

# Oorverdovend?

---

## *Over de akoestische voorwaarden in schoolomgeving*

Prof. Gerrit Vermeir, K.U.Leuven<sup>1</sup>

### Inleiding

Wanneer we denken aan lawaai in de schoolomgeving dan gaan de gedachten onwillekeurig in de richting van een drukke refter gevuld met tientallen drukdoende kinderen die opgewonden doende zijn met een middagmaal. In dat geval gaat het eigenlijk om een probleem van comfort voor de begeleiders, de kinderen lijken er zich minder aan te storen (KLASSE, 2009).

De tweede plek die wij in ons akoestisch geheugen hebben is het gymnastieklokaal, waar de sportleerkracht het dikwijls moeilijk heeft om zijn instructies over te brengen boven een druk sport- en spelgebeuren: stemklachten bij leraars LO komen trouwens veel voor (Mattiske, Oates, & Greenwood, 1998; Jonsdottir, 2009). De sportlokalen zijn dikwijls ook akoestisch vrij hard, en dat komt dan weer de spraakverstaanbaarheid niet ten goede.

Andere plaatsen waar de akoestiek opvalt zijn dikwijls de circulatieruimten: lawaai in gangen en traphallen gaat vlot door het gebouw en riskeert het lesgebeuren te verstoren.

Dit lesgebeuren dat zich voor het grootste deel afspeelt in klassen of leslokalen is natuurlijk de “core business”. Op die plaatsen heeft men liefst zo weinig mogelijk afleiding, een relatieve stilte en optimale condities om een zo goed mogelijke spraakverstaanbaarheid te bekomen. Een goed luister- en spreekcomfort zijn nodige voorwaarden voor een efficiënt leergebeuren.

Het globale schoolconcept, van inplanting over planning tot opbouw en afwerking van wanden en vloeren speelt hier een rol. Zo houdt goede inplanting rekening met lawaai van buiten dat de lesactiviteiten dreigt te verstoren, de vloeren en wanden moeten dan weer zorgen voor een afdoende geluidisolatie en de geluidabsorberende afwerking van de wanden en/of plafonds moet voor de nodige geluidabsorptie zorgen.

Met deze voordracht willen we duidelijk maken dat wij deze materie vrij goed kunnen beheersen. Er is ook een vrij goede consensus over welke performanties een schoolgebouw op akoestisch vlak moet hebben en ook de middelen daartoe zijn vrij goed bekend. Maar dit wil niet zeggen dat de recente schoolgebouwen dit ook allemaal waar maken! Er zijn architecturaal kwalitatieve voorbeelden, maar het valt toch op te merken dat de lokroep van een origineel ontwerp soms aan de genoemde, wat technische, verzuchtingen voorbij gaat. Strengere bouwvoorschriften waarop de architecten een creatief antwoord geven, lijken mij de enige uitkomst. Heldere en genuanceerde voorschriften zijn nu in de maak onder de vorm van een Belgische norm.

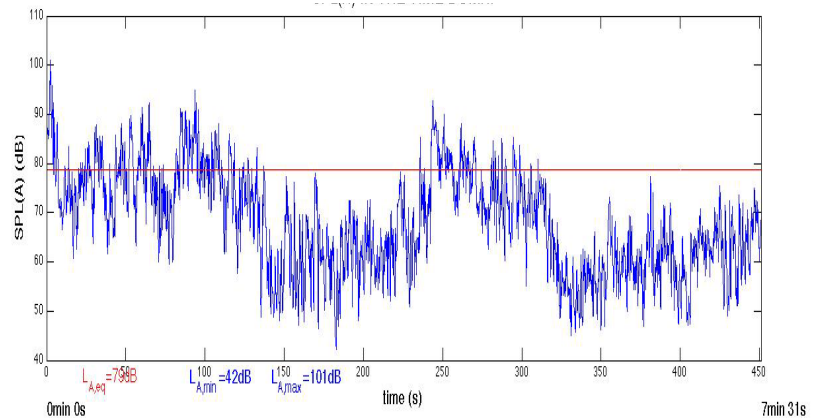
---

<sup>1</sup> Afdeling Bouwfysica en Afdeling Akoestiek en Warmtegeleiding  
Departement Bouwkunde, Celestijnenlaan 200 D bus 2416  
3001 Leuven Heverlee [Gerrit.Vermeir@bwk.kuleuven.be](mailto:Gerrit.Vermeir@bwk.kuleuven.be)

## Lawaaierigheid

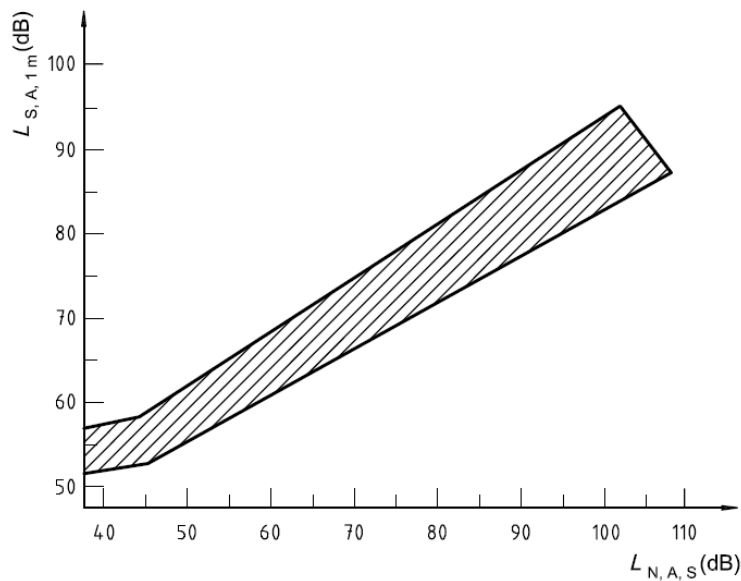
Het zijn natuurlijk niet de gebouwen die lawaai maken. Daar waar er sprake is van talrijke en luidruchtige gebruikers komen de onaangename geluiddruk niveaus om de hoek kijken. Denk maar aan een rumoerige kleuterklas, een refter met drukdoende jongeren, een joelende groep die doende is met sport en spel ...

Dit alles heeft te maken met de aard van de individuele bronnen (kleuters versus middelbare school bijvoorbeeld), met het aantal (kleine versus grote groepen) en met het zogenaamde cocktailparty-effect (men gaat steeds luider praten wanneer het geluidniveau op de achtergrond toeneemt). Ook in circulatieruimten moet men hier aandacht aan geven!



**Figuur 1** Verloop van het geluiddruk niveau in dB(A) over een periode van 7,5 min in een sportlokaal waarin een enthousiaste jeugdige klasgroep onder begeleiding spelactiviteiten heeft. Maximaal 101 dB, minimaal 42 dB, gemiddeld (equivalent geluiddruk niveau dB(A)) 79 dB. In de rustiger momenten bereidt de leraar een nieuwe activiteit voor met uitleg, vragen en antwoord van de groep. Het volume bedraagt ongeveer 1500 m<sup>3</sup> (Klavertje Vier, Brussel).

Een verloop van het geluiddruk niveau zoals een de grafiek van figuur 1 stemt overeen met een stevige lawaai belasting voor de leraar en ook met een zeer grote steminspanning voor de leraar, wanneer hij instructies wenst te geven op een moment van volle activiteit.



**Figuur 2 Steminspanning als functie van het equivalent achtergrondgeluidniveau in dB(A) gemeten ter plaatse van de spreker (spreekniveau in dB(A), equivalent, frontaal, op 1 meter afstand van de mond). De gearceerde zone verwijst naar de spreiding voor verschillende sprekers.**

De voorgaande Figuur 2 (ISO 9921:2003, 2003) geeft aan dat het cocktailparty-effect neerkomt op een toename van ongeveer 5 dB voor een toename van het achtergrondniveau met 10 dB. Zowel bij de spreker als bij de ontvanger geldt deze vorm van compensatie. Voor de ontvanger is dit het geval wanneer hij in een experiment zelf de controle heeft over het geluidniveau, voor de spreker gebeurt dat door zijn eigen aanvoelen van de situatie. Wanneer men zou uitgaan van de stemactiviteit van een twintigtal leerlingen, Betekent dit al gauw een toename van een twintigtal dB ! (13 dB voor het aantal, een 7-tal dB voor het luider spreken)

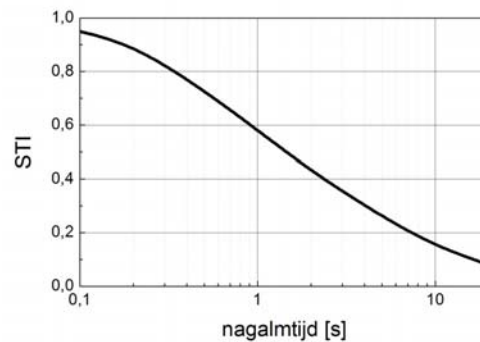
## **Lawaaiigheid en slechte spraakverstaanbaarheid door galm**

Akoestische hardere ruimten galmen sterk na, zeker wanneer ze een groot volume hebben. Dit versterkt het voorgaande probleem. Daarom stelt men dan ook een maximale nagalmtijd voorop in functie van het volume en in functie van de aard van de activiteiten in het lokaal. Een hoge nagalm heeft ook een zeer nadelige invloed op de spraakverstaanbaarheid. In dat verband bestaat er een speciale index STI (SpeechTransmission Index) die de kwaliteit van de spraakverstaanbaarheid aangeeft. Deze index wordt bepaald uitgaande van de impulsresponsie van een lokaal (het antwoord van de zaal op een kort geluidimpuls) en uitgaande van de signaal/ruis verhouding. De impulsresponsie van een zaal komt in de eerste plaats overeen met het nagalmfenomeen. De signaal/ruis verhouding heeft te maken met de verhouding tussen de sterkte van een spreeksignaal en de sterkte van de verstoring die op de achtergrond aanwezig is. Deze verstoring kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van

lawaai van buiten of van lawaai ten gevolge van de werking van de ventilatie-installatie. De STI-index betekent praktisch de volgende subjectieve schaal:

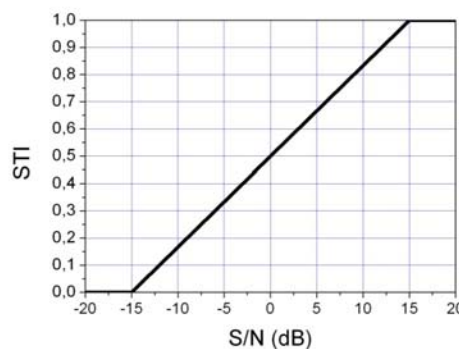
| Beoordeling van de verstaanbaarheid | excellent | goed     | redelijk | zwak      | slecht |
|-------------------------------------|-----------|----------|----------|-----------|--------|
| STI                                 | > 0,75    | 0,6-0,75 | 0,45-0,6 | 0,30-0,45 | < 0,30 |

In de vereenvoudigde omstandigheden kan men een rechtstreekse relatie leggen tussen de nagalmtijd en de STI-index (Houtgast & Steeneken, 1985). Deze is weergegeven op de volgende grafiek (Figuur 3). Deze grafiek bevestigt ons aanvoelen: hogere nagalmtijden zijn uit den boze in betrekking met spraak. Maar de grafiek toont ook dat wanneer men excellente spraakverstaanbaarheid op het oog heeft, men wel moet gaan naar zeer korte nagalmtijden.



**Figuur 3 Berekende verloop van de spraakverstaanbaarheidsindex STI voor een zuiver exponentieel en frequentieonafhankelijk verloop van de nagalmtijd.**

Ook de relatie tussen STI en de signaal/ruis verhouding ( $S/N$ , [dB]) kan men in vereenvoudigde omstandigheden (gelijke  $S/N$  in alle frequentiebanden) in grafiek weergeven (Figuur 4). We leren hieruit dat excellente spraakverstaanbaarheid mogelijk is als het signaal ongeveer 10 dB sterker is dan de verstoring op de achtergrond. De boodschap wordt slecht verstaanbaar wanneer het signaal veel zwakker is dan de verstoring op de achtergrond.

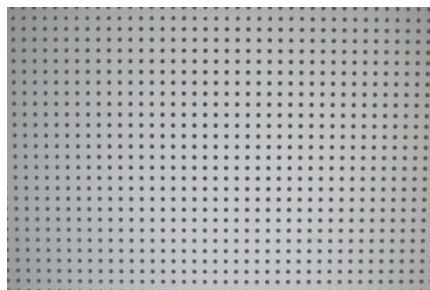


**Figuur 4 STI als functie van  $S/N$  als er alleen sprake is van verstoring door achtergrondruis ( $S/N$  dezelfde in alle banden).**

In verband met de nagalmtijd worden daarom maximaal toelaatbare waarden vooropgesteld. In het voorstel van de nieuwe Belgische norm<sup>2</sup> zijn eisen opgenomen die rekening houden met het verloop van de nagalmtijd in functie van de frequentie, met de situering van het spraakgebied op de frequentieschaal, met al of niet verstrengde vereisten voor luistercomfort en met het volume van de ruimte. Grofweg komen de eisen voor een klaslokaal neer op een maximale middenfrequente (500-2000 Hz) nagalmtijd van 0,8 en bij voorkeur 0,6 seconde. Voor een gymnasiumlokaal is maximaal  $\lg(V/50)$  [s, V in m<sup>3</sup>] tot  $\lg(V/125)$  toegestaan. Om de gedachten te vestigen betekent dit voor het lokaal van figuur 1 maximaal 1,5 seconde en beter nog maximaal 1 s. Hierna geven we nog een ander voorbeeld.



**Figuur 5 Sportzaal in een lagere school (De Klare Bron, Heverlee)**



**Figuur 6 Zicht op het plafond afwerking: geperforeerde gipsplaten met bovenop glasvliesdoek en minerale wol. Gewogen geluidabsorptiecoëfficiënt  $\alpha_w = 0,55$ .**

Het gymlokaal van Figuur 5 is voorzien van een geperforeerd gipskarton met minerale wol in de spouw, maar verder is alles vrij weerkaatsend (glas, gepleisterd metselwerk, deuren). De nominale nagalmtijd is gemeten en is gelijk aan 1,9 seconde. Voor het gegeven volume had dit lokaal een waarde moeten hebben van  $\lg(1100/50)$  s = 1,35 s en beter nog  $\lg(1100/125)=0,95$  s.

---

<sup>2</sup> de norm die momenteel voorbereid wordt door de NBN normcommissie heeft momenteel de werktitel NBN S01-400-2: Acoustic requirements in school buildings (vergadering van de commissie op 26 maart 2010); het kan verwacht worden dat een commissie werk zal beëindigd zijn begin mei 2010.

De nagalmtijd wordt fysisch bepaald door het volume van de ruimte en door de hoeveelheid geluidabsorberende afwerking. De geluidabsorberende afwerking wordt gekenmerkt door een geluidabsorptiecoëfficiënt. Deze ligt in principe tussen 0 voor een perfect reflecterend oppervlak (wateroppervlak in een zwembad, betegelde wanden, maar ook bepleisterd metselwerk, glad beton, effen vloertegels... hebben zeer lage waarden) en 1 anderzijds (open raam, minerale wol bekleding en opencellige kunststofschuimen op een behoorlijke dikte, zware gordijnen op een afstand van een wand, ...).

De fabrikanten bieden een gamma van afwerkingen aan voor wand en plafond waarvoor zij telkens de kwaliteit aangeven met een gewogen geluidabsorptiecoëfficiënt  $\alpha_w$ . (ISO 11654:1997, 1997)

In de schoolcontext gaat men meestal niet over tot het gebruik van poreuze materialen zoals tapijt, weze het maar om redenen van onderhoud en hygiëne.

De geluidabsorptie van de verschillende vloerafwerkingen (vloertegels, linoleum, parket of plankenvloer ) is daardoor in de regel vrijwel nihil.

De geluidabsorptie moet dus gepresteerd worden met geluidabsorberende al dan niet verlaagde plafonds (minerale wol platen met afwerklaag, geperforeerde gipsplaten met minerale wol oplage, geperforeerde metaal plaat met minerale wol oplage of met glasvliesdoek, poreuze houtvezelplaat,...), met wandbekledingen allerhande (geluidabsorberende platen met afdekdoek, gordijnen, ...), met poreus wandmetselwerk, ...

De algemene regel is dat er een aanwezigheid moet zijn van voldoende luchttoegankelijk poreus materiaal waarin de geluidgolven kunnen uitdempen.

De benodigde hoeveelheden kunnen afgeleid worden uit een eenvoudige formule van Sabine  $T=V/6A$ . Hierin is A de totale geluidabsorptie in de ruimte aanwezig is. Deze is gelijk aan de som van alle begrenzingsoppervlakken in vierkante meter telkens vermenigvuldigd met de overeenstemmende geluidabsorptiecoëfficiënt.

Terugkomend op het voorbeeld van Figuur 5 kunnen we zo zeggen dat een wat hogere performantie van de plafondafwerking, bijvoorbeeld met  $\alpha_w = 0,9$ , de nagalmtijd beneden 1,35 s kon brengen. Vereenvoudigend kan men immers stellen dat de nagalmtijd in dit voorbeeld omgekeerd evenredig is met de geluidabsorberende kwaliteit van de plafondafwerking. De nagalmtijd zou dan worden  $1,9s \times 0,55/0,9 = 1,2$  s. Voor een nagalmtijd van 0,9s is wellicht ook nog een extra gedeelte wandabsorptie nodig.

## Hinder door activiteiten van omliggende lokalen/gangen

Lawaai door activiteiten in aanpalende ruimten (luchtgeluid, contactgeluid) zal zelden erg hoog zijn maar is al gauw verstorend! In die zin moet nagedacht worden over de vereiste luchtgeluidisolatie en over toelaatbaar contactgeluidniveau. In de vereisten van de norm zullen deze waarden opgenomen worden.

De **luchtgeluidisolatie** wordt uitgedrukt in een gestandaardiseerd geluiddruk-niveauverschil tussen het zendlokaal en het ontvanglokaal. Er wordt gestandaardiseerd naar de voorgeschreven nagalmtijd van het ontvanglokaal toe. Om de ruimte te creëren om eisen te kunnen passen aan speciale omstandigheden, wordt ook een generieke tabel gegeven die rekening houdt met de lawaaiproductie aan de zenzijde en met de gevoeligheid van de activiteiten aan de ontvangzijde. De courante eisen in verband met luchtgeluidisolatie bedragen bijvoorbeeld 46 dB tussen klaslokalen. Dit wil in eerste instantie zeggen dat het geluid dat aan de zenzijde gegenereerd wordt, met 46 dB moet verzwakt worden door de globale bouwconstructie.

In verband met **contactgeluid** is een gestandaardiseerd ontvangen niveau van 60 dB als toelaatbaar aanzien. Zoals bekend wordt dit bepaald door op de constructie in kwestie een gestandaardiseerd klopapparaat in werking te stellen.

De luchtgeluidisolatie-eis van 46 kan vrij vlot gerealiseerd worden met een lichte gipsplatenwand, half zwaar gepleisterd metselwerk, ... Maar men heeft wel de neiging om nogal wat vrijheid te nemen. Zo wil men bijvoorbeeld klasoverschrijdend kunnen werken met een naburige klas. Een enkelvoudige houten schuifwand als deel van de scheidingwand, is dan echter wel wat te weinig: de geluidisolatie daalt in een concreet voorbeeld van 49 dB (zonder schuifwand) naar een sterk onvoldoende 22 dB (gesloten schuifwand). De idee kan immers slechts behouden worden wanneer men een dubbele versie van een dergelijke schuifwand voorziet!

Ook kan visuele transparantie soms leuk zijn tussen kleuterklassen: als men het oppervlak beperkt houdt, lukt dit nog binnen de normen (van 52 naar 47 in een voorbeeld)!

De contactgeluidniveau-eis van maximaal 60 dB is op zichzelf niet zo moeilijk te halen en is vooral gesteld om te bekomen dat inventieve lichtgewicht vloerplaatconstructies op dat punt aandachtig zouden bekeken worden. Een vlakke steenachtige draagvloer met een soepele tussenfolie onder de dekvloer kan hier bijvoorbeeld probleemloos aan voldoen.

Een ander punt van aandacht is de geluidisolatie ten opzichte van **circulatie**. Hier worden eisen vooropgesteld die variëren van 30-38 dB. 30 dB voor de geluidisolatie van gangen naar kleuterklassen, 38 dB voor de geluidisolatie van gangen naar studielokalen. Worden deze gangen eerder doorlopend gebruikt, dan wordt voorgesteld om die eisen 8 dB hoger te leggen. Op basis van deze eisen moet zorgvuldig omgesprongen worden met het gebruik

van beglazing, met de keuze van de deuren en de afdichtingen en met de geluidisolatie van mogelijke verluchttingsdoorgangen.



**Figuur 7** Typische situatie tussen een gang en een klaslokaal. De glazen doorkijkopening is voorzien van een glaspaneel met een dikte van 1 cm. De gestandaardiseerde en gewogen geluidisolatie is gemeten op 32 dB. Men kan dit aanzien als echt op het randje van het toelaatbare, omdat het ontwerp van norm een marge van 2 dB voorziet ten opzichte van de vereiste waarde van 34 dB. De scheidingswand zelf is uitgevoerd als dubbele wand met onafhankelijke stijlen, dubbele gipsbeplating aan beide zijden en minerale wol in de spouw. Het is dus duidelijk dat glas en deur bepalend zijn voor de geluidisolatiewaarde. In de gangen is de nominale nagalmtijd lager dan 0,5 seconde (In het klaslokaal gemeten: 0,82 seconde). Dit is uiteraard zeer gunstig naar hinder uit de gangen toe. Er moet bovendien bij vermeld worden dat de bewuste gang afgesloten is naar de centrale circulatie toe en uiteindelijk alleen de zes aansluitende lokalen bedient (KTA,Vilvoorde).

## Installatielawaai

Het is duidelijk dat achtergrondgeruis ten gevolge van de werking van technische installaties een zodanig laag niveau moet hebben dat er van interferentie met spraak en vermoeiing ten gevolge van permanente achtergrondgeluid geen sprake kan zijn. De Figuur 4 maakte al duidelijk dat van verstoring van spraak geen sprake is wanneer de signaal/ruis verhouding groter is dan 15 dB. Om ook nog enige reserve te laten voor andere lawaaibronnen zoals projectieapparatuur, computers, ... wordt de eis tamelijk streng gesteld: voor normaal gebruik, zeg maar voor een klaslokaal, wordt 35 dB(A) als maximale waarde voor het gestandaardiseerd installatielawaai vooropgesteld. Deze eis varieert naargelang gevoeligheid: 30 dB(A) klaslokalen voor onderwijs aan leerlingen met auditieve beperking of lokalen voor spraaktherapie en tot 50 dB(A) in toiletruimten.

Met deze vooropgestelde getallen van 30-35 dB(A) is uiteraard grote aandacht nodig is voor het ontwerp en de uitvoering van de ventilatie-installaties. Keuze van ventilatoren, het uitwerken van het kanalenet al of niet met geluiddempers en de keuze en verdeling van de inblaasmonden, spelen daarbij een rol. Om bijvoorbeeld uitstromingslawaai binnen de gestelde perken te houden, zal men de uitstroomsnelheid aan de roosters beperken tot ongeveer 3 m/s. In het voorbeeldplan van het lokaal op figuur 7 is dit alles duidelijk niet gelukt: er werd een niveau gemeten van 44 dB(A)!



## Hinder door lawaai van buiten

Teneinde verstoring door lawaai van buiten te beperken, worden een aantal eisen gesteld aan de gevelisolatie. Deze worden bepaald door het lawaainiveau buiten en door het vooropgestelde achtergrondlawaai ten gevolge van de werking van installaties. Hoe dan ook moet de geluidisolatie meer dan 26 dB(A) bedragen bij volledig geopende stand van eventuele ventilatievoorzieningen.



**Figuur 8** De gevelisolatie werd voor deze situatie geen meten op 27 dB: eerder nipt dus! (De Klare Bron, Heverlee)

## Conclusie

Met deze tekst willen wij vooral de akoestische aspecten rond schoolgebouwen in de aandacht brengen. In de context van voorliggende tekst is aangegeven dat voor de aspecten luchtgeluidisolatie, contactgeluidniveau, gevelisolatie, installatielawaai en nagalmtijd richtlijnen in de maak zijn. Voor de courante situaties zijn een aantal vereisten reeds vermeld en geïllustreerd. Een toehoorder/lezer die op zoek is naar praktische literatuur en specifieke richtlijnen verwijzen wij ook graag naar (Shield & Hopkins, 2004). De Belgische norm die in voorbereiding is, zal de referentie worden voor de partijen die betrokken zijn in het bouwproces en de renovatie van de Belgische schoolgebouwen. Er wordt vooral aansluiting gezocht op de grootheden en werkwijzen die gehanteerd zijn in de recente (NBN, 2008).

## Dankwoord

De werkzaamheden rond het opstellen van deze norm verlopen in samenwerking tussen het WTCB, ULg en K.U.Leuven in het kader van het project BANC MEZ. Sara van Leuven werkt in dit kader aan haar masterthesis ingenieur architect K.U.Leuven.

De auteur bedankt voor alle medewerking en overleg die de voorliggende presentatie heeft mogelijk gemaakt.

## Referentielijst

- KLASSE (2009). Zwijgen in de refter. *KLASSE*, 182, 46-49.
- Mattiske, J. A., Oates, J. M., & Greenwood, K. M. (1998). Vocal problems among teachers: A review of prevalence, causes, prevention, and treatment. *Journal of Voice*, 12, 489-499.
- Jonsdottir, V. I. (2009). Connection between unfavourable acoustics in sports halls and high prevalence of voice problems in sport teachers (P.E. teachers)? In *EURONOISE 2009*.
- ISO 9921:2003 (2003). *Ergonomics: Assessment of speech communication*.
- Houtgast, T. & Steeneken, H. (1985). The modulation transfer function in room acoustics. *Bruel and Kjaer Technical Review*, no.3, 3-12.
- ISO 11654:1997 (1997). *Acoustics -- Sound absorbers for use in buildings -- Rating of sound absorption* ISO.
- Shield, B. & Hopkins, C. (2004). *Building Bulletin 93 Acoustic Design of Schools A design Guide* London: The Stationery Office.
- NBN (2008). *NBN S 01-400-1 Akoestische criteria voor woongebouwen Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation* Brussels: NBN.