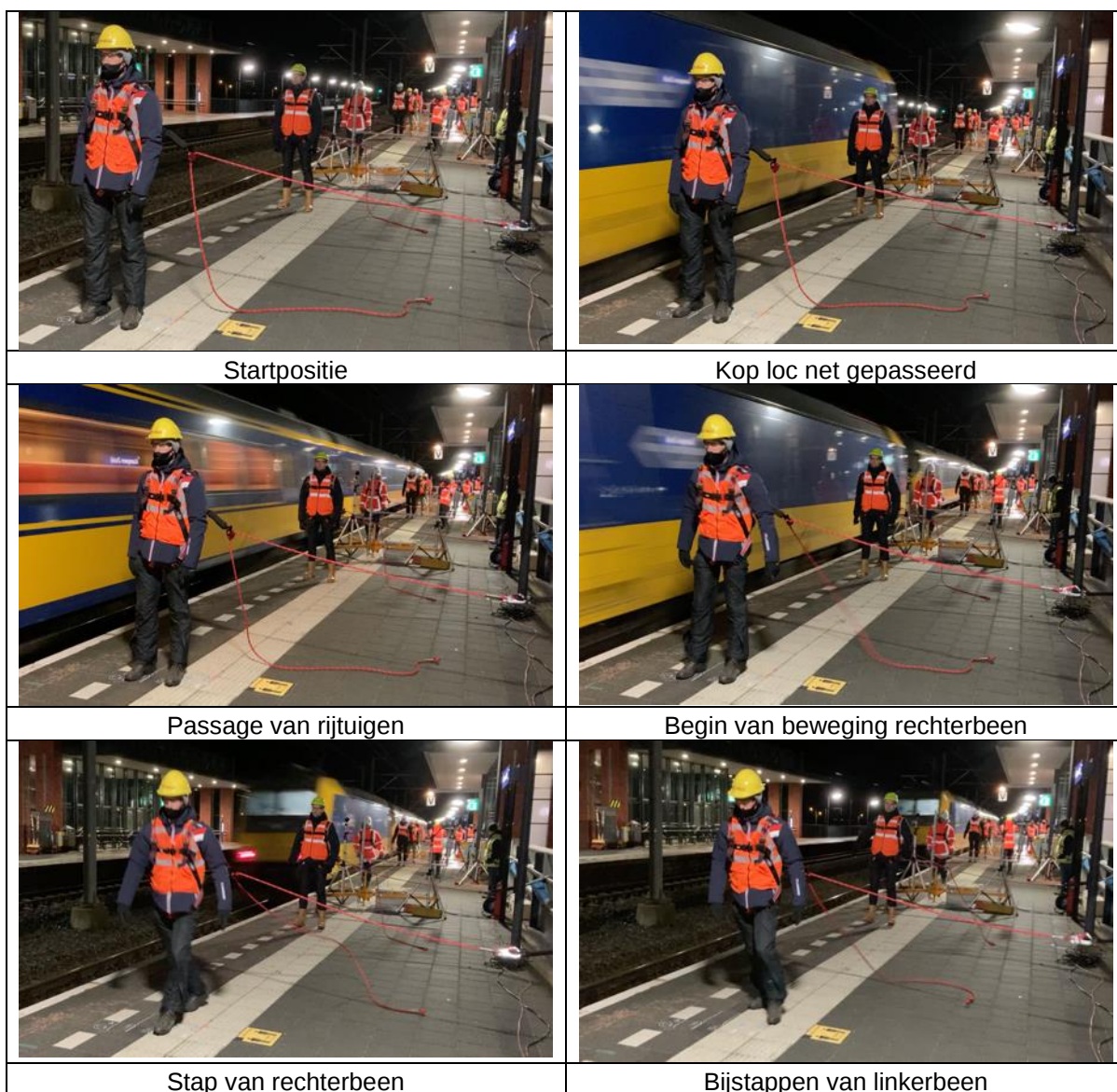
Uit studies door TNO en de gezondheidsraad is gebleken dat stijgtijden tot 15 dB/s geen negatieve effecten opleveren. Een stijgtijd van 150 dB/s wordt als het maximum gezien.

Op het perron zijn stijgtijden tot 38 dB/s geregistreerd. Op het perron kunnen op de gehanteerde meetafstanden lichte tot matige schrikreacties ontstaan.

8 Resultaten subjectieve metingen

8.1 Visualisatie van het effect van een treinpassage

Ter introductie van de subjectieve metingen wordt hieronder gevisualiseerd en beschreven hoe een treinpassage inwerkt op een wachtende persoon. Het betreft hier een passage van een ICD (7) vanuit Zwolle naar Dronten (2:51) waarbij duidelijk onbalans van meerdere proefpersonen is opgetreden. Bij het passeren van de kop van de trein en gedurende de treinpassage van de rijtuigen is de invloed op de persoon beperkt (opbollen van de broek van de eerste persoon). De beginnende onbalans treedt pas op aan het einde van de trein. Het begin van de eerste stap treedt op als het einde van de trein bijna is gepasseerd. Het stappen gebeurt als de trein al is gepasseerd. Het naar achteren stappen met het ene been (ca. 50 cm) en het bijstappen van het andere been gebeurt in de rijrichting van de trein en niet richting het spoor.

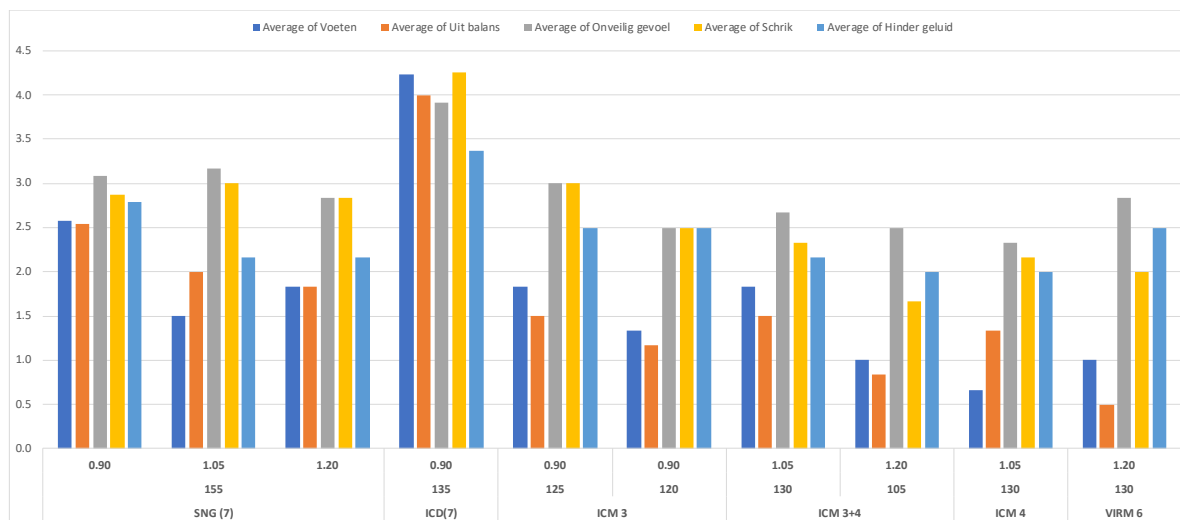


Foto's 7: Visualisatie van effect treinpassage op onbalans van proefpersonen.

Andere bijzondere effecten zijn geweest: 1x opspringend steentje tegen bril, 1x afwaaien van muts, bij iedereen komt in onbalans raken wel eens voor, niet iedereen durfde het veiligheidstuig af te doen bij 90 cm.

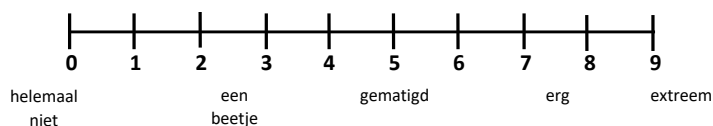
8.2 Afstand tot perronrand, materieelsoort, passeersnelheid

In onderstaande figuur staan de gemiddelde meetresultaten voor de aspecten Voeten verplaatsen, Uit balans, Onveilig gevoel, Schrik en Geluidhinder. Op de x-as staan het type materieel, de passagesnelheid en de sta-afstand tot de perronrand.

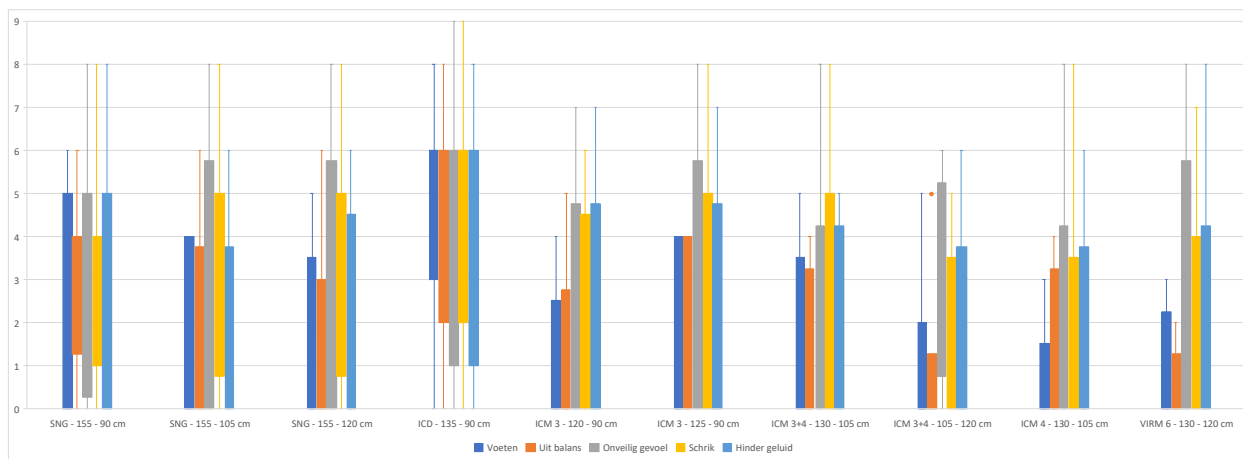


Figuur 8: De gemiddelde subjectieve scores (n=6) op de aspecten Voeten verplaatsen, Uit balans, Onveilig gevoel, Schrik en Hinder geluid per materieelsoort, passagesnelheid (km/u) en afstand tot de perronrand (m).

NB Let op dat de schaalverdeling van deze grafiek niet het gehele spectrum van mogelijke scores dekt. De schaalverdeling van de scores zag er als volgt uit:



In de volgende box plot wordt weergegeven hoe de data is verdeeld. Hierbij valt ICD ook op als worst-case treintype, maar de grafiek geeft ook de enorme spreiding tussen proefpersonen weer.



Figuur 9: Boxplot van de subjectieve scores (n=6) op de aspecten Voeten verplaatsen, Uit balans, Onveilig gevoel, Schrik en Hinder geluid per materieelsoort, passagesnelheid (km/u) en afstand tot de perronrand (cm).

Uit deze figuren zijn de volgende conclusies te trekken:

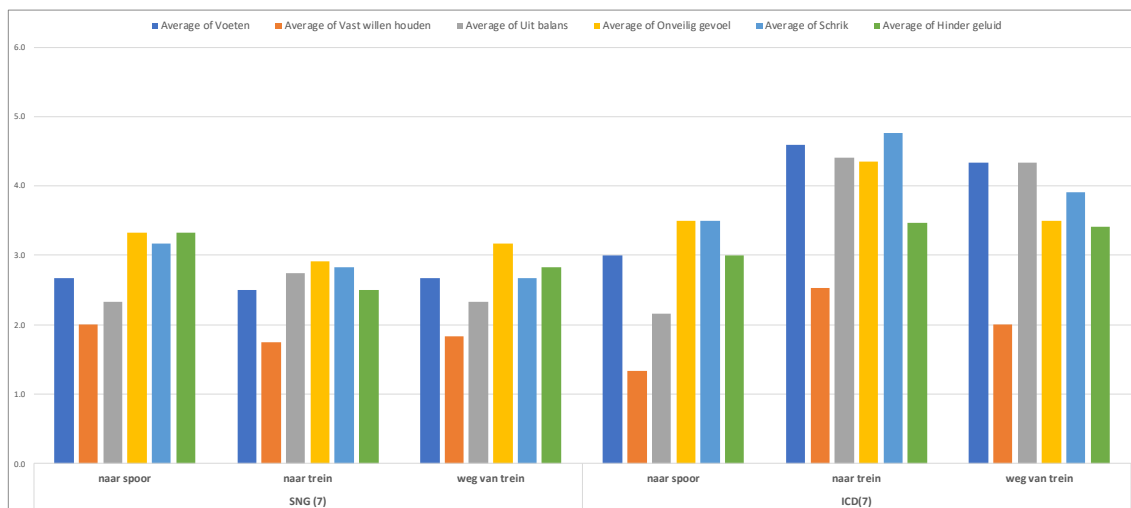
- Bij een sta-afstand van 90 cm van de perronrand scoort een passage van een ICD met 135 km/u slechter op al deze aspecten dan de passage van een SNG(7) met 155 km/u. Materieelkarakteristieken spelen dus een belangrijke rol. ICD heeft een stompere kopvorm en met name de extra loc aan het einde van de trein zorgt voor een versterkte luchtstroom. SNG heeft een meer gestroomlijnde vorm zowel aan het begin als aan het einde van de trein (zie ook figuur 7 in paragraaf 7.1). Bij ICD ontstaat zodoende aan het einde van de trein onbalans bij meerdere proefpersonen. Bij SNG is dit minder of niet het geval.
- Bij een sta-afstand van 90 cm van de perronrand scoort een passage van een ICM met 120-125 km/u vergelijkbaar met de passage van een SNG(7) met 155 km/u voor de aspecten Geluid, Schrik en Onveilig gevoel. Uit balans en Voeten moeten bewegen scores iets slechter bij de passage van een SNG(7) met 155 km/u.
- Bij passage van een SNG(7) met 155 km/u maakt het voor Onveilig gevoel en Schrik nauwelijks uit of men op 90, 105 of 120 cm afstand van de perronrand staat. Voeten moeten bewegen, Uit balans raken en Geluidshinder verschillen wel tussen 90 cm en 105 cm. Een duidelijk verschil tussen 105 en 120 cm is er echter niet.
- Bij de passages van ICM lijkt de afstand tot de perronrand nauwelijks van invloed. Er waren echter wel verschillen in treinsnelheid, dus deze conclusie kan niet hard gemaakt worden.
- De passage van VIRM op een sta-afstand van 120 cm van de perronrand lijkt vergelijkbaar te scoren met die van ICM op dezelfde afstand. De ICM reed echter iets langzamer: 105 vs 130 km/u. Bovendien was de passage van VIRM de eerste van de meetdag, dus die dient met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden.
- De neiging om jezelf vast te willen houden (niet in bovenstaande figuur) scoort zeer laag voor alle passages. ICD(7) en SNG(7) op 90 cm afstand scoren het hoogst met resp. 2,1 en 1,8 als gemiddelde score.

8.3 Kijkrichting

Voor de passages van SNG (155 km/u) en ICD (135 km/u) zijn 3 verschillende kijkrichtingen met elkaar vergeleken bij een sta positie van 90 cm van de perronrand: kijkend naar het spoor, kijkend in de richting van de aankomende trein en kijkend in de richting waar de trein naartoe weg rijdt.

Uit onderstaande figuur blijkt het volgende:

- Bij SNG lijkt er nauwelijks effect van de kijkrichting.
- Bij ICD scoort de kijkrichting naar het spoor iets gunstiger: men heeft dan minder last van voeten moeten bewegen, vast willen houden, en uit balans raken. Dit is in overeenstemming met de kleinere lichaamsoppervlakte die men dan in de rijrichting heeft. Schrik en geluidshinder scoren marginaal beter. Een onveilig gevoel heeft men vooral bij de kijkrichting naar de trein. Het zien aankomen van deze trein geeft blijkbaar een onveilig gevoel dan wanneer de trein uit de rugzijde komt.

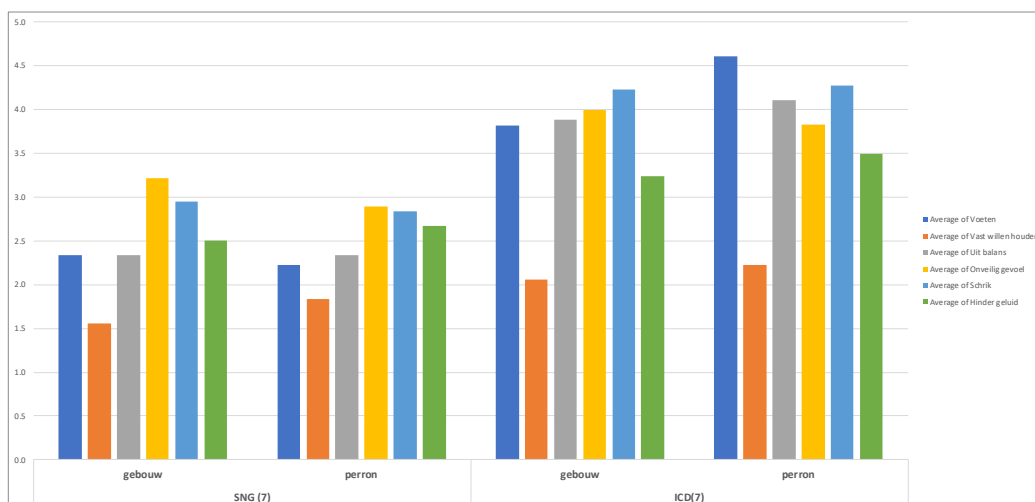


Figuur 10: Gemiddelde subjectieve scores (n=6) op de aspecten Voeten verplaatsen, Vast willen houden, Uit balans, Onveilig gevoel, Schrik en Hinder geluid per materieelsoort en kijkrichting (sta positie 90 cm vanaf de perronrand).

De invloed van verschillende sta posities op de stabiliteit van de proefpersoon zijn vooral bij ICD te zien. Bij SNG is de invloed van verschillende sta posities op de stabiliteit weinig onderscheidend. Met name bij ICD kan in het algemeen gesteld worden dat het kijken naar het spoor het meest stabiel is. Het kijken naar de trein is het minst stabiel omdat een persoon gemakkelijker over z'n hakken naar achteren valt. Het weggijken van de trein neemt qua stabiliteit een tussenpositie in. Het voorover vallen over de naar voren uitstekende voeten is moeilijker. Bij SNG is de invloed van de verschillende sta posities op de stabiliteit niet eenduidig, mogelijk omdat de krachten lager zijn.

8.4 Perron/gebouw

Voor de passages van SNG en ICD is er voldoende roulatie tussen de proefpersonen geweest om de invloed van het staan op het open perron te vergelijken met het staan onder overkapping van het stationsgebouw. Zoals uit onderstaande grafiek blijkt, heeft dit weinig invloed. Een positie op het open perron scoort marginaal slechter op de genoemde aspecten.



Figuur 11: Gemiddelde subjectieve scores (n=6) op de aspecten Voeten verplaatsen, Vast willen houden, Uit balans, Onveilig gevoel, Schrik en Hinder geluid per materieelsoort en sta positie (gebouw of perron). Bij SNG zijn alle sta-afstanden tot de perronrand (90, 105 en 120 cm) samengenomen; bij ICD is alleen bij 90 cm gemeten.

Hierbij moet aangetekend worden dat station Kampen-Zuid een relatief open stationsgebouw heeft. Het zou dus kunnen dat er bij andere stations wel een effect van het gebouw gevonden wordt.

8.5 Subjectieve conclusies

Hoewel het op basis van 6 proefpersonen en grote interindividuele verschillen lastig is om harde conclusies te trekken, zijn er duidelijke trends in de subjectieve resultaten te vinden.

Een passage van een ICD-trein met 135 km/u wordt op alle variabelen als onprettiger geschouwd dan een passage van een SNG met 155 km/u. Een passage van een ICM met 120-125 km/u is qua ervaring vergelijkbaar dan of iets gunstiger dan een SNG met 155 km/u.

Het maakt qua beleving op Kampen-Zuid (een tamelijk open station) niet veel uit of men bij het stationsgebouw of op het open perron staat. Wel is er bij ICD een duidelijk effect van kijkrichting te zien: als men in de richting van de aankomende trein kijkt is dat ongunstiger qua balans en onveilig gevoel dan wanneer men wegstijgt van de trein of naar het spoor kijkt.

De gehanteerde subjectieve schaal gaat uit van 5 als gematigd, 7,5 als erg en 9 als extreem. Vanaf de waarde van 5 kan gesteld dat de neiging tot een onprettige ervaring ontstaat. Een waarde van 6 wordt beschouwd als duidelijk richting negatief maar nog niet ernstig.

Zelfs voor aanwezige proefpersonen die overwegend “lang en sterk” zijn, kan gemiddeld geconcludeerd worden dat de passage van ICD bij 135 km/u op 90 cm van de perronrand op z’n minst als onprettig wordt ervaren, waarbij balansverstoringen zijn opgetreden. De mate van onbalans is bij deze proefpersonen echter zodanig gering dat een lichte houdingscorrectie (een pas naar achteren) voldoende is om te blijven staan. De onbalans is niet gericht naar de perronrand of het spoor.

Op basis van met name de box-plot wordt geconcludeerd dat bij ICD voor alle sensaties (voeten verplaatsen, onbalans, onveilig gevoel, schrik en hinder geluid) bij meerdere proefpersonen waarden in de range van 6 tot zelfs 9 optreden, vaak gekoppeld aan daadwerkelijk verlies van balans (een stap moeten zetten). Bij SNG is het oordeel van fysieke sensaties (voeten, onbalans) relatief gunstig (5 en lager) en gelden de hogere waarden vanaf 6 alleen voor gevoelsmatige sensaties (onveilig gevoel, schrik, hinder geluid).

Voor meer kwetsbare reizigers (kinderen, ouderen) is het aannemelijk dat subjectieve effecten ongunstiger worden ervaren dan door de proefpersonen het geval is geweest.

9 Relatie subjectieve ervaringen met objectieve meetresultaten

In dit hoofdstuk worden de subjectieve ervaringen van de proefpersonen gerelateerd aan de objectieve meetresultaten.

9.1 Verbanden tussen objectieve meetwaarden en ervaringen

De relatie is gelegd tussen de objectieve meetwaarden van luchtsnelheid op 80 cm van de perronrand en de subjectieve ervaringen van proefpersonen op 90 cm van de perronrand. Voor het zoeken naar grotere verbanden zijn de gemiddelde subjectieve ervaringen gerelateerd aan de gemiddelde en absolute meetwaarden van perron en gebouw samen, aangezien hierboven is aangetoond dat de subjectieve ervaringen nauwelijks verschillen tussen perron en gebouw en dat de gemeten luchtsnelheden niet consistent verschillen tussen perron en gebouw.

Veiligheid

De ervaren onbalans is als belangrijkste subjectieve parameter voor de veiligheid genomen.

Relaties zijn onderzocht op basis van:

- Luchtsnelheid: $v_{1s_{max}}$ = lopend gemiddelde over 1 sec conform TSI
- Luchtsnelheid: v_{max} = piekwaarde (gemiddeld en absoluut¹)
- Luchtversnelling: a_{max} (gemiddeld en absoluut)
- Gust: da/dt (max, gemiddeld)

Daarnaast is een relatie onderzocht met de luchtsnelheid (v_{max}) op het referentiepunt net buiten het station (open veld conform TSI).

Verbanden tussen objectieve meetwaarden:

- Luchtsnelheid en luchtversnelling: v_{max} en a_{max} (gemiddeld en absoluut)

In de volgende figuren worden de onderlinge relaties gevisualiseerd.

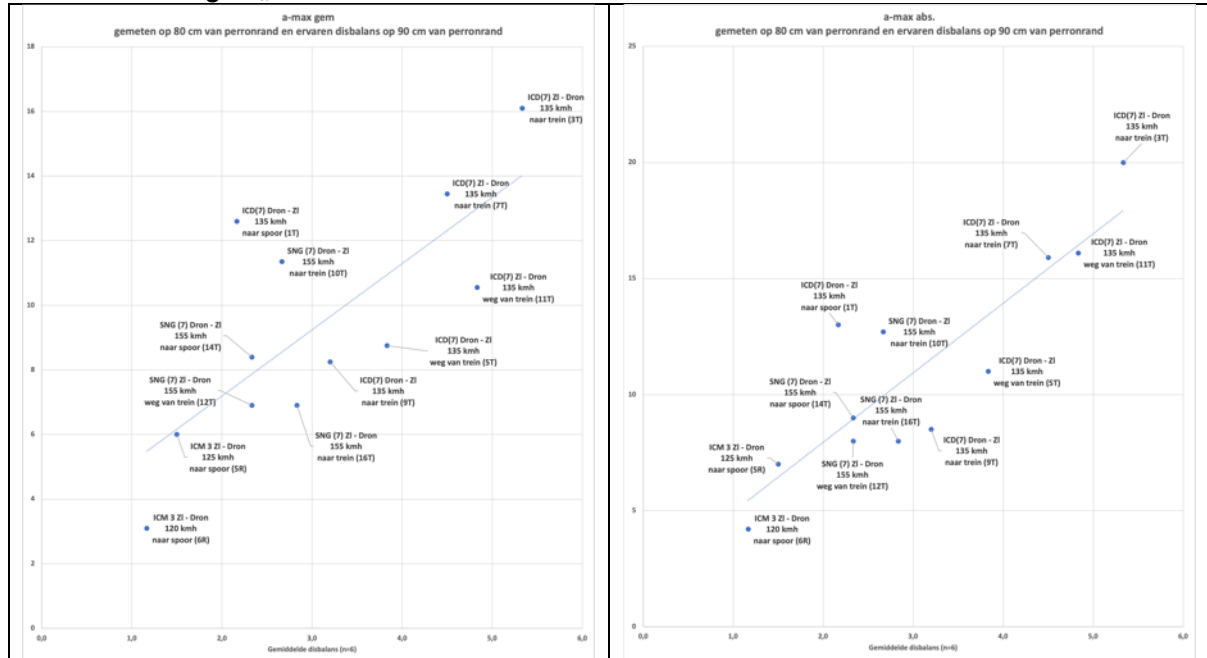
¹ De gemiddelde piekwaarde betekent het gemiddelde van de gemeten piekwaarden op het open perron en bij het stationsgebouw. De absolute piekwaarde is de hoogste van deze twee meetwaarden.



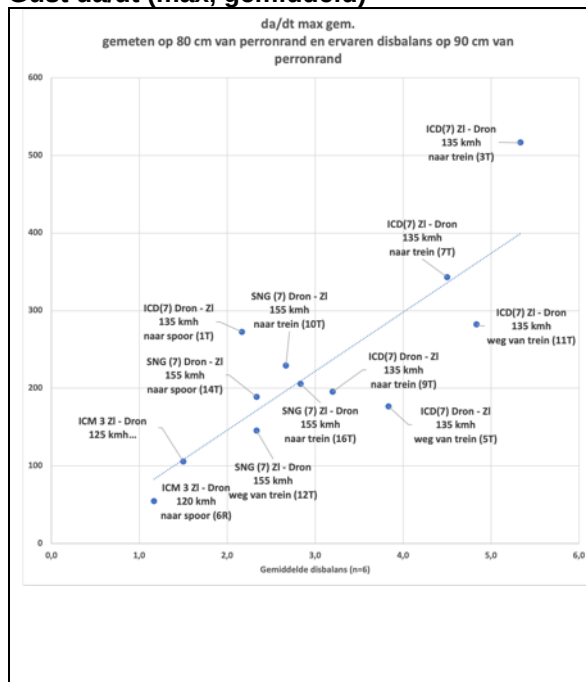
Luchtsnelheid v_{1smax} en v_{max}



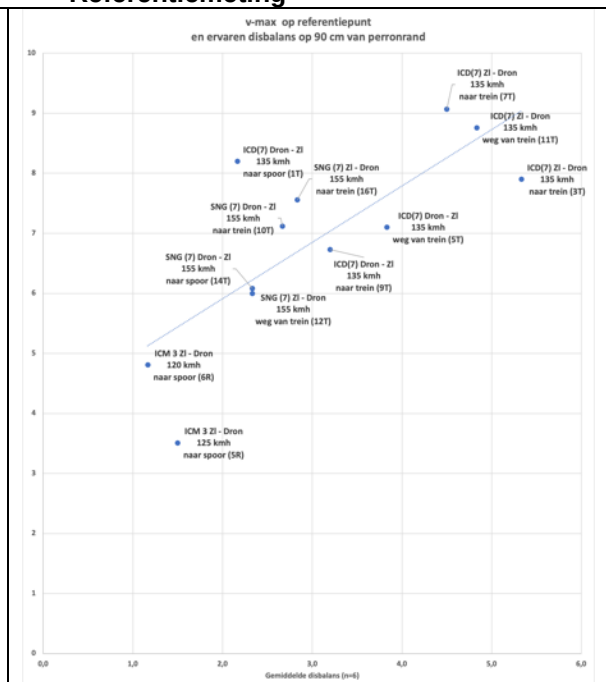
Luchtversnelling a_{max}



Gust da/dt (max, gemiddeld)



Referentiemeting



Figuur 12: Gemiddelde subjectieve score op 'Uit balans' (n=6) op sta positie 90 cm van perronrand gerelateerd aan gemeten luchtsnelheid/versnelling/gust op 80 cm van perronrand of op de referentiepositie (1e rij links: v_{1s-max} ;



2e rij links: luchtsnelheid $v_{\max}$ gemiddelde van piekwaarde op perron en bij gebouw; 2e rij rechts: luchtsnelheid $v_{\max}$ hoogste piekwaarde gemeten op perron of bij gebouw; 3e rij links: $a_{\max}$ gemiddelde van piekwaarde op perron en bij gebouw; 3e rij rechts: $a_{\max}$ hoogste piekwaarde gemeten op perron of bij gebouw; 4e rij links: da/dt -max gemiddelde van piekwaarde op perron en bij gebouw; 4e rij rechts: $v_{\max}$ op referentiepositie) voor iedere treinpassage. Bij de treinpassages is vermeld in welke richting de trein reed, met welke snelheid en wat de kijkrichting van de proefpersonen was

Op basis van deze relaties blijkt er een duidelijke groepering van treinpassages te ontstaan in de mate van ervaren onbalans:

Duidelijke onbalans

- ICD: met name kijkend naar de trein / met name in rijrichting Zwolle – Dronten

Matige onbalans

- ICD: weggijkend van de trein + kijkend naar spoor / rijrichting Dronten – Zwolle
- SNG(7): alle kijkrichtingen / beide rijrichtingen (weinig onderscheidend)

Geringe onbalans

- ICM-3

Hierbij moet echter een nadrukkelijk voorbehoud gemaakt worden: er is met een beperkte aantal materieelsoorten en snelheden getest, met een beperkte populatie (qua omvang en kenmerken), op een specifiek station. Bovenstaande lijst geeft dus een indicatie, maar is onvoldoende om normering op te baseren. Er zijn geen vastgestelde normen om de subjectieve beoordeling op te baseren.

9.2 Samenvattende resultaten

Samenvattend ontstaat het volgende beeld op basis van de metingen op station Kampen-Zuid:

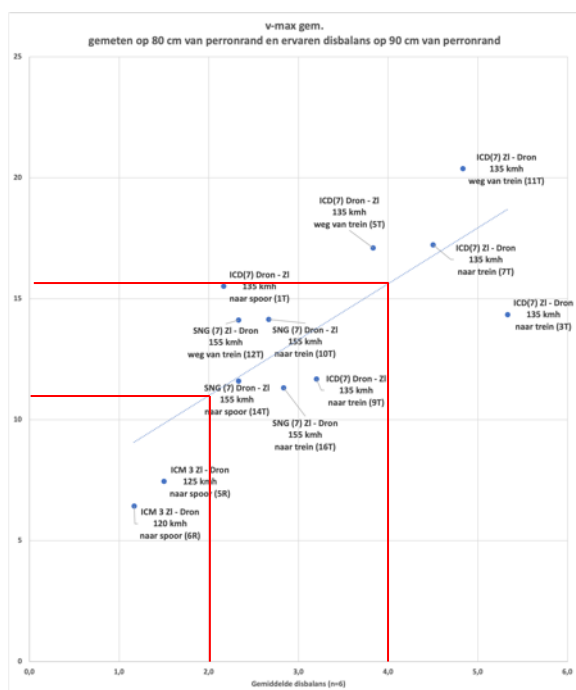
- De luchtsnelheid ($v_{\max}$), versnelling ($a_{\max}$) en gust blijken een sterk verband te hebben met de ervaren onbalans.
- Het verband met het referentiemeetpunt is ongeveer even sterk als met de meetpunten op de perrons. Dit betekent dat op basis van het referentiemeetpunt bepaald zou kunnen worden in hoeverre een bepaald treintype potentieel risicovol voor reizigers op een doorsnee perron (basisrisico). Dit is gunstig omdat deze meetwaarde al bij toelating van materieel wordt gemeten. Maar eerst moet deze relatie op andere locaties geverifieerd worden. De daadwerkelijke perroninrichting bepaalt het aanvullend effect op de luchtstroom (aanvullend risico) en daarmee het uiteindelijke risico voor reizigers op het perron (totaal risico). Ook de grootte van dit effect moet op andere locaties bepaald worden.
- Het verband op basis van v_{1s} -max (conform TSI) blijkt minder eenduidig te zijn dan het verband op basis van luchtsnelheid $v_{\max}$ en versnelling ($a_{\max}$) en gust. De TSI grenswaarde blijkt op basis van de proefneming weinig verklarend te zijn voor de subjectieve ervaring van reizigers op een perron.
- De v_{1s} hebben op 80 cm vanaf de perronrand en bij de referentiemeting de TSI-grenswaarde van 15,5 m/s niet overschreden. Toch hebben bepaalde treinpassages van met name ICD bij 135 km/u geleid tot onbalans. Op dit moment is het onduidelijk welke achterliggende (subjectieve en/of objectieve) criteria bepalend zijn geweest voor de TSI-grenswaarde.
- Het kijken naar de trein (ICD) veroorzaakt meer onbalans dan het weggijken van de trein en het kijken naar het spoor (meest stabiel).
- De ervaren onbalans blijkt afhankelijk te zijn van de rijrichting van de trein. De richting Zwolle – Dronten met eerst het lege perron en daarna het gebouw is ongunstiger.

- Op basis van de grafieken (figuur 12) ontstaat het volgende richtinggevende beeld qua grenswaarden voor de ervaren onbalans (als belangrijkste veiligheidsindicator), wanneer resp. gemiddelde onbalans-scores 2 en 4 worden gehanteerd als voorzichtige en ruimere grenswaarde (deze keuze is arbitrair, maar sluit wel aan bij de spreiding in ervaringen van proefpersonen):

Meetwaarde	Locatie	Grenswaarde voorzichtiger	Ruimer
V_{1s-max}	80 cm vanaf perronrand	minder eenduidig verband	
v_{max} (gem.)	80 cm vanaf perronrand	< 11 m/s	> 15 m/s
a_{max} (gem.)	80 cm vanaf perronrand	< 7 m/s ²	> 11 m/s ²
da/dt (max)	80 cm vanaf perronrand	150 m/s ³	300 m/s ³
v_{max} referentie	Open veld buiten station		> 7 m/s

“Zachtere” factoren zoals schrik en onveilig gevoel zijn minder onderscheidend bij de gehanteerde snelheidsrange (140 - 160 km/u) en sta-afstand tot de perronrand (90 – 120 cm). De relatie met de objectieve data is minder goed dan bij onbalans, maar wel aanwezig, omdat het logisch lijkt dat onbalans met schrik en een onveilig gevoel gepaard gaat. Over het ervaren comfort kan een vervolproef met reizigers meer duidelijkheid geven.

Als voorbeeld illustreren we dit met de grafiek voor v_{max} (gem.):



Figuur 13: Voorbeeld van uitwerking van een richtwaarde (v_{max} (gem.)). Bij een gemiddeld onbalans score van 2 hoort een luchtsnelheid van ca. 11 m/s; bij een score van 4 een luchtsnelheid van ca. 15 m/s.

Bovenstaande grenswaarden sluiten goed aan bij de bevindingen van het Zwitsers onderzoek [8]. Zij komen tot een grenswaarde voor v_{max} van 13,9 m/s (op basis van Beaufort-schaal = windkracht 7). In dat onderzoek wordt weer gerefereerd aan onderzoek door Federal Institute of Technology in Lausanne: zij hanteren 15 m/s als waarde waarbij “een persoon tegen de grond kan worden gegooit”. Uit het onderzoek wordt echter niet duidelijk hoe de luchtsnelheid precies is gemeten.

De onbalans hangt af van het frontale oppervlak van de persoon, het gewicht van de persoon en de houding van de persoon en de mate waarop de persoon erop is voorbereid (verrassingseffect). Bij de proefneming op Kampen-Zuid zijn hogere waarden gemeten. Dat personen niet tegen de grond werden gegooid, komt waarschijnlijk door de relatief gunstige kenmerken van proefpersonen die op het moment van de treinpassage waren voorbereid.

Het hanteren van deze grenswaarden betekent impliciet dat bij ICD de huidige snelheid 135 km/u bij perronpassage eigenlijk al te hoog is uitgaande van de huidige minimale sta-afstand van 90 cm tot de perronrand. Dit is op basis van huidige ProRail regelgeving wel toegestaan.

De verkenning van de grenswaarden is bepaald op basis van gemiddelden van de huidige proefpersonen. De proefpersonen waren volwassenen (5 mannen en 1 vrouw) met een gemiddeld tot fors postuur, een goede lichamelijke gezondheid en een zekere affiniteit en bekendheid met treinen en de spoorse omgeving. Onderzoek met minder stabiele personen zoals kinderen en ouderen is noodzakelijk om hier meer duidelijkheid over te krijgen.

10 Uitgangspunten voor toekomstige metingen

Voor toekomstige metingen is het essentieel om het doel voor ogen te houden. Hierbij liggen twee principiële vragen voor:

1. Gaat het om veiligheid van wachtende reizigers of (ook) om kwaliteit/beleving?
2. Wat is het leidende principe bij risicobeoordeling: stand-still of een geheel nieuwe beoordeling?

De eerste vraag heeft effect op de te meten parameters bij het subjectieve onderzoek. Bij een keuze voor veiligheid kan qua subjectieve metingen gefocust worden op ervaren onbalans (of het moeten verplaatsen van de voeten) en een onveilig gevoel. Schrik lijkt hierbij van minder belang: schrik geeft namelijk ook een leerkans. Wanneer men geschrokken is, past men het gedrag hoogstwaarschijnlijk aan door ruimere afstand te nemen. Aangezien ProRail kwaliteit/beleving (ook) van belang vindt (terugkoppeling op het conceptrapport), dienen schrik en effecten op kwaliteit/beleving ook meegenomen worden.

De tweede keuze die aan de orde is, betreft de risicobeoordeling. Als ProRail het stand-still principe hanteert, kan betoogd worden dat alle treinpassages van reizigersmaterieel met 140 km/u en van goederenmaterieel met 100 km/u met de huidige maatregelen geaccepteerd zijn, en dat nieuwe situaties niet slechter mogen scoren. In dat geval zijn de eerste conclusies dat SNG met 155 km/u op alle gemeten parameters in omstandigheden als bij Kampen-Zuid minder ernstig scoort dan ICD met 135 km/u, en dat er dus geen aanvullende maatregelen nodig zouden zijn. ProRail kan echter ook bestaande situaties opnieuw beoordelen. De proefpersonen in de onderhavige test hebben middels hun scores laten blijken tijdens de ICD-passages met 135 km/u gemiddeld 'gematigde' onbalans te ervaren (met individuele scores: 'erge' onbalans), en op video zijn regelmatig corrigerende stappen te zien om het evenwicht te bewaren. Aangezien deze groep proefpersonen uit de categorie 'in het spoor werkzame mensen' komt, is het te verwachten dat de scores bij andere groepen slechter kunnen uitvallen. Het ontwikkelen van een nieuwe normenset is uiteraard ingewikkelder dan het hanteren van het stand-still principe. Er moet dan immers een nieuwe expliciete risicobeoordeling en risico-acceptatie plaatsvinden conform CSM-REA. In dat geval dient een duidelijk subjectief afkeurcriterium te worden ontwikkeld dat vervolgens gerelateerd kan worden aan een bijbehorend objectief criterium (zoals mogelijk de luchtsnelheid op het referentiepunt, of de piekluchtsnelheid of -versnelling op het perron).

Een subjectief afkeurcriterium op basis van veiligheid kan dan zijn:

- Bij onbalans geen verplaatsing richting het spoor
- Bij onbalans niet vallen maar hooguit een matige en controleerbare onbalans:
 - max xx% van de proefpersonen scoort de onbalans hoger dan y (op schaal 0 tot 9)
 - max xx% van de proefpersonen zet gecontroleerd maximaal 1 pas
 - 'worst-case' proefpersoon zet gecontroleerd maximaal 1 pas

Een heldere definitie van de populatie maakt hier deel van uit.

We bevelen verder aan om in vervolgmetingen het volgende te betrekken:

- Luchtsnelheden meten direct naast iedere proefpersoon (90 – 120 cm in daadwerkelijk te verwachten sta-zone), en daarnaast verspreid over het perron om het verloop over het perron te kennen. Uit de proeven blijkt namelijk dat de luchtsnelheden nogal variëren en door de turbulentie niet duidelijk afnemen met de afstand.
- Uit de gemeten luchtsnelheden de waarden voor versnelling en gust afleiden.

- De luchtsnelheidsmeting op het referentiepunt te blijven hanteren, omdat er in de metingen op Kampen-Zuid een duidelijke relatie tussen deze metingen en de ervaringen op het perron bestaat. Hier ook drukmetingen aan toevoegen. Dit geeft een beter beeld of de referentiesituatie voldoet aan de norm. Met de referentiemetingen, die bij de toelating van ieder materieel bepaald moet worden, kunnen zo alle situaties snel gemeten worden.
- ICD ook bij 160 km/u te gaan meten. ICD lijkt momenteel 'worst-case' te zijn; metingen bij 160 km/u geven dus input aan het te verwachten maximum aan windsnelheid, -versnelling en ervaren onbalans, onveiligheid en schrik.
- SNG juist ook bij lagere snelheden te bemeten, en ICD ook op andere sta-afstanden van de perronrand, om van beide materieelsoorten het hele spectrum aan waarden te bepalen, zodat we meer grip op relatie tussen objectieve en subjectieve variabelen krijgen.
- De metingen bij 160 km/u uit te breiden naar al het materieel waarvan verwacht wordt dat het 160 km/u gaat rijden. ICNG behoort daar zeker toe.
- De metingen bij 160 km/u uit te breiden naar andere stations met bijvoorbeeld bebouwing op het perron en lage perronkap waardoor een duidelijk plaatselijke vernauwing voor de luchtstroming ontstaat. Breng in kaart waar perrons liggen die met hoge snelheid gepasseerd gaan worden en destilleer gemeenschappelijke en 'typerende' kenmerken die de luchtstroom kunnen beïnvloeden. Daar dan onderzoek doen.
- Ook goederentreinen bij 80 en 100 km/u (en hoger als daar plannen voor zijn) te bemeten. Let hierbij op de samenstelling van goederentreinen: het is bekend dat goederentreinen met 'gaten' in samenstelling de slechtste ervaring bieden. Op basis bestaande ProRail regelgeving is niet uit te sluiten dat net als bij ICD bepaalde goederentreinen meer risicovol en onprettig blijken te zijn bij perronpassage.
- De populatie proefpersonen uit te breiden met minder stabiele personen en geringere spooraffiniteit (incidentele treinreizigers; volwassen vrouwen: klein postuur (mogelijk vergelijkbaar met kind vanaf 12 jaar); ouderen: mannen en vrouwen met klein en gemiddeld postuur). Het blijft aanbevolen om ook dan persoonlijke beschermingsmiddelen als harnas en bril te gebruiken.
- Ook objecten te betrekken in de metingen; denk hierbij aan kinderwagens en koffers op wielen (ongeremd). Een populatie van 20 passages per treintype is nodig voor betrouwbare resultaten. Daarom verdient het de aanbeveling om uit de bovenstaande configuraties alleen standaardsituaties te kiezen omdat anders het aantal meetsituaties te groot wordt.
- Nader (bureau)onderzoek te doen naar de achtergrond van de standaard [2] en de daarin beschreven grenswaarden. Daarnaast het Zwitsers onderzoek [8] om te begrijpen of hun meetmethode en hun resultaten overeenkomen met de hier gebruikte methode en gevonden resultaten. Dit kan het opstellen van een norm versnellen.

11 Conclusies

Luchtsnelheden en geluid

De v_{1s} waarden zijn de luchtsnelheidswaarden die dienen te worden berekend uit de gemeten v -waarden, volgens de normering [2]. In de norm worden vanaf 160 km/h grenswaarden van 15 à 20 m/s voorgeschreven voor deze v_{1s} . Volgens de norm dient gemeten te worden langs open ballastspoor (een niet-perronlocatie), op 3.0 m van de perronrand. De gekozen referentielocatie voldoet aan deze voorwaarden. De gemeten waarden op de referentielocatie blijven steeds ruim onder deze grenswaarde.

De geluidniveaus zijn tijdens passages met 155 km/h met het SNG-materieel lager zijn dan het overige materieel dat met lagere snelheid passeert. Dit wordt veroorzaakt door het relatief stille (nieuwe) SNG-materieel.

De stijgsnelheden van het geluid is direct afhankelijk van de treinsnelheid. Dichter bij de perronrand zijn de stijgsnelheden het grootst.

Ervaringen van proefpersonen

Desalniettemin ervaren de proefpersonen bij vooral passages van de ICD (7) onbalans in het zog van de trein. De gemeten luchtsnelheid ($v_{\max}$), de versnelling a en de gust da/dt laten een duidelijk verband zien met het uit balans raken van de proefpersonen. Daarom kunnen we concluderen dat deze waarden het gevaar beter beschrijven.

Consequenties vervolgmetingen

Uit de pilot zijn veel aanbevelingen en aandachtspunten gekomen, die zich concentreren op het uitbreiden van de proefpopulatie en het gebruiken van objecten (zoals kinderwagens), het te bemeten materieel en de perronkenmerken. Deze zijn verzameld in hoofdstuk 10.

12 Referenties

- [1] 2014R1302 TSI Loc & Pass Commission regulation (EU) No 1302/2014 of 18 November 2014.
- [2] EN14067-4 Railway applications – Aerodynamics – Part 4: Requirements and test procedures for aerodynamics on open track.
- [3] Testplan metingen hogesnelheidspassages perrons v1.1, DR/20/190392/007 en WEI/4205/20.05, 5 januari 2021.
- [4] “The Effects of Wind on People in the Vicinity of Buildings”, Lawson and Penwarden, 1975.
- [5] “The calculation of train slipstreams using large-eddy Simulation”, Hemida et al., 2014.
- [6] “Wind climate and urban geometry”, ISBN 90-386-0132-8, M. Bottema, 1993.
- [7] “CFD simulation of train aerodynamics: train-induced wind conditions at an underground railroad passenger platform”, Adelya Khayrullina et al., January 2015.
- [8] Federal Office of Transport (FOT), 2011, Research Report - Safety Distances on Platforms, Bern.

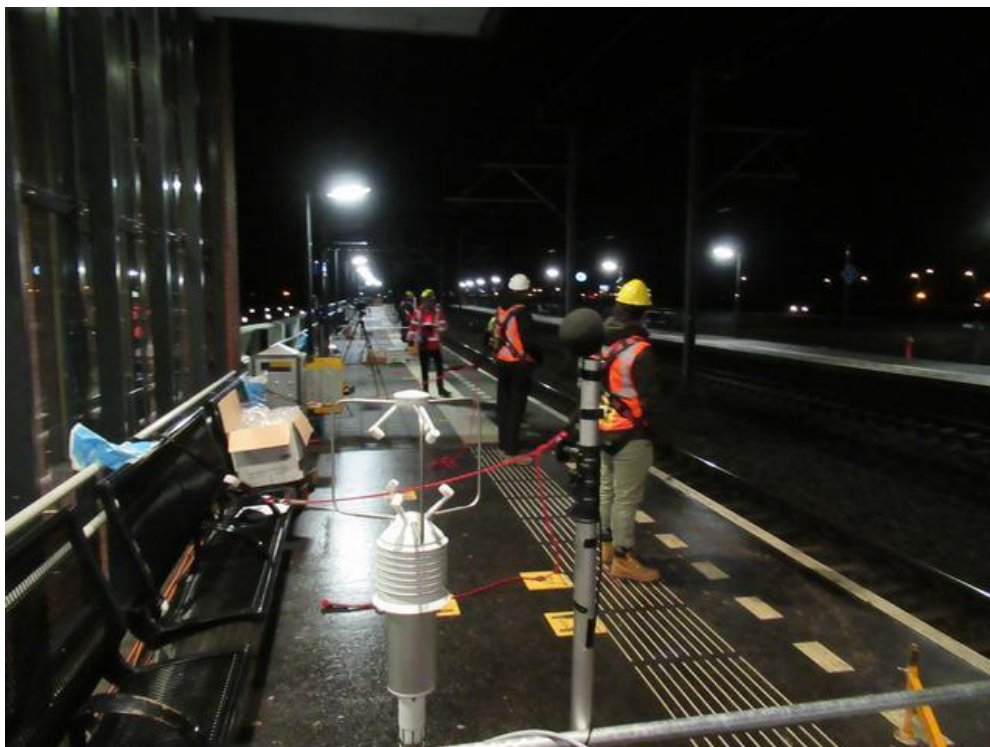
Bijlage 1: Foto's meetopstelling

Foto : Meetdoorsnede met gesloten achterzijde en opstelling proefpersonen.

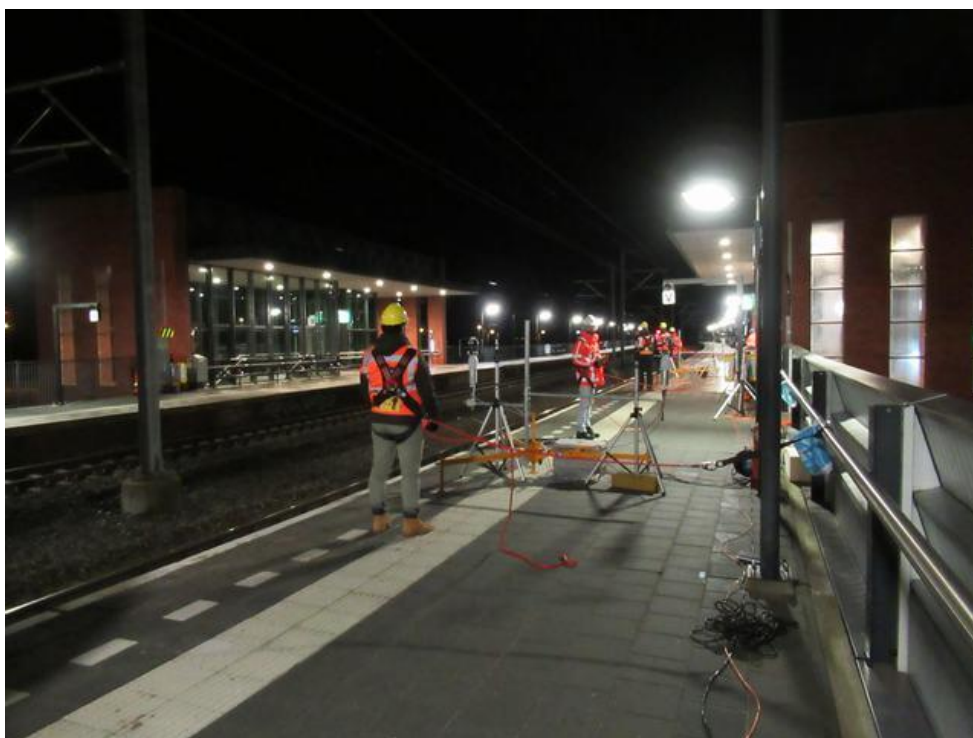


Foto 1: Meetdoorsnede met gedeeltelijk gesloten achterzijde en opstelling proefpersonen.

Bijlage 2 – Resultaten metingen

Tijd passage	Materieel	T-nummer	Rijrichting	Snelheid [km/h]	v-wind-achtergrond 0.8m [m/s]	wind richt 0.8m [°]	v-wind-achtergrond 3.0m [m/s]	wind richt 0.8m [°]	a-min-passage 0.8m [m/s ²]	a-max-passage 0.8m [m/s ²]	a-min-passage 3.0m [m/s ²]	a-max-passage 3.0m [m/s ²]	da/dt-min-passage 0.8m [m/s ³]	da/dt-max-passage 0.8m [m/s ³]	da/dt-min-passage 3.0m [m/s ³]	da/dt-max-passage 3.0m [m/s ³]
21:58	ICMm		Dr	133	0	0	0	0	-3,3	2,8	-4,9	6,6	-61,4	66,4	-127,0	102,5
22:28	ICMm		Dr	127	0,9	274	0,5	353	-12,9	11,1	-2,3	2,7	-395,3	355,6	-35,2	47,8
23:01	VIRM 6	1R	Dr	127	0,5	289	0,4	13	-5,3	7,1	-3,1	3,7	-137,4	136,1	-74,5	60,2
23:02	ICM 3+4	2R	Dr	104	0,4	356	0,5	304	-2,4	3,0	-4,5	4,7	-53,9	58,2	-83,3	104,9
23:27	ICM 4	3R	Dr	129	0,4	271	0,6	353	-5,7	7,9	-2,0	2,1	-111,5	113,2	-65,7	33,5
23:29	ICM 3+4	4R	Dr	130		291	0,8	343	-5,8	8,9	-2,4	3,3	-113,8	120,5	-58,4	47,7
23:59	ICM 3	5R	Dr	127	0,9	290	0,6	351	-5,8	5,0	-1,7	2,2	-112,6	80,6	-45,9	58,5
0:01	ICM 3	6R	Dr	121	1	358		321	-2,1	4,2	-4,2	4,6	-69,0	48,3	-92,5	86,4
1:54	ICD (7)	3T	Dr	136	0,3	274	0,3	26	-12,8	12,0	-4,8	8,7	-367,7	361,1	-147,9	146,0
2:51	ICD (7)	7T	Dr	136	0,3	287	0,6	74	-14,6	15,9	-6,5	7,9	-358,1	292,2	-154,7	152,6
3:44	ICD (7)	11T	Dr	136		79	0,6	37	-15,4	16,1	-5,7	7,6	-489,9	492,6	-95,9	110,8
1:09	ICD (7)	1T	ZI	136		86	0,6	352	-11,8	12,2	-3,3	4,6	-270,1	253,9	-89,1	56,1
2:19	ICD (7)	5T	ZI	136	0,8	348	0,6	287	-5,5	6,5	-12,5	15,3	-99,9	97,9	-404,3	306,8
3:14	ICD (7)	9T	ZI	136	0,8	336	0,5	89	-5,2	8,5	-7,8	8,2	-132,5	115,3	-267,2	181,5
2:55	SNG 3+4	8T	Dr	154	0,4	25	0,2	76	-3,1	3,4	-10,2	11,2	-86,5	88,9	-216,1	200,9
3:48	SNG 3+4	12T	Dr	155	1,1	351	0,7	274	-4,4	5,8	-12,0	8,9	-101,6	75,7	-258,7	271,8
4:34	SNG 3+4	16T	Dr	154	0,5	307	0,3	45	-5,9	5,8	-5,0	6,8	-191,8	171,6	-159,5	75,4
2:09	SNG 4+3	6T	ZI	155	1	89	1,2	3	-8,1	9,4	-4,2	6,8	-234,0	147,0	-156,2	141,0
3:21	SNG 4+3	10T	ZI	155	0,5	305	0,2	333	-9,4	12,7	-3,3	5,6	-217,5	265,7	-119,2	90,3
4:12	SNG 4+3	14T	ZI	155	0,7	2	0,5	287	-5,4	7,8	-7,2	7,6	-128,0	117,4	-184,5	173,9

Tabel 13: Gemeten achtergrondwind, luchtsnelheden, versnelling en da/dt op doorsnede 1, afstanden 0,8m en 3,0m van de perronrand.

Tijd passage	Materieel	T-nummer	Rijrichting	Snelheid [km/h]	v-wind-achtergrond 0.8m [m/s]	wind richt 0.8m [°]	v-wind-achtergrond 3.0m [m/s]	wind richt 0.8m [°]	a-min-passage 0.8m [m/s ²]	a-max-passage 0.8m [m/s ²]	a-min-passage 3.0m [m/s ²]	a-max-passage 3.0m [m/s ²]	da/dt-min-passage 0.8m [m/s ³]	da/dt-max-passage 0.8m [m/s ³]	da/dt-min-passage 3.0m [m/s ³]	da/dt-max-passage 3.0m [m/s ³]
21:56	ICMm		Dr	133	0,0	0,0	0,0	0,0	-4,1	2,9	-15,4	17,7	-48,9	55,2	-448,8	420,8
22:24	ICMm		Dr	138	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,1	9,7	-13,6	9,9	-123,9	158,8	-189,1	505,9
22:26	ICMm		Dr	127	1,2	29,1	1,2	324,5	-6,3	6,0	-1,9	2,1	-145,6	103,8	-35,3	30,7
23:01	VIRM	1R	Dr	127	0,9	285,7	0,8	298,0	-2,2	2,4	-5,2	6,0	-56,4	44,1	-184,5	99,7
23:02	ICM 3+4	2R	Dr	104	1,1	308,1	1,0	11,8	-2,3	3,4	-4,4	5,9	-59,4	72,5	-118,5	119,1
23:59	ICM 3	5R	Dr	127	0,8	293,3	1,1	89,9	-6,5	7,1	-2,4	3,6	-98,8	77,1	-73,8	59,9
0:01	ICM 3	6R	Dr	121	1,0	277,2	1,1	281,9	-2,1	2,0	-5,9	6,0	-36,2	40,0	-114,0	104,4
1:54	ICD (7)	3T	Dr	136	0,5	336,0	0,6	354,2	-16,8	20,3	-3,6	4,8	-665,6	634,7	-118,6	120,5
2:51	ICD (7)	7T	Dr	136	0,8	33,7	0,4	47,6	-9,0	11,4	-7,2	9,0	-328,1	297,3	-163,9	143,0
3:44	ICD (7)	11T	Dr	136	1,6	292,9	1,5	308,6	-3,8	4,8	-12,8	12,9	-72,1	67,7	-190,3	171,0
1:09	ICD (7)	1T	ZI	136	1,4	59,1	1,9	316,2	-9,0	13,1	-2,7	4,6	-275,1	233,7	-65,1	49,0
2:19	ICD (7)	5T	ZI	136	1,0	64,4	1,2	336,1	-11,7	10,8	-3,8	4,0	-253,9	179,3	-81,4	79,0
3:14	ICD (7)	9T	ZI	136	0,2	27,3	0,2	85,2	-8,7	8,2	-4,2	5,7	-255,7	258,5	-86,1	75,8
2:55	SNG 3+4	8T	Dr	154	0,7	8,9	0,5	23,6	-9,0	10,5	-6,9	10,4	-129,1	124,6	-246,0	244,4
3:48	SNG 3+4	12T	Dr	155	1,2	283,2	1,6	89,0	-7,4	7,7	-3,5	3,6	-190,0	165,8	-58,1	68,7
4:34	SNG 3+4	16T	Dr	154	0,5	10,9	0,5	21,2	-7,8	8,0	-4,5	5,4	-220,0	157,6	-79,8	85,9
2:09	SNG 4+3	6T	ZI	155	1,5	319,5	1,4	45,1	-2,8	3,1	-7,3	9,1	-68,3	70,8	-384,3	287,6
3:21	SNG 4+3	10T	ZI	155	0,6	351,5	0,7	278,0	-6,3	10,3	-4,6	7,9	-193,4	153,2	-97,9	87,4
4:12	SNG 4+3	14T	ZI	155	0,6	314,8	0,5	58,6	-6,9	8,7	-5,7	6,5	-179,4	249,9	-110,5	114,8

Tabel 14: Gemeten achtergrondwind, luchtsnelheden, versnelling en da/dt op doorsnede 2, afstanden 0,8m en 3,0m van de perronrand.

Tijd passage	Materieel	T-nummer	Rijrichting	Snelheid [km/h]	v-wind-achtergrond 2.5m [m/s]	windrichting[o]	a-min-passage 2.5m [m/s]	a-max-passage 2.5m [m/s]	a/dt-min-passage 2.5m [m/s]	a/dt-max-passage 2.5m [m/s]
23:02	ICM 3+4	2R	Dr	104	1,2	344,3	-1,3	1,5	-4,4	4,4
23:27	ICM 4	3R	Dr	129	1,0	324,3	-2,0	2,7	-8,9	11,9
23:29	ICM 3+4	4R	Dr	130	1,2	326,2	-3,5	4,3	-14,5	10,3
23:59	ICM 3	5R	Dr	127	1,1	322,0	-1,3	2,5	-5,4	5,8
0:01	ICM 3	6R	Dr	121	1,0	326,7	-1,3	2,3	-5,3	4,0
1:53	T-7xICR-T	3T	Dr	136	0,8	81,2	-2,3	3,6	-9,2	14,7
2:48	ICD	7T	Dr	136	1,1	280,2	-3,2	3,2	-11,1	15,3
3:41	ICD	11T	Dr	136	1,7	324,2	-3,9	4,6	-18,1	11,6
1:07	T-7xICR-T	1T	Zl	136	1,2	322,5	-4,0	3,6	-10,3	13,5
2:16	ICD	5T	Zl	136	0,9	327,8	-1,6	2,2	-6,8	9,1
3:12	ICD	9T	Zl	136	0,9	323,2	-2,5	2,8	-12,9	11,3
2:54	SNG 3+4	8T	Zl	154	1,3	283,6	-3,3	3,6	-16,9	13,7
3:45	SNG 3+4	12T	Dr	155	0,9	341,5	-4,3	3,5	-18,3	17,2
4:33	SNG 3+4	16T	Dr	154	1,3	275,5	-3,1	4,0	-11,1	12,8
2:07	SNG 4+3	6T	Dr	155	1,5	331,5	-3,4	6,8	-16,9	13,1
3:22	SNG 4+3	10T	Zl	155	1,0	311,2	-2,0	1,8	-8,8	8,4
4:10	SNG 4+3	14T	Zl	155	1,1	276,5	-3,1	4,1	-10,3	9,3

Tabel 15: Gemeten achtergrondwind, luchtsnelheden, versnelling en da/dt op de referentielocatie, afstand 3,0m van hart spoor.