

Het akoestisch klimaat in Rio, São Paulo en Eindhoven

Tijdens de studiereis van s.v.b.p.s. Mollier, studievereniging bouwfysica en installatietechnologie, is in Brazilië een aantal opnamen gemaakt van het geluid in Rio de Janeiro en São Paulo. In dit artikel wordt een vergelijk gemaakt tussen de opnamen in deze grote steden en soortgelijke opnamen in Eindhoven. Een van de belangrijkste conclusies is dat voertuigen in de Braziliaanse steden over het algemeen ouder en slechter onderhouden zijn, met als gevolg meer motor en remgeluiden.

ing. W.B. (Wouter) Reijnders, ing. J.T. (Joshua) van den Heuvel, S. (Silke) Seuren MSc., S. (Stijn) Prüst BSc, studenten aan de Technische Universiteit Eindhoven, mastertrack Building Physics and Services

Zoals velen waarschijnlijk wel weten en zelf ervaren kan geluidsoverlast behoorlijk op de zenuwen werken. Vele onderzoeken zijn gedaan onder mensen in vakgebieden die te maken hebben met hoge geluidsniveaus als gevolg van verkeer, bijvoorbeeld [1] dit is een onderzoek naar de geluidbelasting bij Braziliaanse wegwerkers. Uit deze onderzoeken komt vaak naar voren dat een deel van verminderd hoorvermogen kan worden toegeschreven aan geluiden en ruis uit de omgeving. Een ander deel kan worden toegeschreven aan het ouder worden.

Ook in Brazilië neemt het aantal verkeersbewegingen toe, maar in tegenstelling tot de westerse wereld is de opkomst van elektrische auto's nog niet op gang gekomen. In de staat São Paulo (44 miljoen inwoners) waren in september 2015 2200 elektrische voertuigen geregistreerd volgens Braziliaans nieuws UOL.

METINGEN

In dit artikel worden verschillen tussen Braziliaanse steden en Eindhoven besproken. Tijdens onze studiereis naar Brazilië is een drietal plaatsen aangedaan, Rio de Janeiro, Paraty en São Paulo. In deze steden zijn opnamen gemaakt van het verkeergeluid. Om een compleet beeld te krijgen van de verschillen zijn drie verschillende metingen bedacht. Een meting midden op een verkeersplein, een verschilmeting tussen 'langs de weg' en een zijstraat of binnenplaats. Daarnaast is een serie binaurale opnamen gemaakt, dit zijn stereo opnamen met in-ear microfoons en dienen voor de meer perceptuele benadering van geluid.

De metingen op het verkeersplein wordt gebruikt om een inzicht te creëren over het geluidsspectrum (de verdeling van verschillende toonhoogten). Om dit te visualiseren zijn er zogenaamde spectrogrammen van de

opnamen gemaakt. De metingen in de zijstraat en de binnenplaats dienen enerzijds om inzicht te krijgen in het verschil tussen straat en even verderop, en anderzijds zijn het metingen die net als de verkeerspleinmetingen meer informatie bieden over de geluidspectra en het achtergrondgeluid.

Geluid is een belangrijke bron van stress en dat is gevaarlijk voor de gezondheid [2]. Voornamelijk in grote steden kan het moeilijk zijn om rustige ruimte te vinden. In een studie [3] naar de irritatie als gevolg van geluidsoverlast antwoorde bijna 60% van de respondenten dat de geluidsoverlast is toegenomen. 70% Beantwoorde de vraag 'welke geluidbron irriteert u' met verkeer.

In dit artikel wordt eerst kort ingegaan op de achtergronden van verkeerslawaai in Brazilië. De uitgevoerde metingen worden kort besproken en er is ruimte voor zowel een subjectieve



Figuur1: In Brazilië neemt het aantal verkeersbewegingen toe.

als een objectieve benadering. Voor de drie verschillende metingen is de volgende apparatuur gebruikt:

- 3 x Tascam DR-40, recorder;
- 2 x DPA microfoon met serienummers ID H32898 en ID H32899, met bijbehorende windbollen;
- 1 x in ear microphone; B&K Kalibrator 93.8 dB op 1000 Hz, serie nummer 1234096, (met adapter voor ¼").

Om de afname van verkeersgeluid in een zijstraat te kunnen meten is een meting uitgevoerd bij een kruispunt. Een persoon inclusief microfoon is geplaatst aan de doorgaande straat terwijl een andere microfoon op afstand in een zijstraat is geplaatst. De persoon met de tweede microfoon heeft metingen uitgevoerd op 10, 20, 30, 40 en 50 meter terwijl de eerste microfoon op het kruispunt is blijven staan. De metingen op afstand duren twee minuten per afstand.

Voor het vergelijken van achtergrond geluid in Rio de Janeiro, Sao Paulo en Eindhoven is in alle drie de steden een verkeersplein gemeten, de situatie is gekozen zodat het verkeer van alle kanten kan komen. De metingen zijn gedocumenteerd met behulp van een Go-Pro wat ons in staat stelt te analyseren welke auto welk geluid produceert, en misschien nog wel belangrijker, het geeft ons een goed inzicht in het verschil in auto's tussen beide landen maar ook tussen Rio de Janeiro en Sao Paulo. Naast stationaire metingen zijn in zowel Brazilië als in Nederland zogenaamde soundscapes gemaakt. Een soundscape is een vastlegging van de akoestische omgeving. Opnieuw met behulp van de Go-Pro camera is er een prachtige audiovisuele vastlegging gemaakt van een paar wandeltochten door de gemeten steden, inclusief een avondwandeling door het

idyllische Paraty. Deze metingen zijn uitgevoerd met een binaural microfoon (in-ear).

PERCEPTIE VAN GELUID IN NEDERLANDSE EN BRAZILIAANSE STEDEN

Perceptie is het waarnemen van prikkels via zintuigen. De perceptie van geluid komt voort uit het aangeboden geluid (stimulus) en wat het gehoor waarneemt, zie figuur 2. Doordat het sterk afhankelijk is van persoonsgebonden factoren is het een subjectieve benadering. Voorbeelden van deze factoren zijn gevoelens gerelateerd aan geluiden, de dagelijkse omgeving, verwachtingen en individuele gevoeligheid.

De perceptie van geluid wordt uitgedrukt in luidheid, toonhoogte, timbre (klankkleur) en richting van het geluid. Luidheid en toonhoogte maken deel uit van dit onderzoek naar perceptie van geluid in Nederlandse en Braziliaanse steden. Luidheid omschrijft hoe sterk een geluid subjectief wordt ervaren en is onder andere afhankelijk van het geluidsdruk niveau en de frequentie van het geluid. De toonhoogte karakteriseert het geluid in hoge en lage tonen.

Om de perceptie van geluid tussen enkele steden in Nederland en Brazilië te vergelijken, zijn binaurale metingen uitgevoerd in Eindhoven in het centrum, in Rio de Janeiro in

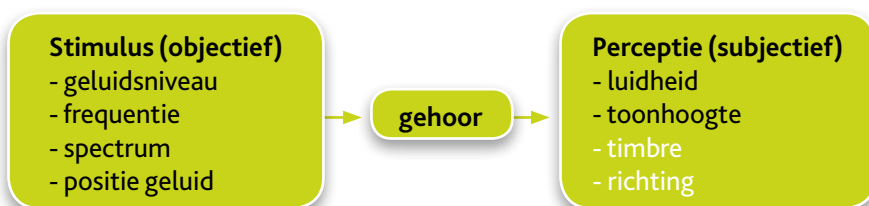
het centrum langs een drukke straat en een kruispunt en in São Paulo langs een straat verder van het centrum af. Metingen zijn midden op de dag, buiten spijstijden uitgevoerd.

Vanuit het oogpunt van perceptie van geluid valt het op dat in Rio de Janeiro overdag veel drukker is dan in Eindhoven. Er rijden veel meer bussen in het centrum van Rio de Janeiro en voertuigen staan vaker stil en trekken vaker op. In Eindhoven is het overdag minder druk en is er een meer geleidelijke doorstroom van het verkeer. Daarnaast wordt er meer getoeterd in het verkeer in Rio de Janeiro en São Paulo. Voertuigen met in het bijzonder grote voertuigen (bussen en vrachtauto's) maken veel piepende geluiden wanneer er geremd wordt. In Eindhoven is dit nauwelijks het geval. Veel meer hoge tonen zijn hierdoor in deze Braziliaanse steden waargenomen. Bovendien is er in Rio de Janeiro en São Paulo is meer bebouwing en meer hoogbouw dan in Eindhoven. Dit levert meer reflecties van geluiden op, waardoor geluiden nog luider ervaren worden. Het drukke verkeer in de Braziliaanse (hoogbouw) steden samen met de hoge piepende tonen maakt het dat Rio de Janeiro en São Paulo door ons veel luider wordt ervaren dan Eindhoven in Nederland.

Een korte disclaimer willen de auteurs hieraan toevoegen aangezien het hier om perceptie gaat: De interpretatie van geluiden blijft subjectief. Andere mensen kunnen steden anders ervaren. In het volgende hoofdstuk kiezen we de meer objectieve benadering van spectrum en geluidniveau analyse.

SPECTRALE ANALYSE EN GELUIDSNIVEAUS

Een analyse van het geluidniveau 'Sound Pressure Level (SPL)' en een vergelijking van het straatgeluid in Rio de Janeiro en São Paulo met de straatgeluiden in Eindhoven is ook gedaan aan de hand van spectrogrammen. Geluid kan grote impact hebben op de gezondheid. Een onderzoek in São Paulo uit 2005 toonde al eerder aan dat 28,5% van de mensen die grotere delen van de dag werkzaam zijn



Figuur 2 - Model voor de perceptie van geluid

rondom het verkeer kampen met door geluid geïnduceerd gehoorverlies. Tijdens dit onderzoek zijn maximale geluidsniveaus gemeten tussen de 83.54 en 91.38 dB(A) [1]. Onze metingen tonen een gemiddelde geluidsniveau van 78,62dB(A) met maximale geluidsniveaus van het verkeer tussen de 78.96 en 97.03dB(A). In Brazilië komen veel kleine binnenplaatsen voor die omsloten zijn door hoge bebouwing en met een kleine open toegang verbonden zijn met de drukke grote straten van São Paulo en Rio de Janeiro. Deze binnenplaatsen worden veelal als akoestische bubbels ervaren en het verkeerslawaaï, wat soms slechts 15 meter verwijderd is, in zeer kleine mate doordringt tot de binnenplaats. Om het daadwerkelijke verschil tussen het geluid op een binnenplaats en een nabijgelegen straat te testen hebben we gelijktijdig een meting verricht op de binnenplaats en naast een drukke straat in São Paulo.

Alhoewel de twee meetposities slechts 15 meter van mekaar verwijderd zijn, wordt een verschil in geluidsniveau gemeten van 4dB(A).

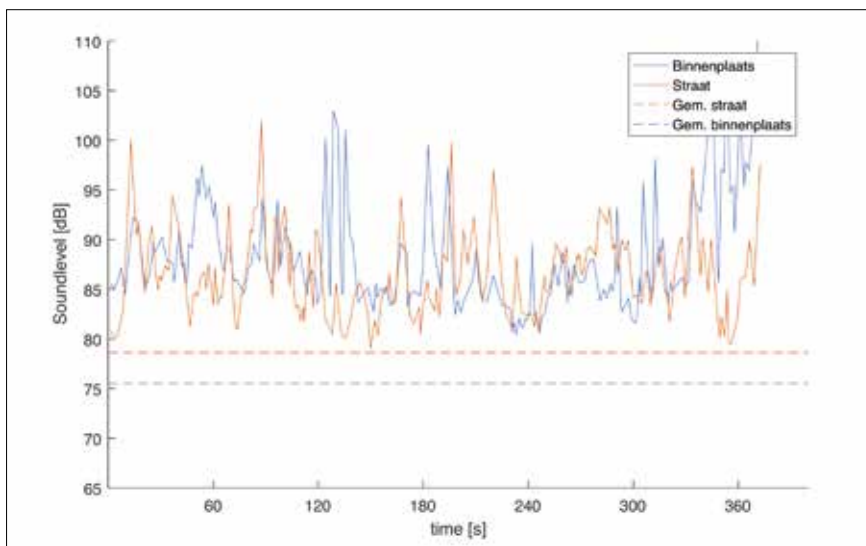
In figuur 3 worden de pieken van het geluidsniveau van de gelijktijdige opnamen tegen elkaar uitgezet. Opmerkelijk is dat de pieken tussen de twee metingen op veel momenten verschillen van elkaar. Door het geluid naast de geluidsniveaus te houden, kunnen we concluderen dat wanneer het geluidsniveau op de binnenplaats omhoog schiet er spraak in de buurt van de microfoon op de binnenplaats is. Volgens Ögren en Kropp [4] dragen voor lage frequenties grote hoeveelheden verkeer bij aan het geluidsniveau (SPL), deze bijdrage kan geschaald worden door de afstand terwijl voor hoge frequenties de dominantste bron de meest dichtbij gelegen bron is. Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij de meting op de

binnenplaats de geluidsbron meer hoge frequenties bevat in tegenstelling tot de meting naast de straat die meer lage frequenties bevat die voortkomen uit het verkeersgeluid. Dit wordt bevestigd door beide opnamen te beluisteren. Zo is op de binnenplaats de voornaamste geluidsbron spraak en tjilpende vogels. Een spectrogram geeft niet alleen een indruk van de menselijke ervaring van de stedelijke omgeving, maar geeft ook een indicatie van de potentie van automatische opname en audio herkenningssystemen. Deze systemen kunnen worden gebruikt in het kader van smart cities. Zo zijn er bijvoorbeeld audio monitoring-systemen die sirenes, spraak, en aanwezigheid van personen in publieke gebouwen kunnen herkennen [5].

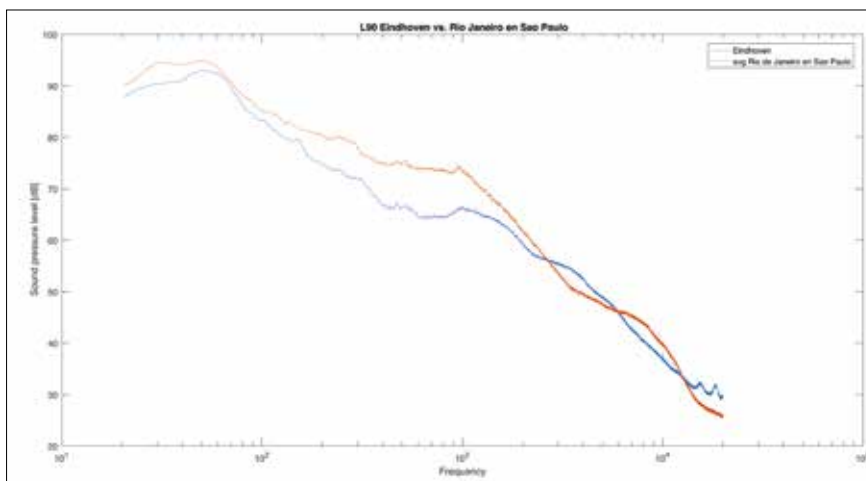
De taken van audioherkenningssystemen in smart cities kan grofweg worden ingedeeld in twee categorieën: het herkennen van patronen en het herkennen van extreme/uitzonderlijke gevallen. Twee voorbeelden zijn, respectievelijk, het in kaart brengen van zogeheten soundscapes (d.w.z. de ervaring van een omgeving in termen van geluid) en het herkennen van geweerschoten [6].

Sterk fluctuerende geluiden in sterkte en/of frequentie zorgen voor een afwisselend spectrogram waardoor de kans groter is op foutieve positieve. Het systeem geeft dan een signaal voor het herkennen van een bepaald geluid terwijl er in werkelijkheid een ander geluid is. Anderzijds heeft de materialisatie en structuur van de stedelijke buitenruimtes invloed op de karakteristieken van ieder geluidsevent. Veel reflecties van het geluid kan voor een verminderd resultaat leiden. Daarbuiten kan het zo zijn dat het gewenste te herkennen signaal in dezelfde frequentierange ligt als het achtergrondgeluid, waardoor het moeilijker wordt om signalen te herkennen. Braziliaanse steden zouden dus andere vereisten kunnen hebben wat betreft het herkennen van straatgeluiden dan Nederlandse steden.

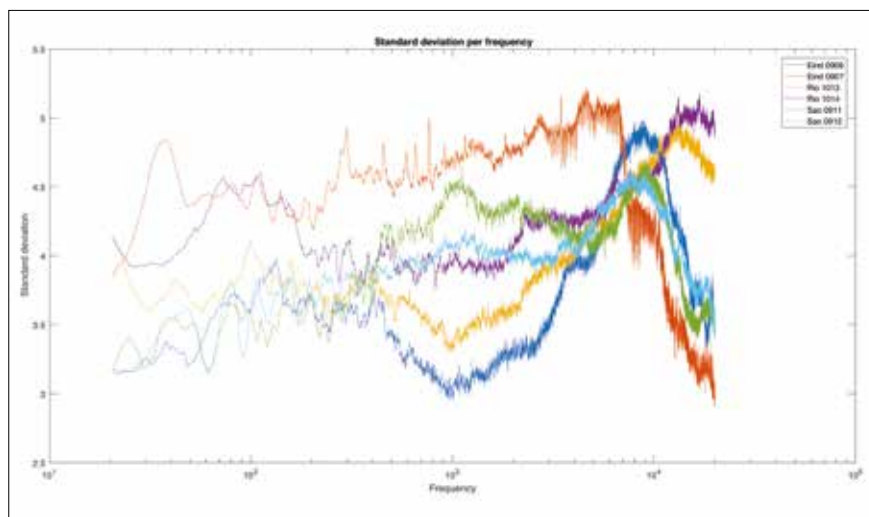
Om een algemeen beeld te scheppen van het spectrum zijn de geluidsniveaus L_{90} en L_{10} van Rio de Janeiro, São Paulo en Eindhoven geanalyseerd, zie figuur 4. Dit zijn geluidsniveaus die respectievelijk 90% en 10% van de tijd worden overschreden. Het verschil tussen deze waarden kan als maat dienen voor het analyseren van langere audiobestanden. Uit de analyse blijkt dat spectrogrammen gemaakt in dezelfde stad zeer vergelijkbare data opleveren als de L_{90} en L_{10} . Ook São Paulo en Rio de Janeiro hebben overeenkomstige resultaten. Het enige opvallende is dat het



Figuur 3 - Geluidsniveau pieken en gemiddelde geluidsniveau van gelijktijdig een meting op een binnenplaats en naast de straat ($r=15m$)



Figuur 4 - Analyse geluidsniveaus L_{90} en L_{10} van Rio de Janeiro, São Paulo en Eindhoven



Figuur 5 - L_{90} in dB (ongewogen) voor Eindhoven en gemiddelde van Rio de Janeiro en São Paulo

verschil tussen de L_{90} en L_{10} in São Paulo groter is rond de relatief hoge 8 kHz. Dat betekent dat audio-events met een hoge energie rond de 8 kHz minder regelmatig voorkomen. De vergelijking tussen de Braziliaanse steden en Eindhoven levert grotere verschillen op. Zo is de frequentieverdeling in Eindhoven gelijkmatiger. De frequentieverdelingen in Rio de Janeiro en São Paulo zijn ongeveer 5 dB hoger in de frequentierange van 150 tot 1200 Hz en in de frequentie range 7 tot 9 kHz.

Daarnaast is er een inschatting gemaakt van de fluctuaties in het spectrum aan de hand van de standaard deviatie van iedere frequentieband, zie figuur 5. De fluctuaties in Rio de Janeiro groter zijn voor de frequentie range 10 tot 20 kHz, hoewel er over het geheel gezien nauwelijks sprake is van een algemene trend. De verschillende metingen in één stad geven ook zeer verschillende resultaten. De exacte locatie in de stad blijkt dus van vergelijkbaar belang als de locatie van de stad zelf.

DISCUSSIE

De locaties voor deze metingen zijn gekozen op basis van de beperkte mogelijkheden die er tijdens de studiereis waren. Ondanks dat de situaties niet geheel vergelijkbaar zijn, is op basis van de uitgevoerde metingen een goed beeld verkregen van de verschillen tussen de steden.

De verschillen die uit de resultaten blijken worden beïnvloed door het weer, tijdens de metingen in Eindhoven was het wegdek nat wat een ander bandgeluid tot gevolg heeft, het was in Brazilië en vooral in Rio veel warmer en vochtiger. Daarnaast wordt in Nederland een ander soort asfalt gebruikt, wat ook invloed heeft op de geluidsproductie.

Voertuigen in de Braziliaanse steden zijn over het algemeen ouder en slechter onderhouden, met als gevolg piepende geluiden. In Nederland zullen waarschijnlijk striktere eisen gehanteerd worden ten aanzien van onderhoud en veiligheid. Opvallender nog is dat het aantal verkeersbewegingen op het verkeersplein in Rio de Janeiro kleiner was dan in Eindhoven maar dat het geluid in Eindhoven toch als stiller wordt ervaren.

In Nederland staat een boete op onnodig toeteren, waardoor er minder getoeterd wordt. In Brazilië geldt dit misschien niet en als het wel geldt, wordt het in ieder geval niet gehonoreerd.

CONCLUSIE

De conclusie die uit onze metingen getrokken kan worden is dat de verschillen in de karakteristieken van het geluid met betrekking tot het spectrum vooral zitten in de frequentierange 150-1200 Hz en 7 tot 9 kHz. Een belangrijk aspect in de verklaringen hiervoor is dat er in Braziliaanse steden andere voertuigen worden gebruikt die piepende remmen hebben of meer motorgeluid produceren, daarbij is de materialisatie en structuur van het asfalt een belangrijk aspect. De hogere waarden in laag en hoog frequente gebieden kunnen worden bestreden als de doorstroom wordt verbeterd. Het analyseren van verkeersstromen met sensoren is al toegepast in bijvoorbeeld Tokio waar de data centraal wordt verzameld in het Tokio Traffic Control Center. Minder rem en optrek bewegingen zullen positief bijdragen aan het akoestische klimaat van Brazilië.

Een andere opvallende conclusie is dat de gekozen meetpositie in Eindhoven meer

verkeer had dan de gekozen meetpositie in Rio de Janeiro. Ondanks dat is Eindhoven toch als stiller ervaren.

DANKBETUIGING

Dit artikel is mede mogelijk gemaakt door de Bouwkundewinkel van de Technische Universiteit Eindhoven. De Bouwkundewinkel helpt groeperingen en individuen die niet over de financiële middelen beschikken om een regulier advies- of architectenbureau in te schakelen met problemen of vragen op bouwkundig gebied. Mocht u een bouwkundig vraagstuk hebben, kijk dan voor meer informatie op www.bouwkundewinkel.nl. Ook willen wij graag C. Hak en het akoestisch laboratorium op de Technische Universiteit Eindhoven bedanken voor input en het gebruik van apparatuur.

REFERENTIES

1. A. S. M. Barbosa and M. R. A. Cardoso, 'Hearing loss among workers exposed to road traffic noise in the city of São Paulo in Brazil,' *Auris Nasus Larynx*, vol. 32, no. 1, pp. 17–21, 2005.
2. Öhrström E., Skånberg A., Svensson H., Gidlöf-Gunnarsson A., "Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness," *J. Sound Vib.*, vol. 295, no. 1–2, pp. 40–59, 2006.
3. P. H. T. Zannin, A. Calixto, F. B. Diniz, and J. A. C. Ferreira, "A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: The importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 23, no. 2, pp. 245–255, 2003.
4. M. Ögren and W. Kropp, 'Road Traffic Noise Propagation between Two Dimensional City Canyons using an Equivalent Sources Approach,' *Acta Acust. united with Acust.*, vol. 2, 2004.
5. A. Ståhlbröst, A. Sällström, and D. Hollosi, "Audio monitoring in smart cities – an information privacy perspective" 12th International Conference e-Society 2014, pp. 35–44.
6. Schlossberg, T. (2015, March 16). New York Police Begin Using ShotSpotter System to Detect Gunshots. The New York Times. Retrieved from http://www.nytimes.com/2015/03/17/nyregion/shotspotter-detection-system-pin-points-gunshot-locations-and-sends-data-to-the-police.html?_r=1