



TNO-rapport

TM-02-C001

**Geluidhinder van de magneetzweeftrein
Transrapid 08 – een laboratoriumstudie**

TNO Technische Menskunde
Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG SOESTERBERG

www.tno.nl

T 0346 356 211

F 0346 353 977

Datum	7 januari 2002
Auteur(s)	J. Vos, F.W.M. Geurtsen
Exemplaarnummer	
Oplage	19
Aantal pagina's	26
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Projectteam Zuiderzeelijn, Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Ministerie van VROM
Projectnaam	Hinder van de magneetzweefbaan
Projectnummer	013.71246

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2002 TNO

	Blz.
INHOUD	
SAMENVATTING	3
SUMMARY	4
1 INLEIDING	5
2 METHODE	5
2.1 Geluidsfragmenten	5
2.2 Apparatuur	11
2.3 Proefpersonen	11
2.4 Procedure	12
3 RESULTATEN	13
3.1 Hinder in de conditie met “geopende ramen”	14
3.2 Hinder in de conditie met “gesloten ramen”	17
3.3 Oorzaken van de verwachte hinder	19
4 DISCUSSIE	22
4.1 Bijdrage van CSEL aan de hindervoorspelling	22
4.2 Bonus voor railverkeersgeluid	24
5 CONCLUSIES	25
REFERENTIES	26

Geluidhinder van de magneetweeftrein Transrapid 08 – een laboratoriumstudie

J. Vos en F.W.M. Geurtsen

SAMENVATTING

Vraagstelling: Als onderdeel van de verkenning Zuiderzeelijn (deel II) heeft TNO Technische Menskunde in opdracht van het Projectteam Zuiderzeelijn een onderzoek uitgevoerd naar de geluidhinder van de magneetweeftrein. Als referentie werd ook de geluidhinder van wegverkeer en treinverkeer onderzocht.

Werkwijze: Het onderzoek is uitgevoerd als een laboratoriumexperiment, omdat er nog geen magneetweefbaan in een bebouwde omgeving in gebruik is en een veldonderzoek daarom niet mogelijk is. In het laboratoriumexperiment vroegen we aan in totaal 12 luisteraars diverse geluidsfragmenten te beoordelen. De specifieke taak van de luisteraars was aan te geven hoe gehinderd ze zouden zijn als ze deze geluiden regelmatig thuis zouden horen. De belangrijkste te onderzoeken variabelen waren de snelheid waarmee de magneetweeftrein zich verplaatste (variërend van 100 tot 400 km/h), het aan de gevel optredend A-gewogen geluidexpositieniveau van de passages (variërend van 65 tot 90 dB) en de gesimuleerde gevelverzwakking. Bij de weergave van de geluiden in de luisterruimte gingen we er vanuit dat de proefpersonen zich binnen bevonden en dat de ramen geopend of geheel gesloten waren. Als referentie onderzochten we ook de hinder van wegverkeer (personen- en vrachtauto's) en meer traditioneel railverkeer (intercitytreinen).

Resultaten: Afgezien van het feit dat de hinder uiteraard sterk afhangt van het geluidexpositieniveau vonden we vier belangrijke resultaten. Uitgaande van gelijke geluidexpositieniveaus 1) was de hinder vrijwel onafhankelijk van de snelheid waarmee de magneetweeftrein zich verplaatste, 2) was de hinder van de magneetweeftrein aanmerkelijk hoger dan dat van de intercitytrein, en 3) week de hinder van de magneetweeftrein nauwelijks af van de hinder van het wegverkeer. Deze resultaten 4) golden voor beide onderzochte gevelcondities.

Conclusie: De geluidhinder van de magneetweeftrein is wezenlijk hoger dan dat van de intercitytrein. Naar verwachting is er pas sprake van gelijke hinder indien het geluidniveau van een passerende magneetweeftrein tenminste 5 dB lager is dan dat van een passerende intercitytrein.

Annoyance caused by magnetic levitation train Transrapid 08 – a laboratory study

J. Vos and F.W.M. Geurtsen

SUMMARY

Objective: For lack of detailed knowledge, Project group Zuyderzeeline (Ministry of Transport, Public Works and Water Management and Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment) contracted TNO Human Factors to investigate the annoyance caused by the sounds from magnetic levitation train pass bys. As references, road-traffic and more conventional railway sounds were included also.

Methods: Since at present, there are no tracks of the magnetic levitation train (Transrapid) located in or close to residential areas, a field survey cannot be carried out. Consequently, the research was performed in the laboratory, where we presented twelve listeners with various sound fragments. The task of the listeners was to respond after each presentation to the question: “How annoying would you find the sound in the preceding period if you were exposed to it at home on a regular basis?” The independent variables were a) the driving speed of Transrapid 08 (varying from 100 to 400 km/h), b) the outdoor A-weighted sound exposure level (ASEL) of the pass bys (varying from 65 to 90 dB), and c) the simulated outdoor-to-indoor reduction in sound level (windows open or windows closed). As references, sounds from road traffic (passenger cars and trucks) and more conventional railway (intercity trains) were included for rating also.

Results: We obtained four important results. Provided that the outdoor ASELS were the same, 1) the annoyance was independent of the driving speed of the Transrapid, 2) the annoyance caused by the Transrapid was considerably higher than that caused by the intercity train, and 3) the annoyance caused by the Transrapid was hardly different from that caused by road traffic. The results noted above 4) held true for the two façade attenuation conditions.

Conclusions: The annoyance caused by the Transrapid was significantly higher than that caused by the intercity trains. On the basis of the present results, it might be expected that the sounds are equally annoying if the ASELS of the Transrapid pass bys are at least 5 dB lower than those of the intercity train pass bys.

1 INLEIDING

Op 23 maart 2001 heeft het kabinet besloten op basis van de verkenning Zuiderzeelijn (deel I) tot het in beeld brengen van aanvullende informatie (verkenning Zuiderzeelijn deel II). Deze verkenningen vloeien voort uit de gemaakte afspraken met het Noorden in het kader van de Commissie Langman. Het proces van verkenning Zuiderzeelijn deel II is erop gericht een kabinetskeuze mogelijk te maken voor één of meer van de alternatieven voor de Zuiderzeelijn en het in te zetten vervolgproces.

In deel I van de Verkenning Zuiderzeelijn is onderzoek uitgevoerd op basis van de beschikbare Duitse geluidonderzoeken. Deze verkenning was globaal van karakter. In de verkenning deel II dient onder andere nader inzicht te worden verschaft in de hinderbeleving van het geluid van de magneetzwefbaan/magneetzwefstrein en hoe deze zich verhoudt tot de hinderbeleving van het wegverkeer en het traditionele treinverkeer.

In opdracht van het Projectteam Zuiderzeelijn (Ministerie van Verkeer en Waterstaat en het Ministerie van VROM) onderzochten we de geluidhinder van een magneetzwefstrein in een laboratoriumexperiment. Aangezien er nog geen trajecten van de magneetzwefbaan door bewoond gebied in bedrijf zijn, is het uitvoeren van een veldonderzoek niet mogelijk. In dit experiment werden diverse geluidsfragmenten aan in totaal 12 luisteraars aangeboden. De taak van de luisteraars was aan te geven hoe gehinderd ze zouden zijn als ze deze geluiden regelmatig thuis zouden horen. De belangrijkste te onderzoeken variabelen waren de snelheid waarmee de magneetzwefstrein zich verplaatste, het geluidniveau van de passages en de gesimuleerde gevelverzwakking. Bij de weergave van de geluiden in de luisterruimte werd er vanuit gegaan dat de proefpersonen binnen zaten en dat de ramen geopend of geheel gesloten waren. Als referentie werd ook de hinder van wegverkeer en intercityrailverkeer onderzocht.

2 METHODE

2.1 Geluidsfragmenten

De stimuli waren geluidspassages van een magneetzwefstrein, diverse intercitytreinen, een TGV en diverse personen- en vrachtauto's.

De geluidopnamen van de magneetzwefstrein (type Transrapid 08, Lathen, Duitsland) werden verstrekt door M+P Raadgevende Ingenieurs BV uit 's-Hertogenbosch (De Graaff e.a., 2001). De verplaatsingssnelheid bedroeg 100, 160, 200, 325, 350 of 400 km/h. Voor elke snelheid waren er vier opnamen, met een afstand tussen de bron en de microfoon van 25, 50, 100 en 200 m. Uit deze opnamen selecteerden we vier snelheden (100, 200, 325 en 400 km/h) en drie opnameafstanden (25, 50 en 100 m). De tussenliggende snelheden boden geen noemenswaardige extra informatie. Door de lage signaal-ruisverhouding van de opnamen bij een afstand van 200 m beperkten we ons tot de eerder genoemde afstanden van 25, 50 en 100 m.

Tabel 1 Overzicht van de geluidsstimuli die voor het experiment zijn samengesteld. Het bereik van het buiten aan de gevel te simuleren A-gewogen geluidexpositieniveau (ASEL) wordt voor iedere geluidbron aangegeven met de kruisjes. Het ASEL niveau aan het oor van de luisteraar is lager dan het hier aangegeven gevelniveau en hangt af van de gesimuleerde gevelverzwakking (ramen geopend vs. ramen gesloten).

geluidbron	v (km/h)	ASEL aan de gevel (dB)					
		65	70	75	80	85	90
magneetweeftrein	100	x	x	x	x		
	200	x	x	x	x		
	325			x	x	x	x
	400			x	x	x	x
intercitytrein	120–140			x	x	x	x
TGV	300			x	x	x	x
wegverkeer	80	x	x	x	x	x	

Op basis van de resterende 12 kwalitatief goede geluidopnamen werden 16 verschillende fragmenten geprepareerd (zie Tabel 1). Elk fragment bevatte één treinpassage. Een realistische weergave van de geluiden vereist niet alleen een goede geluidskwaliteit, maar ook dat, gegeven een bepaalde beoogde bron-ontvangerafstand, het niveau waarop de geluiden uiteindelijk in het laboratorium worden afgespeeld, niet te veel afwijkt van het werkelijk optredende niveau. Aan deze laatste eis kon worden voldaan door voor snelheden van 100 en 200 km/h uit te gaan van buiten aan de gevel optredende A-gewogen geluidexpositieniveaus (ASEL) van 65–80 dB. Voor de passages met snelheden van 325 en 400 km/h kon een hoge representativiteit worden verkregen door uit te gaan van ASEL-waarden van 75–90 dB (zie Tabel 1).

Binnen iedere snelheid werd voor de twee laagste niveaus de opname bij een afstand van 100 m gebruikt; voor het op één na hoogste niveau en het hoogste niveau werden de opnamen bij een afstand van respectievelijk 50 en 25 m gebruikt.

De geluidopnamen van de passerende intercitytreinen hebben we zelf gemaakt in de middag van woensdag 31 januari 2001, tussen 15.00 en 16.00 uur. De meetlocatie bevond zich aan de spoorlijn Utrecht–Arnhem, ter hoogte van de Langekampweg in Ede (traject 352 van het Akoestisch Spoorboekje, ter hoogte van km 72.150). Voor de ASEL-waarden van 75, 80 en 85 dB gebruikten we opnamen van de reizigerstreinen ICR/ICM (doorloopkop en getrokken materieel) en IRM/DD (dubbeldekker), bij een afstand van 100 m. Voor de ASEL-waarde van 90 dB gebruikten we weer een opname van treintype IRM/DD, nu bij een afstand van 35 m. De snelheid van de diverse treinen is niet gemeten, maar moet tussen 120 en 140 km/h hebben gelegen. Net als bij de magneetweeftrein bevatte elk fragment één treinpassage.

De geluidopnamen van de TGV werden verstrekt door DHV in Amersfoort. Voor de ASEL-waarden van 75 en 80 dB gebruikten we een opname die op een afstand van 200 m was gemaakt; voor de ASEL-waarden van 85 en 90 dB kon een passage worden gebruikt die op een afstand van 50 m was opgenomen. De snelheid van de TGV bedroeg circa 300 km/h.

De geluiden van passerende personen- en vrachtauto's werden weer door ons zelf opgenomen op afstanden van 12.5, 25 en ca. 60 m van de as van een provinciale weg. De rijnsnelheid bedroeg ongeveer 80 km/h. Voor de stimuli met ASEL-waarden van 65 en 70 dB gebruikten we geluiden die bij een afstand van 60 m waren opgenomen. Voor de stimuli met ASEL-waarden van 75 en 80 dB gingen we uit van opnamen die waren uitgevoerd bij een afstand van 25 m, en voor de stimulus met het hoogste niveau van 85 dB gebruikten we opnamen die bij een afstand van 12.5 m waren verkregen. Ieder geluidsfragment met wegverkeer bestond uit 10–12 passe-

rende personenauto's en één passerende middelzware of zware vrachtauto. Het maximale A-gewogen niveau van passerende vrachtauto's is gemiddeld genomen circa 10 dB hoger dan dat van passerende personenauto's (zie bijv. Versfeld en Vos, 1997, 2002).

Met Cool Edit 2000 (Syntrillium Software Corporation) werden de originele geluidopnamen nog verder bewerkt. Net voordat het specifieke brongeluid boven het in de opname aanwezige achtergrondlawaai hoorbaar was werd het geluid over een kort tijdsinterval gelijkmatig ingeklonken (fade-in) en even voordat het brongeluid weer door het achtergrondlawaai zou worden gemaskeerd, werd het uitgeklonken (fade-out). Deze bewerkingen werden op alle verkeersgeluiden toegepast. Bij sommige opnamen van de magneetzweeftrein was het nodig het geluid na enige tijd uit te laten klinken omdat de trein sneller ging rijden. Ook werden al te storende vogelgeluiden in sommige opnamen van de magneetzweeftrein, en zeer laagfrequente aspecifieke geluiden in de opnamen van de TGV zo goed mogelijk weggefilterd.

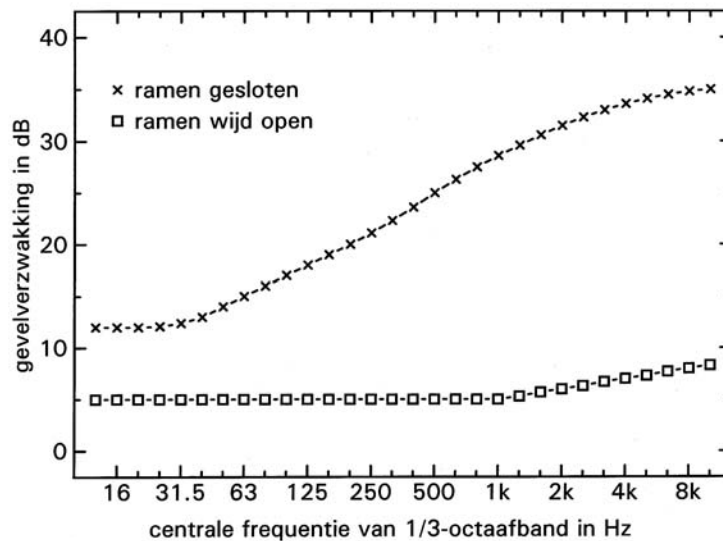


Fig. 1 Gevelverzwakking als functie van frequentie, voor twee condities.

Bij de weergave van de geluiden in de luisterruimte werd er vanuit gegaan dat de proefpersonen binnen zaten en dat de ramen geheel of gedeeltelijk gesloten waren. Figuur 1 laat zien welke frequentie-afhankelijke gevelverzwakkingen in rekening werden gebracht.

Voor de conditie waarin gesimuleerd werd dat de ramen open stonden werd voor de 1/3-octafbanden tussen 12.5 en 1000 Hz een constante verzwakking van 5 dB aangenomen. Voor de hogere frequenties was deze verzwakking ten hoogste 8 dB. Voor de conditie waarin gesimuleerd werd dat de ramen geheel gesloten waren nam de gevelverzwakking toe van 12 dB bij zeer lage frequenties, tot 35 dB bij 10 kHz. Deze gevelverzwakking mag als representatief voor de normale Nederlandse woning worden beschouwd. Een uitvoerige motivering van de hier gekozen gevelverzwakking kan men vinden in Vos (2001).

De afmetingen van de luisterruimte (1 Hb Hh) bedroegen 4.7 H 2.6 H 2.9 m. Omdat deze luister-ruimte in vergelijking met de meeste woonkamers relatief klein was en daardoor enkele specifieke resonantiefrequenties had (o.a. die rond 30 en 60 Hz), werden met de akoestiek van de kamer samenhangende verhogingen en verlagingen in het geluidsspectrum zo goed mogelijk

gecorrigeerd. Uiteindelijk werd voor frequenties tussen 25 en 8000 Hz binnen circa 4 dB (standaarddeviatie van de afwijkingen in de diverse tertsbandjes gelijk aan 2.6 dB) een rechte frequentiekaracteristiek verkregen, hetgeen een bevredigend resultaat was.

Met behulp van een Larson-Davis spectrum analyzer (Model 3200) en een Brüel & Kjær geluidniveaumeter (type 2236) werden spectra van de geluidsfragmenten bepaald. De op de geluidniveaumeter gemonteerde microfoon bevond zich op de plaats waar het hoofd van de proefpersoon zich bevond. De geluidsspectra worden uitgedrukt in het lineair gewogen geluidsexpositieniveau per 1/3-octaaftband. We beperken ons tot de spectra van de geluiden voor de conditie waarin werd gesimuleerd dat de ramen wijd open stonden.

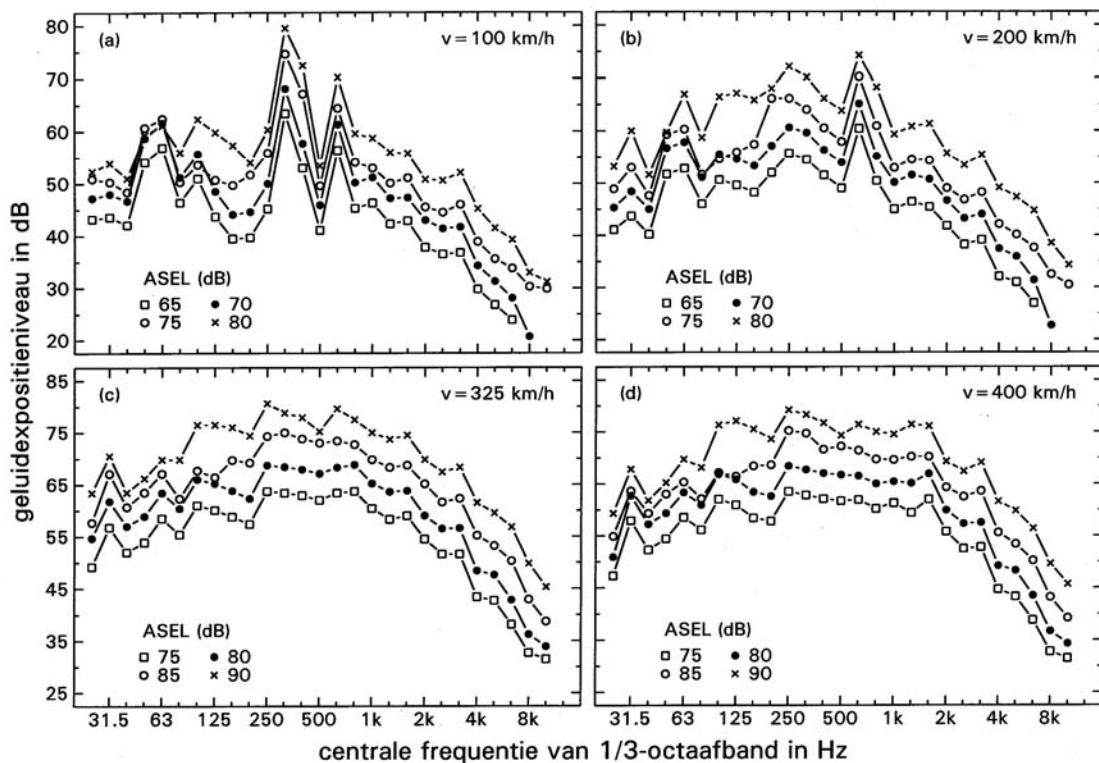


Fig. 2 Geluidsexpositieniveau per 1/3-octaaftband, zoals bepaald aan het oor van de luisteraar in de gevelconditie met “geopende ramen,” voor vier snelheden waarmee de magneetzweeftrein passeerde. Per snelheid zijn er steeds vier spectra, overeenkomend met de in de figuren aangegeven aan de gevel optredende (overall) A-gewogen geluidsexpositieniveaus. Snelheid in km/h: a) 100, b) 200, c) 325 en d) 400.

De spectra van de geluidspassages van de magneetzweeftrein worden gegeven in Figuur 2. Per rijnsnelheid zijn er steeds vier spectra, corresponderend met aan de gevel optredende ASEL-waarden van 65, 70, 75 of 80 dB voor snelheden van 100 en 200 km/h, en met aan de gevel optredende ASEL-waarden van 75, 80, 85 of 90 dB voor snelheden van 325 en 400 km/h.

Figuur 2a laat zien dat bij een snelheid van 100 km/h de spectra worden gekenmerkt door twee duidelijke pieken rond 315 en 630 Hz. Uit Figuur 2b blijkt dat bij een snelheid van 200 km/h de spectrale piek rond 315 Hz vrijwel geheel is verdwenen. Qua grootte is alleen de piek rond 630 Hz nog vergelijkbaar met die uit Figuur 2a. In de spectra voor de snelheden van 325 km/h

(Figuur 2c) en 400 km/h (Figuur 2d) zijn geen duidelijke pieken meer te zien. De geluiden zijn zeer breedbandig, met relevante spectrale energie tussen op z'n minst 100 en 2000 Hz.

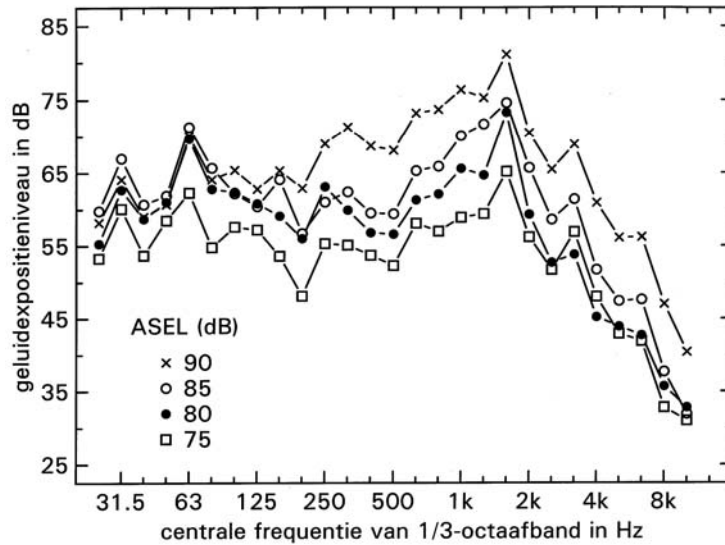


Fig. 3 Geluidsexpositieniveau per 1/3-octafband, zoals bepaald aan het oor van de luisteraar in de gevelconditie met “geopende ramen,” voor passages van de intercitytreinen. Er zijn vier spectra, overeenkomend met de aangegeven aan de gevel optredende (overall) A-gewogen geluidsexpositieniveaus.

De geluidsspectra van de intercitytreinen worden gegeven in Figuur 3. Naast de twee kleine pieken rond 31.5 en 63 Hz springt vooral de piek rond 1600 Hz in het oog. Voor frequenties in de hogere 1/3-octafbanden nam het geluidniveau sterk af met toenemende frequentie.

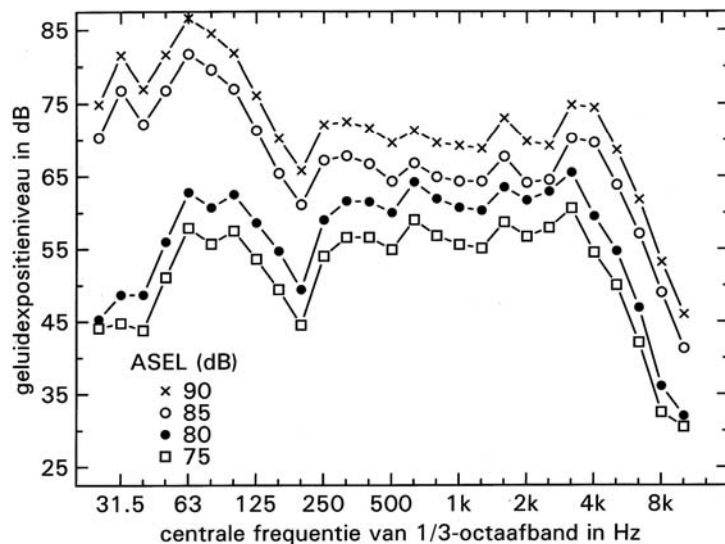


Fig. 4 Als Figuur 3, maar nu voor passages van een TGV.

Uit Figuur 4 blijkt dat het geluid van de voorbijrijdende TGV zelfs tot aan frequenties van circa 3–4 kHz zeer veel energie bevatte. Voor de frequenties tussen 40 en 160 Hz zijn er grote verschillen in geluidniveau tussen de passage die op een afstand van 50 m was opgenomen (in het experiment gebruikt voor de condities met een aan de gevel optredende ASEL van 85 en 90 dB) en de passage die op een afstand van 200 m was opgenomen (gebruikt voor de conditie met

de twee lagere overall niveaus). Hierboven is al aangegeven dat we voor de passage die op een afstand van 200 m was opgenomen laagfrequent geluid moesten wegfilteren vanwege de slechte geluidskwaliteit.

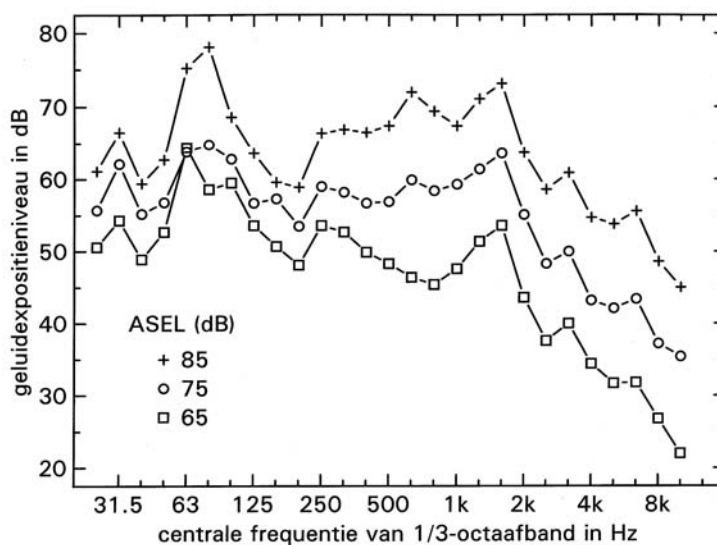


Fig. 5 Geluidexpositieniveau per 1/3-octaaftand, zoals bepaald aan het oor van de luisteraar in de gevelconditie met “geopende ramen,” voor wegverkeer. Getoond worden drie van de vijf spectra, overeenkomend met de aangegeven aan de gevel optredende (overall) A-gewogen geluidexpositieniveaus.

Figuur 5 laat de spectra van het wegverkeersgeluid zien voor drie van de vijf condities. Ook deze geluiden bevatten relatief veel energie in een groot frequentiegebied. Een duidelijke afname van het geluidniveau vindt pas plaats voor frequenties hoger dan circa 1600 Hz.

Gedurende de experimentele sessies werd ter voorkoming van een akoestisch gezien artificiële laboratoriumsituatie zacht continu achtergrondgeluid aangeboden dat bestond uit gefilterde roze ruis. In de conditie waarin gesimuleerd werd dat de ramen open stonden leek dit geluid op dat van verkeersgeluid van een op relatief grote afstand gelegen autoweg. Dit geluid werd afgespeeld op een aan het oor gemeten A-gewogen equivalent geluidniveau van 35 dB. In de conditie waarin gesimuleerd werd dat de ramen gesloten waren werden naast een algehele reductie in het geluidniveau de lage frequenties nog extra verzwakt. Met dit geluid werd beoogd geluiden van de cv-installatie of het ventilatiesysteem te simuleren. Het A-gewogen equivalente geluidniveau bedroeg in deze conditie slechts 29 dB.

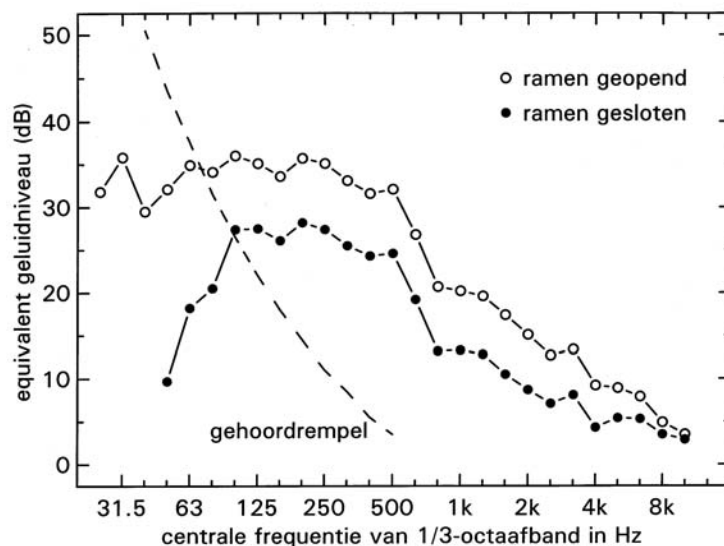


Fig. 6 Lineair gewogen equivalent geluidniveau per 1/3-octafband, zoals bepaald aan het oor van de luisteraar in twee gevelcondities. Delen van de spectra onder de tevens aangegeven gehoordrempel zijn niet meer waarneembaar.

De spectra voor beide typen achtergrondgeluid zijn weergegeven in Figuur 6. Door de lage geluidsniveaus in de diverse tertsbanden is het geluid met frequenties lager dan 63–100 Hz niet langer hoorbaar (zie de in Figuur 6 opgenomen binaurale gehoordrempel van otologisch geselecteerde jonge luisteraars).

2.2 Apparatuur

Het experiment werd geheel gestuurd via een computer. De geluiden werden ten gehore gebracht door middel van een luidspreker (JBL-4425) die achter een gordijn verborgen was. De proefpersoon zat achter een tafel waarop een monitor en een toetsenbord waren geplaatst. De afstand tussen de proefpersoon en de luidspreker bedroeg circa 3 m. De luisterruimte was akoestisch zeer goed geïsoleerd. De nagalmtijd was korter dan 0.5 s voor frequenties boven 100 Hz. Audiogrammen werden bepaald met behulp van een Madsen Memory Threshold Audiometer (MTA 86) in de auto-thresholdfunctie met pulserende tonen.

2.3 Proefpersonen

Er namen 12 proefpersonen aan het experiment deel (6 mannen en 6 vrouwen). De leeftijd varieerde van 23 tot 34 jaar ($M = 27.2$, $sd = 4.1$ jaar). Voordat het experiment werd afgenomen werd voor het rechter en linker oor apart een audiogram bepaald met sinustonen tussen 250 en 8000 Hz. Bij tien proefpersonen was het gehoorverlies (beste oor) ≤ 10 dB, en bij twee proefpersonen ≤ 15 dB voor het gehele onderzochte frequentiegebied. De proefpersonen kregen een financiële vergoeding.

2.4 Procedure

Nadat het audiogram was bepaald nam de proefpersoon plaats in de luisterruimte. De helft van de proefpersonen begon met de condities waarin gesimuleerd werd dat de ramen geopend waren, de andere helft begon met de condities waarin de geluiden zo ten gehore werden gebracht dat het net was alsof de ramen geheel gesloten waren. Het bij de betreffende gevelconditie behorende achtergrondlawaai was vanaf het begin ononderbroken aanwezig. Ter verhoging van de betrouwbaarheid van de resultaten werden per gevelconditie alle 29 stimuli twee keer in afzonderlijke blokken aangeboden.

De schriftelijke instructies die iedere proefpersoon aan het begin van het experiment ontving luiden als volgt:

“De bedoeling van deze luisterproef is meer over de hinderlijkheid van verkeersgeluiden te weten te komen. In het experiment worden diverse voorbijrijdende auto’s en treinen ten gehore gebracht. Na iedere conditie word je gevraagd de hinder van deze geluiden te beoordelen.

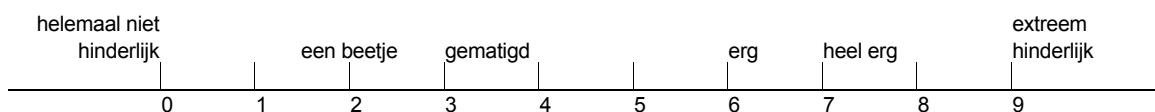
Onder geluidhinder wordt de (over)last verstaan die men kan hebben doordat men regelmatig wordt blootgesteld aan geluid. Denk bijvoorbeeld aan de overlast die kan ontstaan doordat men in de buurt van een fabriek, een snelweg of een luchthaven woont. Het geluid kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat je elkaar moeilijk kan verstaan, of dat je afgeleid wordt bij het lezen.

Bij de weergave van de geluiden is er vanuit gegaan dat je, net als nu, binnen zit en dat de ramen geheel of gedeeltelijk gesloten zijn.

In werkelijkheid is het nooit echt stil om ons heen. Niet alleen op het werk, maar ook thuis, is er altijd wel achtergrondgeluid te horen. Ook in deze luisterruimte is er daarom voortdurend wat achtergrondgeluid aanwezig. In de condities waarin gesimuleerd wordt dat de ramen geopend zijn is het achtergrondgeluid uiteraard wat harder dan in de condities waarin gesimuleerd wordt dat de ramen geheel gesloten zijn. Ga er straks bij de beoordelingen vanuit dat je aan dit achtergrondgeluid gewend bent geraakt en dat dit dus geen hinder meer veroorzaakt.

Iedere conditie duurt 45 seconden. Het begin en einde van een conditie wordt aangegeven via het beeldscherm. Er zijn condities waarin gedurende de gehele periode verkeersgeluid te horen is. Er zijn ook allerlei condities waarin het geluid voor kortere of langere tijd afwezig is. Na iedere conditie word je gevraagd op basis van alles wat er in die 45 seconden is gebeurd, de hinder van het geluid te beoordelen.

De vraag die je na iedere conditie moet beantwoorden luidt dus: **“Hoe hinderlijk zou je het geluid in de afgelopen periode vinden indien je het regelmatig thuis zou horen?”** Geef je beoordeling door op het toetsenbord (bovenste rij toetsen) een getal tussen 0 en 9 in te tikken (zie de schaal hieronder).



Nadat je een RETURN hebt gegeven wordt automatisch de volgende conditie met weer een ander geluid gestart. Op de monitor wordt aangegeven wanneer je moet antwoorden of wanneer er een conditie te horen is.

Probeer zo goed mogelijk gebruik te maken van de antwoordschaal. Condities die je ten opzichte van de andere condities niet of nauwelijks hinderlijk vindt geef je een laag cijfer, condities die ten opzichte van de andere de meeste hinder opleveren geef je een hoog cijfer. Om een indruk te krijgen van de verschillen tussen de condities, krijg je eerst enkele oefencondities te horen. De beoordelingen van deze condities tellen dus nog niet mee.

Na sommige condities worden er naast de hoofdvraag nog enkele vragen gesteld naar de oorzaken van de door jou verwachte hinder. We brengen vijf verschillende oorzaken naar voren:

Ik ben gehinderd omdat het geluid ...

- 1) zo hard is
- 2) me een onveilig gevoel geeft
- 3) zo bonkt
- 4) zo snerpend is
- 5) zo plotseling komt dat het me doet schrikken

Door het aanvinken van het betreffende blokje geef je voor iedere oorzaak vervolgens aan in hoeverre deze op jou van toepassing is.

Na de oefencondities zal de proefleider nog even in de luisterkamer komen om eventuele vragen te beantwoorden. Hierna begint het echte experiment. Na elke 25 minuten is er een korte pauze. Het beoordelen van de hinder van alle condities duurt in totaal circa twee uur. Inclusief pauzes enz. duurt het experiment circa 3.5 tot 4 uur.

Veel succes, en alvast bedankt voor je medewerking.”

In de conditie met de ramen open bevatte het oefenblok de volgende zes geluiden, met tussen haakjes het aan de gevel geldende ASEL-niveau: magneetweeftrein 100 km/h (65 dB), magneetweeftrein 200 km/h (70 dB), wegverkeer (75 dB), intercitytrein (80 dB), wegverkeer (85 dB) en magneetweeftrein 400 km/h (90 dB).

In de conditie waarin de ramen gesloten waren bevatte het oefenblok de volgende zes geluiden: magneetweeftrein 200 km/h (65 dB), magneetweeftrein 100 km/h (70 dB), intercitytrein (75 dB), wegverkeer (80 dB), magneetweeftrein 325 km/h (85 dB) en TGV (90 dB). De volgorde van de stimuli in zowel het oefenblok als in de experimentele blokken was steeds geheel willekeurig. In het oefenblok en het tweede experimentele blok van een bepaalde gevelconditie kregen de proefpersonen voor hinderscores groter dan 4 nog de eerder genoemde vijf vragen gesteld om meer te weten te komen over de oorzaken van de door hen verwachte hinder. Per vraag waren er vijf antwoordalternatieven: volkomen juist, klopt wel aardig, ik weet het niet, klopt niet helemaal of klopt helemaal niet. In principe konden de proefpersonen net zoveel tijd nemen om een antwoord te geven als zij zelf nodig vonden. Tussen de experimentele blokken werden korte pauzes ingelast.

3 RESULTATEN

De binnenshuis beoordeelde hinder wordt beschreven als functie van het aan de gevel optredende A-gewogen geluidexpositieniveau. De resultaten die in de twee gevelcondities zijn verkregen worden afzonderlijk gepresenteerd.

Met betrekking tot de betrouwbaarheid van de verkregen hinderscores stelden we als eis dat voor iedere proefpersoon de correlatie tussen de scores in de eerste en de tweede meting hoger dan 0.50 moest zijn. Er was één proefpersoon die althans voor de scores in de conditie met “geopende ramen” niet aan deze eis voldeed. Deze persoon werd vervangen door een nieuwe, dertiende, proefpersoon met correlatiecoëfficiënten die ruim boven het vereiste criterium lagen.

3.1 Hinder in de conditie met “geopende ramen”

De voor iedere proefpersoon afzonderlijk berekende correlatie tussen de eerste en de tweede hinderscore van de 29 gerepliceerde geluidsfragmenten lag tussen 0.54 en 0.82 ($M = 0.72$, $sd = 0.09$).

Uit hieronder nog te bespreken variantieanalyses over de hinderscores uit een drietal deelverzamelingen van de 29 experimentele condities is gebleken dat de hinderscores in de eerste meting niet significant afweken van de hinderscores in de tweede meting ($p > 0.05$), en dat er géén significante eerste en tweede orde interactie-effecten waren tussen herhaalde meting en de stimulusvariabelen ($p \geq 0.10$). Bij het presenteren van de resultaten gaan we daarom uit van scores die niet alleen over proefpersonen, maar ook over de replica zijn gemiddeld.

Tabel 2 Gemiddelde hinderscores in de conditie met geopende ramen.

geluidbron	v (km/h)	ASEL aan de gevel (dB)					
		65	70	75	80	85	90
magneetzweeftrein	100	3.3	4.5	4.7	5.5		
	200	3.3	4.7	5.4	6.4		
	325			5.3	6.3	7.6	8.2
	400			5.3	6.4	7.5	8.3
intercitytrein	120–140			4.3	4.9	5.5	6.4
TGV	300			4.9	5.7	7.3	8.0
wegverkeer	80	3.3	4.9	5.3	6.0	6.9	

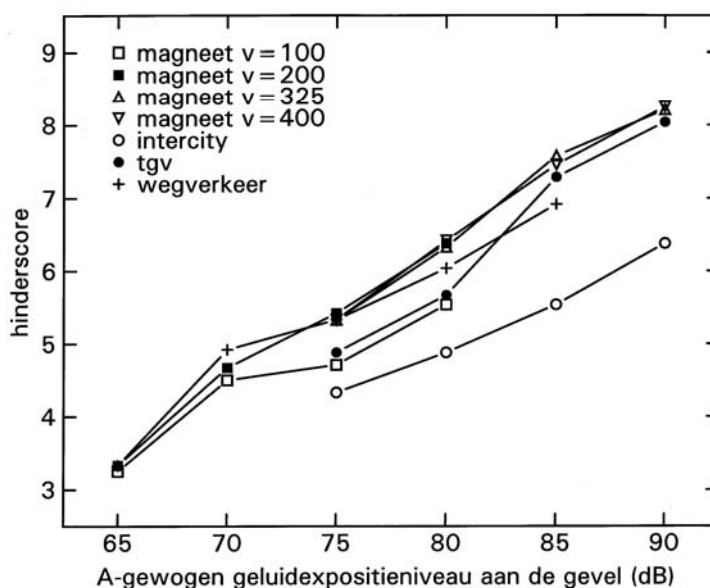


Fig. 7 Gemiddelde hinder, zoals beoordeeld in de conditie met “geopende ramen,” als functie van het aan de gevel optredende A-gewogen geluidexpositieniveau, voor alle geluidsfragmenten.

Figuur 7 geeft een totaaloverzicht van de gemiddelde hinderscores als functie van ASEL voor ieder brontype afzonderlijk. Voor de duidelijkheid zijn overlappende symbolen iets uit elkaar gehaald. De exacte gemiddelden voor elke conditie staan in Tabel 2.

Om maar direct met de deur in huis te vallen: er zijn vier globale effecten gevonden. Het sterkste effect, dat overigens niemand zal verbazen, is 1) dat de hinder toenam met het geluidniveau. Vervolgens laten de gegevens in Figuur 7 zien dat bij een gelijk geluidniveau 2) de hinder van de magneetzweeftrein nauwelijks afweek van de hinder van het wegverkeer, en 3) dat de hinder van de intercitytreinen lager was dan dat van de magneetzweeftrein en het

wegverkeer. Tot slot 4) lijkt de groei in hinder met toenemend geluidniveau iets groter te zijn voor de TGV dan voor de overige geluidbronnen.

De statistische significantie van de gesignaleerde effecten werd uitvoerig onderzocht met behulp van variantie-analyses.

Dataset I. Allereerst onderwierpen we de hinderscores voor het wegverkeer en de twee laagste snelheden van de magneetzwefstrein, elk voor ASEL-waarden van 65, 70, 75 en 80 dB, aan een variantie-analyse [12 (proefpersonen) \times 3 (geluidtype) \times 4 (geluidniveau) \times 2 (replica), alle variabelen binnen proefpersonen]. Het geluidniveau had een zeer significante invloed op de hinderscores [F(3,33)=82.0, $p < 0.000001$]. De relatief kleine invloed van geluidtype op de hinder was nog net significant [F(2,22)=3.7, $p < 0.05$]. Uit de gemiddelde scores zou men kunnen opmaken dat de hinder van de magneetzwefstrein bij een snelheid van 100 km/h minder snel toenam met het geluidniveau dan dat van de overige twee geluidbronnen. De interactie tussen geluidtype en geluidniveau was echter niet significant [F(6,66)=1.70, $p > 0.13$].

Dataset II. Vervolgens onderwierpen we de hinderscores voor de twee hoogste snelheden van de magneetzwefstrein en de hinderscores van de intercitytrein en de TGV, elk voor ASEL-waarden van 75, 80, 85 en 90 dB, aan een variantie-analyse [12 (proefpersonen) \times 4 (geluidtype) \times 4 (geluidniveau) \times 2 (replica), ook nu weer alle variabelen binnen proefpersonen]. Wederom werd de zeer significante invloed van het geluidniveau op de hinder bevestigd [F(3,33)=63.0, $p < 0.000001$]. De invloed van het geluidtype was eveneens zeer significant [F(3,33)=17.1, $p < 0.00001$]. Dit effect moet hoofdzakelijk worden toegeschreven aan de relatief lage hinder van de intercitytreinen. De gevonden significante interactie tussen geluidtype en geluidniveau [F(9,99)=2.38, $p < 0.02$] wordt grotendeels veroorzaakt door de hinder van de TGV, die voor de lage ASEL-waarden van 75 en 80 dB nog tussen die van de intercitytrein en de magneetzwefstrein in lag, maar voor de hoge ASEL-waarden van 85 en 90 dB niet meer van de hinder van de magneetzwefstrein was te onderscheiden. Uit een variantie-analyse waarbij de hinderscores voor de TGV waren weggelaten bleek dat we in statistische zin ook nog wel enige waarde kunnen hechten aan het met toenemend niveau groeiende verschil in hinder tussen de magneetzwefstrein en de intercitytrein [F(6,66)=2.15, $p < 0.06$].

Dataset III. De variantie-analyse over de hinderscores voor het wegverkeer en de vier geluidbronnen die ook in dataset II waren opgenomen, nu voor de ASEL-waarden van 75, 80 en 85 dB, leverde geen nieuwe gezichtspunten meer op. Interessant is eigenlijk alleen nog het beantwoorden van de vraag of de groei van de hinder van het wegverkeer met toenemend geluidniveau statistisch significant achterblijft bij dat voor de magneetzwefstrein. Uit een extra analyse over alleen deze condities bleek dat dit interactie-effect niet significant is [F(4,44)=1.2, $p > 0.32$] en dat er ook gemiddeld over de drie geluidniveaus geen significant verschil bestaat tussen de hinder van het wegverkeer en dat van de twee snelheden van de magneetzwefstrein [F(2,22)=2.1, $p > 0.14$].

Samenvattend

Als we voorbijgaan aan het kleine en nauwelijks significante verschil in hinder van de zich met een snelheid van 100 km/h voortbewegende magneetzwefstrein aan de ene kant en de hinder van de zich met een snelheid van 200 km/h verplaatsende magneetzwefstrein en het wegverkeer

aan de andere kant, komen we met betrekking tot de binnenshuis ervaren hinder met “geopende ramen” tot twee hoofdconclusies: de geluidhinder ten gevolge van passerende magneetweeftreinen is bij vergelijkbare ASEL-waarden 1) duidelijk hoger dan dat van passerende intercitytreinen, en 2) vrijwel gelijk aan de hinder van wegverkeersgeluid. Door het beperkte aantal gebruikte geluidopnamen, waarvan de kwaliteit overigens te wensen over liet, willen we aan de resultaten voor de TGV nog geen sterke conclusies verbinden.

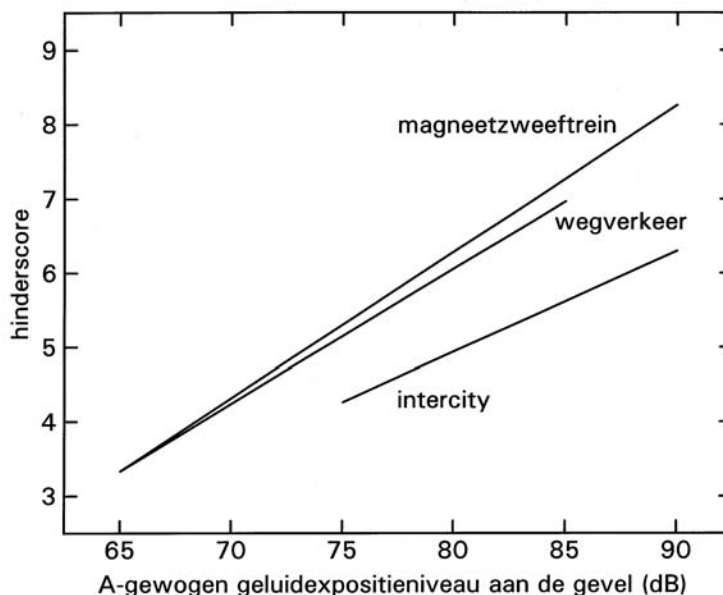


Fig. 8 Met behulp van lineaire regressie-analyses verkregen dosis-effectrelaties voor de magneetweeftrein, het wegverkeer en de intercitytrein.

Figuur 8 laat de drie dosis-effectrelaties zien. Deze relaties zijn verkregen door voor de drie geluidbronnen afzonderlijk een rechte lijn te fitten aan alle gemiddelde hinderscores. Voor de magneetweeftrein, met in totaal 16 datapunten, wordt de hinder (y) zeer goed beschreven met $y = -9.47 + 0.197L_{AE}$, de correlatiecoëfficiënt, r , bedraagt 0.98. Voor het wegverkeer (5 datapunten) en de intercitytrein (4 datapunten) worden de dosis-effectrelaties gegeven door respectievelijk $y = -7.14 + 0.166L_{AE}$ en $y = -5.95 + 0.136L_{AE}$. Ook bij deze laatste twee bronntypen was het verband tussen ASEL en de gemiddelde hinderscore zeer sterk, met r -waarden van 0.98 en 0.995. De (niet in Figuur 8 getoonde) dosis-effectrelatie voor de TGV wordt gegeven door $y = -11.85 + 0.222L_{AE}$ ($r = 0.99$).

Een directe vergelijking van de beoordeelde hinder op basis van de aangeboden geluidsfragmenten leidt in termen van ASEL tot een aan het wegverkeer gerelateerde bonus voor de intercitytreinen van circa 5 dB bij $L_{AE} = 75$ dB en circa 9 dB bij $L_{AE} = 90$ dB. Voor de twee hier beschouwde treintypen kan het verschil in hinder ook worden gekwantificeerd: de typen zijn even hinderlijk indien, afhankelijk van het geluidniveau, de ASEL-waarden van een passerende magneetweeftrein 5–10 dB lager is dan dat van een passerende intercitytrein.

3.2 Hinder in de conditie met “gesloten ramen”

De voor iedere proefpersoon afzonderlijk berekende correlatie tussen de eerste en de tweede hinderscore van de 29 gerepliceerde geluidsfragmenten lag tussen 0.57 en 0.88 ($M = 0.74$, $sd = 0.09$).

Uit de variantieanalyses over de hinderscores uit een drietal deelverzamelingen van de 29 experimentele condities is gebleken dat de hinderscores in de eerste meting niet significant afweken van de hinderscores in de tweede meting ($p \geq 0.85$), en dat er in slechts één van de drie deelverzamelingen sprake was van kleine en moeilijk te interpreteren significante eerste orde interactie-effecten tussen herhaalde meting en de stimulusvariabelen ($p \geq 0.02$). Zo werden de geluiden van de intercitytrein en de met 400 km/h rijdende magneetzwefstrein de tweede keer iets hinderlijker beoordeeld dan de eerste keer, terwijl dat voor de geluiden van de TGV en de met 325 km/h rijdende magneetzwefstrein net andersom was. Een significant (tweede orde) interactie-effect tussen herhaalde meting, geluidniveau en geluidtype werd in geen enkel geval gevonden ($p \geq 0.14$). Bij het presenteren van de resultaten gaan we daarom weer uit van scores die niet alleen over de proefpersonen, maar ook over de replica zijn gemiddeld.

Tabel 3 Gemiddelde hinderscores in de conditie met gesloten ramen.

geluidbron	v (km/h)	ASEL aan de gevel (dB)					
		65	70	75	80	85	90
magneetzwefstrein	100	1.3	2.4	3.2	4.0		
	200	1.2	2.5	3.6	5.0		
	325			3.8	4.8	5.6	6.8
	400			3.5	4.4	5.4	6.4
intercitytrein	120–140			2.4	3.2	4.1	5.3
TGV	300			2.7	3.6	5.8	6.9
wegverkeer	80	1.0	3.1	2.8	4.2	5.6	

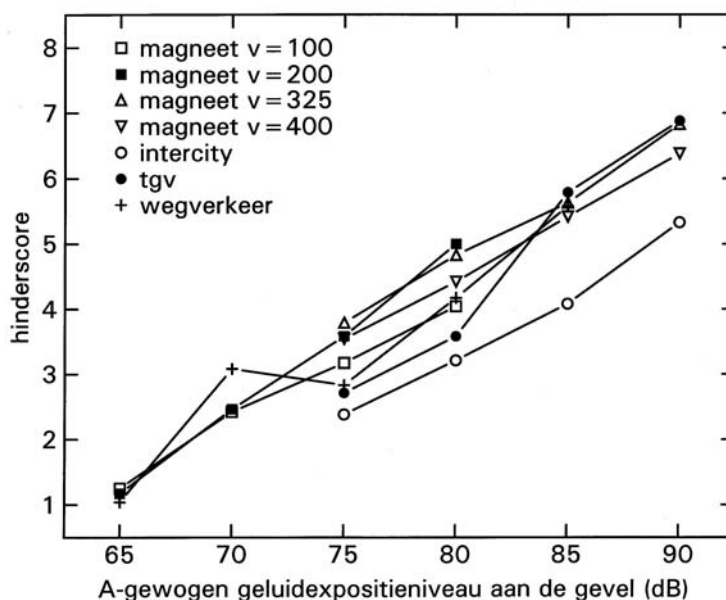


Fig. 9 Gemiddelde hinder, zoals beoordeeld in de conditie met “gesloten ramen,” als functie van het aan de gevel optredende A-gewogen geluidexpositieniveau, voor alle geluidsfragmenten.

Figuur 9 geeft een totaaloverzicht van de gemiddelde hinderscores als functie van ASEL voor ieder brontype afzonderlijk. Voor de duidelijkheid zijn overlappende symbolen weer iets uit elkaar gehaald. De exacte gemiddelden voor elke conditie staan in Tabel 3.

Er zijn weer vier globale effecten gevonden. Het sterkste effect is 1) dat de hinder toenam met het geluidniveau. Vervolgens laten de gegevens in Figuur 9 zien dat bij een gelijk geluidniveau 2) de hinder van de magneetzwefstrein maar weinig afweek van de hinder van het wegverkeer, en 3) dat de hinder van de traditionele intercitytreinen aanmerkelijk lager was dan dat van de magneetzwefstrein en het wegverkeer. Tot slot 4) lijkt de groei in hinder met toenemend geluidniveau iets groter te zijn voor de TGV dan voor de overige geluidbronnen.

Net als in §3.1 werd de statistische significantie van de gesignaleerde effecten weer uitvoerig onderzocht met behulp van variantie-analyses.

Dataset I. Allereerst onderwierpen we de hinderscores voor het wegverkeer en de twee laagste snelheden van de magneetzwefstrein aan dezelfde variantie-analyse die ook in §3.1 voor dataset I is gebruikt. Het geluidniveau had een zeer significante invloed op de hinderscores [$F(3,33)=88.2$, $p<0.000001$]. De invloed van geluidtype op de hinder was niet significant [$F(2,22)=1.1$, $p>0.35$]. De interactie tussen geluidtype en geluidniveau was significant [$F(6,66)=3.27$, $p<0.007$]. Dit interactie-effect is veroorzaakt door het enigszins grillige verloop van de hinder van het wegverkeer bij geluidniveaus van 70 en 75 dB. Uit een analyse over alleen de scores voor de magneetzwefstrein bleek dat de toename van het verschil in hinder tussen de twee snelheidscondities met toenemend geluidniveau niet significant was [$F(3,33)=1.97$, $p>0.14$].

Dataset II. Vervolgens onderwierpen we de hinderscores voor de twee hoogste snelheden van de magneetzwefstrein en de hinderscores van de intercitytrein en de TGV, elk voor ASEL-waarden van 75, 80, 85 en 90 dB, aan de variantie-analyse die ook in §3.1 voor dataset II is gebruikt. Wederom werd de zeer significante invloed van het geluidniveau op de hinder bevestigd [$F(3,33)=99.6$, $p<0.000001$]. De invloed van het geluidtype was eveneens zeer significant [$F(3,33)=18.3$, $p<0.000008$]. Dit effect moet hoofdzakelijk worden toegeschreven aan de relatief lage hinder van de intercitytreinen. De significante interactie tussen geluidtype en geluidniveau [$F(9,99)=3.47$, $p<0.001$] werd grotendeels veroorzaakt door de hinder van de TGV, die voor de lage ASEL-waarden van 75 en 80 dB nog dicht bij die van de intercitytrein lag, maar voor de hoge ASEL-waarden van 85 en 90 dB vrijwel gelijk was aan de hinder van de magneetzwefstrein.

Dataset III. De variantie-analyse over de hinderscores voor het wegverkeer en de vier geluidbronnen die ook in dataset II waren opgenomen, nu voor de ASEL-waarden van 75, 80 en 85 dB, leverde geen nieuwe gezichtspunten meer op. Net als in §3.1 vroegen we ons nog af of de iets geringere groei van de hinder van het wegverkeer met toenemend geluidniveau statistisch significant achterblijft bij dat voor de magneetzwefstrein. Uit een extra analyse over alleen deze condities bleek dat dit interactie-effect niet significant was [$F(4,44)=1.6$, $p>0.20$] en dat er ook gemiddeld over de drie geluidniveaus geen significant verschil bestaat tussen de hinder van het wegverkeer en dat van de twee typen van de magneetzwefstrein [$F(2,22)=2.9$, $p>0.08$].

Samenvattend

Met betrekking tot de binnenshuis ervaren hinder met “gesloten ramen” komen we tot twee hoofdconclusies: de geluidhinder ten gevolge van passerende magneetzwefstreinen is bij vergelijkbare ASEL-waarden 1) duidelijk hoger dan dat van passerende intercitytreinen, en 2) vrijwel gelijk aan de hinder van wegverkeersgeluid. Aan de resultaten voor de TGV willen we nog geen sterke conclusies verbinden.

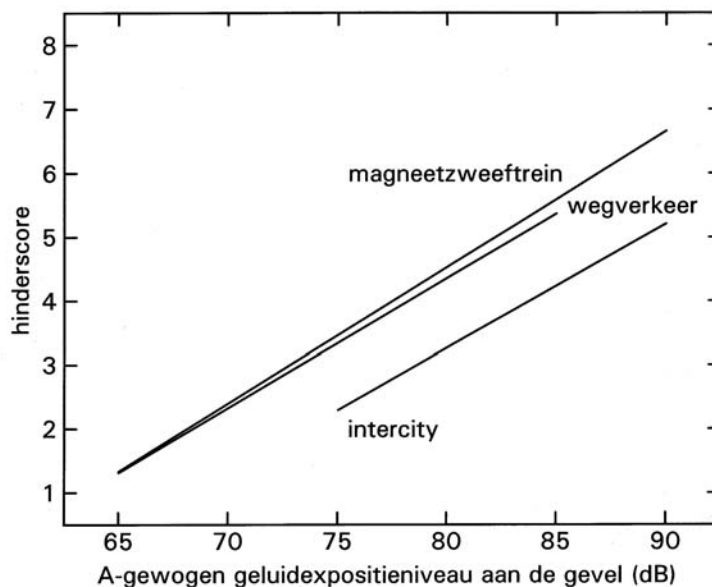


Fig. 10 Met behulp van lineaire regressie-analyses verkregen dosis-effectrelaties voor de magneetzwefstrein, het wegverkeer en de intercitytrein.

Figuur 10 laat de drie dosis-effectrelaties zien. Deze relaties zijn weer verkregen door voor de drie geluidbronnen afzonderlijk een rechte lijn te fitten aan alle gemiddelde hinderscores. Voor de magneetzwefstrein wordt de hinder (y) zeer goed beschreven met $y = -12.5 + 0.213L_{AE}$, met $r = 0.99$. Voor het wegverkeer en de intercitytrein worden de dosis-effectrelaties gegeven door respectievelijk $y = -11.9 + 0.203L_{AE}$ en $y = -12.3 + 0.194L_{AE}$. Ook bij deze laatste twee bronntypen was het verband tussen ASEL en de gemiddelde hinderscore zeer sterk, met r -waarden van 0.96 en 0.995. De (niet in Figuur 10 getoonde) dosis-effectrelatie voor de TGV wordt gegeven door $y = -19.5 + 0.294L_{AE}$ ($r = 0.99$).

Een directe vergelijking van de beoordeelde hinder op basis van de aangeboden geluidsfragmenten leidt in termen van ASEL tot een aan het wegverkeer gerelateerde bonus voor de intercitytreinen van circa 5 dB. In tegenstelling tot wat we in de conditie met “geopende ramen” vonden, is dit verschil onafhankelijk van het geluidniveau. De treintypen zijn even hinderlijk indien de ASEL-waarde van de passerende magneetzwefstrein 6 dB lager is dan dat van een passerende intercitytrein.

3.3 Oorzaken van de verwachte hinder

Zoals aangegeven in §2.4 konden er naast de hoofdvraag nog vijf vragen worden gesteld om iets over de oorzaken van de verwachte hinder te weten te komen. Deze extra vragen werden alleen

gesteld indien in het tweede blok van iedere gevelconditie een hinderscore groter dan vier werd gegeven.

Voor de condities waarin een luistersituatie met “geopende ramen” werd gesimuleerd worden de resultaten samengevat in Tabel 4. Tabel 5 geeft de resultaten voor de situatie met “gesloten ramen.” In de laatste vijf kolommen van beide tabellen wordt het aantal proefpersonen vermeld dat per vraag aangaf de betreffende bewering “volkomen juist” te vinden of aangaf dat hij of zij vond dat de bewering “wel aardig klopte.” In de derde kolom van beide tabellen wordt het aantal proefpersonen vermeld die de vragen hebben beantwoord. In Tabel 5 komen niet alle experimentele condities voor, omdat in sommige gevallen de hinderscores bij geen enkele proefpersoon hoger dan vier was.

De resultaten laten zich vrij eenvoudig beschrijven. Allereerst werd voor alle geluidtypen de luidheid (“het geluid is zo hard”) aangevoerd als oorzaak van de hinder. Dit kwam het duidelijkst en in brede zin¹ naar voren bij de hogere ASEL-waarden in de conditie met “geopende ramen.” In de conditie met “gesloten ramen” werd deze oorzaak ook voor alle geluidtypen genoemd, maar uitgaande van de meerderheid van de proefpersonen dan alleen bij de allerhoogste niveaus.

Tabel 4 Condities waarin een luistersituatie met geopende ramen werd gesimuleerd. Aantal proefpersonen die vonden dat de aangegeven oorzaak op hen van toepassing was (“volkomen juist” of “klopt wel aardig”). Met ASEL wordt het A-gewogen geluidexpositieniveau aan de gevel aangegeven, n staat voor het aantal proefpersonen die de vragen beantwoordden.

geluidbron	ASEL (dB)	n	oorzaak van de geluidhinder				
			hard	onveilig	bonkt	snerpend	schrik
magneet 100 km/h	65	2	1	0	0	0	0
	70	5	4	1	0	3	0
	75	5	4	2	0	0	0
	80	8	7	4	1	5	1
magneet 200 km/h	65	3	2	0	0	1	0
	70	6	5	0	0	2	1
	75	10	9	4	0	4	0
	80	10	10	4	1	5	4
magneet 325 km/h	75	7	6	2	1	4	1
	80	10	10	3	0	4	4
	85	12	12	4	1	5	3
	90	12	12	7	1	4	8
magneet 400 km/h	75	6	5	1	0	2	1
	80	12	12	5	2	3	3
	85	11	11	6	2	5	7
	90	12	12	7	4	6	8
intercitytrein	75	4	4	0	3	3	0
	80	5	5	1	2	1	0
	85	7	6	1	0	1	0
	90	10	10	2	3	5	3
TGV	75	6	6	0	0	3	0
	80	7	7	2	0	4	1
	85	12	12	4	8	7	3
	90	11	11	4	10	5	5
wegverkeer	65	3	2	0	0	0	0
	70	5	5	0	4	1	0
	75	11	10	2	1	0	0
	80	11	9	1	4	3	0
	85	12	11	3	3	3	0

¹ Uitgaande van bijvoorbeeld die condities waarbij meer dan zes van de twaalf proefpersonen de vragen hebben beantwoord, werd de luidheid in 80–100% van de gevallen als een van de oorzaken van de hinder opgegeven.

Tabel 5 Conditie waarin een luistersituatie met gesloten ramen werd gesimuleerd. Aantal proefpersonen die vonden dat de aangegeven oorzaak op hen van toepassing was (“volkomen juist” of “klopt wel aardig”). Met ASEL wordt het A-gewogen geluidexpositieniveau aan de gevel aangegeven, n staat voor het aantal proefpersonen die de vragen beantwoordden.

geluidbron	ASEL (dB)	n	oorzaak van de geluidhinder				
			hard	onveilig	bonkt	snerpend	schrik
magneet 100 km/h	80	5	3	1	0	2	1
magneet 200 km/h	70	1	1	0	0	0	1
	75	3	1	1	0	0	0
	80	9	7	2	0	4	2
magneet 325 km/h	75	1	1	1	0	0	0
	80	6	6	2	2	1	3
	85	11	11	4	2	4	5
	90	12	11	4	5	5	7
magneet 400 km/h	75	2	2	0	0	1	0
	80	5	4	0	1	1	1
	85	9	7	5	3	3	5
	90	12	11	4	2	5	7
intercitytrein	75	2	2	0	0	0	0
	80	1	1	0	0	0	0
	85	5	4	0	2	1	0
	90	8	8	0	4	4	1
TGV	75	1	1	0	0	1	1
	80	2	2	0	2	0	2
	85	9	9	2	8	3	2
	90	11	11	2	9	5	2
wegverkeer	70	4	2	0	4	0	0
	75	2	2	0	0	0	0
	80	6	5	1	2	0	1
	85	9	8	2	4	2	1

In de gevelconditie met “geopende ramen” werd onveiligheid door meer dan de helft van de proefpersonen (bij $n > 6$) als oorzaak van de hinder genoemd bij de hogere niveaus van de met een snelheid van 325 of 400 km/h passerende magneetzwef-trein. In de gevelconditie met “gesloten ramen” was dit alleen nog het geval bij een van de hoogste niveaus van de magneet-zwef-trein die met een snelheid van 400 km/h voorbijreed.

Van het noemen van “het bonkende geluid” als oorzaak van de hinder in brede zin was alleen sprake bij de hoogste niveaus van de voorbijrijdende TGV. Dit gold voor beide gevelcondities.

In de gevelconditie met “geopende ramen” werd het “snerpende karakter” van het geluid in brede zin als oorzaak van de hinder aangevoerd bij sommige passages van de magneetzwef-trein en de TGV. In de gevelconditie met “gesloten ramen” was het noemen van deze oorzaak niet meer prominent aanwezig. In deze gevelconditie was het voor het snerpende karakter verantwoordelijke hoogfrequentiegeluid uiteraard sterk in niveau gereduceerd.

Het schrikken van het geluid als oorzaak van de hinder kwam duidelijk naar voren bij de hogere niveaus van de met een snelheid van 325 of 400 km/h passerende magneetzwef-trein. Dit gold voor beide gevelcondities. Bij de geluiden die in de conditie met “geopende ramen” aanleiding tot het noemen van schrik als een oorzaak van de hinder gaven was ook al sprake van het aspect veiligheid.

4 DISCUSSIE

4.1 Bijdrage van CSEL aan de hindervoorspelling

Uit onderzoek naar de hinder ten gevolge van militair schietgeluid, waarin een grote diversiteit van knallen afkomstig van lichte, middelzware en zware vuurwapens was opgenomen, bleek dat de voorspelling van de binnenshuis beoordeelde hinder in de conditie met “gesloten ramen” wezenlijk werd verbeterd door naast het (aan de gevel optredende) ASEL van de knal ook het C-gewogen geluidexpositieniveau (CSEL) als predictor op te nemen (Vos, 2001).

Een secundaire vraag in het huidige onderzoek was om na te gaan of toevoeging van CSEL wellicht ook in een verbetering van de voorspelbaarheid van de hinder van de hier onderzochte geluiden zou resulteren.

Voor elk geluid werd het buiten aan de gevel geldend spectrum geschat op basis van het spectrum dat in de conditie met “geopende ramen” aan het oor van de luisteraar was gemeten (zie Figuren 2–5), vermeerderd met de gevelverzwakkingskarakteristiek (Figuur 1) voor de conditie met “geopende ramen.” Vervolgens werden ASEL en CSEL berekend.

Tabel 6 Verschil tussen CSEL en ASEL (dB), zoals bepaald op basis van de buiten aan de gevel optredende spectra van de geluiden.

geluidbron	v (km/h)	ASEL aan de gevel (dB)					
		65	70	75	80	85	90
magneetweeftrein	100	5.9	5.8	5.8	5.5		
	200	3.9	4.0	4.0	4.2		
	325			3.3	3.3	3.3	3.5
	400			3.0	3.1	3.1	3.1
intercitytrein	120–140			1.3	1.0	0.7	0.0
TGV	300			0.7	0.7	7.1	7.1
wegverkeer	80	8.1	13.8	3.3	4.5	3.5	

Tabel 6 laat het verschil tussen CSEL en ASEL zien voor alle 29 condities. Uit de resultaten blijkt dat het verschil tussen CSEL en ASEL zowel binnen ieder geluidstype als tussen de diverse geluidstypen nauwelijks varieerde. Onafhankelijk van de hoogte van ASEL bedroeg het verschil tussen CSEL en ASEL voor de magneetweeftrein bij snelheden van 100, 200, 325 en 400 km/h respectievelijk circa 6, 4, 3 en 3 dB. Voor de intercitytreinen was dit verschil gelijk aan circa 1 dB. Voor de TGV was dit verschil gelijk aan 1 dB voor de iets door ons gefilterde geluidspassage (gebruikt voor ASEL-waarden van 75 en 80 dB) en 7 dB bij de ongefilterde geluidspassage (gebruikt voor ASEL-waarden van 85 en 90 dB, zie Figuur 4). Door deze kleine verschillen tussen CSEL en ASEL is het voor deze railverkeersgeluiden in principe onmogelijk dat toevoeging van CSEL tot een significante en eenduidig te interpreteren verbetering van de hindervoorspelling leidt.

Het wegverkeer vormt echter een uitzondering. In §2.1 werd aangegeven dat voor het wegverkeer met ASEL-waarden van 65 en 70 dB passages zijn gebruikt die op een afstand van 60 m waren opgenomen, en dat voor wegverkeer met ASEL-waarden van 75 en 80 dB is uitgegaan van opnamen die bij een afstand van 25 m waren gemaakt. Ter aanvulling blijkt het nu relevant te vermelden dat de voertuigpassages bij de diverse afstanden niet simultaan zijn opgenomen, waardoor bij de samenstelling van de fragmenten niet steeds dezelfde voertuigen

konden worden gebruikt. Ter verhoging van de levendigheid van de geluidsfragmenten zijn zelfs bij de samenstelling van het wegverkeer met ASEL-waarden van 65 en 70 dB, waarvan alle passages op een afstand van 60 m waren opgenomen, niet steeds dezelfde componenten gebruikt.

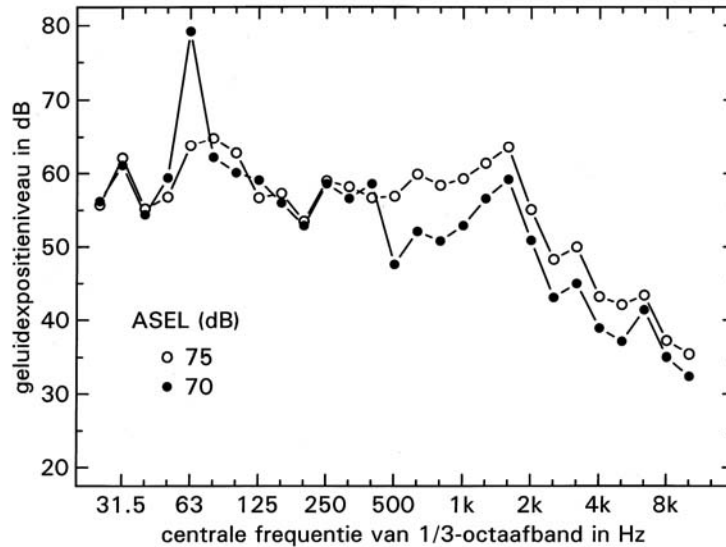


Fig. 11 Geluidexpositieniveau per 1/3-octafband, zoals bepaald aan het oor van de luisteraar in de gevelconditie met “geopende ramen,” voor twee geluidsfragmenten van wegverkeer. De spectra komen overeen met een aan de gevel optredend (overall) A-gewogen geluidexpositieniveau van 70 of 75 dB.

Figuur 11 laat zien dat door deze procedure het aangeboden wegverkeer corresponderend met een ASEL-waarde van 70 dB toevallig veel meer laagfrequente energie bevatte dan bijvoorbeeld het wegverkeer met een ASEL-waarde van 75 dB. Deze verschillen zijn uiteraard ook terug te vinden in de CSEL-waarden.

Zoals Tabel 6 laat zien was CSEL 3–14 dB hoger dan ASEL. In de conditie met “gesloten ramen” kan het ontbreken van een monotone stijging van de gemiddelde hinderscores voor het wegverkeer (zie Figuur 9) met bovengenoemde spectrale verschillen in verband worden gebracht. De relevante bijdrage van CSEL als extra predictor werd bevestigd in een multiële lineaire regressie-analyse. Toevoeging van CSEL resulteerde in een significante ($p < 0.03$) stijging van de verklaarde variantie in de hinderscores met circa 6 procentpunten tot in totaal 99.6%.

Consistent met eerdere bevindingen (Vos, 2001) leverde het toevoegen van CSEL ter voorspelling van de hinder in de conditie met “geopende ramen” (Figuur 7) geen significante verbetering meer op ($p > 0.20$).

4.2 Bonus voor railverkeersgeluid

Zowel in de conditie met “geopende” als in de conditie met “gesloten ramen” was de geluidshinder van de intercitytreinen bij een gelijke dosis aanmerkelijk lager dan dat van het wegverkeer. Gemiddeld over beide gevelcondities bedroeg de bonus voor de intercitytrein circa 6 dB.

Voor allereerste aanwijzingen voor een bonus voor railverkeersgeluid moeten we terug naar veldonderzoek dat al meer dan twintig jaar geleden is uitgevoerd (zie bijv. Heimerl & Holzmann, 1979; Schümer-Kohrs e.a., 1981; Knall & Schümer, 1983; Fields & Walker, 1982). Op basis van de resultaten van een recente heranalyse door Miedema en Vos (1998) van een groot aantal veldstudies naar de hinder van onder andere weg- en railverkeersgeluid mogen we concluderen dat voor een A-gewogen dag-nachtniveau van 55–60 dB de bonus voor railverkeersgeluid gemiddeld circa 5 dB, en voor een A-gewogen dag-nachtniveau van 70 dB de bonus gemiddeld circa 10 dB bedraagt.

De grootte van de in het huidige experiment gevonden bonus voor de intercitytrein komt goed overeen met de gemiddelde bonus die in veldonderzoek voor situaties met een al tamelijk hoge geluidbelasting wordt gevonden. De validiteit van dit resultaat is dus groot en kan niet zo maar het gevolg zijn geweest van de specifieke kenmerken van de samengestelde geluidsfragmenten. Om dit toe te lichten zullen we de geluidsdosis uitdrukken in het A-gewogen equivalente geluidniveau, ALEQ. Aangezien de duur van de aangeboden geluidsfragmenten steeds 45 s bedroeg, is $ALEQ = 10 \log(45) = 16.5$ dB lager dan ASEL. Uitgaande van een zelfde verkeersintensiteit zal bij een twee keer zo grote stimulusduur het ALEQ van wegverkeer gelijk blijven en dat van de intercitytrein (met nog steeds één passage) met 3 dB afnemen. De hinder van het wegverkeer zal gelijk blijven of wellicht iets worden verhoogd, terwijl de hinder van het railverkeer nu lager zal uitvallen door de als gunstig beoordeelde relatief grote toename van de periode zonder geluid (Vos & Geurtsen, 1992). Door deze tegengestelde effecten is de invloed op de eerder verkregen bonus waarschijnlijk zeer gering.

Bij een twee keer zo kleine stimulusduur (van 45 s naar 22.5 s) zal, weer uitgaande van dezelfde verkeersintensiteit, het ALEQ van het wegverkeer gelijk blijven en dat van de intercitytrein met 3 dB toenemen. De hinder van het wegverkeer zal gelijk blijven of misschien iets afnemen, terwijl de hinder van het railverkeer nu hoger zal uitvallen door het vrijwel ontbreken van een periode zonder geluid. Ook nu mag worden verwacht dat de totale invloed van deze effecten op de eerder verkregen bonus gering zal zijn.

5 CONCLUSIES

Uitgaande van gelijke A-gewogen geluidexpositieniveaus:

- was de hinder vrijwel onafhankelijk van de snelheid waarmee de magneet zweeftrein zich verplaatste,
- week de hinder van de passerende magneet zweeftrein nauwelijks af van de hinder van het wegverkeer, en
- was de hinder van de intercitytreinen aanmerkelijk lager dan dat van de magneet zweeftrein en het wegverkeer.

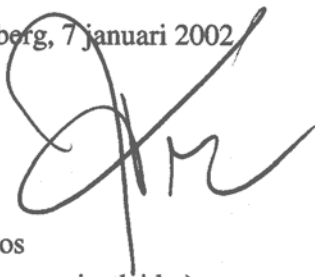
Bovenvermelde resultaten golden voor beide onderzochte gevelcondities. Voorts werd geconcludeerd dat

- er naar verwachting pas sprake van gelijke hinder is indien het geluidniveau van een passerende magneet zweeftrein tenminste 5 dB lager is dan dat van een passerende intercitytrein,
- de verschillen tussen het C-gewogen en het A-gewogen geluidexpositieniveau van de passerende treinen zo klein waren dat toevoeging van het C-gewogen niveau niet tot een verbetering van de hindervoorspelling zal leiden, en
- factoren die, naast de waargenomen luidheid, een rol zouden kunnen spelen bij de hinder van de magneet zweeftrein, schrikreacties en gevoelens van onveiligheid zijn.

REFERENTIES

- Fields, J.M. & Walker, J.G. (1982). Comparing the relationships between noise level and annoyance in different surveys: a railway vs. aircraft and road traffic comparison. *Journal of Sound and Vibration*, 81, 51-80.
- Graaff, E. de, Holties, H., Kurze, U.J., Martner, O., Meißner, F.H. & Nürnberger, H. (2001). *Acoustical research on maglev train for the Zuiderzeelijn* (Report No. 50694/2). M+P Raadgevende Ingenieurs, Den Bosch en Müller-BBM, Planegg, Duitsland.
- Heimerl, G. & Holzmann, E. (1979). Ermittlung der Belästigung durch Verkehrslärm in Abhängigkeit von Verkehrsmittel und Verkehrsdichte in einem Ballungsgebiet (Straßen- und Eisenbahnverkehr). *Kampf dem Lärm*, 26, 64-69.
- Knall, V. & Schümer, R. (1983). The differing annoyance levels of rail and road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 87, 321-326.
- Miedema, H.M.E. & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104 (6), 3432-3445.
- Schümer-Kohrs, A., Schümer, R., Knall, V. & Kasubek, W. (1981). Vergleich der Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehrslärm in städtischen und ländlichen Regionen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 28, 123-130.
- Versfeld, N.J. & Vos, J. (1997). Annoyance caused by sounds of wheeled and tracked vehicles. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101 (5) Part 1, 2677-2685.
- Versfeld, N.J. & Vos, J. (2002). A-weighted equivalent sound level as a predictor of the annoyance caused by road traffic consisting of various proportions of light and heavy vehicles. *Journal of Sound and Vibration* (in druk).
- Vos, J. & Geurtsen, F.W.M. (1992). *Geluidhinder rond onregelmatig gebruikte schietbanen: een studie naar het verwachte effect van verschillende tijdschema's* (Rapport IZF 1992 A-13). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Vos, J. (2001). On the annoyance caused by impulse sounds produced by small, medium-large, and large firearms. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109 (1), 244-253.

Soesterberg, 7 januari 2002



Dr. J. Vos
(1e auteur, projectleider)