

Laagfrequent geluid als omgevingsstressor in relatie tot neuropsychologische beperkingen

Kristina Erdélyi · Anselm B. M. Fuermaier · Janneke Koerts · Lara Tucha · Oliver Tucha

Samenvatting

Geluidsvervuiling is een omgevingsstressor die een negatief effect kan hebben op de gezondheid, het welzijn en het dagelijks functioneren. Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie kan blootstelling aan geluid of lawaai leiden tot een verhoogd risico op cardiovasculaire aandoeningen, slaapproblemen, irritatie en cognitieve beperkingen. De cognitieve functies die vaak zijn aangedaan binnen deze context zijn aandacht, geheugen, probleemoplossend vermogen en leesvaardigheid. Hoewel er veel onderzoek is gedaan naar de negatieve effecten van geluid, wordt het zogenaamde laagfrequent geluid (LFG) amper herkend en erkend als een omgevingsstressor. LFG verwijst naar geluid rond of onder de menselijke gehoordrempel. Vooral mensen die gevoelig zijn voor LFG, zo'n 2 % van de Nederlandse volwassenen, lijden onder de aanwezigheid van LFG. Naast fysieke symptomen als hoofdpijn en duizeligheid, rapporteert deze populatie ook veel psychologische problemen, denk aan slaapproblemen, vermoeidheid, stress en neuropsychologische beperkingen, zoals concentratieproblemen en problemen met complexe en veeleisende taken. Deze klachten kunnen een significant negatief effect hebben op het dagelijks leven en welzijn en kunnen resulteren in problemen met relaties, familie, huisvesting en werk. Ondanks dit alles is er tot op heden geen uitgebreid en systematisch neuropsychologisch onderzoek gedaan binnen deze populatie. Daar komt bij dat de enkele studie die wel gericht was op de effecten van LFG op het cognitief functioneren tot inconsistente resultaten heeft geleid. De Rijksuniversiteit Groningen is daarom een systematisch onderzoek gestart naar het (neuro)psychologisch functioneren van mensen die gevoelig zijn voor LFG. Hierbij wordt gebruikgemaakt van zowel subjectieve als objectieve meetinstrumenten.

Trefwoorden geluid · laagfrequent geluid · gezondheid · cognitie

Inleiding

Blootstelling aan geluid of lawaai kan een sterk negatief effect hebben op dagelijkse activiteiten, kwaliteit van leven en gezondheid [1]. Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) is omgevingsgeluid de op een na sterkste omgevingsstressor die van invloed is op de gezondheid bij ongeveer een kwart van de po-

K. Erdélyi (✉) · A. B. M. Fuermaier · J. Koerts · L. Tucha · O. Tucha
Afdeling Klinische en Ontwikkelingsneuropsychologie,
Rijksuniversiteit Groningen, Groningen, Nederland
e-mail: k.erdelyi.1@student.rug.nl

<https://doi.org/10.1007/s12474-019-00221-7>

Published online: 10 May 2019

pulatie in Europa [2, 3]. Vooral vanwege de nog altijd toenemende industrialisatie lijden steeds meer mensen onder de negatieve effecten van geluidsvervuiling [4]. Blootstelling aan geluid kan leiden tot cardiovasculaire aandoeningen, slaapproblemen, irritatie en cognitieve beperkingen, blijkt uit breed onderzoek van de WHO naar de fysieke en psychosociale gevolgen ervan [5].

Epidemiologische studies die het effect van geluid op cardiovasculaire aandoeningen onderzochten, tonen een verband aan tussen chronische blootstelling aan geluid en een te hoge bloeddruk en ischemische hartaandoeningen [5]. Deze bevindingen werden uitgelegd op basis van het geluid-stressreactiemodel uit zowel epidemiologische als experimentele studies. Volgens dit model is geluid een specifieke stressor die het autonome zenuwstelsel en het endocriene systeem activeert. Activering van deze systemen kan resulteren in een groter risico op een verhoogde bloeddruk, een verhoogde hartslag en een toename van stresshormonen. Dit alles kan vervolgens leiden tot cardiovasculaire aandoeningen [6–8].

Slaapproblemen is een van de meest gerapporteerde klachten na geluidsvervuiling. Voldoende slaap is cruciaal voor een optimaal dagelijks functioneren, een goede gezondheid en een goede kwaliteit van leven [9]. Omdat de mens geluid uit de omgeving waarneemt, evalueert en hierop reageert, zelfs tijdens de slaap [10], kan langdurige blootstelling aan geluid volgens zowel studies in het lab als in het veld resulteren in behoorlijke gezondheidsproblemen. Onmiddellijke negatieve effecten zijn wakker worden, langer wakker zijn en veranderingen in de slaaphaas. Ook kunnen er negatieve gevolgen waarneembaar zijn tijdens de wakkere uren, zoals slaperigheid, een verminderde psychomotorische snelheid, verminderd cognitief functioneren of welzijn en zelfgerapporteerde chronische slaapproblemen [5].

Irritatie is een derde mogelijke negatieve consequentie van blootstelling aan geluid. De WHO definieert gezondheid als een staat van optimaal fysiek, mentaal en sociaal welzijn en niet als de afwezigheid van ziekte of invaliditeit [11]. Binnen de context van deze definitie moet aan geluid gerelateerde irritatie daarom ook worden gezien als een nadelig effect voor de gezondheid, aangezien irritatie kan leiden tot gevoelens van hulpeloosheid, ontevredenheid, teleurstelling, woede, depressie, angst, vermoeidheid, onrust, uitputting, terugtrekking, stress en maagproblemen [5, 12].

Ten slotte benadrukt de WHO de negatieve impact van geluid op het cognitief functioneren. Het onderzoek (zowel epidemiologische studies als lab- en veldonderzoek) naar de effecten van geluid op het cognitief functioneren werd voornamelijk uitgevoerd bij kinderen of in werksituaties en toonde aan dat vooral de cognitieve functies aandacht, geheugen (vooral het incidenteel geheugen), probleemoplossend vermogen en lezen zijn aangedaan. Bij kinderen had geluid zo-

wel onmiddellijke als langdurige effecten op taken die een beroep doen op de centrale verwerking en op taal, zoals leren, leesbegrip, aandacht en geheugen (vooral langetermijngeheugen en herkenning) [4, 13–18]. Ook werd een verminderde motivatie geobserveerd. Het is echter niet duidelijk of deze laatste direct werd veroorzaakt door blootstelling aan geluid of dat een verminderde motivatie een gevolg was van de ervaren cognitieve problemen [4]. Lab- en veldonderzoek naar de effecten van geluid op werkprestaties rapporteerden verschillende aanwijzingen voor cognitieve beperkingen, zoals een verminderde uitvoering van werktaken en meer fouten en ongelukken [5, 19]. Hierbij wordt verondersteld dat geluid vooral leidt tot afleiding. Onderzoek toont aan dat geluid over het algemeen resulteert in een betere prestatie op relatief simpele cognitieve taken door geluidsgeïnduceerde activering. Op de langere termijn en bij relatief complexe taken leidt blootstelling aan geluid echter tot een substantiële achteruitgang op bijvoorbeeld volgehouden of verdeelde aandacht of op taken die een grote capaciteit van het werkgeheugen vragen [5].

Laagfrequent geluid

Hoewel er dus uitgebreid onderzoek is gedaan naar de negatieve gevolgen van omgevingsgeluid wordt het zogenaamde laagfrequent geluid (LFG) amper erkend en herkend als een omgevingsstressor. LFG verwijst naar geluidsgolven rond of onder de menselijke gehoordrempel (rond of onder 100/125 Hz) die kunnen worden ervaren als storend en onaangenaam, en die nadelige gevolgen kunnen hebben voor personen die eraan worden blootgesteld [20]. LFG kan voortkomen uit natuurlijke bronnen, zoals het geluid van de zee of de wind, maar kan ook voortkomen uit het toenemend aantal door de mens gemaakte bronnen, zoals het verkeer, ventilatiesystemen, turbines en de industrie. LFG wordt voornamelijk auditief waargenomen en wordt dan beschreven als constant en sterk brommend of wordt gevoeld en omschreven als vibrerend, dreunend of drukkend [7, 21, 22]. Veel mensen nemen LFG niet bewust waar. Toch is er een grote groep mensen die gevoelig is voor LFG en daaronder lijdt. Volgens het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) ervaart zo'n 2% van de Nederlandse volwassenen, ongeveer 270.000 personen, de gevolgen van blootstelling aan LFG [23]. Het is echter onduidelijk waarom sommigen gevoeliger zijn voor LFG dan anderen. Dit zou een van de redenen kunnen zijn waarom klachten van mensen die gevoelig zijn voor LFG vaak niet serieus worden genomen. Hier komt bij dat de instrumenten die op dit moment doorgaans worden ingezet voor het meten van geluid niet geschikt zijn voor het meten van LFG en daardoor de aanwezigheid van LFG onderschatten of missen [22]. Ten slotte kan

LFG lange afstanden afleggen, waardoor het moeilijk kan zijn om de bron van het geluid te identificeren.

Subjectieve klachten als gevolg van LFG

De WHO adviseert om speciaal aandacht te besteden aan LFG en aan de negatieve gevolgen hiervan voor de gezondheid [1]. Uitgebreid en systematisch onderzoek op dit gebied is desondanks nog niet uitgevoerd. Bestaande kennis is vooral gebaseerd op onderzoek in kleine groepen, dat bovendien is uitgevoerd in verschillende en vaak specifieke populaties. Bovendien zijn deze onderzoeken methodologisch veelal niet sterk, omdat als data ongestructureerde gedragsobservaties of subjectief gerapporteerde klachten zijn verzameld. Klachten die vaak worden gerapporteerd als gevolg van LFG zijn fysieke symptomen, zoals hoofdpijn, duizeligheid, hartkloppingen, kortademigheid, pijn in de nek of rug of auditieve pijn. Naast deze fysieke symptomen rapporteert deze populatie opvallend vaak psychologische en neuropsychologische klachten. Gerapporteerde psychologische klachten zijn: slaapproblemen, vermoeidheid, stress, irritatie, depressieve gevoelens, frustratie, nervositeit en angst. Bij neuropsychologische klachten worden problemen met concentratie, aandacht, geheugen of het uitvoeren van cognitief veel-eisende taken genoemd. Aangenomen wordt dat deze klachten een significant negatief effect hebben op het dagelijks functioneren en het welzijn van mensen die gevoelig zijn voor LFG en kunnen leiden tot relatie- of familieproblemen, problemen met huisvesting en een onvermogen om te werken of mogelijk het verlies van werk [21, 22, 24].

Objectief vastgestelde cognitieve beperkingen

Hoewel er geen neuropsychologisch onderzoek is dat is gericht op kwantitatieve testprestaties, dat wil zeggen op prestaties op tests voor aandacht, geheugen, enzovoort, van mensen die gevoelig zijn voor LFG, kunnen er mogelijk aanwijzingen worden gevonden in andere studies naar de effecten van LFG. In experimentele studies werden normaal functionerende middelbare scholieren en universiteitsstudenten [25–31] en gezonde vrijwilligers van buiten een onderwijssetting [32, 33], die geen van allen gevoelig waren voor LFG, blootgesteld aan LFG. Daarnaast werd in een quasi-experimentele studie onderzoek gedaan naar het cognitief functioneren van aan LFG blootgestelde luchtvaartmedewerkers [34] en werd een veldstudie uitgevoerd naar het cognitief functioneren van kinderen die vlakbij een snelweg woonden [35]. Veel van deze studies vonden negatieve effecten van LFG op cognitieve testprestaties. Er waren echter ook studies die geen effecten of zelfs positieve effecten van LFG op cognitieve testprestaties rapporteerden. Toch waren er slechts drie studies die

rekening hielden met de mate waarin deelnemers gevoelig waren voor LFG [29–31].

De studies die rapporteerden dat LFG een negatieve invloed had op het cognitief functioneren toonden vooral beperkingen aan in de cognitieve domeinen aandacht (vooral volgehouden en selectieve aandacht) [28, 29, 35], executief functioneren (vooral inhibitie) [28, 29] en geheugen (vooral verbaal geheugen) [34, 35]. Daarnaast ondervonden deelnemers moeilijkheden met verbale taken, verbaal/grammaticaal redeneren en tekstcorrectie [29, 30]. Er werden ook moeilijkheden met visuele taken gerapporteerd, zoals het vasthouden van aandacht bij taken die waren gericht op perifere perceptie, het identificeren van figuren, mentale rotatie en het detecteren van signalen [27, 29, 32, 36]. De drie studies die rekening hielden met de gevoeligheid van deelnemers voor LFG stelden ten slotte dat een hogere sensitiviteit voor LFG was gerelateerd aan meer cognitieve beperkingen [29–31].

De studies die geen effecten van blootstelling aan LFG aantoonde, rapporteerden niet-significante effecten van LFG op werkgeheugen [30, 31], figuurrotatie [31], prestaties op reactietijdtaken [29, 30], en op verbaal en logisch/rekenkundig redeneren [29, 30]. In andere studies werden positieve effecten van blootstelling aan LFG gevonden op het cognitief functioneren, namelijk werkgeheugen [25, 26, 33], inhibitie [25, 26] en aandacht/concentratie [25, 26]. Verondersteld wordt dat deze verbetering van het cognitief functioneren wordt veroorzaakt door geluidsgeïnduceerde activatie; een veronderstelling die ook werd beschreven voor frequentiegebieden die boven de gehoordrempel liggen.

Studies die de effecten van LFG op het cognitief functioneren onderzoeken, laten dus inconsistente resultaten zien. Het is lastig om de uitkomsten van de verschillende studies met elkaar te vergelijken, aangezien deze studies zich richtten op verschillende vormen van LFG (d.w.z. verschillen in het type geluid, en de frequentie, het volume en de duur ervan), uiteenlopende groepsgroottes includeerden en vaak slechts één of een zeer beperkte batterij van neuropsychologische tests toepasten. Ook hield bijna geen enkel onderzoek rekening met interindividuele verschillen in gevoeligheid voor LFG en richtte geen enkele studie zich exclusief op mensen die gevoelig zijn voor LFG. Er is grote behoefte aan gedegen (neuro)psychologisch onderzoek naar de gevolgen van LFG, aangezien dit geluid – bij mensen die er gevoelig voor zijn – leidt tot een substantiële subjectieve last in de vorm van (neuro)psychologische symptomen, die gevolgen hebben voor het dagelijks functioneren en welzijn.

De afdeling Klinische en Ontwikkelingsneuropsychologie van de Rijksuniversiteit Groningen voert daarom momenteel een systematisch en uitgebreid onderzoek uit naar de mogelijke psychologische en neuropsychologische gevolgen van LFG. Er zijn uit-

eenlopende onderzoeksvragen geformuleerd, zoals of mensen die gevoelig zijn voor LFG cognitieve beperkingen hebben, welke cognitieve domeinen het vaakst zijn aangedaan en in welke mate neuropsychologische klachten zijn verweven met psychologische klachten. Ook wordt onderzocht of subjectief gerapporteerde klachten kunnen worden bevestigd door prestaties op objectieve tests en in welke mate aan LFG gerelateerde (neuro)psychologische beperkingen invloed hebben op het dagelijks functioneren.

Conclusie

De nadelige effecten van geluidsvervuiling op de gezondheid zijn uitgebreid onderzocht. De WHO benadrukt vooral de verhoogde risico's op cardiovasculaire aandoeningen en slaapproblemen die resulteren in een verminderd psychomotorisch en cognitief functioneren, een verminderd welzijn en toegenomen slaperigheid. Ook worden zowel psychologische als neuropsychologische gevolgen genoemd, zoals irritatie, stress,

uitputting, ontevredenheid, depressie, angst en klachten over aandacht, geheugen, probleemoplossend vermogen en lezen. Hoewel de impact van geluidsvervuiling reeds diepgaand is onderzocht, zijn de gevolgen van LFG op de gezondheid en het welzijn nauwelijks geëxploreerd. Vooral de groep mensen die gevoelig zijn voor LFG kunnen ernstige nadelige gevolgen van dit geluid ervaren en zij rapporteren vaak fysieke symptomen, zoals hoofdpijn of duizeligheid, en (neuro)psychologische symptomen, zoals slaapproblemen, stress, moeite met concentratie en problemen met het uitvoeren van veeleisende taken. Al deze symptomen hebben vermoedelijk een substantieel negatief effect op zowel het dagelijks functioneren als het welzijn. De studies die zich tot nu toe hebben gericht op de invloed van LFG op het cognitief functioneren rapporteerden inconsistente resultaten en er is dientengevolge geen consensus over de invloed van LFG op het cognitief functioneren. Er is dus een grote behoefte aan gedegen neuropsychologisch onderzoek naar de gevolgen van LFG.

Literatuur

1. Berglund B, Lindvall T, Schwela DH, World Health Organization Occupational and Environmental Health Team. Guidelines for community noise. Genève: World Health Organization; 1999.
2. Hänninen O, Knol AB, Jantunen M, Lim T, Conrad A, Rappolder M, et al. European perspectives on environmental burden of disease: estimates for nine stressors in six European countries. *Environ Health Perspect.* 2014;122(5):439–46.
3. World Health Organization Regional Office for Europe. Health and environment in Europe: progress assessment. 2010. <http://www.euro.who.int/document/E93556.pdf>.
4. Berglund B, Hassmén P, Job RF. Sources and effects of low-frequency noise. *J Acoust Soc Am.* 1996;99(5):2985–3002.
5. World Health Organization Regional Office for Europe. Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. 2011. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf.
6. Arguelles AE, Martinez MA, Pucciarelli E, Disisto MV. Endocrine and metabolic effects of noise in normal, hypertensive and psychotic subjects. In: Welch BL, Welch AS, redactie. *Physiological effects of noise*. Boston: Springer; 1970. pag. 43–55.
7. Babisch W. Transportation noise and cardiovascular risk: updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. *Noise Health.* 2006;8(30):1–29.
8. Maschke C, Rupp T, Hecht K. The influence of stressors on biochemical reactions – a review of present scientific findings with noise. *Int J Hyg Environ Health.* 2000;203(1):45–53.
9. Banks S, Dinges DF. Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. *J Clin Sleep Med.* 2007;3(5):519–28.
10. Oswald I, Taylor AM, Treisman M. Discriminative responses to stimulation during human sleep. *Brain.* 1960;83(3):440–53.
11. United Nations. Constitution of the World Health Organization. 1946. <http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/EN/constitution-en.pdf>.
12. Ohrström E. Longitudinal surveys on effects of changes in road traffic noise-annoyance, activity disturbances, and psycho-social well-being. *J Acoust Soc Am.* 2004;115(2):719–29.
13. Cohen S, Evans GW, Krantz DS, Stokols D. Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children: moving from the laboratory to the field. *Am Psychol.* 1980;35(3):231–43.
14. Evans GW, Lepore SJ. Non-auditory effects of noise on children: a critical review. *Child Environ.* 1993;10(1):31–51.
15. Haines MM, Stansfeld SA, Job RFS, Berglund B, Head J. Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychol Med.* 2001;31(2):265–77.
16. Hygge S, Evans GW, Bullinger M. Chronic Noise exposure and physiological response: a prospective study of children living under environmental stress. *Psychol Sci.* 1998;9(1):75–7.
17. Hygge S, Evans GW, Bullinger M. The Munich airport noise study: cognitive effects on children from

- before to after the change over of airports. The 20th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering; August 27–30; Nice, France. 2000. <http://www.conforg.fr/internoise2000/cdrom/data/articles/000676.pdf>.
18. Stansfeld SA. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health. *Lancet*. 2005;9475:1942–9.
 19. Smith A. Noise, performance efficiency and safety. *Int Arch Occup Environ Health*. 1990;62(1):1–5.
 20. Laag Frequent geluid (LFG) fact sheet. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. 2014. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-311811>. Geraadpleegd op: 12.2019.
 21. Erasmus M, Plan D van der, Tonkes P. Jaarrapportage 2017 Laagfrequentgeluid. 2018. https://www.leefmilieu.nl/sites/www.leefmilieu.nl/files/imported/pdf_s/2018_Stichting%20LFg_Jaarrapportage_2017.pdf.
 22. Leventhall G, Pelmear P, Benton S. A review of published research on low frequency noise and its effects. UK: Department for Environment, Food and Rural Affairs; 2003.
 23. Kamp I van, Breugelmans ORP, Poll HFPM van, Baliatsas C, Kempen EEMM van. Meldingen over en hinder van laagfrequent geluid of het horen van een bromtoon in Nederland: inventarisatie. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0119.pdf>.
 24. Møller H, Lydolf M. A questionnaire survey of complaints of infrasound and low-frequency noise. *J Low Freq Noise Vibr Act Control*. 2002;21(2):53–63.
 25. Alimohammadi I, Ebrahimi H. Comparison between effects of low and high frequency noise on mental performance. *Appl Acoust*. 2017;126:131–5.
 26. Alimohammadi I, Sandrock S, Gohari MR. The effects of low frequency noise on mental performance and annoyance. *Environ Monit Assess*. 2013;185(8):7043–51.
 27. Kyriakides K, Leventhall HG. Some effects of infrasound on task performance. *J Sound Vibr*. 1977;50(3):369–88.
 28. Pawlaczyk-Luszczynska M, Dudarewicz A, Waszkowska M, Szymczak W, Kamedula M, Sliwiska-Kowalska M. Does low frequency noise at moderate levels influence human mental performance? *J Low Freq Noise Vibr Act Control*. 2005;24(1):25–42.
 29. Pawlaczyk-Luszczynska M, Dudarewicz A, Waszkowska M, Szymczak W, Sliwiska-Kowalska M. The impact of low-frequency noise on human mental performance. *Int J Occup Med Environ Health*. 2005;18(2):185–98.
 30. Persson-Waye K, Bengtsson J, Kjellberg A, Benton S. Low frequency noise 'pollution' interferes with performance. *Noise Health*. 2001;4(13):33–49.
 31. Persson-Waye K, Rylander R, Benton S, Leventhall H. Effects on performance and work quality due to low frequency ventilation noise. *J Sound Vibr*. 1997;205(4):467–74.
 32. Ljungberg J, Neely G, Lundstrom R. Effects on spatial skills after exposure to low frequency noise. *J Low Freq Noise Vibr Act Control*. 2004;23(1):1–5.
 33. Weichenberger M, Kühler R, Bauer M, Hensel J, Brühl R, Ihlenfeld A, et al. Brief bursts of infrasound may improve cognitive function – an fMRI study. *Hear Res*. 2015;328:87–93.
 34. Gomes LM, Martinho Pimenta AJ, Castelo Branco NA. Effects of occupational exposure to low frequency noise on cognition. *Aviat Space Environ Med*. 1999;70(3):A115–A8.
 35. Ising H, Ising M. Chronic cortisol increases in the first half of the night caused by road traffic noise. *Noise Heal*. 2002;4(16):13–21.
 36. Landström U, Kjellberg A, Söderberg L, Nordström B. The Effects of broadband, tonal and masked ventilation noise on performance, wakefulness and annoyance. *J Low Freq Noise Vibr Act Control*. 1991;10(4):112–22.

Kristina Erdélyi neuropsycholoog i.o.

Anselm B.M. Fuermaier neuropsycholoog, universitair docent

Janneke Koerts neuropsycholoog, universitair hoofddocent

Lara Tucha neuropsycholoog, universitair hoofddocent

Oliver Tucha neuropsycholoog, hoogleraar