



Wetenschappelijk eindrapport



29/01/2026

DE OORZAAK

Voorwoord

Stedelijk omgevingsgeluid is vandaag één van de meest onderschatte maar tegelijk meest wijdverspreide uitdagingen voor de leefkwaliteit in Vlaanderen. Omgevingsgeluid kan onze slaap, stressniveaus en uiteindelijk onze gezondheid beïnvloeden. Tegelijk is omgevingsgeluid het resultaat van keuzes in mobiliteit, infrastructuur, ruimtelijke ordening en stadsplanning. Precies daarom startten we in 2023 met De Oorzaak: een uniek burgerwetenschapsproject waarin burgers, onderzoekers, artsen, technologieproducenten, media en overheid samenwerken om het geluidslandschap in onze steden en de impact daarvan op onze gezondheid op een nieuwe, datagedreven manier te begrijpen.

Dit rapport brengt de eerste brede wetenschappelijke inzichten van dat werk samen. We beschrijven hierin wat we tot nu toe weten over geluidsniveaus, geluidsbronnen, geluidsbeleving, slaap, en stress. Het geeft inzicht in hoe burgers stedelijk omgevingsgeluid ervaren, wat de belangrijkste bronnen van hinder zijn, en hoe variaties in geluid samenhangen met welzijn, slaapkwaliteit en leefomgeving. Daarnaast biedt het rapport een overzicht van de gebruikte methodologieën, de werking van het sensornetwerk, de ontwikkeling van AI-geluidsherkenning en de analyses van de verschillende bevragingen.

Tegelijk is dit rapport nog geen eindpunt. Verschillende bouwstenen van De Oorzaak worden momenteel verder geanalyseerd en worden pas later gepubliceerd. Zo volgt de verwerking van de referentiesensoren, essentieel om de volledige jaarvariatie te begrijpen, pas later in 2026. Ook de AI-geluidsherkenningsmodellen worden in toekomstige projecten verder verfijnd, waardoor latere rapporten en dashboards meer detail over geluidsbronnen en piekevents zullen kunnen bieden. Enkele thematische deelstudies, waaronder de bijkomende analyses van de slaapstudie, de opvolging van de impact van een nieuw geluidsscherm in Aalter, de impact van sport- en muziekevenementen op de geluidsniveaus, enz. vereisen bijkomend onderzoek (en tijd) en worden in latere wetenschappelijke papers gepubliceerd. Dit document moet daarom gelezen worden als een tussenbalans: een wetenschappelijke synthese van wat vandaag verantwoord (en binnen de beschikbare tijd en budget) gerapporteerd kan worden en als startpunt voor verdere analyses.

Met dit rapport willen we niet alleen inzicht en transparantie bieden, maar ook een basis te leggen voor toekomstig onderzoek en beleid. Wij hopen dat de fijnmazige dataset die in De Oorzaak werd opgebouwd de komende jaren actief wordt benut door administraties en beleidsmakers. En dat de data kunnen bijdragen aan betere en meer onderbouwde regelgeving, aan duidelijke en toepasbare limietwaarden, en aan een stedelijke planning die expliciet rekening houdt met geluid. Zo kan onze leefomgeving worden vormgegeven met gezondheid en leefkwaliteit als centrale uitgangspunten.

Auteurs:

Cedric Vuye (eindverantwoordelijke)¹, Jonas Lembrechts¹, Paulien Decorte¹, Sanne de Rooij¹, Laure Jacquemin^{1,2}, Olivier Vanderveken^{1,2}, Verena Iven², Johan Verbraecken^{1,2}, Irina Spacova¹, Margo Hiel¹, Guido Van Hal¹, Qiuya Xiang¹ en Ablenya Barros¹.

(¹Universiteit Antwerpen en/of ²Universitair Ziekenhuis Antwerpen)

Dankwoord

De kracht van een project als De Oorzaak zit hem in de samenwerking. Zonder de inzet van duizenden burgers, de expertise van de betrokken onderzoeksgroepen, partners uit industrie, media en overheid, had dit project nooit kunnen bestaan. Naast een wetenschappelijke mijlpaal is De Oorzaak een mooi voorbeeld van wat er mogelijk wordt wanneer verschillende partijen de handen ineen slaan om een gemeenschappelijk doel te bereiken.

Allereerst willen wij onze oprechte dank uitspreken aan de > 10.000 burgerwetenschappers die hun tijd, aandacht en oren aan dit project hebben geschonken. Of het nu ging om het invullen van de Grote Geluidsbevraging, het participeren aan geluidswandelingen, het installeren van slimme geluidssensoren aan hun gevels of deelnemen aan de gezondheidsstudie: zonder hun massale en enthousiaste deelname was dit onderzoek niet mogelijk geweest.

Onze dank gaat eveneens uit naar de vele partners die De Oorzaak inhoudelijk, logistiek en financieel mogelijk maakten. Met grote dank aan Universiteit Antwerpen en haar personeel, het Universitair Ziekenhuis Antwerpen (UZA) en het hele team van De Morgen om hun schouders onder het project te zetten. Onmisbaar was ook de structurele steun en inhoudelijke bijdragen van diverse publieke en private organisaties, waaronder Departement Omgeving, Departement Zorg, Agentschap Wegen en Verkeer, Orange Belgium, Lantis, De Lijn, Stad Gent, Stad Leuven, Natus, Munisense, ASAsense, Sorama, en Provincie Antwerpen. Grote dank ook aan iedereen die heeft bijgedragen aan de periodieke werkgroepen voor innovatie, communicatie en wetenschap. Jullie constructieve feedback en oplossend vermogen werden erg gewaardeerd.

Binnen de Universiteit Antwerpen en het UZA werd De Oorzaak gedragen door een brede waaier aan onderzoeksgroepen en specialisten, elk met een duidelijke bijdrage aan het geheel. De geluidsmetingen en sensornetwerken, inclusief de ontwikkeling van AI-geluidherkenning en gelabelde datasets, werden verzorgd door Jonas Lembrechts, Qiuya Xiang en Ablenya Barros. Het onderzoek naar de impact van omgevingslawaaï op gezondheid en slaapkwaliteit werd multidisciplinair ingevuld: vanuit Sociale Epidemiologie & Gezondheidsbeleid door Lidia Casas Ruiz en Guido Van Hal, binnen de Translationele Neurowetenschappen door Laure Jacquemin (tinnitus en hyperacusis), Sara Op de Beeck (slaapapneu), Olivier Vanderveken en Marijke Dieltjens, en binnen het Laboratorium voor Experimentele Geneeskunde en Pediatrie door Johan Verbraecken en Verena Iven (Slaapcentrum).

De maatschappelijke analyses en burgerbevragingen omvatten onder meer het luik gehoorbescherming (o.l.v. Guido Van Hal en Annick Gilles), de geluidswandelingen (o.l.v. Ablenya Barros), de Grote Geluidsbevraging en periodieke bevragingen (o.l.v. Paulien Decorte). De Apple Watch-studie werd uitgevoerd door Paulien Decorte, Karolien Poels en Gert-Jan De Bruijn (MIOS). Daarnaast coördineerde Karolien Couscheir het STEM-onderzoek en de scholencomponent, waarmee de link werd gelegd tussen geluid en educatie.

De koppeling met mobiliteitsdata afkomstig van projecten als Straatvinken en Telraam werd verzorgd door Thomas Vanoutrive van de Onderzoeksgroep voor Stadsontwikkeling. Nathalie Dens en Timpe Callebaut van Departement Marketing hielpen met vragenlijstontwikkeling en deelnemersactivatie. Het Laboratorium voor Toegepaste Microbiologie en Biotechnologie stond met Irina Spacova en Margo Hiel in voor de analyse van de stresshormonen. Tot slot leverde Modelling for Sustainability, met Peter Hellinckx, expertise voor de AI-modules van de geluidssensoren.

Voorwoord en dankwoord

Ook de inzet van de (job)studenten verdient een bijzondere vermelding. Hun werk in dataverwerking, veldwerk, sensorlogistiek, labanalyses, literatuurstudie en ondersteunend werk was essentieel voor het onderzoek.

Zonder de steun van de diverse diensten binnen de Universiteit Antwerpen zou dit project evenmin mogelijk zijn geweest: toenmalig vice-rector prof. Ronny Blust, Departement Marketing en Communicatie (Elisabeth, Alexander, Eline, Martine, Nik, Sofie, Peter en Wouter), Raad Dienstverlening (prof. Filip Lardon en prof. Nathalie Dens), de aankoopdienst (Elio, Anja, Daphne, Eric, Ismaël en Sharri), Departement Financiën (Ann, Annick, Annelize, Jorine, Karen en Sven), Departement ICT (Paul, Linda, Maddy, Pieter en Wim), Juridische Dienst (Amy, Caroline, Haïté, Jantine, Kamila, Leen, Louise, Sonia en Patrick), Dienst Privacy & Procesmanagement (Koen en Jeroen), het Departement Research, Innovation & Valorisation Antwerp (Tim, Bram, Aura, Ilse, Linda en Marianne), de Nieuwe Mediadienst (Kurt), de leden van de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen en het Medisch Ethisch Comité UA/UZA, het team rond Wetenschapscommunicatie, en *last but not least* de facultaire ondersteuning vanuit de decaan (prof. Tom Breugelmans), faculteitsdirecteur (Nele Hilleware) en de decanaats- en departementsmedewerkers verantwoordelijk voor communicatie, financiën en HR (Cecilia, Cindy, Iris, Lacy en Sarah).

Hierbij ook een extra woord van dank voor prof. Filip Meysman en dr. Camille Allonsius, bezielers van de CurieuzeNeuzen-projecten. Hun advies vóór de start van De Oorzaak was een enorme meerwaarde!

En tot slot gaat een bijzonder woord van waardering uit naar het kernteam van De Oorzaak dat instond voor de dagelijkse coördinatie, wetenschappelijke sturing en operationele uitvoering: projectleider prof. Cedric Vuye, projectmanager Karolien Couscheir, communicatiecoördinator Sanne de Rooij en onderzoekers dr. Ablenya Barros, dr. Paulien Decorte, dr. Jonas Lembrechts en Qiuya Xiang. Van de ontwikkeling van methodologieën tot aan het samenstellen van de honderden sensorpakketten: jullie enthousiasme en tomeloze inzet was de motor van dit onderzoek!

Disclaimer

Niets uit deze publicatie mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in welke vorm of op welke wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteurs of de betrokken instellingen.

Hoewel bij de samenstelling van dit rapport uiterste zorg is besteed aan de juistheid en volledigheid van de informatie, kunnen de auteurs, de onderzoekers en de projectpartners niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele fouten, onnauwkeurigheden of de gevolgen van het gebruik van de hierin opgenomen gegevens.

Het gebruik van grafieken, tabellen, data, figuren of tekstfragmenten uit dit rapport is uitsluitend toegestaan met expliciete bronvermelding en mits voorafgaande toestemming van de rechthebbenden. Interpretaties of conclusies die uit dit rapport worden afgeleid, blijven volledig voor rekening van de gebruiker.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
Dankwoord	4
Disclaimer	5
Inhoudsopgave.....	6
1 Samenvatting.....	15
1.1 Unieke samenwerking en aanpak	15
1.2 Geluid meten met slimme geluidssensoren.....	15
1.3 De Grote Geluidsbevraging: 10.000 stemmen	16
1.4 Wekelijkse bevragingen tonen minder variatie dan gehoopt.....	17
1.5 Gezondheidsstudie: gecombineerde analyse van slaap, gehoor en stressreacties	17
1.6 Aanbevelingen.....	19
2 Aanpak van De Oorzaak	22
2.1 Partners van De Oorzaak.....	22
2.2 Doelstellingen van De Oorzaak.....	23
2.3 Integrale onderzoeksmethodologie	24
2.3.1 Slimme geluidssensoren	24
2.3.2 Burgerparticipatie en bevragingen.....	24
2.3.3 Gezondheidsstudie	25
2.3.4 Ethische goedkeuringen	25
2.4 De kern van De Oorzaak	26
3 Burgersensoren.....	28
3.1 Methodologie	28
3.2 De installatie van de burgersensoren.....	30
3.3 Locaties.....	32
3.4 Algemene geluidsniveaus	32
3.4.1 Gemiddelde geluidsniveaus over de hele meetperiode.....	32
3.4.2 Antwerpen.....	34
3.4.3 Gent	36
3.4.4 Leuven	38
3.4.5 Vergelijking tussen de steden en meetperiodes	40

Inhoud

3.5	Dynamisch bereik	43
3.6	Geluidsbronnen	45
3.6.1	Geluidsevenementen	45
3.6.2	Algemeen overzicht geluidsbronnen.....	46
3.6.3	Verschillen qua geluidsbronnen tussen de drie steden	47
3.7	De luidste en de stilste locaties.....	50
3.7.1	Algemeen.....	50
3.7.2	Antwerpen.....	51
3.7.3	Gent	53
3.7.4	Leuven	54
3.8	Correlatie tussen de objectieve geluidsmetingen en subjectieve ervaring	56
3.8.1	Algemene geluidshinder.....	56
3.8.2	Specifieke geluidshinder.....	57
3.8.3	Correlatie met slaapkwaliteit	58
3.9	Conclusies.....	59
4	Referentiesensoren.....	61
4.1	Methodologie	61
4.2	Locaties.....	61
4.3	Resultaten.....	63
5	Gelabelde geluidsfragmenten en modellen.....	64
5.1	Basisgegevens en trainingsmateriaal	64
5.2	Ontbrekende data	64
5.3	Modelontwikkeling en prestaties.....	65
5.4	Evolutie en toekomst.....	66
6	Gehoorbescherming.....	68
6.1	Methodologie	68
6.2	Resultaten.....	68
6.3	Discussie en conclusies.....	70
7	Geluidswandeling	72
7.1	Inleiding	72
7.2	Methodologie	72
7.3	Demografie deelnemers.....	73
7.4	(minst) favoriete geluiden	73
7.5	Impact van bevolkingsdichtheid.....	74

Inhoud

7.6	Conclusies	76
8	De Grote Geluidsbevraging.....	77
8.1	Inleiding en methodologie	77
8.2	De sociodemografische kenmerken van de GGB-deelnemers.....	78
8.3	De woningen van de deelnemers.....	82
8.4	De leefkwaliteit in de buurt van de GGB-deelnemers.....	83
8.5	De algemene en specifieke geluidshinder van de GGB-deelnemers.....	84
8.5.1	Algemene hinder door omgevingsgeluid	84
8.5.2	Correlaties tussen algemene geluidshinder en sociodemografische gegevens.....	86
8.5.3	Verandering qua geluidshinder in de laatste twee jaar	91
8.5.4	Geluidshinder door wegverkeer.....	92
8.5.5	Geluidshinder door railverkeer	93
8.5.6	Geluidshinder door vliegverkeer en scheepvaart	94
8.5.7	Geluidshinder door bedrijven en industrie	95
8.5.8	Geluidshinder door recreatie en toerisme.....	96
8.5.9	Geluidshinder door werken op openbaar terrein	97
8.5.10	Geluidshinder door burelen	98
8.5.11	Top 10 meest storende bronnen.....	99
8.6	Natuurgeluiden.....	101
8.7	De gevoeligheid voor geluid van de GGB-deelnemers.....	102
8.8	Bewustzijn over de eigen geluidsproductie	104
8.9	De slaapkwaliteit van de deelnemers	106
8.10	Slaperigheid overdag.....	109
8.11	Vermoeidheid.....	111
8.12	Het stressniveau van de deelnemers	113
8.13	Correlaties tussen gerapporteerde geluidshinder en gevalideerde vragenlijsten.....	115
8.13.1	Correlatie tussen geluidshinder en slaperigheid overdag (ESS).....	115
8.13.2	Correlatie tussen geluidshinder en vermoeidheid (FAS).....	115
8.13.3	Correlatie tussen geluidshinder en stress (PSS-10).....	116
8.14	Conclusies.....	117
9	Wekelijkse bevragingen	120
9.1	Inleiding	120
9.2	Methodologie	121
9.3	Variatie qua wekelijks gerapporteerde appreciatie van het omgevingsgeluid.....	122

Inhoud

9.3.1	Tussen de steden onderling	123
9.3.2	Tussen de meetperiodes binnen een stad	123
9.3.3	Tussen de weken binnen een meetperiode en stad	123
9.4	Variatie qua wekelijks gerapporteerde geluidshinder	124
9.5	Variatie qua wekelijks gerapporteerde slaapkwaliteit.....	126
9.6	Variatie qua wekelijks gerapporteerde slaperigheid overdag (ESS).....	129
9.7	Variatie qua wekelijks gerapporteerde stress.....	130
9.8	Variatie qua wekelijks gemeten geluidsniveaus.....	132
9.9	Correlaties	134
9.9.1	Sensorlocatie vs. algemene geluidsappreciatie & stress.....	134
9.9.2	Slaapkwaliteit vs. algemene geluidsappreciatie, specifieke geluidshinder en stress .	134
9.9.3	Slaperigheid overdag vs. algemene geluidsappreciatie, specifieke geluidshinder en stress	135
9.9.4	Stress vs. algemene geluidsappreciatie en specifieke geluidshinder.....	135
9.9.5	Geluidsniveaus vs. data uit de wekelijkse bevestigingen	135
9.10	Conclusies.....	136
10	Eindbevestiging.....	137
10.1	Inleiding en methodologie	137
10.2	Algemene ervaring en communicatie	138
10.3	Geluidsmetingen	140
10.4	Gezondheidsstudie.....	142
10.5	Individueel geluidsrapport	143
10.6	Eindsymposia.....	144
10.7	Conclusies.....	145
11	Slaapstudie.....	147
11.1	Inleiding.....	147
11.2	Methodologie.....	147
11.3	Resultaten slaapstudie	149
11.3.1	Demografische gegevens.....	149
11.3.2	Hoe lang duurt het totdat deelnemers in slaap vallen?	150
11.3.3	Hoe lang liggen de deelnemers in bed?	150
11.3.4	Hoe lang werd er geslapen?	151
11.3.5	De slaapefficiëntie van de deelnemers	151
11.3.6	Aanwezigheid van slaapapneu	152

Inhoud

11.3.7	Slaperigheid overdag?	152
11.4	Geluidsgevoeligheid en slaap	152
11.5	Analyse effect van geluidsmetingen op slaapkwaliteit	153
11.6	Conclusies en verder onderzoek	154
12	Gehooronderzoek	155
12.1	Inleiding	155
12.2	Methodologie	155
12.2.1	Gehoordrempels	155
12.2.2	Otoakoestische emissies	155
12.2.3	hearWHO gehoorscreening	156
12.2.4	Oncomfortabele luidheidsniveaus	156
12.2.5	Tablet test	156
12.3	Resultaten	157
12.3.1	Hyperacusisvragenlijst (HQ)	157
12.3.2	Tonale audiometrie	158
12.3.3	DPOAE	160
12.3.4	hearWHO	160
12.3.5	Uncomfortable Loudness Levels (ULLs)	161
12.3.6	Tablet test	162
12.3.7	Vergelijking tussen meetinstrumenten voor hyperacusis	162
12.4	Conclusies	163
13	Stressonderzoek	164
13.1	Inleiding en doelstellingen	164
13.2	Methodologie	164
13.2.1	Staalname en analyse	164
13.2.2	Correlaties met omgevingsgeluid-, gehoor-, slaapstudie-, en vragenlijstparameters	165
13.3	Resultaten	166
13.3.1	Gemeten cortisolwaarden	166
13.3.2	Cortisol en het gehoor	166
13.3.3	Cortisol, slaap en omgevingsgeluid	167
13.3.4	Cortisol en zelfgerapporteerde stress	167
13.4	Conclusies	168
14	Apple Watch-studie	169
14.1	Doel en opzet	169

Inhoud

14.2	Beperkingen van de geluidsmetingen	169
14.3	Slaap- en stressmetingen	170
14.4	Smartphonegebruik en slaap	171
14.5	Conclusie	171
15	Terugblik op communicatie	173
15.1	Inleiding	173
15.2	Samenwerking met De Morgen	173
15.3	Mediacampagnes van De Morgen	174
15.4	Mailcampagnes en inbox De Oorzaak	176
15.5	Bereik van de websites en sociale mediakanalen	176
15.6	Persaandacht	178
15.7	Conclusies	178
16	Terugblik op burgerwetenschap	179
16.1	Burgerwetenschap als methodiek	179
16.2	Vormen van burgerparticipatie	179
16.3	Drempels voor deelname	179
16.4	Op zoek naar een kader	180
16.5	Conclusie	180
17	Eindconclusies	182
17.1	Sensornetwerk	182
17.2	Bevragingen	183
17.3	Gezondheidsstudie	184
17.4	Verder onderzoek	184
18	Aanbevelingen	187
18.1	Beleidsaanbevelingen	187
18.1.1	Stille vs. luide zijde van de woning	187
18.1.2	Subsidies voor akoestische renovaties	187
18.1.3	Een akoestisch label voor woningen	188
18.1.4	Realistische limietwaarden	188
18.1.5	Een centrale klachtenafhandeling	189
18.1.6	Communicatie en verwachttingsmanagement	189
18.1.7	De rol van natuurgeluiden in stedelijk geluidsbeleid	190
18.1.8	Meer ruimte voor reductie van verkeersgeluid in geluidsactieplannen	190
18.1.9	<i>Quick wins</i>	191

Inhoud

18.1.10	Investeren in datagedreven beleid.....	191
18.2	Gezondheidsperspectief op omgevingsgeluid door het UZA.....	191
18.2.1	Kwetsbare subgroepen.....	192
18.2.2	Veranker gehooronderzoek als standaardcomponent in geluidshinderstudies	192
18.2.3	Vervolgonderzoek naar subtiele slaapverstoringen.....	192
18.2.4	Longitudinale en follow-upstudies	193
18.2.5	Integratie in het Globaal Medisch Dossier (GMD)	193
18.2.6	Onderbouwing voor interdepartementale samenwerking	193
18.3	Aanbevelingen voor burgers	194
18.3.1	Zoek actief balans tussen geluid, rust en natuur	194
18.3.2	Bescherm het gehoor op een evenwichtige manier	194
18.3.3	Organiseer de slaapomgeving bewust	194
18.3.4	Besteed aandacht aan welzijn en stress.....	195
18.3.5	Ga bewust om met geluid in een stedelijke context.....	195
18.3.6	Zoek oplossingen samen met anderen.....	196
18.4	Tot slot.....	196
19	Kritische reflectie	197
19.1	Wetenschappelijke en technologische KPI's	197
19.1.1	Automatisch en <i>on the edge</i> geluidsherkenningssysteem ++	197
19.1.2	Uitgebreid sensornetwerk gedurende één jaar ++	197
19.1.3	Objectieve geluidsbelastingkaarten en subjectieve belevingsdata ++.....	197
19.1.4	Gedetailleerd medisch inzicht (slaap, stress, gehoor) ++.....	198
19.1.5	Inzichten rond de beleving van geluidshinder +++.....	198
19.2	Participatie- en bereik-KPI's	198
19.2.1	De Grote Geluidsbevraging (doel: 20.000 deelnemers) ++	198
19.2.2	Actieve burgerparticipatie via sensoren ++.....	198
19.2.3	Substudies en deelprojecten +++	199
19.3	Communicatie- en impact-KPI's	199
19.3.1	Publieksbereik en media-impact +++	199
19.3.2	Informatie en sensibilisering van burgers en overheid +++	199
19.3.3	Datadeling en beleidsrelevantie ++	199
19.4	Tot slot.....	199
Appendix A: Architectuur van de geluidsherkenningsmodellen.....		203
A.1	Vogelmodel	205

Inhoud

A.2	10-klassenmodel.....	206
A.3	Gebruikte datasets	207

DE OORZAAK



DE OORZAAK

Samenvatting

1 Samenvatting

1.1 Unieke samenwerking en aanpak

Het burgerwetenschapsproject De Oorzaak is uniek zowel qua omvang als aanpak. We brachten academici, artsen, industrie, media, overheid en meer dan 10.000 burgerwetenschappers samen om de impact van stedelijk omgevingsgeluid op gezondheid en leefomgeving te onderzoeken. Het project combineerde gedurende één jaar objectieve metingen (een netwerk van 400 slimme geluidssensoren in Antwerpen, Gent en Leuven) met subjectieve ervaringen (via online vragenlijsten en een smartphone-app) en zelfs een diepgaande gezondheidsstudie rond de impact van omgevingsgeluid en geluidsgevoeligheid op de slaapkwaliteit en stress. Deze drie onderzoekspijlers vormen samen met de Apple Watch-studie de kern van De Oorzaak.

1.2 Geluid meten met slimme geluidssensoren

Bijna 1.500 burgers plaatsten een slimme geluidssensor aan de buitenzijde van hun slaapkamer tegen de gevel van hun woning. De aangekochte slimme geluidssensoren (Munisense NP9) waren voorzien van een klasse II-microfoon, een minicomputer, GPS-sensor en simkaart van Orange Belgium om de al verwerkte data naar de servers door te sturen. Er werden hierbij geen ruwe geluidsfragmenten opgenomen of doorgestuurd. De sensoren registreerden gedurende zes weken continu de geluidsniveaus (waaruit tal van andere akoestische parameters kunnen berekend worden) en gebruikten artificiële intelligentie om negen verschillende categorieën van geluidsbronnen te onderscheiden (bijvoorbeeld wegverkeer, vliegtuigen, menselijke stemmen, natuurgeluiden, ...). Met behulp van de bijgeleverde montagebeugel kon de installatie zo consistent mogelijk gerealiseerd worden. Bijna 90% van de burgerwetenschappers plaatste hun sensor volledig in overeenstemming met de instructies, wat de betrouwbaarheid van de verzamelde data enorm verhoogt.

Zoals te verwachten was, heeft de plaatsing van de sensor (voor- of achtergevel) een duidelijke invloed op de gemeten waarden: aan de voorgevel liggen de gemiddelde geluidsniveaus significant hoger dan aan zij- of achtergevels. Zo blijft bij de voorgevel 56% van de locaties onder 60 dBA (L_{den}), tegenover 89% bij zij- of achtergevels. De verschillen tussen de steden qua gemiddeld geluidsniveau (op de gemeten locaties) zijn beperkt en niet statistisch significant. Het verschil tussen de voorzijde en niet-voorzijde bedraagt gemiddeld 5-6 dB. Over een meetperiode varieerden dag- en nachtgemiddelden sterk, met verschillen tussen de stilste en luidste dag of nacht tot 20 à 30 dB, terwijl het verschil tussen de gemiddelde geluidsniveaus op werk- en niet-werkdagen verrassend klein bleef (1-1,3 dB).

Uit de analyse van de geluidsevenementen met het finale AI-geluidsherkenningsmodel blijkt dat wegverkeer (37,5%) en bouwgeluiden (20,2%) de belangrijkste geluidsbronnen zijn, terwijl alarmen en sirenes de luidste geluidsevenementen veroorzaken. De verdeling van geluidsbronnen verschilt licht per stad: Antwerpen kent meer luchtverkeer, Gent meer spoor- en bouwgeluiden, en Leuven meer menselijke geluiden, vooral 's nachts. De luidste locaties zijn 20-25 dB luider dan de stilste locaties (70-75 dBA L_{den} t.o.v. 46-51 dBA) en bevinden zich voornamelijk langs drukke verkeersaders, terwijl de stilste locaties verspreid liggen en vaak beschut zijn binnen woonwijken. Opvallend is dat sommige

Samenvatting

locaties dichtbij de luchthaven of vliegroutes toch tot de stilste behoren qua gemiddelde L_{den} , ondanks een significant hoger aandeel geluidsevenementen herkend als luchtverkeer.

Verder tonen de analyses een duidelijke correlatie tussen geluidsniveaus, het aantal luide geluidsevenementen (> 70 dBA) en de ervaren geluidshinder. Naarmate L_{den} , L_{night} en het aantal luide geluidsevenementen toenemen, stijgt de ervaren geluidshinder. Specifieke geluidshinder blijkt vooral samen te hangen met de gemiddelde duurtijd per dag van de geluidsevenementen herkend als spoor- of luchtverkeer, menselijke geluiden en alarmen/sirenes. Daarnaast ervaren matig tot extreem gehinderde deelnemers minder natuurgeluiden dan de minder gehinderde deelnemers, wat wijst op een mogelijk bufferend effect van natuurgeluiden, naast het feit dat er op plekken met veel geluidshinder weinig natuurgeluiden te horen zijn. Voor de slaapkwaliteit geldt dat hogere L_{night} -waarden leiden tot het 's nachts gesloten houden van de ramen. De aanwezigheid van specifieke geluidsbronnen zoals tram-, trein- en wegverkeer kan effectief leiden tot vaker gewekt worden.

De toepassing van geluidsherkenning door AI heeft een duidelijke meerwaarde om beter te begrijpen welke bronnen geluidshinder veroorzaken. Het is zeer waarschijnlijk dat deze technologie in de toekomst standaard geïntegreerd zal worden in alle meettoestellen. Tegelijkertijd moeten we erkennen dat de huidige geluidsherkenningsmodellen nog niet volledig doorontwikkeld zijn en dat er natuurlijk nog geluiden verkeerd herkend werden. Dit biedt interessante mogelijkheden voor verder onderzoek, want voor het ontwikkelen van nieuwe AI-algoritmes was maar beperkte tijd binnen De Oorzaak.

1.3 De Grote Geluidsbevraging: 10.000 stemmen

De Grote Geluidsbevraging (GGB) geeft een uitgebreid beeld van hoe Vlamingen omgevingsgeluid ervaren en welke impact dit heeft op leefkwaliteit, slaap en stress. Met meer dan 10.000 ingevulde vragenlijsten is het één van de grootste datasets rond subjectieve geluidsbeleving, al is er naast een groter aandeel respondenten uit een stedelijke omgeving, ook sprake van zelfselectiebias: burgers die meer gehinderd door of gevoelig zijn voor geluid, zijn sneller geneigd om aan zulke bevraging deel te nemen. We zien dus dat de deelnemers gemiddeld meer hinder ervaren dan de Vlaamse bevolking wanneer we onze resultaten met voorgaand onderzoek vergelijken.

Wegverkeer blijkt veruit de belangrijkste bron van geluidshinder, gevolgd door sirenes en bouwactiviteiten, terwijl spoor- en luchtverkeer vooral lokaal relevant zijn. De resultaten tonen ook sociale en ruimtelijke ongelijkheden: bewoners van appartementen, lagere inkomensgroepen en mensen in kwetsbare posities rapporteren meer hinder. Geluidshinder beïnvloedt bovendien gedrag en levenskeuzes, zoals het overwegen van verhuizen (bijna 30% van de respondenten) of het aanpassen van de woning (14%). Positieve geluiden, zoals natuurgeluiden en vogelgezang, blijken een positief effect te hebben op stress en hinder, wat benadrukt dat geluidskwaliteit niet alleen draait om lawaaireductie, maar ook om het versterken van rustgevende geluidslandschappen.

De GGB legt een duidelijke link tussen geluidshinder en welzijn: hogere hinder gaat samen met slechtere slaapkwaliteit, meer vermoeidheid en hogere stressniveaus, hoewel oorzaak-gevolg niet eenduidig kan worden vastgesteld. Iemand die al vermoeid of gestresseerd is door andere factoren, zal vermoedelijk ook meer hinder ondervinden door geluid. Het valt ook op dat meer dan de helft van de respondenten (extreem) vermoeid is en 2/3^e minstens matige stress ondervindt!

Samenvatting

In Antwerpen rapporteren de respondenten gemiddeld meer algemene en specifieke geluidshinder dan in Gent en Leuven, maar de verschillen in vermoeidheid en stress zijn beperkt. De top 10 van meest storende geluidsbronnen verschilt slechts in detail tussen de steden, met enkele lokale accenten zoals meer hinder door bussen in Leuven en door luchtverkeer in Antwerpen. Samen met de objectieve metingen uit De Oorzaak biedt de GGB een waardevolle aanvulling: ze toont dat geluidshinder niet neutraal is, maar samenhangt met wooncontext, sociaaleconomische positie en individuele gevoeligheid, en dat het een relevante factor is voor leefkwaliteit en gezondheid.

1.4 Wekelijkse bevragingen tonen minder variatie dan gehoopt

Uit de wekelijkse bevragingen blijkt, in lijn met de Grote Geluidsbevraging, dat wegverkeer de meest storende geluidsbron is, gevolgd door bouwgerelateerde geluiden en prioritaire voertuigen. Hoewel het onderzoeksoptzet erop gericht was om variatie te vinden in zowel geluidsniveaus als wekelijkse antwoorden, bleken de verschillen in gemiddelde geluidsniveaus beperkt. Ook in de zelfgerapporteerde geluidshinder, slaapkwaliteit, stress en algemene waardering van het omgevingsgeluid deden zich slechts kleine wekelijkse schommelingen voor. Hierdoor was het moeilijk om duidelijke verbanden te vinden tussen tijdelijke veranderingen in geluidsniveaus (bijvoorbeeld door evenementen of schommelingen in verkeersintensiteit) en de impact daarvan op hinder of welzijn.

Toch leverde de omvang van de dataset enkele statistisch significante verbanden op, met als randopmerking dat de effectgrootte (zeer) beperkt is. Zo ervaren deelnemers met een sensor (en daarmee slaapkamer) aan de voorzijde van de woning een lagere algemene geluidsappreciatie en hogere stress dan deelnemers met een sensor aan de achterzijde. Slaapproblemen blijken vooral samen te hangen met hinder van specifieke geluidsbronnen en met stress, terwijl een positieve waardering van het omgevingsgeluid beschermend werkt. Een gelijkaardig patroon is zichtbaar voor slaperigheid overdag: lichte toename bij specifieke hinder en stress, maar een mild beschermend effect van een positieve geluidsappreciatie. Stress zelf vertoont duidelijke verbanden met meerdere vormen van specifieke geluidshinder, waarbij ernstige hinder samengaat met hogere stressniveaus. Om de relatie tussen wekelijkse fluctuaties in geluidsniveaus en de wekelijkse bevragingen volledig te begrijpen, is echter vervolgonderzoek nodig, waarschijnlijk met kleinere en gericht geselecteerde subsets van de data en/of andere analysemethoden.

1.5 Gezondheidsstudie: gecombineerde analyse van slaap, gehoor en stressreacties

Binnen de gezondheidsstudie van De Oorzaak werd onderzocht hoe omgevingsgeluid en individuele geluidsgevoeligheid samenhangen met slaapkwaliteit, stress en hinderbeleving. Bij 101 deelnemers uit Antwerpen, met zowel normale als verhoogde geluidsgevoeligheid (hyperacusis), werden thuis gedurende één nacht gelijktijdig slaapmetingen (polysomnografie) uitgevoerd en de geluidsniveaus buiten en binnen de slaapkamer geregistreerd met geluidssensoren. Gelijktijdig werd bij elk van hen een speekselstaal verzameld om cortisol te meten, een biologische marker voor stress. Parallel vond een gehooronderzoek in het UZA plaats om te bepalen in welke mate gehoor en geluidsgevoeligheid verklaren waarom mensen verschillend reageren op dezelfde geluidsblootstelling. Door slaap, omgevingsgeluid, stress en gehoor geïntegreerd te bestuderen in de thuissituatie, wilden we beter begrijpen wie kwetsbaarder is voor geluidshinder en hoe omgevingsgeluid het welzijn kan

Samenvatting

beïnvloeden. Dit zou dan hopelijk nieuwe inzichten opleveren voor toekomstige gezondheids- en preventiemaatregelen.

Een belangrijke beperking van deze onderzoeksopzet was de tijdsintensieve werkwijze: een medewerker van het UZA moest telkens tweemaal bij elke deelnemer langsgaan. Eerst om alle sensoren te installeren en de dag erna weer op te halen, waardoor slechts twee tot drie slaaponderzoeken per week konden worden uitgevoerd. Het totaal aantal deelnemers over het hele jaar werd daardoor gelimiteerd tot 101. Deze beperkte steekproefgrootte bemoeilijkt het vinden van statistisch significante effecten.

Er werd jammer genoeg geen statistisch significant verschil vastgesteld in de globale slaapstructuur tussen deelnemers met normale en verhoogde geluidsgevoeligheid, en evenmin een direct verband tussen nachtelijke geluidsniveaus en globale slaapkwaliteit. De resultaten tonen dat deelnemers gemiddeld 10 minuten nodig hadden om in slaap te vallen, ongeveer 7 uur per nacht slapen en een slaapefficiëntie (tijd geslapen gedeeld door tijd in bed) van 87% haalden, wat in lijn ligt met wat als gezonde slaap wordt beschouwd. Dit sluit niet uit dat geluid wel degelijk effect heeft: de resultaten suggereren eerder dat analyses op een fijnere tijdsschaal nodig zijn, waarbij individuele, kortdurende, geluidsevenementen worden gekoppeld aan fysiologische reacties tijdens de slaap (zogenaamde *micro-arousals*). Dit detailonderzoek zal in de komende maanden plaatsvinden. Daarnaast kan de verzamelde dataset in toekomstige studies leiden tot het identificeren van kwetsbare subgroepen en het ontwikkelen van gerichtere beleidsmaatregelen.

Het gehooronderzoek wijst erop dat gehoorschade en verminderd gehoor mogelijk bijdragen aan verhoogde geluidsgevoeligheid. Daarnaast blijkt geluidsgevoeligheid een multidimensioneel fenomeen: de beperkte overeenstemming tussen verschillende meetmethoden, zoals de vragenlijsten, de oncomfortabele luidheidsniveaus en de tablet-gebaseerde test, geeft aan dat subjectieve beleving, auditieve tolerantie en perceptuele verwerking elk een eigen rol spelen. Geluidsgevoeligheid kan dus niet worden herleid tot één score of drempelwaarde. Deze studie vormt daarmee een belangrijke basis voor toekomstige verfijning van meetinstrumenten en voor een dieper begrip van de rol van gehoor in de perceptie en impact van omgevingsgeluid.

Uit het stressonderzoek blijkt dat er geen duidelijk verband werd gevonden tussen speekselcortisol en de gemeten geluidsniveaus of slaapparameters. Dit betekent dat binnen de context van deze studie geluid geen directe impact lijkt te hebben op cortisol, al sluiten de resultaten subtielere effecten niet uit: de meting op één enkel tijdstip biedt slechts een momentopname, terwijl cortisol sterk kan schommelen doorheen de dag en beïnvloed wordt door factoren zoals voeding, beweging en stemming. Wel zagen we een trend waarbij deelnemers met hyperacusis hogere cortisolwaarden hadden, wat kan wijzen op een verband tussen geluidsgevoeligheid en stressniveau. Daarnaast kwamen de cortisolmetingen overeen met de zelfgerapporteerde stress: deelnemers die aangaven vaker stress of moeilijkheden te ervaren, hadden gemiddeld hogere cortisolwaarden. Toekomstig onderzoek met meerdere meetmomenten per persoon en grotere populaties kan helpen om de relatie tussen omgevingsgeluid, slaap en stress robuuster in kaart te brengen.

Samenvatting

1.6 Aanbevelingen

De resultaten van De Oorzaak tonen aan dat de geluidsbeleving door burgers een complexe wisselwerking is tussen objectieve geluidsniveaus, soorten geluidsbronnen, piekgeluiden, aanwezigheid van natuurgeluiden, wooncontext, individuele gevoeligheid en nog andere niet-akoestische factoren zoals verwachtingen en relatie met de geluidsbron. Dit proberen vatten met jaargemiddelde indicatoren, zoals L_{den} en L_{night} , is zinvol voor strategische beslissingen, maar de correlatie tussen deze indicatoren en de effectieve geluidshinder is slechts beperkt.

Dit vertaalt zich in prioriteiten op vier fronten. Ten eerste is de ruimtelijke en bouwkundige component cruciaal om de geluidsblootstelling effectief te verminderen: het strategisch situeren van geluidsgevoelige ruimtes aan de stille zijde, meer akoestische expertise en aandacht bij ontwerp en stadsvernieuwing, inclusief integratie van natuur(geluiden) in het stedelijk ontwerp en het creëren van geluidsluwe zones. Specifiek voor verkeersgeluid, de dominante bron, blijven investeringen in kwalitatief openbaar vervoer en stillere vervoersmodi, onderhoud van wegdekken, doordachte snelheidsregimes, het beperken van zwaar verkeer in kernen en contextspecifieke geluidsreducerende ingrepen prioritair. Natuurlijk dient ook de overlast van andere geluidsbronnen zoveel mogelijk aangepakt te worden.

Ten tweede is er nood aan financiële en regelgevende instrumenten die *de facto* gedrag sturen: gerichte subsidies voor akoestische renovaties in geluidsbelaste en kwetsbare buurten, en een akoestisch woninglabel dat burgers beter informeert en renovaties stimuleert.

Ten derde vraagt de normering om realistische en bindende limietwaarden die, naast gemiddelden, expliciet rekening houden met geluidsdynamiek en piekbelastingen en die aansluiten bij stedelijke realiteiten.

Ten vierde dienen procesmatige randvoorwaarden te worden versterkt: een centraal aanspreekpunt voor klachten, duidelijke verwachtingen rond handhaving en metingen, en structurele ondersteuning van datagedreven beleid, inclusief burgerbetrokkenheid en AI-geluidsherkenning. Dit omvat ook een betere communicatie over haalbare effecten van geluidsreducerende maatregelen: wat objectief een verbetering is, kan voor bewoners toch aanvoelen als een verslechtering, omdat ze meer hadden verwacht/gehoopt. Daarom is heldere communicatie en goed verwachtingsmanagement cruciaal bij toekomstige ingrepen. Alleen wanneer bewoners begrijpen wat een maatregel wel én niet kan opleveren, vermijden we dat ingrepen een averechts gevoelseffect hebben.

Vanuit gezondheidsperspectief benadrukt het UZA dat gehoorstatus, geluidsgevoeligheid en slaapreacties cruciaal zijn voor het begrijpen van de impact van omgevingsgeluid. Kwetsbare subgroepen verdienen bijzondere aandacht, en gehoorschade kan een risicofactor zijn voor gevoeligheid en hinder. Daarom wordt aangeraden om gehooronderzoek structureel te integreren in geluidsstudies en om gehoorscreening bij volwassenen te overwegen. Verder onderzoek naar *micro-arousals* en subtiele slaapverstoringen, longitudinale opvolging en de koppeling van gezondheidsdata aan omgevingsdata wordt aanbevolen. Ook een betere verankering van slaap-, gehoor- en geluidsgevoelighedsinformatie in het Globaal Medisch Dossier kan bijdragen aan vroegdetectie en gepersonaliseerde zorg.

Samenvatting

Tot slot krijgen burgers aanbevelingen mee om hun leefomgeving en slaapomgeving bewust te organiseren, hun gehoor op een evenwichtige manier te beschermen, actief een balans te zoeken tussen geluid en rust, en samen met de burens of wijkpartners eventuele problemen te signaleren of aan te pakken.

De Oorzaak bevestigt de waarde van grootschalig burgeronderzoek. Ze levert data op die anders nooit beschikbaar zou zijn en versterkt het maatschappelijk draagvlak. Verdere investeringen in dit soort projecten, evenals in AI-gebaseerde geluidsherkenning en open datasets, zijn aangewezen. Even belangrijk is dat de betrokken overheidspartners transparant communiceren over hoe de resultaten van De Oorzaak worden gebruikt, zodat deelnemers zien hoe hun inspanningen bijdragen aan een beter beleid. Het geheel benadrukt de nood aan een geïntegreerde aanpak: omgevingsgeluid, leefkwaliteit, natuur, gezondheid en mobiliteit zijn onlosmakelijk verbonden en verdienen een coherent beleid waarin deze pijlers niet langer los van elkaar worden behandeld.



DE OORZAAK

Aanpak

2 Aanpak van De Oorzaak

2.1 Partners van De Oorzaak

In het burgerwetenschapsproject De Oorzaak werken diverse partners nauw samen, volgens een *quadruple helix*-model (Figuur 2-1), om een innovatief en multidisciplinair onderzoek naar de impact van omgevingsgeluid op gezondheid en leefomgeving mogelijk te maken.



Figuur 2-1 Quadruple helix-model van De Oorzaak

De kern van dit project wordt gevormd door de academische en medische expertise van de Universiteit Antwerpen en het Universitair Ziekenhuis Antwerpen. Zij zorgen samen voor de wetenschappelijke fundering en de uitvoering en opvolging van het onderzoek.

Daarnaast speelt de Vlaamse krant De Morgen, als derde initiatiefnemer, een essentiële rol in de communicatie- en mediacampagnes, waarmee de brede participatie van burgers wordt gestimuleerd en de onderzoeksresultaten aan een groter publiek worden verspreid.

Aanpak van De Oorzaak

De industriële partners droegen eveneens bij aan het succes van De Oorzaak. Orange (België) was verantwoordelijk voor de datacommunicatie via simkaarten in de slimme sensoren, Natus/OSG (België) leverde de apparatuur voor de slaapstudies en Sorama (Nederland) ontwikkelde de bijbehorende smartphone-app, waarmee burgers actief hun geluidomgeving kunnen meten en evalueren. De sensoren werden aangekocht bij Munisense (Nederland) en ASAsense (België), die ook zorgden voor het ontwikkelen van nieuwe geluidsherkenningssystemen.

Diverse Vlaamse overheidsinstanties (Departement Omgeving, Departement Zorg, Agentschap Wegen en Verkeer), alsook Lantis (bouwheer Oosterweelverbinding te Antwerpen), De Lijn (de Vlaamse vervoermaatschappij) en op lokaal niveau Stad Gent, Stad Leuven en Provincie Antwerpen ondersteunden het project door financiële bijdragen of subsidies te leveren, data te delen en actief deel te nemen aan werkgroepen. Deze gezamenlijke inspanning zorgt ervoor dat De Oorzaak niet alleen wetenschappelijk vernieuwend is, maar ook een breed maatschappelijk draagvlak heeft en bijdraagt aan beter beleid en een gezondere leefomgeving.

Tot slot is een burgerwetenschapsproject natuurlijk nergens zonder de extreem waardevolle bijdragen van alle burgerwetenschappers (> 10.000).

2.2 Doelstellingen van De Oorzaak

De Oorzaak streefde ernaar middels een innovatieve burgerwetenschapsaanpak de impact van omgevingsgeluid op de gezondheid en het welzijn van stedelijke inwoners in kaart te brengen. De globale doelstellingen omvatten: (1) het ontwikkelen en verfijnen van een geluidsherkenningssysteem met behulp van slimme geluidssensoren en artificiële intelligentie; (2) het opzetten van een uitgebreid netwerk van slimme geluidssensoren in stedelijke gebieden; (3) het aanleveren van data voor het valideren van de strategische geluidsbelastingsschema's en geluidsactieplannen, en het introduceren van subjectieve geluidshinderkaarten; (4) het verzamelen van gedetailleerde medische data over de effecten van geluidsblootstelling, zoals de invloed op slaapkwaliteit en stress; en (5) het informeren en sensibiliseren van de burgers, en de (lokale) overheid stimuleren om voldoende of meer aandacht te besteden aan omgevingsgeluid. In de kritische reflectie in Hoofdstuk 19 kijken we terug en evalueren we in hoeverre de doelstellingen werden gerealiseerd.

Door burgers actief te betrekken bij de dataverzameling en -evaluatie, wilde het project niet alleen wetenschappelijke inzichten verdiepen, maar ook een breed maatschappelijk draagvlak creëren voor een *evidence-based* aanpak van omgevingsgeluid. De verkregen data en de daarbij ontwikkelde methodologie vormen een solide basis voor toekomstige projecten elders in België of Europa, waarmee zowel algemene trends als regionale bijzonderheden in kaart kunnen worden gebracht.

De focus lag hierbij bewust op omgevingsgeluid, en dan vooral in een stedelijke context, afkomstig van weg-, spoor-, en luchtverkeer, bouw- en industriële activiteiten, evenals geluiden van sport- en muziekevenementen. Daarnaast zochten we ook specifiek naar luwteplekken waar er weinig geluid is, of waar geluid als rustig of rustgevend wordt ervaren, om niet alleen op het negatieve te focussen. Geluidsbronnen met een lage frequentie, zoals windturbines, of specifieke geluiden van bijvoorbeeld verwarmingspompen en koelunits werden buiten beschouwing gelaten, omdat ze ofwel niet gemeten konden worden met de sensoren, ofwel er niet voldoende gelabelde data beschikbaar waren om hiermee een geluidsherkenningssysteem te trainen. Deze gerichte aanpak maakte het mogelijk om de

Aanpak van De Oorzaak

meet- en analysemethodologie optimaal af te stemmen op de specifieke uitdagingen en gezondheidsimplicaties van stedelijk omgevingsgeluid.

2.3 Integrale onderzoeksmethodologie

De Oorzaak hanteerde een integrale onderzoeksmethodologie die keek naar zowel de objectieve als subjectieve kant van omgevingsgeluid en geluidsbeleving, om zo het stedelijke geluidslandschap en de impact op de gezondheid van burgers volledig in kaart te brengen. Het project steunde op drie pijlers, elk van de drie cruciaal voor het overkoepelende verhaal, zie Figuur 2-2:



Figuur 2-2 De drie onderzoekspijlers binnen De Oorzaak

2.3.1 Slimme geluidssensoren

Er werd een uitgebreid netwerk van klasse II-conforme slimme sensoren geïnstalleerd in Antwerpen, Gent en Leuven. Deze sensoren maten continu de geluidsniveaus en maakten gebruik van AI-algoritmes om specifieke geluidsbronnen – zoals verkeer, industriële activiteiten of menselijke stemmen – te identificeren. Een deel van die sensoren werd voor een jaar lang als referentiesensor op vaste locaties in de steden opgesteld (meer hierover in Hoofdstuk 4), terwijl het gros ervan bij burgerwetenschappers werd geplaatst, die telkens gedurende zes weken een sensor aan hun slaapkamerraam installeerden (Hoofdstuk 3). Meer informatie over de ontwikkeling van de geluidsherkenningmodellen vind je in Hoofdstuk 5 en Appendix A.

2.3.2 Burgerparticipatie en bevestigingen

Burgers werden actief betrokken bij de dataverzameling via verschillende bevestigingen. Het project werd op gang getrappt met een korte, anonieme vragenlijst over het gebruik van gehoorbescherming (Hoofdstuk 6) en het uitvoeren van een korte geluidswandeling, waarbij deelnemers een anonieme vragenlijst invulden over hun eerste indrukken van de lokale geluidsomgeving (Hoofdstuk 7). Deze functionaliteit werd later geïntegreerd in een speciaal ontwikkelde De Oorzaak-app, waarmee deelnemers gedurende het project een geluidswandeling konden uitvoeren (de hiermee verzamelde data zijn nog niet volledig geanalyseerd, dus hierover wordt in dit rapport niet gerapporteerd).

Aanpak van De Oorzaak

De belangrijkste vragenlijst was de Grote Geluidsbevraging (GGB), die door 10.138 Vlamingen volledig werd ingevuld, en informeerde naar hun ervaring met omgevingsgeluid en de gepercipieerde impact op hun gezondheid en levenskwaliteit (Hoofdstuk 8). Daarnaast werden bij burgers met een slimme geluidssensor wekelijkse bevragingen afgenomen die inzicht geven in de subjectieve ervaring van geluidsblootstelling, zoals geluidsoverlast, slaapkwaliteit en stress in parallel met de geluidsmetingen, wat resulteerde in nog eens 10.180 ingevulde vragenlijsten (Hoofdstuk 9).

Tot slot wensten we te evalueren wat goed en minder goed werkte binnen De Oorzaak om hieruit lessen te kunnen trekken voor eventuele vervolgonderzoeken. Dit werd gerealiseerd door een eindbevraging, die door meer dan 400 respondenten werd ingevuld en zeer waardevolle informatie opleverde (Hoofdstuk 10).

2.3.3 Gezondheidsstudie

De gezondheidsstudie vormt, naast de bevragingen en de geluidsmetingen, de derde pijler van De Oorzaak. Dit onderdeel, dat onder leiding van Universitair Ziekenhuis Antwerpen (UZA) werd uitgevoerd, was gericht op het onderzoeken van de medische aspecten van omgevingsgeluid, met als doel om de blootstelling aan geluid te koppelen aan functionele en biologische gezondheidsuitkomsten in een subpopulatie van deelnemers uit Antwerpen.

Het opzet van de gezondheidsstudie combineert verschillende onderzoeksonderdelen om een breed beeld te krijgen van de mogelijke invloed van geluid op gezondheid en welzijn. Een belangrijk onderdeel betrof de objectieve slaapstudie (Hoofdstuk 11), uitgevoerd door het Slaapcentrum van het UZA, waarbij met behulp van EEG-metingen de slaapstructuur en nachtelijk ontwaken werden vastgelegd terwijl geluidssensoren zowel buiten als binnen de slaapkamer de geluidsblootstelling registreren. Het onderzoek omvatte ook een audiologisch onderzoek (Hoofdstuk 12) om gehoor, geluidsgevoeligheid en perceptie van geluidsniveaus te bepalen, en hiermee individuele verschillen in geluidverwerking in kaart te brengen. Tot slot werd het stressniveau van de deelnemers gemeten aan de hand van de aanwezigheid van cortisol in een speekselafname (Hoofdstuk 13).

Door deze medische metingen te combineren met de uitgebreide GGB-gegevens, aanvullende bevragingen afgenomen door het UZA en de objectieve geluidsniveaus, kunnen verbanden tussen omgevingsgeluid en gezondheid systematisch worden onderzocht. Deze geïntegreerde aanpak brengt zowel lichamelijke als subjectieve effecten van geluid in kaart en wil zo bijdragen aan een beter inzicht in de relatie tussen geluid en gezondheid in het dagelijks leven.

2.3.4 Ethische goedkeuringen

Alle onderzoeken binnen De Oorzaak werden op voorhand gescreend en goedgekeurd door twee verschillende ethische adviescommissies:

- 1) Het sensorvoortraject om geluidsfragmenten zonder stemgeluiden te verzamelen en die later te labelen: goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 29 augustus 2023 (SHW_2023_196).
- 2) De twee anonieme bevragingen (gehoorbescherming en geluidswandeling): goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 18 september 2023 (SHW_2023_215).

Aanpak van De Oorzaak

- 3) De Grote Geluidsbevraging: goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 13 september 2023 (SHW_2023_214).
- 4) De Apple Watch-studie: goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 6 maart 2024 (SHW_2024_10).
- 5) De geluidsmetingen gedurende 1 jaar met slimme geluidssensoren, inclusief wekelijkse bevragingen: goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 11 maart 2024 (SHW_2024_40).
- 6) De app van De Oorzaak: goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 17 april 2024 (SHW_2024_47_W1).
- 7) De gezondheidsstudie van het UZA: goedgekeurd door het Comité voor Medische Ethiek van het UZA/Universiteit Antwerpen op 11 maart 2024 (Project ID 6311).
- 8) Bevragingen bij middelbare scholen (leerkrachten en leerlingen): goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 17 december 2024 (SHW_2024_223).

Hiernaast werden ook een *Data Management Plan* (DMP) en *Data Protection Impact Assessment* (DPIA) opgesteld, en werd het hele project van dichtbij ondersteund door onze DPO (*Data Protection Officer*) en privacy stafmedewerker, gezien de grote hoeveelheid persoonlijke gegevens die verzameld werden.

2.4 De kern van De Oorzaak

Naast de drie hierboven beschreven onderzoekspijlers, is er nog een vierde pijler binnen de kern van De Oorzaak, zie Figuur 2-3.



Figuur 2-3 Grafische weergave van de kern van De Oorzaak

Met de Apple Watch-studie wilden we als haalbaarheidsstudie onderzoeken of het gebruik van wearables als *low-cost* alternatief zou kunnen dienen voor de uitgebreide gezondheidsstudie, waarbij zowel de geluidsniveaus als informatie over slaapkwaliteit en stress via de Apple Watch opgemeten werden (Hoofdstuk 14). De resultaten werden ook besproken in de individuele geluidsrapporten die de burgerwetenschappers eind september 2025 ontvangen hebben.



DE OORZAAK

Geluidsmetingen

3 Burgersensoren

Eén van de centrale pijlers van het burgerwetenschapsproject De Oorzaak was het uitgebreide netwerk van slimme geluidssensoren, geplaatst door duizenden deelnemers aan hun slaapkamerraam in Antwerpen, Gent en Leuven. Deze sensoren vormden de ruggengraat van het onderzoek naar omgevingsgeluid in stedelijke gebieden. Ze leverden objectieve, gedetailleerde en langdurige metingen van geluidsniveaus op locaties die cruciaal zijn voor onze levenskwaliteit: daar waar we slapen.

3.1 Methodologie

Het burgersensornetwerk van De Oorzaak bestond uit 400 slimme NP9-sensoren van Munisense (NL), elk uitgerust met een klasse II microfoon en een montagebeugel, waardoor consistente en betrouwbare geluidsmetingen mogelijk waren en er voor de gevelreflectie kon gecorrigeerd worden.

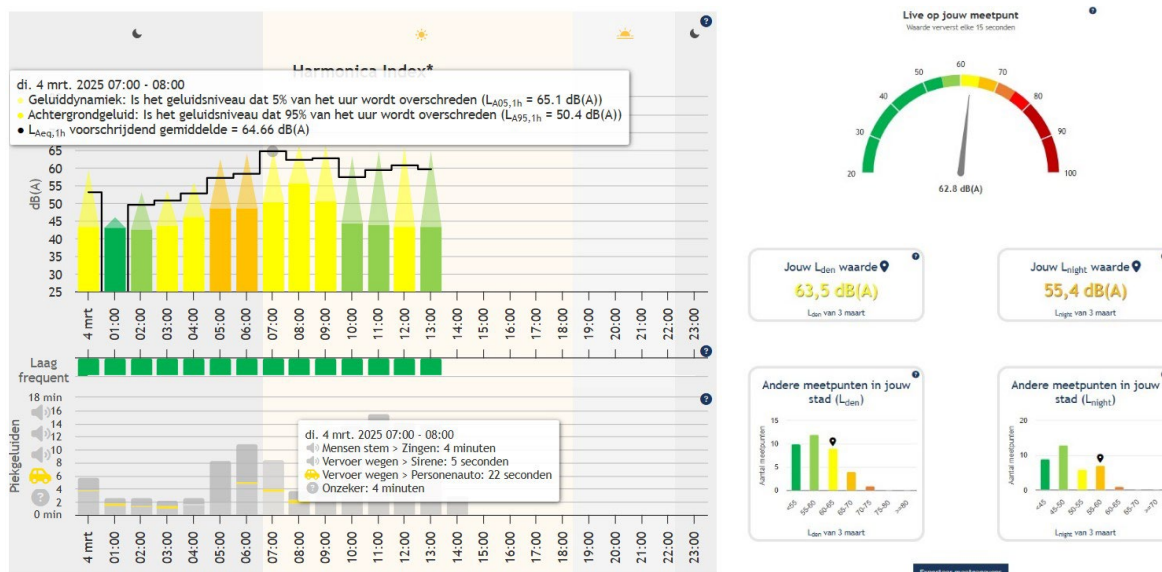
Deze sensoren werden door burgerwetenschappers geplaatst aan hun slaapkamerraam in Antwerpen, Gent en Leuven. De metingen vonden plaats gedurende zes verschillende meetperiodes van telkens zes weken, tussen april 2024 en april 2025 (Figuur 3-1), waarbij telkens honderden sensoren simultaan data verzamelden op een breed scala aan locaties doorheen de stad. In totaal verzamelden we zo gegevens van 1.452 sensorlocaties, wat neerkomt op 60.435 dagen of 1.473.629 uur aan akoestische data, oftewel 88.417.740 minuten aan geluidsinformatie.



Figuur 3-1 Overzicht van de zes meetperiodes

De sensoren registreerden geluidsniveaus in *real-time* en maakten daarnaast gebruik van artificiële intelligentie om verschillende geluidsbronnen te herkennen, zoals verkeer, menselijke stemmen of natuurgeluiden. Dit gebeurde volledig zonder het opslaan van geluidsopnames, waardoor de privacy van deelnemers en toevallige passanten gewaarborgd bleef. De verzamelde data werden via het mobiele netwerk van Orange Belgium automatisch doorgestuurd naar een centrale server, waar ze werden geanalyseerd en visueel beschikbaar gemaakt via persoonlijke dashboards voor de sensordeelnemers zie Figuur 3-2.

Geluidsmetingen



Figuur 3-2 Dashboard voor de sensordeelnemers

Daarnaast werd een overzichtskaart met alle meetlocaties en hun data beschikbaar gesteld via de website van De Morgen, zodat ook het brede publiek zicht kreeg op de geluidsniveaus in hun buurt.

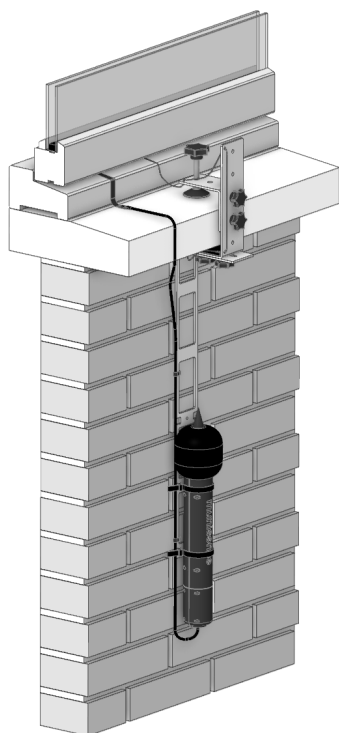
Dankzij dit fijnmazige netwerk van meetpunten verkregen we voor het eerst een gedetailleerd beeld van hoe geluidsdruk en geluidsbronnen in de stad varieerden — niet alleen tussen buurten, maar ook doorheen het etmaal en doorheen de seizoenen. Dit stelde ons in staat om:

- De ruimtelijke en temporele variatie in omgevingsgeluid in kaart te brengen.
- Inzicht te krijgen in piekniveaus, achtergrondgeluid en dominante geluidsbronnen.
- De relatie te onderzoeken tussen objectieve geluidsmetingen en hoe mensen deze geluiden subjectief ervaren.
- De mogelijke effecten van omgevingsgeluid op gezondheid te evalueren, met een focus op slaapkwaliteit en stressniveaus.

Door de geluidsmetingen te combineren met gegevens uit vragenlijsten en gezondheidsonderzoeken, beoogde De Oorzaak een holistisch inzicht te geven in het stedelijke geluidslandschap. De resultaten en verzamelde data zullen bijdragen aan gerichte aanbevelingen voor stedelijke planning en beleid, met als doel aangenamere, gezondere en leefbaardere steden te creëren.

3.2 De installatie van de burgersensoren

Bij de ontwikkeling van de sensor werd de installatie ervan in het lab getest, zodat we konden inschatten hoe gevelreflecties invloed hebben op de metingen. Bij een correcte installatie, zie Figuur 3-3, bedraagt de gevelreflectie ongeveer 5,7 dB en kan het meetresultaat hiervoor gecorrigeerd worden om een correcte meting van het omgevingsgeluid te bekomen. Gestandaardiseerde metingen van omgevingsgeluid moeten normaliter in het “vrije veld” gebeuren, waar er geen reflecterende objecten in de buurt zijn.



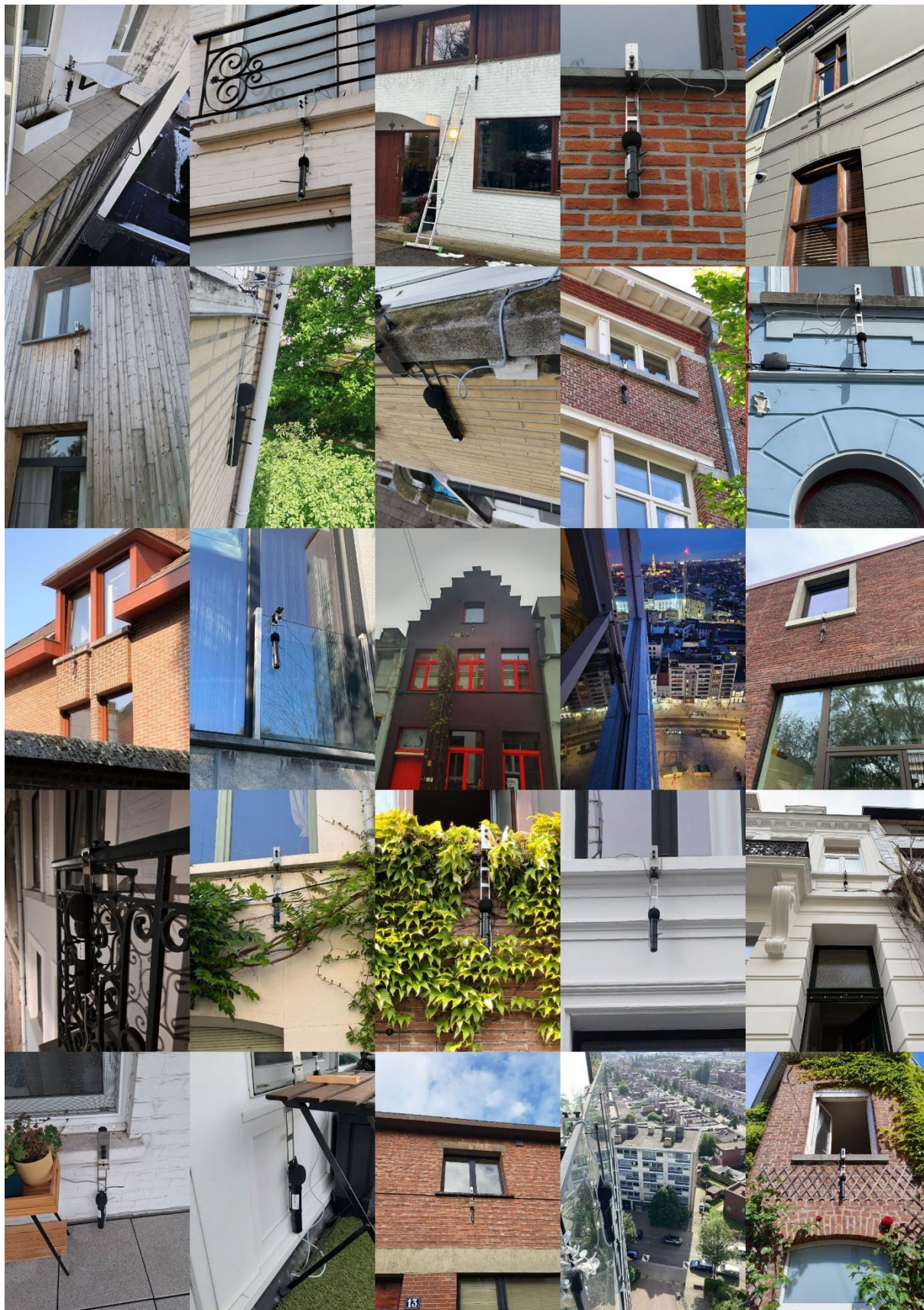
Figuur 3-3 Installatie van de slimme geluidssensoren (links) figuur handleiding en (rechts) onder een raamdorpel

Om te controleren of de sensor goed geplaatst werd, bekeken we de foto('s) die bij installatie werden doorgestuurd, zie Figuur 3-4 met enkele voorbeelden van de sensorinstallatie door de burgerwetenschappers. Zo konden we nagaan of de sensor volgens de handleiding werd gemonteerd en of we de juiste reflectiecorrectie konden toepassen. Als de installatie afweek van de standaardopstelling – bijvoorbeeld als de sensor aan de balustrade van een balkon werd bevestigd – kon dit zorgen voor onzekere of afwijkende reflecties. Ook checkten we of de windbol juist op de sensor werd gemonteerd. De windbol zorgde ervoor dat windruis gedempt werd: sensoren zonder of met een minder goed gemonteerde windbol kunnen hogere geluidsniveaus gemeten hebben bij hogere windsnelheden. De installatie was bij **89,7% (1.303)** van de burgers volledig conform de installatievoorschriften!

Bijkomend werden na elke meetperiode alle sensoren gecontroleerd qua kalibratie. Indien er afwijkingen gevonden werden, of niet-werkende sensoren, dan werden deze voor herstelling opgestuurd naar Munisense.

Geluidsmetingen

Dit maakt dat we dus vertrouwen kunnen hebben in de opgemeten en gerapporteerde geluidsniveaus.

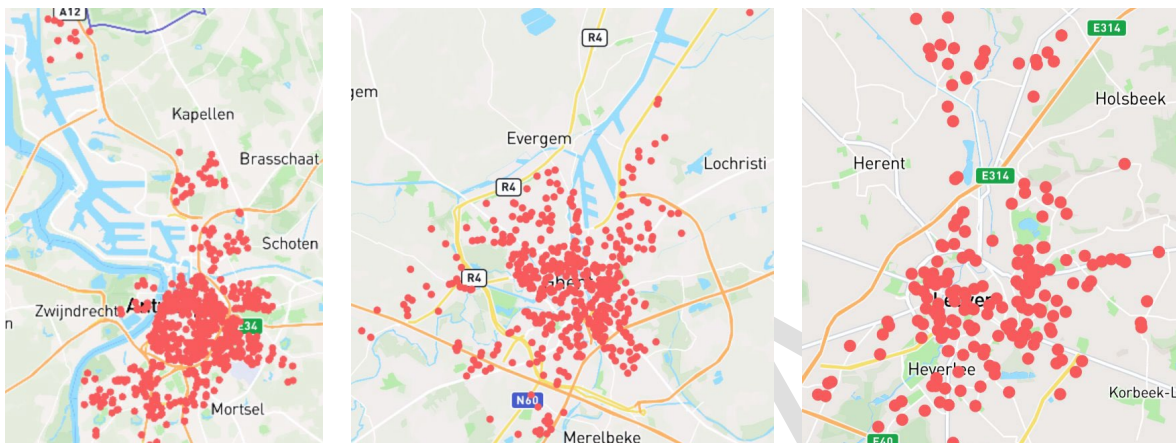


*Figuur 3-4 Enkele voorbeelden van de sensorinstallatie door de burgerwetenschappers
[foto's genomen door de deelnemers die per mail toestemming hebben gegeven om hun foto te gebruiken]*

Geluidsmetingen

3.3 Locaties

Dankzij het enthousiasme van duizenden burgers konden we een mooie spreiding aan sensorlocaties realiseren in Antwerpen, Gent en Leuven. In totaal werden er 746 vensterbanken of balustrades in Antwerpen, 500 in Gent en 206 in Leuven voor zes weken uitgerust met een sensor. Bij 60,4% van de meetpunten bevond de sensor zich aan de voorzijde van de woning, en bij 39,6% aan de zij- of achterkant. Op onderstaande kaart (Figuur 3-5) kan je alle sensorlocaties terugvinden.



Figuur 3-5 Kaart van Antwerpen (links), Gent (midden) en Leuven (rechts) met alle sensorlocaties

3.4 Algemene geluidsniveaus

Voor we beginnen eerst wat uitleg over de akoestische indicatoren L_{den} en L_{night} :

- Het A-gewogen gemiddelde dag-avond-nacht geluidsniveau L_{den} wordt berekend met de volgende formule:

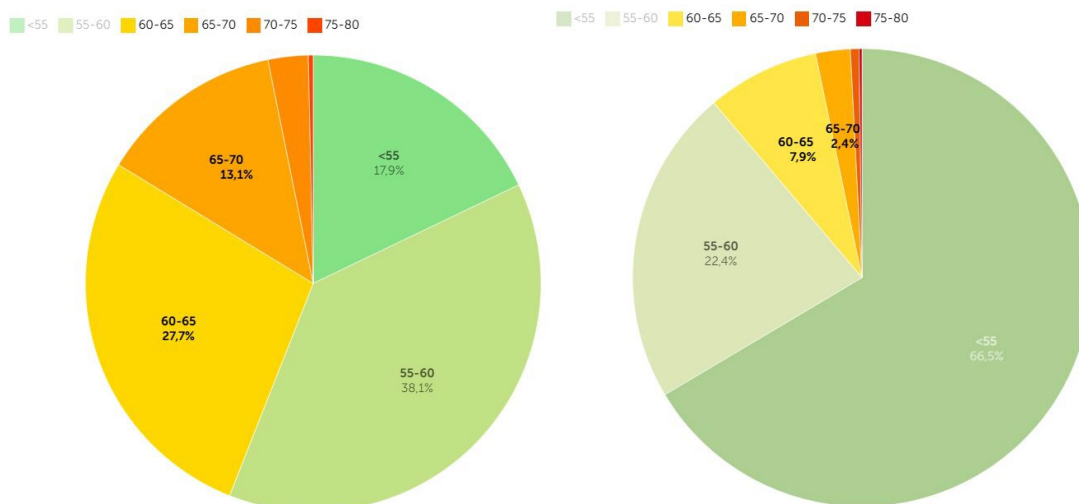
$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

- L_{day} is het A-gewogen gemiddelde geluidsniveau gedurende de dag, gedefinieerd van 7u 's ochtends tot en 19u.
- $L_{evening}$ is het A-gewogen gemiddelde geluidsniveau gedurende de avond, gedefinieerd van 19u tot 23u. In bovenstaande formule krijgt deze waarde een straffactor van 5 dBA.
- L_{night} is het A-gewogen gemiddelde geluidsniveau gedurende de nacht, gedefinieerd van 23u tot 7u. In bovenstaande formule krijgt deze waarde een straffactor van 10 dBA. Wanneer enkel deze waarde wordt getoond, is dit zonder straffactor!

3.4.1 Gemiddelde geluidsniveaus over de hele meetperiode

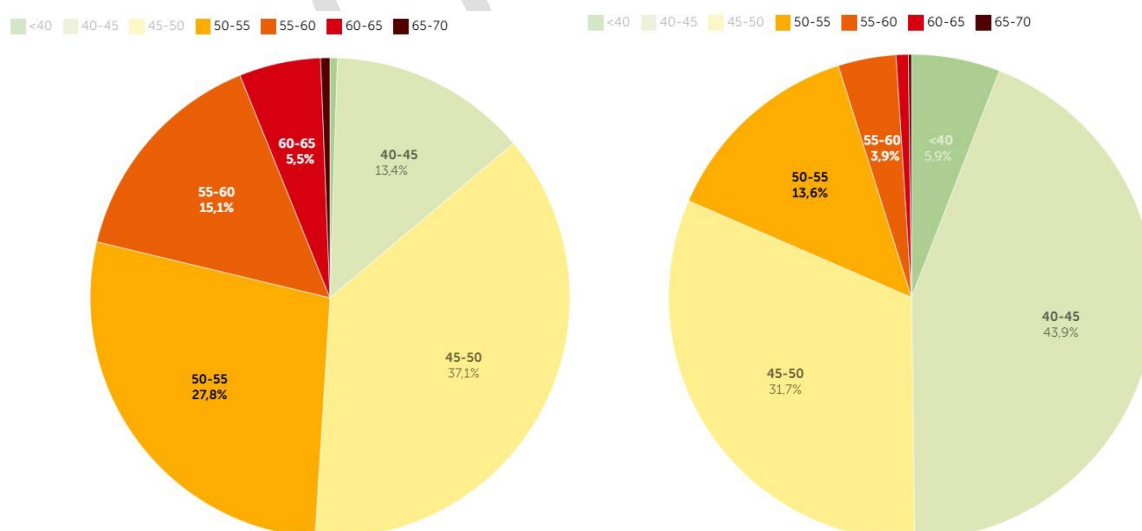
De over de volledige meetperiode gemiddelde geluidsniveaus tonen een uitgesproken verschil tussen voor- en niet-voorzijde van de woningen. Over de hele dag (L_{den}) bleef 56,1% van de meetlocaties aan de voorgevel onder 60 dB, terwijl dit aandeel aan de achterzijde opliep tot bijna 89%, zie Figuur 3-6. De cijfers in Antwerpen, Gent en Leuven zijn gelijkaardig.

Geluidsmetingen



Figuur 3-6 Gemiddelde L_{den} over de gehele meetperiode voor sensoren geïnstalleerd aan de voorzijde (links) en de niet-voorzijde (rechts) [figuur De Morgen]

Ook 's nachts (L_{night}) zijn de verschillen duidelijk. Aan de voorgevel bleef 51,0% van de locaties onder 50 dB (10 dB strenger genomen dan de gewogen waarde voor de hele dag), terwijl dit aan de niet-voorzijde 80,7% bedroeg, zie Figuur 3-7. We zijn hier met voorbedachten rade afgeweken van de WHO-richtlijnen. Deze zijn gebaseerd op simulaties en literatuurstudies, en beperkt tot slechts één geluidsbron (bijvoorbeeld wegverkeer). Dit maakt dat deze waarden niet bruikbaar zijn om te vergelijken met geluidsmetingen in een stedelijke context waarbij de som van vele geluidsbronnen leidt tot de hogere waarden. Het blijft natuurlijk wel duidelijk hoe belangrijk een stille zijde van de woning is als akoestische buffer voor gezondheid en welzijn, zowel overdag als 's nachts.

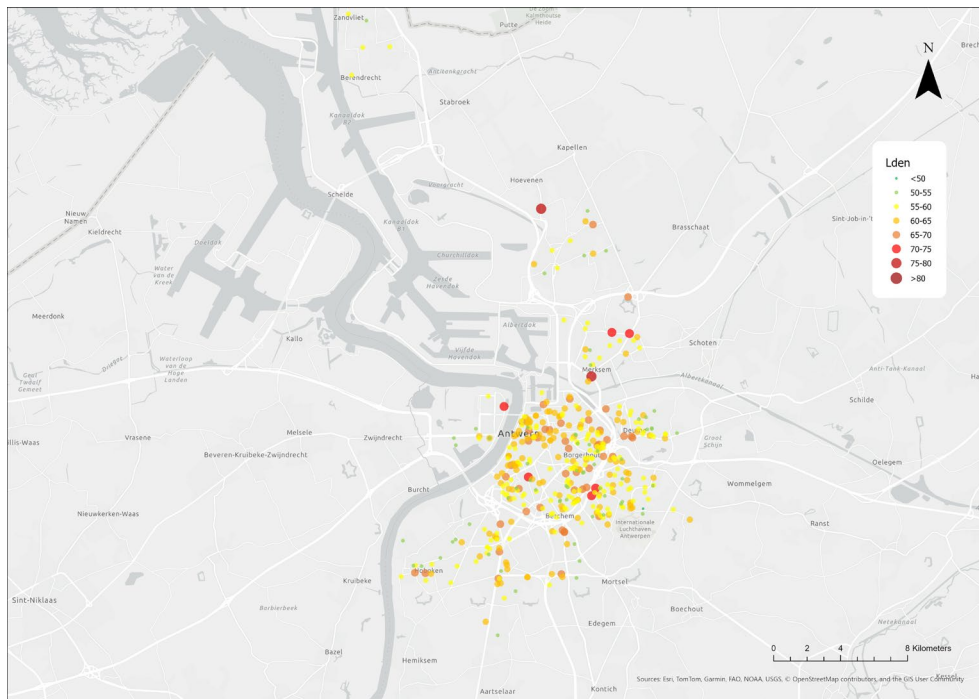


Figuur 3-7 Gemiddelde L_{night} over de gehele meetperiode voor sensoren geïnstalleerd aan de voorzijde (links) en de niet-voorzijde (rechts) [figuur De Morgen]

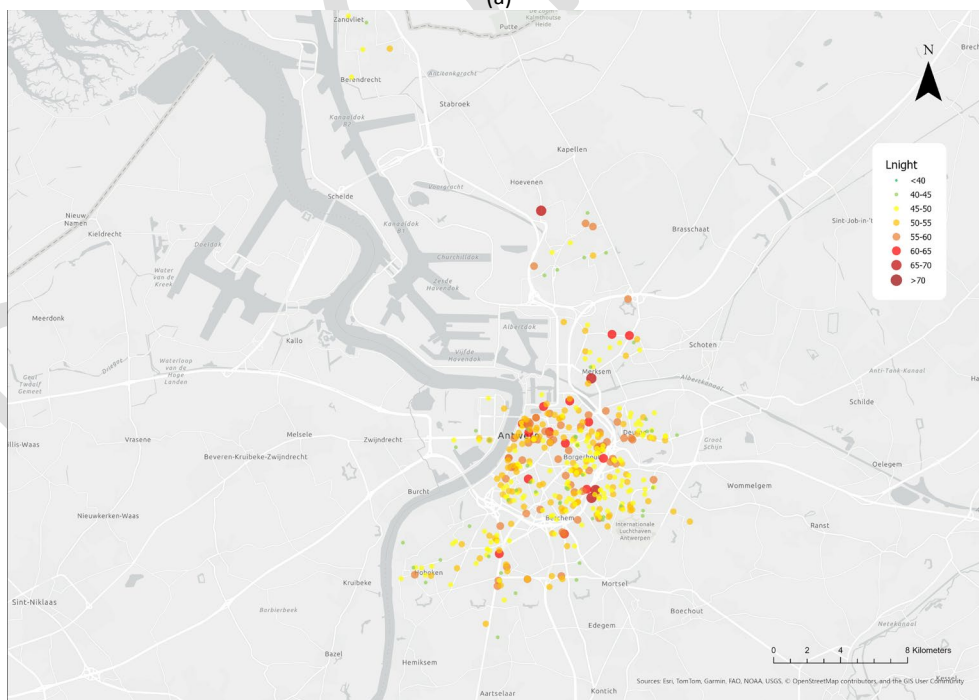
Geluidsmetingen

3.4.2 Antwerpen

Per stad tonen we overzichtskaarten van alle valide¹ meetpunten voor de gemiddelde L_{den} en L_{night} ² over de hele meetperiode, opgesplitst voor de sensoren aan de voor- en niet-voorzijde.



(a)



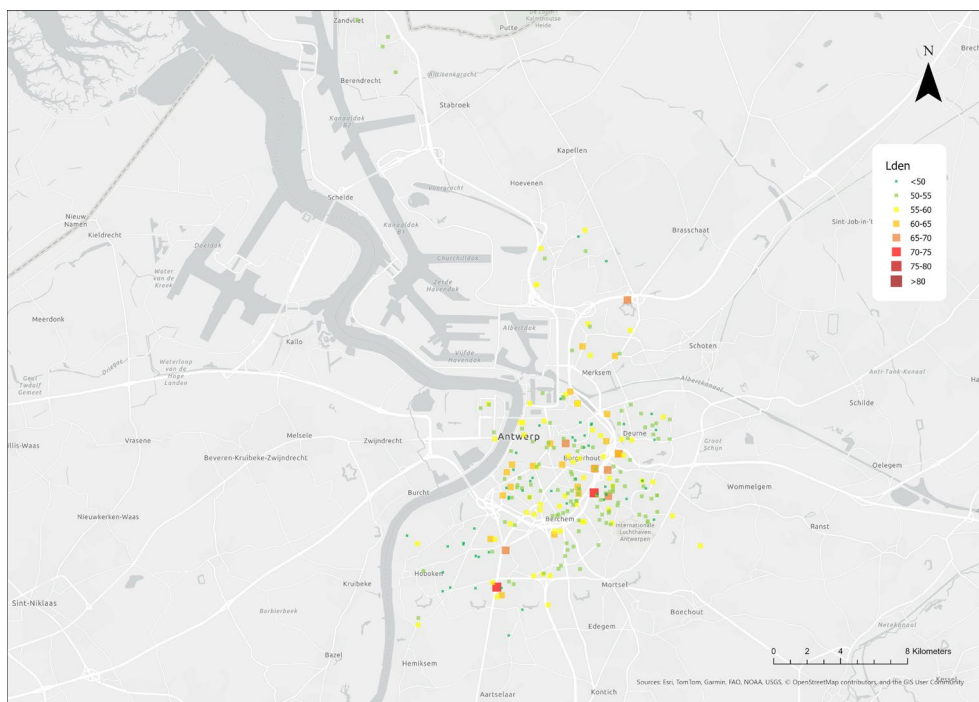
(b)

Figuur 3-8 Overzichtskaarten voor Antwerpen (sensoren voorzijde): (a) L_{den} en (b) L_{night}

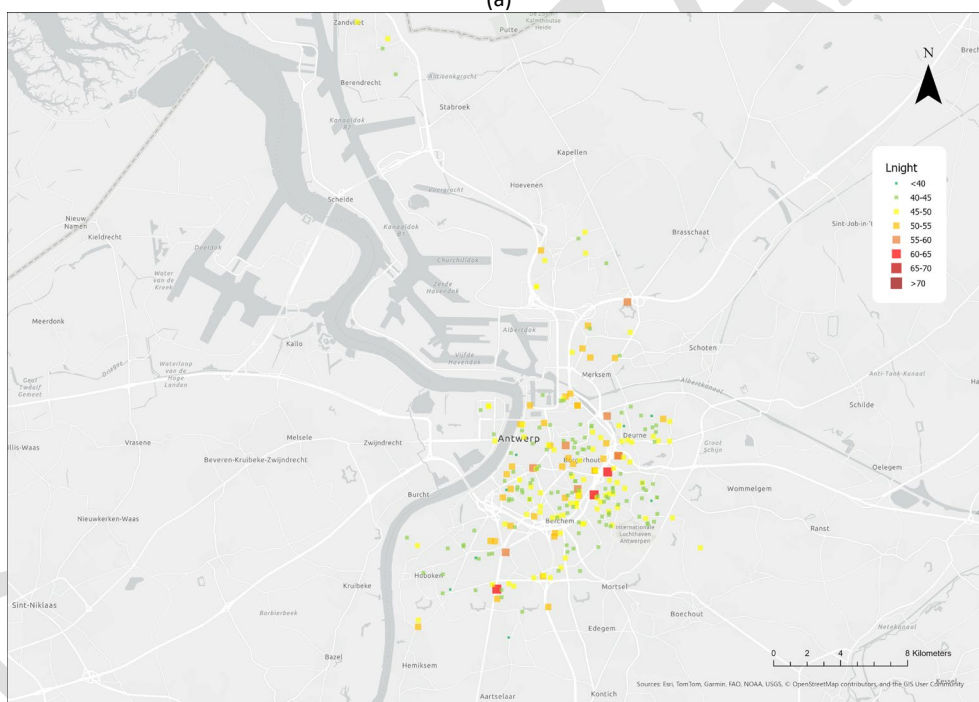
¹ Meetpunten worden als valide beschouwd indien er gedurende voldoende aantal dagen data verzameld werd en de installatie conform beoordeeld werd zodat er dus zekerheid is over de gevelreflecties.

² *Opgelet*: de legende voor L_{den} en L_{night} verschilt, aangezien L_{night} een straffactor van 10 dB(A) krijgt in de berekening van L_{den} . Hierdoor zal bijv. een gele kleur voor L_{den} tussen 55-60 dB(A) bedragen en voor L_{night} tussen 45-50 dB(A).

Geluidsmetingen



(a)



(b)

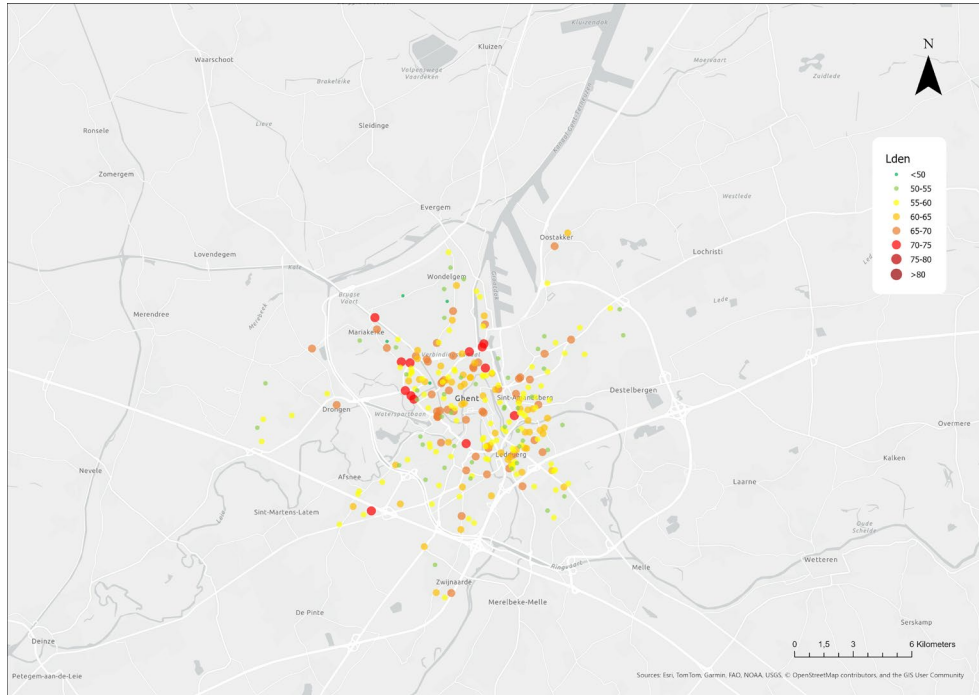
Figuur 3-9 Overzichtskaarten voor Antwerpen (sensoren niet-voorzijde): (a) L_{den} en (b) L_{night}

Wanneer je Figuur 3-8 en Figuur 3-9 vergelijkt, valt onmiddellijk op dat de sensoren aan de niet-voorzijde aanzienlijk lagere geluidsniveaus gemeten hebben. Hier en daar is er een uitzondering waarbij de achtergevel eigenlijk de meest belaste gevel is. Om dit voor toekomstige analyses nog te kunnen verbeteren, hebben we met een extra bevraging opgevraagd of de sensor aan de luide of stille kant (of "ik weet het niet") werd geplaatst. Hierop hebben meer dan 900 respondenten geantwoord, maar we hebben deze bijkomende informatie nog niet kunnen gebruiken in dit eindrapport. In toekomstige analyses zal die info wel gebruikt worden.

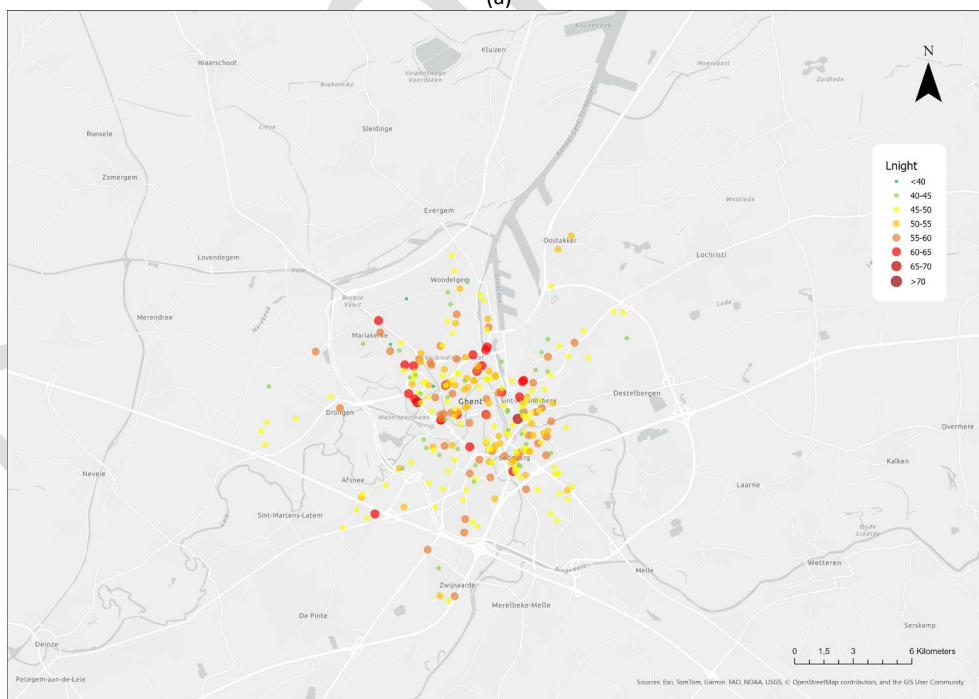
Geluidsmetingen

3.4.3 Gent

In Gent zien we dezelfde verschillen tussen sensoren aan de voorzijde (Figuur 3-10) en niet-voorzijde (Figuur 3-11). Het luidste meetpunt van Gent bevindt zich aan een zijgevel, maar die werd even zwaar belast door het wegverkeer als de voorgevel.



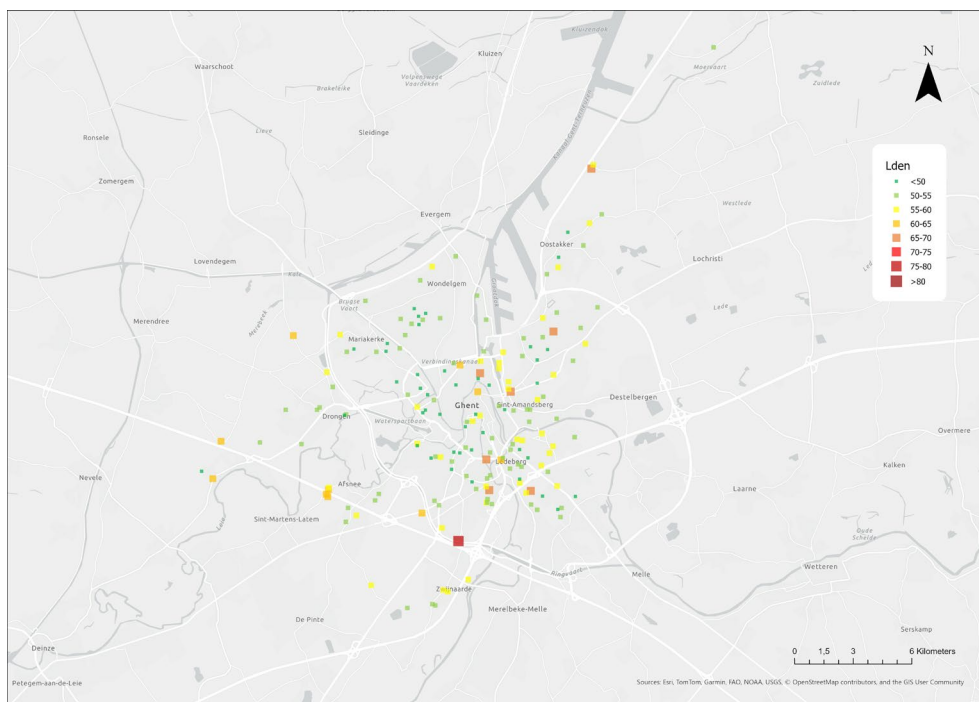
(a)



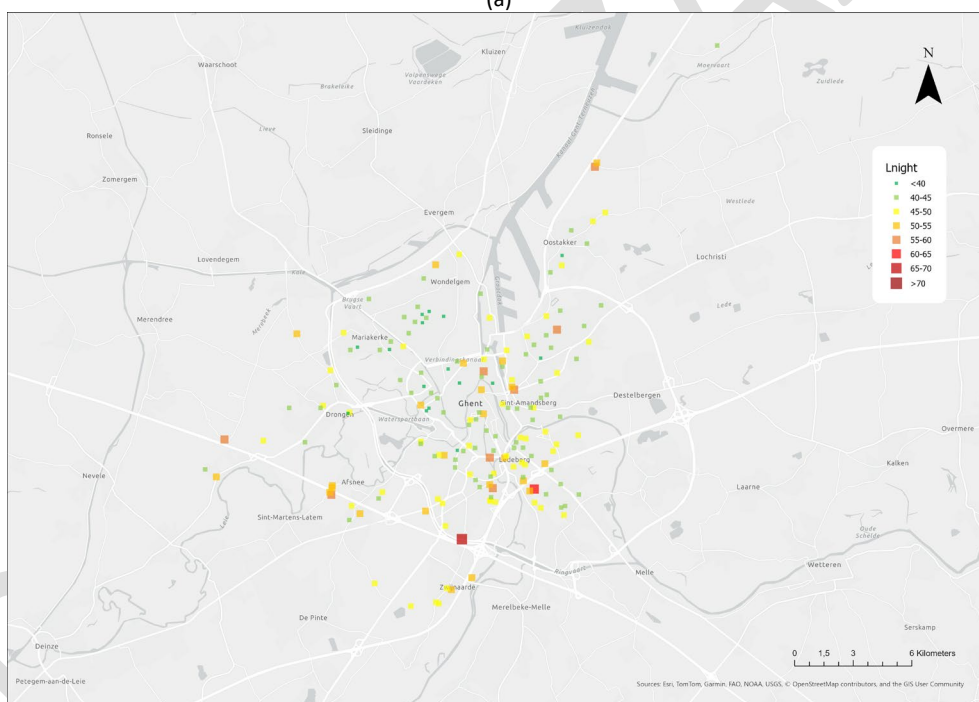
(b)

Figuur 3-10 Overzichtskaarten voor Gent (sensoren voorzijde): (a) L_{den} en (b) L_{night}

Geluidsmetingen



(a)



(b)

Figuur 3-11 Overzichtskarten voor Gent (sensoren niet-voorzijde): (a) L_{den} en (b) L_{night}

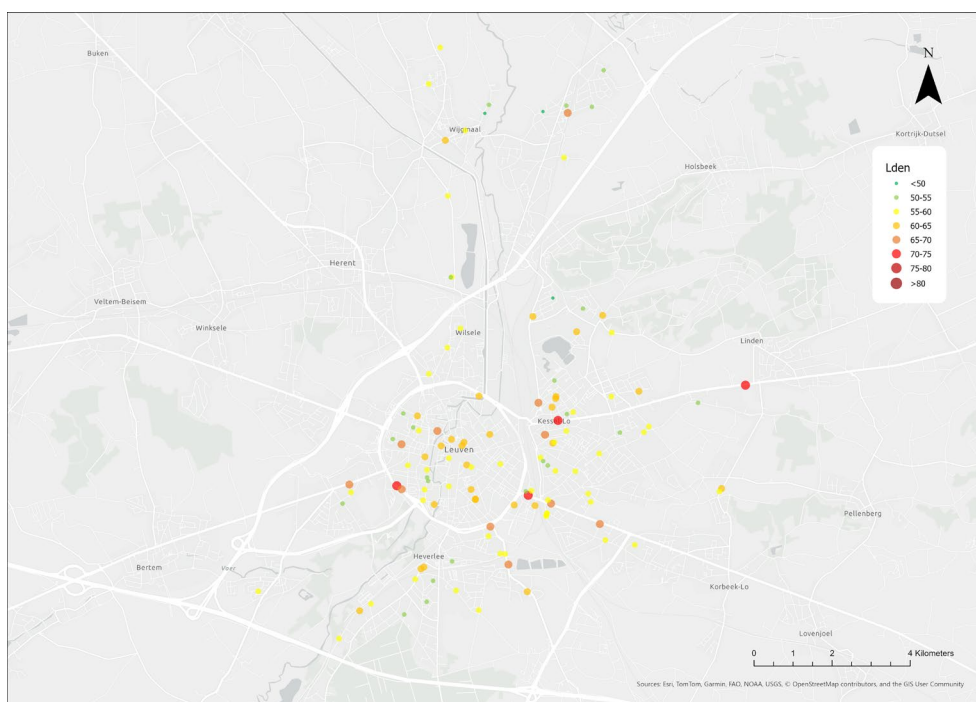
We hebben getwijfeld of we de zijgevel bij de voor- of achtergevel moeten tonen, maar op basis van de antwoorden op de extra vraag, blijkt dit ongeveer 50/50 te zijn. Het leek ons dan *overkill* om de zijgevel apart aan te duiden op kaarten, en als een aparte categorie in statistische analyses te beschouwen.

Wat ook opvalt, is dat de kleurcode van meetpunten maar beperkt wijzigt tussen L_{den} en L_{night} . Een analyse van de stilste en luidste meetpunten volgt in § 3.7.

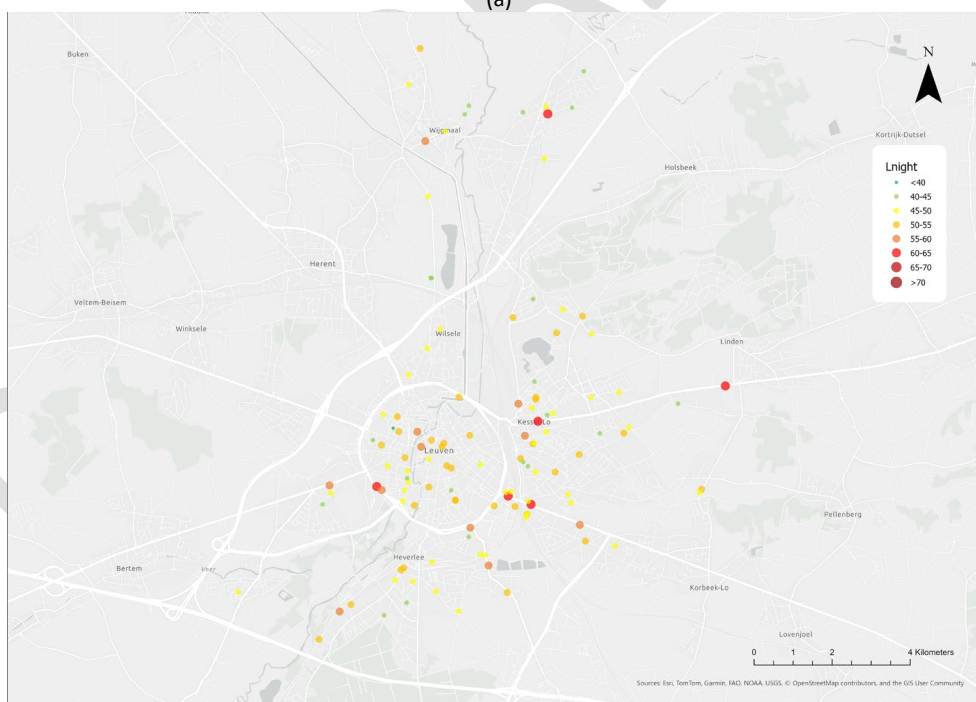
Geluidsmetingen

3.4.4 Leuven

Als laatste tonen we de overzichtskaarten voor Leuven, sensoren voorzien (Figuur 3-12) en niet-voorzien (Figuur 3-13).



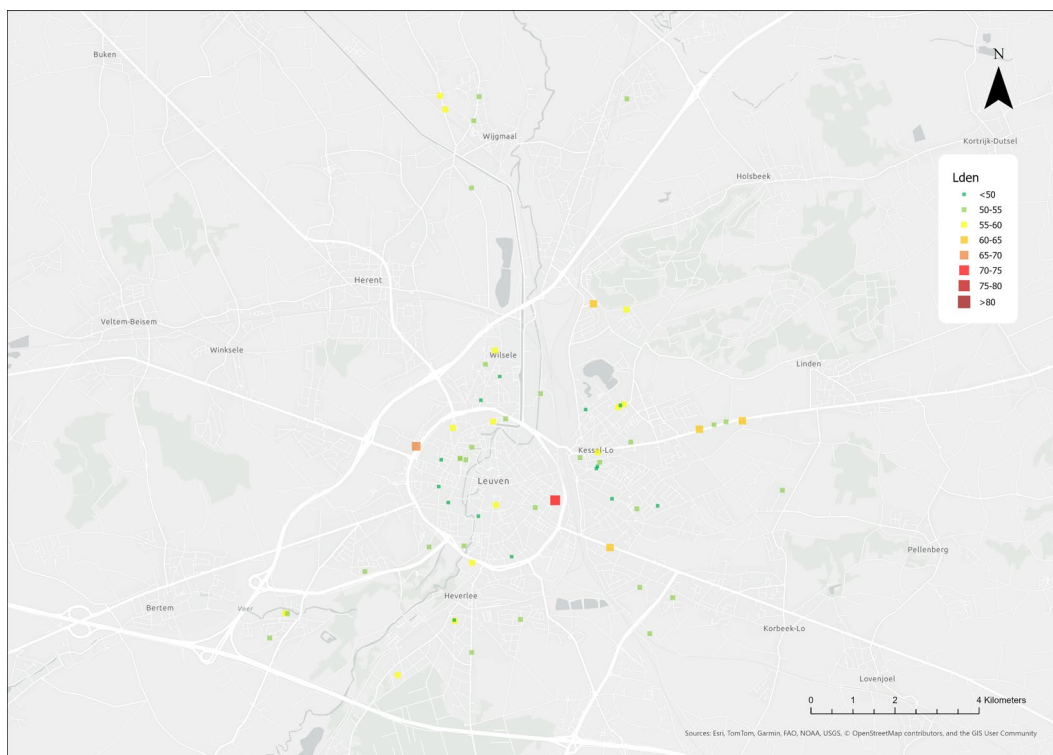
(a)



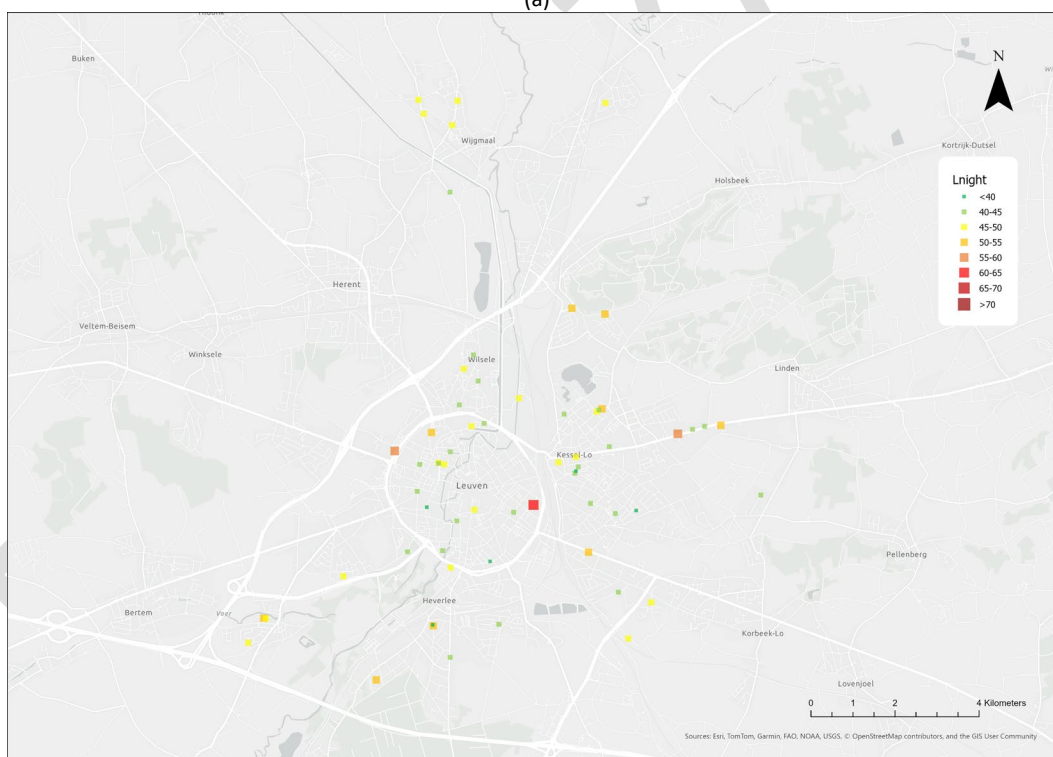
(b)

Figuur 3-12 Overzichtskaarten voor Leuven (sensoren voorzijde): (a) L_{den} en (b) L_{night}

Geluidsmetingen



(a)



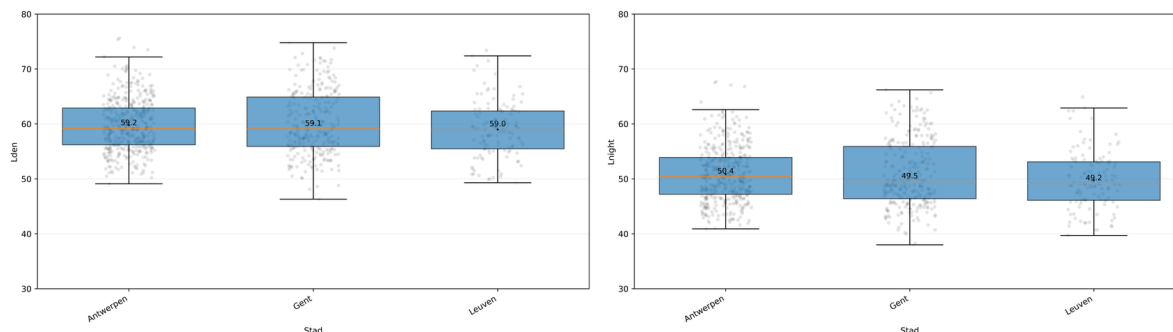
(b)

Figuur 3-13 Overzichtskaarten voor Leuven (sensoren niet-voorzijde): (a) L_{den} en (b) L_{night}

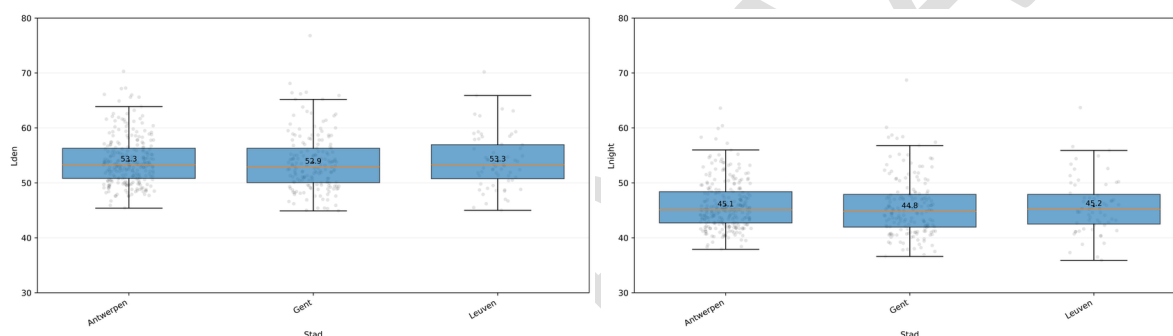
Geluidsmetingen

3.4.5 Vergelijking tussen de steden en meetperiodes

Als eerste kijken we op basis van de gemiddelde L_{den} en L_{night} of er significante verschillen zijn tussen de steden. Ook hier hebben we opgesplitst tussen de sensoren geplaatst aan de voorzijde (Figuur 3-14) en niet-voorzijde (Figuur 3-15).



Figuur 3-14 Boxplots van de gemiddelde (links) L_{den} en (rechts) L_{night} opgedeeld per stad (sensoren voorzijde)

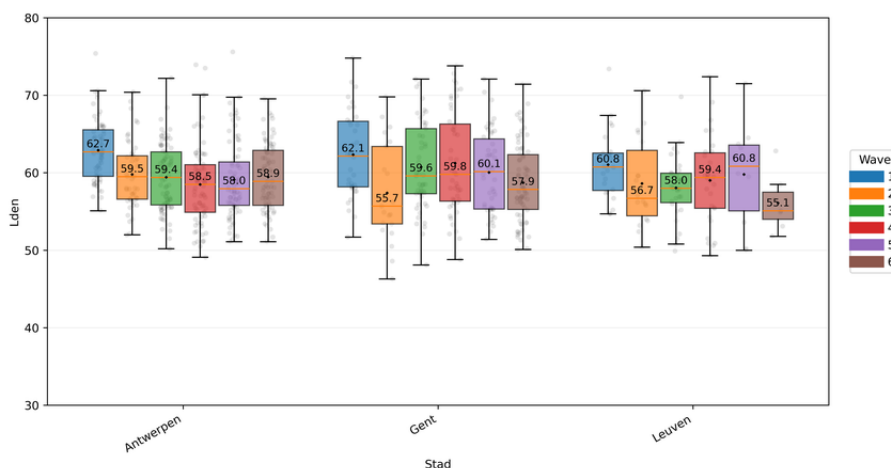


Figuur 3-15 Boxplots van de gemiddelde (links) L_{den} en (rechts) L_{night} opgedeeld per stad (sensoren niet-voorzijde)

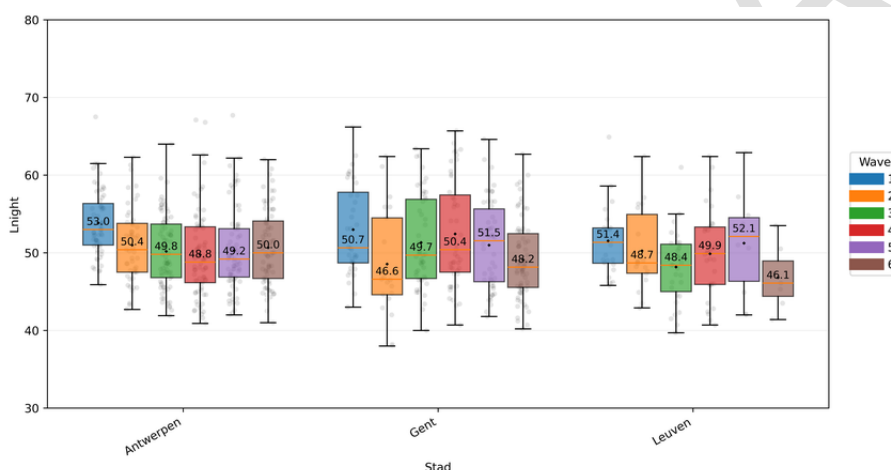
Zoals je kan zien in bovenstaande figuren, zijn de verschillen qua gemiddelde waarden per stad zeer beperkt, en niet statistisch significant, noch voor de sensoren aan de voorkant, noch voor de sensoren aan de zij- of achterkant (p-waarden tussen 0,1172 en 0,8159). Het verschil tussen de voorzijde en niet-voorzijde bedraagt voor L_{den} gemiddeld rond de 6 dB, voor L_{night} bedraagt dit verschil ongeveer 4-5 dB. Het gemiddeld verschil tussen L_{den} en L_{night} bedraagt 8-9 dB.

Geluidsmetingen

In Figuur 3-16 vind je een verdere opdeling per meetperiode binnen elke stad voor de sensoren geplaatst aan de voorzijde.



(a)



(b)

Figuur 3-16 Boxplots van de gemiddelde (a) L_{den} en (b) L_{night} opgedeeld per stad en meetperiode (sensoren voorzijde)

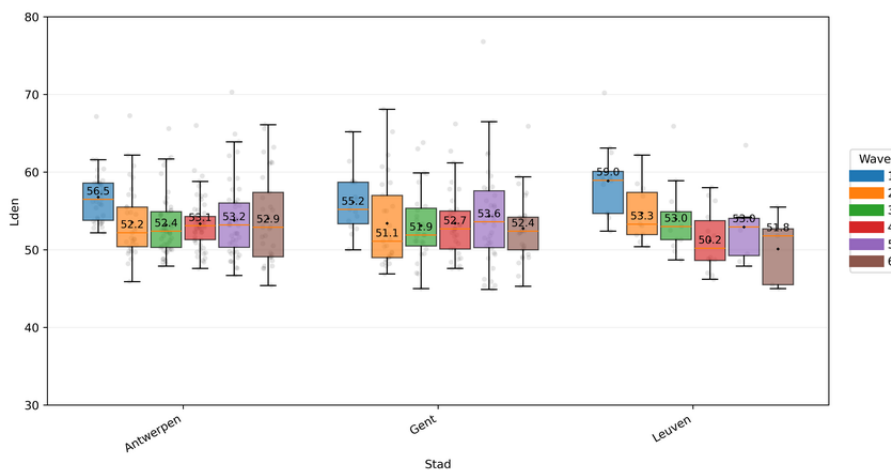
Meetperiode 1 is hier duidelijk de luidste, wat we helaas (nog) niet kunnen verklaren. Na afloop van meetperiode 2 (zomervakantie 2024) dachten we dat die aanzienlijk stiller was, maar nu we alle resultaten hebben, is meetperiode 2 in de drie steden niet significant stiller dan alle andere meetperiodes. Natuurlijk is er in elke meetperiode op andere plaatsen gemeten, maar we zagen geen grote verschillen in bijvoorbeeld de afstand tot drukke wegen. Jammer genoeg hebben we voor meetperiode 1 geen mel-spectra opgeslagen, waardoor we hiervan geen geluidsbronnen konden identificeren. We hopen dat de referentiesensoren die een heel jaar op dezelfde plaats gemeten hebben, een duidelijker verschil of verklaring kunnen geven.

Statistisch gezien zijn de verschillen tussen de meeste meetperiodes onderling significant, behalve bijvoorbeeld in Antwerpen tussen meetperiodes 2 en 3 (L_{den}).

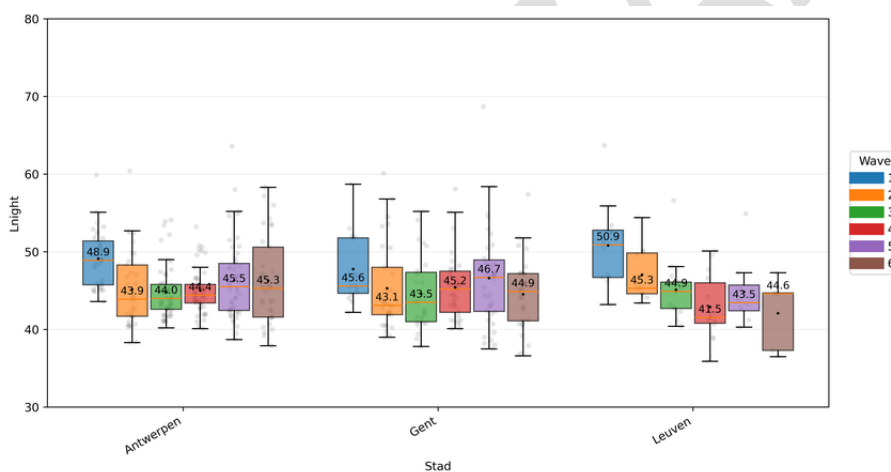
Geluidsmetingen

In Figuur 3-17 zien we soortgelijke trends voor de sensoren aan de niet-voorzijde:

- Duidelijk luidere eerste meetperiode.
- Meetperiode 2 niet significant stiller, behalve in Gent.
- Minder significante verschillen tussen de meetperiodes dan bij de sensoren aan de voorzijde.



(a)

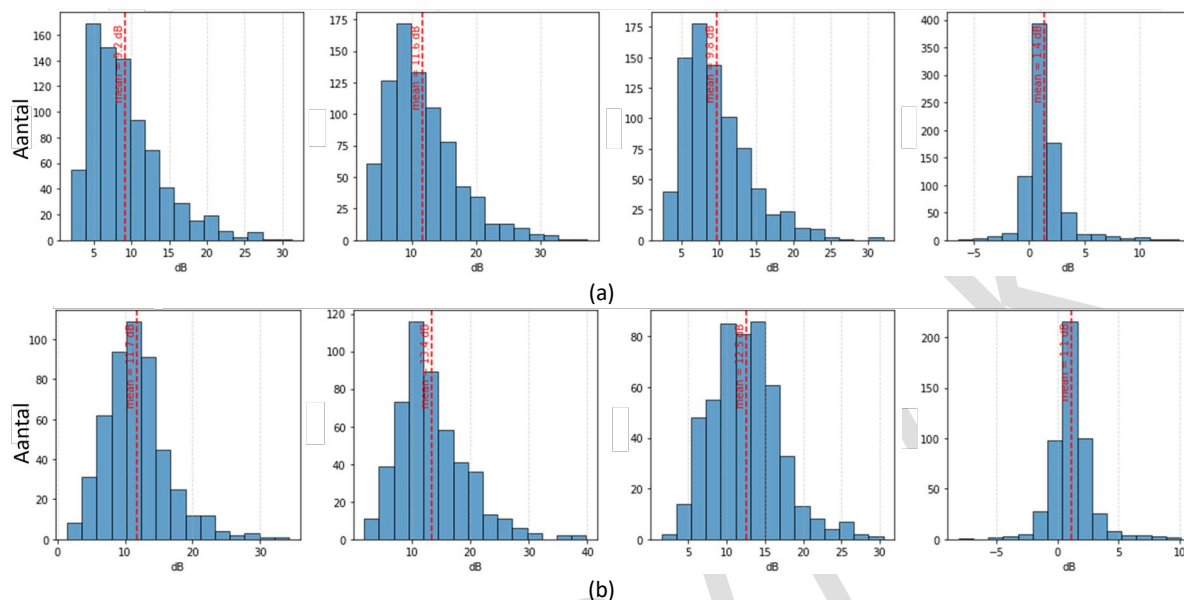


(b)

Figuur 3-17 Boxplots van de gemiddelde (a) L_{den} en (b) L_{night} , opgedeeld per stad en meetperiode (sensoren niet-voorzijde)

3.5 Dynamisch bereik

In deze sectie kijken we hoe de geluidsniveaus van dag tot dag, of nacht tot nacht, over de hele meetperiode variëren. We zijn hierbij op zoek gegaan naar de verschillen tussen de stilste en luidste dag en nacht per meetpunt, en hebben hiervan histogrammen gemaakt, zie Figuur 3-18.



Figuur 3-18 Histogrammen die de dynamische verschillen tonen over de hele meetperiode, v.l.n.r.: L_{den} , L_{day} , L_{night} , verschil werkdag – weekend (L_{den}); (a) sensoren voorzijde en (b) sensoren niet-voorzijde

In bovenstaande figuur kan je zien wat de verschillen zijn voor de sensoren geplaatst aan de voorzijde, Figuur 3-18 (a), en niet-voorzijde, Figuur 3-18 (b), maar hieronder wordt dit even samengevat voor alle sensoren tezamen:

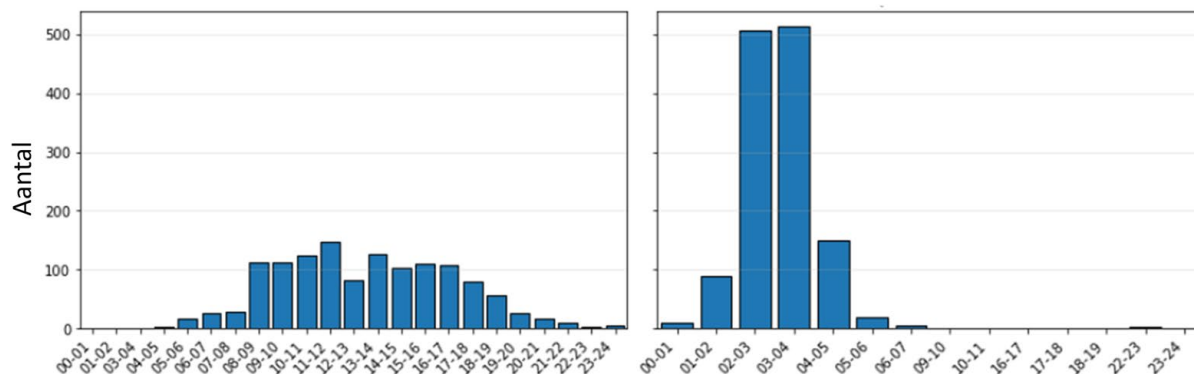
- Het gemiddeld verschil tussen de luidste en stilste dag (L_{den}) bedraagt 10,2 dB.
- Voor het dagdeel (L_{day}) bedraagt dit verschil zelfs 12,3 dB.
- Het gemiddeld verschil tussen de luidste en stilste nacht (L_{night}) bedraagt 10,8 dB.

Zoals je kan zien, zijn er locaties waar de verschillen minder dan 5 dB bedragen, maar op andere locaties kan dit zelfs oplopen tot boven de 20 en 30 dB! Een deel van de verschillen kan verklaard worden door de weersomstandigheden: een dag met veel regen en wind zal leiden tot een daggemiddelde dat enkele dB hoger ligt. De uitschieters zullen eerder te maken hebben met tijdelijke geluidsbronnen, zoals doe-het-zelfactiviteiten van de burens of de sensordeelnemer zelf. Een verdere analyse hiervan moet nog gebeuren op basis van de geluidsbronidentificatie.

Het verschil tussen werk- en niet-werkdagen (weekend en vakantiedagen) is beperkter dan we verwacht hadden: 1,3 dB voor L_{den} en 0,7 dB voor L_{night} . De negatieve waarden tonen aan dat het op bepaalde locaties zelfs gemiddeld luider is op niet-werkdagen, mogelijk te wijten aan geluidsbronnen zoals nabijgelegen winkelstraten, horeca of sportvelden die vooral in het weekend meer gebruikt worden.

Geluidsmetingen

Op basis van alle sensordata kunnen we ook kijken wat de luidste en stilste uren zijn per locatie, samengevat als histogrammen in Figuur 3-19.



Figuur 3-19 Het gemiddeld luidste (links) en stilste (rechts) uur van de dag, over alle sensoren en dagen heen

Over de volledige meetperiode en voor alle sensoren bekeken is 11-12 uur gemiddeld het luidste moment van de dag, terwijl 2-4 uur 's nachts het stilste moment vormt. De variatie in het luidste uur is echter veel groter: vrijwel elk uur op een werkdag tussen 8 en 17 uur kan het luidste moment zijn, met als opvallende uitzondering de middagpauze rond 12 uur, die minder vaak piekt. Op een beperkt aantal locaties is het luidste moment van de dag zelfs om 5u 's ochtends of zelfs om 23u 's avonds. Het stilste tijdsvenster daarentegen is veel consistent en vertoont nauwelijks variatie.

3.6 Geluidsbronnen

3.6.1 Geluidsevenementen

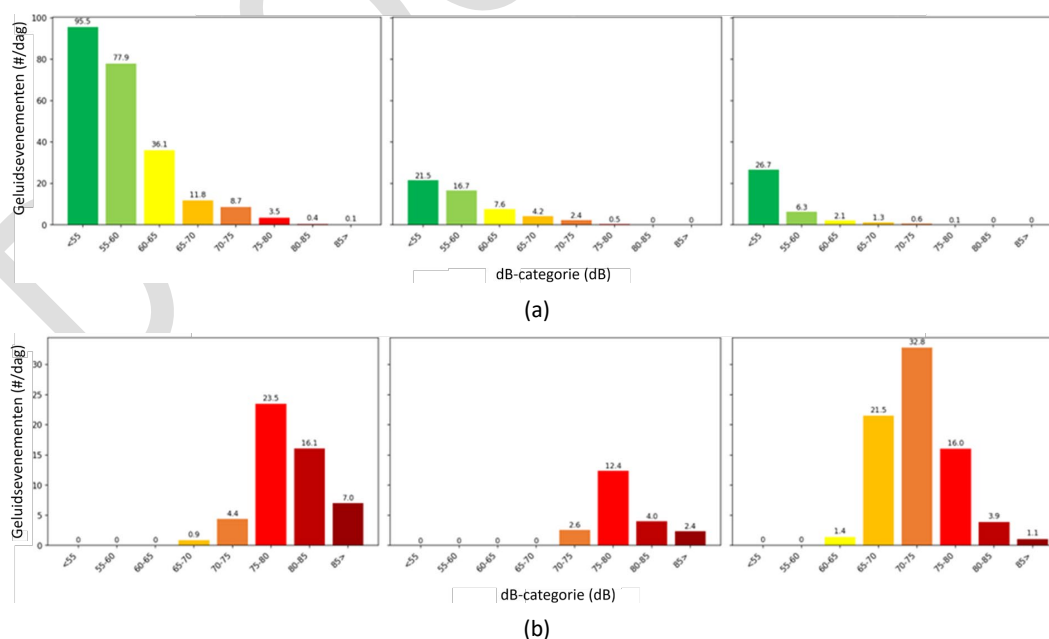
Op het dashboard zagen sensordeelnemers tijdens de meetperiode onderaan een item genaamd “piekgeluiden”. In de individuele geluidsrapporten gebruikten we hiervoor de term “geluidsevenementen”. Overdag en tijdens de nacht kan je namelijk gerust geluidsevenementen hebben, zonder dat je die als piekgeluiden zal ervaren. Wij hebben de volgende definitie gebruikt om te bepalen wat een geluidsevenement is:

$$L_{Aeq,1s} > L_{Aeq,15min,m} + 10 \text{ dBA}$$

We gebruiken hiervoor het A-gewogen equivalent geluidsniveau ($L_{Aeq,1s}$), dat per seconde berekend wordt, en vergelijken deze waarde met het voortschrijdend A-gewogen gemiddelde over 15 minuten ($L_{Aeq,15min,m}$). Indien het verschil groter is dan 10 dBA, dan wordt dit als een geluidsevenement beschouwd. Per geluidsevenement noteren we hoelang die duurt en wat het maximaal geluidsniveau is. Dit maximaal geluidsniveau gebruiken we om elk geluidsevenement in categorieën van 5 dB op te delen.

We hebben al deze berekeningen volledig opnieuw gedaan, omdat er afhankelijk van de meetperiode andere referentiewaarden werden gebruikt. In het begin van het project werd één constant geluidsniveau gebruikt i.p.v. een voortschrijdend gemiddelde, onafhankelijk van de locatie en tijdstip. Vervolgens werd dit vervangen door twee aparte, maar nog steeds constante, waarden voor dag en nacht, en pas later door een dynamisch variërend getal. Dit maakt dat er in het begin veel minder geluidsevenementen werden getoond op het persoonlijk dashboard.

Het aantal geluidsevenementen dat per locatie wordt gevonden, wordt sterk beïnvloed door het achtergrondniveau. Als dit achtergrondniveau hoog is, zullen er minder (stillere) geluidsevenementen worden gevonden, zie Figuur 3-20. Op een stillere locatie zal bijvoorbeeld elke voorbijrijdende auto als een geluidsevenement gedetecteerd worden, terwijl dit bij een drukke verkeersweg niet het geval is.



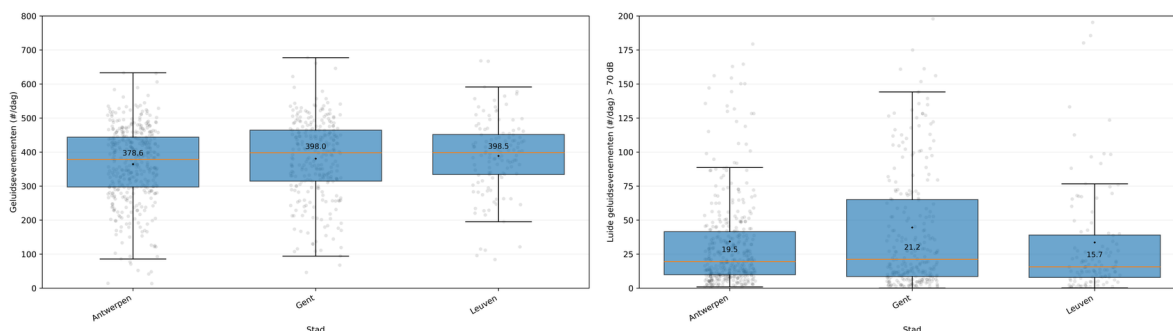
Figuur 3-20 Voorbeeld van het aantal geluidsevenementen per dagdeel (v.l.n.r. dag – avond – nacht)

(a) stille locatie ($L_{den} 49,7 \text{ dBA}$ en $L_{night} 40,7 \text{ dBA}$) en (b) luide locatie ($L_{den} 70,4 \text{ dBA}$ en $L_{night} 62,3 \text{ dBA}$)

Geluidsmetingen

Het aantal geluidsevenementen op zich is daarom geen goede indicator, maar in combinatie met de geluidsbronidentificatie, het tijdstip (dag/avond/nacht) en de opdeling qua maximum geluidsniveau, kan dit wel interessant worden en een extra verklaring geven voor de gerapporteerde geluidshinder.

Wanneer we het gemiddeld aantal geluidsevenementen per meetdag vergelijken tussen de steden, dan zien we zo goed als geen verschil ($p = 0,0534$), zie Figuur 3-21 (links). We hebben daarom ook gekeken naar de luide geluidsevenementen ($L_{\max} > 70$ dBA), zie Figuur 3-21 (rechts). Hier scoort Gent iets hoger dan de twee andere steden ($p = 0,0256$).



Figuur 3-21 Vergelijking tussen de drie steden qua gemiddeld aantal (luide) geluidsevenementen per meetdag (sensoren voorzijde)

3.6.2 Algemeen overzicht geluidsbronnen

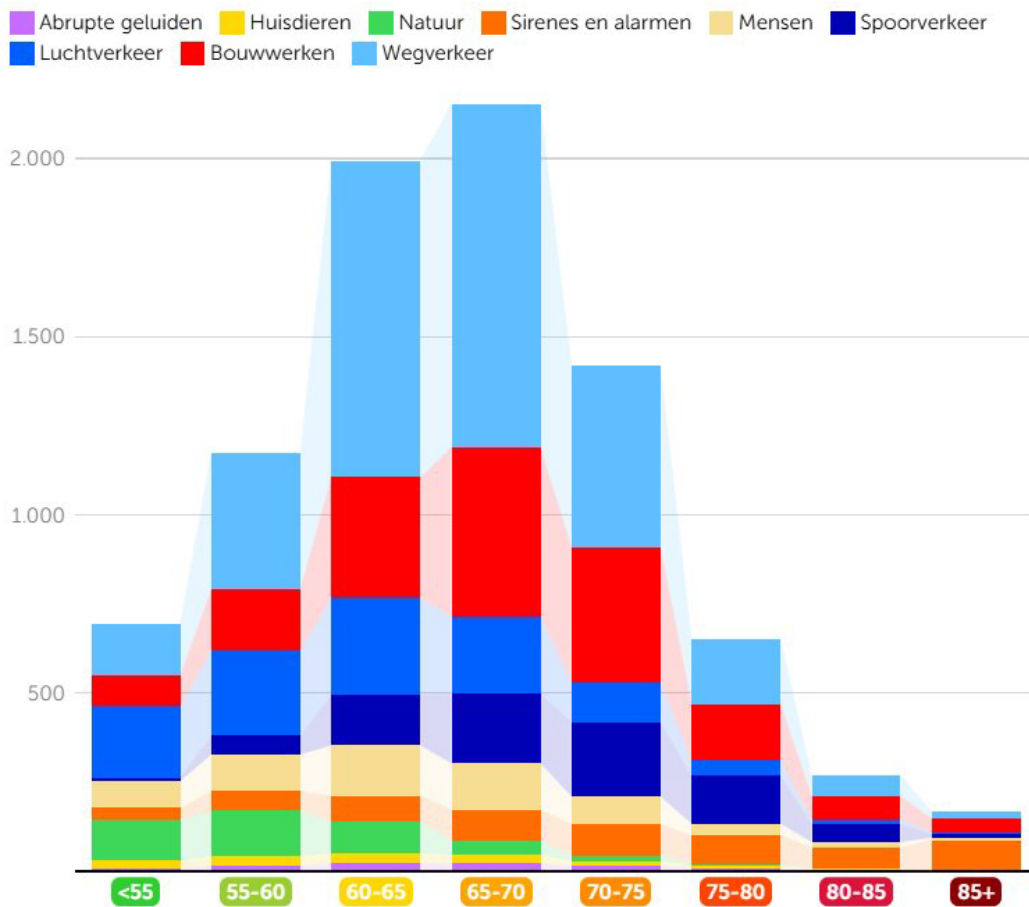
Het zijn net al deze geluidsevenementen die we vervolgens door het AI-geluidsherkenningsmodel hebben laten identificeren. Momenteel hebben we dus (nog) niet onderzocht waaruit het achtergrondlawaai bestaat.

De analyse van de geluidsbronnen laat een duidelijk patroon zien (Figuur 3-22). Wegverkeer is veruit de belangrijkste bron van omgevingsgeluid en was verantwoordelijk voor 37,5% van alle herkende geluidsevenementen. Bouwwerven vormen de tweede grootste bron (20,2%), wat wijst op de impact van stedelijke ontwikkeling op het dagelijkse geluidlandschap. Hoewel sirenes en alarmen minder frequent voorkomen, springen ze er, zoals de bedoeling is, uit als de luidste geluidsbron: zij nemen meer dan de helft (50,4%) van alle herkende geluidsevenementen boven 85 dBA voor hun rekening. Natuurgeluiden worden vooral waargenomen bij lagere geluidsniveaus, waar ze het geluidlandschap kunnen verzachten. Abrupte geluiden en huisdieren kwamen het minst voor en werden ook het minst herkend door ons algoritme, wat aangeeft dat zij een relatief beperkte bijdrage leveren aan de totale geluidsbelasting.

Hoewel er natuurlijk nog bronnen foutief herkend worden, komen deze getallen toch mooi overeen met de top 10 van de meest hinderlijke geluidsbronnen, zoals bepaald uit de data van de Grote Geluidsbevraging, zie § 8.5.11.

Geluidsmetingen

Aantal uur luider dan gemiddeld volgens aantal dB, over de volledige meetperiode*



*Behalve de eerste meetperiode toen deze categorisatie nog ontbrak

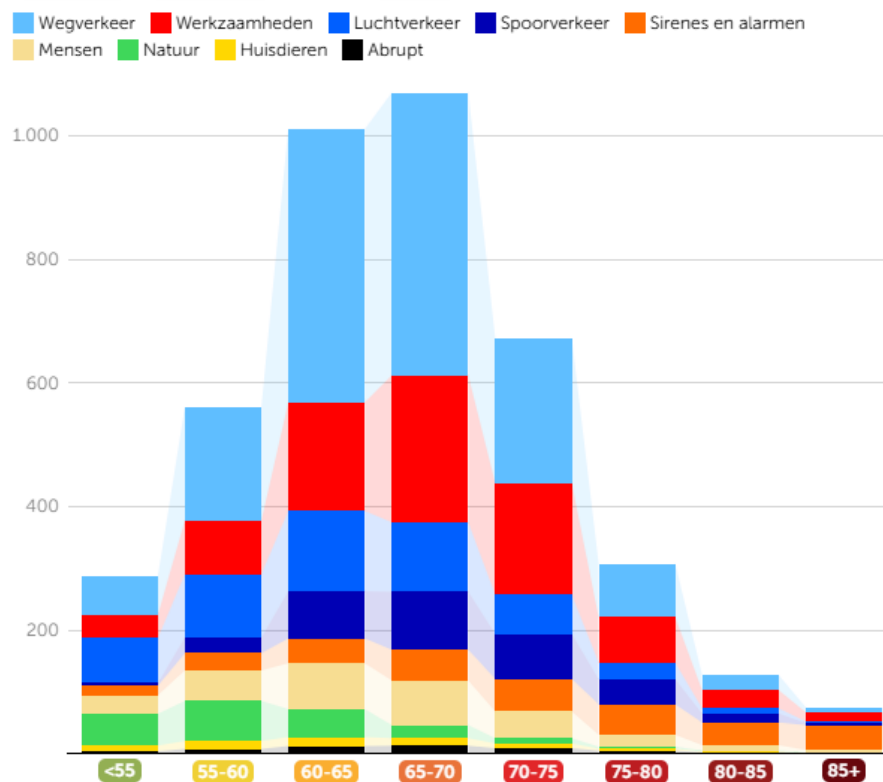
Figuur 3-22 Histogram van de totale duurtijd van de geïdentificeerde geluidsevenementen per decibelniveau [figuur De Morgen]

3.6.3 Verschillen qua geluidsbronnen tussen de drie steden

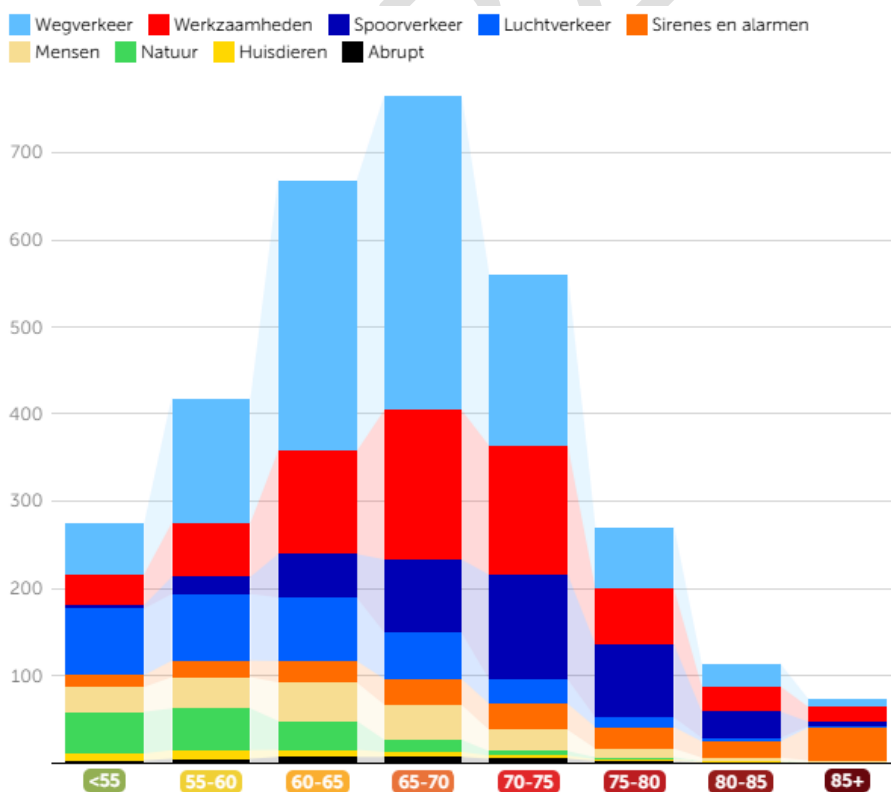
In Figuur 3-23 vind je een overzicht van de geluidsbronidentificatie per stad en per 5 dB-categorie. Samengevat zijn de verschillen in wegverkeersgeluid tussen de drie steden beperkt, zowel wat betreft het aantal gewone als luide geluidsevenementen.

De stedelijke verschillen zitten vooral in andere geluidsbronnen: Leuven registreert gemiddeld gesproken meer luchtverkeersevenementen, Figuur 3-24 (a), terwijl Antwerpen iets meer luide luchtverkeersevenementen (> 70 dBA) laat optekenen dan de andere steden, Figuur 3-24 (b). Menselijke activiteiten komen vaker voor in Leuven (vooral 's nachts, Figuur 3-24 (c)), maar luide menselijke geluiden komen iets meer voor in Antwerpen. Gent onderscheidt zich duidelijk door meer spoorverkeer- en bouwgerelateerde geluidsevenementen, zie Figuur 3-24 (d). Deze patronen tonen aan dat de samenstelling van het stedelijk geluidslandschap sterk verschilt per stad, zelfs wanneer het aandeel wegverkeersgeluid vergelijkbaar is.

Geluidsmetingen

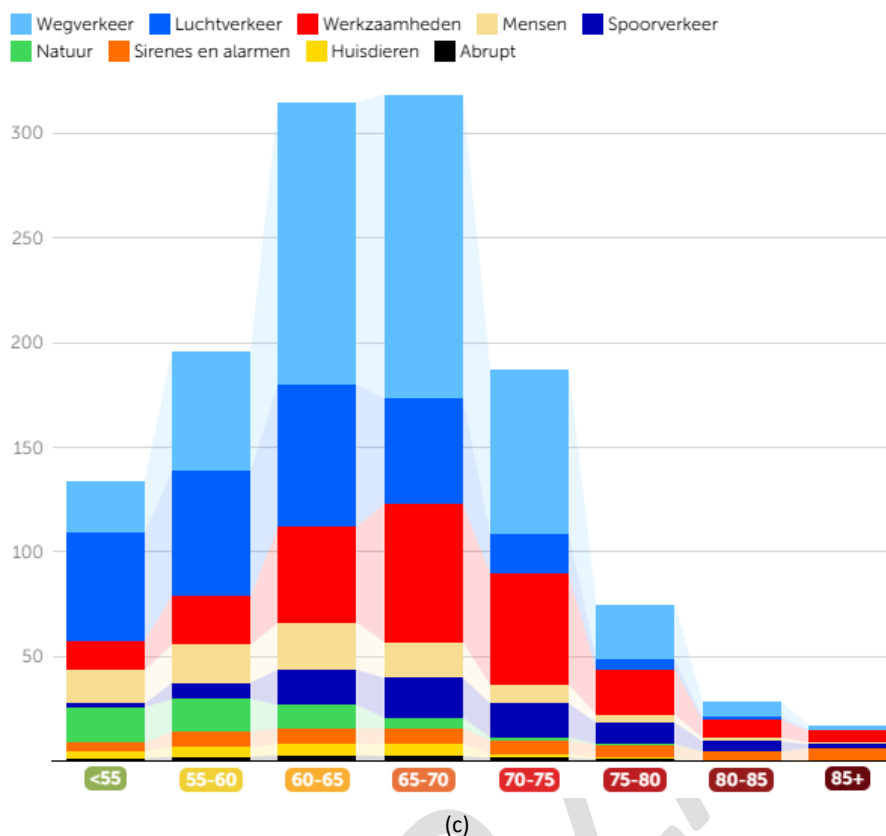


(a)

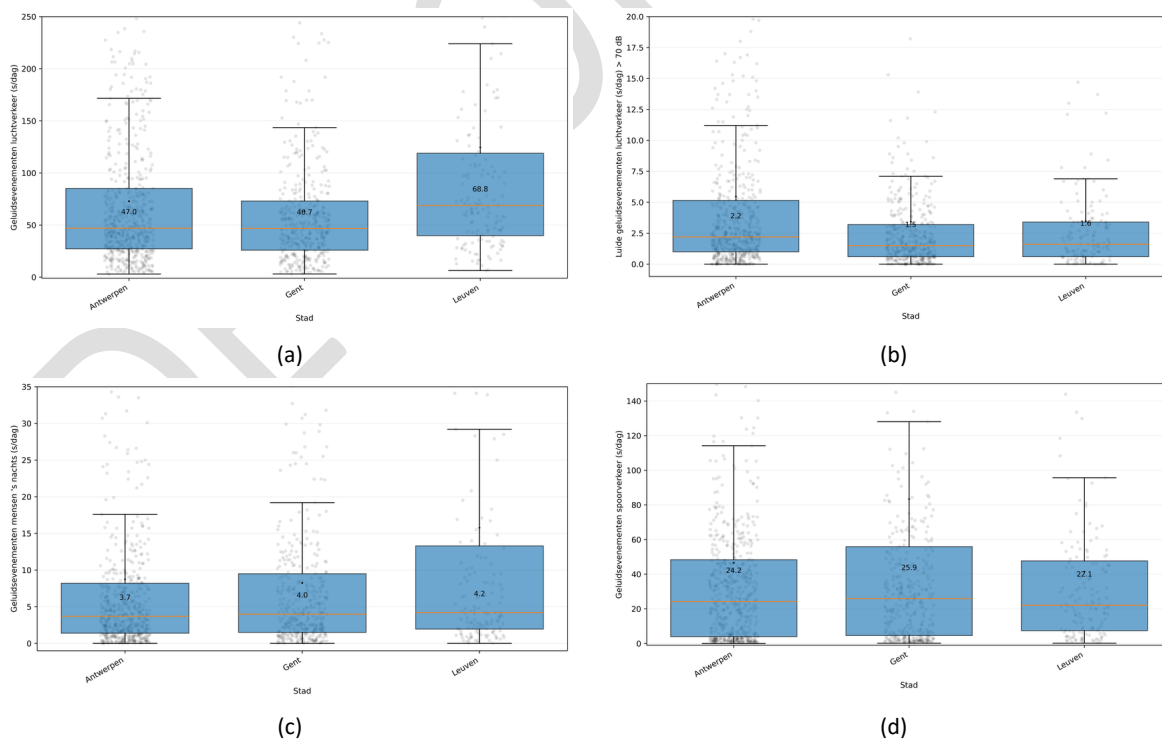


(b)

Geluidsmetingen



Figuur 3-23 Histogram van de totale duurtijd van de geïdentificeerde geluidseventen per decibelniveau en per stad (a) Antwerpen, (b) Gent en (c) Leuven [figuren De Morgen]



Figuur 3-24 Boxplots van de gemiddelde duurtijd in s (per dag en per sensor) van verschillende geïdentificeerde geluidseventen in de drie steden: (a) luchtverkeer, (b) luchtverkeer > 70 dBA, (c) menselijke geluiden gedurende de nacht en (d) spoorverkeer (alle sensoren)

3.7 De luidste en de stilste locaties

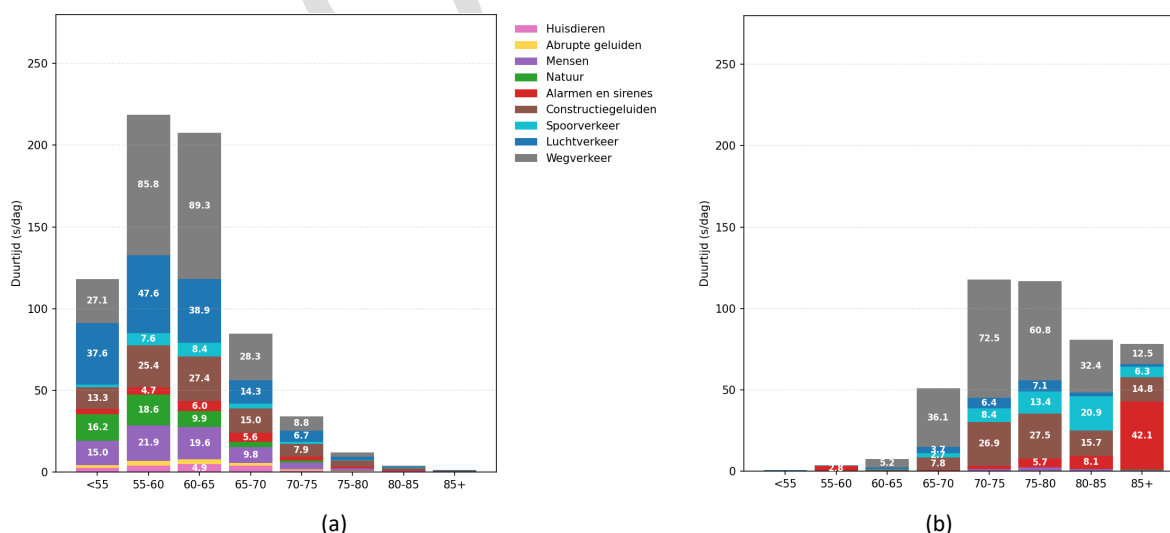
Een belangrijke opmerking hierbij is dat we de luidste en stilste locaties geselecteerd hebben uit de locaties waarbij de sensor aan de voorgevel werd geplaatst. Vooral voor de stilste locaties zou dit anders een vertekend beeld kunnen geven. Het is niet omdat het aan de achtergevel door de schaduwwerking van de woning relatief stil is, dat dit geldt als een stille locatie.

Verder werden de luidste en stilste locaties in Antwerpen, Gent en Leuven bepaald op basis van de gemiddelde geluidsniveaus (L_{den} en L_{night}) over de hele meetperiode, en niet op basis van de zelfgerapporteerde geluidshinder. Dat is een belangrijke nuance: dit zijn niet noodzakelijk de plekken waar bewoners de meeste geluidshinder ervaren, aangezien hinder vaak sterker samenhangt met piekgeluiden, het type geluid en de context waarin het voorkomt, dan met de gemiddelde geluidsniveaus alleen.

3.7.1 Algemeen

Wanneer we de 10 luidste en stilste locaties van de drie steden (sensor aan de voorzijde) samennemen en de stilste en luidste locaties onderling vergelijken qua geïdentificeerde geluidsevenementen per dB-categorie (gemiddelde duurtijd per dag en per sensor), dan vallen een aantal zaken onmiddellijk op, zie Figuur 3-25:

- Het gemiddeld aantal seconden per dag dat als geluidsevenementen werd geïdentificeerd, ligt bijna 50% hoger bij de stilste locaties (684,7 s/dag) dan bij de luidste locaties (458,5 s/dag), omwille van het grote verschil in achtergrondniveau, maar situeert zich vooral in de lagere dB-categorieën.
- Op de stilste locaties is er maar een zeer beperkte gemiddelde duurtijd van de geluidsevenementen boven de 75 dBA (17,8 s/dag), en bijna geen boven de 85 dBA (1,3 s/dag). Bij de luidste locaties ligt dit veel hoger: 260,2 s/dag boven de 75 dBA waarvan 77,8 s/dag boven de 85 dBA.
- Wegverkeer is ook hier duidelijk de grootste geluidsbron, en alarmen en sirenes de luidste.

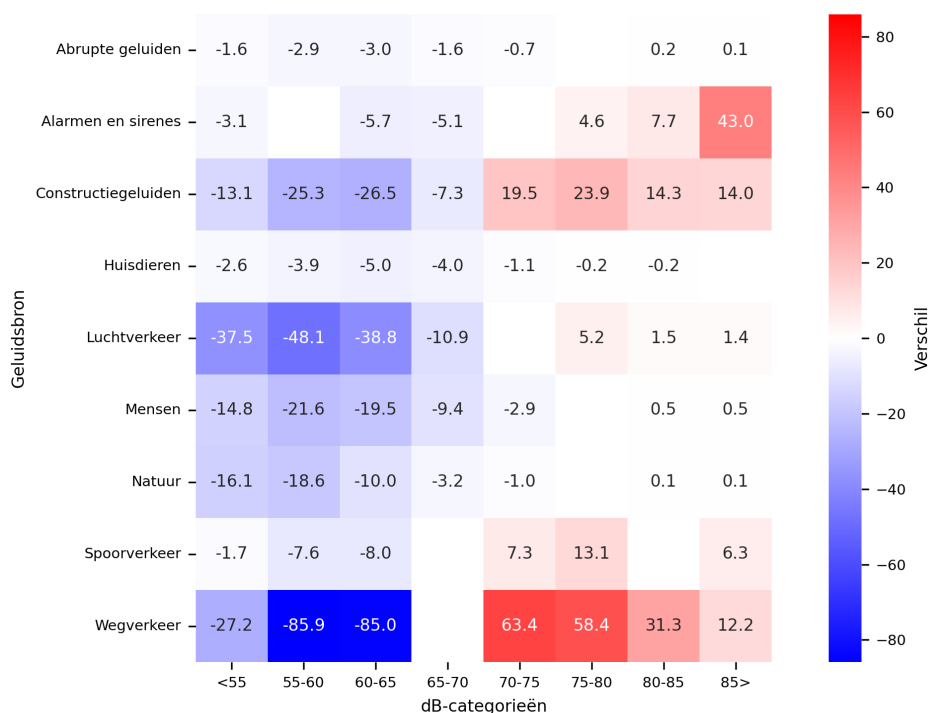


Figuur 3-25 Geïdentificeerde geluidsbronnen per dB-categorie voor de stilste (a) en luidste (b) locaties van de drie steden (sensoren geplaatst aan de voorzijde)

Geluidsmetingen

In Figuur 3-26 zie je de significante verschillen ($p < 0,05$) tussen de luidste en stilste locaties (sensor aan de voorzijde) qua geluidsbronnen per dB-categorie in meer detail uitgewerkt. Op de luidste locaties werd er:

- Aanzienlijk minder luchtverkeer, bouwwerken, menselijke stemmen en wegverkeer geïdentificeerd in de lagere dB-categorieën, omdat dit in het hogere achtergrondniveau verdwijnt en dus niet als geluidsevenement werd waargenomen.
- Veel meer bouwwerken en wegverkeer tussen 70 en 80 dBA geïdentificeerd.
- Boven de 80 dBA vooral veel meer alarmen en sirenes, bouwwerken en wegverkeer gevonden.

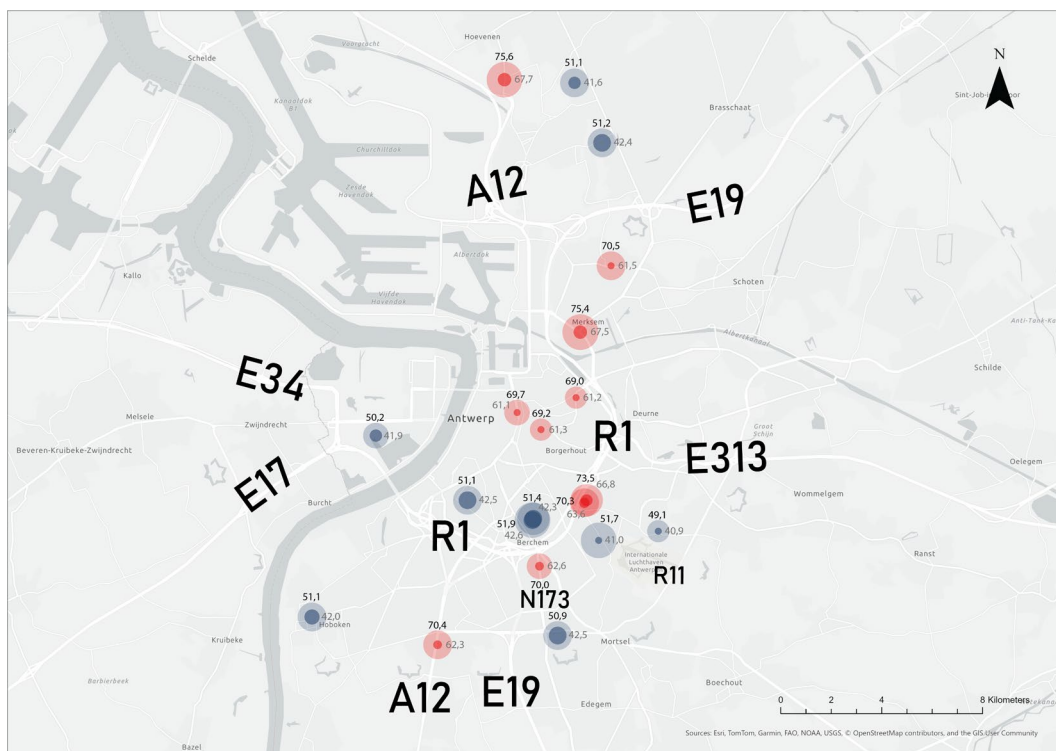


Figuur 3-26 Significante verschillen ($p < 0,05$) tussen de herkende geluidsbronnen per dB-categorie voor de luidste locaties vs. de stilste locaties

3.7.2 Antwerpen

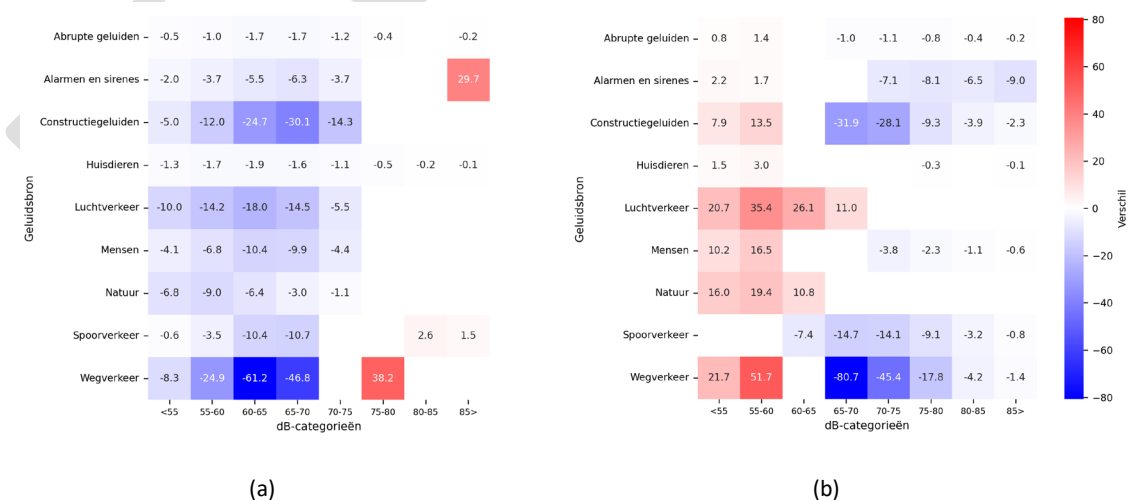
In Antwerpen lagen de luidste locaties vrijwel uitsluitend langs grote verkeersaders zoals de R1, A12, N173, Italiëlei en de Singel, met als absolute uitschieter een locatie langs de A12 in Hoevenen (L_{den} 75,6 dBA en L_{night} 67,7 dBA), zie Figuur 3-27. Deze luidste plekken waren 13,9 dB luider dan het gemiddelde van de andere sensoren, vooral door luide geluidsevenementen door wegverkeer en een hoger aandeel alarmen en sirenes. De laagste gemiddelde geluidsniveaus werden verrassend genoeg gemeten in de buurt van de luchthaven, maar ook verspreid over wijken zoals Groenenhoek, Oud-Berchem, Brederode en Hoboken. Deze locaties lagen 8,6 dB onder het gemiddelde van de andere sensoren en werden gekenmerkt door minder weg-, spoor- en bouwverkeer in de luide dB-categorieën, terwijl geluiden van mensen, natuur en occasioneel luchtverkeer in de lagere dB-categorieën relatief vaker hoorbaar waren.

Geluidsmetingen



Figuur 3-27 Luidste (rood) en stilste (blauw) locaties in Antwerpen: L_{den} (buitenste cirkel) en L_{night} (binnenste cirkel)

Dit wordt in meer detail getoond in Figuur 3-28 (a) waar je kan zien hoe de luidste locaties vooral meer alarmen en sirenes boven 85 dBA en wegverkeer tussen 75-80 dBA vertonen, en aanzienlijk minder stillere geluidsevenementen. Dit heeft natuurlijk te maken met het veel hogere achtergrondniveau, waardoor er aanzienlijk minder (stillere) geluidsevenementen kunnen herkend worden, zie ook Figuur 3-20. Op Figuur 3-28 (b) kan je zien hoe er op de 10 stilste locaties vooral meer geluidsevenementen herkend werden < 55 dBA en tussen 55-60 dBA. De grootste afname doet zich voor in het wegverkeersgeluid tussen 65-70 dBA en 70-75 dBA, alsook bij de bouwwerken.

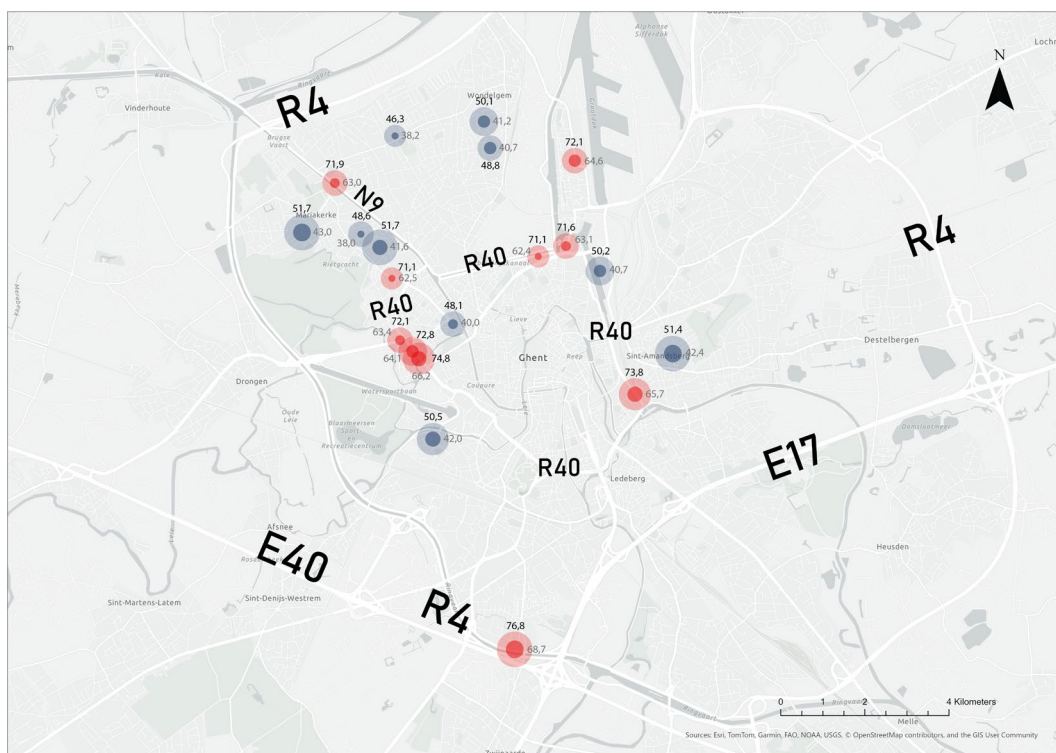


Figuur 3-28 Significante verschillen ($p < 0,05$) tussen de herkende geluidsbronnen per dB-categorie voor de top 10 locaties in Antwerpen vergeleken met het gemiddelde van de andere locaties in Antwerpen: (a) luidste locaties en (b) stilste locaties.

Geluidsmetingen

3.7.3 Gent

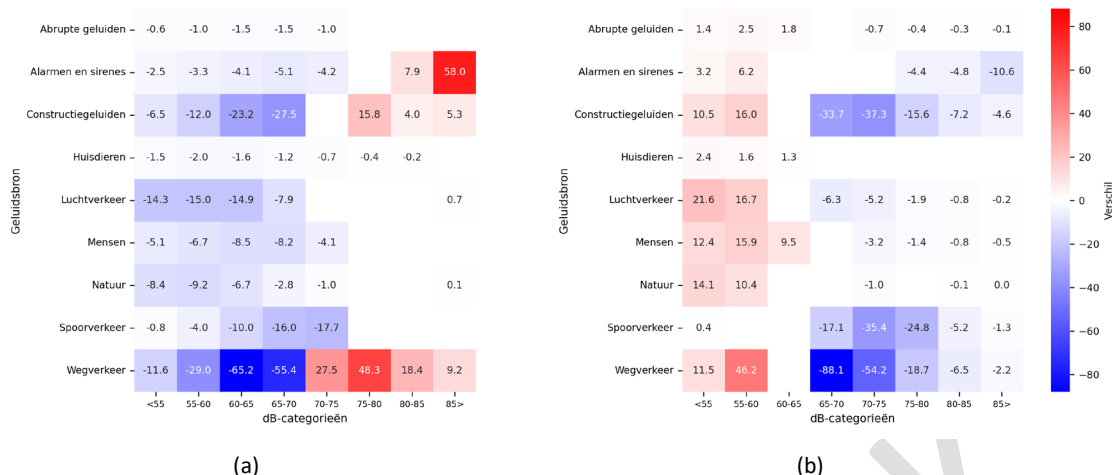
In Gent werd het hoogste gemiddelde geluidsniveau (L_{den} 76,8 dBA en L_{night} 68,7 dBA) gemeten aan de kruising van de R4 met de E40 en E17, terwijl zes van de luidste locaties langs de R40 (de kleine ring) lagen, zie Figuur 3-29. De luidste punten waren meer dan 15 dB luider dan het gemiddelde van de andere locaties. De stilste locaties lagen midden in woonwijken, vaak beschermd door omliggende bebouwing, met een duidelijke concentratie in Mariakerke en Wondelgem. Op de stilste locaties lagen de gemiddelde geluidsniveaus tot 10 dB lager dan het gemiddelde van de andere locaties in Gent.



Figuur 3-29 Luidste (rood) en stilste (blauw) locaties in Gent: L_{den} (buitenste cirkel) en L_{night} (binnenste cirkel)

In Figuur 3-30 (a) wordt getoond hoe de luidste locaties vooral meer alarmen en sirenes boven 85 dBA en wegverkeer en bouwwerken boven de 70 dBA vertonen, en aanzienlijk minder stillere geluidsevenementen. Op Figuur 3-30 (b) kan je zien hoe er op de tien stilste locaties vooral meer geluidsevenementen herkend werden < 55 dBA en tussen 55-60 dBA. De grootste afnames doen zich voor in het wegverkeer, spoorverkeer en bouwwerken tussen 65-60 dBA en 70-75 dBA.

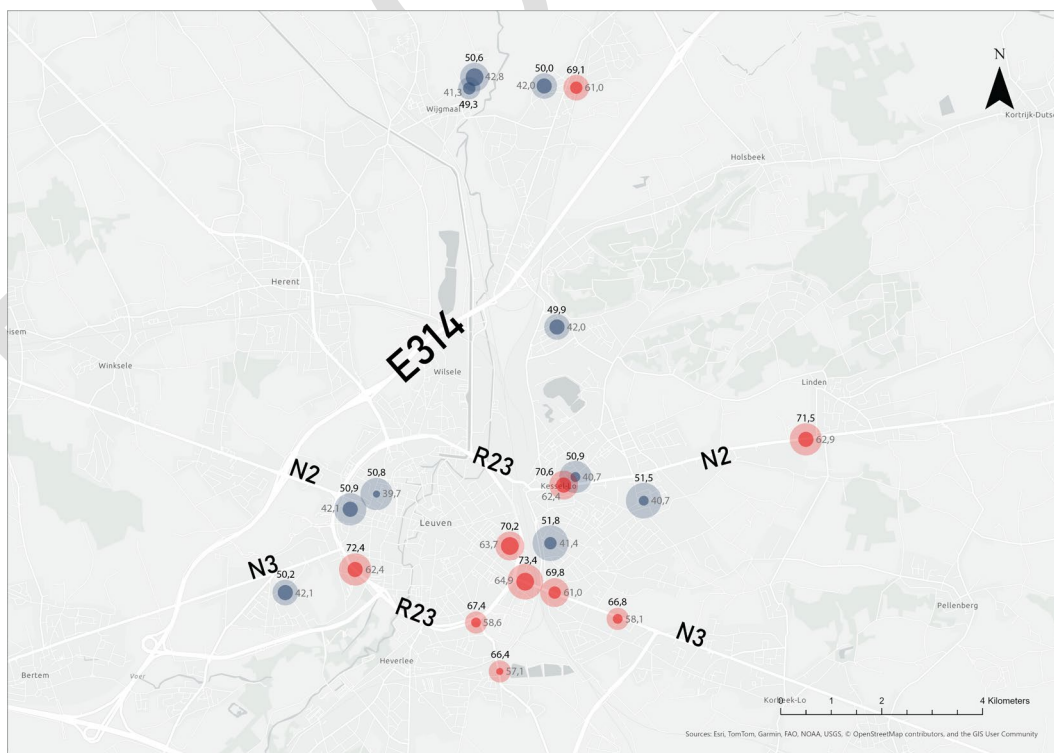
Geluidsmetingen



Figuur 3-30 Significante verschillen ($p < 0,05$) tussen de herkende geluidsbronnen per dB-categorie voor de top 10 locaties in Gent vergeleken met het gemiddelde van de andere locaties in Gent: (a) luidste locaties en (b) stilste locaties

3.7.4 Leuven

Ook in Leuven lagen de locaties met de hoogste L_{den} -waarden vooral langs toegangswegen en de R23 (ring rond Leuven), zie Figuur 3-31, met als uitschieter een locatie op de kruising van de N3, de R23 en een spoorlijn vlakbij. Negen van de tien luidste meetpunten bevonden zich op deze verkeersassen en waren tot 13 dB luidser dan het stedelijk gemiddelde van de andere meetpunten. De laagste gemiddelde geluidsniveaus werden gemeten in woonwijken zoals Wijgmaal en Wilssele. Hoewel daar vliegverkeer hoorbaar was, lagen de L_{den} -waarden ongeveer 8 dB lager dan het stedelijk gemiddelde van de andere meetpunten.



Figuur 3-31 Luidste (rood) en stilste (blauw) locaties in Leuven op basis van L_{den} (buitenste cirkel) en L_{night} (binnenste cirkel)

Geluidsmetingen

Deze resultaten tonen vooral waar de structurele, langdurige geluidsbelasting het hoogst en laagst is. Ze geven tegelijk aan dat geluidshinder niet alleen wordt bepaald door gemiddelden, maar vaak door korte, luide gebeurtenissen, de aard van het geluid en de persoonlijke beleving, die elders in het project expliciet werden onderzocht.

Dit wordt nog verder duidelijker in Figuur 3-32 (b) waar je kan zien dat er op de stilste locaties aanzienlijk meer geluidsevenementen van vliegverkeer geïdentificeerd werden tot 60 dBA. Deze geluidsniveaus zijn niet luid genoeg om het algemeen gemiddelde omhoog te stuwten, maar in een stille omgeving is elke vliegtuigpassage hoorbaar (en mogelijk storend).

Op de luidste locaties, zie Figuur 3-32 (a), zijn het, net zoals in Antwerpen en Gent, vooral meer en luidere geluidsevenementen van wegverkeer en alarmen en sirenes, en in beperktere mate bouwwerken.



Figuur 3-32 Significante verschillen ($p < 0,05$) tussen de herkende geluidsbronnen per dB-categorie voor de top 10 locaties in Leuven vergeleken met het gemiddelde van de andere locaties in Leuven: (a) luidste locaties en (b) stilste locaties

Geluidsmetingen

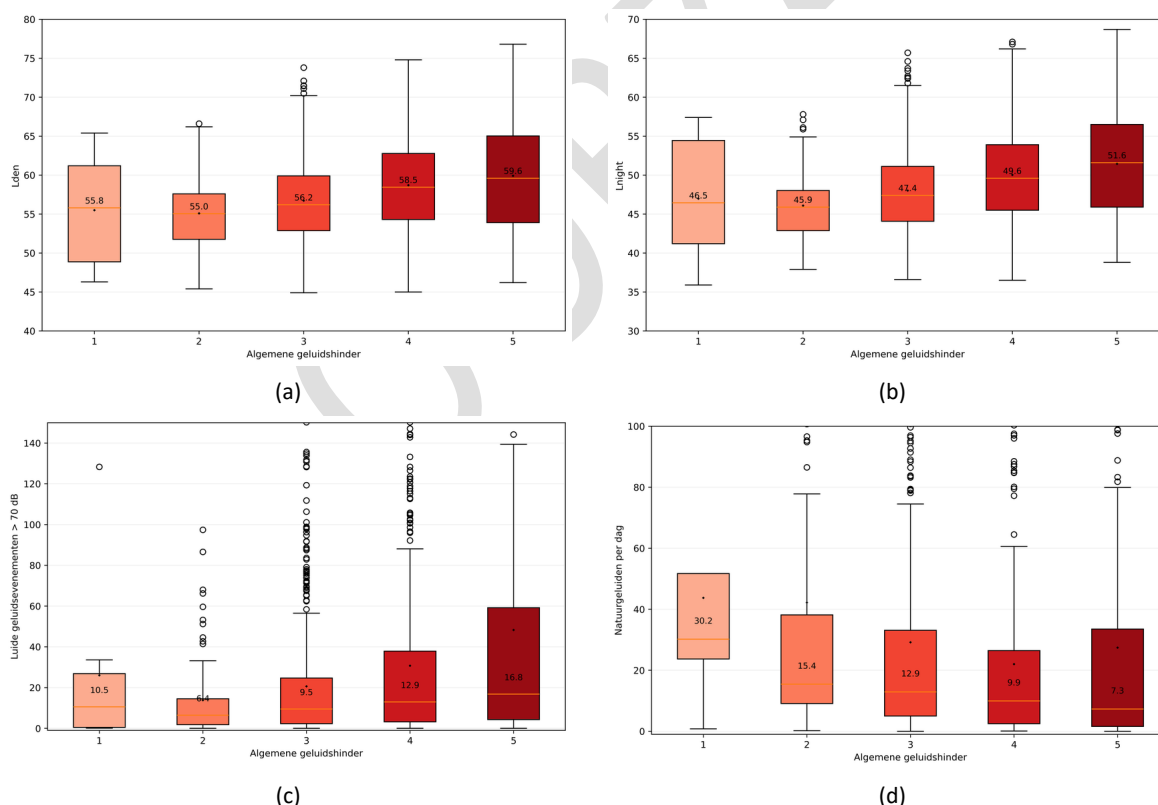
3.8 Correlatie tussen de objectieve geluidsmetingen en subjectieve ervaring

Hoewel de resultaten van de Grote Geluidsbevraging pas in Hoofdstuk 8 worden besproken, bekijken we hier al in detail hoe de zelfgerapporteerde (specifieke) geluidshinder al dan niet in overeenstemming is met de geluidsmetingen en de geïdentificeerde geluidsbronnen.

3.8.1 Algemene geluidshinder

Echt interessant wordt het wanneer we de objectieve geluidsmetingen naast de subjectieve ervaringen uit de vragenlijsten leggen. Dan zien we een duidelijk verband tussen gemeten geluidsniveaus of het aantal geluidsevenementen en hoe mensen hun geluidshinder beoordelen.

Naarmate de geluidsniveaus, L_{den} in Figuur 3-33 (a) en L_{night} in Figuur 3-33 (b), toenemen, rapporteren deelnemers systematisch meer geluidshinder. De groep die aangeeft helemaal geen hinder te ervaren wijkt statistisch niet duidelijk af van de andere groepen, wat deels te verklaren is door het kleine aantal respondenten en de grote spreiding binnen deze categorie. Tussen de andere categorieën zijn de verschillen statistisch significant ($p < 0,001$), behalve tussen ernstig en extreem gehinderd bij L_{den} ($p = 0,222$) en L_{night} ($p = 0,084$).



Figuur 3-33 Zelfgerapporteerde algemene geluidshinder uit de Grote Geluidsbevraging (1 = helemaal niet gehinderd, 2 = niet gehinderd³, 3 = tamelijk gehinderd, 4 = ernstig gehinderd, 5 = extreem gehinderd) versus: (a) L_{den} , (b) L_{night} , (c) het aantal luide geluidsevenementen (> 70 dBA) per dag en (d) het aantal natuurgeluidsevenementen per dag (alle sensoren)

In Figuur 3-33 (c) zien we dat het aantal luide geluidsevenementen (70 dBA) statistisch significant verschilt tussen de verschillende antwoordcategorieën:

³ Dit had eigenlijk volgens de gestandaardiseerde vragenlijst “een beetje gehinderd” moeten zijn, zie § 8.5.1.

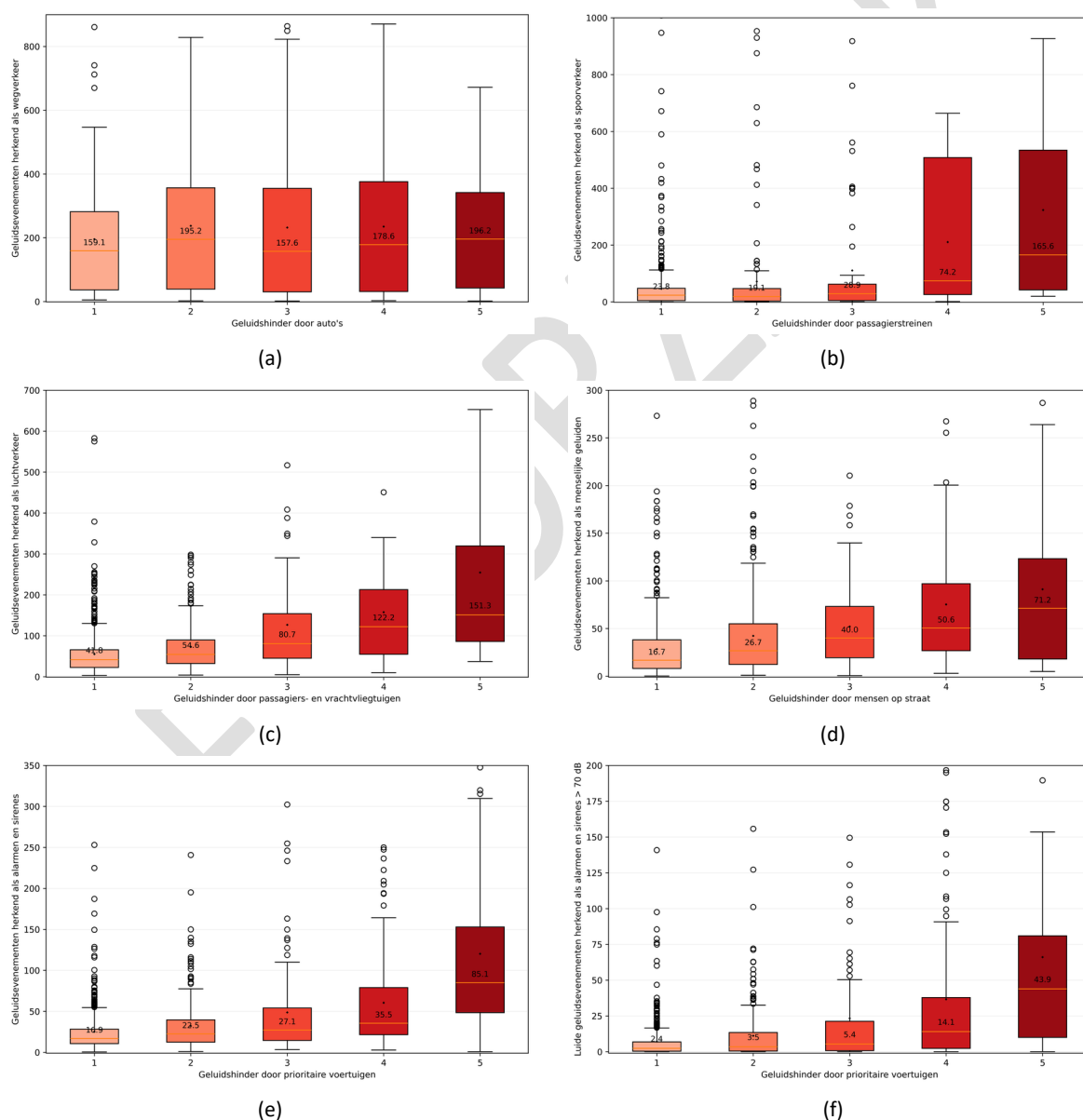
Geluidsmetingen

- Geen significante verschillen tussen categorie 1 en de andere categorieën (te weinig respondenten in categorie 1). Eveneens geen significant verschil tussen 2 en 3
- 2 vs. 4 ($p = 0,0014$); 2 vs. 5 ($p < 0,001$); 3 vs. 4 ($p = 0,0022$); 3 vs. 5 ($p < 0,001$); 4 vs. 5 ($p < 0,001$)

Hoe de aanwezigheid van meer natuurgeluiden leidt tot een lagere geluidshinder, zien we in Figuur 3-33 (d). Hier zijn de verschillen minder statistisch significant door de relatief lage aantallen in elke antwoordcategorie, maar zijn de trends nog steeds duidelijk.

3.8.2 Specifieke geluidshinder

Ook tussen de herkende geluidsevenementen en specifieke vormen van geluidshinder is er voor de meeste geluidsbronnen een duidelijk verband, zie Figuur 3-34.



Figuur 3-34 Zelfgerapporteerde specifieke geluidshinder uit de Grote Geluidsbevraging (1 = helemaal niet gehinderd, 2 = een beetje gehinderd, 3 = tamelijk gehinderd, 4 = ernstig gehinderd, 5 = extreem gehinderd) versus de gemiddelde duurtijd per dag van geïdentificeerde geluidsbronnen: (a) wegverkeer, (b) spoorverkeer, (c) luchtverkeer, (d) mensen, (e) alarmen en sirenes en (f) alarmen en sirenes > 70 dBA (alle sensoren)

Geluidsmetingen

In Figuur 3-34 (a) zie je dat er geen significante verschillen ($p = 0,5357$) zijn betreffende de gemiddelde tijdsduur per dag voor wegverkeer versus de specifieke geluidshinder door auto's. Wegverkeer is een type geluidsbron die op de drukke locaties continu aanwezig is, waardoor dit geen goede indicator is om de geluidshinder te vatten. Hetzelfde geldt voor bouwgerelateerde geluiden.

Voor spoorverkeer, Figuur 3-34 (b), is het verhaal anders, en is de gemiddelde tijdsduur per dag wel significant verschillend voor de categorieën ernstig/extreem gehinderd en de categorieën met minder hinder (zowel getest met ANOVA als Kruskal-Wallis).

Voor luchtverkeer, Figuur 3-34 (c), is de correlatie nog sterker. Volgens beide gebruikte statistische tests (ANOVA of Kruskal-Wallis) is enkel het verschil tussen de categorieën "tamelijk gehinderd" en "ernstig gehinderd" niet significant. De meeste andere verschillen zijn volgens beide tests significant, en minstens voor één van beide.

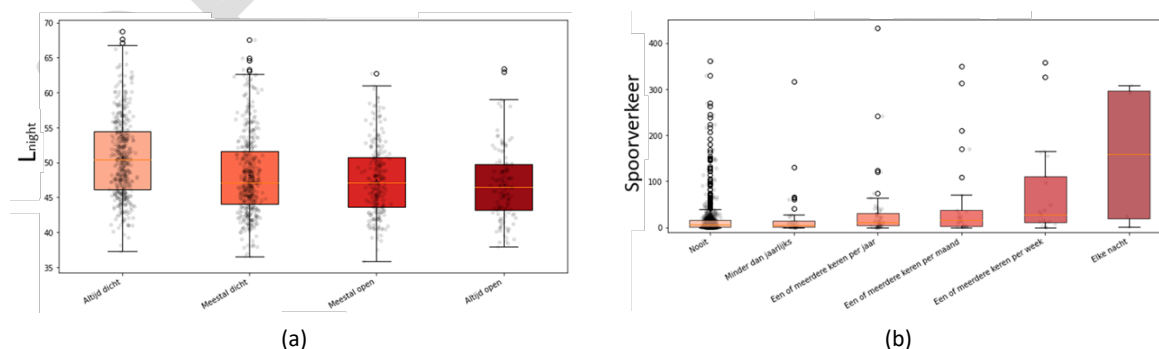
Zelfs voor de menselijke geluiden, Figuur 3-34 (d), is de correlatie vrij sterk. Enkel tussen de categorieën "een beetje gehinderd" en "tamelijk gehinderd" enerzijds, en de categorieën "ernstig" en "extreem gehinderd" anderzijds zijn de verschillen niet significant. Voor menselijke geluiden boven de 70 dBA zijn de correlaties minder sterk.

Tot slot, zie Figuur 3-34 (e-f), is de hinder door prioritaire voertuigen sterk gecorreleerd met geluidsevenementen herkend als alarmen en sirenes, zowel voor alle als de luide (> 70 dBA) geluidsevenementen.

Algemeen geldt dus dat hoe vaker (en hoe luider) bepaalde geluidsevenementen worden herkend, hoe groter de gerapporteerde specifieke geluidshinder wordt. Deze correlaties tonen aan dat geluidshinder niet alleen wordt bepaald door het gemiddelde geluidsniveau, maar in sterke mate samenhangt met het aantal en het karakter van afzonderlijke, vaak storende, geluidsevenementen.

3.8.3 Correlatie met slaapkwaliteit

In onderstaande Figuur 3-35 worden twee voorbeelden getoond van de verbanden tussen objectieve akoestische parameters en hoe de geluidshinder de bewoners beïnvloedt.



Figuur 3-35 (a) Verband tussen L_{night} en het al dan niet openen van de ramen gedurende de nacht en (b) verband tussen het aantal geluidsevenementen geïdentificeerd als spoorverkeer en het gewekt worden gedurende de nacht door tramverkeer

Figuur 3-35 (a) toont de correlatie tussen L_{night} en het al dan niet openen van de ramen gedurende de nacht: de burgers die de ramen altijd dicht houden, ondervinden significant hogere L_{night} niveaus,

Geluidsmetingen

alsook een hoger totaal aantal (luide) geluidsevenementen gedurende de nacht. De verschillen tussen “meestal dicht”, “meestal open” en “altijd open” zijn niet statistisch significant.

In Figuur 3-35 (b) wordt de correlatie getoond tussen de duurtijd van geluidsevenementen herkend als spoorgeluid en het gewekt worden door tramgeluid. De verschillen tussen alle antwoordcategorieën zijn niet altijd significant, maar er zijn wel duidelijke trends, vooral bij de hogere hinder. We zien dezelfde trends voor trein- en wegverkeerslawaaï, maar niet voor luchtverkeer, noch voor burenluiden (wanneer we de correlatie onderzoeken met geluidsevenementen herkend als menselijke geluiden).

Momenteel vinden we geen correlaties tussen de tijd om in slaap te vallen of zelfgerapporteerde slaapduur enerzijds en L_{night} of het aantal (luide) geluidsevenementen anderzijds. Mogelijk zijn er wel correlaties wanneer we inzoomen op kleinere subsets.

3.9 Conclusies

Met behulp van de 400 aangekochte slimme geluidssensoren werd in totaal op 1.452 locaties, verdeeld over Antwerpen (746), Gent (500) en Leuven (206), gedurende zes weken het omgevingsgeluid 24/7 opgemeten. Bijna 90% van de installaties door de burgerwetenschappers was volgens de instructies, wat de betrouwbaarheid van de metingen bevestigt. Bij 60% van de burgerwetenschappers werd de sensor aan de voorgevel geplaatst. De andere 40% werd verdeeld over zij- en achtergevel.

Het verschil tussen voorgevel en niet-voorgevel was heel duidelijk wanneer we kijken naar de gemiddelde waarden over de meetperiode van zes weken:

- L_{den} : 56% van de locaties heeft een gemiddelde waarde < 60 dBA aan de voorgevel, terwijl dit stijgt naar 89% aan de zij- of achtergevel.
- L_{night} : 51% van de locaties heeft een gemiddelde waarde < 50 dBA aan de voorgevel, terwijl dit stijgt naar 81% aan de zij- of achtergevel.

De verschillen tussen de steden qua gemiddelde L_{den} en L_{night} -waarden zijn beperkt en niet statistisch significant, zowel voor de sensoren aan de voorzijde als niet-voorzijde. Het gemiddelde verschil tussen L_{den} en L_{night} bedraagt 8-9 dB, en het verschil in L_{den} en L_{night} tussen de sensoren aan de voorzijde t.o.v. de niet-voorzijde ligt tussen de 5 en 6 dB.

Wanneer we kijken naar de daggemiddelde waarden en die vergelijken over de meetperiode van zes weken, dan zien we een gemiddeld verschil van ongeveer 10 dB tussen de stilste en luidste dag, en bijna 11 dB voor het verschil tussen stilste en luidste nacht. Op veel locaties bedraagt dit rond de 5 dBA (grotendeels te verklaren door verschillen in weersomstandigheden), maar op sommige locaties kan dit verschil oplopen tot 20 en zelfs > 30 dB. Anderzijds zijn de verschillen tussen werk- en niet-werkdagen veel kleiner dan verwacht (rond de 1 dB).

Met behulp van het tijdens het project ontwikkelde geluidsherkenningsmodel werd alle data vanaf meetperiode 2 opnieuw geanalyseerd. Wanneer we de zogenaamde geluidsevenementen proberen te identificeren, dan zien we hieruit dat de twee belangrijkste geluidsbronnen wegverkeer (37,5%) en bouwgerelateerde geluiden (20,2%) zijn (wat overeenstemt met de top 10 qua grootste geluidshinder uit de GGB). Alarmen en sirenes steken er duidelijk bovenuit als de luidste geluidsbron, wat overeenstemt met de geluidshinder van prioritaire voertuigen.

Geluidsmetingen

De verschillen qua herkende geluidsbronnen in de drie steden zijn klein, maar toch zien we specifieke geluidsbronnen duidelijker aanwezig in bepaalde steden:

- In Antwerpen meer luide (> 70 dBA) geluidsevenementen door luchtverkeer.
- In Gent meer spoorverkeer en bouwgerelateerde geluidsevenementen.
- In Leuven meer menselijke geluiden (vooral 's nachts).

Wanneer we op zoek gaan naar de luidste en stilste locaties (geluidssensor aan de voorgevel), dan zien we volgende zaken terugkomen in de drie steden:

- De verschillen in gemiddelde L_{den} en L_{night} tussen de stilste en luidste locaties bedragen meer dan 20-25 dB.
- De luidste locaties liggen voornamelijk op drukke verkeersaders, waarbij wegverkeerslawaaï in alle gevallen de meest aanwezige geluidsbron is en ook alarmen en sirenes veelvuldig aanwezig zijn.
- De stilste locaties in de drie steden liggen niet echt geconcentreerd in één specifieke wijk, maar zijn verspreid over het hele grondgebied. Kenmerkend is dat ze verder weg liggen van drukke verkeersaders, en ietwat beschermd liggen binnen een wijk. Opvallend is dat enkele locaties blootgesteld aan luchtverkeer qua gemiddelde L_{den} bij de stilste locaties behoren, hoewel er toch duidelijk een hoger aandeel geluidsevenementen geïdentificeerd als luchtverkeer aanwezig is. Die korte, maar luide, vliegtuigpassages wegen te weinig door in een parameter zoals L_{den} die alle geluidspieken uitvlakt.

Tot slot, tonen de analyses aan dat zowel het gemiddelde geluidsniveau (L_{den} of L_{night}) als het aantal en type geluidsevenementen gecorreleerd zijn met de (specifieke) geluidshinder. Voor algemene geluidshinder zien we een duidelijke stijgende trend: naarmate mensen zich meer gehinderd voelen, nemen L_{den} , L_{day} , L_{night} én het aantal luide geluidsevenementen (> 70 dBA) toe. Het totaal aantal geluidsevenementen per dag verschilt daarentegen weinig tussen hinderklassen, wat benadrukt dat vooral luide geluidsevenementen bepalend zijn voor hinderbeleving. Opvallend is bovendien dat matig tot extreem gehinderde deelnemers minder natuurgeluiden ervaren dan licht gehinderde deelnemers. Dit suggereert dat natuurgeluiden een mogelijk bufferend effect hebben op geluidshinder en/of dat op plekken met veel geluidshinder weinig natuurgeluid te horen is.

Voor de specifieke geluidshinder zien we duidelijke verbanden met het aantal geïdentificeerde geluidsevenementen voor spoorverkeer, luchtverkeer, menselijke geluiden en alarmen/sirenes, maar niet voor wegverkeer en bouwgerelateerde geluiden.

Qua slaapkwaliteit zien we dat een hogere L_{night} leidt tot het meer gesloten houden van de ramen gedurende de nacht. Ook is er een duidelijk verband tussen de aanwezigheid van specifieke geluidsbronnen en gewekt worden door deze bronnen (bijvoorbeeld tram-, trein- en wegverkeer).

4 Referentiesensoren

Met ons burgersensornetwerk focusten we op metingen aan slaapkamergevels. Dit is bijzonder interessant vanwege de directe impact op slaap- en levenskwaliteit. Op die manier beperken we ons echter tot een specifieke subset van de stedelijke omgeving: we kunnen enkel meten waar er burgerwetenschappers bereid waren om deel te nemen. Bovendien was ons netwerk beperkt in de tijd: op elke meetlocatie stond een sensor slechts zes weken, waarna die werd verplaatst naar een volgende locatie.

Om ervoor te zorgen dat deze verschillende meetperiodes toch objectief met elkaar vergeleken kunnen worden, zijn langetermijnmetingen nodig waarbij op dezelfde plaats een volledig jaar wordt gemeten, zodat de invloed van het weer en vakantieperiodes beter ingeschat kan worden. Om deze beide vormen van bias (ruimtelijk en temporeel) op te vangen, hebben we in de drie steden – Antwerpen, Gent en Leuven – een aantal referentiesensoren geïnstalleerd. Deze sensoren werden geplaatst op strategische locaties, zowel in het stadscentrum als in buurten waar minder burgers hebben geparticipeerd, en zelfs in luwtegebieden. Zo creëren we een robuust referentiekader van het stedelijke geluidslandschap.

4.1 Methodologie

Voor dit referentienetwerk maakten we gebruik van twee types sensoren:

- 1) 30 Ambient-sensoren van ASAsense, een Vlaams bedrijf dat sensoren aanbiedt die vergelijkbaar zijn met die van Munisense (klasse II, met dezelfde mogelijkheden voor datacollectie, inclusief geluidsbronherkenning). Aangezien deze sensoren vaak op openbare locaties geplaatst werden, waar niet altijd een stroomvoorziening beschikbaar is, kozen we voor een flexibele installatie: ofwel aangesloten op lantaarnpalen in samenwerking met Fluvius, ofwel uitgerust met zonnepanelen om autonoom te kunnen functioneren. Dit laatste kon wel leiden tot een verlies van data in de wintermaanden wanneer de batterij overdag niet meer voldoende opgeladen kon worden. De installatie werd verzorgd door ASAsense, ondersteund door de stadsdiensten, op een manier die langdurige plaatsing mogelijk maakte.
- 2) 51 NP9-sensoren van Munisense (NL), dezelfde sensoren gebruikt als de burgersensoren, en op dezelfde manier geïnstalleerd (met een beugel tegen de gevel) en van stroom voorzien (via het raam).

4.2 Locaties

In overleg met de betrokken steden en partners werd zorgvuldig afgewogen welke locaties zowel inhoudelijk interessant als praktisch haalbaar waren. Ook werd er rekening gehouden met reeds aanwezige sensoren in het straatbeeld. Zo was er in Leuven bijvoorbeeld al een uitgebreid sensornetwerk in de stadskern, en konden we dus focussen op contrasterende meetlocaties buiten de stad. Deze denkoefening resulteerde in de volgende locatieverdeling voor een deel van de ASAsense-sensoren, zie Tabel 4-1:

Geluidsmetingen

Tabel 4-1 Overzicht van de ASAsense-referentielocaties

Antwerpen	Gent	Leuven
School De Schroef	Botermarkt	Begraafplaats Wijgmaal
Park Spoor Noord	Citadelpark	Urban Sports Park Leuven
Begijnhof	Burggravenlaan	Martelarenplein
Ten Eekhovlei	Hundelgemsesteenweg	
Belgielei	Gentbrugse Meersen	
Plantijn en Moretuslei	Snepkaai	
Edelgesteentenstraat	Albert De Smetstraat (Wachtebeke)	

Het resterende deel van de ASAsense-sensoren werd verdeeld onder enkele partners (AWV en Lantis) voor hun eigen onderzoeken en gebruikt voor masterproefonderzoek (UAntwerpen).

Enkele voorbeelden qua installaties van de ASAsense-sensoren zijn te vinden in Figuur 4-1.



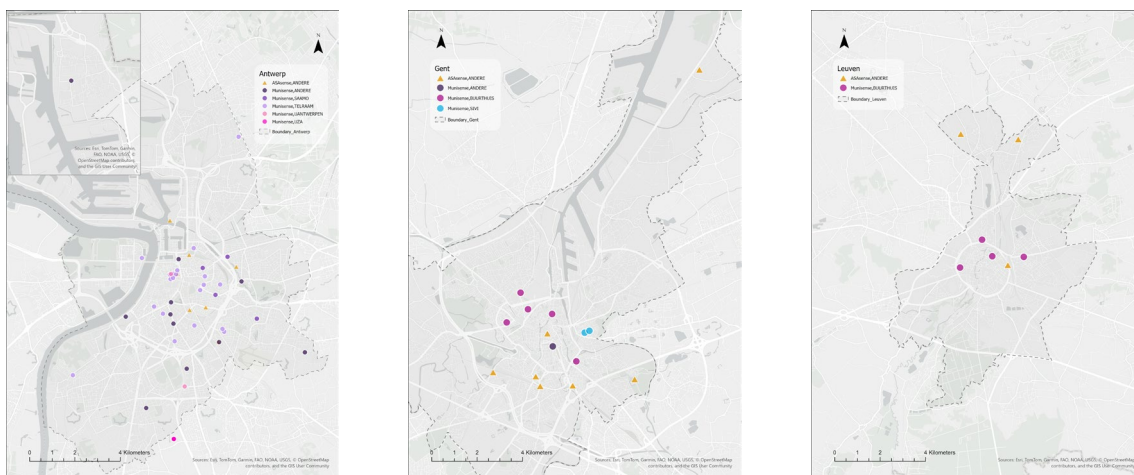
Figuur 4-1 Installatievoorbeelden van de referentiesensoren: (links) op statief, met netstroom, op het Begijnhof in Antwerpen, (midden) met zonnepaneel op de Botermarkt in Gent. (rechts) aangesloten op de stroomvoorziening van de verlichtingspaal in het Urban Sports Park in Leuven. [foto's ASAsense]

De 51 Munisense NP9-sensoren werden als volgt verdeeld:

- 1) 20 hiervan werden op locaties in Antwerpen uitgezet, waarvan 6 op eigen gebouwen van Universiteit Antwerpen, steeds in combinatie met een [Telraam](#), om zo de correlatie tussen de automatische verkeerstellingen en de geluidsniveaus te kunnen onderzoeken.
- 2) 8 sensoren werden op interessante locaties in Antwerpen geplaatst, alsook 2 op de campussen van Universiteit Antwerpen (Hof Van Liere en Groenenborger campus).
- 3) 9 sensoren werden bij buurthuizen in Gent (5) en Leuven (4) opgehangen, alsook 1 aan Bibliotheek De Krook in Gent. Eén van de sensoren geplaatst aan een buurthuis in Gent werd jammer genoeg gestolen.
- 4) 5 sensoren werden geplaatst op de UZA-campus te Edegem op de verschillende gevels van het ziekenhuis (op onderstaande kaart zichtbaar als één bolletje wegens overlapping).

Geluidsmetingen

5) 4 sensoren werden geplaatst in samenwerking met SAAMO Antwerpen en 2 met SIVI Gent. Een overzicht van alle referentielocaties in de drie deelnemende steden is te vinden in Figuur 4-2.



Figuur 4-2 Referentiesensornetwerk in Antwerpen (links), Gent (midden) en Leuven (rechts). De sensoren van ASAsense worden aangeduid met een driehoek, de sensoren van Munisense met een bolletje.

4.3 Resultaten

De verwerking van de data van deze referentiesensoren heeft helaas nog niet plaatsgevonden. Dit zal pas in 2026 worden uitgevoerd, inclusief een onderzoek naar de correlatie met de Telraam-data (verkeerstellingen) en analyse van de invloed van vakantieperiodes, eventuele sport- of muziek evenementen in de buurt, en de weersomstandigheden op de geluidsmetingen.

5 Gelabelde geluidsfragmenten en modellen

Eén van de meest innovatieve onderdelen van De Oorzaak is de automatische herkenning van geluidsbronnen op basis van kunstmatige intelligentie (AI). In tegenstelling tot een klassieke geluidsmeter die enkel het decibelniveau meet, maken onze slimme sensoren gebruik van AI-modellen om te proberen herkennen *wat* er precies te horen is: van verkeer tot stemmen, van vogels tot bouwlawaai.

Op de burgersensoren was een initieel model actief, zichtbaar op het persoonlijk dashboard, dat niet accuraat en uitgebreid genoeg bleek voor de doelstellingen binnen De Oorzaak. Daarom werd er tijdens de looptijd van de metingen verder geïnvesteerd in extra gelabelde data (met de hulp van jobstudenten) en nieuwe modellen, in samenwerking met ASAsense. De beschrijving hieronder en in Appendix A werd grotendeels door Wout Van Hauwermeiren en Thomas Weyn (ASAsense) geschreven.

5.1 Basisgegevens en trainingsmateriaal

De eerste versies van de ASAsense-AI-modellen zijn gebaseerd op open source datasets, met als belangrijkste bron Google's [AudioSet](#): een grote verzameling van geluidsfragmenten van YouTube-video's, die handmatig gelabeld zijn volgens meer dan 500 geluidsklassen. AudioSet bood een goede basis om een eerste model te trainen dat een ruw onderscheid kon maken tussen brede categorieën zoals verkeer, menselijke stemmen, dieren, mechanisch lawaai, enzovoort.

Voor De Oorzaak wilden we specifiek inzetten op de herkenning van de tien meest relevante geluidsklassen in een stedelijke context. Het uiteindelijke AI-model maakte onderscheid tussen de volgende geluidsklassen:

- **Wegverkeer** (auto's, vrachtwagens, bussen)
- **Luchtverkeer** (vliegtuigen)
- **Treinverkeer**
- **Trams**
- **Natuurgeluiden** (zoals wind en vogels)
- **Constructiegeluid** (bouwlawaai)
- **Alarmsignalen** (zoals sirenes)
- **Mensen** (stemmen, gesprekken, geroep)
- **Abrupte geluiden** (bv. dichtslaande deur, vallend voorwerp)
- **Huisdieren** (voornamelijk honden, maar ook andere huisdieren)

5.2 Ontbrekende data

Hoewel bestaande open source datasets zoals Google AudioSet een waardevolle basis boden, bleken ze ontoereikend voor ons specifieke doel: het automatisch herkennen van realistische, stedelijke geluiden met een hoge nauwkeurigheid. De grootste beperkingen lagen in de geluidskwaliteit, de relevantie voor een stedelijke context, en vooral in de tijdsresolutie van de labels.

Geluidsmetingen

In veel publieke datasets, zoals ook [SONYC](#), worden geluiden gelabeld op het niveau van langere fragmenten (bijvoorbeeld 10 seconden), waarbij slechts globaal wordt aangegeven *wat ergens in het fragment voorkomt*. Voor De Oorzaak was dat niet voldoende. Ons uiteindelijke model werkt met fragmenten van slechts twee seconden, dus we moeten zeker weten of een bepaald geluid écht binnen dat korte tijdsvenster aanwezig is. Daarom hadden we behoefte aan fijnmazige, seconde-per-seconde gelabelde data, zodat we nauwkeurig konden bepalen *wanneer* een geluid voorkomt en hoe lang het duurt.

Om die fijnmazige en realistische geluidsfragmenten te verkrijgen, maakten we gebruik van verschillende methodes:

- **Een voortraject met vaste sensoren (april 2023-december 2023):** in Antwerpen registreerden een tiental slimme sensoren .wav-bestanden telkens wanneer een geluid werd gedetecteerd waarin geen menselijke stemmen aanwezig waren. Dit leverde een breed staal op van typische stedelijke achtergrondgeluiden zoals verkeer, bouw, vogels of wind.
- **Gerichte opnames met mobiele sensoren:** daarnaast stuurden we jobstudenten met een mobiele sensor op pad om specifieke geluidsbronnen op te nemen die ondervertegenwoordigd waren in de trainingsdata. Denk aan trams in stedelijke context, stationsgeluiden of bepaalde vormen van bouwlawaai. Door zelf gericht te gaan opnemen, konden we blinde vlekken in de dataset aanvullen.
- **Specifieke dataset via Infrabel:** voor treinverkeer verkregen we een bijkomende dataset van Infrabel met hoogwaardige opnames van treingeluiden in gecontroleerde omstandigheden. Deze data hielpen om de treinherkenning in het model sterk te verbeteren, al bleek uit testen dat er nog verwarring bleef bestaan met trams in realistische omgevingen.

In totaal werden 851.655 fragmenten tijdens het voortraject opgenomen (= 17.131 uren), waarvan er 3.635 handmatig werden gelabeld in de softwaretool van ASAsense, die speciaal voor dit project een *labeling interface* ontwikkelde. Die tool liet toe om nauwkeurig per seconde aan te duiden welke geluiden hoorbaar zijn, en met welke intensiteit, zodat de data perfect aansloten bij de resolutie van het uiteindelijke model.

5.3 Modelontwikkeling en prestaties

Op basis van deze gelabelde datasets hebben we verschillende versies van onze AI-modellen getraind, telkens met convolutionele neurale netwerken (CNN's) op basis van zogenaamde mel-spectrogrammen: een visuele representatie van geluid, die het model toelaat klankpatronen te herkennen.

Het initiële model, getraind enkel op AudioSet, behaalde een gemiddelde nauwkeurigheid van ongeveer 60% op onze testset. Naarmate we meer lokale, realistische data toevoegden, verbeterden de prestaties aanzienlijk. In de meest recente versie – getraind op meer dan 10.000 fragmenten –

Geluidsmetingen

behalen we een gemiddelde precisie⁴ en *recall*⁵ van respectievelijk 88% en 86%, met een F1-score⁶ van bijna 87%. Vooral dominante bronnen zoals verkeer of stemmen worden daarbij zeer betrouwbaar herkend.

Voor sommige geluidsklassen, zoals treinen en trams, merken we nog verwarring: het model herkent ze wel als spoorverkeer, maar maakt nog niet altijd het juiste onderscheid tussen beide. Dat komt doordat nu veel trainingsdata afkomstig zijn uit propere datasets, terwijl de context bij onze eigen opnames vaak complexer is. Omwille van deze verwarring, hebben we ervoor gekozen om maar over negen geluidsklassen te rapporteren in plaats van tien (trein en tram samen als spoorverkeer).

In Appendix A vind je een overzicht van de gebruikte geluidsdatasets, inclusief de bron, samplegrootte en licentievoorwaarden. Daarin wordt ook een zogenaamde *confusion matrix* getoond van de meest recente modelversie: die geeft inzicht in welke geluidsbronnen soms nog onderling verward worden door het model.

5.4 Evolutie en toekomst

Hoewel De Oorzaak geen AI-project was, zijn de modellen doorheen het project geleidelijk verbeterd door:

- Het actief verzamelen van ontbrekende fragmenten.
- Het verhogen van het aantal gelabelde voorbeelden.
- Het verfijnen van de categorieën en de trainingstechnieken.

We gebruiken in dit eindrapport en de persoonlijke geluidsrapporten die alle deelnemers ontvangen hebben, de laatste versie van het model, met klassering van de negen verschillende geluidsklassen. Omdat we vanaf meetperiode twee de mel-spectrogrammen bewaard hebben, konden we alsnog achteraf de geluidsbronnen bepalen, zonder dat we daar de ruwe audio voor nodig hebben. Indien in een vervolgproject de AI-modellen nog verbeterd worden, bijvoorbeeld onderscheid binnen wegverkeerslawaai tussen auto, vrachtwagen, bus en motor, dan kan alle data uit De Oorzaak (vanaf meetperiode 2) opnieuw geanalyseerd worden met het nieuwe model.

⁴ Percentage van alle positieve classificaties van het model die daadwerkelijk positief zijn. Hierin zitten de vals positieve gevallen inbegrepen.

⁵ Ook true positive rate (TPR) genoemd, oftewel het percentage van alle daadwerkelijke positieve gevallen dat correct als positief is geclassificeerd.

⁶ Het harmonische gemiddelde van precisie en recall.



DE OORZAAK

Bevragingen

6 Gehoorbescherming

In de aanloop naar De Grote Geluidsbevraging werden twee anonieme vragenlijsten via De Morgen bezorgd aan diegenen die zich geregistreerd hadden in september 2023, tijdens de eerste mediacampagne voor De Oorzaak. De eerste vragenlijst polste naar het gebruik van gehoorbescherming, een initiatief van prof. Guido Van Hal, Faculteit Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen van de Universiteit Antwerpen.

6.1 Methodologie

Op 15 november 2023 werd de anonieme vragenlijst over gehoorbescherming online ter beschikking gesteld aan de lezers van de krant De Morgen. Na een *informed consent* konden deelnemers van minstens 18 jaar oud de vragenlijst invullen.

De vragenlijst bestond uit volgende onderdelen:

- Demografische gegevens: leeftijd en geslacht.
- Hoe vaak en op welke plaatsen men in contact komt met lawaai (open vraag).
- Identificatie van motiverende factoren en barrières om al dan niet gehoorbescherming te gebruiken (open vraag).
- De soorten gehoorbescherming die worden gebruikt.
- Individuele percepties en attitudes ten aanzien van gehoorbescherming (7 stellingen).

Lawaai werd niet specifiek gedefinieerd maar werd als volgt bevraagd: 'Hoe vaak ben je in je vrije tijd of op het werk in een omgeving die je zelf als een omgeving met veel lawaai beschouwt?'

Deze anonieme vragenlijst en de verwerking ervan werden goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 18 september 2023 (SHW_2023_215_1).

6.2 Resultaten

In totaal waren er 4.782 respondenten die met de enquête startten, van wie er 4.448 de vragenlijst volledig invulden. Enkel volledig ingevulde enquêtes werden meegenomen in de analyses.

Er waren meer vrouwelijke (56,5%) dan mannelijke respondenten (42,6%). 1% van de respondenten was non-binair of verkoos de vraag niet te beantwoorden. De gemiddelde leeftijd per gender is terug te vinden in Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Leeftijd en gender van de deelnemers aan de vragenlijst rond gehoorbescherming

Geslacht	n	Min	Max	Mediaan	Gemiddelde
Vrouw	2.494	18	88	50	49,9
Man	1.875	18	89	56	54,1
Non-binair	17	21	78	34	29,0
Geen antwoord	24	18	66	48	35,3

Het percentage respondenten dat dikwijls wordt blootgesteld aan omgevingen die ze als lawaaiërig beschouwen, is hoog: 31,2% dagelijks en 32,1% één of meerdere keren per week. De meest

Bevragingen

gerapporteerde bron van storend lawaai is omgevingslawaai (53,5%), gevolgd door recreatief lawaai (23,7%) en beroepsmatig lawaai (22,8%).

Een meerderheid van de respondenten geeft aan nooit (37,3%) of minder dan een kwart van de tijd (25,0%) gehoorbescherming te dragen in lawaaiërige omgevingen. 17,2% van de respondenten draagt minstens 75% van de tijd gehoorbescherming, waarvan 7,8% altijd.

Van diegenen die gehoorbescherming gebruiken, waren de meest voorkomende opties herbruikbare oordopjes (29,4%), wegwerp-oordopjes (22,1%), koptelefoons met ruisonderdrukking (19,8%), op maat gemaakte oordopjes (18,6%), koptelefoons (10,4%) en oorkappen (8,2%).

De voornaamste redenen om wel gehoorbescherming te gebruiken, bleken de volgende te zijn:

- Preventie van gehoorschade, gedefinieerd als een proactieve houding ten opzichte van lawaai om toekomstige gehoorproblemen te voorkómen: 27,0% (398/1.476).
- Bescherming tegen omgevingslawaai, gedefinieerd als storende en irritante geluiden van buitenaf blokkeren ter bevordering van het persoonlijk comfort en welzijn: 24,4% (360/1.476).
- Entertainment, gedefinieerd als bescherming tegen schadelijke geluidsniveaus in entertainmentomgevingen: 23,8% (351/1.476).
- Rust en/of ontspanning, gedefinieerd als het creëren van stilte voor slaap, meditatie of ontspanning: 22,2% (327/1.476).

De voornaamste redenen om geen gehoorbescherming te gebruiken, bleken de volgende te zijn, ongeveer alle drie met iets minder dan 20%:

- Aanvaardbaar geluidsniveau, gedefinieerd als de perceptie dat het geluidsniveau acceptabel is; dit is zeker de situatie wanneer het over omgevingslawaai gaat.
- Praktisch ongemak, gedefinieerd als het ervaren van moeilijkheden bij het comfortabel dragen van gehoorbescherming.
- Communicatie & sociale factoren, gedefinieerd als situaties waarin mensen ervoor kiezen geen gehoorbescherming te dragen vanwege sociale druk, ongemak bij communicatie met anderen, of het gevoel buiten de groep te vallen.

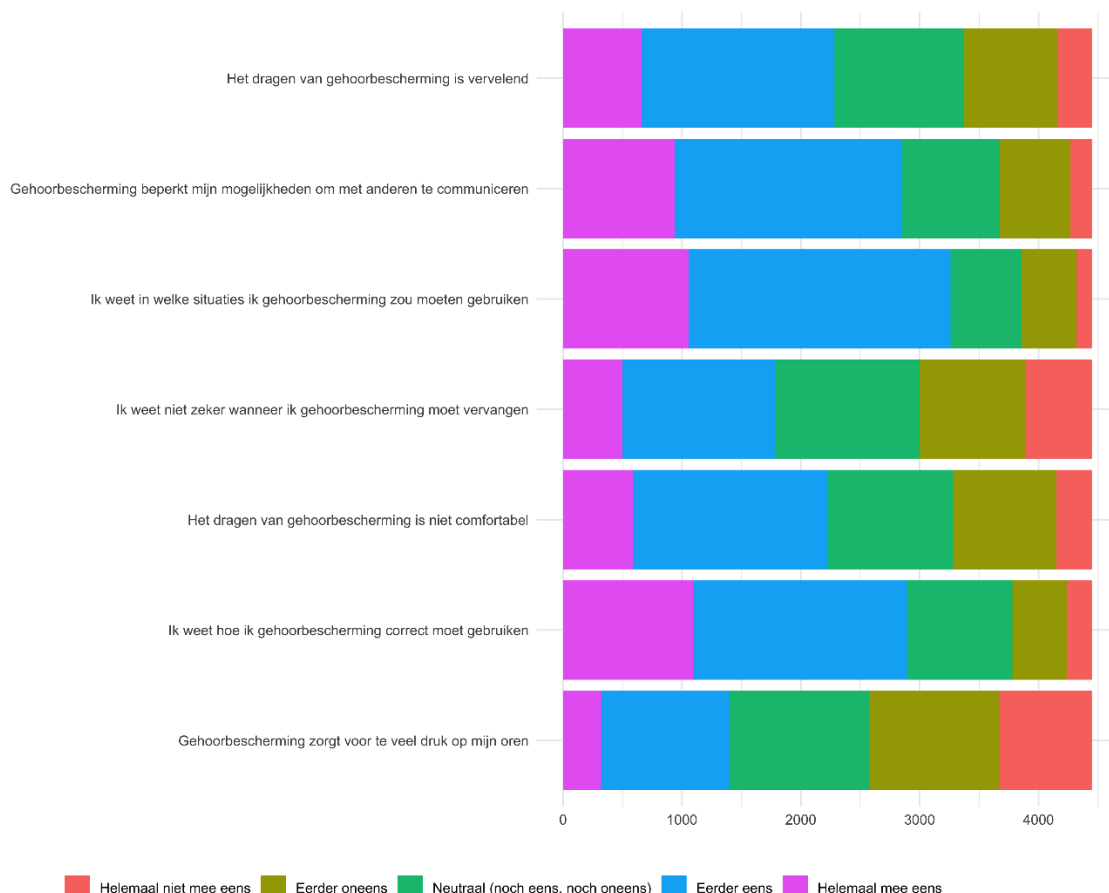
Voor de laatste vraag dienden de respondenten aan te geven in welke mate ze het eens waren met zeven verschillende stellingen, zie Figuur 6-1:

- Bij de stelling 'Het dragen van gehoorbescherming is vervelend', geeft de helft aan het hier eerder of helemaal mee eens te zijn.
- Met de stelling 'Gehoorbescherming beperkt mijn mogelijkheden om met anderen te communiceren', is een ruime meerderheid het eerder of helemaal eens.
- Iets minder dan de helft is het eerder of helemaal eens met de stelling dat het dragen van gehoorbescherming niet comfortabel is.

Een ruime meerderheid van de respondenten is het eerder of helemaal eens met volgende twee stellingen:

- 'Ik weet in welke situaties ik gehoorbescherming zou moeten gebruiken' en
- 'Ik weet hoe ik gehoorbescherming correct moet gebruiken'

Bevragingen



Figuur 6-1 Antwoorden op de vraag "Geef voor de volgende 7 stellingen aan in hoeverre je het ermee eens bent"

6.3 Discussie en conclusies

Hoewel een groot gedeelte van de respondenten vaak wordt blootgesteld aan een lawaaierige omgeving, vinden velen dat gehoorbescherming vervelend en niet comfortabel is, wat zou kunnen leiden tot het niet gebruiken van gehoorbescherming wanneer het nodig is. De meeste respondenten geven aan dat ze goed op de hoogte zijn van wanneer en hoe ze gehoorbescherming moeten gebruiken. Toch zou een nieuwe bewustzijns campagne rond de kennis van gehoorbescherming nuttig zijn, niet enkel over wanneer wél gehoorbescherming dient te worden gebruikt, maar ook wanneer niet, om overbescherming tegen geluid te vermijden. Er moet ook een onderscheid worden gemaakt tussen de soorten lawaai:

- Zo gaat omgevingslawaai nooit of zelden tot potentieel schadelijke niveaus leiden. Hiervoor moet men zich dus niet voor afschermen, want dit is een vorm van overbescherming die overgevoeligheid voor geluid in de hand kan werken.
- Bij recreationeel en occupationeel lawaai gaat het dan wel vaak over geluidsniveaus die potentieel schadelijk zijn voor het gehoor en waar het advies altijd zal zijn om gehoorbescherming te dragen.

Bevragingen

Het onderscheid tussen deze verschillende vormen van lawaai geeft een goede insteek om de juiste adviezen voor beide situaties mee te geven: niet afschermen voor omgevingsgeluiden, maar wel voor recreatieve lawaai (muziekevents, clubs, draagbare muzikspelers, gaming, ...) en occupationeel lawaai (werk in bouw, fabrieken, machinerie, ...).

Ook de soort gehoorbescherming is van belang. Koptelefoons met ruisonderdrukking (*noise cancelling headphones*) mogen niet gezien worden als een vorm van gehoorbescherming. Ruisonderdrukking kan een oplossing zijn voor een storend geluid, niet voor schadelijke geluidsniveaus, en kan in die zin eerder leiden tot overbescherming. Oordoppen op maat zouden meer gepromoot dienen te worden gezien deze enkele barrières wegnemen die in de enquête worden genoemd als redenen om geen gehoorbescherming te dragen (comfort, beperking van de communicatie, ...). In een nieuwe bewustwordingscampagne zal ook extra aandacht moeten gegeven worden aan de mogelijke risico's bij langdurig gamen.

7 Geluidswandeling

7.1 Inleiding

Eveneens voorafgaand aan de Grote Geluidsbevraging werd via De Morgen een oproep gelanceerd om geluidswandelingen (*soundwalks*) te maken, op initiatief van dr. Ablenya Barros (Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen van Universiteit Antwerpen). Deelnemers werden gevraagd om 2 tot 5 minuten bewust te luisteren naar hun buitenomgeving en daarna een korte vragenlijst over hun auditieve ervaring in te vullen. Dit leverde een indrukwekkende dataset op met meer dan 4.500 deelnemers en een brede ruimtelijke spreiding over Vlaanderen. Snel gebeurt voor de deelnemers, maar een dataset van onschatbare waarde voor de onderzoekers. We focussen ons op twee onderzoeksvragen:

1. Hoe vaak horen we eigenlijk natuurgeluiden in onze leefomgeving, en wat doet dat met onze ervaring van rust en aangenaamheid?
2. Waar en onder welke omstandigheden ervaren mensen “stilte”?

7.2 Methodologie

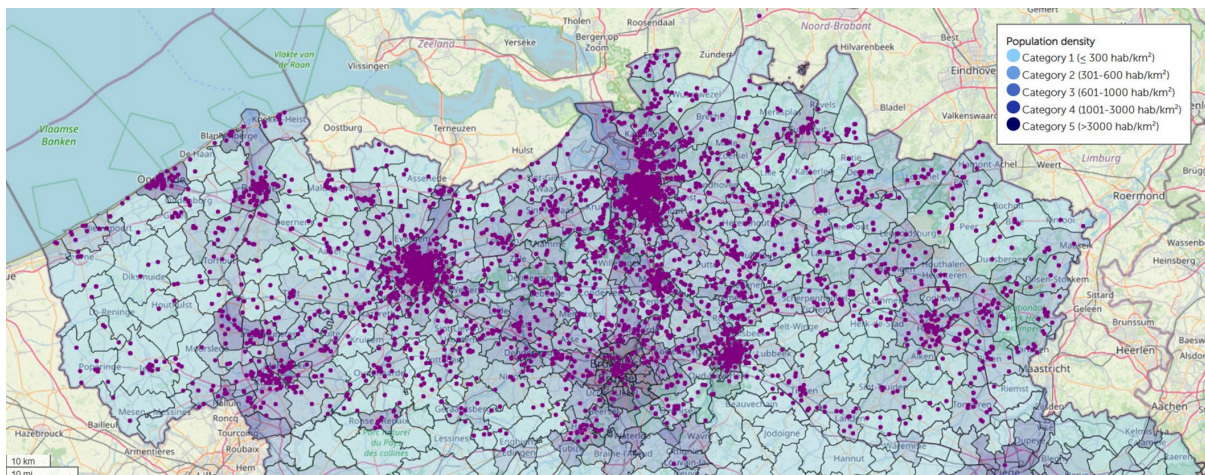
Deelnemers kregen de opdracht om 2–5 minuten, op een locatie en tijdstip naar keuze, bewust te luisteren naar hun buitenomgeving, al wandelend of stilstaand. Daarna vulden ze en via hun smartphone of computer een korte en anonieme vragenlijst in. Daarin gaven ze aan in welke mate ze bepaalde geluidsbronnen hadden gehoord (bijvoorbeeld verkeer of natuurgeluiden) en hoe ze de omgeving ervaarden (rustig, aangenaam, irritant, levendig, ... via de zogenaamde *soundscape* bevraging volgens ISO 12913). Vervolgens gaven ze aan wat hun favoriete en minst aangename geluid was dat ze gehoord hadden. Locaties werden precies geregistreerd, om op basis hiervan achtergronddata over groen, bebouwing en verkeer in de omgeving via GIS-databanken aan de dataset toe te voegen. Zo konden onderzoekers de subjectieve ervaringen koppelen aan objectieve kenmerken van de plek. Tot slot werden nog geslacht en leeftijd opgevraagd.

Deze anonieme vragenlijst en de verwerking ervan werden goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 18 september 2023 (SHW_2023_215_1).

Voor het stilte-onderzoek werd gekeken naar de uitersten: mensen die “helemaal geen stilte” rapporteerden versus mensen die “veel stilte” ervaarden. Deze gegevens werden vervolgens vergeleken met bevolkingsdichtheid, groen in de omgeving en nabijheid van (snel)wegen.

7.3 Demografie deelnemers

In totaal namen 4.665 burgerwetenschappers deel aan dit deelonderzoek met duidelijk aanwezige clusters rond Antwerpen, Gent en Leuven, maar toch een mooie spreiding over heel Vlaanderen, zie Figuur 7-1.



Figuur 7-1 Locaties van de uitgevoerde geluidswandelingen ($n = 4.665$), verspreid over heel Vlaanderen [Van Renterghem et al., 2025]⁷

Ongeveer $2/3^e$ (67,3%) van de geluidswandelingen vond plaats in stedelijke gebieden, $1/3^e$ in meer landelijke contexten (32,6%). Deelnemers waren gemiddeld 51,9 jaar oud en iets vaker vrouw (55,1%) dan man (43,6%). Het merendeel van de observaties (80,5%) gebeurde overdag, tussen 7 uur 's ochtends en 19 uur 's avonds.

7.4 (minst) favoriete geluiden

De vragenlijst bevatte een open vraag waarin gepolst werd naar de favoriete en minst aangename geluiden, zie Figuur 7-2.



Figuur 7-2 Woordenwolk met de favoriete (links) en minst aangename (rechts) geluiden gehoord tijdens de geluidswandeling

Het geluid van vogels is de duidelijke winnaar, vermeld door 56,7% van de respondenten, gevolgd door wind (20,1%) en ruisende bladeren (6,1%). Spelende kinderen worden toch ook door 3,8% van de

⁷ Van Renterghem et al., Effectively hearing natural sounds is a robust contributor to positive outdoor sound perception in the everyday living environment, Sci. Total. Environ. 989 (2025) 179809

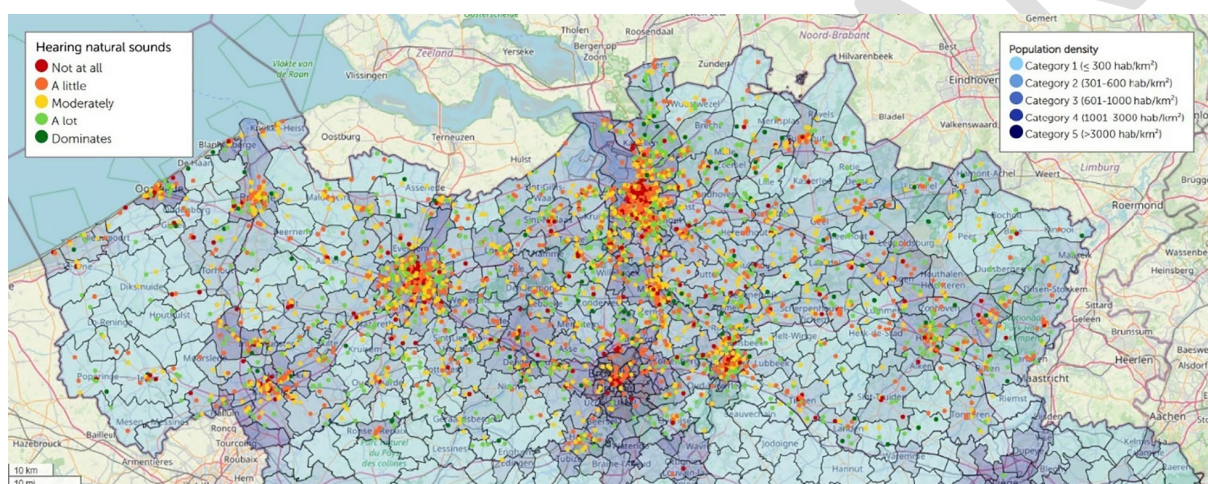
Bevragingen

deelnemers gemeld als positief geluid, hoewel schreeuwende kinderen ook bij de negatieve geluiden wordt vermeld. Over het algemeen zijn het duidelijk natuurgeluiden die consequent in verband staan met een positievere beleving.

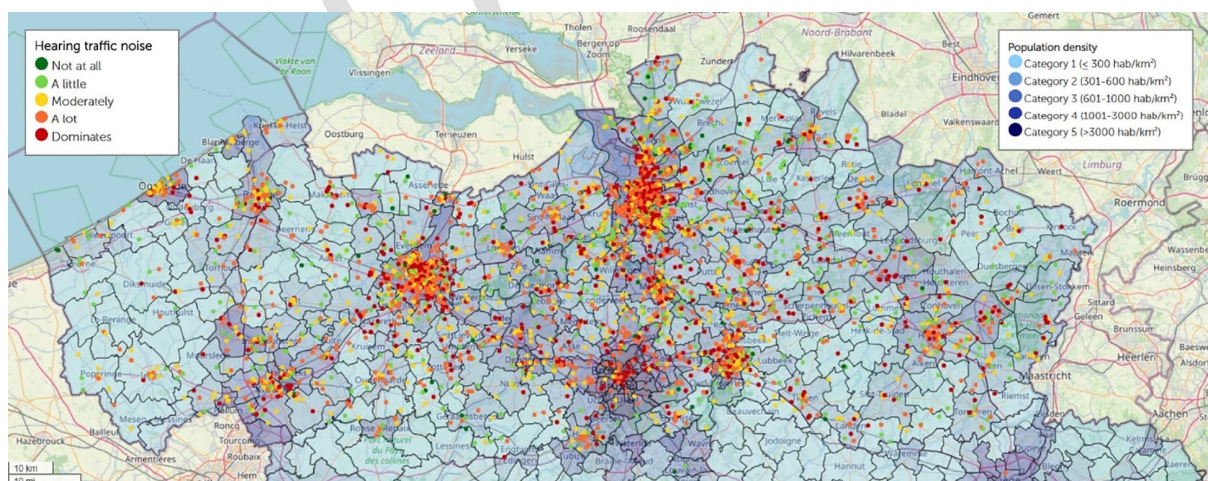
Bij de minst aangename geluiden scoren wegverkeer (auto, 49,2%), zwaar verkeer (7,4%), en sirenes (5,7%) het hoogste. Andere verkeersbronnen (trein/tram/bus/vliegtuigen/motoren) en bouwgeluiden staan hier eveneens in de top 10, net zoals te zien zal zijn bij de resultaten van de Grote Geluidsbevraging. Schreeuwende kinderen (0,9%) halen nog net de top 15 in deze resultaten.

7.5 Impact van bevolkingsdichtheid

In onderstaande Figuur 7-3 toont in hoeverre natuurgeluiden werden gehoord in functie van de bevolkingsdichtheid. Figuur 7-4 toont een soortgelijke kaart met het horen van verkeersgeluiden.



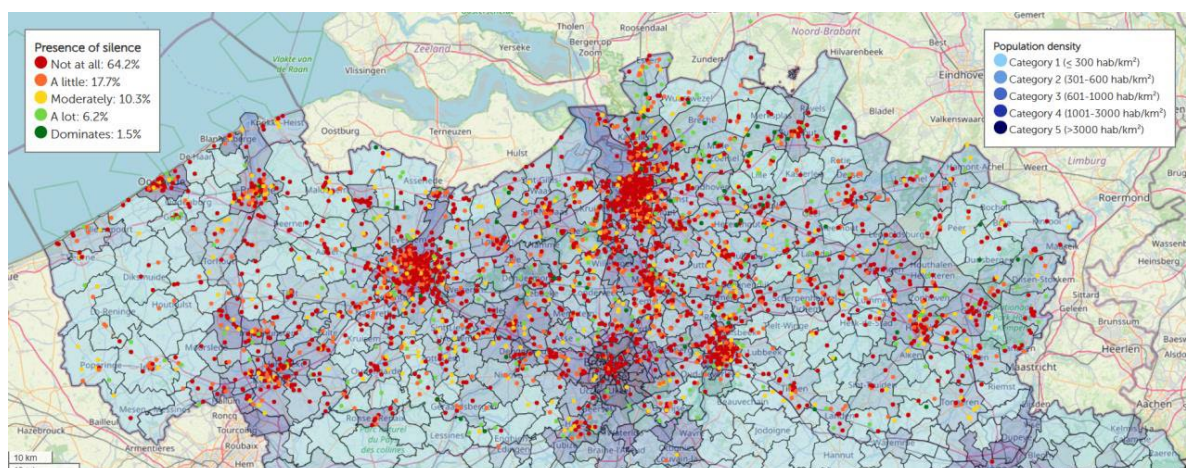
Figuur 7-3 Natuurgeluiden horen in functie van de bevolkingsdichtheid [Van Renterghem et al., 2025]



Figuur 7-4 Verkeersgeluiden horen in functie van de bevolkingsdichtheid [Van Renterghem et al., 2025]

Hierbij worden categorieën 1 en 2 beschouwd als ruraal gebied, en categorieën 3-5 als stedelijk. De stedelijke gebieden vertonen duidelijk veel minder natuurgeluiden en meer verkeersgeluiden dan rurale regio's.

Bevragingen



Figuur 7-5 Aanwezigheid van stilte in functie van de bevolkingsdichtheid [Barros et al., 2025]⁸

De kans dat mensen stilte ervaren, neemt sterk af in dichtbevolkte gebieden, zie Figuur 7-5. In de rurale gebieden rapporteert nog meer dan 20% van de respondenten dat ze stilte gewaarworden. In de meest dichtbebouwde Vlaamse buurten komt stilte vrijwel niet meer voor (3,8% in categorie 4). De aanwezigheid van veel bebouwing en nabijheid van (snel)wegen verkleinen natuurlijk de kans om stilte te horen. Omgekeerd helpen meer groen en landbouwgebieden in de buurt om stilte-ervaringen te vergroten.

Op basis van de Groenkaart Vlaanderen 2021 werd de hoeveelheid groen bepaald in een radius van 125, 250 en 500 meter rondom de opgegeven locatie. Op basis hiervan kon aangetoond worden dat de aanwezigheid van natuur en het effectief horen van natuurgeluiden een positief effect heeft op het geluidslandschap, zelfs wanneer wegverkeer dominant is.

Omdat de meeste wandelingen overdag plaatsvonden, lag de nadruk van het onderzoek ook op die periode. Het uur van de dag bleek geen doorslaggevende factor voor het horen van natuurgeluiden. Specifieke fenomenen zoals het ochtendkoor van vogels konden met deze aanpak dus niet apart worden onderzocht.

⁸ Barros et al., Where can we hear silence?, Forum Acusticum Euronoise 2025, Málaga, Spanje, 23-26 juni, 2025

7.6 Conclusies

De analyses tonen drie hoofdpunten:

1. **Natuurgeluiden maken een groot verschil.** Wie ze hoorde, beoordeelde het geluidslandschap systematisch positiever: aangenamer, rustiger en minder irritant. Dit effect bleef bestaan, zelfs als er ook verkeersgeluid aanwezig was.
2. **Groene omgeving helpt.** Hoe meer groen (zoals parken, bomen of landbouwgebied) binnen een straal van 500 meter, hoe groter de kans dat mensen natuurgeluiden horen en een rustiger geluidslandschap ervaren.
3. **Stilte is schaars, maar waardevol.** Vooral in dichtbevolkte en verkeersdrukke buurten is stilte vrijwel afwezig. In landelijke en groene gebieden, verder weg van verkeersaders, komt stilte daarentegen nog wel regelmatig voor. Stilte wordt hierbij in de meeste gevallen gelijkgesteld aan het horen van natuurgeluiden, dus de afwezigheid van mensgerelateerde geluiden.

Samen maken de resultaten duidelijk dat meer groen en minder verkeersdruk in onze woonomgeving niet alleen meetbare effecten hebben op geluid, maar ook op hoe mensen hun leefomgeving ervaren, van het horen van vogels tot het vinden van echte momenten van stilte.

8 De Grote Geluidsbevraging

8.1 Inleiding en methodologie

We startten de kern van De Oorzaak in november 2023 met de Grote Geluidsbevraging (GGB): een omvangrijke vragenlijst waarmee we een ambitieuze poging deden om geluidsbeleving in al zijn aspecten te begrijpen.

Een deel van deze vragenlijst is gebaseerd op eerdere onderzoeken van het Departement Omgeving (Schriftelijk Leefomgevingsonderzoek 2001–2018⁹ en Burgerbevraging Leefomgeving Vlaanderen 2023¹⁰, telkens met minstens 5.000 deelnemers). Daarnaast gebruikten we wetenschappelijk gevalideerde vragenlijsten voor o.a. geluidgevoeligheid, slaapkwaliteit en stress. Zo was het makkelijker om die parameters in één enkel getal uit te drukken, en kunnen we in de toekomst de resultaten van onze vragenlijsten makkelijker vergelijken met bestaande (internationale) wetenschappelijke studies.

De Grote Geluidsbevraging was in te vullen door alle Vlamingen ouder dan 18 jaar. De vragenlijst bood inwoners uit Antwerpen, Gent en Leuven, op basis van de door hen ingevulde postcode, eveneens de mogelijkheid om zich aan te melden voor een geluidssensor. Om zoveel mogelijk respondenten te vinden, werd een uitgebreide mediacampagne door De Morgen gelanceerd, aangevuld met diverse kanalen van de partners, zoals sociale media, nieuwsbrieven, lokale magazines in de steden, ...

De mediacampagne zelf bestond uit:

- TV-spot op VTM
- Radio-spot op bijvoorbeeld JOE FM
- Advertentie en diverse artikels in De Morgen
- Advertenties in het straatbeeld (bijvoorbeeld bushokjes, pre-metrostations te Antwerpen), aangepast aan de drie steden, zie Figuur 8-1



Figuur 8-1 Advertenties aangepast per stad: v.l.n.r. Antwerpen, Gent en Leuven

⁹ Vlaamse Overheid - Departement Omgeving

¹⁰ Burgerbevraging Leefomgevingskwaliteit Vlaanderen (BLV)

Bevragingen

Via een link op de website van De Morgen werden deelnemers geleid naar de vragenlijst in Qualtrics. In overeenstemming met de privacyvereisten waren de resultaten uit de Grote Geluidsbevraging enkel toegankelijk voor de onderzoekers van de Universiteit Antwerpen.

De vragenlijst werd enkel online ter beschikking gesteld in twee perioden:

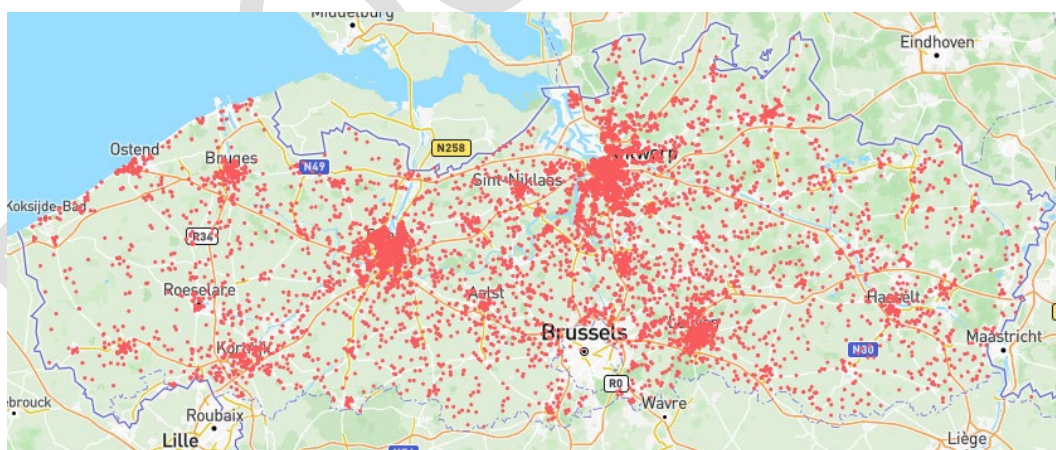
- 28 november 2023 tot en met 23 januari 2024
- 29 april 2024 tot en met 31 mei 2024

Na de eerste oproepperiode werden 1.926 deelnemers gecontacteerd die in de GGB hadden aangegeven dat ze een geluidssensor bij hen thuis wilden installeren. Meer dan 40% (817 deelnemers) gaf na initiële interesse geen reactie meer, of gaf aan toch niet te kunnen/willen meedoen om diverse redenen (bijvoorbeeld verhuisd, ziek, geen tijd/interesse meer, ...). Om een grotere deelnemerspool te verkrijgen, volgde in april 2024 daarom een tweede oproepronde via een nieuwe mediacampagne. Dit leverde 349 extra sensordeelnemers op. Zes deelnemers zijn gaandeweg nog afgevallen tijdens de meetperiodes (bijvoorbeeld defecte sensor, niet ophalen meetpakket, ...), waardoor we geëindigd zijn met 1.452 sensordeelnemers.

De Grote Geluidsbevraging en de verwerking ervan werden goedgekeurd door de Ethische Adviescommissie Sociale en Humane Wetenschappen van Universiteit Antwerpen op 13 september 2023 (SHW_2023_214_1).

8.2 De sociodemografische kenmerken van de GGB-deelnemers

Op onderstaande kaart, zie Figuur 8-2, wordt de geografische spreiding getoond van alle burgerwetenschappers die de Grote Geluidsbevraging volledig hebben ingevuld. De Grote Geluidsbevraging werd door 17.988 deelnemers gestart, maar onvolledige vragenlijsten werden in ons onderzoek niet gebruikt. Maar liefst 10.138 burgerwetenschappers uit heel Vlaanderen namen de tijd om ons te laten weten hoe zij met omgevingsgeluid omgaan.



Figuur 8-2 Geografische spreiding van de burgerwetenschappers die de Grote Geluidsbevraging volledig hebben ingevuld

4.010 (39,5%) inwoners uit de provincie Antwerpen vulden de vragenlijst in, gevolgd door 2.967 (29,3%) uit Oost-Vlaanderen, 1.593 (15,7%) respondenten uit Vlaams-Brabant, 980 (9,7%) uit West-Vlaanderen en 588 (5,8%) uit Limburg. 96,3% van de deelnemers heeft de Belgische nationaliteit.

Bevragingen

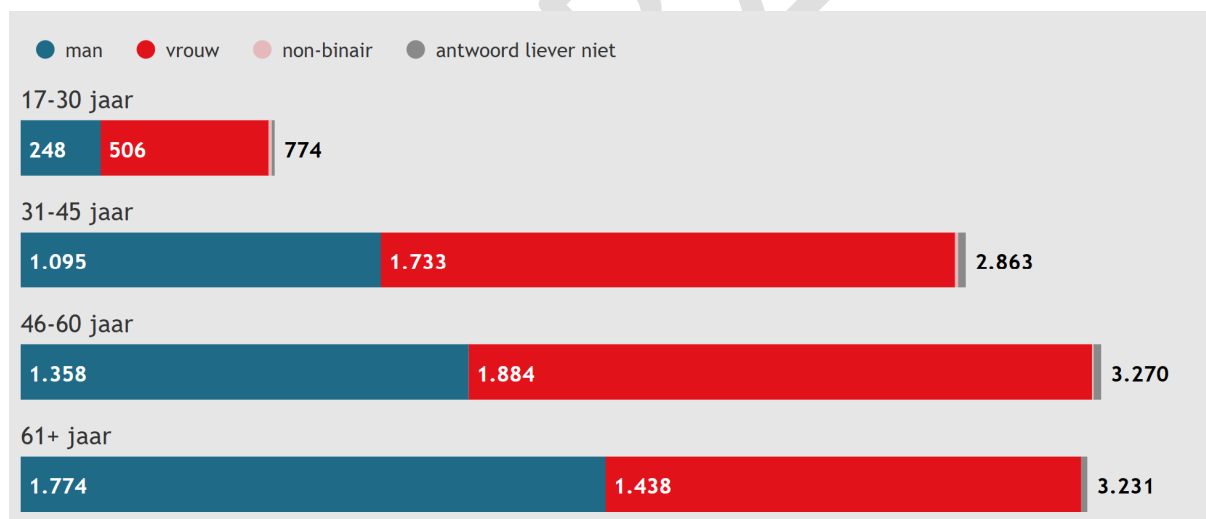
Wanneer we verder inzoomen op de drie deelnemende steden, krijgen we het volgende overzicht¹¹:

- Antwerpen: 2.189 deelnemers (21,6%)
- Gent: 1.676 deelnemers (16,5%)
- Leuven: 642 (6,3%)

Wie vulde de Grote Geluidsbevraging in?

Uit voorgaande bevestigingen afgenomen door het Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid, bijvoorbeeld de Burgerbevraging Leefomgevingskwaliteit Vlaanderen (BLV), blijkt dat er een significant verband is tussen de gerapporteerde geluidshinder enerzijds, en sociodemografische factoren zoals leeftijd, opleidingsniveau en type woning anderzijds. Om die reden vatten we deze factoren even kort samen.

De Grote Geluidsbevraging (GGB) werd vaker ingevuld door vrouwen: 54,9% tegenover 44,1% mannelijke respondenten, en 0,3% non-binaire geslachtsidentiteit. De gemiddelde leeftijd van de respondenten was 51,8 jaar. De jongste invuller was 18, de oudste deelnemer liefst 92 jaar oud. In onderstaande Figuur 8-3 is meer data terug te vinden over het gender van de deelnemers per leeftijdscategorie.



Figuur 8-3 Leeftijd en gender van de deelnemers aan de Grote Geluidsbevraging

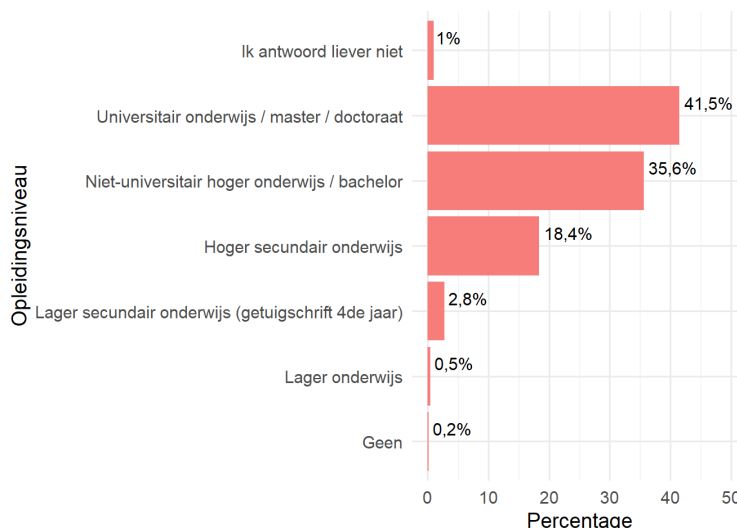
Opleidingsniveau en tewerkstellingsgraad

De Oorzaak kampt, net als sommige andere wetenschappelijke onderzoeken, met zelfselectiebias. Dat betekent dat de groep mensen die meedoet aan een onderzoek niet altijd representatief is voor de hele bevolking, omdat mensen zelf kiezen of ze meedoen. Dat merken we bijvoorbeeld aan het opleidingsniveau van onze deelnemers, zie Figuur 8-4: 79,7% is hoger opgeleid bij de 25- tot 64-jarigen, terwijl dat in Vlaanderen gemiddeld 45,3% is voor dezelfde leeftijdscategorie¹².

¹¹ Tijdens de symposia werden iets lagere aantallen getoond. In de dataset stonden bij de variabele "Stad" nog een heel aantal NA. Dit is ondertussen opgelost.

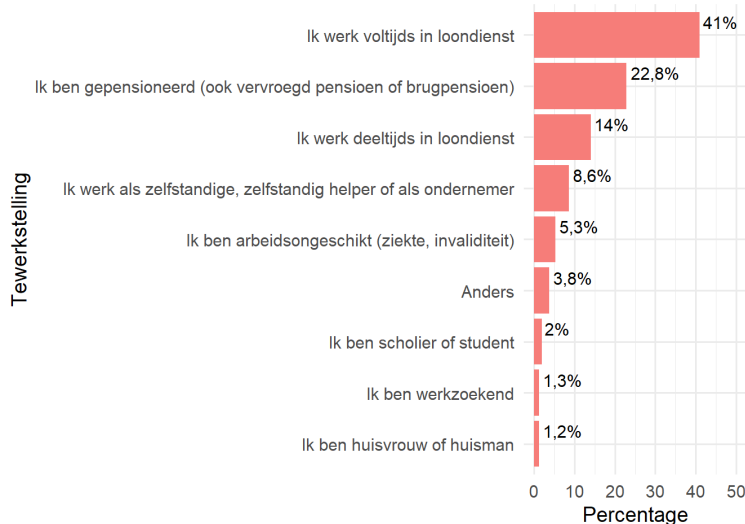
¹² <https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/onderwijs-en-vorming/bevolking-naar-onderwijsniveau-scholingsgraad>

Bevragingen



Figuur 8-4 Opleidingsniveau van de GGB-deelnemers

Het aandeel werkenden zie je in Figuur 8-5. Voor de leeftijdscategorie 20- tot 64-jarigen is dit gelijkaardig in onze deelnemerspool vergeleken met Vlaanderen¹³: 80,5% tegenover 76,9%.



Figuur 8-5 Tewerkstelling van de GGB-deelnemers

Voor de verdere statistische analyses is er soms voor gekozen om de tewerkstelling onder te verdelen in minder categorieën, zoals bijvoorbeeld in Tabel 8-1. De categorie “Kwetsbaar/werkloos” bestaat uit “Ik ben werkzoekend” en “Ik ben arbeidsongeschikt (ziekte, invaliditeit)”. De categorie “Werkend” omvat “Ik werk voltijds in loondienst”, “Ik werk deeltijds in loondienst” en “Ik werk als zelfstandige, ...”.

Tabel 8-1 Tewerkstelling uitgedrukt in drie i.p.v. negen antwoordcategorieën

Tewerkstelling	Aantal	Percentage
Kwetsbaar/ werkloos	1.052	10,4%
Niet-werkend/ actief	2.636	26,0%
Werkend	6.450	63,6%
Totaal	10.138	100,0%

¹³ <https://www.vlaanderen.be/statistiek-vlaanderen/arbeid/werkzaamheidsgraad>

Bevragingen

Netto gezinsinkomen

Omdat we verwachten dat een netto gezinsinkomen (gedeeltelijk) mee bepaalt aan hoeveel geluidshinder men wordt blootgesteld, werd dit ook bevraagd.

Het netto gezinsinkomen werd hierbij gedefinieerd als de som van onderstaande inkomens voor alle personen die op het adres wonen:

- netto-beroepsinkomens uit arbeid (netto-lonen, netto-bedrijfsinkomsten).
- netto-vervangingsinkomens (werkloosheids-, arbeidsongeschiktheids- of invaliditeitsvergoedingen, leefloon, OCMW-steun of pensioenen).
- bijkomende netto-inkomens (bijvoorbeeld huuropbrengsten) die je maandelijks netto ontvangt.
- alimentatiegeld dat je eventueel moet betalen, kan je hiervan aftrekken.
- alimentatiegeld dat je eventueel ontvangt, kan je hierbij optellen.
- kindergeld hoeft je niet mee te rekenen.

Zoals te zien in Tabel 8-2, is dit een vraag die gevoeliger ligt bij de respondenten. Bijna 20% verkoos geen antwoord te geven op deze vraag.

Tabel 8-2 Maandelijks netto gezinsinkomen van de GGB-deelnemers

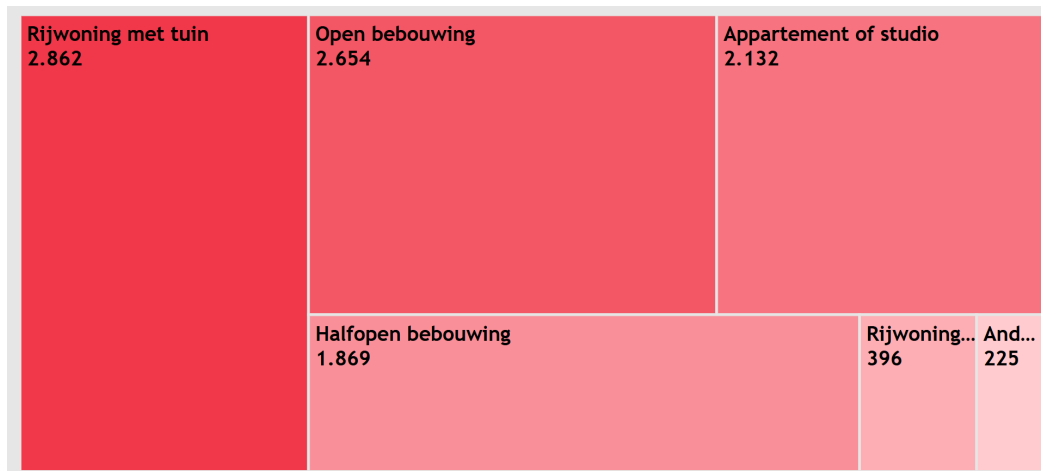
Maandelijks inkomen	Aantal	Percentage
0 – 1.000 €	32	0,3%
1.001 – 2.000 €	783	7,7%
2.001 – 3.000 €	1.610	15,9%
3.001 – 4.000 €	1.674	16,5%
4.001 – 5.000 €	1.867	18,4%
5.001 – 6.000 €	1.309	12,9%
meer dan 6.000 €	1.045	10,3%
Geen antwoord	1.818	17,9%
Totaal	10.138	100,0%

Voor de statistische analyses hebben we deze antwoordcategorieën ook weer samengevoegd naar vijf categorieën (categorieën per 2.000 € i.p.v. 1.000 €) en zelfs naar drie categorieën (≤ 3.000 : 23,9%, > 3.000 : 58,1% en “Geen antwoord”: 17,9%).

Bevragingen

8.3 De woningen van de deelnemers

De spreiding tussen de verschillende types woningen is vrij evenwichtig verdeeld over de categorieën rijwoning (32,1%), halfopen bebouwing (18,4%), open bebouwing (26,2%) en appartement of studio (21,0%), zie Figuur 8-6.



Figuur 8-6 Woningtypes in de GGB-bevraging

De GGB-deelnemers wonen gemiddeld met 2,08 volwassenen en 0,54 kinderen in de woning.

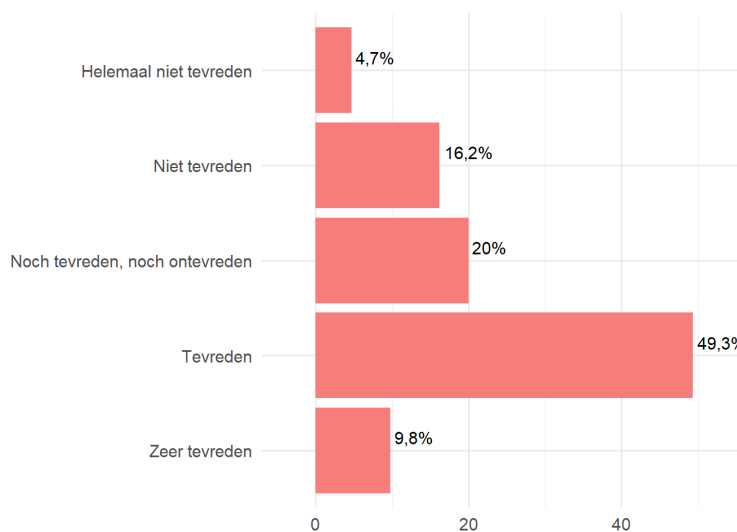
De meeste deelnemers hebben hun slaapkamer op de eerste verdieping (60,8%), gevolgd door de tweede verdieping (16,8%) en het gelijkvloers (11,1%). De resterende 11,3% slaapt op een nog hogere verdieping (in een appartementsblok), of ondergronds (0,1%).

Het merendeel van de deelnemers houdt de ramen van de slaapkamer 's nachts voornamelijk dicht (altijd 30,8% en meestal 34,0%). Een minderheid houdt de ramen altijd open (11,2%). De voornaamste reden om de ramen of raamroosters 's nachts gesloten te houden, blijkt effectief het omgevingsgeluid te zijn (54,0%). Bij 19,5% van de deelnemers zijn er andere redenen om de ramen gesloten te houden.

Bevragingen

8.4 De leefkwaliteit in de buurt van de GGB-deelnemers

In Figuur 8-7 zie je de antwoorden op de vraag “Hoe tevreden ben jij in het algemeen over de leefkwaliteit in jouw buurt?”.



Figuur 8-7 Algemene tevredenheid van de GGB-respondenten

Zoals je kan zien, is een kleine 60% tevreden over de leefkwaliteit in zijn/haar buurt. De resterende 40% is ongeveer gelijk verdeeld tussen respondenten die ontevreden of neutraal zijn.

In Tabel 8-3 vind je de cijfers over de algemene tevredenheid over de leefkwaliteit in de buurt terug voor de drie steden. Het is duidelijk dat de tevredenheid het laagste is bij de deelnemers uit Antwerpen, en dat die aanzienlijk hoger ligt bij de deelnemers uit Leuven.

Tabel 8-3 Tevredenheid over de leefkwaliteit in de buurt in de drie steden vergeleken met de GGB

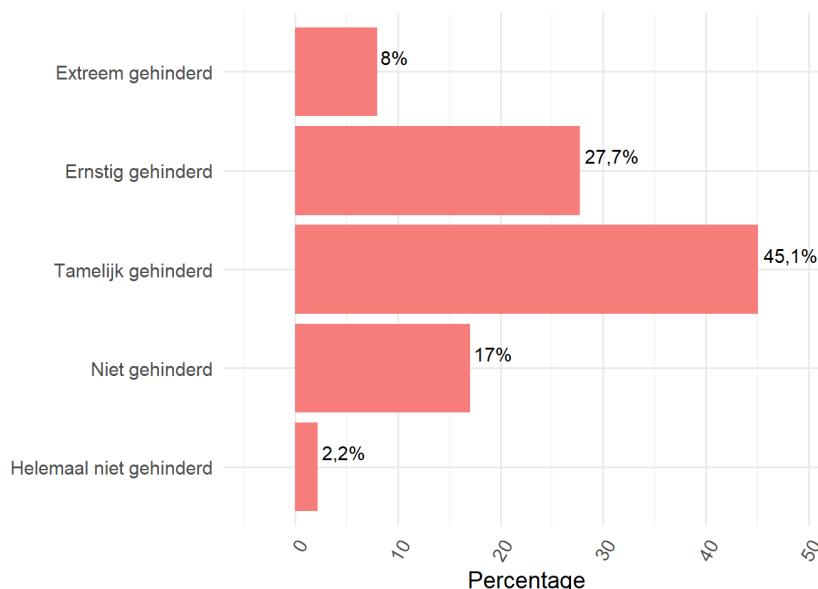
Leefkwaliteit in de buurt	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Helemaal niet tevreden	477 (4,7%)	130 (5,9%)	85 (5,1%)	20 (3,1%)
Niet tevreden	1.647 (16,2%)	500 (22,8%)	288 (17,2%)	75 (11,7%)
Noch tevreden, noch ontevreden	2.024 (20,0%)	544 (24,9%)	368 (22,0%)	107 (16,7%)
Tevreden	4.993 (49,3%)	911 (41,6%)	823 (49,1%)	363 (56,5%)
Zeer tevreden	997 (9,8%)	104 (4,8%)	112 (6,7%)	77 (12,0%)
Tevreden + Zeer tevreden	5.990 (59,1%)	1.015 (46,4%)	935 (55,8%)	440 (68,5%)

Bevragingen

8.5 De algemene en specifieke geluidshinder van de GGB-deelnemers

8.5.1 Algemene hinder door omgevingsgeluid

In Figuur 8-8 zie je de antwoorden op de vraag “Als je denkt aan het afgelopen jaar, in welke mate was jij gehinderd door omgevingsgeluid in en om je woning?”.



Figuur 8-8 Algemene hinder door omgevingsgeluid van de GGB-respondenten

Hier is de belangrijke opmerking rond de zelfselectiebias een tweede keer van belang. Geïnteresseerden die zelf meer hinder ondervinden van omgevingsgeluid, of gevoeliger zijn voor geluid, zijn meer geneigd om effectief te participeren aan ons onderzoek. Hierdoor ligt het percentage gehinderden bij onze respondenten aanzienlijk hoger dan in het meest recente onderzoek van het Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid (BLV, 2024).

- 14,8% van de BLV-respondenten is ernstig of extreem gehinderd t.o.v. 35,8% in de GGB
- 3,6% van de BLV-respondenten is extreem gehinderd t.o.v. 8,1% in de GGB

Deze grote verschillen tonen nogmaals aan dat we beide onderzoeken niet rechtstreeks met mekaar kunnen vergelijken. In Tabel 8-4 vind je de cijfers over de algemene geluidshinder terug voor de drie steden. Ook bij de algemene geluidshinder zien we verschillen tussen de drie steden, maar deze verschillen zijn relatief klein en de percentages zeer hoog (gedeeltelijk te wijten aan de zelfselectiebias).

Bevragingen

Tabel 8-4 Algemene hinder door omgevingsgeluid in de drie steden vergeleken met de GGB

Geluidshinder	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Helemaal niet gehinderd	219 (2,2%)	16 (0,7%)	16 (1,0%)	10 (1,6%)
Niet gehinderd	1.720 (17,0%)	230 (10,5%)	222 (13,2%)	100 (15,6%)
Tamelijk gehinderd	4.573 (45,1%)	1.010 (46,1%)	822 (49,0%)	295 (46,0%)
Ernstig gehinderd	2.810 (27,7%)	724 (33,1%)	464 (27,7%)	196 (30,5%)
Extreem gehinderd	816 (8,0%)	209 (9,5%)	152 (9,1%)	41 (6,4%)
% gehinderd*	8.199 (80,9%)	1.943 (88,8%)	1.438 (85,8%)	532 (82,9%)
% sterk gehinderd†	3.626 (35,8%)	933 (42,6%)	616 (36,8%)	237 (36,9%)

* Som van de percentages tamelijk tot en met extreem gehinderd

† Som van de percentages ernstig en extreem gehinderd

Door een copy-paste fout (naar analogie met de vraag naar de algemene tevredenheid) werd in deze vraag de verkeerde formulering gebruikt: “niet gehinderd” i.p.v. “een beetje gehinderd”. Hoogstwaarschijnlijk heeft dit ertoe geleid dat een aanzienlijk aantal respondenten de antwoordcategorie “tamelijk gehinderd” heeft gekozen i.p.v. “een beetje gehinderd” zoals de bedoeling was. Het is daarom veiliger om vooral te focussen op het % sterk gehinderd en niet op % gehinderd. Het % gehinderd bij wegverkeer (als geluidsbron verantwoordelijk voor de meeste overlast, zie § 8.5.11) varieert rond de 45-50%, een pak lager dan de 80,9% die hier werd gevonden.

We zien de grote geluidshinder verder bevestigd door het feit dat 2,8% van de GGB-respondenten lid zijn van een actiecomité rond geluid en dit zelfs nog iets hoger ligt voor de drie steden (Antwerpen: 3,0%; Gent: 3,2% en Leuven: 4,2%).

In onderstaande Tabel 8-5 zie je welke acties de GGB-deelnemers het afgelopen jaar hebben genomen of overwogen omwille van de geluidshinder door omgevingsgeluid. Meerdere antwoorden konden geselecteerd worden, waardoor de som van de percentages > 100% bedraagt. 25 à 30% van de respondenten heeft er al aan gedacht om te verhuizen omwille van de geluidshinder. Er zijn slechts kleine verschillen tussen de ondernomen of overwogen acties tussen de drie steden onderling en met de volledige GGB-populatie.

Tabel 8-5 Ondernomen stappen in het afgelopen jaar door geluidshinder door omgevingsgeluid

Acties	GGB	Antwerpen	Gent	Leuven
Overwogen om een klacht in te dienen	20,4%	21,6%	22,7%	24,1%
Effectief een klacht ingediend	12,8%	14,8%	13,1%	11,7%
Een advocaat gecontacteerd	1,4%	0,8%	1,3%	0,9%
Eraan gedacht om te verhuizen	27,7%	32,9%	30,8%	26,2%
Contact opgenomen met de veroorzakers	25,9%	26,5%	30,3%	30,4%
Je woning aangepast en/of verbouwd	14,0%	15,3%	17,4%	14,5%
Geen van bovenstaande	41,2%	36,0%	35,1%	38,9%

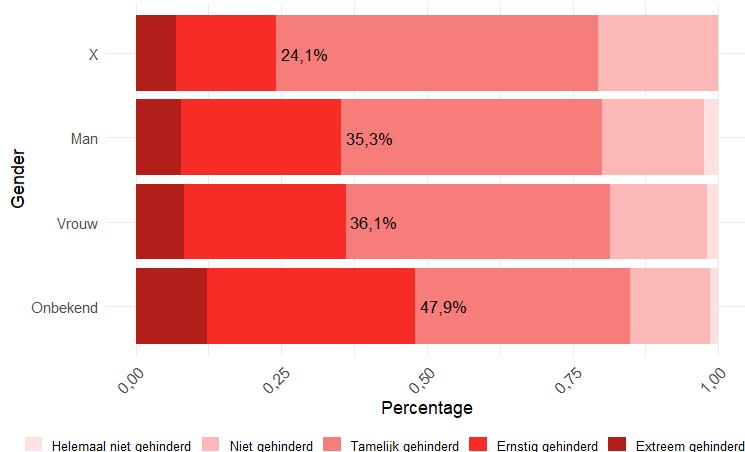
Bevragingen

8.5.2 Correlaties tussen algemene geluidshinder en sociodemografische gegevens

We zoomen nu verder in op de eventuele correlaties tussen de sociodemografische variabelen en de zelfgerapporteerde algemene hinder door omgevingsgeluid. We starten met een aantal grafieken waarop de verdeling qua geluidshinder in functie van de sociodemografische variabelen te zien is. Het getoonde percentage op de grafieken is het percentage “Sterk gehinderd” (som van ernstig en extreem gehinderd).

Gender

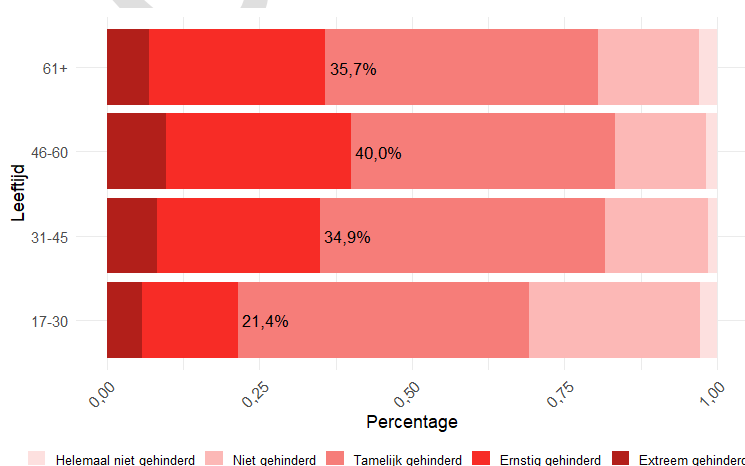
Er zijn geen significante verschillen in geluidshinder tussen man en vrouw, zie Figuur 8-9. Voor de andere gendercategorieën zijn er onvoldoende respondenten om hierover een uitspraak te kunnen doen.



Figuur 8-9 Algemene geluidshinder in functie van gender

Leeftijd

Qua leeftijd zien we wel significante verschillen in geluidshinder tussen de verschillende leeftijdscategorieën, zie Figuur 8-10. De leeftijdscategorie 46-60 rapporteert de meeste geluidshinder en de categorie 17-30 de minste geluidshinder.



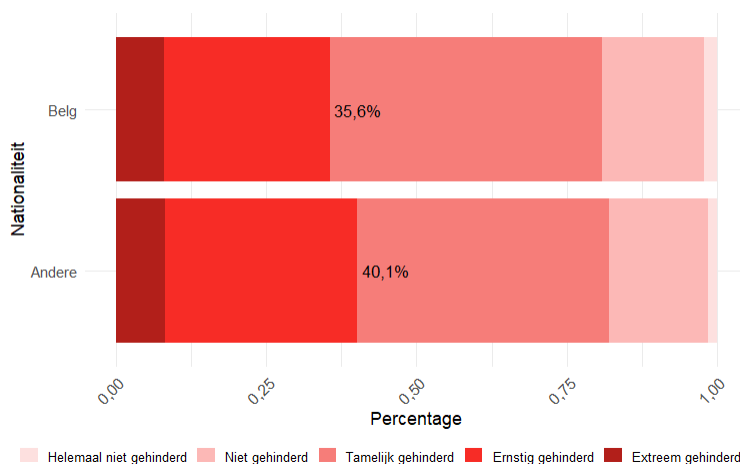
Figuur 8-10 Algemene geluidshinder in functie van leeftijd (vier categorieën)

In (BLV, 2024) zien we ook een significant effect van leeftijd, maar lag de geluidshinder van de categorie 17-30 hoger dan die van 61+. In De Oorzaak vertegenwoordigt de categorie 17-30 slechts 7,6% van de respondenten, terwijl dit in (BLV, 2024) 19,8% bedroeg.

Bevragingen

Nationaliteit

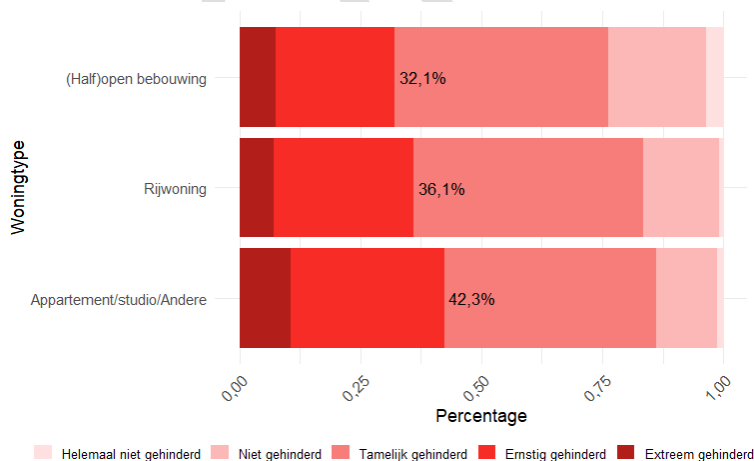
Net zoals in (BLV, 2024) zien we hier geen significant effect qua nationaliteit, zie Figuur 8-11, ook door het feit dat de overgrote meerderheid van de respondenten de Belgische nationaliteit had (96,3%).



Figuur 8-11 Algemene geluidshinder in functie van nationaliteit

Woningtype

Wanneer we de originele antwoordcategorieën gebruiken, vinden we een significante correlatie, maar soms beperkte verschillen, tussen de algemene geluidshinder en het woningtype. Wanneer we de antwoorden verdelen over onderstaande drie categorieën, zie Figuur 8-12, vinden we een duidelijker statistisch significant verschil, waarbij inwoners van appartementen/studio's meer geluidshinder rapporteren dan rijwoningen, en inwoners van een (half)open bebouwing de minste geluidshinder rapporteren.



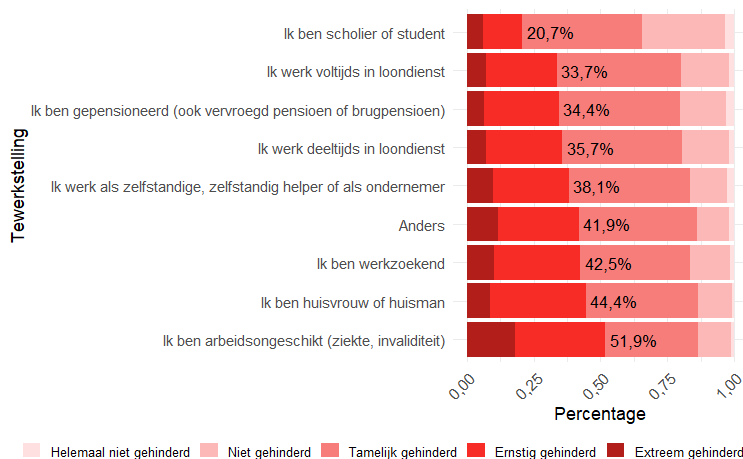
Figuur 8-12 Algemene geluidshinder in functie van woningtype (drie categorieën)

In (BLV, 2024) vinden we een soortgelijk verband: “Respondenten die wonen in een gesloten bebouwing, appartement of studio zijn meer gehinderd door geluid in vergelijking met mensen die wonen in (half)open bebouwing of loft.”

Bevragingen

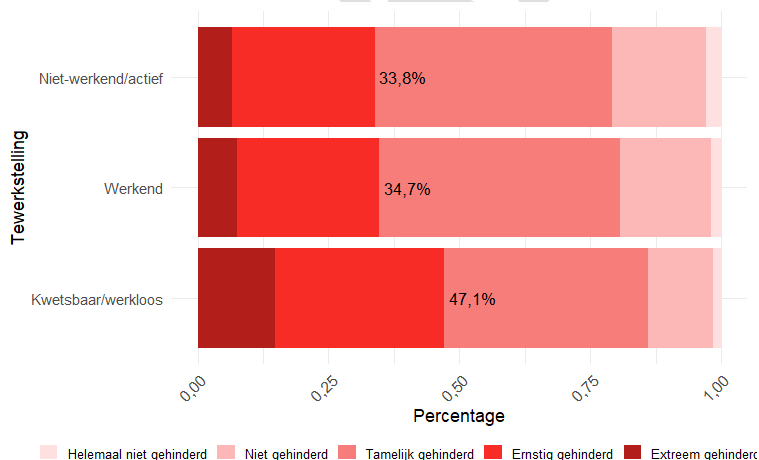
Tewerkstelling

Wanneer we de originele antwoordcategorieën gebruiken, zie Figuur 8-13, vinden we geen significante correlatie tussen de algemene geluidshinder en alle antwoordcategorieën qua tewerkstelling. Er zijn hierbij wel duidelijke trends zichtbaar, maar ook veel categorieën met een gelijkaardige geluidshinder.



Figuur 8-13 Algemene geluidshinder in functie van tewerkstelling (negen categorieën)

Wanneer we de antwoorden verdelen over onderstaande drie categorieën, zie Figuur 8-14, vinden we wel een statistisch significant verschil, waarbij respondenten die “Kwetsbaar/werkloos” zijn een aanzienlijk hogere geluidshinder rapporteren.

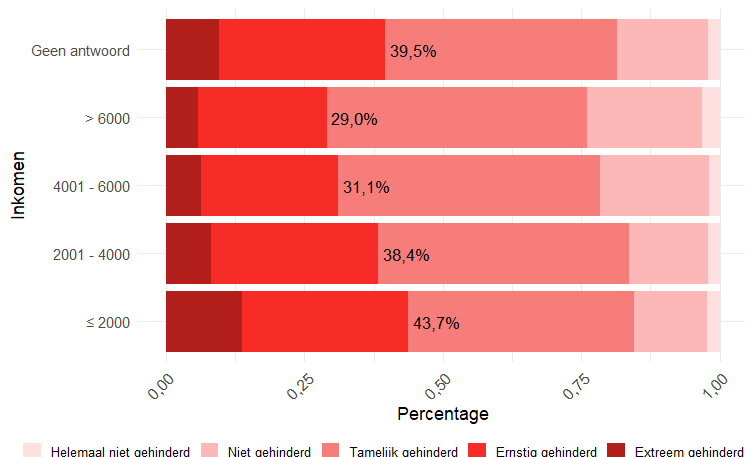


Figuur 8-14 Algemene geluidshinder in functie van tewerkstelling (3 categorieën)

Bevragingen

Netto-gezinsinkomen

Om een statistisch significant verband te vinden tussen de algemene geluidshinder en het netto gezinsinkomen is het opnieuw nodig om het aantal categorieën te verminderen, zie Figuur 8-15. Hoe lager het netto gezinsinkomen, hoe hoger de zelfgerapporteerde algemene geluidshinder. De categorie “Geen antwoord” ligt er ergens tussenin, omdat die hoogstwaarschijnlijk respondenten omvat van alle inkomenscategorieën.



Figuur 8-15 Algemene geluidshinder in functie van inkomen (5 categorieën)

Samenvatting

Samengevat zijn er dus statistisch significante correlaties tussen algemene geluidshinder en volgende sociodemografische factoren:

- Leeftijd: respondenten uit de leeftijdscategorie 46-60 rapporteren de meeste geluidshinder. De respondenten uit de leeftijdscategorie 17-30 rapporteren aanzienlijk minder geluidshinder.
- Woningtype: inwoners van appartementen/studio's rapporteren meer geluidshinder dan rijwoningen, en inwoners van een (half)open bebouwing rapporteren de minste geluidshinder.
- Tewerkstelling: respondenten uit de categorie “Kwetsbaar/werkloos” rapporteren een aanzienlijk hogere geluidshinder.
- Netto-gezinsinkomen: hoe lager het netto gezinsinkomen, hoe hoger de zelfgerapporteerde algemene geluidshinder.

Er zijn geen significante verbanden met gender en nationaliteit (te kleine subgroepen).

In Tabel 8-6 is de algemene geluidshinder (van “helemaal niet gehinderd” tot en met “extreem gehinderd”) uitgesplitst per sociodemografische variabele. Een statistisch significant verband wordt hierbij aangeduid met een vetgedrukt p-waarde en een toegevoegde ‘*’.

Bevragingen

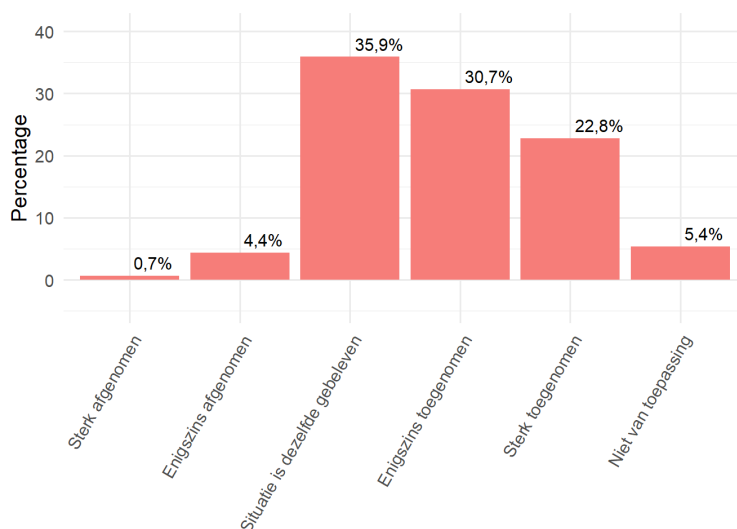
Tabel 8-6 Algemene hinder door omgevingsgeluid in functie van de sociodemografische variabelen

Sociodemografie	Helemaal niet gehinderd N = 219	Niet gehinderd N = 1.720	Tamelijk gehinderd N = 4.573	Ernstig gehinderd N = 2.810	Extreem gehinderd N = 816	p-waarde
Gender						0,3
Man	112 (51,1%)	781 (45,4%)	2.004 (43,8%)	1.231 (43,8%)	347 (42,5%)	
Vrouw	106 (48,4%)	923 (53,7%)	2.526 (55,2%)	1.548 (55,1%)	458 (56,1%)	
X	0 (0,0%)	6 (0,3%)	16 (0,3%)	5 (0,2%)	2 (0,2%)	
Onbekend	1 (0,5%)	10 (0,6%)	27 (0,6%)	26 (0,9%)	9 (1,1%)	
Leeftijd*						< 0,001
17-30	22 (10,0%)	216 (12,6%)	370 (8,1%)	122 (4,3%)	44 (5,4%)	
31-45	43 (19,6%)	481 (28,0%)	1.341 (29,3%)	764 (27,2%)	234 (28,7%)	
46-60	58 (26,5%)	488 (28,4%)	1.417 (31,0%)	991 (35,3%)	316 (38,7%)	
61+	96 (43,8%)	535 (31,1%)	1.445 (31,6%)	933 (33,2%)	222 (27,2%)	
Nationaliteit						0,4
Andere	6 (2,7%)	61 (3,5%)	157 (3,4%)	119 (4,2%)	31 (3,8%)	
Belg	213 (97,3%)	1.659 (96,5%)	4.416 (96,6%)	2.691 (95,7%)	785 (96,2%)	
Woningtype*						< 0,001
Appartement/studio/ Andere	30 (13,7%)	299 (17,4%)	1.030 (22,5%)	750 (26,7%)	248 (30,4%)	
(Half)open bebouwing	158 (72,1%)	913 (53,1%)	1.999 (43,7%)	1.117 (39,8%)	336 (41,2%)	
Rijwoning	31 (14,2%)	508 (29,5%)	1.544 (33,8%)	943 (33,6%)	232 (28,4%)	
Tewerkstelling*						< 0,001
Kwetsbaar werkloos	16 (7,3%)	131 (7,6%)	410 (9,0%)	340 (12,1%)	155 (19,0%)	
Niet-werkend/actief	78 (35,6%)	473 (27,5%)	1.193 (26,1%)	719 (25,6%)	173 (21,2%)	
Werkend	125 (57,1%)	1.116 (64,9%)	2.970 (65,0%)	1.751 (62,3%)	488 (59,8%)	
Netto gezinsinkomen*						< 0,001
≤ 2000	18 (8,2%)	108 (6,3%)	333 (7,3%)	244 (8,7%)	112 (13,7%)	
2001 - 4000	70 (32,0%)	467 (27,1%)	1.487 (32,5%)	991 (35,3%)	269 (33,0%)	
4001 - 6000	60 (27,4%)	627 (36,5%)	1.501 (32,8%)	789 (28,1%)	199 (24,4%)	
> 6000	33 (15,1%)	218 (12,7%)	491 (10,7%)	242 (8,6%)	61 (7,5%)	
Geen antwoord	38 (17,4%)	300 (17,4%)	761 (16,7%)	544 (19,4%)	175 (21,4%)	

Bevragingen

8.5.3 Verandering qua geluidshinder in de laatste twee jaar

In deze sectie bekijken we de antwoorden op de vraag “Als je denkt aan je situatie bij je thuis, dit wil zeggen in en om je woning, in welke mate is de hinder door omgevingsgeluid veranderd in de laatste twee jaar?”. Zoals te zien in Figuur 8-16, is bij meer dan de helft van de GGB-respondenten de hinder toegenomen. Bij ongeveer een derde is de hinder dezelfde gebleven.



Figuur 8-16 Verandering van de hinder door omgevingsgeluid in de laatste twee jaar

Wanneer we de drie steden onderling en met de volledige GGB-dataset vergelijken, zien we opnieuw kleine verschillen voor deze vraag, zie Tabel 8-7.

Tabel 8-7 Verandering van de hinder door omgevingsgeluid in de laatste twee jaar in de drie steden vergeleken met de GGB

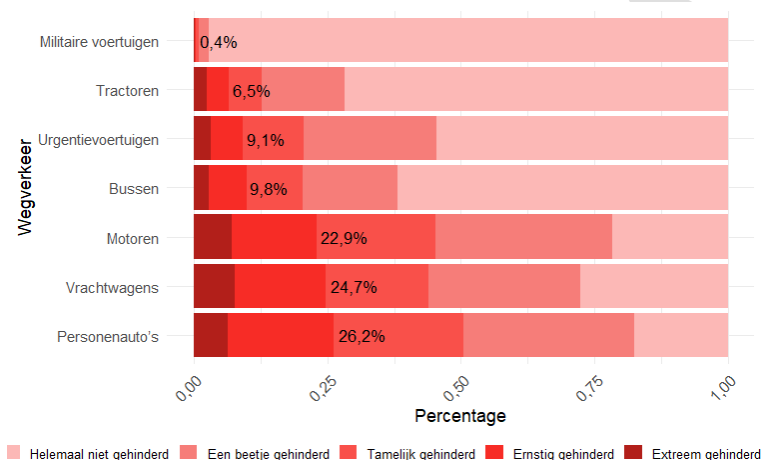
Verandering geluidshinder	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Sterk afgenomen	76 (0,7%)	12 (0,5%)	13 (0,8%)	10 (1,6%)
Enigszins afgenomen	443 (4,4%)	83 (3,8%)	79 (4,7%)	41 (6,4%)
Situatie is dezelfde gebleven	3.644 (35,9%)	764 (34,9%)	613 (36,6%)	207 (32,2%)
Enigszins toegenomen	3.115 (30,7%)	668 (30,5%)	492 (29,4%)	184 (28,7%)
Sterk toegenomen	2.309 (22,8%)	528 (24,1%)	341 (20,3%)	143 (22,3%)
Niet van toepassing	551 (5,4%)	134 (6,1%)	138 (8,2%)	57 (8,9%)
Enigszins + sterk toegenomen	5.442 (53,5%)	1.196 (54,6%)	833 (49,7%)	327 (50,9%)

Bevragingen

8.5.4 Geluidshinder door wegverkeer

In deze en de volgende secties kijken we naar de specifieke geluidshinder voor tal van geluidsbronnen binnen diverse categorieën. Per categorie zal steeds dezelfde data getoond worden, nl. eerst een grafische weergave van de geluidshinder per bron voor de GGB-dataset, inclusief het percentage “Sterk gehinderd”. In de tabel eronder worden de percentages “sterk gehinderd” tussen de GGB en de drie steden vergeleken. Indien het percentages in het vet aangeduid wordt, dan behoort deze geluidsbron tot de top 10 in die stad of de GGB-dataset.

In Figuur 8-17 wordt de specifieke geluidshinder door wegverkeer getoond. Personenauto's en vrachtwagens zijn de voertuigen die de meeste geluidshinder veroorzaken, kortbij gevolgd door de groep Brommers/scooters/motoren/quads, met percentages sterk gehinderd boven de 20% en zelfs 25%. In (BLV, 2024) liggen deze percentages rond de 10%.



Figuur 8-17 Geluidshinder door wegverkeer (volledige GGB-dataset)

Wanneer we inzoomen op de resultaten voor de drie steden, zie Tabel 8-8, dan zien we nog hogere percentages “sterk gehinderd” voor Antwerpen en Gent, vergeleken met de GGB, en percentages voor Leuven die ongeveer 5% lager liggen voor de geluidsbronnen die het meeste hinder veroorzaken. De hoogste percentages zijn telkens voor Antwerpen, behalve voor de bussen in Leuven. Urgentievoertuigen (sirenes) zijn aanzienlijk storender in Antwerpen en Gent, vergeleken met Leuven.

Tabel 8-8 Specifieke geluidshinder (% sterk gehinderd) door wegverkeer

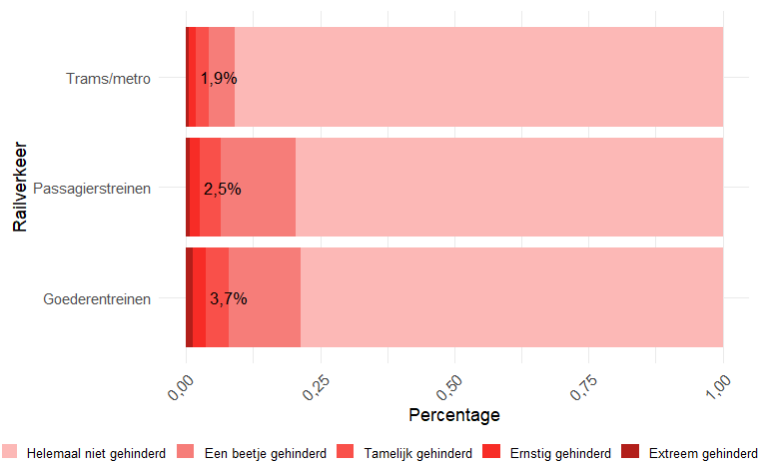
Wegverkeer	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Personenauto's	26,2% (2.659)	33,6% (736)	28,2% (473)	20,7% (133)
Vrachtwagens	24,7% (2.509)	25,5% (558)	25,2% (422)	19,3% (124)
Bussen	9,8% (995)	10,1% (222)	10,6% (178)	15,6% (100)
Brommers/ scooters/ motoren/ quads	22,9% (2.324)	28,5% (623)	27,3% (458)	19,9% (128)
Militaire voertuigen	0,4% (38)	0,2% (4)	0,0% (0)	0,2% (1)
Urgentievoertuigen	9,1% (922)	15,3% (334)	12,8% (214)	7,2% (46)
Tractoren op de openbare weg	6,5% (655)	1,9% (41)	2,1% (35)	3,3% (21)

Dezelfde vijf geluidsbronnen bevinden zich in de globale top 10, maar wel op andere plaatsen in de ranking per stad.

Bevragingen

8.5.5 Geluidshinder door railverkeer

Onder het railverkeer verstaan we zowel het trein- als tramverkeer. In de GGB-dataset geven de goederentreinen de hoogste overlast, gevolgd door passagierstreinen en trams/metro, zie Figuur 8-18. In (BLV, 2014) zien we dezelfde volgorde, maar met percentages rond de 0,8-1,2% voor het treinverkeer en 0,5% voor het tramverkeer.



Figuur 8-18 Geluidshinder door railverkeer (volledige GGB-dataset)

De percentages “sterk gehinderd” in Tabel 8-9 zijn relatief klein in vergelijking met het wegverkeer. Dit is logisch, gezien de plaatsgebonden overlast van railverkeer. Iemand die vlak bij een trein of tram woont, kan hiervan veel meer overlast ondervinden dan van het wegverkeer op eenzelfde afstand. Het is dus belangrijk om niet enkel naar de absolute percentages te kijken, wanneer men moet beslissen welke geluidsbronnen dienen aangepakt te worden.

Tabel 8-9 Specifieke geluidshinder (% sterk gehinderd) door railverkeer

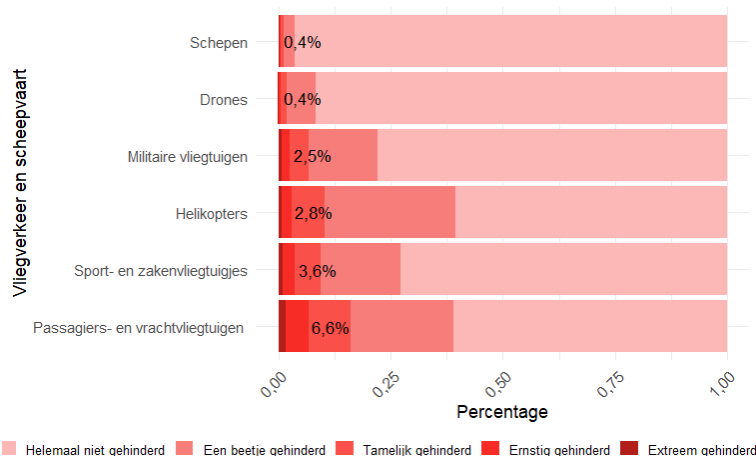
Railverkeer	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Passagierstreinen	2,5% (253)	2,3% (51)	3,6% (60)	2,6% (17)
Goederentreinen	3,7% (373)	4,0% (87)	6,1% (103)	4,7% (30)
Trams/metro	1,9% (191)	4,8% (105)	4,1% (69)	0,0% (0)

De overlast door treinverkeer is iets hoger in Gent dan in Antwerpen, en de afwezigheid van een tram in Leuven leidt logischerwijze tot een percentage sterk gehinderd gelijk aan 0,0%. Geen enkele van deze geluidsbronnen zit in de globale top 10.

Bevragingen

8.5.6 Geluidshinder door vliegverkeer en scheepvaart

Wanneer we inzoomen op de hinder door vliegverkeer en scheepvaart, zie Figuur 8-19, dan zien we dat in deze categorie passagiers- en vrachtvliegtuigen duidelijk voor de meeste hinder zorgen, met 6,6% ernstig en extreem gehinderden. In (BLV, 2024) ligt dit percentage op 3,0%.



Figuur 8-19 Geluidshinder door vliegverkeer en scheepvaart (volledige GGB-dataset)

In Tabel 8-10 kan je zien dat de overlast door vliegverkeer aanzienlijk hoger is in Antwerpen (luchthaven van Deurne), zowel door passagiers- en vrachtvliegen, als door sport- en zakenvliegtuigjes. In Leuven is er aanzienlijke hinder door passagiers- en vrachtvliegtuigen, aangezien bepaalde vluchtroutes vanuit Zaventem (*Leuven Rechtdoor*) passeren over het noorden van Leuven. De hinder door passagiers- en vrachtvliegtuigen haalt hierbij de respectievelijke top 10 in Antwerpen en Leuven.

Tabel 8-10 Specifieke geluidshinder (% sterk gehinderd) door vliegverkeer en scheepvaart

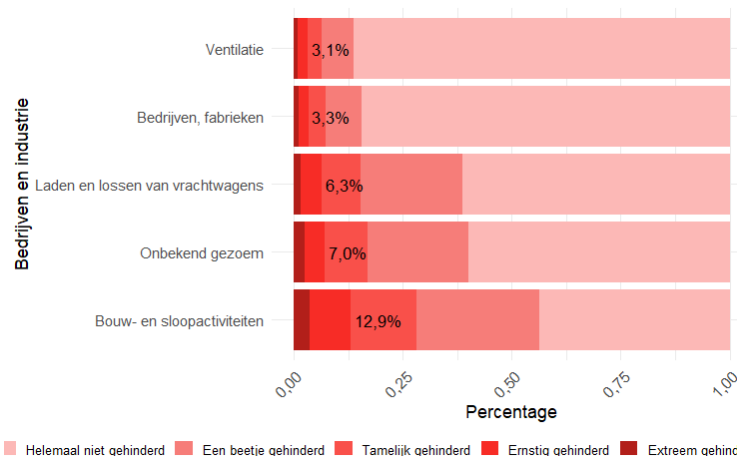
Vliegverkeer en scheepvaart	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Passagiers- en vrachtvliegtuigen	6,6% (671)	10,4% (228)	0,2% (4)	7,2% (46)
Sport- en zakenvliegtuigjes	3,6% (368)	8,8% (193)	0,1% (2)	0,3% (2)
Militaire vliegtuigen	2,5% (255)	1,5% (33)	0,6% (10)	0,3% (2)
Helikopters	2,8% (286)	4,0% (87)	2,6% (44)	1,4% (9)
Drones	0,4% (43)	0,5% (12)	0,4% (7)	0,0% (0)
(Plezier)vaartuigen en (zee)schepen	0,4% (42)	0,6% (13)	0,8% (13)	0,0% (0)

Hoewel de overlast momenteel nog beperkt is, kan het geluid van drones in de toekomst mogelijk storender worden, aangezien er momenteel nog maar een beperkt aantal dronevluchten zijn.

Bevragingen

8.5.7 Geluidshinder door bedrijven en industrie

In Figuur 8-20 worden enkel de top 5 van deze categorie getoond. Bouw- en sloopactiviteiten scoren hier duidelijk het hoogste, gevolgd door een “gebrom, gezoem waar ik de oorsprong niet van ken”.



Figuur 8-20 Geluidshinder door bedrijven en industrie (volledige GGB-dataset): top 5

Zoals te zien is in Tabel 8-11 behoort “Bouw- en sloopactiviteiten” overal tot top 10. In (BL, 2024) komt het % sterk gehinderd voor bouw- en sloopactiviteiten op 6,0%. Het laden en lossen van vrachtwagens valt in de GGB en twee van de drie steden maar net buiten de top 10. In Leuven staat het op de negende plaats. In (BLV, 2024) behaalt deze specifieke geluidsbron echter maar 1,5% ernstig tot extreem gehinderden. Tot slot, hoewel het onbekend gezoem in (BLV, 2024) maar 1,0% “sterk gehinderd” behaalt, staat dit zowel in de GGB als in Leuven in de top 10.

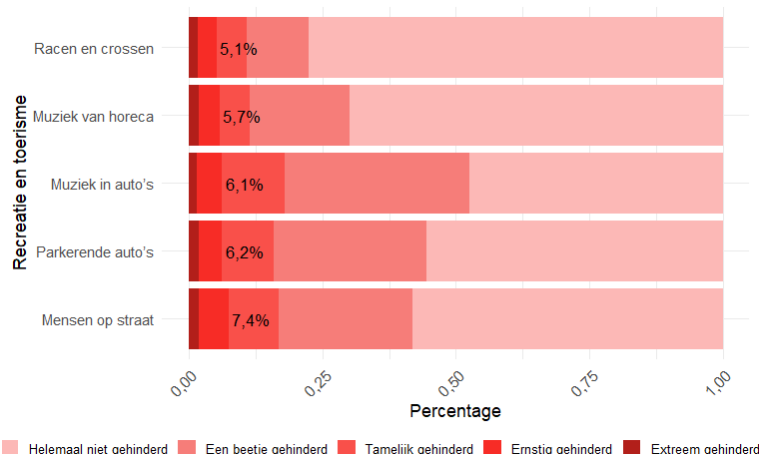
Tabel 8-11 Specifieke geluidshinder (% sterk gehinderd) door bedrijven en industrie

Bedrijven en industrie	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Bouw- en sloopactiviteiten	12,9% (1.311)	18,2% (398)	14,6% (245)	15,0% (96)
Mensen in winkelstraten	1,2% (125)	2,5% (54)	1,7% (29)	0,6% (4)
Laden en lossen van vrachtwagens	6,3% (640)	8,5% (185)	7,2% (120)	7,5% (48)
Handel (bakkerij, supermarkt, ...) bv. geluid van ventilatie, airconditioners, koeling, ...	3,1% (313)	4,6% (100)	3,7% (62)	3,0% (19)
Dierenzaken, dierenasielen,...	0,4% (39)	0,3% (6)	0,3% (5)	0,0% (0)
Ondernemingen (schrijnwerkerij, garage,...)	2,4% (247)	2,1% (46)	3,0% (51)	0,8% (5)
Windturbines	0,5% (49)	0,1% (2)	0,1% (2)	0,0% (0)
Activiteiten op rangeerterreinen en spoorwegterreinen	1,4% (142)	1,5% (33)	2,8% (47)	1,7% (11)
Bedrijven, fabrieken	3,3% (333)	2,8% (61)	2,5% (42)	2,5% (16)
Activiteiten op militaire oefenterreinen	0,3% (31)	0,1% (2)	0,1% (1)	0,2% (1)
Gebrom, gezoem waar ik de oorsprong niet van ken	7,0% (706)	8,7% (190)	7,3% (122)	7,9% (51)

Bevragingen

8.5.8 Geluidshinder door recreatie en toerisme

Onder recreatie en toerisme verstaan we de geluiden in de openbare ruimte afkomstig van ontspanningsactiviteiten zoals uitgaan, muziekfestivals, muziek in auto's, ... Zoomen we in op de top vijf zoals getoond in Figuur 8-21, dan zien we dat het geluid van mensen op straat voor de sterkste hinder zorgt met 7,4% sterk gehinderden.



Figuur 8-21 Geluidshinder door recreatie en toerisme (volledige GGB-dataset): top 5

In stedelijke context, waar het geluid van mensen op straat doorgaans prominenter aanwezig is, ligt dit percentage sterk gehinderden hoger: in de deelnemende steden (Tabel 8-12) loopt dit op tot 13,2% in Leuven, een stad met een grote studentenpopulatie. Muziek klinkend uit auto's hindert ook veel mensen, maar iets minder sterk, behalve in de steden Antwerpen (9,1%) en Gent (9,2%) waar het de top 10 haalt. Het geluid van racende en crossende auto's blijkt met name in Gent een uitdaging, waar 9,7% aangeeft hierdoor "sterk gehinderd" te zijn.

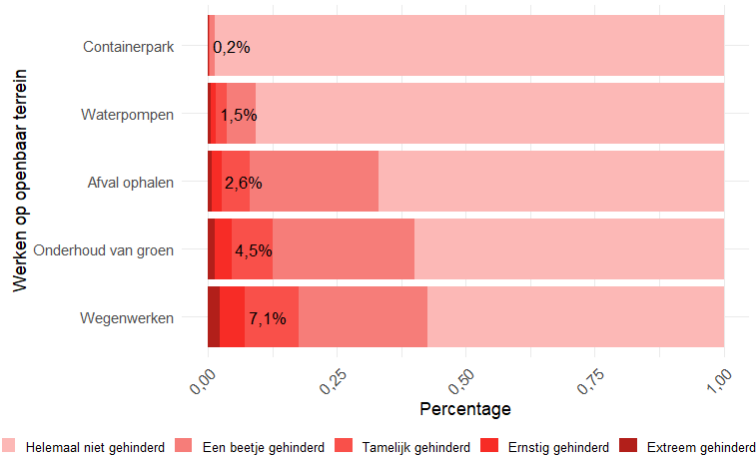
Tabel 8-12 Specifieke geluidshinder (% sterk gehinderd) door recreatie en toerisme

Recreatie en toerisme	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Muziek van horeca (dansgelegenheden, cafés, restaurants,...)	5,7% (579)	7,7% (169)	5,8% (98)	4,4% (28)
Mensen op straat, pleinen, op een terras, in een parkje,...	7,4% (752)	11,5% (252)	11,8% (197)	13,2% (85)
Muziek in auto's	6,1% (617)	9,1% (200)	9,2% (155)	3,6% (23)
Kermissen, pretparken, markten, braderijen en muziekfestivals	4,9% (500)	4,2% (91)	4,2% (71)	3,1% (20)
Sportvelden en -stadions	1,6% (166)	1,4% (30)	1,2% (20)	2,5% (16)
Racen en crossen	5,1% (520)	6,3% (137)	9,7% (163)	1,7% (11)
Parkerende auto's, deuren die dichtslaan	6,2% (626)	8,3% (182)	7,2% (120)	5,5% (35)
Speelplaatsen en speelterreinen	2,3% (236)	2,7% (60)	2,6% (44)	4,0% (26)
Recreatieve schietterreinen, schietbanen	0,3% (27)	0,2% (4)	0,1% (2)	0,0% (0)

Bevragingen

8.5.9 Geluidshinder door werken op openbaar terrein

De deelnemers aan de Grote Geluidsbevraging werd gevraagd om aan te geven in welke mate zij zich stoorden aan de geluiden die afkomstig zijn van werken op openbaar terrein, zoals meegegeven in Figuur 8-22. Wegenwerken zorgen daarbij voor de grootste hinder, met 7,1 % sterk gehinderden, gevolgd door de geluiden die gepaard gaan met het onderhoud van groen (4,5%).



Figuur 8-22 Geluidshinder door werken op openbaar domein (volledige GGB-dataset)

In Antwerpen leveren wegenwerken een opvallend hoger percentage sterk gehinderden op dan in de andere steden, zie Tabel 8-13: 10,1%, ten opzichte van 4,0% in Leuven en 8,1% in Gent. De huidige, wijdverspreide infrastructuurwerken aan de Antwerpse Ring spelen hier mogelijk een rol in.

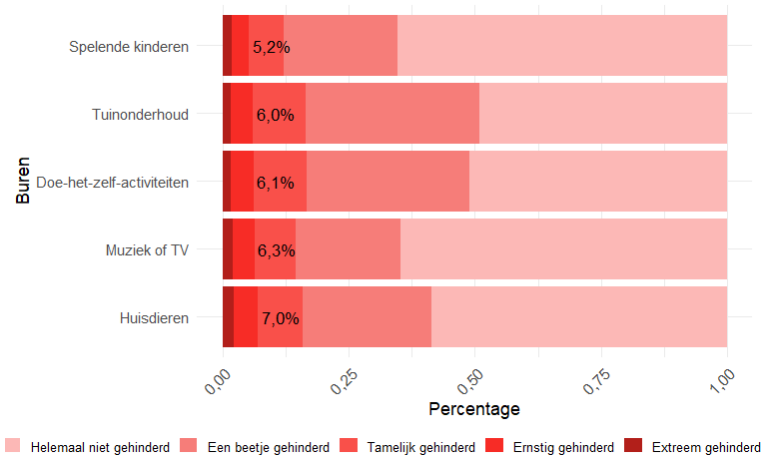
Tabel 8-13 Specifieke geluidshinder (% sterk gehinderd) door werken op openbaar terrein

Werken op openbaar terrein	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Onderhoud van groen	4,5% (461)	5,1% (112)	4,7% (79)	3,4% (22)
Afval ophalen, glas deponeren, legen van glascontainers	2,6% (266)	4,2% (92)	4,2% (71)	2,5% (16)
Containerpark	0,2% (18)	0,3% (7)	0,2% (3)	0,0% (0)
Wegenwerken	7,1% (719)	10,1% (220)	8,1% (135)	4,0% (26)
(Grond)waterpompen	1,5% (157)	1,1% (23)	1,9% (32)	1,4% (9)

Bevragingen

8.5.10 Geluidshinder door buren

De laatste categorie van geluidsbronnen die bevestigd werd in de Grote Geluidsbevraging is geluid afkomstig van buren. Binnen de top 5 (Figuur 8-23) geeft 7,0% van de deelnemers aan “sterk gehinderd” te zijn door de geluiden van huisdieren (denk hierbij aan het blaffen van honden). Muziek of TV-geluiden afkomstig van buren staat op een tweede plaats met 6,3% “sterk gehinderd”.



Figuur 8-23 Geluidshinder door buren (volledige GGB-dataset): top 5

Kijken we naar Tabel 8-14, dan zien we dat deze overlast door huisdieren minder van tel is in de drie stedelijke kernen, waar het percentage sterk gehinderden lager ligt met maximaal 5,6% in Leuven. In Gent ervaart een groter percentage van de deelnemers overlast door muziek of TV-geluiden afkomstig van buren: 6,3% in de GGB-dataset versus 8,2% in Gent. Dit cijfer omvat enkel de hinder door het geluid van buren: voor overlast door muziek van horecagelegenheden verwijzen we naar Tabel 8-12. Sterke overlast door tuinonderhoud werd meer gerapporteerd buiten de drie deelnemende steden (6,0% in de GGB-dataset versus 2,7% in Antwerpen, 3,5% in Gent en 3,9% in Leuven), wat natuurlijk weer logisch is.

Tabel 8-14 Specifieke geluidshinder (% sterk gehinderd) door buren

Buren	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Spelende kinderen	5,2% (527)	5,9% (129)	6,0% (101)	5,6% (36)
Ruziënde buren	4,4% (451)	6,0% (132)	4,8% (81)	3,9% (25)
Huisdieren	7,0% (706)	4,6% (100)	3,8% (64)	5,6% (36)
Doe-het-zelf-activiteiten	6,1% (623)	6,2% (135)	5,3% (88)	4,7% (30)
Tuinonderhoud (grasmachines,...)	6,0% (607)	2,7% (59)	3,5% (58)	3,9% (25)
Muziek of TV (uitgezonderd horeca)	6,3% (641)	5,3% (117)	8,2% (137)	6,5% (42)
Verwarmings- en airco- installaties	3,0% (301)	3,1% (68)	3,6% (60)	3,7% (24)

Bevragingen

8.5.11 Top 10 meest storende bronnen

Aan welke geluidsbron ergeren onze deelnemers zich het meest in en om hun woning? Op basis van de som van de percentages ernstig gehinderden tot en met extreem gehinderden (% “sterk gehinderd”) hebben we de top 10 opgesteld, zowel voor de gehele GGB dataset als voor de drie steden, zie Tabel 8-15. De gebruikte kleurcodes komen overeen met de kleuren gebruikt in § 3.6.2: lichtblauw = wegverkeer, donkerblauw = luchtverkeer, rood = constructiegeluiden (mechanische geluiden), geel = menselijke geluiden (stemmen en muziek) en oranje = prioritaire voertuigen (alarmen en sirenes).

Tabel 8-15 Specifieke geluidshinder (% sterk gehinderd): top 10

Ranking	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
1	Personenauto's 26,2% (2.659)	Personenauto's 33,6% (736)	Personenauto's 28,2% (473)	Personenauto's 20,7% (133)
2	Vrachtwagens 24,7% (2.509)	Brommers/ scooters/ motoren/ quads 28,5% (623)	Brommers/ scooters/ motoren/ quads 27,3% (458)	Brommers/ scooters/ motoren/ quads 19,9% (128)
3	Brommers/ scooters/ motoren/ quads 22,9% (2.324)	Vrachtwagens 25,5% (558)	Vrachtwagens 25,2% (422)	Vrachtwagens 19,3% (124)
4	Bouw- en sloopactiviteiten 12,9% (1311)	Bouw- en sloopactiviteiten 18,2% (398)	Bouw- en sloopactiviteiten 14,6% (245)	Bussen 15,6% (100)
5	Bussen 9,8% (995)	Urgentievoertuigen 15,3% (334)	Urgentievoertuigen 12,8% (214)	Bouw- en sloopactiviteiten 15,0% (96)
6	Urgentievoertuigen 9,1% (922)	Mensen op straat, pleinen, op een terras, in een parkje,... 11,5% (252)	Mensen op straat, pleinen, op een terras, in een parkje,... 11,8% (197)	Mensen op straat, pleinen, op een terras, in een parkje,... 13,2% (85)
7	Mensen op straat, pleinen, op een terras, in een parkje,... 7,4% (752)	Passagiers- en vrachtvliegtuigen 10,4% (228)	Bussen 10,6% (178)	Gebrom, gezoem waar ik de oorsprong niet van ken 7,9% (51)
8	Wegenwerken 7,1% (719)	Bussen 10,1% (222)	Racen en crossen 9,7% (163)	Laden en lossen van vrachtwagens 7,5% (48)
9	Gebrom, gezoem waar ik de oorsprong niet van ken 7,0% (706)	Wegenwerken 10,1% (220)	Muziek in auto's 9,2% (155)	Passagiers- en vrachtvliegtuigen 7,2% (46)
10	Huisdieren 7,0% (706)	Muziek in auto's 9,1% (200)	Muziek of TV (buren) 8,2% (137)	Urgentievoertuigen 7,2% (46)

Uit de top 10 geluidshinderbronnen blijkt dat verkeer overal de grootste bron van “ernstige” tot “extreme” hinder vormt. In de volledige GGB-dataset staat hinder door personenauto's bovenaan (26,2%), gevolgd door vrachtwagens (24,7%) en brommers, scooters en motoren (22,9%). In Antwerpen liggen de hinderpercentages voor verkeer nog hoger: personenauto's veroorzaken er bij 33,6% “sterke hinder” en brommers, scooters en motoren bij 28,5%, gevolgd door vrachtwagens (24,8%). Gent vertoont een gelijkaardig beeld, met 28,2% “sterke hinder” door personenauto's en 27,3% door brommers, scooters en motoren, terwijl vrachtwagens goed zijn voor 22,3% “sterke hinder”. Leuven heeft qua verkeer een iets milder hinderprofiel, maar ook daar wordt nog door 20,7% “sterke hinder” door personenauto's en 19,9% door brommers, scooters en motoren gerapporteerd. Bussen nemen in Leuven een vierde plaats in met 15,6%; in Gent (10,6%) en Antwerpen (10,1%) ligt de overlast door deze geluidsbron aanzienlijk lager.

Bevragingen

Urgentievoertuigen vormen eveneens een duidelijke bron van overlast: in de volledige GGB rapporteert 9,1% van de deelnemers “sterke hinder”. In Antwerpen en Gent liggen deze percentages hoger, met respectievelijk 15,3% en 12,8%, terwijl Leuven urgentievoertuigen wel in de top 10 opneemt, maar met een lager aandeel van 7,2%. Vliegverkeer (passagiers- en vrachtvliegtuigen) verschijnt niet in de algemene GGB-top 10, maar wel lokaal: in Antwerpen meldt 10,4% “sterke hinder” door vliegtuigen en in Leuven 7,2%, terwijl dit in Gent logischerwijze niet tot de top 10 behoort.

Daarnaast valt op dat in alle drie de steden relatief vaker hinder wordt ervaren van menselijke geluiden. In de totale GGB-dataset rapporteert 7,4% “sterke hinder” door mensen op straat, pleinen of terrassen. In de steden liggen die cijfers hoger: in Antwerpen bedraagt dit 11,5%, in Gent 11,8% en in Leuven zelfs 13,2%. In Antwerpen en Gent staat hinder door muziek in auto's (respectievelijk 9,1% en 9,2%) in de top 10. In Gent sluit overlast door muziek of tv van burens de top 10 af met 8,2%. Deze hogere stedelijke percentages tonen duidelijk aan dat menselijke en sociale geluiden een belangrijkere rol spelen in de beleving van geluidshinder in dichtbevolkte omgevingen dan in Vlaanderen als geheel.

Hoewel de top 5 hinderbronnen in alle steden sterk overeenkomt en door wegverkeer wordt gedomineerd, verschilt de rest van de top 10 merkbaar tussen de steden, wat wijst op verschillende lokale geluidsprofielen.

Bevragingen

8.6 Natuurgeluiden

“Welke van de volgende natuurgeluiden hoor jij in en rondom jouw woning?” Tabel 8-16 geeft weer welke natuurgeluiden door deelnemers werden gehoord. Omdat respondenten meerdere opties konden aanduiden, ligt de som van de getoonde percentages boven 100%.

Tabel 8-16 Gehoorde natuurgeluiden in en rondom woning

Natuurgeluiden	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Vogelgezang	8.926 (88,0%)	1.770 (80,9%)	1.366 (81,5%)	561 (87,4%)
Kippen of hanen	3.402 (33,6%)	290 (13,2%)	286 (17,1%)	179 (27,9%)
Tsjirpende krekels	2.631 (26,0%)	226 (10,3%)	325 (19,4%)	183 (28,5%)
Kikkers of padden	1.703 (16,8%)	90 (4,1%)	178 (10,6%)	141 (22,0%)
Ritselende bladeren of bomen in de wind	6.999 (69,0%)	1.191 (54,4%)	1.001 (59,7%)	436 (67,9%)
Bubbelende beek of stromend water	478 (4,7%)	42 (1,9%)	57 (3,4%)	44 (6,9%)
Geluiden van lokale dieren in het wild	1.448 (14,3%)	152 (6,9%)	152 (9,1%)	96 (15,0%)
Andere natuurlijke geluiden	936 (9,2%)	169 (7,7%)	123 (7,3%)	43 (6,7%)
Geen natuurlijke geluiden	29 (0,3%)	13 (0,6%)	12 (0,7%)	4 (0,6%)

De resultaten tonen dat natuurgeluiden opvallend vaak worden gehoord. Vooral “vogelgezang” is alomtegenwoordig: 88,0% van de deelnemers in de volledige GGB hoort dit, evenals 80,9% in Antwerpen, 81,5% in Gent en 87,4% in Leuven. Andere natuurlijke geluiden komen minder voor en tonen duidelijke verschillen: zo hoort 33,6% van alle deelnemers “kippen of hanen”, tegenover slechts 13,2% in Antwerpen, 17,1% in Gent en 27,9% in Leuven; “krekels” worden gemeld door 26,0% in de GGB, maar minder in Antwerpen (10,3%) en Gent (19,4%), en vaker in Leuven (28,5%). Geluiden van “kikkers of padden” vertonen een gelijkaardig patroon (16,8% GGB; 4,1% Antwerpen; 10,6% Gent; 22,0% Leuven). Deze stedelijke verschillen weerspiegelen de variatie in groenstructuur en woonomgeving, waarbij Leuven systematisch meer natuurgeluiden rapporteert dan de andere steden.

Uit de geluidswandelingen (zie Hoofdstuk 7) weten we dat natuurlijke geluiden kunnen bijdragen aan een positievere geluidsbeleving. Meer dan 4.600 deelnemers luisterden in de beginfase van De Oorzaak bewust naar hun omgeving en rapporteerden hun ervaring met de gehoorde geluiden. Daar bleken natuurgeluiden, en vooral vogelgezang, sterk bij te dragen aan een positievere geluidsbeleving. Deelnemers die natuurgeluiden hoorden, beoordeelden hun omgeving rustiger, aangener en minder vervelend, zelfs wanneer er tegelijkertijd verkeersgeluid aanwezig was.

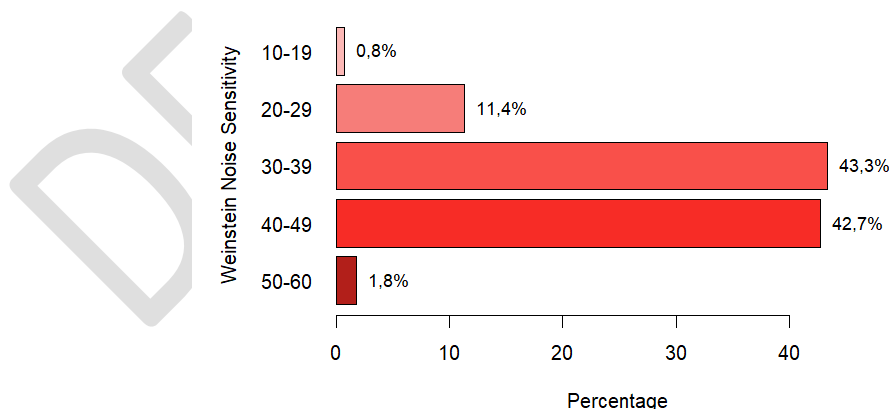
8.7 De gevoeligheid voor geluid van de GGB-deelnemers

Geluidsgevoeligheid verwijst naar de mate waarin we gevoelig reageren op alledaagse geluiden. Sommige mensen ervaren geluid sneller als storend of vermoeiend, terwijl anderen nauwelijks hinder ondervinden. In ernstigere gevallen spreken we van hyperacusis, waarbij dagelijkse geluiden, zoals een dichtslaande deur of passerend verkeer, als onaangenaam luid of zelfs pijnlijk kunnen worden ervaren.

Om de geluidsgevoeligheid bij de deelnemers van de Grote Geluidsbevraging in kaart te brengen, maakten we onder andere gebruik van de Weinstein Noise Sensitivity-vragenlijst (WNS)¹⁴. De originele vragenlijst bestaat uit 21 stellingen, maar wij hebben hiervan een verkorte versie van 10 stellingen gebruikt (WNS-10), waarmee een totaalscore wordt berekend tussen 10 en 60. Hogere scores wijzen op een grotere gevoeligheid voor geluid. Hoewel de WNS-10 vaak wordt gebruikt om verbanden tussen geluidsgevoeligheid, hyperacusis en geluidshinder te onderzoeken, bestaat er geen vastgelegde cut-offwaarde om geluidsgevoeligheid strikt te definiëren. Daarom worden de respondenten doorgaans in drie groepen met gelijke aantallen verdeeld: "relatief ongevoelig", "relatief neutraal" en "relatief gevoelig" voor geluid. Iemand die zich in de categorie "relatief gevoelig" bevindt, is gevoeliger voor geluid dan de andere deelnemers, maar heeft niet automatisch hyperacusis.

De WNS-10 werd niet bij alle deelnemers afgenomen. Voor het medisch deelonderzoek van het UZA was de hyperacusisvragenlijst relevanter, waardoor deze in de tweede oproepronde van de GGB de WNS-10 verving. Sensordeelnemers die de hyperacusisvragenlijst eerder niet invulden, ontvingen daarom de deze vragenlijst via de wekelijkse bevragingen tijdens hun meetperiode.

Figuur 8-24 toont hoe de 8.768 deelnemers aan de WNS-vragenlijst in de Grote Geluidsbevraging verdeeld zijn over vijf scorecategorieën van de WNS-schaal (10-60 punten). De grootste groep deelnemers scoort tussen 30-39 punten (43,3%). Dit duidt op een gemiddelde tot matige geluidsgevoeligheid. Daarnaast zien we toch ook een grote groep die nog hoger scoort!



Figuur 8-24 De gevoeligheid voor geluid van de GGB-deelnemers (n = 8.768)

¹⁴ Weinstein, N. D. (1978). Individual differences in reactions to noise: A study of noise sensitivity. *Journal of Applied Psychology*, 63(4), 458-466.

Bevragingen

De meerderheid van de respondenten bevindt zich in de middenzone van geluidsgevoeligheid. De grootste groep scoorde 30-39 punten, goed voor 43,3% van alle GGB-respondenten, met vergelijkbare verhoudingen in Antwerpen (45,0%), Gent (47,0%) en Leuven (46,0%), zie Tabel 8-17. Ook de scorecategorie 40-49 punten is sterk vertegenwoordigd en omvat 42,7% van de deelnemers (Antwerpen 40,0%, Gent 39,2%, Leuven 42,5%). Lagere gevoeligheidsklassen komen minder vaak voor: 11,4% van de deelnemers scoorde tussen 20-29 punten, terwijl slechts 0,8% in de categorie 10-19 punten valt. Aan de bovenkant van het spectrum behaalde 1,8% van de deelnemers een score tussen 50-60 punten, wat wijst op een uitgesproken gevoeligheid voor geluid. Deze verdeling maakt duidelijk dat zeer lage of zeer hoge geluidsgevoeligheid binnen de GGB-populatie relatief zeldzaam zijn.

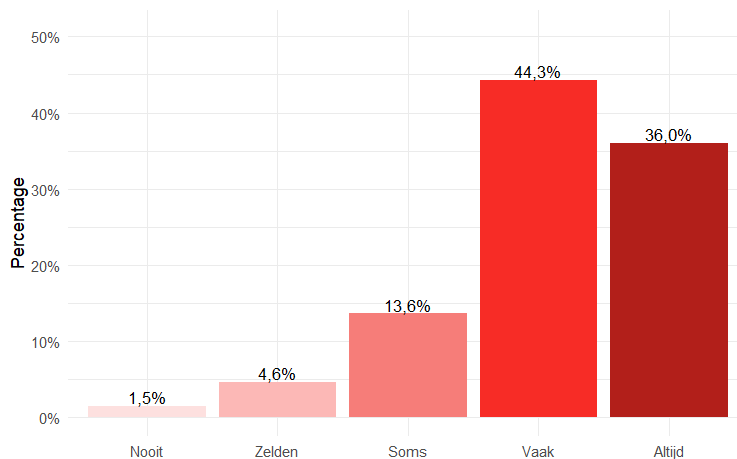
Tabel 8-17 WNS-scores (%) in de GGB en de drie deelnemende steden

WNS score	GGB N = 8.768	Antwerpen N = 1.708	Gent N = 1.320	Leuven N = 576
10-19	0,8% (69)	0,8% (13)	0,5% (7)	0,5% (3)
20-29	11,4% (996)	12,9% (220)	11,0% (145)	9,5% (55)
30-39	43,3% (3.799)	45,0% (769)	47,0% (620)	46,0% (265)
40-49	42,7% (3.748)	40,0% (684)	39,2% (518)	42,5% (245)
50-60	1,8% (156)	1,3% (22)	2,3% (30)	1,4% (8)

Bevragingen

8.8 Bewustzijn over de eigen geluidsproductie

We vroegen deelnemers om eens een hand in eigen boezem te steken en aan te geven in welke mate zij bewust rekening houden met het geluid dat ze zelf produceren.



Figuur 8-25 Bewustzijn rond eigen geproduceerd geluid door de GGB-deelnemers

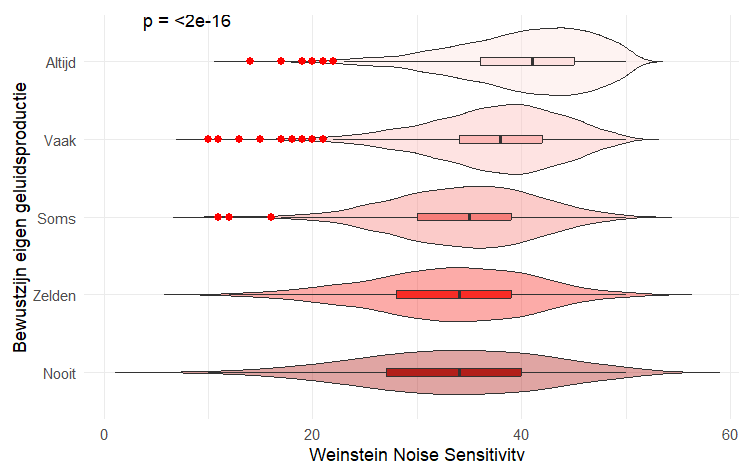
Zoals te zien is in Figuur 8-25, houdt het merendeel van de GGB-deelnemers opvallend veel rekening met hun omgeving: 44,3% doet dit vaak en 36,0% altijd. Slechts een kleine minderheid geeft aan dit soms (13,6%), zelden (4,6%) of nooit (1,5%) te doen. Daarmee houdt meer dan 80% van de deelnemers bewust rekening met hun eigen geluidsproductie. Voor de drie steden ligt dit percentage ook steeds rond de 80%: 80,1% in Antwerpen, 79,7% in Gent en 79,1% in Leuven (Tabel 8-18).

Tabel 8-18 Bewustzijn (%) over geluidsproductie in de GGB en drie deelnemende steden

Bewustzijn	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Nooit	150 (1,5%)	30 (1,4%)	22 (1,3%)	4 (0,6%)
Zelden	468 (4,6%)	98 (4,5%)	72 (4,3%)	28 (4,4%)
Soms	1.378 (13,6%)	308 (14,1%)	247 (14,7%)	102 (15,9%)
Vaak	4.494 (44,3%)	974 (44,5%)	787 (47,0%)	312 (48,6%)
Altijd	3.648 (36,0%)	779 (35,6%)	548 (32,7%)	196 (30,5%)
Vaak + Altijd	8.142 (80,3%)	1.753 (80,1%)	1.335 (79,7%)	508 (79,1%)

Daarnaast onderzochten we de relatie tussen bewustzijn rond de eigen geluidsproductie en geluidsgevoeligheid (WNS-10). Uit Figuur 8-26 blijkt dat deelnemers met een hogere WNS-score (gevoeliger voor geluid) vaker aangeven bewust om te gaan met het geluid dat ze zelf veroorzaken. De verdeling van de scores verschilt significant tussen de antwoordcategorieën ($p < 0,001$): hoe hoger de geluidsgevoeligheid, hoe groter de kans dat iemand “vaak” of “altijd” rekening houdt met eigen geluid.

Bevragingen



Figuur 8-26 De verdeling van de WNS-scores per categorie van bewustzijn over de eigen geluidsproductie

Kijken we naar de link tussen het bewustzijn over de eigen geluidsproductie en de ervaren geluidshinder, zie Tabel 8-19, dan zien we dat 87,0% van de sterk gehinderden ($n = 3.626$) aangeeft vaak of altijd rekening te houden met hun geluidsproductie, tegenover 76,6% van de deelnemers die “niet tot en met tamelijk gehinderd” zijn ($n = 6.512$). Dit significant verschil ($p < 0,001$; Pearson’s Chi-squared test) wijst erop dat sterk gehinderde personen zich niet alleen bewuster zijn van omgevingslawaai, maar ook van hun eigen rol in het geluidslandschap.

Tabel 8-19 Bewustzijn over geluidsproductie vs. algemene geluidshinder

Bewustzijn / Geluidshinder	Nooit	Zelden	Soms	Vaak	Altijd	Totaal
Niet-tamelijk gehinderd	117 (1,8%)	359 (5,5%)	1.047 (16,1%)	3.003 (46,1%)	1.986 (30,5%)	6.512 (100%)
Ernstig-extreem gehinderd	33 (0,9%)	109 (3,0%)	331 (9,1%)	1.491 (41,1%)	1.662 (45,8%)	3.626 (100%)
Totaal	150 (1,5%)	468 (4,6%)	1.378 (13,6%)	4.494 (44,3%)	3.648 (35,9%)	10.138 (100%)

Bevragingen

8.9 De slaapkwaliteit van de deelnemers

Een goede nachtrust is essentieel voor zowel lichamelijk als mentaal welzijn. De gegevens uit de Grote Geluidsbevraging (GGB) tonen dat de meeste deelnemers slapen binnen of dicht bij de aanbevolen slaapduur (Tabel 8-20). De grootste groep (67,3%) slaapt 6 tot 8 uur per nacht, gevolgd door 17,2% die 8 tot 10 uur slaapt en 13,9% met 4 tot 6 uur nachtrust. Slechts een zeer kleine minderheid rapporteert extreme waarden, zoals meer dan 12 uur of minder dan 2 uur per nacht (vermoedelijk omdat ze overdag slapen).

Dit patroon is gelijkaardig in Antwerpen, Gent en Leuven, waar telkens tussen de 67-69% van de deelnemers in het interval van 6 tot 8 uur valt. Gent kent iets meer lange slapers (18,9% in de categorie 8-10 uur), terwijl Antwerpen iets meer korte slapers heeft (13,1% in de categorie 4-6 uur). Leuven volgt een vergelijkbaar profiel, met kleine variaties die passen binnen de algemene trend.

Tabel 8-20 Aantal uren slaap per nacht

Slaapgewoonten	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Niet	10 (0,1%)	2 (0,1%)	0 (0,0%)	1 (0,2%)
0-2 uur	10 (0,1%)	2 (0,1%)	1 (0,1%)	0 (0,0%)
2-4 uur	81 (0,8%)	23 (1,1%)	8 (0,5%)	5 (0,8%)
4-6 uur	1.412 (13,9%)	286 (13,1%)	213 (12,7%)	96 (15,0%)
6-8 uur	6.820 (67,3%)	1.510 (69,0%)	1.127 (67,2%)	435 (67,8%)
8-10 uur	1.744 (17,2%)	354 (16,2%)	316 (18,9%)	98 (15,3%)
10-12 uur	55 (0,5%)	12 (0,5%)	10 (0,6%)	6 (0,9%)
>12 uur	6 (0,1%)	0 (0,0%)	1 (0,1%)	1 (0,2%)

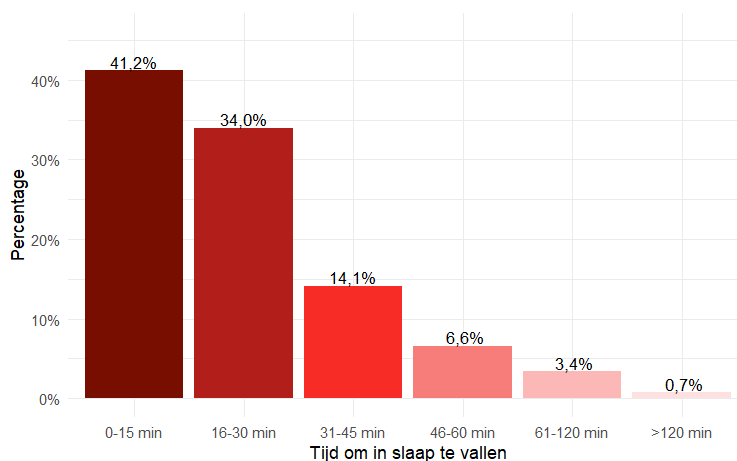
Zoals te verwachten, slaapt slechts een minderheid overdag (Tabel 8-21). In totaal geeft 73,3% aan nooit overdag te slapen. Dit aandeel ligt in alle steden in dezelfde grootteorde (73,5-76,1%). Ongeveer 20-22% slaapt 0 tot 2 uur overdag, terwijl langere dutten uitzonderlijk zijn in alle drie de steden.

Tabel 8-21 Aantal uren slaap per dag

Slaapgewoonten	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Niet	7.429 (73,3%)	1.608 (73,5%)	1.276 (76,1%)	487 (75,9%)
0-2 uur	2.283 (22,5%)	481 (22,0%)	350 (20,9%)	134 (20,9%)
2-4 uur	88 (0,9%)	30 (1,4%)	7 (0,4%)	3 (0,5%)
4-6 uur	56 (0,6%)	12 (0,5%)	4 (0,2%)	2 (0,3%)
6-8 uur	211 (2,1%)	42 (1,9%)	30 (1,8%)	12 (1,9%)
8-10 uur	65 (0,6%)	16 (0,7%)	7 (0,4%)	3 (0,5%)
10-12 uur	5 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (0,1%)	1 (0,2%)
>12 uur	1 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)

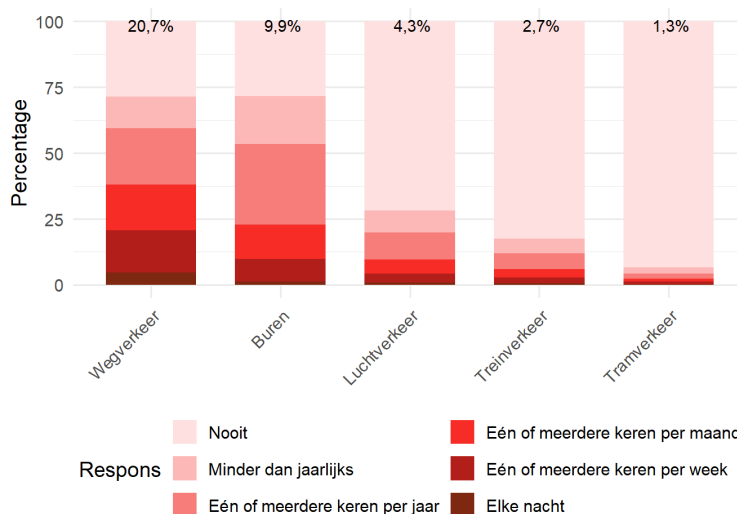
Bevragingen

Zoals te zien is in Figuur 8-27, geeft net iets meer dan 75% van de respondenten aan maximaal 30 minuten nodig te hebben om in slaap te vallen: 41,2% valt meestal binnen de eerste 15 minuten in slaap en 34,0% tussen 16 en 30 minuten. Aan de andere kant van het spectrum heeft 4,1% meer dan een uur nodig om in slaap te vallen (3,4% tussen 61 en 120 minuten en 0,7% meer dan twee uur). Dit zijn zelfgerapporteerde inschattingen door de burgerwetenschappers en geen objectieve metingen, zoals die werden uitgevoerd in het slaaponderzoek van het UZA, zie Hoofdstuk 11.



Figuur 8-27 Verdeling van de inslaaptijd onder GGB-deelnemers

We polstten bij de deelnemers in hoeverre zij 's nachts wakker worden door verschillende geluidsbronnen (Figuur 8-28). Het getoonde percentage is de som van “elke nacht” en “één of meerdere keren per week”.



Figuur 8-28 Frequentie waarmee deelnemers wakker worden door verschillende geluidsbronnen

Wegverkeer is veruit de belangrijkste bron van nachtelijke verstoring: 20,7% van de deelnemers wordt hier “één of meerdere keren per week” of zelfs “elke nacht” door wakker. Burengeluid volgt met 9,9%, terwijl Luchtverkeer (4,3%), Treinverkeer (2,7%) en Tramverkeer (1,3%) minder vaak tot wakker worden leiden.

Bevragingen

Tabel 8-22 Wakker worden door specifieke geluidsbronnen: som van % elke nacht en % één of meerdere keren per week

Geluidsbron	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
Wegverkeer	2.101 (20,7%)	500 (22,8%)	351 (20,9%)	113 (17,6%)
Treinverkeer	269 (2,7%)	44 (2,0%)	63 (3,8%)	18 (2,8%)
Tramverkeer	128 (1,3%)	69 (3,2%)	45 (2,7%)	0 (0,0%)
Luchtverkeer	437 (4,3%)	103 (4,7%)	10 (0,6%)	27 (4,2%)
Buren	1.005 (9,9%)	256 (11,7%)	189 (11,3%)	77 (12,0%)

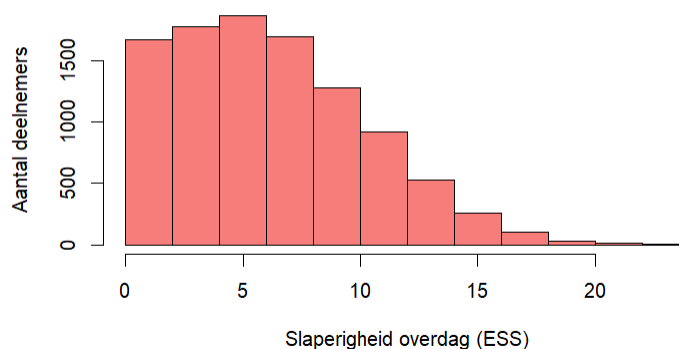
Ook in de steden speelt wegverkeer de grootste rol bij nachtelijk ontwaken, met de hoogste waarden in Antwerpen (22,8%) en Gent (20,9%), gevolgd door Leuven (17,6%), zie Tabel 8-22. Burengeluid veroorzaakt in de steden iets vaker verstoring dan in de totale GGB-populatie, met percentages rond 11-12%. De impact van luchtverkeer verschilt, zoals te verwachten is, sterk per stad: het aandeel ligt hoger in Antwerpen (4,7%) en Leuven (4,2%) dan in Gent (0,6%).

8.10 Slaperigheid overdag

Het is perfect normaal als je wat minder of meer nodig hebt dan 7 tot 9 uur slaap. Het belangrijkste is hoe je je overdag voelt: als je uitgerust, alert en fit bent, dan krijg je waarschijnlijk genoeg slaap – ongeacht het precieze aantal uren. Dit hebben we gemeten met twee gevalideerde vragenlijsten.

De Epworth Sleepiness Score (ESS¹⁵) meet aan de hand van een aantal vragen hoe waarschijnlijk het is dat iemand in alledaagse situaties in slaap zou vallen. De totaalscore wordt ingedeeld in vijf niveaus, van "laag normale" (score 0-5) tot "ernstige overmatige slaperigheid" (score 16-24).

Uit de resultaten blijkt dat de meerderheid van de deelnemers normaal scoort op de ESS. In de totale GGB-populatie valt 81,6% binnen het normale bereik (0-10 punten), waarvan 43,2% in de categorie "laag normaal" en 38,3% in "hoger normaal" (Figuur 8-29).



Figuur 8-29 Slaperigheid-scores (ESS: 0-24) van de volledige GGB-populatie

De overgrote meerderheid van de deelnemers aan de GGB rapporteert dus een normale slaperigheid overdag. De totaalscore geeft een indruk van de mate van overmatige slaperigheid overdag. Een hogere score (11 of hoger) kan betekenen dat iemand niet goed of lang genoeg slaapt. Is dat wel het geval, dan kan het een indicatie zijn dat de slaap niet herstellend genoeg is.

Tabel 8-23 Slaperigheid overdag (ESS) in de GGB-dataset en de drie steden

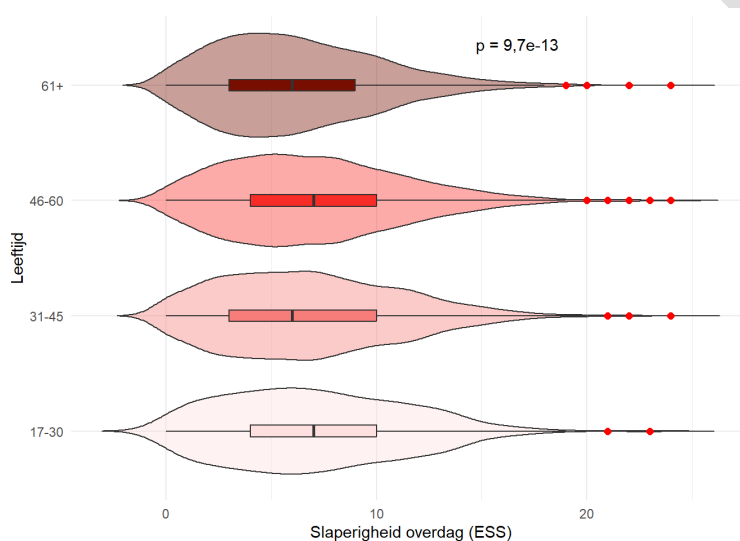
Slaperigheid overdag	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
0-5: Laag normaal	4.381 (43,2%)	943 (43,1%)	745 (44,5%)	299 (46,6%)
6-10: Hoger normaal	3.887 (38,3%)	861 (39,3%)	644 (38,4%)	215 (33,5%)
11-12: Mild overmatig	918 (9,1%)	172 (7,9%)	137 (8,2%)	67 (10,4%)
13-15: Matig overmatig	685 (6,8%)	161 (7,4%)	113 (6,7%)	43 (6,7%)
16-24: Ernstig overmatig	267 (2,6%)	52 (2,4%)	37 (2,2%)	18 (2,8%)
Normale slaperigheid	8.268 (81,6%)	1.804 (82,4%)	1.389 (82,9%)	514 (80,1%)

¹⁵ Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep*, 14, 540–545.

Bevragingen

De verdeling is in de steden vergelijkbaar, zie Tabel 8-23: in Antwerpen ervaart 82,4% “normale slaperigheid”, in Gent 82,9% en in Leuven 80,1%. “Mild” tot “ernstig verhoogde” slaperigheid komt minder vaak voor: in de volledige GGB rapporteert 9,1% “milde” (11-12), 6,8% “matige” (13-15) en 2,6% “ernstige overmatige slaperigheid” (16-24). In de steden liggen deze percentages in dezelfde grootteorde.

Uit Figuur 8-30 blijkt dat de ESS-scores licht variëren met de leeftijd, een statistisch significant, maar inhoudelijk klein effect. De leeftijdscategorie 46-60 heeft hierbij een iets hogere slaperigheid overdag dan de andere groepen. Er werden verder geen relevante verbanden gevonden met andere sociodemografische kenmerken.

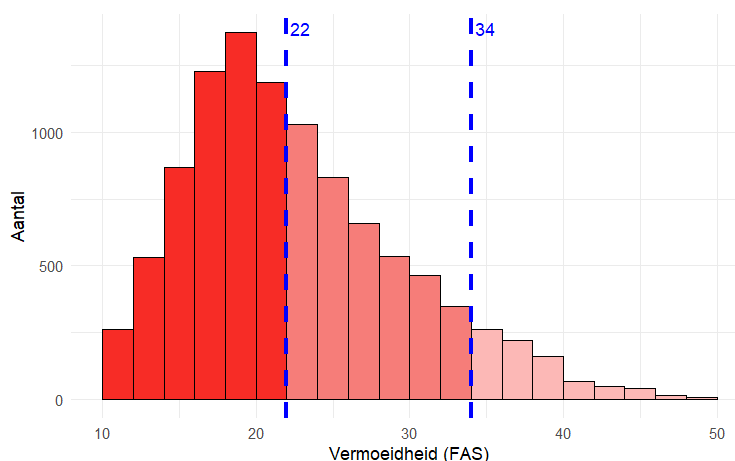


Figuur 8-30 Verdeling van slaperigheid overdag (ESS) per leeftijdsgroep

Bevragingen

8.11 Vermoeidheid

Naast slaperigheid overdag maten we ook vermoeidheid met de Fatigue Assessment Scale (FAS¹⁶), een gevalideerde vragenlijst die aangeeft in welke mate iemand zich lichamelijk en mentaal moe voelt. De totaalscore wordt ingedeeld in drie categorieën: "niet vermoeid" (10-22), "vermoeid" (22-34) en "extreem vermoeid" (35-50), zie Figuur 8-31. Uit de resultaten blijkt dat iets meer dan de helft van de GGB-deelnemers "vermoeid" tot "extreem vermoeid" is.



Figuur 8-31 Vermoeidheid-scores (FAS: 10-50) van de volledige GGB-populatie

In de totale populatie scoort 48,1% "niet vermoeid", terwijl 43,8% als "vermoeid" wordt geclassificeerd en 8,1% als "extreem vermoeid". Dit betekent dat 51,9% van de deelnemers een vorm van verhoogde vermoeidheid ervaart. Deze verdeling is opvallend consistent tussen de steden: Antwerpen 52,3% "vermoeid" of "extreem vermoeid", in Gent 52,5%, in Leuven 54,7% (zie Tabel 8-24).

Tabel 8-24 Vermoeidheid (FAS) in de GGB-dataset en de drie steden

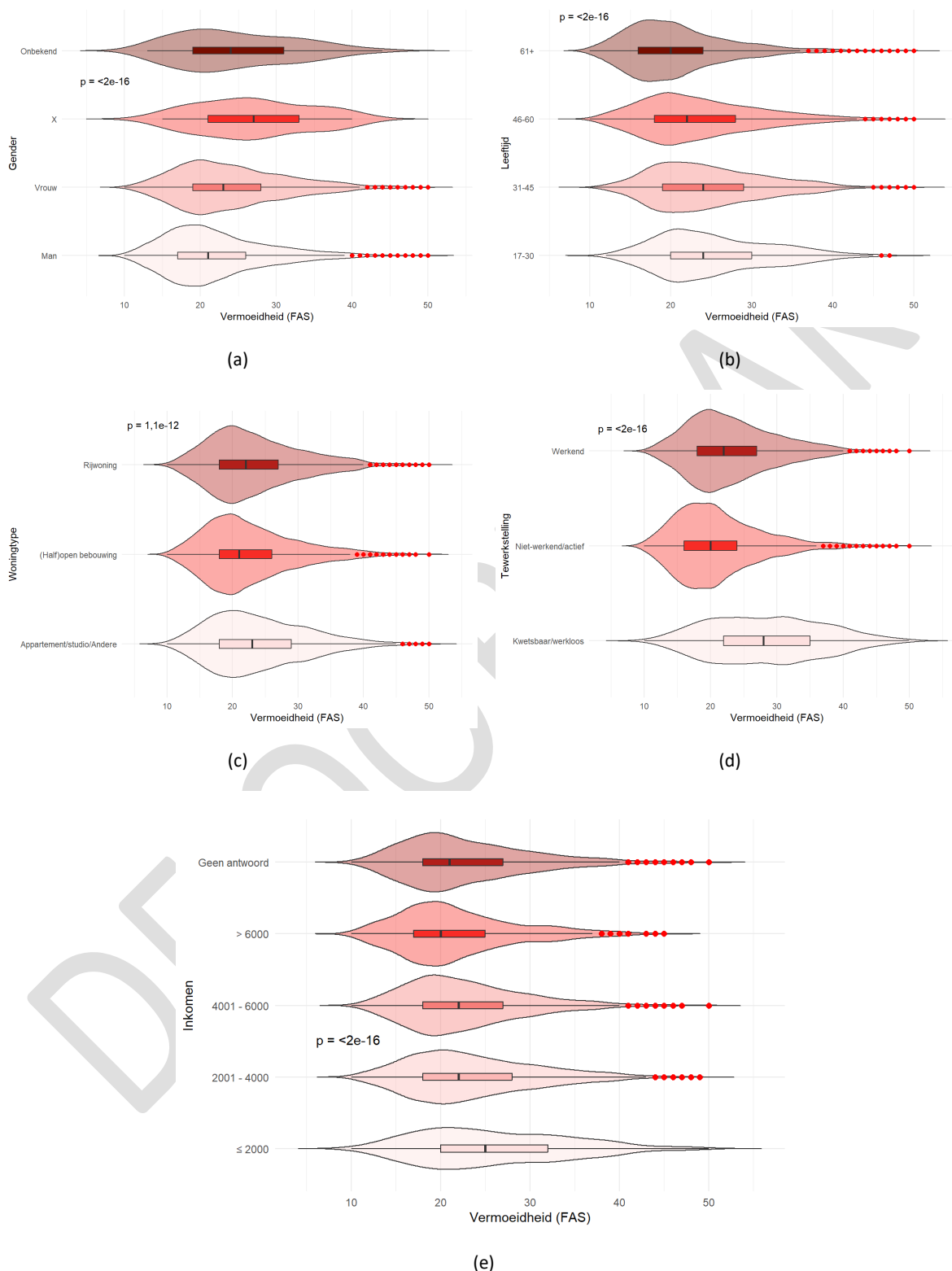
Vermoeidheid	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
10-22: niet vermoeid	4.873 (48,1%)	1.044 (47,7%)	796 (47,5%)	291 (45,3%)
22-34: vermoeid	4.436 (43,8%)	986 (45,0%)	748 (44,6%)	293 (45,6%)
35-50: extreem vermoeid	829 (8,1%)	159 (7,3%)	132 (7,9%)	58 (9,0%)
Vermoeid + extreem vermoeid	5.265 (51,9%)	1.145 (52,3%)	880 (52,5%)	351 (54,7%)

Figuur 8-32 toont bovendien aan dat bepaalde sociodemografische groepen statistisch significant vaker vermoeidheid ervaren. Figuur 8-32 (a) laat zien dat vrouwen gemiddeld hogere vermoeidheidsscores rapporteren dan mannen. Uit Figuur 8-32 (b) blijkt dat vooral jongere en middenleeftijdsgroepen (17-30 en 31-45 jaar) meer vermoeidheid ervaren dan oudere deelnemers. Ook woningtype speelt een rol: bewoners van rijwoningen of (half)open bebouwing rapporteren lagere vermoeidheidsscores dan bewoners van appartementen of studio's, zie Figuur 8-32 (c).

¹⁶ Michielsen, H. J., De Vries, J., & Van Heck, G. L. (2003). Psychometric qualities of a brief self-rated fatigue measure: the Fatigue Assessment Scale. *Journal of Psychosomatic Research*, 54, 345–352.

Bevragingen

Vermoeidheid is tot slot hoger bij de categorie kwetsbaar ziek of werkloos, zie Figuur 8-32 (d), en bij de laagste inkomensgroep, zie Figuur 8-32 (e).

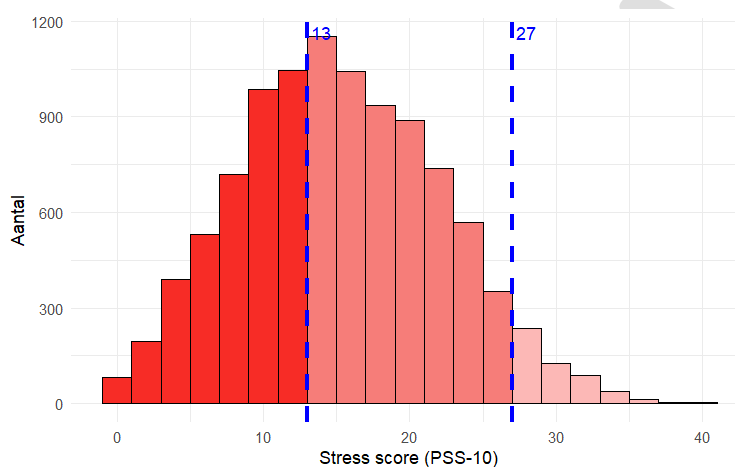


Figuur 8-32 Vermoeidheid (FAS) in relatie tot de sociodemografische kenmerken:
(a) Gender; (b) Leefstijd; (c) Woningtype; (d) Tewerkstelling en (e) Inkomen

Bevragingen

8.12 Het stressniveau van de deelnemers

"In hoeverre had je de afgelopen maand het gevoel dat je de dingen onder controle had?" In de GGB brachten we met de Perceived Stress Scale (PSS-10¹⁷) in kaart in welke mate deelnemers tijdens de voorbije maand het gevoel hadden de dingen onder controle te hebben. Deze vragenlijst meet geen objectieve stress, maar de subjectieve beleving van spanning, en geeft zo een betrouwbaar beeld van hoe iemand stress ervaart. De scores worden onderverdeeld in "lage" (0-12), "matige" (13-26) en "hoge stress" (27-40). Een hogere score betekent dat iemand meer ervaren stress rapporteert. De PSS-10 is geen diagnose-instrument, maar geeft een goed algemeen beeld van hoe iemand stress ervaart. De PSS-10 is een interessante tool in onderzoek aangezien een bepaalde situatie (bijvoorbeeld omgevingsgeluid) voor de ene persoon resulteert in lage stress, waar dezelfde situatie een andere persoon in de hoogste categorie kan plaatsen.



Figuur 8-33 Stress-scores (PSS-10: 0-40) van de volledige GGB-populatie

Uit de resultaten blijkt dat 2/3^e van de deelnemers minimaal matig gestresseerd is. In de totale GGB-populatie rapporteert 33,3% "lage stress", 60,1% "matige stress" en 6,6% "hoge stress", een patroon dat in Antwerpen, Gent en Leuven vrijwel identiek terugkomt, zie Tabel 8-25.

Tabel 8-25 Stress (PSS-10) in de GGB-dataset en de drie steden

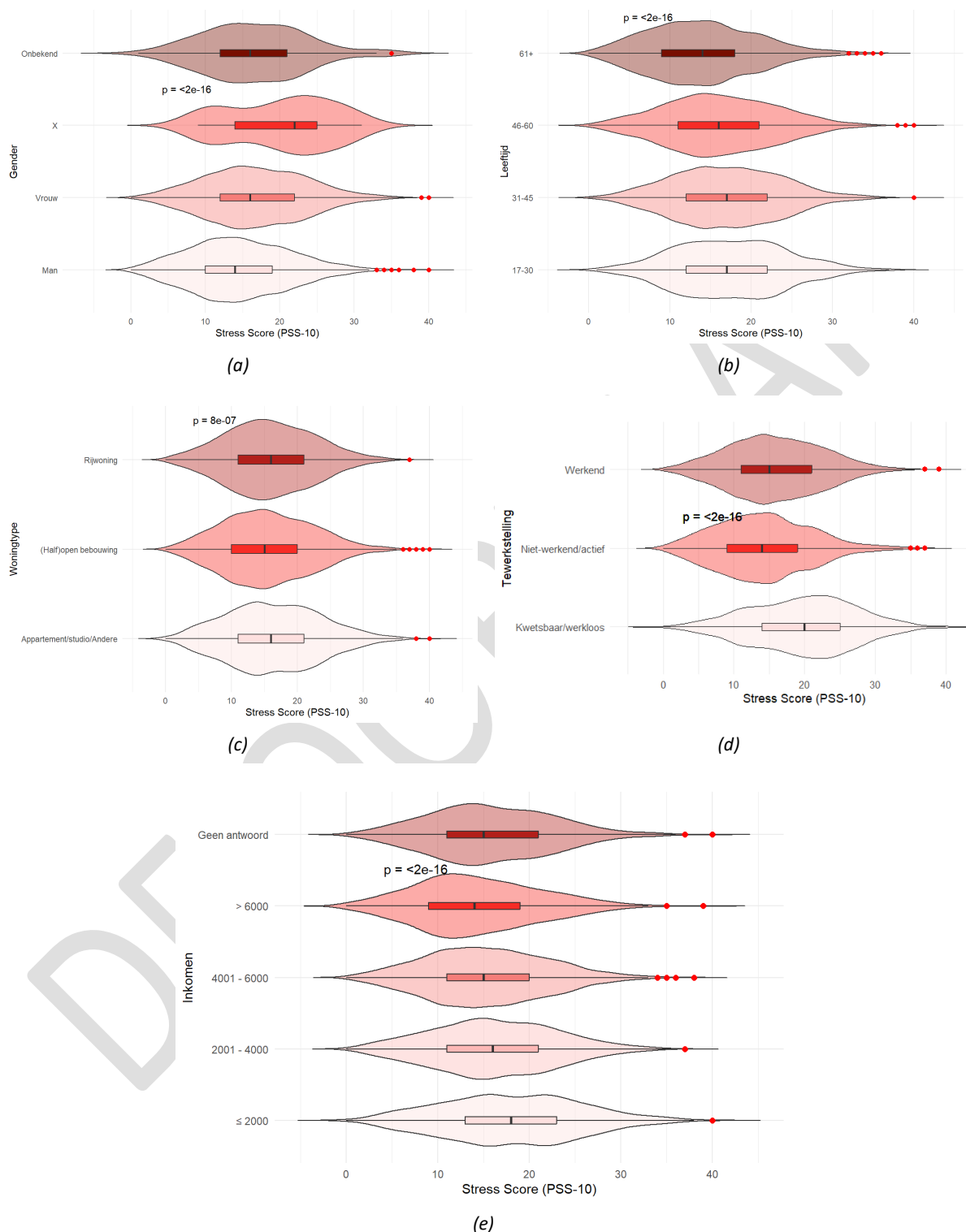
Stress	GGB N = 10.138	Antwerpen N = 2.189	Gent N = 1.676	Leuven N = 642
0-12: lage stress	3.380 (33,3%)	746 (34,1%)	543 (32,4%)	220 (34,3%)
13-26: matige stress	6.092 (60,1%)	1.327 (60,6%)	1.019 (60,8%)	387 (60,3%)
27-40: hoge stress	666 (6,6%)	116 (5,3%)	114 (6,8%)	35 (5,5%)
Matige + hoge stress	6.758 (66,7%)	1.443 (65,9%)	1.133 (67,6%)	422 (65,7%)

Wat is nu de impact van socio-demografische factoren op de stressniveaus? Figuur 8-34 toont aan dat stress statistisch significant samenhangt met enkele sociodemografische kenmerken, maar meestal met kleine verschillen. Vrouwen rapporteren gemiddeld iets hogere stress dan mannen, zie Figuur 8-34 (a), en ook jongere leeftijdsgroepen (17-30 en 31-45 jaar) scoren hoger dan oudere deelnemers, zie Figuur 8-34 (b). De gemiddelde stressniveaus liggen iets lager bij de bewoners van een (half)open

¹⁷ Cohen, S., Kamarch, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, 24, 385.

Bevragingen

bebouwing, zie Figuur 8-34 (c). Hogere stress komt duidelijk vaker voor bij de groep kwetsbaar ziek / werkloos, zie Figuur 8-34 (d), en bij deelnemers met een lager inkomen, zie Figuur 8-34 (e). Enkel bij deze twee laatste sociodemografische kenmerken zijn de gemiddelde scores aanzienlijk hoger.



Figuur 8-34 Stressniveaus (PSS-10) in relatie tot sociodemografische kenmerken: (a) Gender; (b) Leefstijl; (c) Woningtype; (d) Tewerkstelling en (e) Inkomen

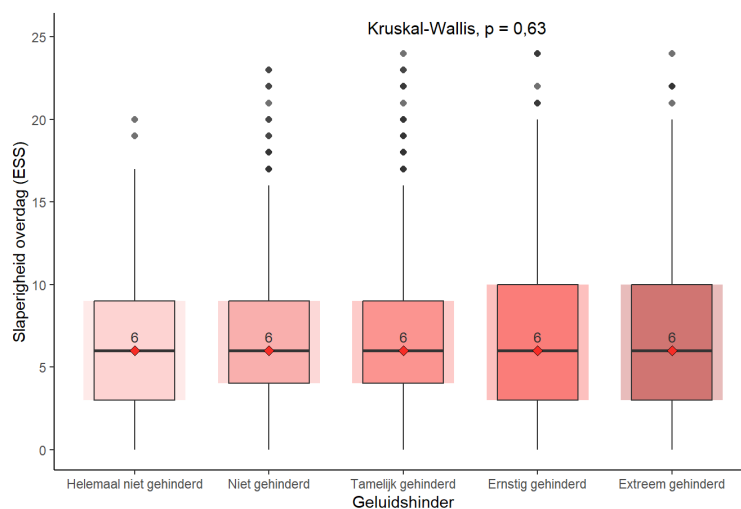
Bevragingen

8.13 Correlaties tussen gerapporteerde geluidshinder en gevalideerde vragenlijsten

Hier gaan we verder in op de eventuele correlaties tussen de zelfgerapporteerde geluidshinder enerzijds, en de hierboven besproken gevalideerde vragenlijsten, zoals slaperigheid overdag (ESS), vermoeidheid (FAS) en stress (PSS-10).

8.13.1 Correlatie tussen geluidshinder en slaperigheid overdag (ESS)

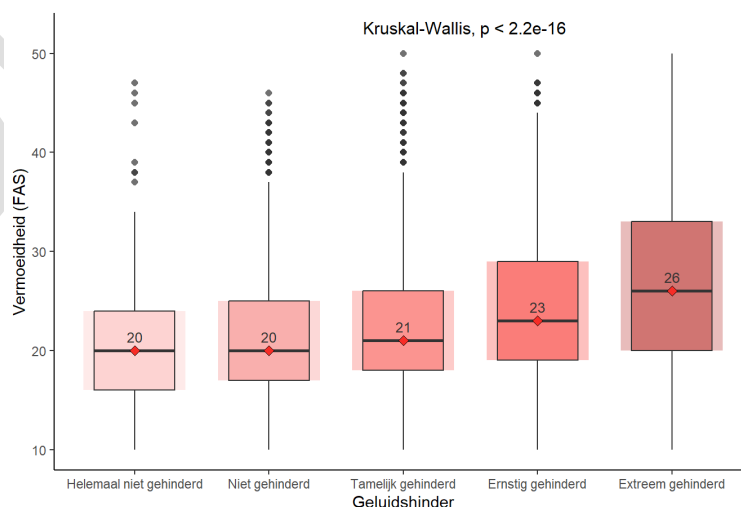
Zoals je kan zien in Figuur 8-35, is er geen enkele correlatie tussen de ervaren geluidshinder en slaperigheid overdag (ESS). Deze gevalideerde vragenlijst is dus mogelijk minder interessant om in de toekomst nog verder te gebruiken in combinatie met geluidshinder.



Figuur 8-35 Correlatie tussen zelfgerapporteerde geluidshinder en slaperigheid overdag (ESS)

8.13.2 Correlatie tussen geluidshinder en vermoeidheid (FAS)

Tussen de ervaren geluidshinder en de vermoeidheid (FAS) is er wel een statistisch significant verband (Kruskal-Wallis test: $p < 0,001$), zie Figuur 8-36.



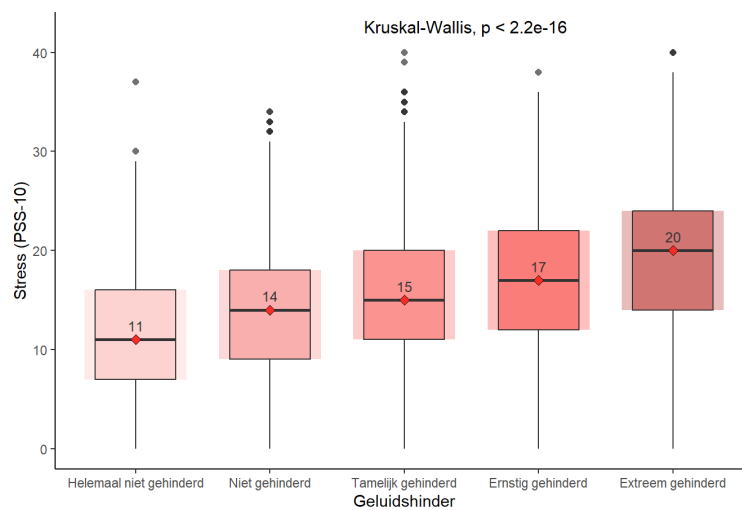
Figuur 8-36 Correlatie tussen zelfgerapporteerde geluidshinder en vermoeidheid (FAS)

Bevragingen

Dit verband is vooral duidelijk zichtbaar bij de hogere mate van geluidshinder (“Ernstig en Extreem gehinderd”), mede door de foutieve antwoordcategorie (“Niet gehinderd” had “Een beetje gehinderd” moeten zijn). Bij de interpretatie van dit resultaat is het wel belangrijk om te beseffen dat deze correlatie in twee richtingen kan werken: iemand die al door andere redenen vermoeid is, zal waarschijnlijk een lagere tolerantie hebben voor geluid en dus meer geluidshinder rapporteren. Het is dus niet enkel zo dat meer geluidshinder leidt tot een hogere vermoeidheid.

8.13.3 Correlatie tussen geluidshinder en stress (PSS-10)

Tussen de ervaren geluidshinder en stress (PSS-10) is er eveneens een statistisch significant verband (Kruskal-Wallis test: $p < 0,001$), zie Figuur 8-37.



Figuur 8-37 Correlatie tussen zelfgerapporteerde geluidshinder en stress (PSS-10)

Hier is het effect nog sterker zichtbaar dan bij de vermoeidheid. Enkel tussen de categorieën “Niet gehinderd” en “Tamelijk gehinderd” is het verschil beperkt, mede door de foutieve antwoordcategorie (“Niet gehinderd” had “Een beetje gehinderd” moeten zijn). Ook hier geldt dezelfde opmerking dat deze correlatie in twee richtingen kan werken: iemand die al door andere redenen gestresseerd is, zal waarschijnlijk een lagere tolerantie hebben voor geluid en dus meer geluidshinder rapporteren. Het is dus niet enkel zo dat meer geluidshinder leidt tot hogere stressniveaus.

8.14 Conclusies

De Grote Geluidsbevraging (GGB) biedt een breed en gedetailleerd inzicht in hoe Vlamingen omgevingsgeluid ervaren en welke impact dit heeft op hun leefkwaliteit, slaap en stress. Met meer dan 10.000 volledig ingevulde vragenlijsten vormt de GGB één van de grootste datasets rond subjectieve geluidsbeleving in Vlaanderen. Zoals bij veel vrijwillige bevragingen is er echter sprake van een duidelijke zelfselectiebias. Iemand die veel hinder ervaart en/of gevoeliger is voor geluid zal eerder geneigd zijn om aan dit soort onderzoek deel te nemen, dan iemand die geen hinder ondervindt.

Wanneer we kijken naar de antwoorden op de vraag “Hoe tevreden ben jij in het algemeen over de leefkwaliteit in jouw buurt?”, dan scoort Leuven hier absoluut het hoogste met 68,5% van de respondenten die (heel) tevreden zijn. Gent haalt nog 55,8% en in Antwerpen ligt de score zelfs onder de helft (46,4%).

Deelnemers aan de GGB ervaren gemiddeld meer geluidshinder dan de algemene Vlaamse bevolking. Zo rapporteert 14,8% van de BLV-respondenten (Bevraging Leefomgeving Vlaanderen) ernstige of extreme geluidshinder t.o.v. 35,8% in de GGB¹⁸. Voor extreme geluidshinder ligt dit op 3,6% van de BLV-respondenten t.o.v. 8,1% in de GGB. De GGB-resultaten mogen daarom niet geïnterpreteerd worden als algemeen geldend voor Vlaanderen. Hoewel de GGB geen representatieve steekproef is, laat de omvang van de dataset toe om patronen te identificeren zoals welke bronnen het meest storend worden ervaren en hoe deze hinder doorwerkt in het dagelijks functioneren.

Van personenauto's en vrachtwagens tot bussen en brommers: de resultaten tonen consistent aan dat wegverkeer veruit de belangrijkste bron van geluidshinder is. Naast wegverkeer nemen prioritaire voertuigen (sirenes) en bouw- en sloopactiviteiten een prominente plaats in bij de gerapporteerde hinder. Ook menselijk geluid, zoals stemmen en activiteiten in de publieke ruimte, en muziek in auto's, behoren tot deze top 10. Andere bronnen, zoals spoor- en vliegverkeer, blijken vooral contextgebonden relevant: ze wegen voor specifieke groepen en locaties zwaar door, maar bepalen niet in elke stad het globale beeld. De bronnen die de top 10 domineren, worden gekenmerkt door een combinatie van frequente blootstelling, hoge geluidsniveaus en het feit dat de gehinderde er weinig invloed op kan uitoefenen. Dit kan de impact op de ervaren geluidsoverlast helpen verklaren.

De GGB laat bovendien duidelijke sociale en ruimtelijke ongelijkheden zien in geluidshinder. Bewoners van appartementen ervaren gemiddeld meer geluidshinder dan bewoners van een (half)open bebouwing, en ook lagere inkomensgroepen en mensen in kwetsbare arbeidsposities rapporteren meer overlast. De leeftijdsgroep van middelbare leeftijd blijkt het meest gehinderd, terwijl jongere deelnemers gemiddeld minder geluidshinder rapporteren (in de GGB zijn zij wel ondervetegenwoordigd t.o.v. BLV). Deze patronen wijzen erop dat geluidshinder geen neutraal fenomeen is, maar samenhangt met wooncontext, levensfase en sociaaleconomische positie, en mogelijk zelfs bestaande ongelijkheden kan versterken.

Een belangrijk en vaak onderbelicht resultaat betreft de gevolgen van geluidshinder op gedrag en welzijn. Een aanzienlijk deel van de deelnemers gaf aan het afgelopen jaar te hebben overwogen om te verhuizen omwille van geluid, klachten te hebben ingediend of aanpassingen aan de woning te

¹⁸ Jammer genoeg kunnen we het % gehinderd (tamelijk t.e.m. extreem gehinderd) niet vergelijken door een foutieve antwoordcategorie in de bevraging (“niet gehinderd” had “een beetje gehinderd” moeten zijn).

Bevragingen

hebben gedaan. Geluidshinder vertaalt zich dus niet alleen in ongemak, maar beïnvloedt ook concrete levenskeuzes. Als je het dan financieel niet breed hebt, dan zit je eigenlijk “gevangen” in die situatie.

Naast hinder brengt de GGB ook het positieve luik van onze geluidsomgeving in beeld. Natuurgeluiden, en in het bijzonder vogelgeluiden, worden door een groot deel van de deelnemers waargenomen en hangen samen met een hogere leefkwaliteit en een lagere ervaren geluidshinder. Deze resultaten bevestigen dat geluidsbeleving niet uitsluitend wordt bepaald door het ontbreken van lawaai, maar ook door de aanwezigheid van rustgevende geluiden. Natuurgeluiden fungeren als een buffer tegen geluidsstress. Dit toont aan dat geluidskwaliteit niet enkel kan worden benaderd via reductie van lawaai, maar ook via het versterken van positieve geluidslandschappen.

Een tweede positief element is het feit dat 80% van de respondenten vaak tot altijd bewust rekening houdt met het geluid dat ze zelf produceren! We zien dat dit gecorreleerd is met enerzijds de geluidsgevoeligheid en anderzijds de mate waarin ze zelf geluidshinder ondervinden.

Wanneer we inzoomen op de relatie tussen gezondheid en geluid, starten we met een jammerlijke vaststelling: meer dan de helft (51,9%) van de respondenten valt in de categorie (extreem) vermoeid en 66,7% van de respondenten ondervindt minstens matige stress. Dit zijn resultaten om even bij stil te staan en ons af te vragen wat we kunnen veranderen aan onze jachtige levensstijl.

De analyses van de vragen rond slaap, slaperigheid, vermoeidheid en stress tonen een vast patroon: hogere geluidshinder gaat samen met slechtere slaapkwaliteit, hogere vermoeidheidsscores en hogere stressniveaus. Er was geen effect op de gerapporteerde slaperigheid overdag. Hoewel oorzaak-verband conclusies niet direct te leggen zijn op basis van de data uit de vragenlijst, wijzen de resultaten op een nauwe link tussen geluidsblootstelling en welzijn, wat het belang van geluid als relevante omgevingsfactor onderstreept. We willen hierbij benadrukken dat de correlaties evenzeer in de andere richting werken: iemand die al vermoeid of gestresseerd is door andere factoren, zal makkelijker gehinderd zijn of geprikkeld worden door (omgevings)geluid.

Hoewel de Grote Geluidsbevraging Vlaamsbreed werd opgezet, worden Antwerpen, Gent en Leuven in dit rapport afzonderlijk belicht om de subjectieve resultaten te kunnen verbinden met de objectieve geluidsmetingen die in deze steden werden uitgevoerd.

In Antwerpen (% sterk gehinderd 42,6%) rapporteren deelnemers gemiddeld een hogere algemene geluidshinder dan in Gent (36,8%) en Leuven (36,9%). Dit vertaalt zich echter niet direct in een sterkere impact op welzijn: op basis van de gevalideerde vragenlijsten rond vermoeidheid en stress, zien we slechts beperkte verschillen tussen de drie steden.

Wanneer we inzoomen op de specifieke geluidshinder (aparte geluidsbronnen), dan zien we dat Antwerpen consistent de hoogste hinder (op basis van het % sterk gehinderd) rapporteert, behalve voor geluidsbronnen zoals bijvoorbeeld bussen en mensen op straat (hoogst in Leuven), treinverkeer, racen/crossen en muziek/TV bij de burens (hoogst in Gent). De top 10 van de geluidsbronnen die het meeste hinder veroorzaken, verschilt maar in beperkte mate tussen de drie steden. T.o.v. de GGB hebben in Antwerpen twee andere geluidsbronnen een plekje weten te veroveren in de top 10: passagiers- en vrachtvliegtuigen en muziek in auto's. In Gent zien we racen en crossen, muziek in auto's en muziek of TV (burens) onderaan de top 10 verschijnen. Hoewel de hinder door spoorverkeer hier significant hoger is, is het % sterk gehinderd niet hoog genoeg om in de lokale top 10 van Gent opgenomen te worden. Tot slot, in Leuven zien we laden en lossen van vrachtwagens en passagiers-

Bevragingen

en vrachtvliegtuigen (vliegroute *Leuven rechtdoor*) in de lokale top 10 verschijnen. Wat hier verder opvalt, is de veel hogere hinder door bussen (meer bussen, want geen trams) en de veel lagere hinder door prioritaire voertuigen t.o.v. Antwerpen en Gent, hoewel nog net wel op plaats 10.

Samengevat laat de Grote Geluidsbevraging zien dat omgevingsgeluid op verschillende manieren wordt beleefd en samenhangt met wooncontext, individuele gevoeligheid en welzijn. Binnen De Oorzaak biedt de GGB daarmee een belangrijke aanvulling op de metingen van de geluidssensoren. Samen zorgen de beleving van de betrokken burgers en de objectieve meetdata voor een breder kader dat kan helpen bij verder onderzoek en beleidsontwikkeling.

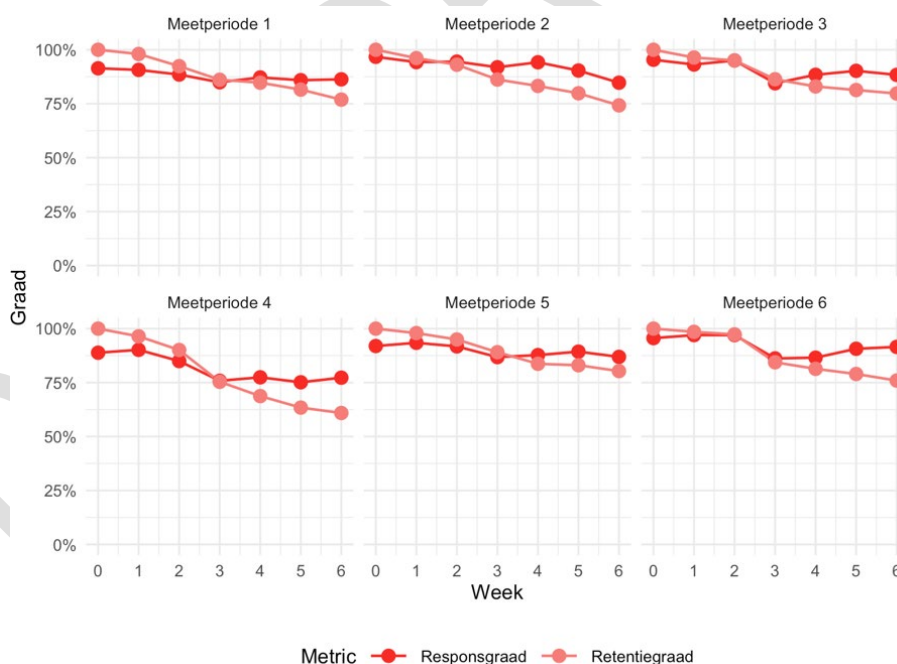
9 Wekelijkse bevragingen

9.1 Inleiding

Naast de breed verspreide Grote Geluidsbevraging werd binnen De Oorzaak gebruikgemaakt van wekelijkse vragenlijsten bij de sensordeelnemers. Deze online vragenlijsten, die wekelijks per mail aan de deelnemers werden bezorgd na de installatie (W0) en dan na afloop van elke week tijdens de meetperiode van zes weken (W1-W6), hadden als doel om geluidshinder, slaap en stress herhaald doorheen de tijd in kaart te brengen. Deze aanpak laat mogelijk toe om veranderingen op korte termijn te analyseren, en deze te linken aan de objectief gemeten geluidsniveaus en individuele kenmerken.

In totaal namen 1.460 unieke deelnemers deel aan de periodieke vragenlijsten, goed voor meer dan 10.000 wekelijkse observaties: 5.286 ingevulde vragenlijsten in Antwerpen (756 deelnemers), 3.479 ingevulde vragenlijsten in Gent (497 deelnemers) en 1.449 ingevulde vragenlijsten in Leuven (207 deelnemers). De deelnamegraad was hoog: in elke meetperiode vulde meer dan 92% van de actieve sensordeelnemers minstens één vragenlijst in.

Wanneer we verder inzoomen op de verschillende meetperiodes en de zeven wekelijkse bevragingen, zie Figuur 9-1, dan ligt de responsgraad per bevraging tussen de 75% en 100%. De retentiegraad, het percentage van de deelnemers dat consequent op elke wekelijkse vragenlijst heeft gereageerd, ligt in alle meetperiodes boven de 75%, behalve in meetperiode 4. Deze resultaten tonen aan hoe gemotiveerd onze burgerwetenschappers waren!



Figuur 9-1 Respons- en retentiegraad van de wekelijkse bevragingen (W0-W6) binnen de 6 meetperiodes

9.2 Methodologie

De eerste wekelijkse vragenlijst omvatte nog geen wederkerende vragen en bestond enkel uit enkele vragen over de woning zoals bouwjaar, uitzicht uit de slaapkamer, type beglazing, raamroosters, mechanisch ventilatiesysteem, rolluiken, en aanwezigheid van een rustige ruimte. Deze bevraging werd verstuurd bij de start van de officiële meetperiode.

De andere wekelijkse vragenlijsten bestonden uit een vast en een variabel deel. Het vaste deel werd elke week herhaald en omvatte vragen over algemene geluidsappreciatie (5-puntenschaal van zeer onaangenaam tot zeer aangenaam); hinder door specifieke geluidsbronnen; het meest aangename omgevingsgeluid; bijzondere omstandigheden die de geluidsmetingen kunnen beïnvloeden hebben; aanwezigheid van bepaalde fysieke symptomen; slaapkwaliteit; snurken; slaperigheid overdag (ESS) en ervaren stress (niet PSS-10, maar enkele losstaande vragen). Wekelijks werd ook gekeken naar de geluidsblootstelling in de woonomgeving, op het werk en in de vrije tijd, en welke strategieën gebruikt werden om het gehoor te beschermen. Tot slot werd er wekelijks gevraagd naar de mate waarin eventueel aanwezige tinnitus als hinderlijk werd ervaren. In dit rapport bespreken we enkel de wederkerende vragen gerelateerd aan geluidshinder, slaapkwaliteit, slaperigheid overdag en stress.

Het variabele deel wisselde per week en bood ruimte voor thematische verdieping:

- W1: Hyperacusis-vragenlijst¹⁹ voor de sensordeelnemers die enkel de *Weinstein Noise Sensitivity*-vragenlijst hadden ingevuld in de GGB
- W2: FOSQ (*Functional Outcomes of Sleep Questionnaire*²⁰), een gevalideerde vragenlijst die meet hoe overmatige slaperigheid het dagelijks functioneren beïnvloedt, en een korte vraag over de eventuele aanwezigheid van slaapapneu
- W3: Twee gevalideerde vragenlijsten:
 - GAD 7 (korte vragenlijst van zeven items om gegeneraliseerde angst te meten²¹, met een score van 0 tot 21 waarbij hogere scores wijzen op ernstigere angst)
 - PHQ 9 (korte zelfrapportagevragenlijst die wordt gebruikt om depressieve klachten te meten²²)
- W4: Gezondheid op het werk
- W5: *Tinnitus Functional Index* (uitgebreide vragenlijst, 25 vragen²³)
- W6: voor de Apple Watch-deelnemers de mogelijkheid om hun data te uploaden (enkel beschikbaar in meetperiode 1)

¹⁹ S. Khalfa, S. Dubal, E. Veuillet, F. Perez-Diaz, R. Jouvent, L. Collet; Psychometric Normalization of a Hyperacusis Questionnaire. *ORL* 1 December 2002; 64 (6): 436–442. <https://doi.org/10.1159/000067570>

²⁰ Weaver, T. E., Laizner, A. M., Evans, L. K., Maislin, G., Chugh, D. K., Lyon, K., Smith, P. L., Schwartz, A. R., Redline, S., Pack, A. I., & Dinges, D. E. (1997). An Instrument to Measure Functional Status Outcomes for Disorders of Excessive Sleepiness. *Sleep*, 20(10), 835–843. <https://doi.org/10.1093/sleep/20.10.835>

²¹ Spitzer, R. L., Kroenke, K., Williams, J. B. W., & Löwe, B. (2006). A Brief Measure for Assessing Generalized Anxiety Disorder: The GAD-7. *Archives of Internal Medicine*, 166(10), 1092–1097. <https://doi.org/10.1001/archinte.166.10.1092>

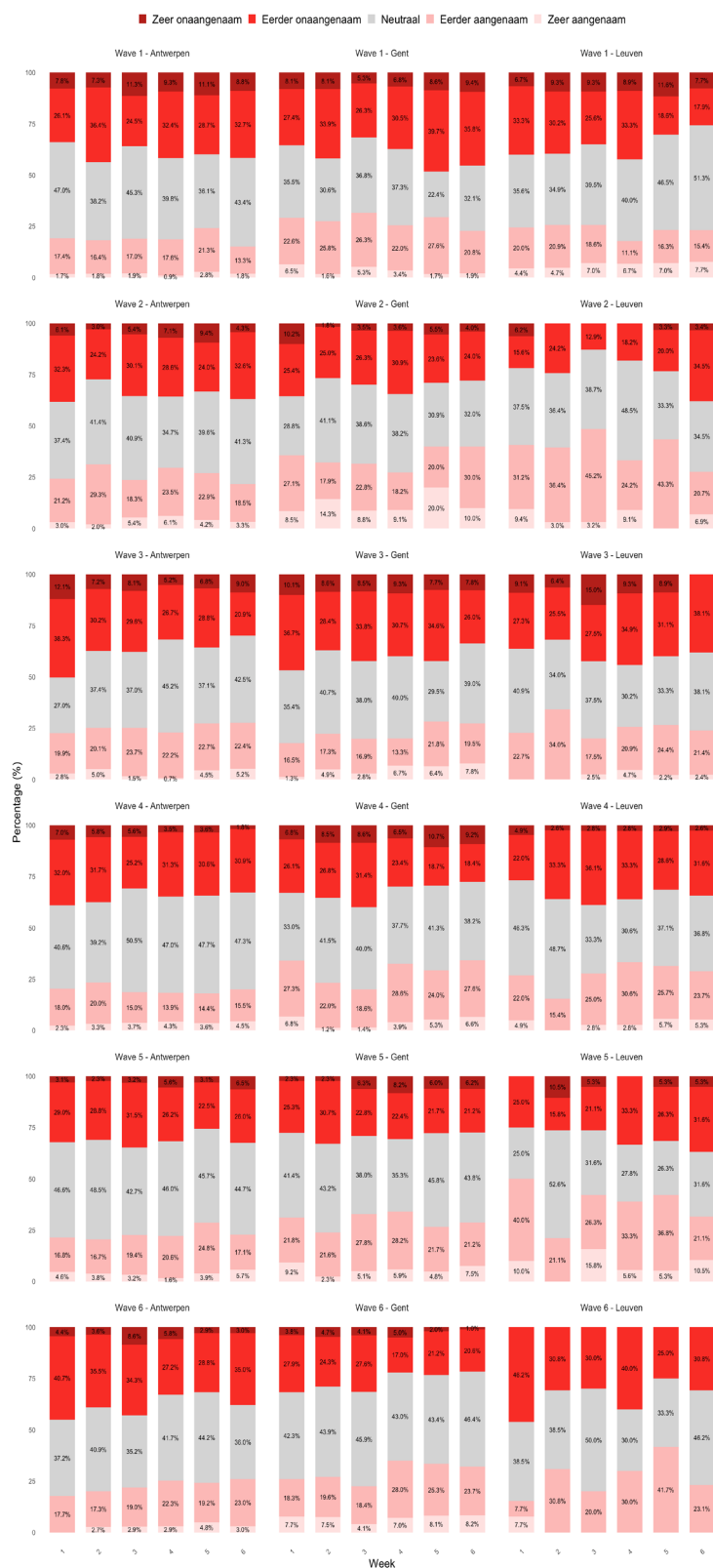
²² Kroenke, K., Spitzer, R. L., & Williams, J. B. W. (2001). The PHQ-9. *Journal of General Internal Medicine*, 16(9), 606–613. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1497.2001.016009606.x>

²³ Meikle MB. Et al. The tinnitus functional index: development of a new clinical measure for chronic, intrusive tinnitus. *Ear Hear*. 2012 Mar-Apr;33(2):153-76. doi: 10.1097/AUD.0b013e31822f67c0. Erratum in: *Ear Hear*. 2012 May;33(3):443. PMID: 22156949.

Bevragingen

9.3 Variatie qua wekelijks gerapporteerde appreciatie van het omgevingsgeluid

In onderstaande Figuur 9-2 vind je de variatie qua algemene appreciatie van het omgevingsgeluid opgedeeld per stad en per meetperiode.



Figuur 9-2 Variatie qua wekelijks gerapporteerde appreciatie van het omgevingsgeluid binnen de drie steden

Bevragingen

Hieruit kunnen we verder analyseren of er significante verschillen zijn tussen de verschillende meetperiodes in een stad (met natuurlijk ook andere deelnemers), tussen de verschillende weken binnen een meetperiode en stad, en tussen de steden onderling.

9.3.1 Tussen de steden onderling

Over alle meetperiodes heen werd het omgevingsgeluid gemiddeld neutraal beoordeeld, met een globale gemiddelde score rond 2,9 op 5, zie Tabel 9-1. Antwerpen rapporteerde systematisch een lagere geluidsappreciatie (gemiddeld $\approx 2,84$) dan Gent en Leuven (beide rond $\approx 2,95$). Deze verschillen bleven stabiel over de volledige meetperiode. Enkel tussen Antwerpen en Gent is het verschil statistisch significant ($p = 0,025$), hoewel het gemiddelde voor Leuven gelijkaardig is aan Gent.

Tabel 9-1 Algemene appreciatie van het omgevingsgeluid (gemiddelde over alle meetperiodes)

Stad	N	Unieke IDs	Gemiddelde (SD)
Antwerpen	4.144	756	2,84 (0,92)
Gent	2.719	497	2,96 (0,99)
Leuven	1.117	207	2,95 (0,95)

Wanneer we de vergelijking maken tussen de steden per meetperiode, is er enkel een significant verschil tussen Antwerpen en Gent in meetperiode 6 ($p = 0,028$), waar de respondenten uit Antwerpen het omgevingsgeluid onaangener vonden dan de respondenten uit Gent.

9.3.2 Tussen de meetperiodes binnen een stad

In Tabel 9-2 bekijken we de gemiddelden binnen een stad per meetperiode voor de algemene appreciatie van het omgevingsgeluid. Hoewel de gemiddeldes duidelijk fluctueren, is dit maar beperkt statistisch significant gezien de grote spreiding.

Tabel 9-2 Gemiddelden per meetperiode en per stad voor Algemene appreciatie van het omgevingsgeluid

Stad / Meetperiode	Antwerpen		Gent		Leuven	
	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)
1	660	2,72 (0,92)	351	2,83 (0,99)	258	2,85 (1,01)
2	577	2,90 (0,95)	332	3,10 (1,07)	188	3,19 (0,90)
3	816	2,83 (0,97)	461	2,79 (1,00)	261	2,81 (0,95)
4	691	2,84 (0,88)	468	2,92 (0,99)	225	2,94 (0,90)
5	765	2,92 (0,88)	502	3,01 (0,96)	114	3,11 (1,02)
6	635	2,82 (0,89)	605	3,06 (0,94)	71	2,94 (0,81)

Het enige significant verschil tussen de meetperiodes binnen de steden is meetperiode 3 vergeleken met meetperiode 6 in Gent ($t(1.438) = -2,78$, $p = 0,081$).

9.3.3 Tussen de weken binnen een meetperiode en stad

Er werden slechts een beperkt aantal statistisch significante verschillen qua geluidsappreciatie over alle meetperiodes en weken heen gevonden, en in Leuven zelfs geen.

Bevragingen

9.4 Variatie qua wekelijks gerapporteerde geluidshinder

In totaal werden acht geluidsbronnen wekelijks bevraagd qua ervaren geluidshinder, zie Tabel 9-3: wegverkeer, luchtverkeer, treinverkeer, school/jeugd, buren, bouwwerven, industrie en prioritaire voertuigen. Dezelfde analyses als hierboven werden hiervoor uitgevoerd, maar omwille van het repetitieve karakter wordt dit hier sterk samengevat. In de tabel hieronder wordt de gemiddelde geluidshinder (en standaardafwijking) getoond van alle wekelijkse bevragingen voor die stad (zes meetperiodes en zes weken). Het aantal ingevulde bevragingen is zichtbaar onder de stad, alsook het aantal unieke respondenten (tussen haakjes).

Tabel 9-3 Gemiddelden per stad voor de specifieke geluidshinder*

Geluidsbron	Σ steden N = 7.950 (1.460)	Antwerpen N = 4.114 (756)		Gent N = 2.719 (497)		Leuven N = 1.117 (207)	
	Wekelijks	Wekelijks	GGB	Wekelijks	GGB	Wekelijks	GGB
Wegverkeer	2,44 (1,06)	2,50 (1,05)	2,41 (0,67)	2,43 (1,08)	2,30 (0,71)	2,24 (1,04)	2,16 (0,74)
Luchtverkeer	1,43 (0,77)	1,58 (0,87)	1,56 (0,57)	1,15 (0,43)	1,23 (0,32)	1,55 (0,87)	1,33 (0,39)
Treinverkeer	1,25 (0,65)	1,21 (0,63)	1,36 (0,75)	1,30 (0,70)	1,47 (0,86)	1,24 (0,61)	1,46 (0,73)
School/Jeugd	1,37 (0,69)	1,38 (0,70)	NA	1,32 (0,64)	NA	1,44 (0,76)	NA
Buren	1,68 (0,86)	1,70 (0,87)	1,52 (0,48)	1,67 (0,86)	1,49 (0,47)	1,64 (0,85)	1,49 (0,44)
Bouw	1,75 (0,97)	1,82 (1,01)	2,25 (1,16)	1,67 (0,92)	2,10 (1,11)	1,68 (0,92)	2,04 (1,05)
Industrie	1,16 (0,52)	1,16 (0,53)	1,28 (0,29)	1,18 (0,54)	1,26 (0,30)	1,10 (0,40)	1,23 (0,25)
Prioritaire voertuigen	1,72 (0,92)	1,79 (0,94)	2,14 (1,19)	1,68 (0,91)	1,96 (1,13)	1,53 (0,80)	1,77 (1,07)

* interpretatie scores: 1 = helemaal niet gehinderd, 2 = een beetje gehinderd, 3 = tamelijk gehinderd, 4 = ernstig gehinderd en 5 = extreem gehinderd. Een gemiddelde score van 2,5 ligt dus halfweg tussen een beetje en tamelijk gehinderd

Wegverkeer komt ook hier, zoals verwacht, als meest storende bron naar boven, gevolgd door bouwgerelateerde geluiden en prioritaire voertuigen. Dit komt dus overeen met de tendensen die zichtbaar waren in de top 10 meest storende geluidsbronnen uit de GGB. De gemiddeld minst storende geluidsbronnen zijn industrie en treinverkeer. Op basis van de getoonde gemiddelde waarden, zou je verwachten dat er voor elke geluidsbron duidelijke verschillen zijn tussen de steden, maar de statistisch significante verschillen tussen de steden zijn als volgt:

- Wegverkeer: Antwerpen > Leuven (p = 0,002)
- Luchtverkeer: Antwerpen = Gent > Leuven (p = 0,000)
- Treinverkeer: Gent > Antwerpen (p = 0,026)
- School/Jeugd: Leuven > Antwerpen (p = 0,024) en Leuven > Gent (p = 0,001)
- Buren: geen significante verschillen tussen de steden
- Bouw: Antwerpen > Gent (p = 0,003) en Antwerpen > Leuven (p = 0,048)
- Industrie: Gent > Leuven (p = 0,044)
- Prioritaire voertuigen: Antwerpen > Gent (p = 0,048) en Antwerpen > Leuven (p = 0,001)

Wanneer we de eenmalige respons uit de GGB vergelijken met de respons uit alle wekelijkse bevragingen, dan zien we geen duidelijke trend. Voor wegverkeer en buren ligt de gemiddelde geluidshinder uit de GGB significant lager dan voor de wekelijkse bevragingen. Voor treinverkeer, bouw, industrie en prioritaire voertuigen ligt de gemiddelde geluidshinder uit de GGB hoger dan voor

Bevragingen

de wekelijkse bevragingen. Bij luchtverkeer is er geen duidelijke trend. Voor school/jeugd was er geen gelijkaardige vraag in de GGB beschikbaar om mee te vergelijken.

Hieronder wordt per geluidsbron kort besproken in hoeverre er significante verschillen waren tussen de steden in de verschillende meetperiodes of binnen een stad tussen verschillende weken:

- Wegverkeer: we zien geen statistisch significante verschillen tussen de meetperiodes, hoewel één meetperiode volledig in de zomervakantie valt. De verschillen tussen de steden zijn ook nauwelijks significant wanneer we inzoomen op de meetperiodes. Tot slot, zijn er maar een beperkt aantal weken waarin de gerapporteerde hinder door wegverkeer statistisch significant hoger ligt dan in andere weken, wat te verwachten valt aangezien het wegverkeer het hele jaar door aanwezig is.
- Luchtverkeer: hoewel luchtverkeer fluctueert, bijvoorbeeld meer passagiersvluchten in de vakantieperiodes, zijn er geen significante verschillen tussen de meetperiodes binnen de steden. Dit vertaalt zich wel in een groter aantal significante verschillen tussen de weken. Enkel in Gent zijn er quasi geen verschillen, wat weer logisch is gezien er geen luchthaven nabij ligt.
- Treinverkeer: bijna geen verschillen tussen de steden in de meetperiodes, en een beperkt aantal weken waarin de gerapporteerde hinder significant varieert.
- School/Jeugd: hier zien we wat verschillen binnen de steden per meetperiode, maar het is niet zo dat er in één meetperiode consistent meer of minder hinder werd gerapporteerd vergeleken met alle andere meetperiodes (tijdens elke meetperiode zijn het natuurlijk ook andere deelnemers). Tussen de steden onderling zijn er enkel significante verschillen in meetperiodes 5 en 6 (Leuven aanzienlijk meer hinder dan Antwerpen = Gent).
- Buren: enkel in meetperiode 6 scoort Leuven aanzienlijk hoger dan Antwerpen = Gent, maar dit kan mede verklaard worden door het beperkt aantal burgerwetenschappers die in die periode in Leuven hebben deelgenomen. De variatie per week is enorm laag voor deze specifieke geluidshinder.
- Bouw: bijna geen verschillen tussen de steden per meetperiode. In Antwerpen fluctueert deze wekelijkse geluidshinder veel meer dan in Gent en Leuven.
- Industrie: geen verschillen tussen de steden, en slechts beperkte variatie in wekelijks gerapporteerde geluidshinder.
- Prioritaire voertuigen: slechts éénmaal een significant verschil tussen de steden in de meetperiodes en een zeer beperkte variatie in wekelijks gerapporteerde geluidshinder.

9.5 Variatie qua wekelijks gerapporteerde slaapkwaliteit

De variatie in wekelijkse slaapkwaliteit werd gemonitord door de vraag: “Geef aan hoe vaak zich de volgende situaties hebben voorgedaan:

- Heb je moeite gehad met inslapen?
- Ben je 's nachts wakker geworden?
- Heb je 's ochtends wakker gelegen in bed?
- Heb je je 's morgens overslapen?
- Heb je je 's ochtends uitgerust gevoeld?”

Met daarbij als antwoordmogelijkheden: “nooit”, “één nacht”, “2 nachten”, “3-6 nachten” en “elke nacht (of ochtend)”.

Enkel de eerste twee vragen worden hieronder in detail besproken, gezien hun relevantie en het feit dat er hierin de meeste variatie werd gevonden. In Tabel 9-4 en Tabel 9-5 vind je de gemiddelde respons (en standaardafwijking) per stad en per meetperiode voor moeite met inslapen en 's nachts wakker worden. Gemiddeld gesproken hebben de deelnemers dus één nacht per week moeite met inslapen en worden ze tussen de twee à drie nachten per week wakker. Dit wil natuurlijk niet zeggen dat alle problemen met in- of doorslapen te maken hebben met omgevingslawaaï.

Tabel 9-4 Gemiddelden per meetperiode en per stad voor moeite met inslapen tijdens de afgelopen week*

Stad / Meetperiode	Antwerpen		Gent		Leuven	
	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)
1	660	2,04 (1,11)	351	2,03 (1,14)	258	2,30 (1,32)
2	577	2,17 (1,16)	332	1,96 (1,11)	188	1,97 (1,12)
3	816	2,06 (1,19)	461	2,04 (1,10)	261	1,86 (1,18)
4	691	2,17 (1,15)	468	2,07 (1,10)	225	2,02 (1,14)
5	765	2,23 (1,27)	502	1,98 (1,12)	114	1,53 (0,86)
6	635	2,15 (1,15)	605	1,96 (1,20)	71	1,80 (0,86)

* interpretatie scores: 1 = nooit, 2 = één nacht, 3 = 2 nachten, 4 = 3-6 nachten en 5 = elke nacht

Tabel 9-5 Gemiddelden per meetperiode en per stad voor 's nachts wakker worden tijdens de afgelopen week*

Stad / Meetperiode	Antwerpen		Gent		Leuven	
	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)
1	660	3,26 (1,26)	351	3,30 (1,30)	258	3,34 (1,30)
2	577	3,38 (1,28)	332	3,22 (1,29)	188	2,94 (1,43)
3	816	3,44 (1,19)	461	3,41 (1,24)	261	3,52 (1,21)
4	691	3,59 (1,24)	468	3,18 (1,26)	225	3,43 (1,41)
5	765	3,48 (1,25)	502	3,31 (1,26)	114	3,62 (1,34)
6	635	3,30 (1,17)	605	3,44 (1,25)	71	3,11 (1,11)

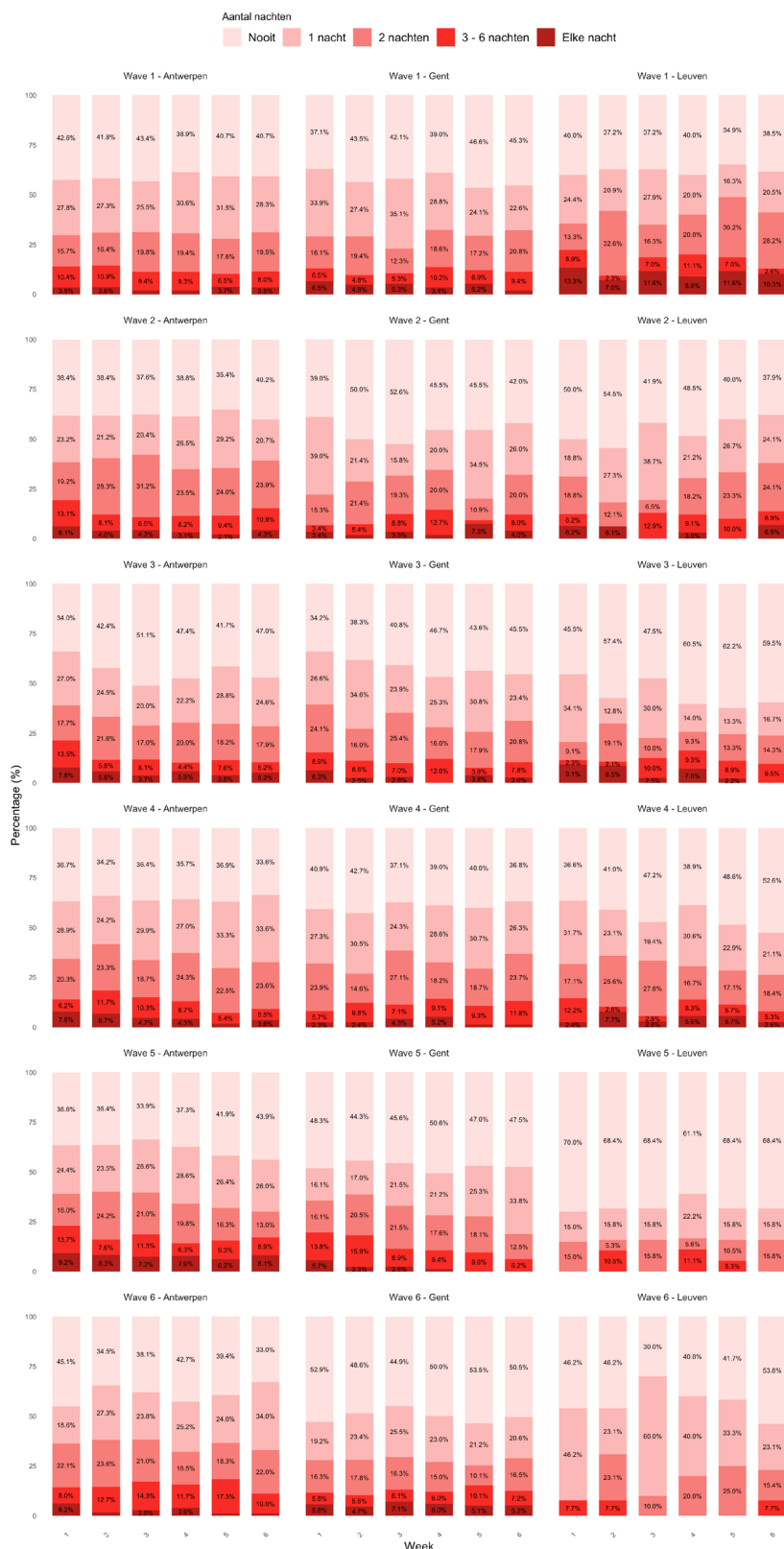
* interpretatie scores: 1 = nooit, 2 = één nacht, 3 = 2 nachten, 4 = 3-6 nachten en 5 = elke nacht

We vinden hierbij geen significante verschillen tussen de steden, en slechts beperkte verschillen tussen de weken binnen de steden.

In Figuur 9-3 en Figuur 9-4 worden de gemiddelde respons per stad, meetperiode en week getoond voor moeite met inslapen en 's nachts wakker worden.

Bevragingen

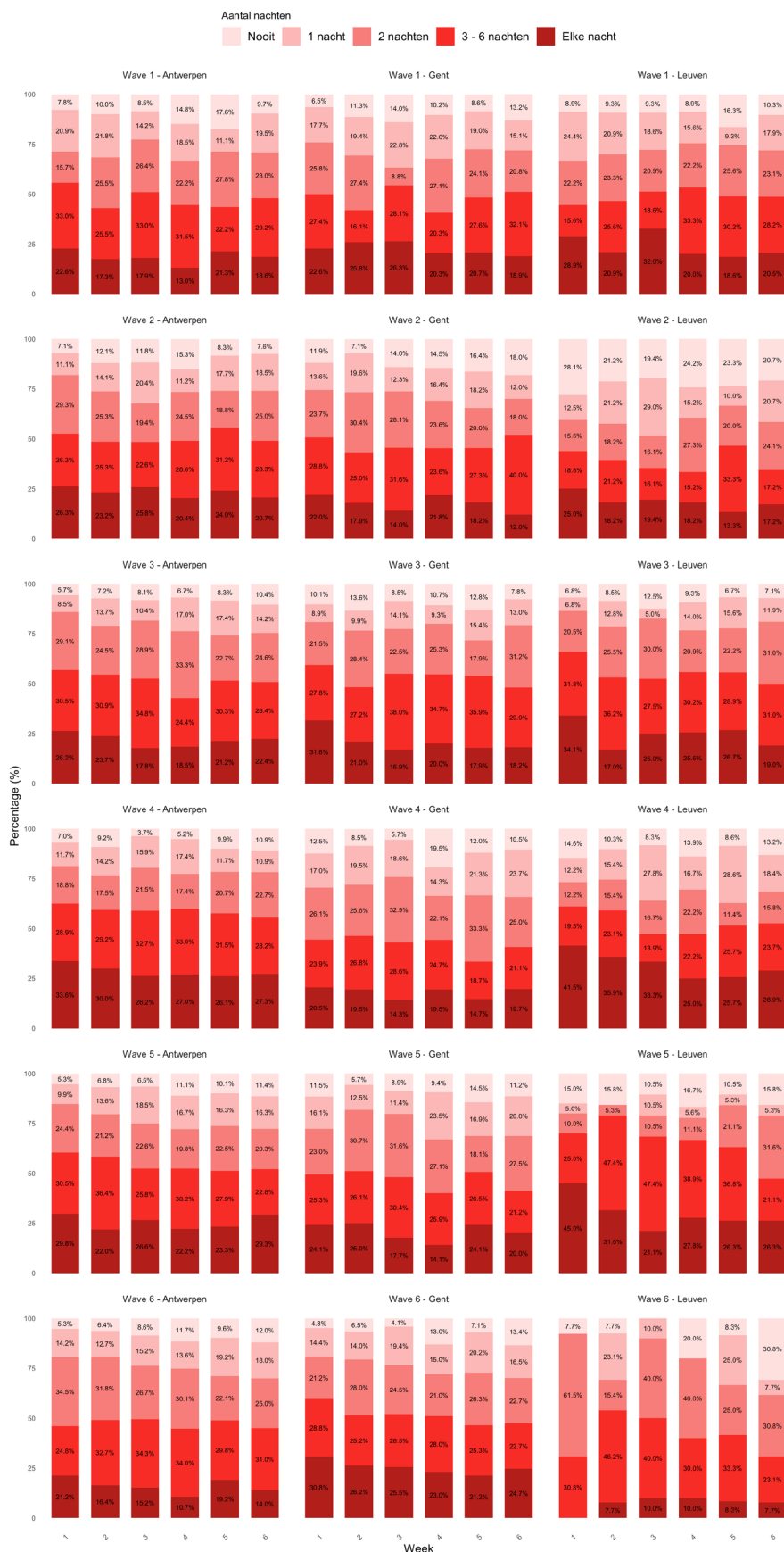
Moeite met inslapen - per meetperiode per stad



Figuur 9-3 Gemiddelde respons per stad, meetperiode en week voor moeite met inslapen

Bevragingen

's Nachts wakker worden - per meetperiode per stad



Figuur 9-4 Gemiddelde respons per stad, meetperiode en week voor 's nachts wakker worden

Bevragingen

9.6 Variatie qua wekelijks gerapporteerde slaperigheid overdag (ESS)

Wekelijks werden de burgerwetenschappers ook gevraagd om hun slaperigheid overdag in te schatten via de gevalideerde ESS-vragenlijst.

Wanneer we de gemiddelde scores per stad vergelijken met de resultaten uit de GGB, dan zien we kleine, maar statistisch significante verschillen met de GGB, maar geen verschillen onderling:

- Antwerpen: wekelijks 6,59 (4,45) vs. GGB 6,41 (3,92) = significant hoger dan GGB
- Gent: wekelijks 6,34 (4,57) vs. GGB 6,66 (4,03) = significant lager dan GGB
- Leuven: wekelijks 6,56 (4,80) vs. GGB 6,33 (4,26) = significant hoger dan GGB

In Tabel 9-6 worden de gemiddelde ESS-scores getoond per stad en per meetperiode. Zoals je kan zien, varieert de gemiddelde ESS-score slechts beperkt tussen de steden en meetperiodes en kan die geïnterpreteerd worden als hoge normale slaperigheid overdag. Het percentage deelnemers met overmatige slaperigheid overdag fluctueert in alle steden en meetperiodes rond de 20%.

Tabel 9-6 Gemiddelde ESS-scores* per meetperiode en per stad

Stad / Meetperiode	Antwerpen		Gent		Leuven	
	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)
1	660	7,22 (4,76)	351	6,03 (4,23)	258	6,38 (5,13)
2	577	7,00 (4,85)	332	6,39 (4,88)	188	6,02 (4,20)
3	816	6,68 (4,56)	461	6,40 (4,44)	261	7,61 (4,99)
4	691	5,76 (4,06)	468	6,01 (4,31)	225	5,75 (4,61)
5	765	6,67 (4,25)	502	6,56 (4,90)	114	5,95 (4,17)
6	635	6,27 (4,07)	605	6,51 (4,61)	71	8,31 (4,96)

* interpretatie scores: lage normale slaperigheid (0-5), hoge normale slaperigheid (6-10), lichte overmatige slaperigheid (11-12), matige overmatige slaperigheid (13-15), en ernstige overmatige slaperigheid (16-24)

Bevragingen

9.7 Variatie qua wekelijks gerapporteerde stress

Om de wekelijkse vragenlijsten niet te lang te maken, is niet gekozen voor de gestandaardiseerde PSS-10 vragenlijst om de variatie in wekelijkse stress te monitoren, maar voor de vraag: “In de afgelopen week, hoe vaak voelde je dat ...

- je nerveus en gestrest was
- je niet kon omgaan met alle dingen die je moest doen
- de moeilijkheden zich zo hoog opstapelden dat je ze niet kon overwinnen”,

met als antwoordmogelijkheden “nooit”, “nauwelijks”, “soms”, “vrij vaak” en “heel erg vaak”.

De antwoorden op deze vragen werden vervolgens samengevoegd tot één waarde, zie Tabel 9-7. Het gemiddelde ligt voor de drie steden tussen de 2,20 en 2,23 (tussen nauwelijks en soms) en ook in de verschillende meetperioden zijn de verschillen tussen de steden heel beperkt en niet significant.

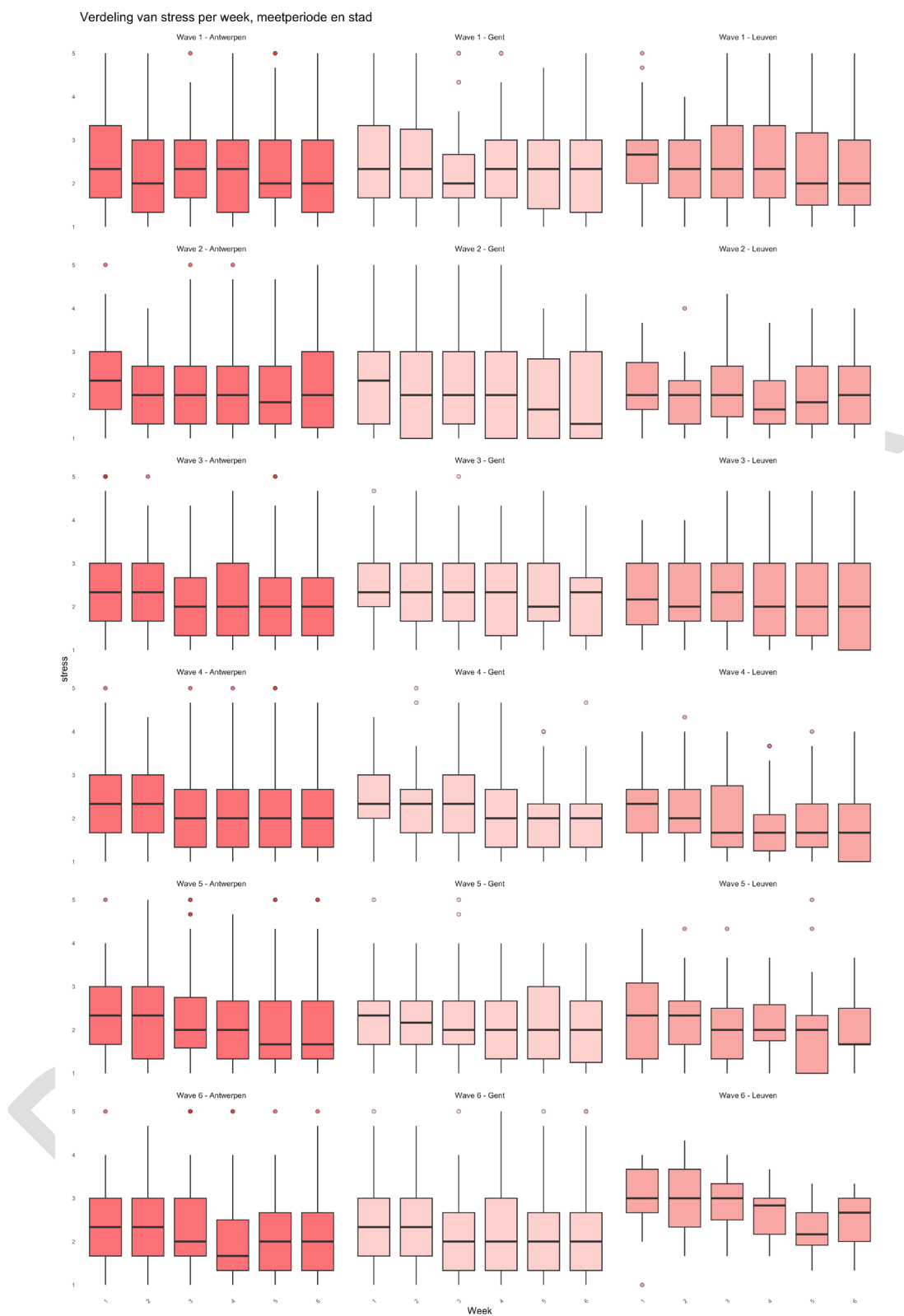
Tabel 9-7 Gemiddelde stress-scores* per meetperiode en per stad

Stad / Meetperiode	Antwerpen		Gent		Leuven	
	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)	N	Gem. (SD)
1	660	2,34 (0,99)	351	2,40 (1,01)	258	2,45 (1,00)
2	577	2,10 (0,93)	332	2,08 (1,03)	188	2,06 (0,83)
3	816	2,21 (0,94)	461	2,33 (0,89)	261	2,24 (0,97)
4	691	2,19 (0,93)	468	2,17 (0,83)	225	2,03 (0,86)
5	765	2,16 (0,93)	502	2,14 (0,85)	114	2,16 (0,94)
6	635	2,20 (0,91)	605	2,22 (0,95)	71	2,68 (0,76)

* interpretatie scores: 1 = nooit, 2 = nauwelijks, 3 = soms, 4 = vrij vaak en 5 = heel erg vaak

Tussen de verschillende weken vinden we wel een aanzienlijk aantal significante verschillen, zie Figuur 9-5. Voor toekomstig onderzoek raden we aan om in terugkerende vragenlijsten toch de PSS-10 vragenlijst te gebruiken.

Bevragingen

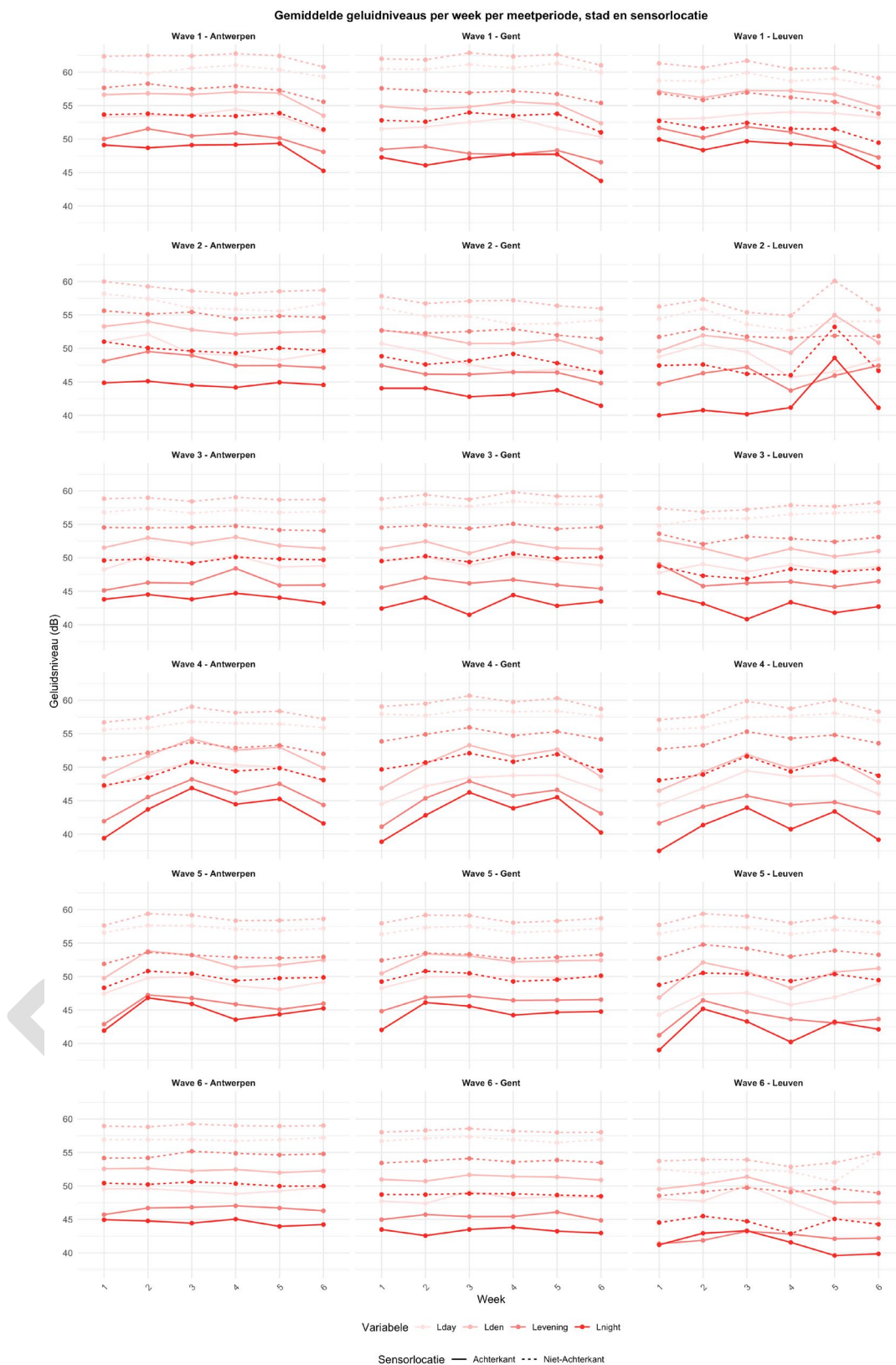


Figuur 9-5 Gemiddelde respons per stad, meetperiode en week voor stress (gemiddelde van drie vragen)

Bevragingen

9.8 Variatie qua wekelijks gemeten geluidsniveaus

In Figuur 9-6 wordt de variatie in wekelijkse gemiddelde geluidsniveaus getoond.



Figuur 9-6 Wekelijkse gemiddelde geluidsniveaus per stad, meetperiode en week: L_{den} , L_{day} , $L_{evening}$ en L_{night} (volle lijn achterkant, stippellijn voor- en zijkant)

Bevragingen

De wekelijkse gemiddelde geluidsniveaus verschillen slechts in beperkte mate, behalve bijvoorbeeld in Leuven in meetperiode 2, week 5 (29 juli t.e.m. 4 augustus 2024), waar de nachtelijke niveaus aanzienlijk hoger liggen. Zulke piek in L_{night} vertaalt zich dan ook in een piek in L_{den} door de straffactor van 10 dBA die aan L_{night} wordt toegekend in de berekening van L_{den} .

Meetperiode 4 (4 november t.e.m. 15 december 2024) vertoont een gelijkaardig patroon in de drie steden en de meeste variatie qua geluidsniveaus (rond de 5 dBA verschil tussen stilste en luidste week).

Enkele algemene conclusies qua geluidsniveaus die we hieruit kunnen trekken, zijn de volgende:

- L_{den} behaalt consistent de hoogste waarden, wat logisch is, gezien de berekeningsmethode en toegepaste straffactoren (zie § 3.4).
- In de meeste gevallen wordt de logica gerespecteerd: $L_{\text{day}} > L_{\text{evening}} > L_{\text{night}}$. Het gebeurt maar zelden dat de lijnen mekaar kruisen en wanneer dit gebeurt, is dit bij L_{evening} en L_{night} . Op individuele locaties kan dit natuurlijk frequenter voorkomen.
- Het verschil tussen L_{evening} en L_{night} is relatief beperkt (rond de 2-4 dBA).
- De gemiddelde geluidsniveaus liggen aanzienlijk lager (5-7 dBA) voor de sensorlocaties aan de achterkant, zie ook § 3.4.1.
- Meetperiode 1 is duidelijk de luidste, zie ook Figuur 3-16 en Figuur 3-17.

9.9 Correlaties

Het feit dat er in de meeste gevallen slechts relatief kleine verschillen zijn tussen de wekelijkse gemiddelden maakt dat er minder significante correlaties op populatieniveau zijn, of dat de effecten relatief beperkt zijn. In onderstaande secties worden een aantal specifieke correlaties beperkt besproken.

9.9.1 Sensorlocatie vs. algemene geluidsappreciatie & stress

Wie zijn sensor aan de voorkant van zijn woning heeft hangen, ervaart een lagere algemene appreciatie van het omgevingsgeluid, dan wie hem aan de achterkant heeft hangen: 2,85 (0,94) vs. 3,00 (0,93) ($B = -0.16$, $p = 0.008$).

We zien een gelijkaardig effect voor stress, maar natuurlijk andersom (hogere stress bij sensor aan de voorkant): 2,24 (0,95) vs. 2,14 (0,90) ($B = 0.15$, $p = 0.049$).

9.9.2 Slaapkwaliteit vs. algemene geluidsappreciatie, specifieke geluidshinder en stress

Slaapproblemen hangen vooral samen met hinder van specifieke geluidsbronnen en stress, terwijl een positieve algemene geluidsappreciatie van het omgevingsgeluid beschermend lijkt te werken voor de slaapkwaliteit:

- Hinder door luchtverkeer hangt samen met meer moeite met inslapen, vaker 's nachts wakker worden en langer wakker liggen in bed. Er is geen duidelijk effect op overslapen of het gevoel uitgerust te zijn.
- Hinder door spoorverkeer wordt gekoppeld aan vaker overslapen en een minder uitgerust gevoel, maar heeft geen significant effect op moeite met inslapen, wakker worden 's nachts of wakker liggen in bed.
- Hinder door wegverkeer hangt samen met meer slaapproblemen, zoals moeite met inslapen, vaker wakker worden 's nachts en langer wakker liggen in bed. Er is geen duidelijk effect op overslapen of het gevoel uitgerust te zijn.
- Hinder door burenhangt samen met meer moeite met inslapen, vaker wakker worden 's nachts, langer wakker liggen in bed en vaker overslapen. Er is geen duidelijk effect op hoe uitgerust men zich voelt.
- Hinder door bouwgerelateerde geluiden hangt samen met langer wakker liggen in bed en vaker overslapen, maar heeft geen effect op inslapen of wakker worden 's nachts en geen effect op het gevoel uitgerust te zijn.
- Hinder door industriële geluiden heeft geen significant effect op de verschillende aspecten van slaap of het gevoel uitgerust te zijn.
- Hinder van prioritaire voertuigen hangt samen met langer wakker liggen in bed, maar heeft geen effect op inslapen, wakker worden 's nachts, overslapen of gevoel van uitgerust zijn.
- Een positieve beoordeling van het omgevingsgeluid hangt samen met betere slaap: minder moeite met inslapen, minder wakker worden 's nachts, minder tijd wakker liggen in bed en een groter gevoel uitgerust te zijn. Er is geen effect op overslapen.
- Hogere stress hangt consistent samen met meer slaapproblemen (meer moeite met inslapen, vaker wakker worden 's nachts, langer wakker liggen in bed, vaker overslapen) en met een gevoel minder uitgerust zijn.

Bevragingen

9.9.3 Slaperigheid overdag vs. algemene geluidsappreciatie, specifieke geluidshinder en stress

Slaperigheid overdag ligt beperkt hoger bij hinder van specifieke geluidsbronnen en stress, terwijl een positieve waardering van het omgevingsgeluid juist beschermend lijkt te werken.

Hogere hinder door luchtverkeer, spoorverkeer, burens, bouwactiviteiten en industrie hangt samen met een beperkt hogere slaperigheid overdag ($B = 0,02-0,03$, $p = 0,01-0,02$), terwijl hinder van wegverkeer en prioritaire voertuigen geen duidelijk effect heeft.

Een positievere algemene appreciatie van het omgevingsgeluid gaat samen met minder slaperigheid overdag ($B = -0,05$, $p = 0,000$). Daarnaast versterkt hogere stress alle negatieve effecten: wie meer stress ervaart, voelt zich overdag slaperiger ($B = 0,22$, $p = 0,000$).

9.9.4 Stress vs. algemene geluidsappreciatie en specifieke geluidshinder

Stress hangt samen met meerdere vormen van specifieke geluidshinder: hogere hinder van spoorverkeer, wegverkeer, burens, bouwactiviteiten en prioritaire voertuigen gaat samen met hogere stressniveaus ($B = 0,05-0,10$, $p = 0,000$). Hinder van luchtverkeer en industrie hangt daarentegen niet significant samen met stress. Daarnaast hangt een hogere algemene appreciatie van het omgevingsgeluid samen met lagere stress; deelnemers die het geluid in hun geluidsomgeving positiever waarderen, ervaren minder stress, of vice versa ($B = -0,08$, $p = 0,000$).

9.9.5 Geluidsniveaus vs. data uit de wekelijkse bevragingen

Het feit dat er in de meeste gevallen slechts relatief kleine verschillen zijn tussen de wekelijkse gemiddelde geluidsniveaus maakte het moeilijker om correlaties op populatieniveau te ontdekken met de zelfgerapporteerde data uit de wekelijkse bevragingen.

Ongeacht sensorlocatie zijn de gemeten geluidsniveaus niet duidelijk gekoppeld aan de subjectieve appreciatie van het omgevingsgeluid, noch aan de specifieke geluidshinder, of zijn de effecten tegengesteld aan de logica en verwachtingen.

Een verdere analyse van de (herkende) geluidsevenementen, of met kleinere deelpopulaties, zal hopelijk tot meer en betere resultaten leiden. We zien hier wel trends (hogere aantal specifieke geluidsevenementen hangt samen met een hogere specifieke geluidshinder), maar de effecten zijn klein en in veel geval niet statistisch significant (door de beperkte wijzigingen op wekelijkse schaal). In sommige gevallen zijn de effecten negatief (meer specifieke geluidsevenementen = lagere specifieke geluidshinder, bijvoorbeeld wegverkeer 's avonds).

9.10 Conclusies

Wegverkeer komt ook hier, zoals verwacht, als meest storende bron naar boven, gevolgd door bouwgerelateerde geluiden en prioritaire voertuigen. Dit komt dus overeen met de tendensen die zichtbaar waren in de top 10 meest storende geluidsbronnen uit de GGB.

In het studieopzet was het de bedoeling (en hoop) om voldoende variatie te vinden zowel qua geluidsniveaus als in de wekelijkse respons, om zo correlaties te kunnen ontdekken tussen wijzigende geluidsniveaus (bijvoorbeeld door tijdelijke evenementen zoals de Gentse Feesten, of door meer/minder verkeer) en de impact hiervan op hinder, slaapkwaliteit en stress.

De verschillen in wekelijkse gemiddelde geluidsniveaus zijn jammer genoeg zeer beperkt, en vanuit de wekelijkse bevragingen zijn er ook maar beperkte verschillen in algemene geluidsappreciatie, specifieke geluidshinder, slaapkwaliteit, slaperigheid overdag en stress.

Toch hebben we een aantal statistisch significante verbanden (met beperkte effectgrootte) kunnen vinden, dankzij de grootte van de dataset en de hoge responsgraad:

- Wie zijn sensor aan de voorkant van zijn woning heeft hangen, ervaart een lagere algemene appreciatie van het omgevingsgeluid en hogere stress, dan wie hem aan de achterkant heeft hangen.
- Slaapproblemen hangen vooral samen met hinder van specifieke geluidsbronnen en stress, terwijl een positieve algemene geluidsappreciatie van het omgevingsgeluid beschermend lijkt te werken voor de slaapkwaliteit.
- Slaperigheid overdag ligt beperkt hoger bij hinder van specifieke geluidsbronnen en stress, terwijl een positieve waardering van het omgevingsgeluid eveneens beschermend lijkt te werken.
- Stress hangt samen met meerdere vormen van specifieke geluidshinder (hogere hinder = hogere stress) en met de algemene appreciatie van het omgevingsgeluid (hogere appreciatie = lagere stress). Zoals eerder aangehaald, werkt dit in beide richtingen.

Om het verband tussen de wekelijkse variërende geluidsniveaus of het aantal (specifieke) geluidsevenementen en de data uit de wekelijkse bevragingen volledig in kaart te brengen, is verder onderzoek nodig, vermoedelijk met kleinere subsets van de data.

10 Eindbevraging

10.1 Inleiding en methodologie

Om te evalueren wat er goed en minder goed is gegaan tijdens De Oorzaak, hebben we de burgerwetenschappers gevraagd om nog een laatste, anonieme, vragenlijst in te vullen. Deze werd opgesteld door dr. Timpe Callebaut (onder supervisie van prof. dr. Nathalie Dens) en enkel digitaal verspreid (via Qualtrics²⁴). De oproep hiervoor gebeurde op drie manieren:

1. In de mail met het persoonlijke geluidsrapport voor de deelnemers (verstuurd naar > 10.000 burgerwetenschappers).
2. Op het einde van de symposia voor alle aanwezigen (> 500) via een QR-code.
3. In een nieuwsbrief voor iedereen die het project op die manier volgde (> 6.500).

In deze bevraging hebben we gepolst naar de ervaringen van de burgerwetenschappers met volgende topics:

- Algemene ervaring met het project en de communicatie errond
- Voor de sensordeelnemers (geluidsmetingen):
 - Instructies en meetapparatuur
 - Online dashboard
- Voor de deelnemers aan de gezondheidsstudie:
 - Slaapstudie
 - Speekselonderzoek
 - Gehoortesten
- Individueel geluidsrapport
- Symposia
- Toekomstige projecten en finale opmerkingen

In de volgende secties worden de resultaten kort besproken, zonder diepgaande analyses van welke groep respondenten welke antwoorden heeft gegeven.

²⁴ Om een nog onbekende reden werden bepaalde woorden/zinnen op sommige GSM's foutief weergegeven. Op de computer en in de testomgeving binnen Qualtrics was dit volledig in orde.

Bevragingen

10.2 Algemene ervaring en communicatie

De vragenlijst werd door 469 deelnemers (gedeeltelijk) ingevuld, waarvan 19 die aan geen enkel onderdeel hebben deelgenomen. Elk onderdeel van het onderzoek is relatief goed vertegenwoordigd in deze populatie, zie Tabel 10-1. De respondenten konden hierbij natuurlijk meerdere onderdelen aanvinken.

Tabel 10-1 Deelnemers eindbevraging

Onderdelen	Percentage	Aantal
De Grote Geluidsbevraging	79,0%	421
De geluidsmetingen gedurende 6 weken, inclusief wekelijkse bevragingen	45,0%	240
De gezondheidsstudie (slaaponderzoek, speekselanalyse en gehoortesten)	5,4%	29
Apple Watch studie	1,9%	10
Geen van bovenstaande	3,6%	19
Totaal	100%	533

Op de vraag “Hoe zou je je algemene ervaring met het project beoordelen?” antwoordde de overgrote meerderheid positief (n = 469):

- Zeer negatief: 0 (0,0%)
- Negatief: 17 (3,6%)
- Neutraal: 69 (14,7%)
- Positief: 274 (58,4%)
- Zeer positief: 109 (23,2%)

De respondenten die “negatief” hebben geantwoord, zijn vermoedelijk dezelfde respondenten die hierboven hebben aangeduid dat ze niet hebben deelgenomen/kunnen deelnemen aan het project, omwille van onze keuze om het project te focussen op de drie deelnemende steden.

Bevragingen

Onderstaande stellingen, zie Figuur 10-1, tonen de algemeen positieve ervaring met het project verder aan.

In welke mate ben je het eens met volgende stellingen? ⁴⁶⁹

In welke mate ben je het eens met volgende stellingen?	Helemaal oneens	Oneens	Neutraal	Eens	Helemaal eens
Ik begreep wat het doel was van het project	1	1	18	189	260
Ik vind burgerwetenschapsprojecten waardevol	0	0	8	157	304
Ik wist hoe mijn deelname bijdroeg aan het onderzoek	3	5	72	205	184
Ik begreep wat er van me verwacht werd tijdens het onderzoek	2	5	32	205	225
Ik had graag meer informatie gehad voor ik mijn deelname bevestigde	102	190	122	37	18
De communicatie tijdens het project was duidelijk	5	11	75	232	146
Ik kreeg voldoende updates en informatie doorheen het project	5	26	93	206	139
De communicatiemails, nieuwsbrieven en sociale mediakanalen van het project waren nuttig	5	13	123	227	101
De website bood voldoende en duidelijke informatie over het project	4	8	117	237	103
De vragen in de bevragingen waren duidelijk geformuleerd	4	9	52	272	132
Ik voelde me betrokken bij het project gedurende de looptijd	17	43	122	184	103

Figuur 10-1 Stellingen over de algemene ervaring met De Oorzaak

Bij de open vragen kwamen volgende zaken, naast ook positieve feedback, regelmatig aan bod als beperkingen van het onderzoek, of mogelijke verbeterpunten:

- Te beperkte scope (focus op Antwerpen, Gent en Leuven)
- Individueel geluidsrapport te uitgebreid/moeilijk
- Versnipperde communicatie
- Paywall De Morgen (alle artikels zijn ondertussen beschikbaar via [deze link](#))
- Inhoud en hoeveelheid bevragingen
- Onzekerheid en scepticisme over de toekomst (wat gaat er gebeuren met de resultaten?)

10.3 Geluidsmetingen

Dit deel van de vragenlijst werd door 220 respondenten ingevuld. Bij een zeer beperkt aantal deelnemers ontbrak één van de onderdelen in de doos, en in de meeste gevallen ging dit over ofwel de kabelbinders, ofwel de stekker. De overgrote meerderheid van de respondenten vond de handleiding grotendeels (21,6%) of zelfs volledig (76,2%) duidelijk.

Eventuele technische problemen waren beperkt (9,7%) en gingen dan vooral over:

- Bevestiging op de vensterbank
- Verbinding met 4G
- Stroomvoorziening
- Defecte sensor (alle sensoren werden door ons getest voor verzending, dus we vermoeden dat er toch niet altijd voorzichtig mee omgegaan werd tijdens het transport)

In de doos met de meetapparatuur zaten ook een buurtflyer en poster om kenbaar te maken waarvoor de sensor diende en de burens op de hoogte te brengen van het project. 56,2% (127) van de respondenten heeft effectief de buurtflyer verspreid, en 59,9% (136) heeft de poster opgehangen. 73,1% heeft met de burens over De Oorzaak gesproken, vooral over volgende topics (zowel positief als negatief):

- Nieuwsgierigheid en interesse in het project
- Geluidsoverlast in de buurt
- Positieve houding t.o.v. deelname, maar ook neutrale/onverschillige houding
- Bezorgdheid over privacy/afluisteren
- Bezorgdheid over negatieve gevolgen (bijvoorbeeld daling woningprijzen, misbruik door jongeren)
- Scepticisme (niks zal veranderen)

Het dashboard waarop de sensordeelnemers hun metingen konden volgen, werd door 21,8% van de respondenten dagelijks bekeken, en door 33,6% meerdere keren per week. De overzichtskaart bij De Morgen, waarop alle meetpunten en sensordata verzameld werden, werd door 9,5% meerdere keren per week bekeken, en door 20,0% ongeveer één keer per week.

De ervaringen met het dashboard waren overwegend positief, met vooral iets lagere scores bij twee stellingen (gemiddeld 3,5/5 t.o.v. 3,7-4,3/5 voor de andere stellingen), zie Figuur 10-2:

- De informatie op het dashboard kwam overeen met mijn eigen ervaring.
- Ik heb het gevoel dat de data op het dashboard niet klopte met de werkelijke geluidshoeveelheid (omgekeerde vraagstelling dus hier zijn de antwoorden “(helemaal) eens” negatief te beschouwen).

Bevragingen

In welke mate ben je het eens met de volgende stellingen? 220

In welke mate ben je het eens met de volgende stellingen?	Helemaal oneens	Oneens	Neutraal	Eens	Helemaal eens
Het dashboard was gemakkelijk te gebruiken	0	3	49	117	51
Ik begreep de grafieken en gegevens	1	16	45	109	49
Ik begreep de verschillende parameters	0	18	55	107	40
Ik vond het leuk om de data van mijn eigen omgeving te bekijken	0	1	17	107	95
Het dashboard maakte me bewuster van geluid in mijn omgeving	3	10	53	95	59
Ik heb nieuwe inzichten opgedaan over geluidsoverlast	2	22	64	81	51
De informatie op het dashboard kwam overeen met mijn eigen ervaring	7	33	62	88	30
Ik heb het gevoel dat de data op het dashboard niet klopte met de werkelijke geluidshoeveelheid	40	88	47	34	11

Figuur 10-2 Stellingen over het dashboard voor de sensormetingen van De Oorzaak

Deze twee zaken kwamen ook duidelijk tevoorschijn in de open vraag hier rond:

- Het dashboard toont lagere geluidsniveaus dan de werkelijke beleving, of toont de piekgeluiden niet voldoende (momentane geluidsniveau werd om de 15 seconden verversd).
- Onnauwkeurige of niet-herkende geluidsbronnen: op het dashboard werd een eerste versie van het AI-geluidsherkenningmodel gebruikt, dat inderdaad niet performant genoeg was. Alle data, behalve van meetperiode 1, werden op het einde van het project opnieuw geanalyseerd met een verbeterd AI-model en samengevat in het individueel geluidsrapport.
- Te technisch/te veel jargon.
- Betere uitleg/documentatie nodig.
- Extra functionaliteiten voor de meerwaardezoekers.

10.4 Gezondheidsstudie

Dit deel van de vragenlijst werd door 23 deelnemers ingevuld, waarbij één respondent in de opmerkingen aangaf eigenlijk niet te hebben deelgenomen. Vermoedelijk had deze respondent in het begin toch foutief de gezondheidsstudie aangevinkt. Met zijn/haar antwoorden zijn verder geen rekening gehouden.

De slaapstudie werd door 18,2% van de deelnemers als zeer positief ervaren, en door 45,5% als positief. Slechts 9,1% (2 deelnemers) hadden een negatieve ervaring, en 27,3% antwoordden neutraal. Dit had vermoedelijk te maken met het feit dat ze door de meetapparatuur slechter dan normaal hadden geslapen. Bij 59,1% was er geen effect van de meetapparatuur op de slaapkwaliteit. Eén respondent gaf aan zelfs beter te hebben geslapen. De meerderheid (56,5%) gaf aan stress te hebben ervaren door de meetapparatuur of voorbereidingen. De overgrote meerderheid (90,9%) voelde zich voldoende of zelfs heel goed geïnformeerd over de slaapstudie en 86,4% vond de informatiebrief duidelijk. Het slaaprapport werd door 90,9% gelezen en in grote mate positief beoordeeld.

Het speekselonderzoek is natuurlijk minder ingrijpend en met een veel kortere deelname dan de andere onderdelen van de gezondheidsstudie. Niettegenstaande werd dit ook kort bevraagd. Slechts 1 respondent (4,8%) voelde zich onvoldoende geïnformeerd en 71,4% heeft de resultaten in hun individueel geluidsrapport bekeken. Bij 42,8% (9 respondenten) heeft dit rapport hen aan het denken gezet over hun stressniveaus.

De gehoortesten bij het UZA werden door de overgrote meerderheid (90,5%) als (zeer) positief ervaren. Slechts 1 respondent (4,8%) voelde zich hierover onvoldoende geïnformeerd. 80,9% van de respondenten heeft zijn/haar rapport volledig gelezen en een grote meerderheid was zeer tevreden met dit gehele deelonderzoek (gemiddelde scores van 4.5-4.8/5). Drie respondenten (14,3%) gaven aan, na het lezen van hun resultaten, vaker gehoorbescherming te dragen tijdens muziekevenementen of klusjes met luide apparatuur.

10.5 Individueel geluidsrapport

Dit deel van de vragenlijst werd door 422 deelnemers ingevuld. Iedereen die minstens aan de Grote Geluidsbevraging had deelgenomen (> 10.000 respondenten), heeft een individueel rapport gekregen via mail. In dit rapport werden de voornaamste resultaten uit het onderzoek samengevat, steeds met aanduiding van de input van de deelnemer, en inclusief een vergelijking met de populatie (volledige GGB-dataset of met de deelnemers uit dezelfde stad en meetperiode voor de geluidsmetingen en wekelijkse bevragingen). Enkel voor de gezondheidsstudie werden de eigen resultaten niet aangeduid in het individueel geluidsrapport, omwille van privacyredenen.

73,2% van de respondenten heeft het rapport volledig gelezen, en nog 24,2% heeft het rapport vluchtig bekeken. 56,4% heeft het rapport ook als PDF gedownload om het te kunnen bewaren.

In Figuur 10-3 kan je zien hoe de respondenten hebben geantwoord op een aantal stellingen over het individueel geluidsrapport. Opgelet: sommige vragen zijn zo gesteld dat de antwoorden “(helemaal) eens” als negatief moeten beschouwd worden.

In welke mate ben je het eens met de volgende stellingen? 422

In welke mate ben je het eens met de volgende stellingen?	Helemaal oneens	Oneens	Neutraal	Eens	Helemaal eens	Niet van toepassing
Het rapport was duidelijk en begrijpelijk	2	13	50	188	161	8
Er waren onderdelen van het rapport die ik niet begreep	63	172	103	58	17	9
Ik had hulp nodig om het rapport te begrijpen	128	190	67	20	4	13
De hoeveelheid detail in het rapport was gepast	4	34	122	156	97	9
Ik heb nieuwe dingen geleerd uit het rapport	9	43	118	164	81	7
Ik had het gevoel dat mijn bijdrage ertoe deed	17	30	98	165	103	9
De resultaten reflecteerden mijn eigen ervaring	17	47	100	175	76	7

Figuur 10-3 Stellingen over het individueel geluidsrapport

Wanneer we kijken naar de antwoorden op de open vragen, zien we, naast de positieve feedback, volgende aspecten meermaals terugkomen als mogelijke verbeterpunten:

- Betere en meer uitgebreide geluidsherkenning
- Meer/minder geluid dan verwacht
- Rapport te technisch/te lang
- Te veel focus op de steden
- Nog meer vergelijkingen (eigen situatie versus andere metingen)

Gezien de complexiteit en enorme uitdaging om deze 10.000 rapporten te genereren en te laten programmeren, waren we beperkt in het personaliseren van de begeleidende teksten. Enkel de figuren werden per deelnemer op maat gemaakt.

Bevragingen

10.6 Eindsymposia

69 respondenten van de eindbevraging (16,5%) hebben effectief één van de symposia bijgewoond. Bijna de helft hiervan (32 respondenten = 46,4%) was in Antwerpen aanwezig, gevolgd door Gent (24 respondenten = 34,8%) en Leuven (13 respondenten = 18,8%). Er is dus voldoende respons vanuit elk georganiseerd symposium.

De algemene ervaring met de symposia was over het algemeen positief (78,3%):

- Zeer positief: 26,1%
- Positief: 52,2%
- Neutraal: 17,4%
- Negatief: 4,3%
- Zeer negatief: 0,0%

In Figuur 10-4 zie je hoe de verschillende stellingen over de symposia werden beoordeeld.

In welke mate ben je het eens met de volgende stellingen? ⁶⁹

In welke mate ben je het eens met de volgende stellingen?	Helemaal oneens	Oneens	Neutraal	Eens	Helemaal eens
Het symposium was goed georganiseerd	0	0	5	42	22
De presentaties waren helder en duidelijk	1	1	7	34	26
De sprekers legden het onderzoek op een toegankelijke manier uit	0	1	4	36	28
Ik heb nieuwe inzichten opgedaan over geluid	3	5	16	33	12
Ik vond het inspirerend om andere deelnemers of de onderzoekers te ontmoeten	0	2	35	20	12
Het symposium gaf me het gevoel dat mijn bijdrage gewaardeerd werd	1	2	10	27	29

Figuur 10-4 Stellingen over de symposia

Naast positieve feedback kwamen volgende verbeterpunten aan bod in de opmerkingen:

- Te lang en te veel herhaling
- Behoeftte aan meer diepgang
- Meer publieksinteractie en een vragenronde

We hebben zelf lang nagedacht over diverse mogelijkheden om een vragenronde te organiseren: het eerste idee was om dit te organiseren met een *catchbox*, maar we vreesden dat sommige burgers dit zouden aangrijpen om hun jarenlange frustraties te delen, wat de gewenste interactie net in de weg zou staan. Een tweede idee was om vragen op voorhand te laten insturen, en dan hiervan een selectie te beantwoorden. Jammer genoeg was er hiervoor gewoonweg niet voldoende tijd, en hebben we al dag en nacht doorgewerkt om de individuele geluidsrapporten tijdig te kunnen doorsturen, alsook de presentaties (en bijhorende analyses) klaar te hebben tegen de symposia. In sommige opmerkingen werd gesuggereerd om de symposia uit te stellen tot er hiervoor wel voldoende tijd was, maar dit hangt dan weer samen met het beschikbare budget en tijd.

10.7 Conclusies

Uit de hierboven samengevatte resultaten en analyses van de opmerkingen komt de overwegend positieve ervaring van de deelnemers naar boven. 75,9% van de respondenten geeft zelfs aan dat ze bereid zijn om in de toekomst opnieuw aan een burgeronderzoek te participeren. Het is natuurlijk onmogelijk om voor iedereen goed te doen: sommige deelnemers wilden nog meer informatie en detail, terwijl anderen het liefst met rust werden gelaten en een zo kort mogelijk verslag wilden krijgen.

De voornaamste verbeterpunten die uit alle open vragen naar boven komen, zijn:

- Scope uitbreiden (indien er een vervolgproject zou komen)
- Betere geluidsbronidentificatie en meer geluidsbronnen
- Meer aandacht voor geluidspieken op het dashboard (niet verversen om de 15 s)
- Meer interactie tijdens de symposia
- Extra aandacht naar hoe de overheden aan de slag zullen gaan met al de verzamelde data



DE OORZAAK

Gezondheidsstudie

11 Slaapstudie

Auteurs: dr. Verena Iven & prof. dr. Johan Verbraecken (Laboratorium Experimentele geneeskunde en Pediatrie, Universiteit Antwerpen & Slaapcentrum, UZA)

11.1 Inleiding

Net zoals een gezonde voeding en voldoende beweging is slaap een essentieel onderdeel van onze gezondheid en welzijn. Tijdens de slaap doorloopt ons lichaam verschillende fasen waarin cruciale processen plaatsvinden. Een goede slaap speelt dus een belangrijke rol bij cognitieve functies zoals concentratie, geheugen en besluitvorming, maar slaap is ook betrokken bij het reguleren van onze stemming en stressrespons.

Een structureel tekort aan kwalitatieve slaap kan ernstige gevolgen hebben. Op korte termijn leidt het tot verminderde alertheid, prikkelbaarheid en vermoeidheid. Een chronisch slaapttekort aan de andere kant kan gelinkt worden aan gezondheidsproblemen zoals hart- en vaatziekten, diabetes mellitus en mentale gezondheidsproblemen.

Gezien de relevantie van slaap voor zowel onze fysieke als mentale gezondheid, is het van groot belang om factoren te onderzoeken die onze slaapkwaliteit kunnen verstoren. Eén van die factoren is onze omgeving. Bij die omgeving denken we al snel aan een goed bed en hoofdkussen, maar een vaak onderschatte factor is omgevingsgeluid, gaande van verkeerslawaai en menselijke stemmen op straat tot natuurlijke geluiden zoals regen of wind. Door beter te begrijpen hoe deze geluiden onze slaap beïnvloeden kunnen we strategieën ontwikkelen om deze slaapverstoringen te vermijden of te beperken.

11.2 Methodologie

Om het effect van omgevingsgeluid enerzijds en de geluidsgevoeligheid anderzijds op de slaap te onderzoeken werden 101 deelnemers geselecteerd waarvan de helft een verhoogde geluidsgevoeligheid gerapporteerd had via de hyperacusis vragenlijst, en de andere helft een normale geluidsgevoeligheid.

Bij deze 101 deelnemers werd thuis een slaaponderzoek opgezet in de periode waarin er buiten aan het slaapkamerraam een slimme geluidssensor van De Oorzaak hing. Onze medewerker bracht vervolgens een tweede, nog gevoeliger, geluidssensor mee die aan het hoofdeinde van het bed van de deelnemer werd geplaatst om zo een beeld te geven van alle geluidsniveaus waaraan de deelnemers tijdens de nacht werden blootgesteld, zie Figuur 11-1. Zo kon deze tweede geluidssensor registreren welke omgevingsgeluiden er van buiten naar binnen doordrongen om de deelnemer, mogelijk, wakker te maken. Daarnaast kon deze sensor ook de geluidsniveaus van binnenshuis registreren.

Naast de registratie van het omgevingsgeluid moest de slaap uiteraard ook gemeten worden. Dit gebeurde op basis van een onbewaakte thuispolysomnografie of slaaponderzoek, zie Figuur 11-2. Tijdens dit onderzoek werden bij de deelnemers elektroden aangebracht op het lichaam om hersengolven, spierspanning, oog- en beenbewegingen te registreren. Daarnaast werden er sensoren gebruikt om de lichaamspositie, ademhaling, snurken, hartslag en het zuurstofgehalte in het bloed te

Gezondheidsstudie

meten. Tot slot, werd in de slaapkamer een camera geplaatst, zie Figuur 11-1, die het bed vanop een hoogte filmde om zo alle bewegingen van de deelnemers goed te kunnen observeren.



Figuur 11-1 Opstelling van de tweede geluidssensor en camera aan het hoofdeinde van het bed en een levensgrote dummy pop waarop de set-up voor een slaaponderzoek werd aangebracht



Figuur 11-2 De slaapsensorkit die voor dit deel van het onderzoek gratis ter beschikking werd gesteld door OSG/Natus

11.3 Resultaten slaapstudie

11.3.1 Demografische gegevens

Voor het slaaponderzoek werden uiteindelijk 101 deelnemers geselecteerd, 40 mannen en 61 vrouwen, waarvan 51 met een normale geluidsgevoeligheid en 50 met een zelfgerapporteerde verhoogde gevoeligheid aan geluid. Helaas zijn de gegevens van twee slaaponderzoeken (in elke subgroep één) door technische problemen niet bruikbaar. De leeftijd varieerde van 24 tot 71 jaar, wat representatief is voor de algemene bevolking. Gemiddeld hadden de deelnemers een leeftijd van 47,4 jaar.

We hebben getracht de sociodemografische gegevens en zelfgerapporteerde geluidshinder zo gelijk mogelijk te verdelen tussen de twee subgroepen, maar waren natuurlijk volledig afhankelijk van de deelnemers die zich hiervoor hadden opgegeven en voldeden aan de vooropgestelde criteria (bijvoorbeeld algemene goede gezondheid en niet-roken). In eerste instantie was dit perfect gelukt, maar na een aantal afzeggingen, werden er actief extra deelnemers gecontacteerd, en kon niet meer rekening gehouden worden met een gelijke verdeling qua gender, leeftijd en opgegeven geluidshinder. Er zijn tussen de twee subgroepen dus (kleine) verschillen, zoals hieronder aangegeven in Tabel 11-1 en Tabel 11-2.

Tabel 11-1 Leeftijd en gender van de 99 effectieve deelnemers aan de slaapstudie

Geluidsgevoeligheid	Man	Vrouw	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	Totaal
Hyperacusis	24	25	5	6	13	10	13	2	49
Controlegroep	16	34	5	10	13	13	8	1	50
Totaal	40	59	10	16	26	23	21	3	99

Tabel 11-2 Zelfgerapporteerde geluidshinder van de 99 effectieve deelnemers aan de slaapstudie (GGB-data)

Geluidsgevoeligheid	Helemaal niet gehinderd	Niet gehinderd	Tamelijk gehinderd	Ernstig gehinderd	Extreem gehinderd	Totaal
Hyperacusis	0	4	25	18	2	49
Controlegroep	0	5	20	22	3	50
Totaal	0	9	45	40	5	99

Gezien de zelfselectiebias en de daaruit volgende hoge zelfgerapporteerde geluidshinder van de meerderheid van de deelnemers, was het ook niet mogelijk om deelnemers te vinden in de categorie "helemaal niet gehinderd".

Om zeker te zijn dat onze deelnemers een goede representatie van de algemene bevolking vertegenwoordigden, vroegen we naar een aantal algemene gezondheidsparameters. Het BMI van 34% van de deelnemers was $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ (overgewicht) en slechts 3% van de deelnemers had obesitas ($\geq 30 \text{ kg/m}^2$). In de algemene bevolking in België ligt dit percentage hoger (47% overgewicht, 15% obesitas), wat dus inhoudt dat de deelnemers van De Oorzaak minder zwaar zijn in vergelijking met de algemene Belgische populatie. Er was geen significant verschil op vlak van geslacht, leeftijd of Body Mass Index (BMI) tussen de hyperacusisgroep en de controlegroep (Tabel 11-3).

Gezondheidsstudie

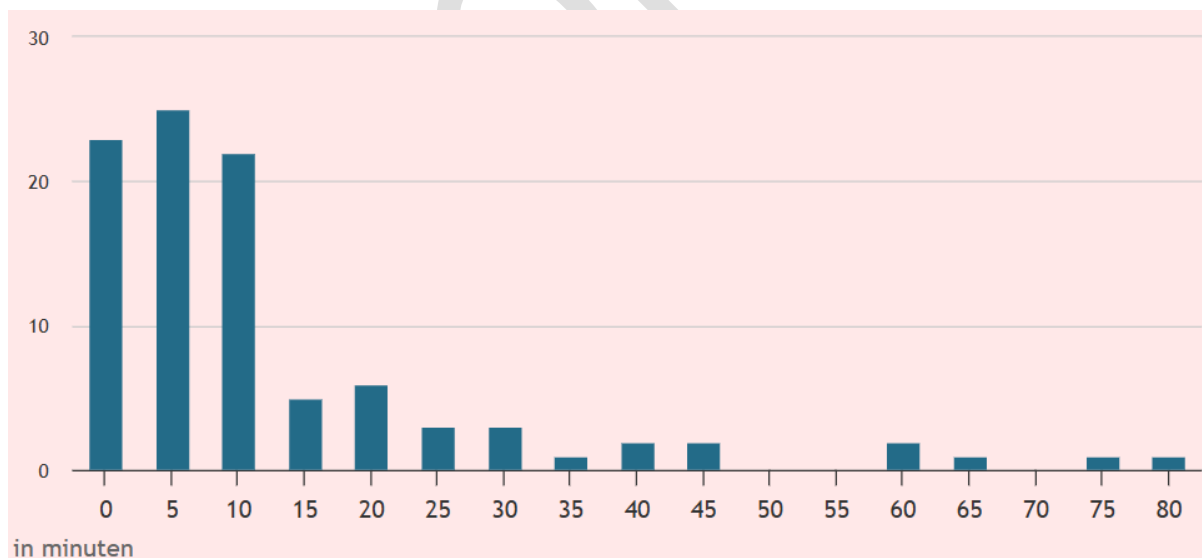
Tabel 11-3 Demografische gegevens - geslacht, leeftijd (in jaren) en BMI in (kg/m²) - voor de hyperacusisgroep en controlegroep

	Geen hyperacusis N = 51	Wel hyperacusis N = 50	Totaal N = 101	p-waarde*
Gender				0,744
Man	21 (41,2%)	19 (38,0%)	40 (39,6%)	
Vrouw	30 (58,8%)	31 (62,0%)	61 (60,4%)	
Leeftijd				0,480
Gemiddelde (SD)	46,5 (12,4)	48,3 (13,2)	47,4 (12,8)	
Mediaan	46,0	49,0	47,0	
Bereik	27,0 - 68,0	24,0 - 71,0	24,0 - 71,0	
BMI (kg/m²)				0,856
Gemiddelde (SD)	23,8 (3,2)	23,7 (3,4)	23,8 (3,3)	
Mediaan	23,5	23,4	23,5	
Bereik	18,7 - 34,1	17,9 - 30,9	17,9 - 34,1	

* Een p-waarde van kleiner of gelijk dan 0,05 duidt op een significant verschil

11.3.2 Hoe lang duurt het totdat deelnemers in slaap vallen?

Op Figuur 11-3 is af te lezen hoe lang de deelnemers er over hebben gedaan om in slaap te vallen. De deelnemers gingen slapen tussen 20u26 en 1u28, waarbij de gemiddelde deelnemer om 23u00 ging slapen. Daarna duurde het gemiddeld 10 minuten vooraleer de meeste deelnemers in slaap vielen. Het record staat op 1 minuut, maar vijf ongelukkige deelnemers hadden meer dan een uur nodig. Het minder benijdenswaardige record voor de langste inslaaptijd staat op 81 minuten.

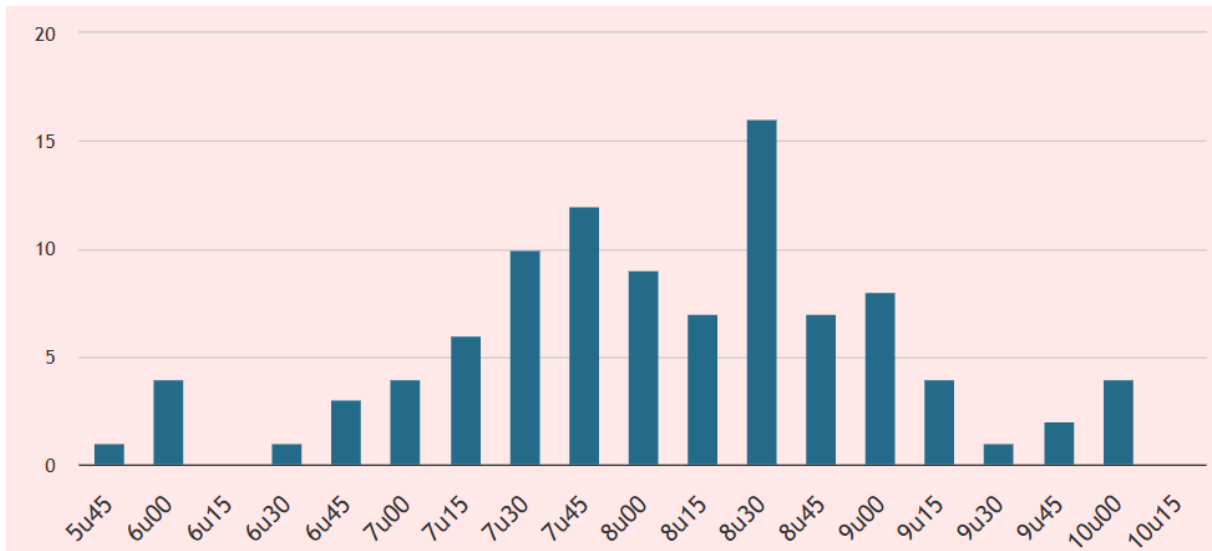


Figuur 11-3 Spreiding van de tijd die nodig is om in slaap te vallen (99 deelnemers)

11.3.3 Hoe lang liggen de deelnemers in bed?

We brachten ook in kaart hoe lang deelnemers in bed lagen, slapend én wakker. De gemiddelde deelnemer spendeert 8 uur en 11 minuten in bed. Het minimum hier was 5u45 en het maximum 10u14, zie Figuur 11-4.

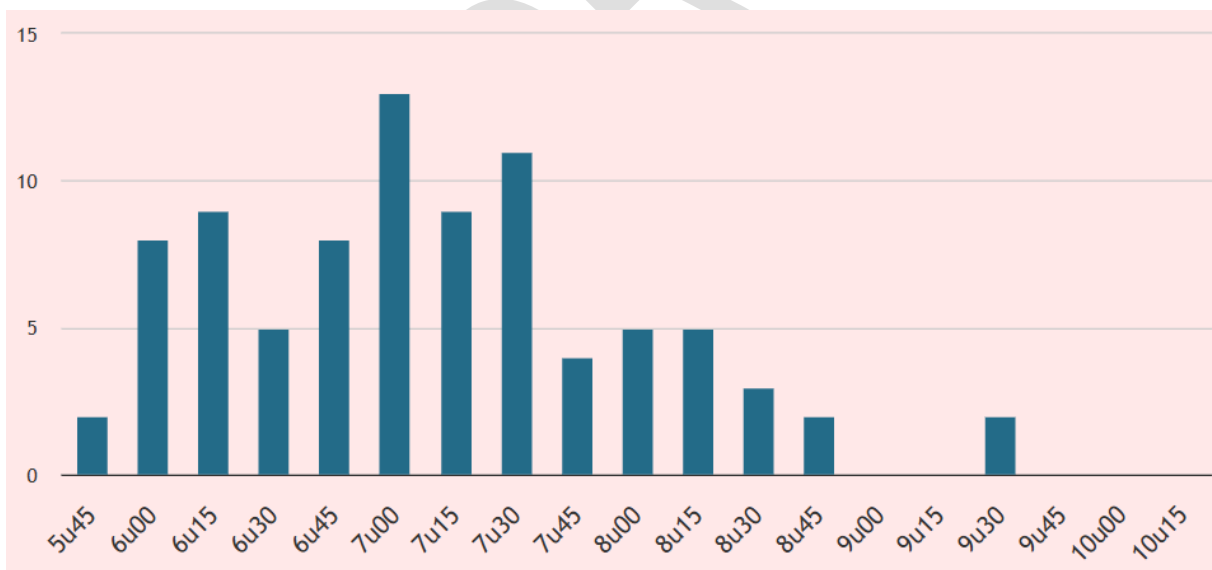
Gezondheidsstudie



Figuur 11-4 Spreiding van de tijd die de deelnemers in bed doorbrachten (99 deelnemers)

11.3.4 Hoe lang werd er geslapen?

Van de tijd die doorgebracht werd in bed slapen de deelnemers gemiddeld 7 uur. De kortste slaper hield het op net geen 5 uur, de langste slaper rondde af op 9,5 uur, zie Figuur 11-5. Bijzonder is dat de vrouwelijke deelnemers met 7u11 significant ($p = 0,037$, onafhankelijke t-test) meer tijd al slapend doorbrachten dan de mannen die slechts 6u44 al slapend doorbrachten.

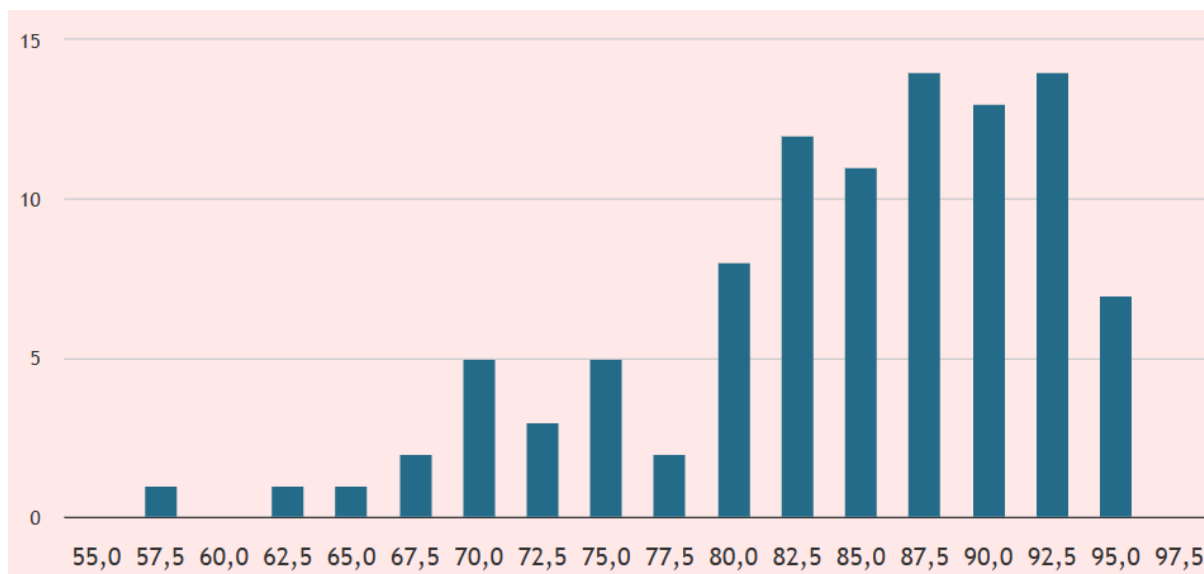


Figuur 11-5 Spreiding van de effectief geslapen tijd (99 deelnemers)

11.3.5 De slaapefficiëntie van de deelnemers

Wordt de tijd in bed optimaal besteed? Nu we weten hoeveel tijd er effectief geslapen wordt en hoeveel tijd de deelnemers in bed doorbrengen, kunnen we berekenen hoe efficiënt er geslapen wordt door beide tijden door mekaar te delen. Gemiddeld genomen hebben de deelnemers een slaapefficiëntie van 87,2%. De best scorende deelnemer had zelfs een score van 96,8%. De laagste slaapefficiëntie bedroeg 57,8%, zie Figuur 11-6.

Gezondheidsstudie



Figuur 11-6 Spreiding van de slaapefficiëntie uitgedrukt in % (99 deelnemers)

11.3.6 Aanwezigheid van slaapapneu

Daarnaast bekeken we of de deelnemers al dan niet een gezonde slaap hadden door te bekijken of er slaapapneu kon worden opgemerkt tijdens de meting. Het grootste aantal van de deelnemers (68,7%) had een normale ademhaling tijdens de nacht, 28,3% had een lichte vorm van slaapapneu en bij 3,0% konden we matig ernstig slaapapneu vaststellen. Dit komt overeen met algemene cijfers die het voorkomen van slaapapneu inschatten op 9-38% van de algemene bevolking²⁵.

11.3.7 Slaperigheid overdag?

Tot slot werd de slaperigheid van onze deelnemers bevraagd door middel van een korte vragenlijst, de Epworth Sleepiness Score (ESS). De meerderheid van de deelnemers (85%) gaf via deze vragenlijst aan geen of een normale vorm van slaperigheid overdag te ondervinden. Desondanks was er bij 15% van de deelnemers sprake van overmatige slaperigheid overdag, wat overeenkomt met data uit voorgaand onderzoek²⁶ dat aantoonde dat 10,8-23% van de algemene populatie een verhoogde slaperigheid overdag heeft.

11.4 Geluidsgevoeligheid en slaap

Wanneer we keken naar de geluidsgevoeligheid bij de deelnemers hadden 50 deelnemers een normale gevoeligheid voor geluid en 49 een verhoogde geluidsgevoeligheid. Deze groepen waren gelijkaardig samengesteld, met andere woorden, deelnemers waren quasi gelijk verdeeld over deze groepen qua leeftijd, geslacht en BMI. Er was echter geen invloed van geluidsgevoeligheid op de slaperigheid of de verdeling van de verschillende slaapstadia bij de deelnemers. Er zou verwacht kunnen worden dat een verhoogde geluidsgevoeligheid overdag ook zou resulteren in een verhoogde geluidsgevoeligheid tijdens de nacht, waardoor deze deelnemers vaker wakker zouden worden en dus minder goed zouden slapen. Daarnaast zou een verhoogde gevoeligheid aan geluid ervoor kunnen zorgen dat de

²⁵ Senaratna et al. Prevalence of obstructive sleep apnea in the general population: A systematic review. *Sleep Med Rev.* 2017 Aug; 34:70-81. doi: 10.1016/j.smrv.2016.07.002.

²⁶ Sander et al. Normative values of the Epworth Sleepiness Scale (ESS), derived from a large German sample. *Sleep Breath.* 2016 Dec; 20(4):1337-1345. doi: 10.1007/s11325-016-1363-7.

Gezondheidsstudie

deelnemers meer hinder ondervinden van geluid tijdens de inslaaperperiode en hierdoor moeilijker in slaap vallen. Dit blijkt bij onze deelnemers niet het geval te zijn.

Dat we deze effecten niet zien, kan verschillende mogelijke verklaringen hebben. Enerzijds kan het zijn dat we met onze twee groepen van slechts 50 deelnemers, niet voldoende aantallen hebben om de aanwezige effecten ook effectief te kunnen aantonen. Daarnaast is uit voorgaand onderzoek gebleken dat het effect van geluidsgevoeligheid op de slaap voornamelijk gebaseerd is op de perceptie van mensen. Met andere woorden, wat mensen ervaren komt vaak niet overeen met wat er effectief gemeten wordt. Dit lijkt bij onze deelnemers ook het geval te zijn. Wanneer we bijvoorbeeld vragen hoelang deelnemers inschatten dat het duurt vooraleer ze in slaap vallen, hebben deelnemers met een verhoogde geluidsgevoeligheid de neiging een langere inslaaptijd te rapporteren ($p = 0,059$). Wanneer we dit echter effectief meten tijdens het slaaponderzoek duurt het even lang voor deelnemers met en zonder verhoogde geluidsgevoeligheid om in slaap te vallen. Daarnaast geven meer deelnemers met een verhoogde geluidsgevoeligheid aan dat ze vaker per week moeite hebben met doorslapen. Een verschil dat opnieuw niet werd opgemerkt in de objectieve slaaponderzoeken.

11.5 Analyse effect van geluidsmetingen op slaapkwaliteit

Om het effect van (omgevings)geluid op de slaapkwaliteit te beoordelen, moest het geluid in de slaapomgeving van de deelnemer gemeten worden. Dit gebeurde op basis van twee geluidssensoren die tijdens de slaapmeting aanwezig waren: de geluidssensor buiten aan het slaapkamerraam en de geluidssensor binnen in de slaapkamer aan het hoofdeinde van de deelnemer. Op basis van de geluidsniveaus, geregistreerd door beide geluidssensoren, werd een score toegekend voor de luidheid van de buiten- en binnenomgeving. Beide scores werden opgeteld om zo een score te bekomen voor de slaapomgeving van de deelnemer. Op deze manier werd het omgevingsgeluid buiten, de geluidsisolatie van de woning, maar ook geluid binnenshuis in rekening gebracht, aangezien al deze factoren bijdragen aan de geluidsblootstelling tijdens de slaap.

De deelnemers waren evenredig verdeeld over luidere en stillere slaapomgevingen wat betreft leeftijd en BMI. Wanneer we vervolgens de vergelijking maakten in de slaperigheid van deelnemers in een stillere ten opzichte van luidere slaapomgeving, zagen we dat hier geen verschillen in aanwezig waren. Ook de tijd om in slaap te vallen, verschilde niet tussen luidere of stillere slaapomgevingen. Verder was er geen invloed van omgevingsgeluid op de verschillende slaapstadia of andere algemene aspecten van de slaap van de deelnemers.

Hiervoor zijn een aantal mogelijke verklaringen. Zo is het mogelijk dat er gewenning is opgetreden bij deze deelnemers waardoor luide(re) geluiden hun slaap niet meer beduidend verstoren. Er is ook geen verschil in hoe deelnemers in luidere ten opzichte van stillere slaapomgevingen hun slaap beoordelen. Dit ondersteunt het idee dat er geluidsgewenning heeft opgetreden.

Daarnaast is het mogelijk dat een kleinere tijdsresolutie nodig is om de effecten van geluid op de slaap juist te beoordelen. Als een geluid zorgt voor een kleine ontwaking of slaapverstoring van enkele seconden, zal dit mogelijks weinig verschil in de verdeling van de slaapstadia veroorzaken. Maar er is wel geweten dat deze kleine verstoringen een effect kunnen hebben op gezondheid en levenskwaliteit. Om zeker te zijn dat we in ons geval dus geen effect zien van omgevingsgeluid op de slaap, moet er in meer detail geanalyseerd worden, wat in de komende maanden zal gebeuren.

11.6 Conclusies en verder onderzoek

We zijn er met de slaapstudie binnen De Oorzaak in geslaagd om een mooie weerspiegeling van de algemene bevolkingspopulatie te verwezenlijken in onze studiepulatie. Bevindingen van dit onderzoek kunnen dus vertaald worden naar de situatie in andere Vlaamse stedelijke gebieden. Echter is de steekproef relatief klein, wat het vinden van statistische significante resultaten bemoeilijkt.

In ons onderzoek werd aangetoond dat de aan- of afwezigheid van een verhoogde geluidsgevoeligheid geen invloed heeft op de macrostructuur van de slaap. Daarnaast werd ook vastgesteld dat er geen direct verband is tussen het geluidsniveau in de slaapomgeving en de macrostructuur of slaapkwaliteit van de deelnemers. Dit wil echter niet zeggen dat omgevingsgeluid de slaap niet beïnvloedt, maar dat het mogelijk nodig is om dit effect in meer detail te analyseren.

In de toekomst zal nog verder gekeken worden naar de aanwezigheid van *arousals* gekoppeld aan externe geluiden. Het bepalen van de *arousal threshold* gekoppeld aan interne 'events' is op heden niet mogelijk gezien deze berekeningen steeds gebaseerd zijn op een populatie met obstructief slaapapneu. Het zou nuttig, echter zeer complex, zijn voor toekomstig onderzoek om deze berekeningen ook mogelijk te maken in een controlepopulatie.

Voor toekomstig onderzoek impliceert dit dat een meer verfijnde analyse nodig is waarin geluidsgebeurtenissen op korte tijdschaal gekoppeld worden aan fysiologische slaapreacties en individuele gehoorkenmerken. De in dit project opgebouwde dataset biedt hiervoor een unieke uitgangspositie. Verdere analyses kunnen bijdragen aan het identificeren van kwetsbare subgroepen en aan het ontwikkelen van verder gerichte en proportionele beleidsmaatregelen.

12 Gehooronderzoek

Auteurs: prof. dr. Laure Jacquemin & prof. dr. Olivier Vanderveken (Translationele Neurowetenschappen, Universiteit Antwerpen & Neus-, keel- en oorziekten, UZA)

12.1 Inleiding

Naast de objectieve geluidsblootstelling kan ook het gehoor en de individuele gevoeligheid voor geluid een belangrijke mogelijke verklarende factor zijn voor de mate waarin geluidshinder wordt ervaren. Uit eerder onderzoek is immers bekend dat niet alle personen in gelijke mate hinder ondervinden bij identieke geluidsniveaus. Het gehoor kan dus een intermediaire rol spelen in de omzetting van omgevingsgeluid naar subjectieve hinderbeleving en mogelijke slaapverstoring.

Het opnemen van audiologisch onderzoek en de beoordeling van geluidsgevoeligheid binnen dit burgeronderzoek laat daarom toe om te onderzoeken of mensen met een verhoogde geluidsgevoeligheid ook kwetsbaarder zijn voor slaapverstoring door omgevingsgeluid. Deze geïntegreerde benadering maakt het mogelijk om de relatie tussen geluidsblootstelling, slaapkwaliteit en hinderbeleving beter te begrijpen. Dit is essentieel om niet alleen algemene beleidsmaatregelen te onderbouwen, maar ook om gerichte en proportionele preventiestrategieën te ontwikkelen voor kwetsbare subgroepen binnen de bevolking. Door omgevingsgeluid, slaap in de eigen thuissituatie en gehoor in samenhang te bestuderen, levert dit project waardevolle en beleidsrelevante kennis aan voor de verdere onderbouwing van het gezondheids- en preventiebeleid.

12.2 Methodologie

Binnen het gehooronderzoek werden diverse objectieve gehooronderzoeken in het UZA uitgevoerd, zoals in de volgende paragrafen beschreven.

12.2.1 Gehoordrempels

Met een tonale audiometrie werden de luchtgeleidingsdrempels voor het linker- en rechteroor tussen 125 Hz en 16 kHz bepaald volgens de klinische normen (ISO 8253-1, 2010) met behulp van een tweekanaals Interacoustics AC-40 audiometer in een geluidsdichte audiocabine. De gemiddelde gehoordrempels voor de lage frequenties (PTA-low: 0,5, 1 en 2 kHz) en hoge frequenties (PTA-high: 1, 2 en 4 kHz) werden berekend per oor.

12.2.2 Otoakoestische emissies

Daarnaast werden er *Distortion Product Otoacoustic Emissions* (DPOAE's) uitgevoerd. Deze test geeft een indicatie van de haarcelfunctie voor het linker- en rechteroor. DPOAE's worden opgewekt door gebruik te maken van een set van twee zuivere toonfrequenties (f_1 en f_2) die dicht bij elkaar liggen en gelijktijdig worden aangeboden op een niveau van 55 dB SPL voor f_1 en 65 dB SPL voor f_2 . DPOAE's worden geregistreerd in het frequentiegebied van 1 kHz tot 6 kHz.

12.2.3 hearWHO gehoorscreening

De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) heeft een mobiele en webgebaseerde softwareapplicatie ontwikkeld voor gehoorscreening. De hearWHO-app is gebaseerd op gevalideerde *digits-in-noise*-technologie. De app biedt 23 reeksen van drie cijfers aan met een ruis op de achtergrond. De deelnemer moet reageren door de uitgesproken cijfers te identificeren. De reacties worden gebruikt om de signaal-ruisverhouding te schatten waarbij de deelnemer de cijfers nog net kan verstaan, wat een indicatie geeft van iemands gehoorvermogen. De hearWHO-app geeft een score tussen 0 en 100. Hoe lager de score, hoe groter het gehoorverlies waarschijnlijk is. Een score hoger dan 75 duidt op een normaal gehoor. De hearWHO test werd afgenomen door de deelnemers zelf op een tablet met een gekoppelde hoofdtelefoon.

12.2.4 Oncomfortabele luidheidsniveaus

Het *Uncomfortable Loudness Level* (ULL) is het minimale geluidsniveau dat als oncomfortabel luid wordt ervaren, afzonderlijk voor het linker- en rechteroor. De ULL-test werd uitgevoerd in dezelfde omgeving als de tonale audiometrie (d.w.z. geluidsdichte audiocabine), met dezelfde frequentievolgorde als voor het audiogram, voor frequenties tussen 125 Hz en 8 kHz. Om ongemak te voorkomen was het startniveau gelijk aan de gemeten gehoordrempel van de testfrequentie. We presenteerden een toon van 1 seconde, gevolgd door een stilteperiode van minimaal 1 seconde. Vervolgens verhoogden we de stimulus met 5 dB en presenteerden we de stimulus opnieuw. De deelnemer werd geïnstrueerd om de hand op te steken zodra het geluid een niveau bereikte dat als onaangenaam ervaren werd. We stopten de test onmiddellijk als de deelnemer reageerde of als de deelnemer tekenen van ongemak vertoonde. Niveaus boven 95 dB HL werden niet afgenomen. Indien de ULL niet werd bereikt bij 95 dB HL, werd de ULL bij de testfrequentie geregistreerd als 100 dB HL (BSA-richtlijnen). Wanneer de minimale ULL ≤ 77 dB HL is, duidt dit op geluidsgevoeligheid. De minimale ULL werd berekend door het gemiddelde van de ULL-waarden over alle frequenties van elk oor afzonderlijk te nemen en het oor met de laagste gemiddelde ULL-waarde te selecteren.

12.2.5 Tablet test

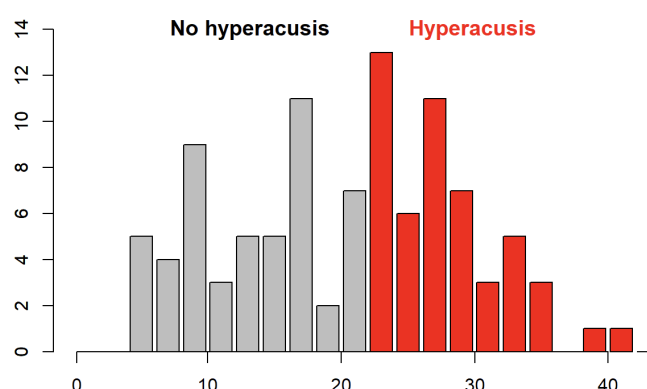
Een nieuwe benadering waarbij psycho-akoestische beoordelingen van natuurlijke geluiden worden gebruikt als beoordelingsinstrument voor hyperacusis, werd uitgevoerd op een tablet. De deelnemers kregen zeven geluiden te horen op drie geluidsniveaus (60, 70, 80 dB SPL). De taak was om deze geluiden te beoordelen op een visuele analoge schaal van aangenaam tot onaangenaam. Het resultaat werd vergeleken met de genormaliseerde score om te bepalen of de deelnemer geluidsgevoelig was.

12.3 Resultaten

Hierna volgen de resultaten voor de hierboven vermelde onderzoeken, alsook van de hyperacusis-vragenlijst.

12.3.1 Hyperacusisvragenlijst (HQ)

De HQ bestaat uit 14 items, die worden gescoord op een vierpuntsschaal. Hoe hoger de score op de HQ, hoe lager de tolerantie voor alledaagse geluiden. Een minimale score van 22 van de 42 punten werd gebruikt als diagnostisch criterium en duidt op hyperacusis. De deelnemers werden geïnccludeerd op basis van hun scores op de hyperacusisvragenlijst (HQ). HQ toonde een gemiddelde score van 20/42 (bereik 4-41/42). Volgens de HQ-score hadden 50 deelnemers hyperacusis en 51 niet (zie Figuur 12-1).



Figuur 12-1 Histogram van de totaalscore op de hyperacusisvragenlijst (n = 101).
In het rood is de hyperacusisgroep aangeduid, en in het grijs de controlegroep

Voor de hyperacusisgroep was de HQ-score gemiddeld 27/42, terwijl deze voor de controlegroep 13/42 was (Tabel 12-1).

Tabel 12-1 Gemiddelde (met standaarddeviatie), mediaan en bereik voor de score op de Hyperacusisvragenlijst (HQ) voor de hyperacusisgroep en de controlegroep.

HQ	Geen hyperacusis N = 51	Wel hyperacusis N = 50	Totaal N = 101
Gemiddelde (SD)	12,7 (5,1)	27,3 (4,5)	19,9 (8,7)
Mediaan	13	26	21
Bereik	4 - 21	22 - 41	4 - 41

Gezondheidsstudie

12.3.2 Tonale audiometrie

Op basis van de tonale audiometrie konden de deelnemers onderverdeeld worden in een groep met gehoorverlies en een groep zonder gehoorverlies. De groep met gehoorverlies kon nog verder onderverdeeld worden in unilateraal gehoorverlies (aan één oor) of bilateraal gehoorverlies (aan twee oren). Er was een trend voor meer mensen met gehoorverlies in de hyperacusisgroep, maar deze was niet significant (Tabel 12-2).

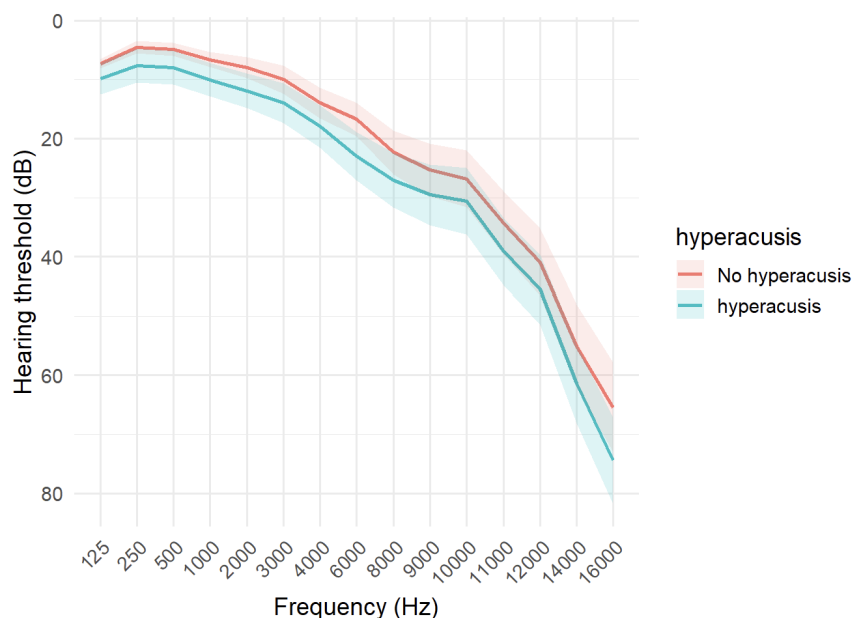
Tabel 12-2 Aantal mensen met normaal gehoor en gehoorverlies (unilateraal of bilateraal) voor de hyperacusisgroep en controlegroep

	Geen hyperacusis N = 51	Wel hyperacusis N = 50	Totaal N = 101	p-waarde*
Gehoорverlies?				0,177
Normaal gehoor	38 (74,5%)	31 (62,0%)	69 (68,3%)	
Gehoорverlies	13 (25,5%)	19 (38,0%)	32 (31,7%)	
Gehoорverlies?				0,465
Normaal gehoor	38 (74,5%)	31 (62,0%)	69 (68,3%)	
Unilateraal gehoorverlies	3 (5,9%)	5 (10,0%)	8 (7,9%)	
Bilateriaal gehoorverlies	10 (19,6%)	14 (28,0%)	24 (23,8%)	

* Een p-waarde van kleiner of gelijk aan 0,05 duidt op een significant verschil

De trend voor een verminderd gehoor in de hyperacusisgroep is ook visueel zichtbaar in Figuur 12-2, waar de gehoördrempels per frequentie (toonhoogte) worden weergegeven.

Verloop over alle frequenties (X-as op categorie, error bars = $\pm 1.96 \times$ Standard error)



Figuur 12-2 Lijngrafiek van de gehoördrempels per frequentie, gemeten met tonale audiometrie hyperacusisgroep (blauw) en controlegroep (rood)

Gezondheidsstudie

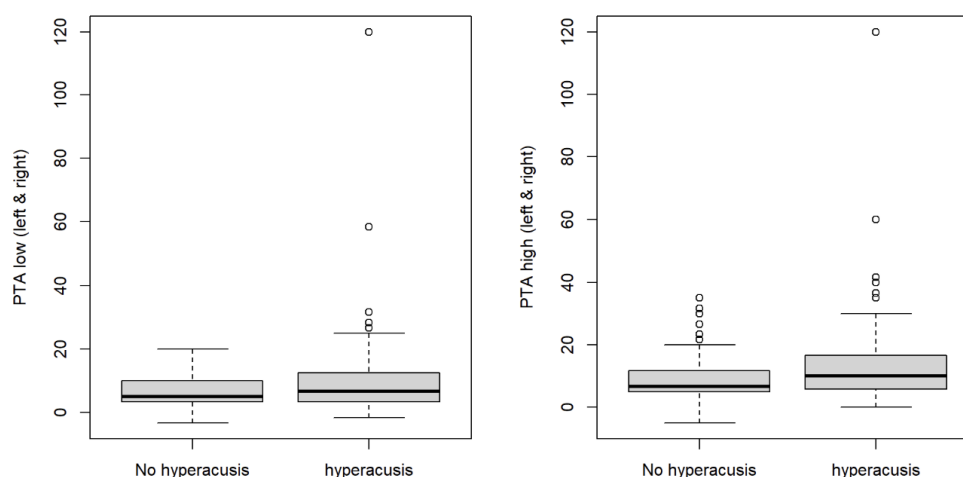
Wanneer we de gemiddelde gehoordrempel van het slechtste oor berekenen voor beide groepen, zien we evenmin een significant verschil (zie Tabel 12-3).

Tabel 12-3 Gemiddelde gehoordrempels voor de hyperacusisgroep en controlegroep. Pure Tone Average (PTA)-low is de gemiddelde gehoordrempel voor 500, 1000 en 2000 Hz. PTA-high is de gemiddelde gehoordrempel voor 1000, 2000 en 4000 Hz. Deze waarden werden berekend voor het slechtste oor van de deelnemer.

	Geen hyperacusis N = 51	Wel hyperacusis N = 50	Totaal N = 101	p-waarde*
PTA-low (slechtste oor)				0,216
Gemiddelde (SD)	7,8 (5,8)	12,5 (18,3)	10,1 (13,7)	
Mediaan	6,7	6,7	6,7	
Bereik	-1,7 - 20,0	0,0 - 120,0	-1,7 - 120,0	
PTA-high (slechtste oor)				0,125
Gemiddelde (SD)	10,9 (8,1)	15,9 (18,5)	13,3 (14,4)	
Mediaan	8,3	10,0	10,0	
Bereik	-1,7 - 35,0	0,0 - 120,0	-1,7 - 120,0	

* Een p-waarde van kleiner of gelijk aan 0,05 duidt op een significant verschil.

Figuur 12-3 geeft de gemiddelde gehoordrempels (PTA-low en PTA-high) weer voor beide groepen.



Figuur 12-3 Boxplots voor PTA-low (gemiddelde gehoordrempel voor 500, 1000 en 2000 Hz) en PTA-high (gemiddelde gehoordrempel voor 1000, 2000 en 4000 Hz) voor beide oren vergeleken tussen hyperacusisgroep en controlegroep

Gezondheidsstudie

12.3.3 DPOAE

Er is een trend voor meer mensen met gehoorschade in de hyperacusisgroep t.o.v. de controlegroep, wanneer we kijken naar de aanwezigheid van DPOAE's (Tabel 12-4).

Tabel 12-4 Het resultaat van de Distortion Product Otoacoustic Emission (DPOAE) voor het linkeroor, rechteroor, en beide oren samen voor de hyperacusisgroep en controlegroep

	Geen hyperacusis N = 51	Wel hyperacusis N = 50	Totaal N = 101	p-waarde*
DPOAE links				
Afwezig	2 (3,9%)	8 (16,0%)	10 (9,9%)	
Aanwezig	49 (96,1%)	42 (84,0%)	91 (90,1%)	
DPOAE rechts				
Afwezig	1 (2,0%)	3 (6,0%)	4 (4,0%)	
Aanwezig	50 (98,0%)	47 (94,0%)	97 (96,0%)	
DPOAE-resultaat				0,140
Bilaterale schade	1 (2,0%)	3 (6,0%)	4 (4,0%)	
Unilaterale schade	1 (2,0%)	5 (10,0%)	6 (5,9%)	
Geen schade	49 (96,1%)	42 (84,0%)	91 (90,1%)	
DPOAE-resultaat				0,051
Geen schade	49 (96,1%)	42 (84,0%)	91 (90,1%)	
Wel schade	2 (3,9%)	8 (16,0%)	10 (9,9%)	

* Een p-waarde van kleiner of gelijk aan 0,05 duidt op een significant verschil.

12.3.4 hearWHO

De gehoorscreening met de hearWHO applicatie wijst op een gehoorverlies bij 8 personen (Tabel 12-5). Dit is niet in overeenkomst met de tonale audiometrie. Er zijn nl. 24 deelnemers met een gehoorverlies op de tonale audiometrie die niet werden opgepikt met deze gehoorscreening.

Tabel 12-5 Score op de hearWHO app voor de normaalhorenden en de deelnemers met een gehoorverlies (op basis van de tonale audiometrie). Op basis van deze score kan een onderverdeling gemaakt worden in normaalhorend of een indicatie voor gehoorverlies

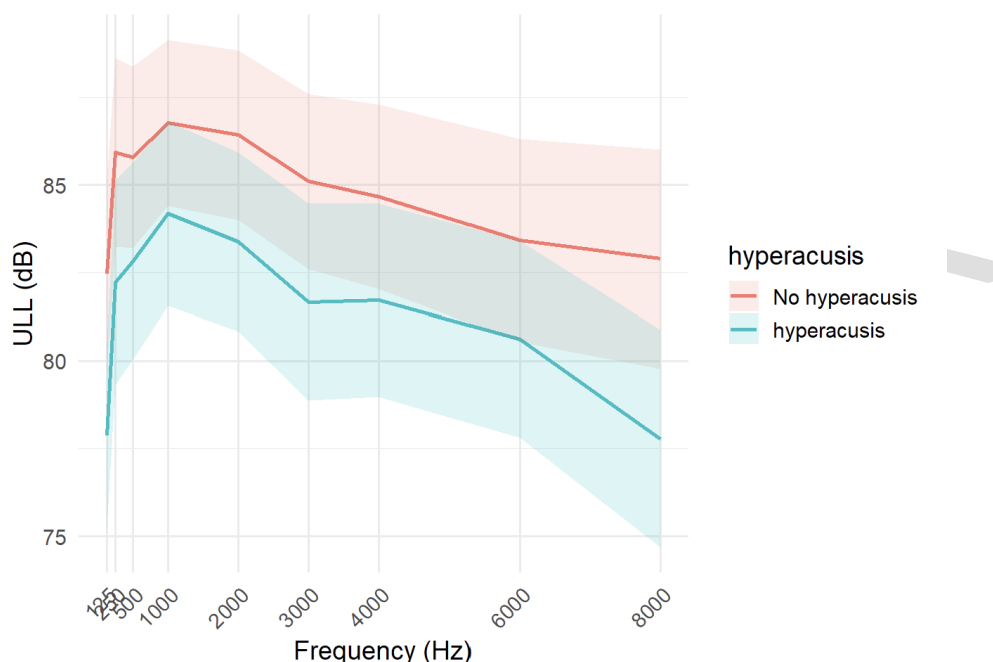
	Normaal gehoor N = 69	Gehoorgeverlies N = 32	Totaal N = 101
hearWHO score			
Mediaan	90	80	81,4 (13,1)
Q1, Q3	90, 100	77,5, 90	83,3
Bereik	80 - 100	40 - 100	41,7 - 100,0
Resultaat hearWHO app			
Normaal gehoor	69 (100,0%)	24 (75,0%)	64 (63,4%)
Gehoorschade	0 (0,0%)	8 (25,0%)	37 (36,6%)

Gezondheidsstudie

12.3.5 Uncomfortable Loudness Levels (ULLs)

De trend voor verminderde tolerantielevels in de hyperacusisgroep is visueel zichtbaar in Figuur 12-4, waar de ULLs per frequentie worden weergegeven. Er is echter geen significant verschil in ULL over alle frequenties heen tussen beide groepen ($p = 0,12$).

Verloop over alle frequenties (X-as op frequentie, error bars = $\pm 1.96 \times$ Standard error)



Figuur 12-4 Lijngrafiek van Uncomfortable Loudness Levels (ULLs) per frequentie voor hyperacusisgroep (blauw) en controlegroep (rood).

Ook de gemiddelde ULL of diagnose van geluidsgevoeligheid op basis van ULL is niet significant verschillend tussen de beide groepen (Tabel 12-6).

Tabel 12-6 Minimale Uncomfortable Loudness Levels (ULLs) voor de hyperacusisgroep en controlegroep. Op basis van de ULLs kan ook een onderverdeling gemaakt worden in normale tolerantieniveaus (geen hyperacusis) en verlaagde tolerantieniveaus (wel hyperacusis)

	Geen hyperacusis N = 51	Wel hyperacusis N = 50	Totaal N = 101	p-waarde*
ULL gemiddeld				0,170
Gemiddelde (SD)	83,1 (12,9)	79,6 (13,2)	81,4 (13,1)	
Mediaan	83,9	81,7	83,3	
Bereik	53,9 - 100,0	41,7 - 100,0	41,7 - 100,0	
Diagnose ULL				0,268
Geen hyperacusis	35 (68,6%)	29 (58,0%)	64 (63,4%)	
Wel hyperacusis	16 (31,4%)	21 (42,0%)	37 (36,6%)	

* Een p-waarde van kleiner of gelijk aan 0,05 duidt op een significant verschil

Gezondheidsstudie

12.3.6 Tablet test

Er werd geen significant verschil gevonden op het resultaat van de tablet test tussen de hyperacusisgroep en de controlegroep (Tabel 12-7).

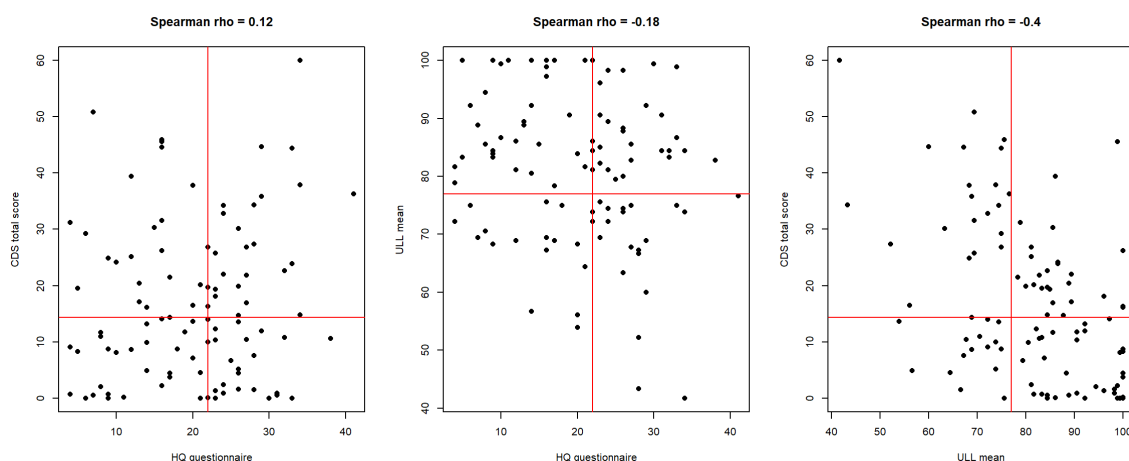
Tabel 12-7 Totaalscore op de tablet test (CDS totaalscore) voor de hyperacusisgroep en controlegroep

	Geen hyperacusis N = 51	Wel hyperacusis N = 50	Totaal N = 101	p-waarde*
CDS totaalscore				0,569
Gemiddelde (SD)	16,0 (13,9)	17,3 (14,1)	16,7 (13,9)	
Mediaan	12,5	14,8	13,8	
Bereik	0,0 - 50,8	0,0 - 59,9	0,0 - 59,9	
Diagnose tablet test				0,423
Geen hyperacusis	28 (56,0%)	24 (48,0%)	52 (52,0%)	
Wel hyperacusis	22 (44,0%)	26 (52,0%)	48 (48,0%)	

* Een p-waarde van kleiner of gelijk aan 0,05 duidt op een significant verschil

12.3.7 Vergelijking tussen meetinstrumenten voor hyperacusis

Er is jammer genoeg geen goede overeenkomst tussen de drie verschillende meetinstrumenten (Figuur 12-5). Dit betekent mogelijk dat de HQ-vragenlijst, ULLs en tablet test elk een ander construct van geluidsgevoeligheid meten.



Figuur 12-5 Correlatieplot voor de score van de hyperacusisvragenlijst (HQ), gemiddelde Uncomfortable Loudness Levels (ULL mean), en de score op de tablet test (CDS total score)

12.4 Conclusies

Er was een trend in de verzamelde data voor een frequenter optreden van gehoorschade en een verminderd gehoor bij de deelnemers in de hyperacusisgroep. Dit wijst erop dat gehoorschade en/of -verlies een risicofactor kan zijn voor het ontwikkelen van geluidsgevoeligheid. Dit is belangrijke informatie wanneer we naar de resultaten uit De Oorzaak kijken, waarbij er een associatie werd gevonden tussen geluidshinder en geluidsgevoeligheid. Gehoor lijkt dus een belangrijke intermediaire rol te spelen in de perceptie en impact van geluid.

Een bijkomende belangrijke bevinding van dit onderzoek betreft de meting van geluidsgevoeligheid. De beperkte overeenkomst tussen de Hyperacusis Questionnaire (HQ), de oncomfortabele luidheidsniveaus (ULLs) en de tablet-gebaseerde test suggereert dat geluidsgevoeligheid een multidimensionaal fenomeen is, waarin subjectieve beleving, auditieve tolerantie en perceptuele verwerking elk een eigen rol spelen. Dit impliceert dat geluidsgevoeligheid niet kan worden gereduceerd tot één enkele score of drempelwaarde. Deze studie levert hiermee een belangrijke methodologische basis voor de verdere ontwikkeling en verfijning van meetstrategieën rond geluidsgevoeligheid.

13 Stressonderzoek

Auteurs: Prof. dr. ir. Irina Spacova en Margo Hiel (Laboratorium voor Toegepaste Microbiologie en Biotechnologie (LAMB), Departement Bio-ingenieurswetenschappen, Universiteit Antwerpen)

13.1 Inleiding en doelstellingen

Ons lichaam reageert op stress door cortisol aan te maken. Bij acute stress stijgt de speekselcortisol tijdelijk, wat ons kan helpen om te focussen en energie vrij te maken. Langdurige of herhaalde stress kan het cortisolsysteem ontregelen, wat samenhangt met klachten zoals vermoeidheid, slaapproblemen en verminderde weerstand. Omdat cortisol niet-invasief in speeksel kan worden gemeten, is het een bruikbare merker voor stress gerelateerd aan omgevings- en andere factoren.

Hier bespreken we de resultaten van de speekselcortisolmetingen bij deelnemers van de gezondheidsstudie van De Oorzaak. Met deze metingen wilden we nagaan of blootstelling aan meer omgevingsgeluid gepaard gaat met hogere speekselcortisolniveaus als merker van stress. We leggen de cortisolwaarden ook naast gegevens over slaap, gehoor en zelfgerapporteerde stress (via de wekelijkse vragenlijsten). Zo krijgen we een beter zicht op de samenhang tussen deze factoren en kunnen we in de toekomst gerichtere maatregelen nemen om de gezondheidslast te verminderen.

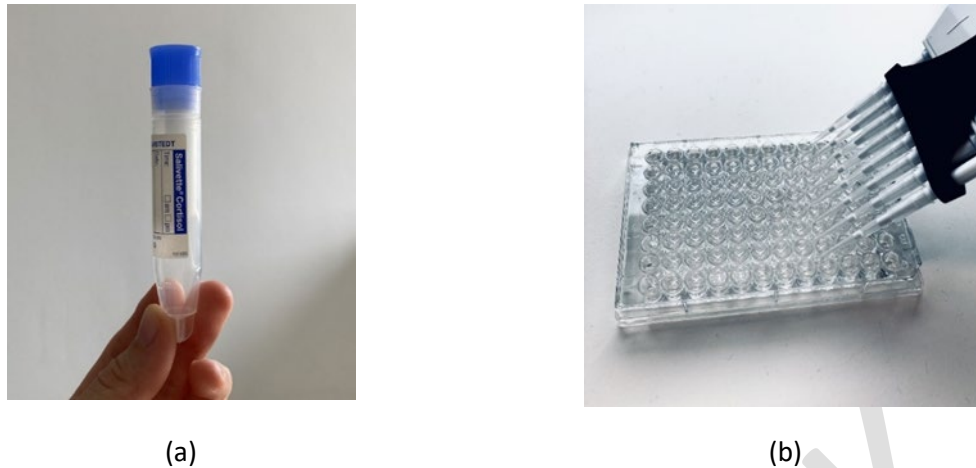
13.2 Methodologie

13.2.1 Staalname en analyse

Van alle 101 deelnemers van het slaaponderzoek (40 vrouwen, 61 mannen) werden speekselstalen verzameld. De stalen werden afgenomen op het moment dat het slaaponderzoek werd opgezet bij de deelnemers thuis. We vroegen deelnemers een Salivette® Cortisol te gebruiken, een steriele buis met een synthetische swab die 1-2 minuten in de mond werd gehouden (zie Figuur 13-1 (a)), waarna de swab terug in de buis ging. De buis werd afgesloten en koel bewaard. In het labo werd het speeksel via centrifugatie uit de swab gehaald voor de cortisolbepaling.

De cortisolstalen werden geanalyseerd door middel van ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*), zie Figuur 13-1 (b). Dat is een labomethode die een stof in speeksel zoals cortisol zichtbaar maakt met antistoffen (eiwitten die heel specifiek cortisol herkennen) en een kleurreactie. Hiervoor brengen we een beetje speeksel op een testplaat, voegen reagentia toe die aan cortisol binden en een kleurtje vormen. Een toestel leest die kleur nauwkeurig uit en vergelijkt die met standaardstalen om het resultaat in een cortisolconcentratie om te zetten. Cortisolwaarden werden genormaliseerd door deling door een interne referentie en vermenigvuldiging met het algemene gemiddelde.

Gezondheidsstudie



Figuur 13-1 (a) Salivette®-buisje dat deelnemers gebruikten om speeksel te verzamelen voor cortisolanalyse en (b) pipetteren van speekselstalen op een ELISA-testplaat in het laboratorium

13.2.2 Correlaties met omgevingsgeluid-, gehoor-, slaapstudie-, en vragenlijstparameters

Achteraf werden alle cortisol-, omgevingsgeluid-, gehoor-, slaapstudie-, en vragenlijstdata samen geanalyseerd met statistische methoden. Meer specifiek werden correlaties tussen elk van de hieronder vermelde parameters en cortisol onderzocht met behulp van lineaire modellen die ook rekening hielden met factoren zoals het tijdstip van staalname, geslacht en leeftijd.

De geanalyseerde audiologische parameters omvatten de *Uncomfortable Loudness Level* (ULL)-*thresholds* voor het linker- en rechteroor, de geluidsniveaus waarbij geluid voor een persoon als onaangenaam luid wordt ervaren. Daarnaast werden drie aanvullende variabelen berekend. Ten eerste werd op basis van de ULL-drempels voor beide oren de minimumwaarde bepaald. Wanneer deze minimumwaarde lager was dan 77 dB, werd de deelnemer geclassificeerd met een verhoogde gevoeligheid voor geluid. Eenzelfde classificatie werd uitgevoerd met behulp van de hyperacusis vragenlijst, waarbij een score hoger dan 22 eveneens als verhoogde geluidsgevoeligheid werd beschouwd. Tot slot werd het algemene gehoorniveau vastgesteld door de *Pure Tone Average* (PTA) te berekenen. Deze werd gedefinieerd als het gemiddelde van de gehoordrempels bij 1000, 2000 en 4000 Hz.

De slaapparameters omvatten de tijd gespendeerd in ieder slaapstadium (stadia 1-3 en droomsleep), totale slaapduur, slaapefficiëntie, tijd om in te slapen en tijd wakker gedurende de nacht.

De omgevingsgeluidparameters omvatten het gemiddelde geluidsniveau tijdens de dag en nacht, de piek geluidsniveaus en de variatie in geluidsniveaus, zowel binnen als buiten de woning van de deelnemers. Voor de analyses werden uitsluitend geluidsmetingen binnenshuis van de nacht van de slaapstudie gebruikt, evenals buitengeluidmetingen van zowel de 24 uur als de zeven dagen voorafgaand aan de slaapstudie.

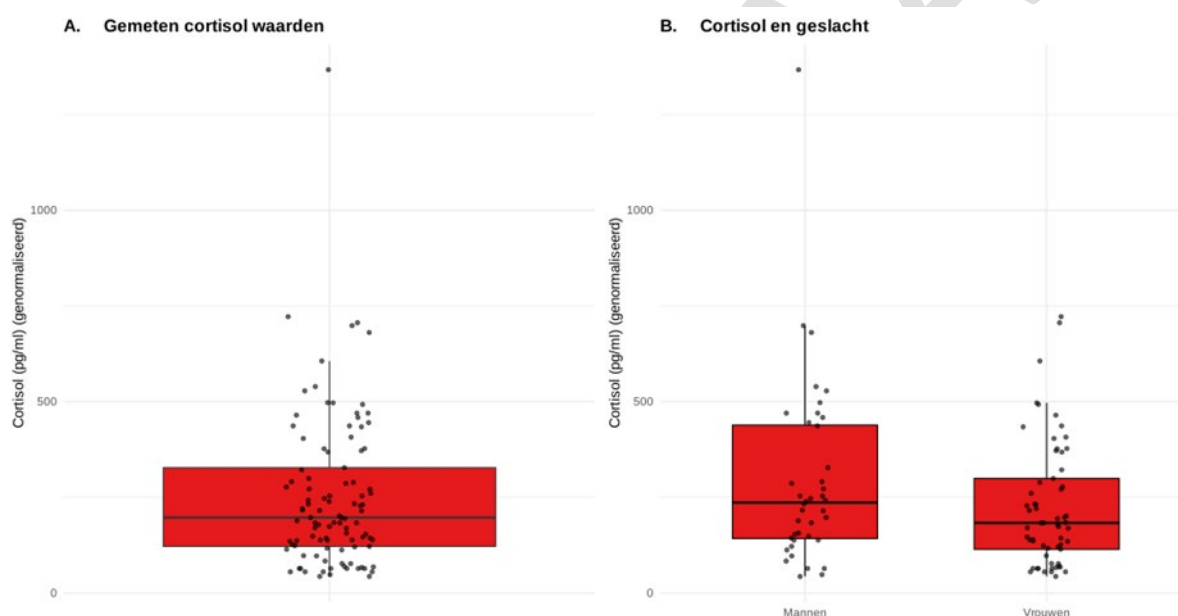
Om correlaties met de vragenlijst te berekenen, werd de wekelijkse vragenlijst geselecteerd die het dichtst bij het moment van cortisolafname lag. Uit deze vragenlijst werden een vraag over geluidspereceptie (algemene appreciatie van het omgevingsgeluid) en drie vragen over stress meegenomen in de analyses.

13.3 Resultaten

13.3.1 Gemeten cortisolwaarden

Na normalisatie varieerden de cortisolwaarden tussen 43,3 en 1.366,9 pg/ml, met een gemiddelde van 252,6 pg/ml (Figuur 13-2 (A)). Deze resultaten zijn niet bedoeld voor individuele medische interpretatie, aangezien ons universitair laboratorium niet geaccrediteerd is voor diagnostische rapportering; wel liggen de waarden in lijn met klinisch gerapporteerde referentiebereiken voor middagcortisol. Daarnaast toonde het lineaire model een trend waarbij cortisolwaarden bij vrouwen gemiddeld lager liggen dan bij mannen, al was het verschil niet statistisch significant (Figuur 13-2 (B)). Voor andere algemene parameters, zoals het BMI en de leeftijd van de deelnemers vonden we geen trends.

Belangrijk: cortisol is slechts één puzzelstuk. Het vertelt iets over de fysiologische stressrespons, maar zegt op zichzelf niet wie door welke oorzaak klachten krijgt. Daarom kijken we vooral naar patronen op groepsniveau.

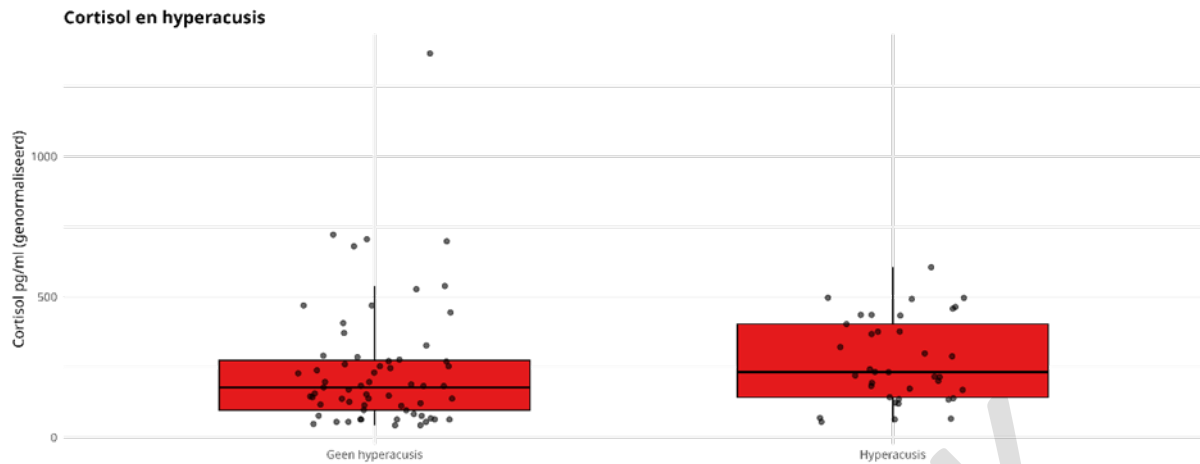


Figuur 13-2 (A) Overzicht van de genormaliseerde cortisolwaarden in speeksel uitgedrukt in pg/mL. (B) Cortisol bij vrouwen lag gemiddeld lager dan bij mannen, maar deze trend was niet significant ($p=0.55$)

13.3.2 Cortisol en het gehoor

Op basis van de minimum *Uncomfortable Loudness Level* (ULL)-thresholds en de hyperacusis vragenlijst werden respectievelijk 37 en 50 deelnemers met verhoogde geluidsgevoeligheid geclassificeerd. Er werden geen significante correlaties gevonden tussen de onderzochte audiologische parameters en cortisolwaarden bij onze deelnemers. Het lineaire model toonde wel dat deelnemers met hyperacusis, gebaseerd op ULL-thresholds, gemiddeld hogere cortisolwaarden hadden (Figuur 13-3). Dit was statistisch significant wanneer de statistische tests specifiek gericht waren op de relatie tussen hyperacusis en cortisol, maar was minder significant wanneer ook de andere geanalyseerde audiologische parameters in aanmerking werden genomen.

Gezondheidsstudie



Figuur 13-3 Cortisolwaarden bij hyperacusis gebaseerd op ULL-threshold. Deelnemers met hyperacusis vertonen hogere gemiddelde cortisolniveaus dan deelnemers zonder hyperacusis (statistisch significant wanneer de statistische tests specifiek gericht waren op de relatie tussen hyperacusis en cortisol)

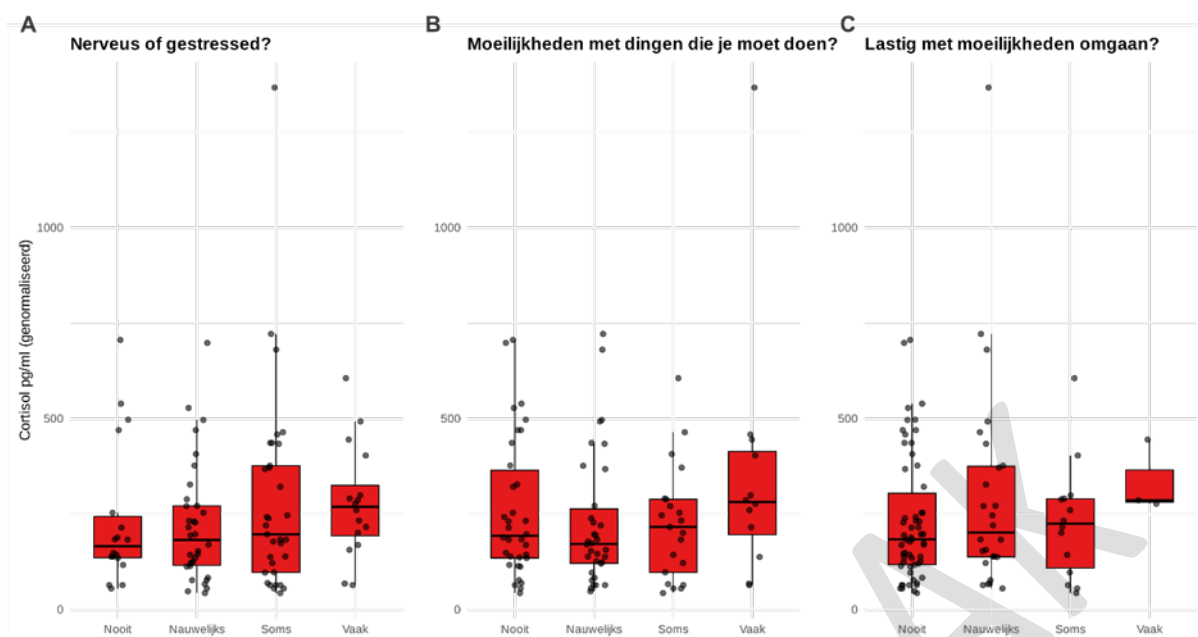
13.3.3 Cortisol, slaap en omgevingsgeluid

Er werden geen significante correlaties gevonden tussen cortisol en de onderzochte slaapparameters (slaapstadia 1-3 en droomslaap, totale slaapduur, slaapefficiëntie, inslaaptijd en tijd wakker 's nachts) of omgevingsgeluidparameters (gemiddelde dag- en nachtniveaus, piekniveaus en geluidsvariatie binnen en buiten de woning) bij onze deelnemers. In alle gevallen lagen de effectgroottes dicht bij nul, wat erop wijst dat er geen duidelijke verbanden werden waargenomen in deze dataset.

13.3.4 Cortisol en zelfgerapporteerde stress

Er werden geen significante correlaties gevonden tussen de zelfgerapporteerde geluidsappreciatie en cortisol. Voor de drie stress-gerelateerde vragen liet het lineaire model wel een duidelijke trend zien: deelnemers die aangaven zich in de afgelopen week vaak nerveus of gestrest te voelen, moeite te hebben met het uitvoeren van dingen die ze moesten doen, of het lastig te vinden om met moeilijkheden om te gaan, hadden hogere cortisolwaarden vergeleken met deelnemers die aangaven dit nooit te ervaren (Figuur 13-4).

Gezondheidsstudie



Figuur 13-4 Cortisolwaarden bij zelfgerapporteerde stress. Cortisolniveaus nemen toe bij deelnemers die vaker stress ervaren bij de drie stress-gerelateerde vragen, in vergelijking met deelnemers die aangeven dit nooit te ervaren

13.4 Conclusies

Bij onze deelnemers zagen we geen duidelijke verbanden tussen cortisol in het speeksel enerzijds en het omgevingsgeluid en de slaapegevens anderzijds. Dit betekent dat binnen de context van deze studie de gemeten geluidsniveaus geen duidelijke impact lijken te hebben op het speekselcortisol. Dat sluit subtiele verbanden niet uit: cortisol schommelt van nature door de dag heen en kan ook beïnvloed worden door zaken zoals lichaamsbeweging, voeding of hoe iemand zich die dag voelt. Omdat we per persoon één speekselstaal verzamelden, gaat het om een momentopname. In toekomstig werk kunnen meerdere tijdstippen per persoon en grotere groepen helpen om de verbanden tussen cortisol en omgevingsgeluid en slaap beter zichtbaar te maken.

Onze modellen toonden echter een trend waarbij deelnemers met hyperacusis gemiddeld hogere cortisolwaarden hadden. Deze trend suggereert een mogelijke relatie tussen geluidgevoeligheid en stressniveau, waarvan de onderliggende mechanismen verder onderzocht moeten worden. Daarnaast lieten de drie zelfgerapporteerde stressvragen vergelijkbare trends zien: deelnemers die vaker stress of moeilijkheden rapporteerden, hadden hogere cortisolwaarden vergeleken met mensen die aangaven dit nooit te ervaren. Dit geeft aan dat onze cortisolmetingen deels overeenkomen met de subjectieve stresservaringen van de participanten.

14 Apple Watch-studie

Auteur: dr. Paulien Decorte (i.s.m. prof. Karolien Poels en prof. Gert-Jan de Bruijn: Media, ICT en interpersoonlijke relaties in Organisaties en Samenleving, Universiteit Antwerpen)

14.1 Doel en opzet

De Apple Watch-studie was een aanvullende studie binnen De Oorzaak waarbij deelnemers vrijwillig data deelden, afkomstig van hun Apple Watch (WatchOS v9 en hoger) en iPhone (iOS v15 en hoger). Het doel was om het potentieel en de beperkingen van consument-wearables te evalueren voor het meten van omgevingsgeluid, slaap en fysiologische stress in de dagdagelijkse leefomgeving van de deelnemers. Om uniforme en vergelijkbare data te hebben, werd ervoor gekozen om met één soort smartwatch te werken. Er werd hier voor de Apple Watch gekozen omdat uit een beperkte voorstudie bleek dat hiermee relatief betrouwbare data, zowel rond omgevingsgeluid als slaapkwaliteit en stress kon verzameld worden.

In totaal registreerden 339 personen zich via de Grote Geluidsbevraging voor dit onderdeel van het onderzoek. Aan hen werd gevraagd om hun Apple Watch zes weken onafgebroken te dragen (zeker 's nachts) en dezelfde wekelijkse vragenlijsten in te vullen als de sensordeelnemers. Deelname was mogelijk voor iedereen in Vlaanderen vanaf 18 jaar in twee periodes: vanaf maart 2024 indien zij geen geluidssensordeelnemer waren, of in meetperiode 1 van de geluidsmetingen (april 2024) indien zij ook meededen als sensordeelnemer. Van de 339 geregistreerden deelden uiteindelijk 128 deelnemers Apple Watch-data, 102 deelnemers iPhone-data, en 98 deelnemers data van beide apparaten.

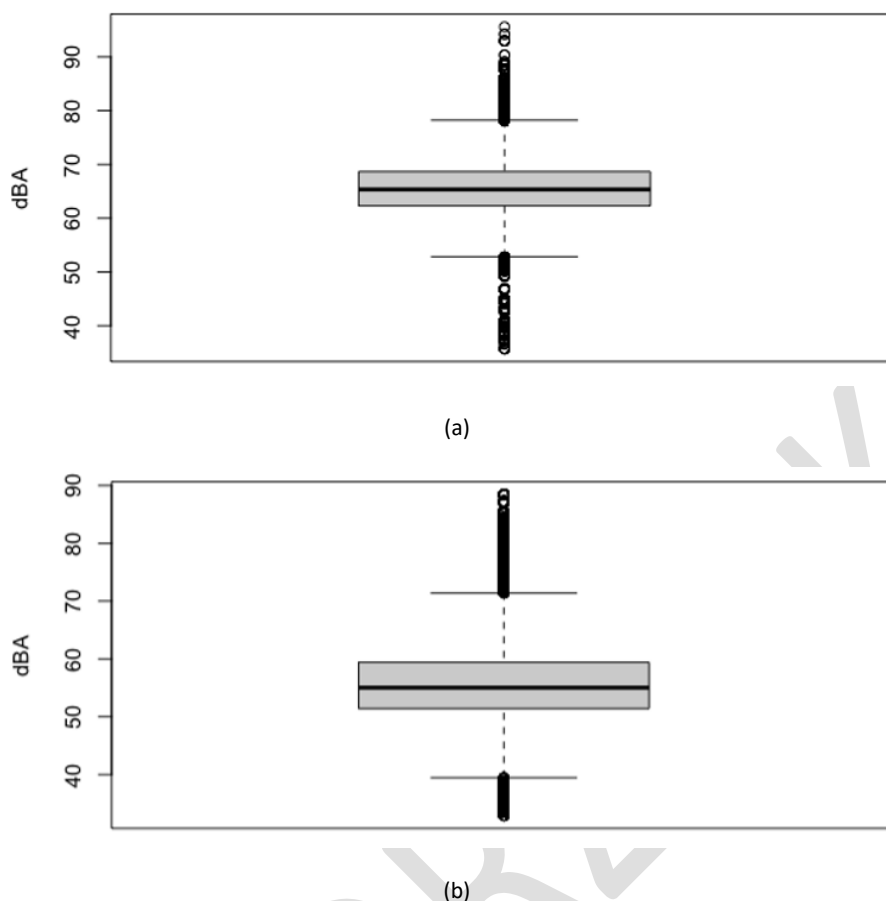
14.2 Beperkingen van de geluidsmetingen

De geluidsmetingen via de Apple Watch bleken uiteindelijk toch onvoldoende geschikt voor betrouwbare analyses van omgevingsgeluidsblootstelling. Over een meetperiode van zes weken werden gemiddelde L_{den} geluidsniveaus gemeten van 69,6 dBA, met 35,7 dBA als laagste waarde en 95,6 dBA als hoogste gemiddelde waarde over 6 weken (onrealistisch hoog), zie Figuur 14-1 (a).

Gedurende de nacht werden eveneens onbetrouwbaar hoge gemiddelde waarden voor L_{night} bekomen: het gemiddelde nachtniveau lag rond de 65,6 dBA. De laagste gemeten nachtwarde was 32,9 dBA en de hoogste liep op tot 88,4 dBA, zie Figuur 14-1 (b). Om dit te kaderen: in de slaapkamer wordt een geluidsniveau van tussen de 25 en 30 dBA aangeraden. Gemiddelde niveaus boven de 65 en tot bijna 90 dBA zijn dus totaal onrealistisch. Het feit dat de Apple Watch onder de kledij wordt gedragen zou in principe zelfs tot iets lagere geluidsniveaus moeten leiden.

De waargenomen afwijkingen zijn mogelijk het gevolg van ongekalibreerde en onnauwkeurige microfoons, een te hoge ruisvloer om correct slaapkamers op te meten (30 dB), onbekende beperkingen van de standaard apps, het ontbreken van een vaste en gestandaardiseerde meetpositie, en het dragen van het toestel in uiteenlopende situaties (bijvoorbeeld binnenshuis, buiten, in of onder kledij en tijdens verplaatsingen). Op basis hiervan kunnen we enkel concluderen dat de Apple Watch-geluidsdata in deze studie niet geschikt zijn voor kwantitatieve blootstellingsanalyses en alleen met voorzichtigheid geïnterpreteerd kunnen worden.

Gezondheidsstudie



Figuur 14-1 Boxplot met de daggemiddelde waarden (a) L_{den} en (b) L_{night}

14.3 Slaap- en stressmetingen

De slaapmetingen leverden wel interpreteerbare informatie op. De gemiddelde slaapduur bedroeg 7,3 (SD = 1,38) uur per nacht. Daarvan brachten zij gemiddeld 5,0 uur door in lichte slaap (SD = 1,16), 0,7 uur in diepe slaap (SD = 0,35) en 1,6 uur in droomslaap (SD = 0,57). Er was aanzienlijke variatie tussen de deelnemers, want de kortste nachtelijke slaapduur gemeten was 1,7 uur en de langste 17,9 uur.

Hogere gemeten geluidsniveaus gingen samen met een kortere totale slaapduur en minder droom- en lichte slaap, hoewel deze verbanden steeds moeten worden geïnterpreteerd in het licht van de beperkte kwaliteit van de geluidsdata. Er werd geen consistent verband gevonden tussen nachtelijk geluid en het aantal gemeten ontwakingen.

Bij een subgroep van deelnemers werd een verband vastgesteld tussen hogere geluidsniveaus en fysiologische stressindicatoren, met name een hogere hartslag en een lagere hartslagvariabiliteit (HRV). Deze bevindingen wijzen op een mogelijke activatie van het stresssysteem, maar ook hier geldt dat de interpretatie beperkt wordt door de onzekerheid in de (geluids)metingen.

14.4 Smartphonegebruik en slaap

In een aanvullende analyse bij 76 deelnemers werd gedurende twee weken gekeken naar smartphonegebruik in relatie tot slaap. Meer smartphonegebruik in bed ging samen met een kortere totale slaapduur en minder droomslaap. Daarnaast bleek er een wederkerige relatie te bestaan: minder slaap was gelinkt aan meer smartphonegebruik, en omgekeerd.

14.5 Conclusie

De Apple Watch-studie toont aan dat consument-wearables mogelijk bruikbare informatie kunnen leveren over slaap en fysiologische stress, maar duidelijke beperkingen hebben voor het meten van omgevingsgeluid. In de context van De Oorzaak blijken de geluidsmetingen via de Apple Watch onvoldoende kwalitatief om als betrouwbare indicator van geluidsblootstelling te dienen. De resultaten benadrukken dat de data van wearables momenteel nog vooral geschikt zijn voor verkennende analyses. In toekomstig onderzoek moet dus eerst een kleinschalig experiment worden uitgevoerd om de betrouwbaarheid van de geluidsmetingen beter in te schatten, en of er specifieke apps moeten ontwikkeld worden om meer betrouwbare data te verzamelen. Hiervoor was er echter geen tijd of budget binnen De Oorzaak.



DE OORZAAK

Communicatie &
Burgerwetenschap

15 Terugblik op communicatie

15.1 Inleiding

Eén van de belangrijke fundamenteën waarop alle burgerwetenschapsprojecten steunen, is communicatie. Heldere communicatie is niet alleen noodzakelijk om deelnemers te motiveren en te informeren over het onderzoeksproces, maar zorgt er ook voor dat de wetenschappelijke inzichten begrijpelijk worden vertaald naar een breed publiek.

Burgerwetenschap is bovendien tweerichtingsverkeer: wanneer je deelnemers vraagt om tijd en energie te investeren, moet je als onderzoeker bereid zijn daar iets tegenover te stellen. Inzicht in het onderzoeksproces, vragen beantwoorden van deelnemers, een blik achter de schermen: door communicatie integraal mee op te nemen in je onderzoeksopzet, vergroot je de betrokkenheid en het gevoel van eigenaarschap bij de burgers. Dat draagt dan weer bij aan een groter draagvlak voor de conclusies en aanbevelingen die uit het project volgen.

Soms moet je daar zelfs nog iets verder in gaan. Binnen het ontwikkelingsproces van De Oorzaak zijn vanaf het begin wetenschappelijke methodieken afgewogen tegen het gebruiksgemak en de begrijpbaarheid voor de deelnemer. Maakt deze formulering of aanpak zaken ingewikkeld? Heeft een deelnemer voldoende informatie om zijn of haar werk als burgerwetenschapper goed uit te kunnen voeren? Die voortdurende afweging tussen wetenschappelijke nauwkeurigheid en toegankelijkheid is essentieel om burgerwetenschap niet alleen methodologisch correct, maar ook inclusief en transparant te maken.

15.2 Samenwerking met De Morgen

Vlaanderen (en in grote mate Universiteit Antwerpen) heeft een lange reputatie als het aankomt op grootschalige burgerwetenschapsprojecten en samenwerkingen met mediapartners. De Oorzaak mag door de samenwerking met De Morgen aansluiten bij projecten als *CurieuzeNeuzen* (De Standaard), *CurieuzenAir BXL* (Le Soir, De Standaard en Bruzz), *Bodemleven* (Het Belang van Limburg) en *Watermonsters* (De Standaard).

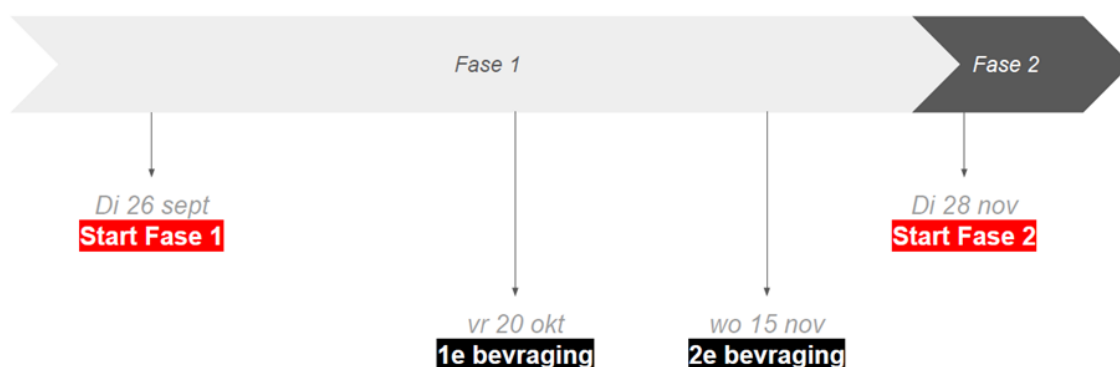
De samenwerking met De Morgen illustreert hoe burgerwetenschap en journalistiek elkaar kunnen versterken. Het grote bereik van De Morgen zorgde ervoor dat het thema omgevingsgeluid ingang vond bij een breed publiek en dat zij zich via de oproepcampagnes kandidaat kon stellen voor deelname. Ze fungeren tegelijkertijd ook als vertaler voor dat brede publiek door het thema toegankelijk en herkenbaar te maken door concrete voorbeelden in artikels uit te pluizen en deelnemers te interviewen voor *human interest stories*.

Bovendien zorgt deze wisselwerking ervoor dat wetenschappelijke inzichten niet in een academische context blijven hangen, of enkel bij de deelnemers van het project, maar dat deze actief worden ingebed in het publieke debat. Dit vergroot de impact en het draagvlak van het onderzoek aanzienlijk.

Omgekeerd kreeg De Morgen de kans om een maatschappelijk relevant thema vast te pakken, dicht op de uitkomsten van het onderzoek te zitten en zo mee het nieuws te maken rond dit topic. Bovendien biedt een grootschalig burgeronderzoek voor een krant als De Morgen de mogelijkheid om een nieuw publiek aan zich te binden en nieuwe abonnees te werven.

15.3 Mediacampagnes van De Morgen

Op 26 september 2023 werd De Oorzaak gelanceerd met een gemeenschappelijk persbericht door de drie initiatiefnemers, zie Figuur 15-1. Deze pre-registratiefase was er op gericht deelnemers warm te maken voor het onderzoek en hen mee te nemen in de communicatie richting de officiële start op 28 november 2023, wanneer de Grote Geluidsbevraging gelanceerd zou worden.



Figuur 15-1 Overzicht mediacampagnes De Morgen

Deze Fase 1, ook pre-registratiefase genoemd, werd ondersteund door een campagne vanuit De Morgen met advertenties op de radio, spots op TV, printadvertenties, social video's en opname in mailings naar abonnees van De Morgen, zie Figuur 15-2 (links). Uiteindelijk hebben meer dan 8.000 mensen zich in deze fase geregistreerd: zij ontvingen de uitnodigingen voor het maken van een geluidswandeling (1e bevraging), voor deelname aan de vragenlijst over het gebruik van gehoorbescherming (2e bevraging) en de Grote Geluidsbevraging (Fase 2).

Op 28 november 2023 ging Fase 2 van de campagne van start, zie Figuur 15-2 (rechts), waarin werd opgeroepen om de Grote Geluidsbevraging in te vullen. De URL in de campagne verwees naar de website van De Morgen, waar doorgelinkt werd naar de Qualtrics-vragenlijst van De Oorzaak.



Figuur 15-2 Inhoud mediacampagnes De Morgen horende bij Fase 1 en Fase 2

Communicatie en burgerwetenschap

Het campagnebeeld, zie Figuur 15-3, werd uitgewerkt door De Morgen in samenspraak met de andere initiatiefnemers (Universiteit Antwerpen en Universitair Ziekenhuis Antwerpen), waarbij er steeds beeldelementen (o.a. kleuren) van de drie partners samen werden gebruikt. Dit campagnebeeld werden doorvertaald naar drie varianten voor de deelnemende steden met gebouwen uit Gent, Antwerpen en Leuven (zie Figuur 8-1). Deze versies werden lokaal ingezet om deelnemers te werven, bijvoorbeeld op bushokjes of in de premetrostations te Antwerpen.



Figuur 15-3 Campagnebeeld De Oorzaak Fase 1 en 2

In september-oktober 2025 volgde de laatste camperonde van De Morgen om de resultaten aan te kondigen. De resultaten van het onderzoek werden gekaderd in een bredere rebranding-campagne van De Morgen. Hier werd De Oorzaak meegenomen in een campagne op de radio, in print ads, social video, online video en banners, zie Figuur 15-4.



Figuur 15-4 Campagnebeeld De Oorzaak Resultaten

15.4 Mailcampagnes en inbox De Oorzaak

Vanaf de start van het project werd er ingezet op een communicatietraject voor de verschillende soorten deelnemers, met een duidelijke tijdlijn om te bepalen wanneer welke informatie nodig was om het onderzoek goed te kunnen volgen.

Bij het invullen van de Grote Geluidsbevraging kreeg je de vraag om je aan te melden voor de nieuwsbrief van De Oorzaak, iets wat door veel deelnemers werd aangegrepen. In januari 2024 vertrok de eerste nieuwsbrief via mailprogramma Brevo naar 6.628 ontvangers. Deze mail werd door 73,8% geopend: een openingspercentage dat voor de daaropvolgende acht nieuwsbrieven min of meer gelijk zou blijven. Gemiddeld werd er door 14,3% van de lezers doorgedownload om verder te lezen in één van de artikels of items, wat wijst op een sterke betrokkenheid en interesse bij het publiek. De negen nieuwsbrieven waren goed voor in totaal 60.048 mails.

In de nieuwsbrieven van De Oorzaak werd steeds een combinatie van artikels en nieuwsitems meegegeven: er was plaats voor projectupdates (waar staan we in het onderzoek), eventuele eerste bevindingen, oproepen voor deelname, mogelijk relevant nieuws van partners en doorverwijzingen naar artikels in De Morgen. De nieuwsbrieven waren hiermee ook interessant voor GGB-deelnemers die niet konden of wilden deelnemen aan verder onderzoek.

Naast de nieuwsbrieven werden de zogenaamde servicecampagnes verstuurd naar de deelnemers van het onderzoek. Deze praktische mails waren gericht op het up-to-date houden van de deelnemers, het bezorgen van digitale instructies voor deelname en eventuele reminders over zaken die nog moesten gebeuren. In het totaal werden er 120 van deze servicecampagnes verstuurd, in totaal goed voor 53.249 mails.

Daarnaast fungeerde de centrale De Oorzaak inbox (deoorzaak@uantwerpen.be) als een belangrijk interactief communicatiekanaal. Tot november 2025 ontving de inbox 3.953 e-mails van zowel deelnemers als niet-deelnemers. Deelnemers stelden voornamelijk praktische vragen over sensoren, metingen en vragenlijsten, terwijl niet-deelnemers de inbox vooral gebruikten om vragen te stellen over hun eigen geluidssituatie of daaromtrent bezorgdheden of frustratie te uiten. Deze individuele communicatie speelde een cruciale rol in het verder helpen van de deelnemers bij technische of logistieke uitdagingen en een vinger aan de pols te houden bij technische storingen.

15.5 Bereik van de websites en sociale mediakanalen

De Oorzaak had een verzamelpagina bij De Morgen (www.demorgen.be/oorzaak) en een projectwebsite op de webomgeving van Universiteit Antwerpen (www.deoorzaak.be). Op de webomgeving van De Morgen werd tijdens de oproepfase de link naar de Grote Geluidsbevraging meegegeven en waren de eerste artikels over het thema en het onderzoek te lezen. In een latere fase werd deze webpagina omgebouwd tot een verzamelpagina voor de dossiers over omgevingsgeluid, om bij de resultaten terug een meer interactief karakter te krijgen, met doorverwijzingen naar de eindartikels en bijbehorend kaartmateriaal.

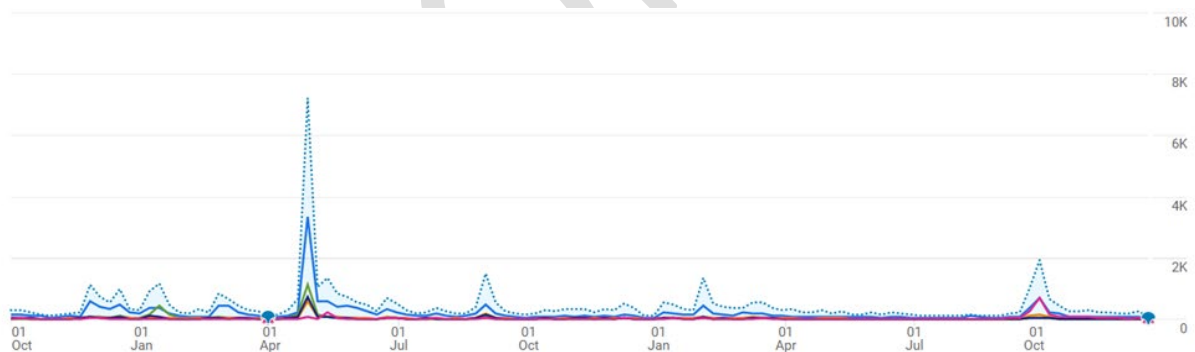
Communicatie en burgerwetenschap

Kort na de start van de geluidsmetingen werd de interactieve overzichtskaart met de geluidsmetingen gepubliceerd op de website van De Morgen. Via deze kaart konden zowel deelnemers als niet-deelnemers inzoomen op meetpunten bij hen in de buurt. Deze overzichtskaart met geluidsmetingen trok 39.600 bezoekers.

In samenwerking met het Nederlandse bedrijf Sorama BV werd er een speciale app voor De Oorzaak ontwikkeld, verkrijgbaar in zowel App store als Google Play. In deze app zaten twee hoofdfunctionaliteiten: eenvoudige geluidsmetingen uitvoeren met de microfoon van je gsm en het maken van een geluidswandeling. Dit laatste omvatte een geluidsoptname en persoonlijke geluidservaring van de gebruiker via een gestandaardiseerde vragenlijst. De geluidsmetingen van deze app werden meegegeven op een interactieve kaart bij De Morgen, die 6.629 bezoekers bereikte.

De website www.deoorzaak.be omvatte de achtergrondinformatie over het project en was meer gericht op de praktische details: wat is het opzet van het onderzoek, welke onderzoeksluiken komen er in voor en wat wordt er van je gevraagd als burgerwetenschapper? Ook was er ruimte voor de weergave van de partners en het team achter De Oorzaak.

In de periode oktober 2023 tot en met december 2025 kreeg www.deoorzaak.be 55.048 views door 38.129 gebruikers, goed voor 175.247 acties (kliks, video-views enz.). Google Analytics toont voor de bezoeken aan de website van De Oorzaak een duidelijke piek op 29 april 2024, de startdatum van de metingen en de datum waarop het project op de VRT en VTM nieuws te zien was. Een tweede piek situeert zich rond de bekendmaking van de resultaten op 26 september 2025, zie Figuur 15-5.



Figuur 15-5 Aantal views per week voor www.deoorzaak.be van 1 oktober 2023 tot 16 december 2025

Ook sociale media speelden een ondersteunende rol in de communicatie van De Oorzaak. In september 2023 werden accounts opgericht op X (Twitter), Facebook en Instagram. Door de polemiek rond X werd dit kanaal slechts beperkt ingezet en bleef het aantal volgers daar beperkt (60 volgers). Facebook (565 volgers) en Instagram (469 volgers) werden actiever gebruikt, met in totaal 49 berichten, 35 stories en 3 reels. Via deze kanalen werden oproepen, updates en resultaten gedeeld, gericht op zichtbaarheid en publieksbereik eerder dan op massale interactie.

15.6 Persaandacht

Tussen 2023 en 2025 verscheen De Oorzaak met regelmaat in de Vlaamse media. De hoofdmoot daarvan was afkomstig van De Morgen, met in totaal 49 artikels, nieuwsberichten, dossiers en longreads, samen goed voor 575.522 kliks. Deze cijfers benadrukken het belang van mediapartnerschap in het realiseren van zowel bereik als maatschappelijke impact.

Daarnaast besteedden onder meer Het Laatste Nieuws (10 à 12 artikels) en persagentschap BELGA (5 à 7 berichten) aandacht aan De Oorzaak, vaak in relatie tot lokale beleidsvragen of gezondheidseffecten van geluidshinder. De persaandacht vertoonde duidelijke pieken bij de lancering van de Grote Geluidsbevraging (najaar 2023), de start van sensormetingen (voorjaar 2024) en de publicatie van de eindresultaten (najaar 2025).

Ook radio en TV besteedden aandacht aan het onderzoek: De Oorzaak kwam terug in items bij VRT Nieuws, VTM Nieuws, Radio 1, Radio 2, Q-Music, Joe FM, ATV Nieuws (Antwerpen), Rob TV (Leuven) en AVS (Gent).

15.7 Conclusies

Het communicatietraject van De Oorzaak kan in zijn geheel als succesvol worden beschouwd. Via een doordachte combinatie van mediapartnerschap, gerichte deelnemerscommunicatie en eigen digitale kanalen slaagden we erin om een groot publiek te bereiken, burgers actief te betrekken en het complexe thema omgevingsgeluid toegankelijk te maken.

Tegelijk bracht de omvang en diversiteit van De Oorzaak ook communicatieve uitdagingen met zich mee. Door het grote aantal onderzoekstrajecten en zijonderzoeken (van schooltrajecten en sensormetingen in zes periodes tot Apple Watch-studies en medische onderzoeken) en de beperkte omvang van het projectteam, was het niet altijd mogelijk om over alle onderdelen even uitgebreid te communiceren. In sommige gevallen bleef de terugkoppeling daardoor beperkter dan gewenst, terwijl deelnemers hier wel tijd en engagement in investeerden en terecht interesse hadden in de resultaten van hun bijdrage.

Daarnaast bleek individuele communicatie met burgers die kampten met concrete problemen rond geluidsoverlast vaak complex. Veel vragen en bezorgdheden gingen verder dan het onderzoeksopzet en vroegen om persoonlijke of beleidsmatige oplossingen die het projectteam niet kon bieden. Het was niet altijd eenvoudig om in dergelijke gevallen handelingsperspectief te formuleren.

16 Terugblik op burgerwetenschap

16.1 Burgerwetenschap als methodiek

Binnen De Oorzaak kozen we bewust voor een burgerwetenschappelijke aanpak. Die keuze was ingegeven door meerdere doelstellingen. Enerzijds wilden we zowel objectieve geluidsdata als subjectieve impact verzamelen op een schaal waarin het zonder de hulp van burgers niet mogelijk is. Anderzijds wilden we omgevingsgeluid als topic op de kaart zetten en burgers informeren en sensibiliseren door hen inzicht te geven in een problematiek die hen dagelijks raakt. Vanuit onderzoeksperspectief kunnen we stellen dat deze doelstellingen grotendeels werden bereikt: de verzamelde data leverden waardevolle inzichten op, deelnemers en lezers van De Morgen ontwikkelden een groter begrip van (omgevings)geluid en we wogen op het publiek debat (o.a. met vragen over de uitkomsten van het onderzoek in een vergadering van de Commissie voor Leefmilieu, Natuur en Ruimtelijke Ordening van het Vlaams Parlement op 14/10/2025).

16.2 Vormen van burgerparticipatie

Burgerwetenschap vertrekt vanuit het idee dat burgers meer zijn dan enkel onderzoeksobjecten en in verschillende mate kunnen bijdragen aan kennisproductie. De Vlaamse kennisorganisatie Scivil onderscheidt daarbij verschillende gradaties van burgerparticipatie, vaak voorgesteld als een driehoek, gaande van informeren en raadplegen tot co-creatie en burgergestuurd onderzoek. Hoe hoger op de driehoek, hoe meer interactie tussen de burgerwetenschappers en de onderzoekers, maar vaak ook hoe kleiner het betrokken aantal burgerwetenschappers.

De Oorzaak situeerde zich voornamelijk in de middenzone van deze participatiedriehoek. Burgers speelden een actieve rol in het aanleveren van data via geluidsmetingen, het uitvoeren van geluidswandelingen en het invullen van de Grote Geluidsbevraging. Ook engageerden ze zich door feedback te geven, resultaten op te volgen en vragen te stellen over metingen en berekeningen. Tegelijk was de ruimte voor echte co-creatie beperkt: de onderzoeksvragen, methodologie en opzet lagen vast en werden vooraf bepaald door het projectteam. De betrokkenheid van burgers situeerde zich daardoor eerder op het niveau van uitvoering en reflectie dan op gezamenlijke besluitvorming.

Deze positionering maakte het mogelijk om op relatief korte tijd een grote hoeveelheid betrouwbare en vergelijkbare data te verzamelen, maar betekende ook dat burgers minder invloed hadden op de richting en vormgeving van het onderzoek.

16.3 Drempels voor deelname

Tegelijk vraagt onze aanpak om een kritische reflectie. Het bereik van het onderzoek bleef iets lager dan gehoopt, wat verschillende oorzaken kan hebben. De drempel om deel te nemen was relatief hoog: het invullen van de Grote Geluidsbevraging nam ongeveer 45 minuten in beslag, de installatie van de geluidssensor kan mensen met minder technische vaardigheden hebben afgeschrikt en er werd een deelnemersbijdrage van 25 euro gevraagd om een deel van de kosten te dekken. Daarnaast lag er een focus op de drie steden om daar sensordeelnemers te vinden, wat potentiële GGB-deelnemers buiten deze gebieden de indruk zou kunnen hebben geven dat het onderzoek enkel geïnteresseerd was in stedelijke verhalen en ervaringen. Elk van deze elementen kan potentiële deelnemers hebben afgeschrikt, zeker wanneer ze samen voorkomen.

Het betrekken van kansengroepen bleek moeilijker dan vooraf ingeschat. Ondanks gerichte inspanningen binnen het team, waaronder samenwerkingen met organisaties zoals SAAMO te Antwerpen en SIVI te Gent, bleef de deelname vanuit deze groepen beperkt. Mogelijk spelen hier andere, persoonlijke prioriteiten een rol, en moet er naast de eerdergenoemde drempels mogelijk ook gekeken worden naar 'taligheid' van een burgeronderzoek als De Oorzaak (vragenlijsten, handleiding, instructies via mail enz.). Onze ervaring toont aan dat inclusieve burgerwetenschap nog meer maatwerk en ondersteuning vraagt, wil men echt alle stemmen aan bod laten komen.

Daar staat tegenover dat de deelnemers die wél instapten, zeer geëngageerd waren. We ontvingen regelmatig feedback op metingen en berekeningen, deelnemers volgden actief het dashboard en stelden gerichte vragen bij de installatie en werking van de sensoren. Dit wordt bevestigd door de (zeer) hoge respons- en retentiegraad bij de wekelijkse bevestigingen (zie § 9.1), en bleek eveneens uit de antwoorden en opmerkingen in de eindbevestiging (Hoofdstuk 10). Deze betrokkenheid wijst op een sterke vorm van participatie en bevestigt de meerwaarde van burgerwetenschap voorbij enkel dataverzameling.

16.4 Op zoek naar een kader

De inbox van De Oorzaak werd een verzamelplaats voor allerlei verhalen rond geluidsoverlast. Veelal mensen die vanwege hun postcodegebied geen deel konden nemen aan de geluidsmetingen, wisten ons te vinden om hun verhaal rond geluidsoverlast te vertellen. De tendens in deze verhalen: er is geen oplossing voor de door hen ervaren geluidsoverlast (variërend van wegen met kinderkopjes, trillende bussen, nabijgelegen schietbanen, teambuildingactiviteiten met bijlen, motorcrosscircuit, de lokale klokkentoren, tot blaffende honden), en deze aanhoudende problematiek veroorzaakt (veel) stress en gezondheidsproblemen. De verzenders in kwestie gaven aan vaak geen gehoor te vinden bij bevoegde instanties (ze voelden zich afgedaan als 'klagers'), maar ook geen toegang te hebben tot veelal prijzige professionele metingen om hun klachten te staven. Deze verhalen benadrukken niet alleen de maatschappelijke relevantie van het project, maar ook de structurele uitdagingen rond toegankelijke geluidsmetingen en de nood aan een duidelijker en laagdrempeliger kader om burgers met geluidsoverlast beter te begeleiden.

Burgerwetenschapsinitiatieven zoals De Oorzaak kunnen waardevolle signalen en data aanleveren, maar mogen geen surrogaat worden voor structurele oplossingen. Er is nood aan een beleidskader dat erkent dat geluidsoverlast een complexe leefbaarheidsproblematiek is, en dat burgers ondersteunt met duidelijke procedures, toegankelijke meetmogelijkheden en een transparante opvolging van klachten.

16.5 Conclusie

Samenvattend bevestigt De Oorzaak het potentieel van burgerwetenschap als middel om maatschappelijke problemen zichtbaar te maken en burgers te versterken, maar maakt het project ook duidelijk dat participatie niet vanzelfsprekend is. Het vraagt voortdurende aandacht voor toegankelijkheid, inclusie en haalbaarheid, zowel voor deelnemers als voor onderzoekers.



DE OORZAAK

Conclusies &
Aanbevelingen

17 Eindconclusies

Omgevingsgeluid is een complex en veelzijdig milieuthema dat diep ingrijpt in het dagelijks leven van burgers. Het raakt aan mobiliteit, ruimtelijke ordening, gezondheid, natuurbeleving en sociale rechtvaardigheid, en wordt bovendien sterk beïnvloed door individuele gevoeligheid, context en verwachtingen. De Oorzaak vertrok expliciet vanuit die complexiteit en koos bewust voor een geïntegreerde aanpak waarin objectieve geluidsmetingen, subjectieve belevingsdata en gezondheidswetenschappelijk onderzoek samen werden gebracht.

17.1 Sensornetwerk

Met een fijnmazig netwerk van 400 slimme geluidssensoren, verspreid over meer dan 1.450 unieke meetlocaties in Antwerpen, Gent en Leuven, werd een ongezien gedetailleerd beeld opgebouwd van de ruimtelijke en temporele variatie in stedelijk omgevingsgeluid. Deze metingen, aangevuld met artificiële-intelligentietechnieken voor bronherkenning, maken het mogelijk om geluid niet alleen te beschrijven in termen van gemiddelde geluidsniveaus en frequentie-inhoud, maar ook variaties te situeren in tijd, bron en context. In combinatie met grootschalige burgerbevragingen en gerichte medische substudies levert dit project een rijke en multidimensionale dataset op.

De resultaten bevestigen dat gemiddelde geluidsindicatoren zoals L_{den} en L_{night} betekenisvol blijven: hogere gemiddelde geluidsniveaus (over een meetperiode van zes weken) gaan systematisch samen met meer ervaren geluidshinder en een lagere gerapporteerde leefkwaliteit. Tegelijk tonen de analyses aan dat deze indicatoren slechts een deel van de geluidsbeleving verklaren. Vooral luide, herhaalde en bronspecifieke geluidsevenementen, zoals spoor- en luchtverkeer, menselijke activiteiten en bouwwerken, blijken sterker samen te hangen met vermoeidheid, stress en slaapkwaliteit. Dit nuanceert het klassieke uitgangspunt dat jaargemiddelden volstaan om hinder en gezondheidsimpact te vatten. We hopen dat de akoestische data verzameld in dit project in de toekomst zal leiden tot de ontwikkeling van een set van akoestische indicatoren die de subjectieve geluidshinder beter kan vatten.

Daarnaast bevestigt het project het belang van ruimtelijke en temporele context. De systematische verschillen tussen de straatzijde en de rustige zijde van woningen tonen aan dat geluidsbelasting binnen één woning sterk kan variëren, met implicaties voor slaap en herstel. Op populatieniveau zijn de verschillen tussen de meetperiodes nog relatief beperkt, maar op één en dezelfde locatie bedragen de verschillen tussen de stilste en luidste dag/nacht binnen de meetperiode van 6 weken tijd gemiddeld 10 dB. Dit kan zelfs oplopen tot 20 of 30 dB wat benadrukt dat omgevingsgeluid een dynamisch fenomeen is dat moeilijk te reduceren valt tot één vaste waarde. Een ander belangrijk voorbeeld van ruimtelijke context is de geluidshinder gerapporteerd op populatieniveau vs. de hinder die burgers effectief ondervinden die zich vlakbij een specifieke bron (bijvoorbeeld tram of luchthaven) bevinden. Wanneer men enkel kijkt naar het totaal percentage sterk gehinderden, of focust op L_{den}/L_{night} , dan zouden deze geluidsbronnen niet de aandacht krijgen die ze verdienen. Zeker voor de opmaak van geluidsactieplannen is het dus nodig om hiermee rekening te houden.

We zijn 100% overtuigd van de meerwaarde van AI om de geluidsbronnen te herkennen om zo beter te begrijpen wat de hinder veroorzaakt, en we zijn er zeker van dat dit de standaard zal worden in alle meettoestellen. Daarnaast moeten we bekennen dat we gehoopt hadden dat de beschikbare

Conclusies en aanbevelingen

geluidsherkenningsmodellen al verder stonden, en moeten we toegeven dat er nog geluiden verkeerd herkend werden. Voer voor verder onderzoek dus!

17.2 Bevragingen

Via de Grote Geluidsbevraging (GGB) kregen we een breed en gedetailleerd inzicht in hoe Vlamingen omgevingsgeluid ervaren en welke impact dit heeft op hun leefkwaliteit, slaap en stress. Met meer dan 10.000 volledig ingevulde vragenlijsten vormt de GGB één van de grootste datasets rond subjectieve geluidsbeleving in Vlaanderen. Zoals bij veel vrijwillige bevragingen is er echter sprake van een duidelijke zelfselectiebias. Iemand die veel hinder ervaart en/of gevoeliger is voor geluid zal eerder geneigd zijn om aan dit soort onderzoek deel te nemen, dan iemand die geen hinder ondervindt.

Iets minder dan 60% van de deelnemers van de GGB geeft aan (zeer) tevreden te zijn over de leefkwaliteit in hun buurt. In Antwerpen en Gent ligt dit nog lager, maar in Leuven ligt dit zelfs op 68,5%. De deelnemers aan de GGB ervaren gemiddeld meer geluidshinder dan de algemene Vlaamse bevolking (gebaseerd op voorgaande bevragingen van het Departement Omgeving). Zo rapporteert 14,8% van de BLV-respondenten (Bevraging Leefomgeving Vlaanderen) ernstige of extreme geluidshinder t.o.v. 35,8% in de GGB. Voor extreme geluidshinder ligt dit op 3,6% van de BLV-respondenten t.o.v. 8,1% in de GGB. De GGB-resultaten mogen daarom niet geïnterpreteerd worden als algemeen geldend voor Vlaanderen.

Wanneer we inzoomen op de specifieke geluidshinder, dan kunnen we er niet omheen dat dat wegverkeer veruit de belangrijkste bron van geluidshinder is. Naast wegverkeer nemen prioritaire voertuigen (sirenes) en bouw- en sloopactiviteiten een prominente plaats in bij de gerapporteerde hinder. Ook menselijk geluid, zoals stemmen en activiteiten in de publieke ruimte, en muziek in auto's, behoort tot deze top 10. Andere bronnen, zoals spoor- en vliegverkeer, blijken vooral contextgebonden relevant: ze wegen voor specifieke groepen en locaties zwaar door, maar bepalen niet in elke stad het globale beeld.

De GGB laat bovendien duidelijke sociale en ruimtelijke ongelijkheden zien in geluidshinder. Bewoners van appartementen ervaren gemiddeld meer hinder dan bewoners van (half)open bebouwing, en ook lagere inkomensgroepen en mensen in kwetsbare arbeidsposities rapporteren meer overlast. Deze patronen wijzen erop dat geluidshinder geen neutraal fenomeen is, maar samenhangt met wooncontext, levensfase en sociaaleconomische positie, en mogelijk zelfs bestaande ongelijkheden kan versterken.

Naast hinder brengt de GGB, samen met geluidswandeling, ook het positieve luik van onze geluidsomgeving in beeld. Natuurgeluiden, en in het bijzonder vogelgeluiden, worden door een groot deel van de deelnemers waargenomen en hangen samen met een hogere leefkwaliteit en een lagere ervaren geluidshinder. Deze resultaten bevestigen dat geluidsbeleving niet uitsluitend wordt bepaald door het ontbreken van lawaai, maar ook door de aanwezigheid van rustgevend geluiden. Natuurgeluiden fungeren als een buffer tegen geluidsstress. Dit toont aan dat geluidskwaliteit niet enkel kan worden benaderd via reductie van lawaai, maar ook via het versterken van positieve geluidslandschappen.

Conclusies en aanbevelingen

Een tweede positief element is het feit dat 80% van de respondenten vaak tot altijd bewust rekening houdt met het geluid dat ze zelf produceren! We zien dat dit gecorreleerd is met enerzijds de geluidsgevoeligheid en anderzijds de mate waarin ze zelf geluidshinder ondervinden.

Vanuit de wekelijkse bevestigingen zijn de conclusies iets minder sterk. De variatie in wekelijkse respons en wekelijkse geluidsblootstelling is beperkt, waardoor er wel enkele statistisch significante resultaten gevonden werden, maar in veel gevallen de effecten beperkt zijn. We zien hier ook hoe slaapkwaliteit en stress gecorreleerd zijn met geluidshinder (in beide richtingen), maar de gezochte links tussen de geluidsmetingen en de wekelijkse bevestigingen werden nog niet helemaal gevonden.

Uit de eindbevestiging komt een overwegend positieve ervaring van de deelnemers naar boven. Een grote meerderheid van de respondenten geeft zelfs aan dat ze bereid zijn om in de toekomst opnieuw aan een burgeronderzoeksproject te participeren. De voornaamste verbeterpunten die uit alle open vragen naar boven komen, zijn o.a. het uitbreiden van de scope buiten de stedelijke omgeving (bij een eventueel vervolgproject), betere en meer geluidsbronidentificatie en extra aandacht naar hoe de verzamelde data zullen gebruikt worden door de overheden.

17.3 Gezondheidsstudie

We beginnen hier met een jammerlijke vaststelling: meer dan de helft (51,9%) van de respondenten valt in de categorie (extreem) vermoeid en 66,7% van de respondenten ondervindt minstens matige stress. Dit zijn resultaten om even bij stil te staan en ons af te vragen wat we kunnen veranderen aan onze jachtige levensstijl. Geluidshinder is hierbij maar één van de factoren die hiertoe (mogelijk) bijdragen.

De analyses van de vragen rond slaap, slaperigheid, vermoeidheid en stress tonen een vast patroon: hogere geluidshinder gaat samen met slechtere slaapkwaliteit, hogere vermoeidheidsscores en hogere stressniveaus. We willen hierbij benadrukken dat de correlaties evenzeer in de andere richting werken: iemand die al vermoeid of gestresseerd is door andere factoren, zal makkelijker gehinderd zijn of geprikkeld worden door (omgevings)geluid.

De gezondheidsstudie binnen De Oorzaak, uitgevoerd door het UZA, toont aan dat de relatie tussen geluid, slaap en stress zeer complex is. Hoewel geen eenduidige causale of statistisch significante verbanden werden gevonden tussen gemiddelde geluidsniveaus enerzijds, en slaapstructuur of cortisolwaarden anderzijds, wijzen de resultaten wel op het belang van geluidsgevoeligheid, hyperacusis en gehoorstatus als modererende factoren. Dit suggereert dat gezondheidsimpact zich mogelijk manifesteert via subtielere mechanismen, zoals *micro-arousals*, autonome activatie of cumulatieve belasting over langere tijd, die nog verder onderzocht dienen te worden.

17.4 Verder onderzoek

Naast deze inhoudelijke inzichten heeft De Oorzaak ook duidelijk gemaakt hoeveel open vragen er nog blijven bestaan. Het project bracht (veel) nieuwe verbanden aan het licht, maar toonde tegelijk aan dat het beschikbare materiaal verre van uitgeput is. Ondanks de omvang van dit rapport is de analyse niet exhaustief, en biedt de opgebouwde dataset nog aanzienlijke ruimte voor verdere verdieping. We hopen dan ook dat in de komende jaren nog bijkomende inzichten uit De Oorzaak zullen voortkomen, via lopende of nieuwe (doctoraats)projecten.

Conclusies en aanbevelingen

Een belangrijk deel van die vervolgvragen kan in principe met de bestaande data verder onderzocht worden. Zo laat de slaapstudie toe om verder te gaan dan globale slaapparameters en in te zoomen op een veel fijnere temporele schaal. Door slaapdata op secondenniveau te analyseren en deze rechtstreeks te koppelen aan individuele geluidsevenementen, kan toekomstig onderzoek nagaan welke specifieke geluiden en geluidskarakteristieken effectief *micro-arousals* of ontwakingen uitlokken. Dergelijke analyses zijn essentieel om de gezondheidssimpact van geluid beter te begrijpen, maar vereisen tijdsintensieve verwerking en methodologische verfijning.

Ook de geluidsdata zelf bieden nog een groot onbenut potentieel. In dit rapport werd vooral gefocust op de meest dominante en algemene geluidsbronnen. Verdere verfijning van de AI-geluidsherkenning, via bijkomend labelwerk en het trainen van meer gespecialiseerde modellen, kan toelaten om meer gedetailleerde broncategorieën en geluidskennmerken betrouwbaar te onderscheiden. Dit is een noodzakelijke stap om de gemeten geluidsniveaus beter te kunnen opsplitsen naar bijdragen per bron en om de relatie tussen specifieke geluidstypes en ervaren geluidshinder scherper te analyseren.

Daarnaast heeft de verzamelde geluidsdataset ook toepassingen buiten de klassieke geluidsproblematiek. Zo kan ze gebruikt worden om patronen in natuurgeluiden, zoals vogelzang, ruimtelijk en temporeel in kaart te brengen. Dit opent perspectieven voor verder onderzoek naar de wisselwerking tussen geluid, biodiversiteit en geluidsbeleving. Eveneens ligt er potentieel in het berekenen van aanvullende akoestische indicatoren en soundscape-indices die dichter aansluiten bij hoe mensen hun geluidsomgeving ervaren, in plaats van louter te focussen op decibelniveaus.

Toekomstig onderzoek zal bovendien expliciet moeten kijken buiten de grootstedelijke context. De Oorzaak richtte zich op Antwerpen, Gent en Leuven, maar de problematiek van omgevingsgeluid is geenszins beperkt tot grote steden. Een gelijkaardig sensornetwerk over heel Vlaanderen zou kunnen blootleggen hoe geluidshinder zich manifesteert in kleinere steden, randgemeenten en landelijke gebieden, en in welke mate daar andere bronnen en dynamieken spelen.

Ten slotte toont dit project de meerwaarde aan van het combineren van verschillende datastromen. Binnen De Oorzaak werden al diverse aanvullende datasets verzameld die nog verder geanalyseerd zullen worden, zoals de koppeling tussen geluidsmetingen en Telraam-verkeerstellingen. Dergelijke vergelijkende studies kunnen bijkomende inzichten opleveren in hoe gemeten geluidsindicatoren en automatische bronherkenning zich verhouden tot reële verkeersstromen. Ook de app van De Oorzaak biedt nog veel potentieel, niet zozeer als meetinstrument voor geluidsniveaus, maar als middel om geluidsbeleving op grotere schaal en in uiteenlopende contexten in kaart te brengen.

Samen tonen deze perspectieven aan dat De Oorzaak niet alleen een afgerond onderzoeksproject is, maar vooral een vertrekpunt is voor verder interdisciplinair onderzoek naar omgevingsgeluid, gezondheid en leefkwaliteit, waarin zowel bestaande data als nieuwe meetcampagnes een belangrijke rol kunnen spelen.

Ook op beleidsmatig vlak biedt de dataset kansen. Ze kan dienen als referentie voor de evaluatie van geluidsreducerende maatregelen, als input voor fijnmaziger geluidsactieplannen, en als onderbouwing voor communicatie- en sensibiliseringstrajecten. Bovendien, zo hopen we, toont het project mooi de meerwaarde aan van burgerwetenschap als aanvulling op klassieke meetnetwerken, zowel voor dataverzameling als voor maatschappelijk draagvlak.

Conclusies en aanbevelingen

Tegelijk maakt De Oorzaak duidelijk dat verdere stappen nodig zijn. Automatische geluidsherkenning vraagt bijkomende ontwikkeling, representativiteit blijft een aandachtspunt, en causaliteit vereist longitudinale en experimentele onderzoeksopzetten. Deze beperkingen kunnen dienen als richtingaanwijzers voor toekomstig onderzoek.

Deze conclusies markeren daarom geen eindpunt, maar een overgang. In de volgende hoofdstukken vertalen we de inzichten uit De Oorzaak naar concrete aanbevelingen voor beleid, gezondheidszorg en burgers, en reflecteren we kritisch op de gehanteerde methodes en gerealiseerde doelstellingen. Samen onderstrepen ze dat omgevingsgeluid niet kan worden teruggebracht tot één norm of één oplossing, maar vraagt om een geïntegreerde, realistische en mensgerichte benadering, waarin data, gezondheid en leefkwaliteit samen worden gedacht. We hopen alvast dat De Oorzaak mee dat gesprek een boost heeft kunnen geven!

18 Aanbevelingen

In dit hoofdstuk trachten we een aantal aanbevelingen te doen op drie niveaus:

- Beleidsaanbevelingen gericht op het reduceren van de geluidsniveaus en ervaren geluidshinder (Universiteit Antwerpen);
- Beleidsaanbevelingen vanuit het gezondheidsperspectief (UZA);
- Aanbevelingen voor de burgers.

18.1 Beleidsaanbevelingen

De resultaten van De Oorzaak tonen aan dat de geluidsbeleving door burgers een complexe wisselwerking is tussen objectieve geluidsniveaus, soorten geluidsbronnen, piekgeluiden, aanwezigheid van natuurgeluiden, wooncontext, individuele gevoeligheid en nog andere niet-akoestische factoren zoals verwachtingen en relatie met de geluidsbron. Dit proberen vatten met jaargemiddelde indicatoren, zoals L_{den} en L_{night} , is zinvol voor strategische beslissingen, maar de correlatie tussen deze indicatoren en de effectieve geluidshinder is slechts beperkt.

De onderstaande aanbevelingen bieden jammer genoeg geen sluitende oplossingen, maar reiken aandachtspunten aan voor verdere beleidsafweging. Ze vertrekken vanuit onze inzichten uit dit project en richten zich op wonen, mobiliteit, normering, communicatie en datagebruik, met het oog op een meer samenhangende en gezondheidsgerichte omgang met omgevingsgeluid in Vlaanderen.

18.1.1 Stille vs. luide zijde van de woning

De resultaten van De Oorzaak tonen een duidelijk verschil tussen geluidsniveaus aan de straatzijde en aan de niet-straatzijde van woningen. Over de deelnemende steden heen werden aan achtergevels gemiddeld tot 5-6 dB lagere geluidsniveaus gemeten dan aan voorgevels. Ook 's nachts bleef een aanzienlijk groter aandeel van de achtergevels onder 50 dB (L_{night}) in vergelijking met de straatzijde.

Deze vaststellingen wijzen erop dat een stillere zijde van de woning in veel gevallen kan dienen als een akoestische buffer, met potentiële voordelen voor slaap en algemene leefkwaliteit.

In dat licht kan worden overwogen om:

- Burgers te adviseren om slaapkamers en andere geluidsgevoelige ruimtes zo veel mogelijk aan de rustigste gevel te situeren.
- Architecten meer opleiding/bijscholing laten volgen in akoestiek zodat zij bij het creëren van nieuwe woningen/gebouwen zich hiervan nog meer bewust zijn en automatisch geluidsgevoelige ruimtes zoals slaapkamers beter beschermen.
- Bij stadsvernieuwingsprojecten de inplanting van gebouwen zo uitvoeren dat ze al beschermd worden tegen omgevingslawaai, bijvoorbeeld door het plaatsen van een kantoorgebouw tussen een drukke weg en een woonzone.

18.1.2 Subsidies voor akoestische renovaties

De GGB toont dat bijna één op drie deelnemers overwoog te verhuizen omwille van geluidsoverlast. Tegelijk rapporteren lagere inkomensgroepen en bewoners van appartementen significant meer hinder, terwijl zij minder mogelijkheden hebben om te verhuizen of te investeren in woningkwaliteit.

Conclusies en aanbevelingen

Het huidige Vlaamse renovatiebeleid focust sterk op energieprestaties, maar laat akoestiek grotendeels buiten beschouwing. Toch tonen de resultaten dat:

- Gevels en vooral ramen cruciaal zijn voor het gehoorde geluid in de woning, zeker bij piekgeluiden zoals sirenes en zwaar verkeer.
- Geluidsisolatie een directe impact kan hebben op slaapkwaliteit en stress, twee domeinen met duidelijke gezondheidsimplicaties.

We bevelen dan ook aan om:

- Subsidies uit te werken voor akoestische renovaties, analoog aan energetische ingrepen.
- Deze steun gericht in te zetten in geluidsbelaste buurten en kwetsbare huishoudens.
- Akoestiek structureel op te nemen in woonkwaliteitskaders.

Een kanttekening hierbij is wel dat bewoners zeer goed geïnformeerd moeten worden over de (beperkte) impact van bijkomende geluidsisolatie zodat er geen onrealistische verwachtingen ontstaan.

18.1.3 Een akoestisch label voor woningen

Uit De Oorzaak blijkt dat veel burgers de impact van omgevingsgeluid onderschatten bij aankoop of huur. Vandaag bestaat er nauwelijks transparantie over de akoestische kwaliteit van woningen, terwijl de gevolgen vaak pas na intrek duidelijk worden.

Een akoestisch label, vergelijkbaar met het EPC, kan:

- Transparantie creëren op de woonmarkt.
- Consumenten beschermen tegen structureel nadelige woonkeuzes.
- Een stimulans vormen voor geluidsvriendelijke renovaties.

Hoewel een dergelijk label mogelijk een negatieve prijsimpact zal hebben op bepaalde woningen, kan dit worden gezien als een mogelijkheid om burgers beter te informeren en te beschermen. Overleg met expertenorganisaties zoals de Belgische Akoestische Vereniging (ABAV) is hierbij aangewezen. Een combinatie met subsidies voor akoestische renovaties voor kwetsbare huishoudens lijkt hierbij een must.

18.1.4 Realistische limietwaarden

De sensormetingen tonen dat op verschillende locaties L_{den} -waarden tot 77 dB en L_{night} tot 69 dB werden gemeten, vooral langs grote verkeersassen. Dit ligt ver boven de WHO-aanbevelingen voor wegverkeer, maar weerspiegelt tegelijk de bestaande stedelijke realiteit.

Belangrijk is dat De Oorzaak verder aantoont dat:

- Geluidshinder en gezondheidsindicatoren sterker samenhangen met luide en herhaalde geluidsevenementen dan met jaargemiddelden alleen.
- Constante achtergrondruis minder storend kan worden ervaren dan plotselinge of onvoorspelbare pieken. Dit is natuurlijk weer zeer persoonlijk. Voor veel burgers kan het constante geruis van een snelweg op de achtergrond wel heel storend zijn.

Conclusies en aanbevelingen

We zien hierbij ruimte voor:

- Vlaamse limietwaarden die bindend, ambitieus, maar realistisch zijn, m.a.w. boven de WHO-aanbevelingen die niet haalbaar zijn in een stedelijke omgeving, en die daarnaast enkel gebaseerd zijn op simulaties en literatuurstudies, en geen rekening houden met de som van alle geluidsbronnen tesamen.
- Een kader dat nog meer rekening houdt met geluidsdynamiek, piekgeluiden en bronkarakteristieken.
- Het aankaarten van de bevindingen uit De Oorzaak in Europese werkgroepen, met het oog op een kritische reflectie over het huidige beleidskader rond omgevingsgeluid, zoals bijvoorbeeld het gebruik van te brede indicatoren zoals L_{den} en L_{night} en het ontbreken van bindende limietwaarden.

18.1.5 Een centrale klachtenafhandeling

Veel burgers ervaren vandaag een versnipperd en weinig transparant klachtenlandschap. Ze voelen zich veelal niet gehoord bij aanhoudende overlast. Meldingen verlopen via verschillende instanties (lokale besturen, politie, AWV), die niet altijd over de juiste expertise of meetinstrumenten beschikken.

We adviseren een meer coherente aanpak:

- Met één duidelijk centraal aanspreekpunt voor geluidsoverlast.
- Heldere procedures en communicatie over wat burgers mogen verwachten bij geluidsoverlast en meldingen.
- Betere afstemming tussen handhaving, metingen en beleidsopvolging (bijvoorbeeld bij overlast vanuit horeca, burenlawaai, recreatieve activiteiten, ...).

Een transparant systeem kan het vertrouwen van burgers herstellen en tegelijk onrealistische verwachtingen temperen.

18.1.6 Communicatie en verwachttingsmanagement

De resultaten van het onderzoek maken duidelijk dat geluidsbeleving niet alleen wordt bepaald door gemeten decibelniveaus. De verschillen tussen objectieve metingen en ervaren hinder wijzen erop dat verwachtingen, context en kennis een rol kunnen spelen in hoe geluid wordt geïnterpreteerd. In die zin kan verwachttingsmanagement en correcte duiding bijdragen aan meer begrip en realistischere verwachtingen bij burgers.

Beleidsmatig zou dat betekenen:

- Actieve sensibilisering rond akoestiek, geluidspereceptie en gehoorbescherming (te veel bescherming of juist te weinig, ook in professionele context).
- Duidelijke communicatie bij ingrepen over wat realistisch haalbaar is en wat de uitkomsten van bijvoorbeeld geluidsschermen zijn.
- Transparantie over hoe onderzoeksresultaten, zoals die van De Oorzaak, worden vertaald naar beleid.

Conclusies en aanbevelingen

18.1.7 De rol van natuurgeluiden in stedelijk geluidsbeleid

De aanwezigheid van natuurgeluiden, en in het bijzonder vogelzang, hangt samen met een lagere ervaren geluidshinder, een hogere gerapporteerde leefkwaliteit en appreciatie van het geluidlandschap. Het meenemen van akoestische effecten bij vergroening en stadsinrichting kan daarom bijdragen aan een aangenamere leefomgeving.

We zien ruimte voor:

- Aandacht voor het behoud en de versterking van groene en biodiverse ruimtes als potentiële akoestische buffers binnen de stad.
- Het afstemmen van geluidsbeleid op groen- en biodiversiteitsbeleid, zodat vergroening ook bijdraagt aan een aangenamer geluidlandschap.

18.1.8 Meer ruimte voor reductie van verkeersgeluid in geluidsactieplannen

Wegverkeer is met ongeveer 37,5% van alle herkende geluidsevenementen de dominante bron van omgevingsgeluid, alsook met vijf geluidsbronnen aanwezig in de top 10 van de GGB. Vooral zwaar verkeer, brommers en motoren, en sirenes dragen bij aan luide piekgeluiden, die sterk correleren met stress en vermoeidheid.

Een aantal aanbevelingen hierbij zijn:

- Algemene investering in meer en kwalitatief openbaar vervoer.
- Investeren in stillere vervoersmodi zoals elektrische bussen. Voor het zogenaamde booggeluid bij trams (hoogfrequent gepiep) dient een betere aanpak te komen.
- Structureel onderhoud van wegdekken. Een versleten wegdek veroorzaakt meer lawaai (en trillingen) dan een goed onderhouden wegdek.
- Snelheidsverlagingen, maar tegelijk een kritische evaluatie van slecht gedimensioneerde of uitgevoerde snelheidsdrempels, die lokaal vaak extra lawaai en trillingen veroorzaken.
- Een realistische benadering van elektrische voertuigen: zinvol bij lage snelheden, maar geen wonderoplossing op hogere snelheden.
- Beperk zwaar verkeer zoveel mogelijk in de stad- of dorpskernen.
- Voorzie waar mogelijk extra geluidsschermen of stillere wegdekken, maar enkel in combinatie met doorgedreven communicatie en verwachtingsmanagement.
- Een aandachtspunt is wel dat het wegnemen/verminderen van de primaire geluidsbron ertoe kan leiden dat secundaire geluidsbronnen niet meer gemaskeerd worden, hierdoor dominant worden en dat de subjectieve geluidshinder maar beperkt afneemt.

De Vlaamse overheid en de betrokken steden (Antwerpen, Gent en Leuven) zetten hier al sterk op in, maar kleinere steden en gemeenten hebben natuurlijk geen geluidsactieplannen, omdat dit niet gevraagd wordt vanuit Europa en er evenmin voldoende data beschikbaar is. Misschien is het zinvol om voor hen een soort algemeen geluidsactieplan uit te werken met een set van maatregelen waaruit steden en gemeenten kunnen kiezen.

Vanzelfsprekend is het evenzeer nodig om andere geluidsbronnen voldoende aandacht te (blijven) geven, en hierbij zeker niet enkel te focussen op L_{den} - of L_{night} -waarden of het totale percentage sterk gehinderden. Vele geluidsbronnen zorgen enkel voor lokale overlast, waardoor ze bijvoorbeeld niet opduiken in een top 10-lijstje op populatieniveau.

Conclusies en aanbevelingen

18.1.9 Quick wins

Naast structurele ingrepen zien we enkele maatregelen met een relatief lage maatschappelijke kost en een duidelijke geluidswinst, zoals:

- De geleidelijke en verplichte invoering van elektrische bromfietsen ter vervanging van de zeer luidruchtige bromfietsen met een verbrandingsmotor (top 3 in de GGB).
- Lokale herziening van bijvoorbeeld het luiden van kerkklokken op basis van een bewonersbevraging.
- Onderzoek naar stillere en meer effectieve waarschuwingssystemen voor prioritaire voertuigen, met nachtmodi of alternatieve signalisatie.
- Naast technische oplossingen, is het even belangrijk om te blijven onderzoeken hoe bepaald (ongewenst) gedrag kan gewijzigd worden (bijvoorbeeld nachtlawaai). Bekijk dit vanuit een multidisciplinair standpunt met input van sociologen.
- Treed in overleg met sectororganisaties (bijvoorbeeld met de bouwsector → hoe kan de lokale overlast nog meer beperkt worden? Hoe kunnen we de arbeiders en werfleiders zelf bewuster maken van het lawaai dat ze maken? Kunnen ze bepaalde activiteiten later op de dag uitvoeren met zo min mogelijk impact op de werken?).

Dergelijke maatregelen vereisen politieke durf, maar kunnen het draagvlak voor breder geluidsbeleid versterken.

18.1.10 Investeren in datagedreven beleid

De Oorzaak toont de meerwaarde van burgerwetenschap voor fijnmazige geluidsdata en maatschappelijk draagvlak voor 'lastige' thema's als omgevingsgeluid. Klassieke meetnetwerken alleen volstaan niet om geluidsbeleving te begrijpen.

We geven mee dat het nuttig blijft om:

- Gelijkaardige projecten structureel te ondersteunen en de resultaten hiervan breed te delen.
- Te blijven investeren in AI-geluidsherkenning en open datasets.
- Geluid integraal te benaderen, in samenhang met gezondheid, natuur en sociale cohesie.

18.2 Gezondheidsperspectief op omgevingsgeluid door het UZA

Naast de ruimtelijke, technische en beleidsmatige aanbevelingen rond omgevingsgeluid, biedt De Oorzaak ook belangrijke inzichten vanuit gezondheidswetenschappelijk onderzoek. De gezondheidsstudie, uitgevoerd door het Universitair Ziekenhuis Antwerpen (UZA), maakt duidelijk dat geluidshinder niet alleen een omgevingsvraagstuk is, maar samenhangt met individuele gevoeligheid, gehoor en slaap.

Dit luik vertaalt de bevindingen van de gezondheidsstudie naar aanbevelingen met het oog op toekomstig gezondheidsbeleid. Onderzoekers van het UZA richten zich hierin op vroegdetectie, kwetsbare groepen, verdere kennisopbouw en interdepartementale samenwerking. Samen met de eerdere aanbevelingen benadrukken ze het belang van een geïntegreerde aanpak van omgevingsgeluid, waarin gezondheid wordt meegenomen als beleidsdoel en evaluatiecriterium.

Conclusies en aanbevelingen

18.2.1 Kwetsbare subgroepen

Door objectieve slaapmetingen te combineren met audiologische gegevens en metingen van geluidsgevoeligheid, kunnen subgroepen met een verhoogde kwetsbaarheid voor geluidshinder beter worden geïdentificeerd. De resultaten suggereren dat gehoorschade en gehoorverlies mogelijke risicofactoren zijn voor het ontwikkelen van geluidsgevoeligheid, wat op zijn beurt kan bijdragen aan ervaren hinder en gezondheidsklachten.

Beleidsmatig impliceert dit dat preventiestrategieën verder kunnen gaan dan algemene geluidsnormen en rekening moeten houden met individuele kwetsbaarheid. Inzetten op het voorkomen van gehoorschade en gehoorverlies kan daarbij een belangrijke preventieve hefboom zijn om geluidshinder en de gezondheidssimpact ervan te beperken.

Een concrete piste is het doortrekken van gehoorscreening naar de volwassen populatie. Waar gehoor bij kinderen en jongeren systematisch wordt opgevolgd, ontbreken momenteel richtlijnen voor gehoorscreening bij volwassenen. Gehoorverlies kan echter langdurig onopgemerkt blijven en aanleiding geven tot klachten zoals geluidshinder, stress en slaapproblemen, zonder dat de betrokkene zich bewust is van een gehoorprobleem. Vroegtijdige detectie kan zowel gezondheidswinst als maatschappelijke winst opleveren.

De resultaten van dit project tonen aan dat gehoorscreening bij volwassenen potentieel heeft, maar dat de keuze van het screeningsinstrument cruciaal is. Bij een aanzienlijk aantal deelnemers met objectief vastgesteld gehoorverlies werd dit verlies niet gedetecteerd met de hearWHO-screening, wat wijst op een beperkte sensitiviteit, met name voor unilateraal en/of mild gehoorverlies. Dit impliceert dat laagdrempelige digitale screeningsinstrumenten geschikt kunnen zijn als eerste stap, maar onvoldoende zijn als enige detectiemethode. Een getrappt screeningsmodel, waarin digitale zelftests worden gecombineerd met gerichte audiologische evaluatie bij risicogroepen of aanhoudende klachten, verdient verdere uitwerking en evaluatie alvorens brede implementatie wordt overwogen.

18.2.2 Veranker gehooronderzoek als standaardcomponent in geluidshinderstudies

De vastgestelde trends in dit project wijzen erop dat gehoorstatus en cochleaire functie relevante determinanten zijn van geluidsgevoeligheid en hinderbeleving. Toekomstig onderzoek naar geluidshinder zou daarom structureel audiologische metingen moeten integreren, naast omgevingsmetingen en subjectieve bevragingen.

Ook in de klinische en preventieve praktijk kan dit vertaald worden. Bij personen die klachten van geluidshinder rapporteren, kan een audiologisch onderzoek helpen om na te gaan of gehoorschade, gehoorverlies en/of verhoogde geluidsgevoeligheid bijdragen aan de ervaren hinder. Dit laat toe om interventies gericht in te zetten. Mogelijke behandelingen omvatten enerzijds hoorhulpmiddelen bij gehoorverlies, en anderzijds therapeutische trajecten bij geluidsgevoeligheid, zoals cognitieve gedragstherapie. Verder onderzoek is nodig om de effectiviteit van dergelijke interventies op geluidshinder en slaapkwaliteit systematisch te evalueren.

18.2.3 Vervolgonderzoek naar subtiele slaapverstoringen

De afwezigheid van effecten op de macrostructuur van de slaap betekent niet dat omgevingsgeluid geen impact heeft op gezondheid. Integendeel, de resultaten suggereren dat de effecten zich mogelijk situeren op een subtieler fysiologisch niveau, waarin *arousals* en autonome activatie zijn betrokken.

Conclusies en aanbevelingen

Het is daarom aangewezen om te investeren in vervolgonderzoek dat slaapverstoringen met een hogere temporele resolutie analyseert en deze koppelt aan concrete geluidsgebeurtenissen. Dergelijk onderzoek kan helpen om de gezondheidsimpact van geluidshinder beter te objectiveren en om drempelwaarden te definiëren die relevant zijn voor beleid. De huidige dataset biedt hiervoor een waardevolle basis.

18.2.4 Longitudinale en follow-upstudies

Hoewel de huidige studie waardevolle baseline-informatie oplevert, laat het cross-sectionele design niet toe om oorzaak-gevolgrelaties vast te stellen. Longitudinaal vervolgonderzoek is nodig om evoluties in gehoor, geluidsgevoeligheid en slaapkwaliteit over een langere tijdsspanne in kaart te brengen, evenals de mogelijke cumulatieve impact van chronische geluidsblootstelling.

Een concrete aanbeveling is om deze onderzoeksopzet te herhalen in specifieke contexten waar geluidshinder sterk wordt ervaren, bijvoorbeeld in buurten waar infrastructurele ingrepen of geluidsreducerende maatregelen gepland zijn. Door slaap en gehoor vóór en na dergelijke interventies te meten, kan de effectiviteit van beleidsmaatregelen objectief worden geëvalueerd en kunnen toekomstige interventies gericht en kostenefficiënter worden vormgegeven.

18.2.5 Integratie in het Globaal Medisch Dossier (GMD)

Het structureel opnemen van gehoor- en slaapegegevens in het Globaal Medisch Dossier (GMD) kan bijdragen aan interdisciplinair gebruik van gezondheidsdata en aan vroegdetectie van geluidsgerelateerde gezondheidsproblemen. De in dit project verzamelde gegevens illustreren de meerwaarde van baseline-metingen. Zo kan een gehoortest in het GMD referentiewaarden bieden wanneer een persoon later gehoorklachten ontwikkelt, bijvoorbeeld na een geluidstrauma. Hetzelfde geldt voor het ontwikkelen van een slaapaandoening.

De resultaten van een thuispolysomnografie, die in België normaal gesproken niet in de dagelijkse routine wordt uitgevoerd, kunnen een meerwaarde zijn als referentie of baseline-meting. Dit is vooral interessant voor personen waarbij op korte termijn een slaaponderzoek zou kunnen worden uitgevoerd, waarbij de thuismeting een referentie kan vormen voor eventuele slaapverstoringen, veroorzaakt door de ziekenhuisomgeving. Voor personen waarbij op lange termijn pas een slaaponderzoek noodzakelijk zou zijn, blijft deze thuispolysomnografie een meerwaarde als referentie om de evolutie van een eventuele slaapproblematiek te beoordelen. Ook informatie over geluidsgevoeligheid, tinnitus en slaapkwaliteit kan relevant zijn voor andere zorgverleners en disciplines. Verdere studie is nodig om te bepalen welke gegevens klinisch relevant zijn en hoe deze op een haalbare en privacy-bewuste manier geïntegreerd kunnen worden.

18.2.6 Onderbouwing voor interdepartementale samenwerking

De bevindingen van dit project bevestigen dat geluidshinder zich situeert op het snijvlak van gezondheidsbeleid, omgevingsbeleid en stedelijke planning. Effectieve aanpak vereist samenwerking tussen beleidsdomeinen en een gedeelde wetenschappelijke onderbouw.

Vervolgonderzoek waarin gezondheidsdata structureel worden gekoppeld aan omgevings- en infrastructuurgegevens kan fungeren als verbindend kader tussen deze beleidsdomeinen. Departement Zorg kan hierbij een voortrekkersrol opnemen door gezondheid expliciet mee te nemen als uitkomstmaat in evaluaties van omgevings- en geluidsbeleid.

18.3 Aanbevelingen voor burgers

De resultaten van De Oorzaak maken duidelijk dat geluid onderdeel is van ons dagelijks leven, met zowel positieve als negatieve kanten. De manier waarop geluid wordt ervaren, blijkt sterk persoons- en contextafhankelijk. Niet iedereen ervaart hetzelfde geluid als storend. Tegelijk tonen onze analyses aan dat bepaalde geluidsbronnen, in het bijzonder verkeersgeluid, vaker samenhangen met stress, vermoeidheid en verstoring van de slaap. Met deze informatie in het achterhoofd kunnen burgers zelf een aantal bewuste keuzes maken om hun geluidsomgeving aangenamer te organiseren.

18.3.1 Zoek actief balans tussen geluid, rust en natuur

Uit het onderzoek blijkt dat natuurgeluiden, zoals vogelzang, ritselende bladeren of stromend water, systematisch positiever worden beoordeeld dan technische of mechanische geluiden. De aanwezigheid van dergelijke geluiden hangt samen met minder gerapporteerde hinder en lagere stressniveaus. Dit suggereert dat niet alleen de afwezigheid van geluid, maar ook de kwaliteit van het geluidslandschap van belang is.

Burgers kunnen hierop inspelen door:

- Bewust rustige en groene plekken in de eigen leefomgeving op te zoeken, zoals parken, binnentuinen of nabijgelegen natuurgebieden.
- Natuur dichterbij huis te brengen via planten, bomen of andere groene elementen. Deze dempen maar beperkt het geluid, ze zorgen hierbij vooral voor een positiever geluidslandschap.

18.3.2 Bescherm het gehoor op een evenwichtige manier

Het onderzoek onderstreept het belang van verstandig omgaan met luid geluid. Geluid wordt potentieel schadelijk wanneer het zo luid is dat men de stem moet verheffen om verstaanbaar te blijven. Hoe hoger het geluidsniveau, hoe korter de veilige blootstellingsduur. Geluiden zoals sirenes of luid uitgaansgeluid kunnen bij een relatief korte blootstelling al belastend zijn voor het gehoor.

Aanbevolen wordt om:

- Gehoorbescherming te gebruiken bij schadelijk lawaai, bij voorkeur op maat gemaakte oordoppen bij frequente blootstelling.
- Regelmatig rustpauzes in te lassen na blootstelling aan luid geluid.

Tegelijk is het belangrijk om gehoorbescherming niet te vaak in te zetten bij geluid dat wel storend, maar niet schadelijk is. Overmatige geluidsvermijding kan de gevoeligheid voor geluid juist vergroten. Een gebalanseerde blootstelling helpt de hersenen om geluid beter te leren filteren.

18.3.3 Organiseer de slaapomgeving bewust

Slaap blijkt een van de onderdelen in ons leven waar geluidshinder het duidelijkst doorwerkt. Ongeveer één op vijf deelnemers wordt minstens wekelijks wakker door verkeersgeluid. Vooral nachtelijk verkeer draagt bij aan verminderde slaapkwaliteit.

Burgers kunnen hun slaapomgeving optimaliseren door:

Conclusies en aanbevelingen

- Ramen aan de straatzijde te sluiten bij veel nachtelijk verkeer en te ventileren via de rustigere zijde van de woning.
- Waar mogelijk slaapkamers te situeren aan de rustige zijde van hun woning. Deelnemers met een slaapkamer aan de achterkant (stille kant) rapporteren gemiddeld een hogere tevredenheid over hun leefomgeving.
- Een regelmatig slaapritme aan te houden. Wie elke dag rond hetzelfde uur gaat slapen en opstaat, slaapt dieper en wordt minder snel wakker van storende geluiden.
- Bij uitgesproken overlast gebruik te maken van geluidsverrijking, zoals zachte achtergrondgeluiden (bijvoorbeeld ventilator of *white noise*), eerder dan volledige geluidsafsluiting. Geluidsverrijking kan storende pieken maskeren zonder de natuurlijke behoefte aan geluid volledig weg te nemen.

18.3.4 Besteed aandacht aan welzijn en stress

Meer dan 60% van de deelnemers rapporteerde matige tot hoge stress. Het onderzoek toont duidelijke verbanden tussen geluidshinder en verhoogde stressscores (dit verband werkt echter in twee richtingen: mensen die gestresseerd zijn, zullen sneller gehinderd zijn door geluid). Ook de speekselnames in het gezondheidsonderzoek wijzen op een verhoogde stressrespons bij mensen die gevoeliger zijn voor geluid.

Het is daarom aangewezen om:

- Regelmatig momenten van lagere geluidsbelasting in te bouwen tijdens de dag.
- Actief af te wisselen tussen drukke en rustigere omgevingen.
- Zich bewust te zijn van de samenhang tussen geluid, stress en welzijn, en signalen van aanhoudende overbelasting ernstig te nemen.

Bij blijvende klachten kan het zinvol zijn om professioneel advies in te winnen. Een gehoortest kan inzicht geven in gehoorstatus en gevoeligheid. Ook kan ondersteuning door een audioloog of NKO-arts helpen om passende copingstrategieën te ontwikkelen.

18.3.5 Ga bewust om met geluid in een stedelijke context

De metingen tonen aan dat geluidsniveaus aan de straatzijde structureel hoger liggen dan aan de achterkant van woningen. Deze verschillen bieden aanknopingspunten voor praktische keuzes.

Burgers kunnen:

- De rustigere delen van de woning (tuinzijde, binnentuinen) benutten als rustplekken.
- Bij renovaties inzetten op effectieve akoestische maatregelen, zoals akoestische beglazing of rolluiken. Daarbij is het belangrijk te beseffen dat geluidsisolatie niet hetzelfde is als thermische isolatie en vaak professionele expertise vraagt.
- In situaties van extreme blootstelling overwegen om bijkomende maatregelen te nemen, zoals een voorzetraam, steeds afgestemd op de specifieke woningcontext.

Conclusies en aanbevelingen

18.3.6 Zoek oplossingen samen met anderen

Geluidshinder is een wijdverspreid fenomeen. Een grote meerderheid van de deelnemers gaf aan er in meer of mindere mate last van te hebben. Tegelijk is geluidshinder complex en niet gemakkelijk individueel op te lossen.

Daarom is het zinvol om:

- Geluidshinder te blijven melden bij de stad of gemeente.
- Het gesprek aan te gaan met burens en samen knelpunten te benoemen.
- Samen te pleiten voor structurele maatregelen zoals verkeersingrepen, geluidsarm wegdek, vergroening of autoluwe zones, met realistische verwachtingen over wat deze maatregelen kunnen bereiken.

Een effectieve aanpak combineert persoonlijke strategieën (rust opzoeken, slaap slim organiseren) met structurele maatregelen (aanpak van mobiliteitsproblemen, meer groen, en bredere stedelijke ingrepen).

18.4 Tot slot

Ons onderzoek en onze aanbevelingen maken duidelijk dat omgevingsgeluid verschillende beleidsdomeinen raakt en niet met één enkele maatregel kan worden aangepakt. Activiteiten zoals luchtverkeer, logistiek en vrijetijdsbesteding zijn bovendien sterk verweven met economische en maatschappelijke verwachtingen. We willen blijven reizen, pakketjes laten leveren en af en toe op restaurant, terwijl we evengoed hinder ervaren van de bijhorende geluiden.

Een bredere strategie is daarom aangewezen, waarin naast akoestische, ook economische en sociologische inzichten worden meegenomen, want omgevingsgeluid raakt ook aan bredere maatschappelijke ontwikkelingen. De manier waarop we geluid ervaren, hangt samen met hoe we met elkaar omgaan en de tolerantie die we voor elkaar hebben. Helderheid, dialoog en wederzijds begrip tussen burgers onderling én het beleid blijven belangrijk.

19 Kritische reflectie

Tijdens de startfase van het onderzoek heeft het onderzoeksteam een aantal doelstellingen geformuleerd om potentiële partners te overtuigen en om later de voortgang en impact van het project op een gestructureerde manier te kunnen evalueren. We bespreken in het kort in welke mate deze vooropgestelde KPI's (*Key Performance Indicators*) zijn gerealiseerd. We maken daarbij onderscheid tussen behaalde, gedeeltelijk behaalde en niet behaalde doelstellingen, en koppelen hier telkens de belangrijkste leerpunten aan. We willen hiermee een fundering leggen voor toekomstige burgerwetenschapsprojecten rond omgevingsgeluid.

19.1 Wetenschappelijke en technologische KPI's

19.1.1 Automatisch en *on the edge* geluidsherkenningssysteem ++

De ontwikkeling van een automatisch geluidsherkenningssysteem met slimme sensoren werd gerealiseerd in samenwerking met de sensorleveranciers. In een voortraject werden meer dan 850.000 geluidsfragmenten verzameld, waarvan 3.635 fragmenten zorgvuldig werden gelabeld door opgeleide jobstudenten, aangevuld met een uitgebreide databank aan treingeluiden van Infrabel.

Omdat het beschikbare AI-geluidsherkenningsmodel bij aanvang van het project nog onvoldoende performant bleek, werd tijdens het project beslist om tijdelijk over te schakelen op het opslaan van mel-spectra en de geluidsherkenning achteraf uit te voeren. Dit resulteerde in de ontwikkeling van meerdere modellen, waarvan het meest performante model klaar is voor toekomstige *on the edge*-toepassingen.

Tegelijk bleek uit de eindbevraging dat deelnemers de geluidsherkenning soms als onnauwkeurig of onvoldoende afgestemd op hun eigen beleving ervaarden. Ook lage frequenties en trillingen bleven buiten scope. De KPI is technisch gerealiseerd, maar inhoudelijk nog vatbaar voor verdere verfijning en doorontwikkeling.

19.1.2 Uitgebreid sensornetwerk gedurende één jaar ++

Met 400 slimme sensoren, 1.452 unieke meetlocaties en meer dan 1,47 miljoen meeturen werd een fijnmazige en grootschalige dataset opgebouwd over de geluidsomgevingen in Antwerpen, Gent en Leuven. Het netwerk werd aangevuld met vaste meetpunten en langdurige metingen in onder meer Aalter en op de UZA-site. Dit overtreft de meeste bestaande stedelijke meetcampagnes, zowel qua schaal als detailniveau. De correctheid van de installaties was hoog (bijna 90% correct geïnstalleerd), wat de datakwaliteit ten goede kwam.

19.1.3 Objectieve geluidsbelastingkaarten en subjectieve belevingsdata ++

De koppeling van objectieve geluidsmetingen met subjectieve belevingsdata leverde een duidelijke meerwaarde op en resulteerde in aanvullende inzichten in de relatie tussen geluidsniveaus, hinder, stress en slaapkwaliteit. De akoestische data worden aan de overheidspartners zowel als Excel-bestanden als in GIS-formaat beschikbaar gesteld en kunnen dienen als input voor verdere analyses.

Tegelijk bleek het methodologisch te complex om op basis van de metingen volwaardige geluidsbelastingkaarten op te stellen of bestaande strategische geluidsbelastingkaarten rechtstreeks te valideren en aan te vullen volgens de geldende standaarden. Hiervoor is een verdere verfijning van

Conclusies en aanbevelingen

de geluidsherkenning nodig om de gemeten geluidsniveaus betrouwbaar te kunnen opsplitsen naar bijdrage per bron.

De KPI werd relevant ingevuld, maar kon binnen de projectlooptijd niet volledig worden gerealiseerd. Deze vaststelling vormt een belangrijk leerpunt voor vervolgonderzoek. Om de AI-geluidsherkenning volledig te kunnen vertrouwen, is nog veel extra onderzoek en ontwikkeling nodig. Pas hierna kan verder onderzocht worden of het mogelijk is om de gemeten geluidsniveaus in combinatie met de geluidsherkenning op te splitsen in bijdragen van bepaalde bronnen.

19.1.4 Gedetailleerd medisch inzicht (slaap, stress, gehoor) ++

De gezondheidsstudie leverde belangrijke data op (polysomnografie, cortisol, audiologie) en bevestigde onder meer het belang van geluidsgevoeligheid (hyperacusis) als risicofactor. Tegelijk werden geen eenduidige causale verbanden gevonden tussen objectieve geluidsniveaus en slaapstructuur of cortisol, deels door beperkte steekproefgroottes. De KPI is inhoudelijk waardevol ingevuld, maar toont ook de complexiteit van dit type onderzoek.

19.1.5 Inzichten rond de beleving van geluidshinder +++

Het onderzoek leverde uitgebreide en onderbouwde inzichten op in hoe burgers omgevingsgeluid ervaren en welke factoren deze beleving bepalen. Het gekozen onderzoeksopzet maakte het mogelijk om geluidshinder te benaderen voorbij gemiddelde geluidsniveaus, en deze te koppelen aan bron en persoonsgebonden factoren.

De resultaten tonen aan dat ervaren hinder sterker samenhangt met herhaalde en plotse geluidsevenementen dan met gemiddelde geluidsindicatoren zoals L_{den} en L_{night} . Ook zagen we dat geluidsgevoelige groepen structureel meer hinder, stress en slaapklachten rapporteren. Daarnaast werd het verzachtend effect van natuur- en vogelgeluiden op de geluidsbeleving bevestigd, en werden duidelijke sociale en ruimtelijke verschillen in geluidshinder zichtbaar.

De KPI werd sterk ingevuld en resulteerde in inzichten die relevant zijn voor een meer mens- en gezondheidsgericht geluidsbeleid.

19.2 Participatie- en bereik-KPI's

19.2.1 De Grote Geluidsbevraging (doel: 20.000 deelnemers) ++

Met 10.138 volledig ingevulde vragenlijsten werd een zeer sterke respons gerealiseerd, maar het oorspronkelijke streefcijfer van 20.000 bleek te ambitieus. De steekproef was bovendien niet representatief voor de Vlaamse bevolking (hogere leeftijd, hoger opgeleid, zelfselectiebias). Inhoudelijk leverde de bevraging echter bijzonder rijke inzichten op, die goed aansluiten bij bestaande beleidsdata.

19.2.2 Actieve burgerparticipatie via sensoren ++

Van de beoogde 2.400 sensordeelnemers (400 x 6) namen er effectief 1.452 deel. Hoewel dit lager ligt dan initieel gehoopt, is het aantal unieke meetlocaties uitzonderlijk hoog. Deelnemers die instapten in het meettraject, waren bovendien erg betrokken bij het onderzoek.

Conclusies en aanbevelingen

19.2.3 Substudies en deelprojecten +++

De slaapstudie (101 deelnemers), Apple Watch-studie (128), scholencomponent (12 scholen), Aalter-casus (20 sensoren) en andere subprojecten werden succesvol uitgevoerd. Ze boden verdieping en testten nieuwe methodes, al waren ze soms exploratief van aard en niet altijd statistisch doorslaggevend.

19.3 Communicatie- en impact-KPI's**19.3.1 Publieksbereik en media-impact +++**

De samenwerking met De Morgen resulteerde in 49 artikels en meer dan 575.000 kliks, aangevuld met interactieve kaarten, persoonlijke dashboards en brede media-aandacht. Daarnaast werden drie eindsymposia georganiseerd met samen meer dan 500 deelnemers, en gaf het team meer dan 40 presentaties en lezingen. Deze KPI is ruimschoots behaald.

19.3.2 Informatie en sensibilisering van burgers en overheid +++

Zowel deelnemers als partners gaven in de eind- en partnerbevraging aan dat De Oorzaak hun bewustzijn rond geluidshinder heeft vergroot. De problematiek werd tastbaar, meetbaar en bespreekbaar gemaakt, wat één van de kernambities van het project was.

Tegelijk bracht het brede onderzoeksofzet, met meerdere deelprojecten, ook communicatieve uitdagingen met zich mee. Door de veelheid aan activiteiten en het uiteenlopende tempo waarin resultaten beschikbaar kwamen, was het niet steeds mogelijk om alle zijprojecten en tussentijdse bevindingen even uitgebreid te communiceren naar alle deelnemers. Ondanks deze uitdaging blijft de algemene impact op bewustwording zeer hoog.

19.3.3 Datadeling en beleidsrelevantie ++

Er is een duidelijk pad uitgezet voor data-uitwisseling met partners en overheden, met aandacht voor privacy (pseudonomisatie en het afsluiten van een protocol voor doorgifte van persoonsgegevens) en documentatie. Een deel van de data (o.a. referentiesensoren) wordt echter pas in 2026 ontsloten. De KPI is in uitvoering, maar nog niet volledig afgerond.

19.4 Tot slot

De evaluatie van de KPI's toont aan dat we geslaagd zijn in het realiseren van onze kernambities, maar het maakt tegelijk duidelijk welke uitdagingen gepaard gaan met grootschalige burgerwetenschapsprojecten. Tijdens de ontwerpfase is het verleidelijk om verschillende onderzoeksvragen, methodes en deelprojecten te willen integreren, zeker wanneer er veel maatschappelijke en beleidsmatige verwachtingen zijn en verschillende partners betrokken zijn. Het brede opzet van ons onderzoek heeft geleid tot nieuwe inzichten, maar is in de uitvoering ook een potentiële valkuil.

Burgerwetenschap vergt niet alleen technische en wetenschappelijke expertise, maar ook intensieve inzet op coördinatie, communicatie, dataverwerking en opvolging van deelnemers. Dit vraagt veel tijd en energie van het onderzoeksteam. Binnen De Oorzaak werd dit gerealiseerd met een relatief beperkt kernteam. Hierdoor moesten er keuzes worden gemaakt in prioritering. Niet alle ambities konden in dezelfde mate of binnen dezelfde projectlooptijd worden waargemaakt. Ook was het niet altijd

Conclusies en aanbevelingen

mogelijk om tussentijdse resultaten en zijprojecten even uitgebreid te communiceren naar alle betrokkenen.

Deze ervaringen onderstrepen het belang van focus en afbakening bij toekomstige burgerwetenschapsprojecten. Tegelijk tonen ze aan dat een gefaseerde aanpak, met ruimte voor vervolgonderzoek, noodzakelijk is om de opgebouwde kennis en infrastructuur maximaal te benutten. We leveren met De Oorzaak daarmee niet alleen resultaten op, maar ook waardevolle lessen over hoe burgerwetenschap rond omgevingsgeluid in de toekomst kan worden georganiseerd.

DE OORZAAK



DE OORZAAK

Appendices

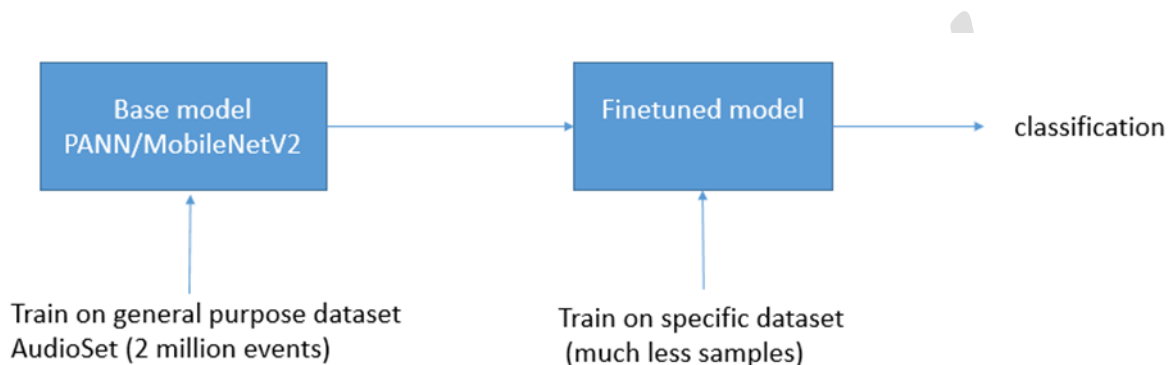
Appendices

Overzicht (digitale) bijlagen:

	Omschrijving	Link/Digitale bijlage
Appendix A	Architectuur van de geluidsherkenningssystemen	NVT
Appendix B	Vragenlijst gehoorbescherming	Digitale bijlage (PDF)
Appendix C	Vragenlijst geluidswandeling	Digitale bijlage (PDF)
Appendix D	Vragenlijst Grote Geluidsbevraging	Digitale bijlage (PDF)
Appendix E	Wekelijkse bevestigingen (W0-W6)	Digitale bijlage (PDF)
Appendix F	Eindbevestiging	Digitale bijlage (PDF)
Appendix G	Artikels De Morgen	Link

Appendix A: Architectuur van de geluidsherkenningmodellen

De modelbeschrijving is de MobilenetV2-variant van [PANN](#) (Kong et al. 2018, Large-Scale Pretrained Audio Neural Networks for Audio Pattern Recognition), waaraan een laatste classificatielaag is toegevoegd om de gewenste geluidsklassen te voorspellen. PANN heeft verschillende vooraf getrainde modellen gepubliceerd, die nodig zijn om snel modellen voor andere doeldomeinen (zoals andere sensoren of andere klasselabels) te trainen. Een vooraf getraind model leert namelijk sneller hoe het enkele basis- en meer geavanceerde patronen in gegevens kan detecteren, zie Figuur A-1.



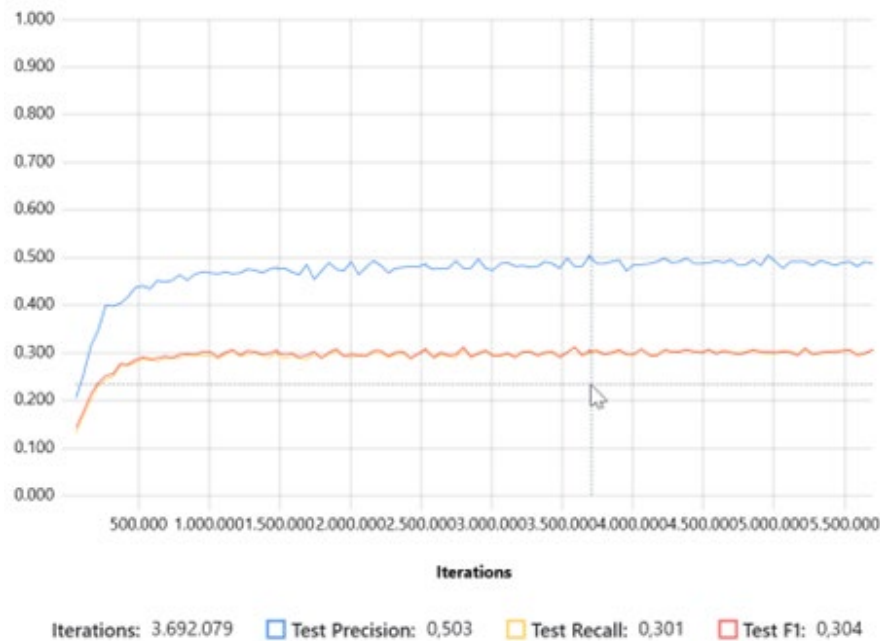
Figuur A-1 Van een vooraf getraind PANN-model naar een specifiek model [figuur ASAsense]

We hebben twee sets modellen getraind. De eerste set (set 1) is bedoeld voor de data van de ASAsense-sensoren. Hiervoor werd de mel-spectrogramconfiguratie gebruikt van het vooraf getrainde MobilenetV2-model dat is opgenomen in PANN (2018). Dit model is getraind op AudioSet, een dataset voor audioclassificatie. De spectrogrammen zijn geconfigureerd als 64 mel-spectra (frequentiedomein), 150 frames per seconde (tijdsdomein), over een frequentiebereik van 50 Hz t.e.m. 14 kHz, berekend conform de methode die de Python module Librosa gebruikt.

De andere set (set 2) modellen is bedoeld voor de data verkregen met de Munisense-burgersensoren, waarvan ook het mel-spectrogram werd opgeslagen, maar in een andere configuratie: 48 mel-spectra (frequentiedomein), 32 frames per seconde (tijdsdomein), frequentiebereik 40 Hz t.e.m. 16 kHz, via de Matlab-rekenmethode. De invoercharacteristieken verschillen sterk van die van PANN, en met name de resolutie is lager. We moesten dus ons eigen *pre-trained* model trainen en deden dit opnieuw op basis van het AudioSet-model, met dezelfde verdeling tussen training en test als in PANN. De modelparameters werden willekeurig geïnitieerd.

In Figuur A-2 wordt de trainingscurve van de voorafgaande training weergegeven (alleen de resultaten voor de testset worden weergegeven). Het kostte ongeveer 5,6 miljoen iteraties. Bij elke iteratie worden 32 samples willekeurig uit de dataset gekozen en aan het model getoond. De gewichten van het model worden aangepast met *back-propagation* (gradiëntdaling met ADAM-optimalisator). Deze training kostte ongeveer 2 volledige dagen rekenwerk op een Nvidia Tesla T4 GPU.

Appendices

*Figuur A-2 Training basismodel [figuur ASAsense]*

Eenmaal het basismodel werd getraind, gebruikten we dit model als basis om een gespecialiseerd model te trainen, gefocust op de geluidsklassen die in dit project werden gekozen. Deze verfijningsfase kost slechts een paar uur rekentijd, omdat het vooraf getrainde model al veel geluidspatronen herkent en slechts licht hoeft te worden aangepast om de gewenste geluidsklassen te voorspellen. We merkten bovendien een duidelijke verbetering van de uiteindelijke prestaties van de modellen wanneer ze starten van een goed getraind basismodel, t.o.v. een random initialisatie.

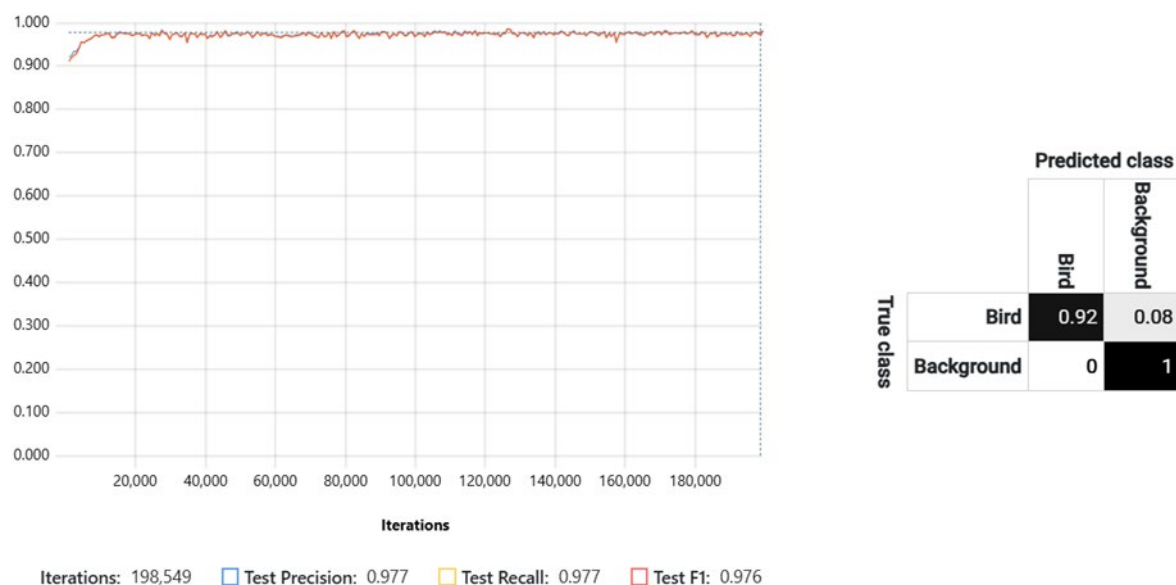
Binnen beide sets werden 2 modellen getraind: een vogelmodel en het 10-klassenmodel.

Appendices

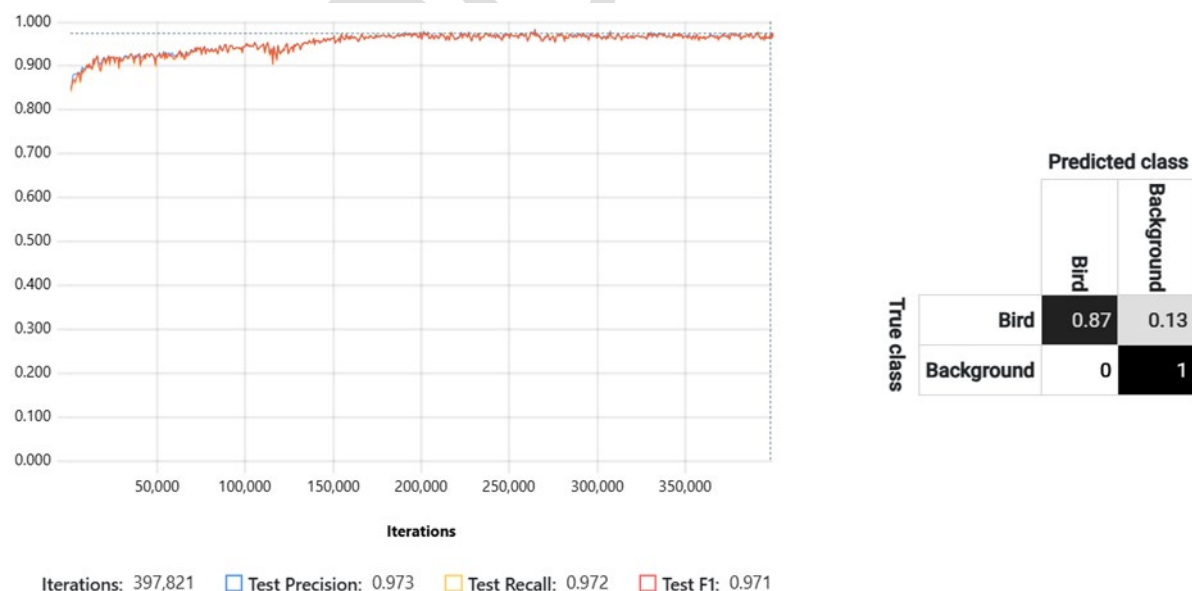
A.1 Vogelmodel

Het vogelmodel is een binair model bedoeld om vogels te onderscheiden van achtergrondgeluiden. De laatste voorspellingslaag gebruikt hiervoor de softmax-activeringsfunctie. Een dergelijke activeringsfunctie is zo opgezet om voor ieder fragment een *confidence level*/waarschijnlijkheid te geven over alle klassen heen (hier dus 2). Als alle *confidence levels* voor één fragment worden samengeteld is de som 1.

De prestaties van de vogelmodellen voor beide sets zijn als volgt, zie Figuur A-3 en Figuur A-4:



Figuur A-3 Prestaties van het vogelmodel met 64 mel-spectra en 150 spectra/s (ASAsense data) [figuur ASAsense]

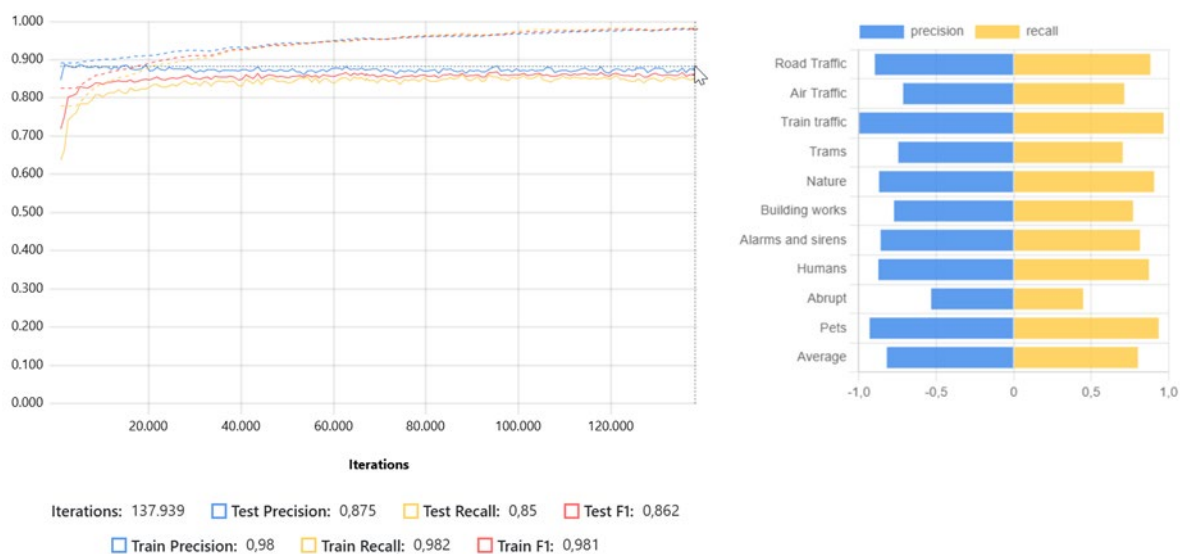


Figuur A-4 Prestaties van het vogelmodel met 48 mel-spectra en 32 spectra/s (Munisense data) [figuur ASAsense]

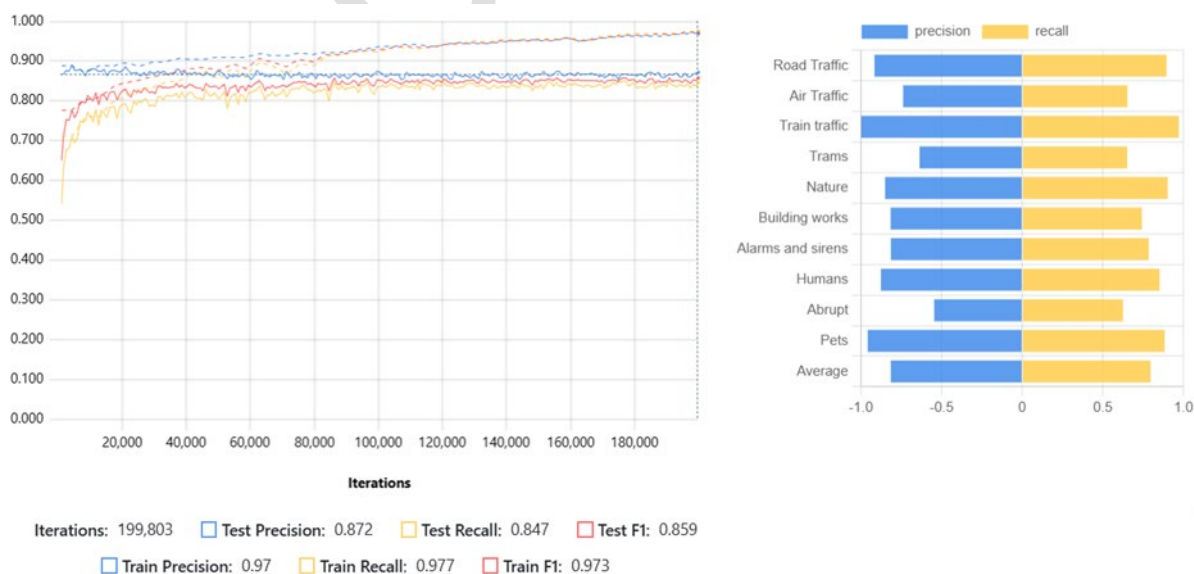
A.2 10-klassenmodel

Het 10-klassenmodel, afgestemd op de geluidsklassen die in Hoofdstuk 5 werden beschreven, is een multi-labelmodel, waarbij de laatste laag de sigmoïde activeringsfunctie heeft. Voor elk sample verkrijgen we een getal tussen 0 en 1 voor elke geluidsklasse. Dit betekent dat we meerdere voorspelde klassen kunnen identificeren voor één fragment, bijvoorbeeld “Wegverkeer en Bouwwerkzaamheden” of helemaal geen.

Onderstaande Figuren A-5 en A-6 geven de prestaties weer van de 10-klassenmodellen. De stippellijnen zijn de trainingsstatistieken, en de ononderbroken lijnen zijn de teststatistieken (gegevens die tijdens de training niet zijn gezien). Trams en abrupte geluiden zijn de twee geluidsklassen die het minst goed herkend worden.



Figuur A-5 Prestaties van het 10-klassenmodel met 64 mel-spectra en 150 spectra/s (ASAsense data) [figuur ASAsense]



Figuur A-6 Prestaties van het 10-klassenmodel met 48 mel-spectra en 32 spectra/s (Munisense data) [figuur ASAsense]

A.3 Gebruikte datasets

AudioSet

AudioSet bestaat uit een ontologie van 632 audio-evenementklassen en een verzameling van 2.084.320 door mensen gelabelde geluidsfragmenten van 10 seconden uit YouTube-video's. De ontologie is opgesteld als een hiërarchische grafiek van evenementcategorieën, die een breed scala aan menselijke en dierlijke geluiden, muziekinstrumenten en genres, en veelvoorkomende alledaagse omgevingsgeluiden omvat. Er zijn vooraf getrainde modellen gemaakt voor MobileNetV2 (PANN, 2017). De dataset is erg groot en vertoont een grote onevenwichtigheid in de labels. <https://research.google.com/audioset/>

Deze dataset werd gebruikt voor pre-training.

Infrabel

Een dataset van Infrabel bedoeld om het onderscheid tussen trein- en tramgeluiden te verfijnen.

De Oorzaak

Zie de beschrijving in § 5.2.

SONYC

SONYC Urban Sound Tagging (SONYC-UST): een multilabel dataset van een stedelijk akoestisch sensornetwerk (versie v2.3), <https://zenodo.org/records/3966543>. Sommige bestanden zijn tijdens De Oorzaak nauwkeuriger geannoteerd, aangezien de oorspronkelijke fragmenten 10 seconden lang waren en de labels enkel aangeven of een bepaalde geluidsklasse aanwezig is in het fragment, maar niet wanneer of hoe lang.