

# Ruimteakoestiek, steminspanning en spraakverstaanbaarheid

Geluid of lawaai op de achtergrond en overdreven galm in de ruimte waar men vertoeft zijn bekende factoren die het spraakverstaan en de steminspanning nadelig beïnvloeden. Het verkeerslawaai in de buitenomgeving, drukke leerlingengroepen, galm in sportzalen, druk bezette restaurants of recepties zijn inderdaad frequent problematisch voor de spraakcommunicatie.

**Gerrit Vermeir**

## *Informatie over de auteur:*

Gerrit Vermeir is als gewoon hoogleraar verbonden aan de ingenieursfaculteit en het departement bouwkunde van de KU Leuven. Zijn onderwijs en onderzoek betreffen de bouwakoestiek, de zaalakoestiek en de lawaai-beheersing. Het betrokken Laboratorium Akoestiek is zeer actief in de dienstverlening rond deze thema's.

## *Correspondentieadres:*

Celestijnenlaan 200 D bus 2416  
3001 Leuven Heverlee  
+32 16 32 71 28  
Gerrit.Vermeir@bwk.kuleuven.be

## **Akoestiek, ergonomie en communiceren**

Het is welbekend dat lawaai, gesprekken op de achtergrond en overdreven galm in de ruimte waar men vertoeft, een zeer nadelig effect hebben op de spraakverstaanbaarheid. Met een 'ergonomische' of comfortabele akoestische omgeving bedoelen we dat het spreken en het luisteren in die omgeving zonder overdreven stemvermoeiing en zonder sterk verhoogde luisterinspanning mogelijk is. De nadruk ligt op het concept 'nuttige' ten opzichte van 'nadelige' bijdragen van de geluidomgeving waarin het gesprek zich afspeelt. Wij gaan daarbij wel uit van communicatie in de moedertaal en van een goede articulatie.

## **Buiten: luider of dichterbij?**

### **Sterkte van het spraaksignaal**

In de buitenomgeving is de sterkte van het signaal het eerste element dat invloed heeft op de spraakverstaanbaarheid. Hoe luider de spreker spreekt, des te meer is hij verstaanbaar. Hoe luider de stem, hoe meer men boven het geluid in de omgeving uitkomt. Lopende spraak wordt immers gekenmerkt door een spreekritme en dit betekent een opeenvolging van sterkere en zwakkere geluidpakketten aan het ritme waarmee de lettergrepen uitgesproken worden (typisch twee lettergrepen per seconde). Geluid op de achtergrond verstoort de zwakkere pakketten en reduceert derhalve de dynamiek. De dynamiek is namelijk de verhouding tussen de maximale en de minimale sterkte van lopende spraak.

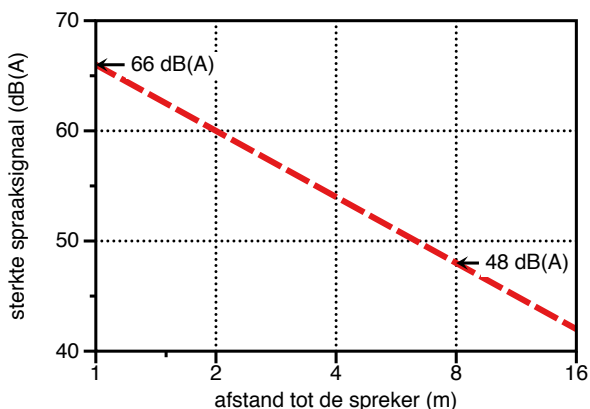
In tabel 1 is de energetisch gemiddelde sterkte van het spraaksignaal weergegeven zoals gemeten op 1 meter afstand van de mond van de spreker en uitgedrukt in dB(A) (gehoorsmatig gewogen geluiddrukkniveau) (ISO, 2003).

**Tabel 1. Sterkte van het spraaksignaal**

<b>Steminspanning</b>	<b>Gemiddeld A gewogen geluidrukniveau niveau op 1 m afstand van een mannelijke spreker [dB(A)] (frontaal voor de mond van de spreker)</b>
Zeer luid	78
Luid	72
Verheven	66
Normaal	60
Ontspannen	54

## Geluidrukniveau op afstand

Naast de sterkte speelt ook de afname van het geluidrukniveau met de afstand tot de spreker een rol. Deze bedraagt in de buitenomgeving, omwille van de geometrische spreiding van de geluidsgolf, 6 dB per verdubbeling van afstand. In afbeelding 1 is deze afname geïllustreerd: op 8 meter afstand valt het niveau terug van 66 dB(A) op 1 meter tot slechts 48 dB(A) op 8 meter (een daling van 18 dB).



**Afbeelding 1. Spraaksignaal in de buitenomgeving**

## Stoorgeluid

De sterkte van het spraaksignaal op de plaats van de luisteraar moeten we vergelijken met de sterkte van het aanwezige stoor- of achtergrondgeluid. De verhouding tussen beide bepaalt immers de spraakverstaanbaarheid. In dit verband is een grootheid ingevoerd: het zogenoemde Speech Interference Level (SIL). Dit is een maat voor de

dynamiek, die rekening houdt met de spectrale samenstelling van het geluid op de achtergrond. Verkeer, industrie, machines en gesprekken zorgen immers voor specifieke verdeling van het geluid over de frequentiebanden die voor spraak relevant zijn. Er is vastgesteld dat bij een SIL van 20 dB of meer de spraakoverdracht excellent kan verlopen (zie tabel 2). Wanneer deze daarentegen lager wordt dan 3 dB is de spraakverstaanbaarheid gewoon slecht (ISO, 2003).

In de buitenomgeving zie je de mensen dan ook dicht aansluiten om de stadsgids goed te kunnen verstaan. Op 8 meter afstand wordt de spraak (slechts 48 dB(A)) immers al gauw overstemd door het stadsrumoer. In een niet al te rumoerige stadskern komt men snel in de buurt van 55 dB(A). De spraakverstaanbaarheid is dan slecht (SIL zeker <3). Als de gids luider gaat praten (bijvoorbeeld 6 dB extra: van verheven stem naar luide stem in tabel 1) blijft overeenkomstig tabel 2 de spraakverstaanbaarheid op 8 meter afstand, ondanks de extra inspanning, nog steeds zwak. Er zit dus niets anders op dan dichterbij te sluiten, of een megafoon te gebruiken...

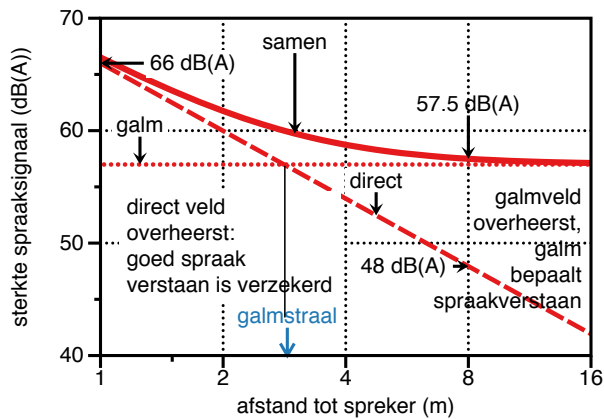
## Binnen: helpen de reflecties?

### Het geluidveld binnen

Het geluidveld in een gesloten ruimte is opgebouwd uit twee elementen: de directe golf zoals buiten (streeplijn, afbeelding 2) en een galmveld dat homogeen over de hele ruimte verdeeld is (stippellijn, afbeelding 2). De (logaritmische) som van beide velden resulteert in de globale geluidniveauverdeling (volle lijn, afbeelding 2). Het globale geluidrukniveau neemt dus, zoals men op de afbeelding kan vaststellen, bij de bron af met 6 dB per verdubbeling van de afstand tot de bron. In deze zone is de verstaanbaarheid (zoals buiten) alleen afhankelijk van al of niet

**Tabel 2. Spraakverstaanbaarheid en stoorgeluid**

<b>Beoordeling van de spraakverstaanbaarheid</b>	<b>Speech Interference Level, SIL [dB]</b>
Excellent	21
Goed	15-21
Redelijk	10-15
Zwak	3-10
Slecht	<3



**Afbeelding 2. Vereenvoudigde voorstelling van de afname van het geluidrukniveau met de afstand tot de spreker (2,82 m voor een ruimte met een volume van 5000 m<sup>3</sup> en een nagalmtijd van 2 s)**

storend achtergrondgeluid. Op een zekere afstand - de galmstraal genoemd - is het geluid van de directe golf en van het galmveld even sterk. Voorbij de galmstraal wordt het geluidrukniveau volledig bepaald door de reflecties (de galm) in de ruimte - de stippellijn ligt hier meerdere dB boven de streeplijn - en gaat galm de spraakverstaanbaarheid beïnvloeden. Naarmate de galm nog toeneemt, wordt het galmveld sterker (de stippellijn ligt dan hoger) en wordt de galmstraal kleiner. De zone van het directe veld wordt dan ook kleiner.

Het galmeffect wordt fysisch aangegeven met de parameter nagalmtijd  $T$  [s]. Dit is de tijd die nodig is voor een afname van het geluidrukniveau met 60 dB, na het onderbreken van een stationair werkende bron of na een kort geluidimpuls in de ruimte (bijvoorbeeld een klap in de handen of een pistoolschot).

Naarmate er meer of minder geluidabsorberende bekledingen of voorwerpen zijn en naarmate er meer of minder aanwezig zijn, daalt of stijgt de nagalmtijd. Maar ruimten zijn soms 'te droog' of 'te galmend'. Er is dan respectievelijk te veel of te weinig geluidabsorptie in de ruimte beschikbaar. Galm zorgt op grotere afstand van de spreker voor een aanzienlijk hoger geluidrukniveau. Dit hoger geluidrukniveau zou voordelig moeten zijn: SIL wordt immers groter. Maar niet alle reflecties zijn van nut voor de spraakverstaanbaarheid! Te veel galm is een welbekend nadeel. De reden hiervoor is, dat alleen reflecties die aankomen binnen de 50 ms na het directe geluid, door de luisteraar als ondersteunend worden ervaren. Alles wat later komt is eerder nadelig. Men kan dus in de gesloten ruimte ten aanzien van spraakverstaan, spreken van een pakket nuttige geluidenergie (alles binnen de eerste 50 ms na het directe geluid), een pakket niet-nuttige reflectie-energie (alles na de eerste 50 ms na het directe geluid) en in verband met SIL een pakket verstorende energie ten gevolge van geluid op de achtergrond (ventilatielawaai, andere gesprekken, geroezemoes). Zaalakoestiek draait rond de balans tussen deze pakketten.

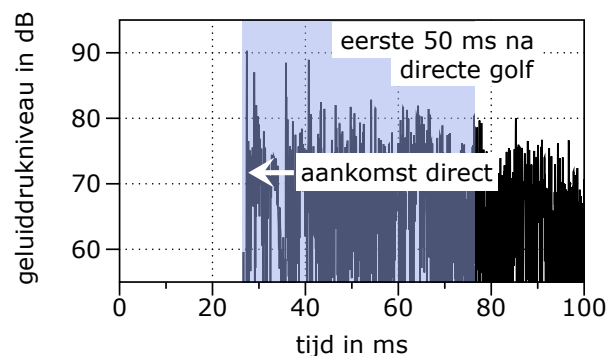
## Spraakverstaanbaarheid en akoestische eigenschappen van een ruimte

De nagalmtijd van een ruimte en de informatie rond de aankomsttijd en sterkte van de reflecties wordt verkregen uit de meting van de impulsresponsie. Er wordt daartoe gebruik gemaakt van een omnidirectionele luidspreker die een aangepast signaal uitstuurt waaruit de impulsresponsie wordt afgeleid (afbeelding 3). Hieruit kunnen we de nagalmtijd eenduidig afleiden en ook de verhouding tussen de geluidenergie in de eerste 50 ms en de totale energie die de ontvanger bereikt. Deze verhouding wordt in de literatuur Deutlichkeit  $D$  [%] genoemd. Deze  $D$  correleert zeer goed met de te verwachten spraakverstaanbaarheid tussen de posities van spreker en ontvanger. In een diffuus galmveld mogen we vereenvoudigend veronderstellen dat de impulsresponsie exponentieel verloopt (Vermeir, 1999). Deze veronderstelling laat toe om een verwachte waarde van de Deutlichkeit te berekenen in functie van de nagalmtijd (afbeelding 4). In afbeelding 4 zijn ook de zones van overeenstemmende kwaliteit van de spraakverstaanbaarheid aangegeven (ISO, 2003).

Uit afbeelding 4 is af te leiden dat de nagalmtijd vrij kort moet zijn om tot hogere waarden van de Deutlichkeit en van de eraan gerelateerde spraakverstaanbaarheid te komen. Dit is natuurlijk geen verrassing: minder nagalm betekent minder 'onnuttige' energie. Dit bevestigt ook de bepalende rol van de nagalmtijd en verantwoordt waarom voorschriften vooral hierop gebaseerd worden. Deutlichkeit en tal van andere zaalakoestische parameters laten wel fijnere, meer specifieke analyse toe. Maar er is hoe dan ook een sterke onderliggende correlatie van de spraakverstaanbaarheid met de nagalmtijd en met de Deutlichkeit (Sato & Morimoto, 2008).  $D$  is meer dan  $T$  bepaald door de specifieke positie van bron (spreker) en luisteraar.

## Spraakinspanning en de akoestische omgeving

Uit recent onderzoek is gebleken dat een spreker spontaan minder steminspanning doet in een vergaderzaal dan in een reflectievrije 'dode' kamer. De ruimte versterkt immers het geluid dat de spreker van zichzelf hoort en de spreker stelt zich hierop in. Zo zal ook iemand die gehoorbescherming



**Afbeelding 3. Voorbeeld van een impulsresponsie gemeten in een kleine sportzaal. Bron en ontvanger staan hier op een afstand van 9,1 m**

draagt spontaan luider praten: dit heeft te maken met de verminderde waarneming van de eigen stem. In het onderzoek (Brunskog e.a., 2009) stelt men ongeveer 5 dB lager stemvolume vast in een vergaderzaal tegenover in een 'dode' ruimte. De akoestiek van de ruimte zorgt dus voor een duidelijk hoger spreekgemak.

Een spreker past zich ook aan aan de afstand tussen hem en de luisteraar. Grofweg gaat het hier om een toename van de spreekspanning met 1-2 dB per verdubbeling van de afstand tussen spreker en luisteraar (Pelegrin-García e.a., 2011).

Maar een spreker past zich vooral aan aan het lawaainiveau op de achtergrond, het zogenoemde Lombard-effect. Wanneer er meerdere mensen tegelijkertijd praten, werkt dit cumulatief en spreekt men van het zogenoemde 'cocktailparty-effect'. Naarmate er meer pratende aanwezigen zijn, moet iedereen individueel steeds meer steminspanning leveren. Dit effect wordt nog in de hand gewerkt door een hogere nagalmtijd waardoor ook nog eens het geluidrukniveau in het galmveld gaat toenemen. Galmende sportzalen zijn hier een voorbeeld van. Het wekt dan ook geen verbazing dat dit tot een hogere prevalentie van stemklachten bij (sport)leerkrachten leidt (Thomas e.a., 2006).

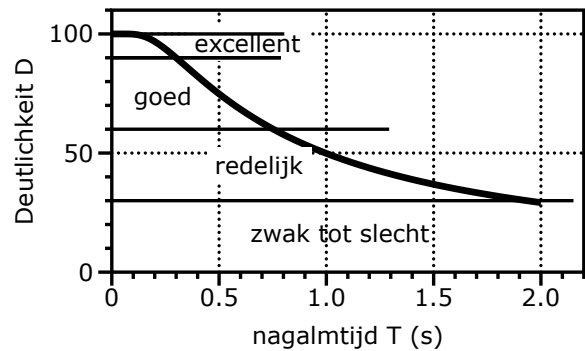
## Praktische bedenkingen bij een aantal typische omgevingen

Goede spraakverstaanbaarheid vereist dat het spreeksignaal het achtergrondgeluid voldoende overstemt. Verder biedt het reduceren van de galm van de binnenomgeving in wezen alleen maar voordelen. Maar voor auditoria en muziekrumten is een zekere galm wel wenselijk als ondersteuning en voor de gewenste geluidbeleving. Voor een concertzaal wordt een nagalmtijd van ongeveer twee seconden vooropgesteld. Afbeelding 4 maakt echter duidelijk dat een dergelijke zaal geen goede spreekomgeving kan zijn.

Hierna beschrijven we hoe deze principes zich vertalen voor enkele specifieke beroepsomgevingen waar auditieve communicatie sterk aan de orde is.

### Kinderdagverblijf, peuterspeelruimte

De communicatie verloopt hier binnen kleine groepen en de akoestische zorgen hebben vooral te maken met momentaan hogere geluidrukniveaus bij gezamenlijke activiteiten, spelmomenten, enzovoort. In deze werk-omstandigheden worden gemiddelde geluidrukniveaus gesignaleerd van 70-80 dB(A) (Lindstrom e.a., 2011). Zeker wanneer de ruimten wat hoger of groter zijn, is bijkomende absorptie nodig. Het voorzien van een verlaagd akoestisch plafond en/of van akoestisch absorberende wanden is hier een noodzaak. Elke daling van het geluidrukniveau wordt immers ervaren als een aanzienlijke reductie van de luidheid en derhalve van de auditieve arbeidsbelasting. In de Belgische norm (*Ontwerp NBN S 01-400-2*, 2010) is de aanbeveling dat de nagalmtijd maximaal 0,6 s mag bedragen (0,5 s als verhoogde eis in het geval van kinderen met auditieve/communicatieve beperking). Hiervoor is de aanwending



**Afbeelding 4. Het verband tussen Deutlichkeit en nagalmtijd in de veronderstelling van exponentiële uitdoving van het nagalmgeluid**

van een verlaagd akoestisch plafond een basisvereiste. Als maximaal aanvaardbaar achtergrondgeluidniveau ten gevolge van de werking van installaties wordt 35 dB(A) opgelegd.

### Klassen in de lagere school

Hier komt het aanspreken van de volledige klas meer aan bod en zijn er ook stillere werkmomenten. De nadruk ligt hier op goede spraakverstaanbaarheid (en derhalve op een vrij korte nagalmtijd) en op een goede dynamiek (en derhalve op een voldoende laag achtergrondgeluidniveau). De vereisten voor de nagalmtijd gaan in de richting van maximaal 0,8 s (afhankelijk van het volume) (0,6 s, verhoogde eis). Dit vraagt om extra aandacht voor de absorptie: dergelijke waarden vereisen extra voorzieningen op plafond en/of wanden. Voor het achtergrondgeluidniveau ten gevolge van installaties wordt maximaal 35 dB(A) toegestaan (40 dB(A) in landschapslokalen).

### Het sportlokaal

De communicatie verloopt in een beperkte groep die dicht bij de leerkracht aansluit. Instructies moeten duidelijk overkomen in de gehele ruimte. De akoestische zorgen hebben vooral te maken met het grotere volume van de betrokken lokalen, waardoor de nagalmtijd verhoudingsgewijs groter wordt.

Enthousiaste groepsactiviteiten leiden dan ook dikwijls tot zeer hoge geluidrukniveaus. De enige manier om dit enigszins te onderdrukken is de nagalmtijd beperken. Meestal leidt dit tot geluidabsorberende behandeling van het plafond, bij voorkeur gecombineerd met een behandeling van één of meerdere wanden. Het behandelen van wanden komt ook ter sprake om, zeker in grotere sportlokalen, flutter-echo-effecten te vermijden. Dit betreft het heen en weer kaatsen van geluid tussen grote, evenwijdige geluidweerkaatsende wanden. Een bijkomende zorg is dat de geluidabsorberende afwerking bestand moet zijn tegen stoten en tegen de impact van speelballen.

De vereiste nagalmtijd is hier afhankelijk van het volume van de sportzaal en van de aard van het onderwijs. Voor een volume van 5000 m<sup>3</sup> komt dit neer op maximaal 2 s (1,6

s, verhoogde eis). Voor het achtergrondgeluidniveau ten gevolge van installaties wordt maximaal 40 dB(A) toegestaan (50 dB(A) in zwembaden).

### Drank- en eetgelegenheden

Alle eetgelegenheden van klein (cafeteria, restaurant, bistro) tot groot (eetzaal, mensa) worden geconfronteerd met het feit dat de akoestische voorwaarden dikwijls het eetgebeuren onaangenaam beïnvloeden. In restaurants worden op de piekmomenten gemiddelde geluiddrukkniveaus geregistreerd die variëren van 60-65 (hogere klasse) tot 80 dB(A) (stijl bistro). Aangezien een normaal conversatieniveau ongeveer 65 dB(A) bedraagt, wordt dit veelal ruimschoots overstemd. Converseren vraagt dan een hogere steminspanning.

Het aantal aanwezigen en het aantal vierkante meter vloeroppervlakte per zitplaats zijn hier van belang. Dit laatste is immers bepalend voor de onderlinge afstand, wat dan weer een rol speelt in de neiging tot het verheffen van de stem. Verder speelt ook de beschikbare hoeveelheid geluidabsorptie in de ruimte een rol. Aantal, afstand en absorptie bepalen samen in welke mate het geluiddrukkniveau oploopt wanneer er meerdere tafelende en pratende gasten aanwezig zijn.

Voldoende geluidabsorptie (in de meeste gevallen door een geluidabsorberende behandeling van het plafondoppervlak), voldoende aankleding (restaurants, bistro's voorzien van tafelkleden, gordijnen) en meer oppervlakte per persoon zijn de ingrediënten voor een oplossing. (Rindel, 2010) vermeldt wenselijke waarden van de geluidabsorptie uitgedrukt in m<sup>2</sup> per persoon. De conclusie is 4 m<sup>2</sup> per persoon voor het voeren van 'voldoende' verbale communicatie, 8 m<sup>2</sup> per persoon voor het voeren van een 'bevredigende' communicatie en een vrij extreme (niet realistische) 17 m<sup>2</sup> per persoon voor 'goede' communicatie. Een 'goede' communicatie kan men in realistische restaurantvoorwaarden blijkbaar vergeten.

### Call centers

De persoonlijke communicatie verloopt hier via een headset en vindt plaats in een drukbezette werkomgeving waar veel personen tegelijkertijd gesprekken voeren. De omstan-



**Afbeelding 5. Drukbezochte cafetaria's zijn soms te luidruchtig om vlot een gesprek te kunnen voeren**

digheden moeten wel een goede spraakverstaanbaarheid toelaten en de verwachting van de cliënt is dat het gesprek een privé karakter heeft. Het is derhalve ongewenst dat de cliënt andere gesprekken op de achtergrond hoort.

Dit hangt natuurlijk samen met de instelling en de kwaliteit van de headset, maar het vereist ook dat het geluid van de andere operatoren voldoende gedempt is. Eens te meer is dit een kwestie van nagalmtijdreductie en in dit geval ook van onderlinge afscherming. De werkplek wordt dus maximaal geluidabsorberend afgewerkt met een maximale onderlinge akoestische afscherming. Op het gebied van afscherming moet wel rekening gehouden worden met het feit dat visueel contact met de collega's in de werkomgeving of met de buitenomgeving in zekere mate mogelijk blijft. Hiervoor kunnen creatieve oplossingen bedacht worden.

### Conclusie

Het welgevoelen met een akoestische omgeving heeft alles te maken met de invloed van deze omgeving op ons functioneren. Op het niveau van spraak en spraakverstaanbaarheid heeft dit, zoals beschreven, in eerste instantie te maken met de afwezigheid van storend achtergrondgeluid en met geschikte zaalakoestische voorwaarden. Voor courante functies komt dit meestal neer op het vastleggen van performantie-eisen onder de vorm van een toelaatbaar achtergrondgeluidniveau, een maximaal toelaatbare nagalmtijd, vereiste geluidisolatie ten opzichte van andere functies in het gebouw en vereiste gevelisolatie in functie van het heersende verkeerslawaai. Dergelijke voorschriften zijn terug te vinden in diverse richtlijnen en normen zoals de Belgische norm aangaande de akoestische prestaties in schoolgebouwen (*Ontwerp NBN S 01-400-2 Akoestische criteria voor schoolgebouwen, 2010*).

### Referenties

- Brunskog, J., Gade, A.C., Bellester, G.P., & Calbo, L.R. (2009). Increase in voice level and speaker comfort in lecture rooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125, 2072.
- ISO (2003). *EN ISO 9921:2003 Ergonomics - Assessment of speech communication*. Brussels: CEN.
- Lindstrom, F., Waye, K.P., Södersten, M., McAllister, A., & Ternström, S. (2011). Observations of the relationship between noise exposure and preschool teacher voice usage in day-care center environments. *Journal of Voice*, 25(2), 166-72.
- Pelegrín-García, D., Smits, B., Brunskog, J., & Jeong, C.H. (2011). Vocal effort with changing talker-to-listener distance in different acoustic environments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129, 1981.
- Ontwerp NBN S 01-400-2 *Akoestische criteria voor schoolgebouwen* (2010). Brussels: NBN.
- Rindel, J.H. (2010). Verbal communication and noise in eating establishments. *Applied Acoustics*, 71(12), 1156-1161.
- Sato, H., Morimoto, M.S.H.M. (2008). Relationship between listening difficulty and acoustical objective measures in reverberant sound fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(4), 2087-2093.
- Thomas, G., Jong, F. de, Cremers, C., & Kooijman, P. (2006). Prevalence of voice complaints, risk factors and impact of voice problems in female student teachers. *Folia Phoniatrica Et Logopaedica*, 58(2), 65-84.
- Vermeir, G. (1999). *Bouwakoestiek*. Leuven: ACCO.