

LUCHTDICHTHEID

ONDERZOEK NAAR EEN AKOESTISCHE SCHATTINGSMETHODE

Andrea Belien | Dries Jehoul

MASTER INDUSTRIËLE WETENSCHAPPEN BOUWKUNDE

PROBLEEMSTELLING & DOELSTELLING

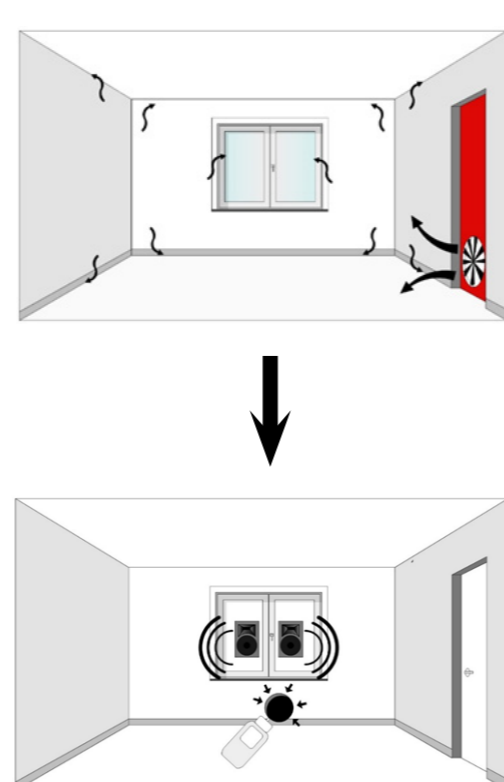
- Het thema luchtdichtheid is onontbeerlijk geworden inzake de energieprestaties van gebouwen, waardoor deze parameter aan steeds strengere eisen onderworpen wordt
 - Bouwbedrijven weten vóór de start van het bouwproces niet of ze de opgelegde luchtdichtheids eisen zullen behalen
 - Een blowerdoortoestel is het enige gecertificeerd meettoestel dat een verbetering van het E-peil en S-peil kan valideren conform de EPB-regelgeving in het kader van luchtdichtheid
 - Tussentijdse blowerdoormetingen vergen veel voorbereiding waardoor een continue evaluatie van de luchtdichtheidsprestaties tijdens het bouwproces onmogelijk wordt
- In het kader van bovenstaande probleemstelling, wordt er in deze masterproef een antwoord gezocht op de volgende **hoofdongderzoeksvraag**:
 "Zijn geluidsmetingen voldoende nauwkeurig om de luchtdichtheid van een wand te schatten?"

Deze masterproef heeft als doel een **methode** te ontwikkelen die de **luchtdichtheid** van een wand kan **schatten** op basis van **akoestische metingen**.

Op die manier zou de uitvoerder/aannemer van een gebouw tussentijdse luchtdichtheidsmetingen kunnen realiseren zonder het gebruik van een blowerdoortoestel.

Een dergelijk schattingsmodel zou tevens gebruikt kunnen worden om de **haalbaarheid** van een vooraf opgelegde **luchtdichtheids eisen** te controleren.

Om een dergelijk schattingsmodel op te stellen wordt een **tweeledig experiment** uitgevoerd, bestaande uit luchtdichtheidsmetingen en geluidsmetingen.



RELATIE AKOESTIEK & LUCHTDICHTHEID

Vermits een luchtlek en een akoestisch lek – in de meeste gevallen – per definitie hetzelfde zijn, is de correlatie vanuit een logisch standpunt duidelijk. Een luchtlek laat namelijk ook geluidsgolven door en vice versa. Hoewel er niet direct een eenvoudige analytische relatie bestaat die bouwakoestiek en luchtdichtheid aan elkaar linkt, is het echter wel mogelijk om de **stromingsvergelijking** uit te drukken aan de hand van de **schijnbare geluidverzwakingsindex**. De uitdrukking voor de schijnbare geluidverzwakingsindex van een wand met een opening kan opgesteld worden als volgt [1]:

De wand heeft een **lekoppervlakte** S_l en de opening heeft een **geluidverzwakingsindex** R_l (dewelke benaderend gelijk is aan 0). Vermits we veronderstellen dat de opening geen bijdrage levert aan de totale geluidverzwakingsindex van de samengestelde wand, is het mogelijk om de lekoppervlakte te isoleren aan de hand van de volgende uitdrukking [1]:

Tot slot kan deze lekoppervlakte ingevuld worden in de **stromingsvergelijking** en levert dit de volgende empirische formule om de permeantie van lucht te beschrijven:

$$R'_w = R_w - C_F \text{ [dB]}$$

$$R'_w = -10 \log \left[\frac{S_1 \cdot 10^{-\frac{R_1}{10}} + S_2 \cdot 10^{-\frac{R_2}{10}} + \dots + S_n \cdot 10^{-\frac{R_n}{10}} + S_l \cdot 10^{-\frac{R_l}{10}}}{S_1 + S_2 + \dots + S_n + S_l} \right] - C_F \text{ [dB]}$$

R'_w = gewogen waarde schijnbare geluidverzwakingsindex van de wand [dB]
 R_w = gewogen waarde theoretische geluidverzwakingsindex van de wand [dB]
 C_F = factor die flankerende transmissie in rekening brengt [dB]

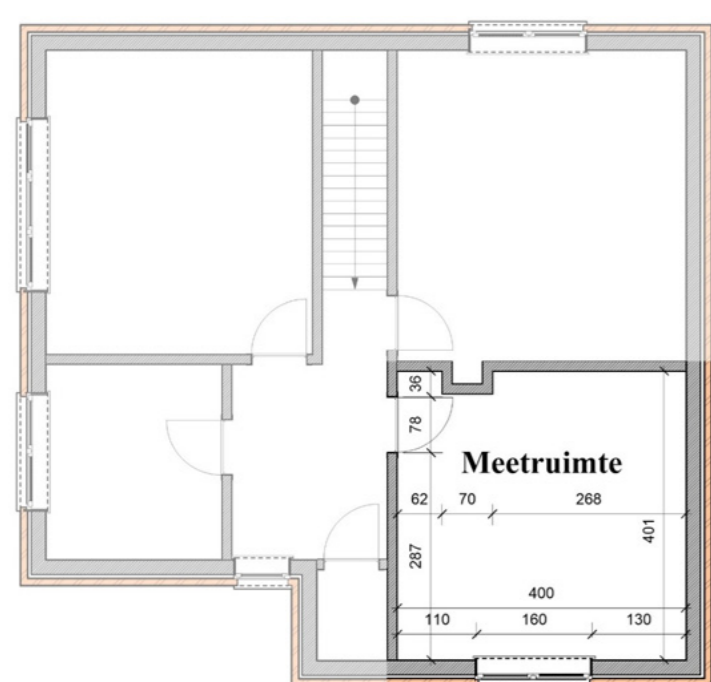
$$S_l = \left(\frac{1 - 10^{-\frac{R'_w - R_w + C_F}{10}}}{10^{-\frac{R'_w + C_F}{10}}} \right) \cdot S \text{ [m}^2\text{]}$$

\dot{V} = luchtdebiet [$\frac{m^3}{s}$]
 S_l = oppervlakte van de opening [m^2]
 C_d = weerstandsfactor [-]
 ΔP = drukverschil [Pa]
 ρ = massadichtheid van lucht [$\frac{kg}{m^3}$]

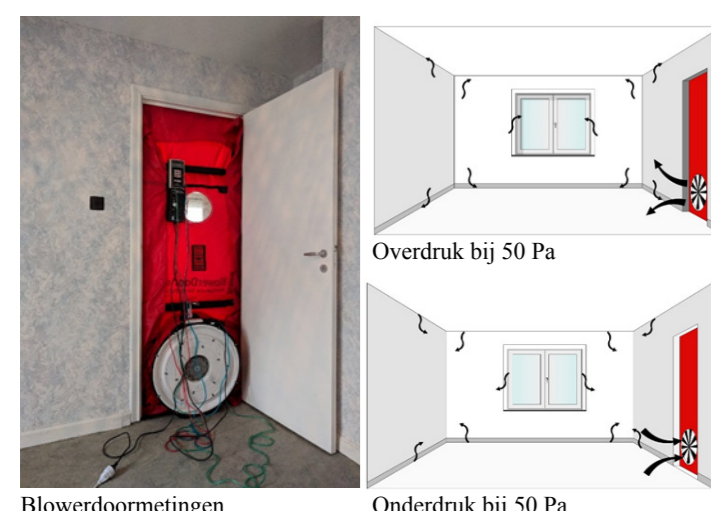
$$\dot{V} = S_l C_d \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

ONDERZOEKSMETHODE

LUCHTDICHTHEIDSMETINGEN



Afmetingen meetruimte



Blowerdoormetingen

Onderdruk bij 50 Pa

Er zullen er systematisch maatregelen (met ducttape van het merk Tesa®) worden aangebracht om de **luchtdichtheid te verbeteren**; nadien zullen akoestische metingen uitwijzen of deze verbeteringen evenzeer een effect hebben op de akoestische prestaties. Telkens wanneer een maatregel wordt aangebracht, zullen er twee **BlowerDoormetingen** uitgevoerd worden om na te gaan of de luchtdichtheid van de meetruimte effectief verbeterd is. Wanneer een nieuwe maatregel wordt aangebracht, dan wordt de vorige maatregel niet verwijderd, maar er ontstaat simpelweg een **cumulatie van opeenvolgende maatregelen**. De locatie van de maatregelen wordt bepaald door na te gaan welke **componenten** een belangrijke rol spelen in het veroorzaken van luchtlekken; dit zijn naar onze mening de volgende elementen: 1) de aansluiting van het raamkader met het houten schrijnwerk; 2) de aansluiting van het houten schrijnwerk met de binnenmuur; 3) de aansluiting van de muur met het dak.



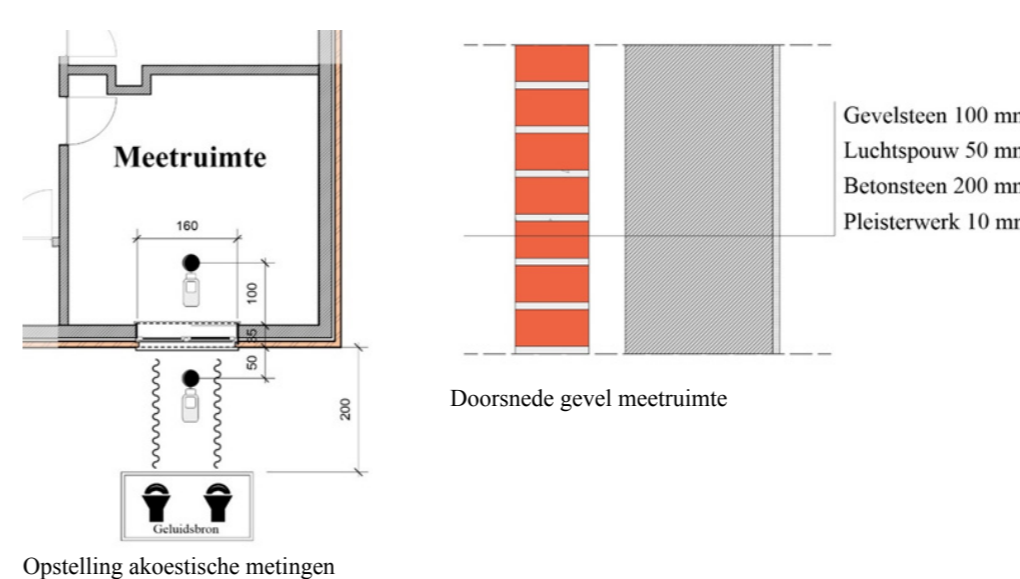
Normale situatie

Luchtdichtheidsmaatregel 1

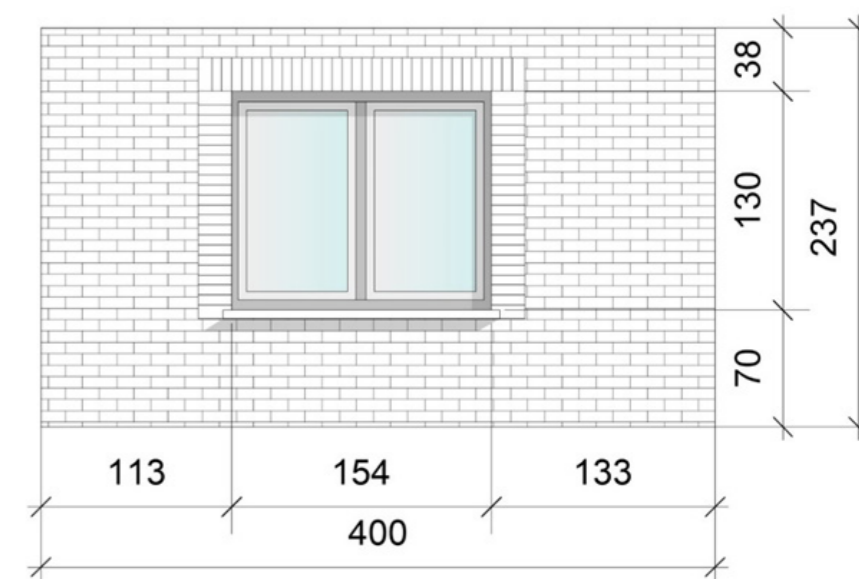
Luchtdichtheidsmaatregel 2

Luchtdichtheidsmaatregel 3

AKOESTISCHE METINGEN



Opstelling akoestische metingen



Afmetingen buitenkant meetruimte



Opstelling akoestische metingen

Akoestische buitenmeting

De akoestische metingen worden uitgevoerd op dezelfde vier situaties waarop de klassieke luchtdichtheidsmetingen met het BlowerDoortoestel zijn verricht. Er worden **telkens twee akoestische metingen** uitgevoerd, namelijk een geluidsmeting met **professioneel gereedschap** (Hand-held Analyzer 2250 van het merk Brüel & Kjær) en een tweede meting waarbij gebruik wordt gemaakt van een **mobile applicatie** (Audio Spectrum Analyzer HD Pro). De metingen met de mobiele applicatie worden uitgevoerd om na te gaan of deze methode in de praktijk met een eenvoudige applicatie toepasbaar zou kunnen zijn. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van twee **geluidsbronnen** die **roze ruis** uitzenden, in het Engels **Pink Noise** genoemd. Roze ruis betekent dat elke octaaf evenveel geluidsenergie bezit.

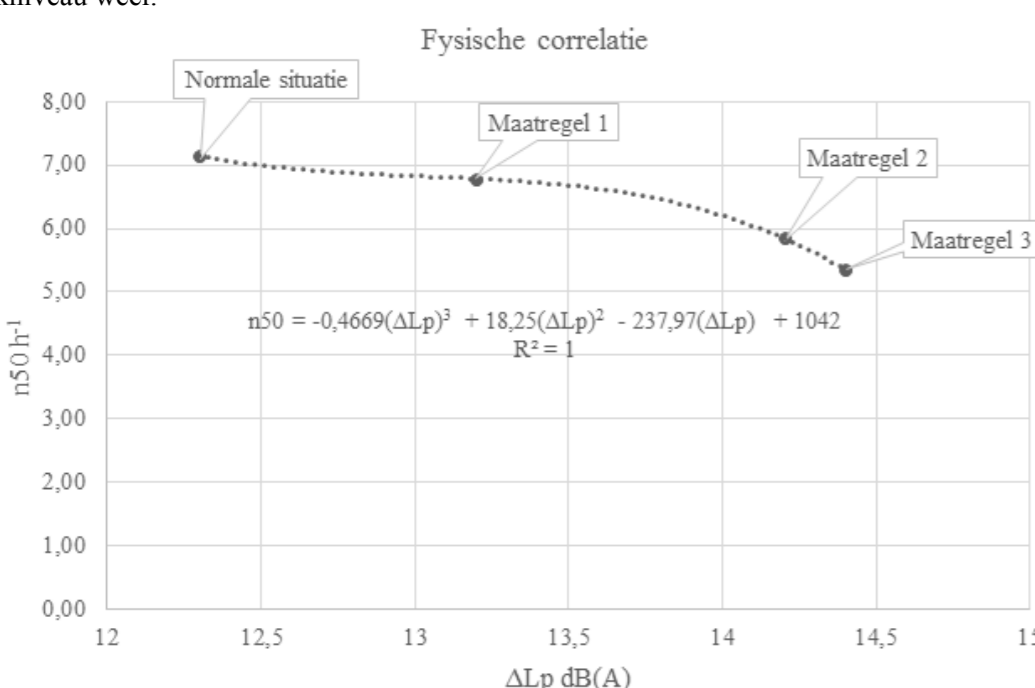
RESULTATEN

EXPERIMENTELE SCHATTINGSMETHODE

Beschouwen we het **ventilatievoud** bij een drukverschil van 50 Pa (n50) voor elke situatie in **functie van het verschil in geluidsdrukniveau** (ΔL_p), dan blijkt dat er een mathematische relatie bestaat tussen beide grootheden [2]. Deze mathematische expressie levert de volgende vergelijking op:

$$n_{50} = -0,4669(\Delta L_p)^3 + 18,25(\Delta L_p)^2 - 237,97(\Delta L_p) + 1042$$

De onderstaande figuur geeft de **fysische correlatie** van het ventilatievoud en het verschil in geluidsdrukniveau weer.



Tenslotte kan de bovenstaande vergelijking gebruikt worden om het ventilatievoud bij een drukverschil van 50 Pa voor elke situatie te schatten. Dit levert beurtelings de volgende resultaten:

Situatie	Gemeten ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Geschatte ventilatievoud bij 50 Pa [m³/h]	Afwijking [%]
Normaal	7,14	7,17	0,42
Maatregel 1	6,79	6,82	0,44
Maatregel 2	5,85	5,88	0,51
Maatregel 3	5,35	5,40	0,93

THEORETISCHE SCHATTINGSMETHODE

De theoretische schattingsmethode maakt gebruik van de relatie tussen akoestiek en luchtdichtheid, die hierboven reeds werd uitgedrukt. Om de bruikbaarheid van deze schattingsmethode te evalueren, worden de bekomen waarden van het ventilatievoud, vergeleken met de gemeten waarden van het ventilatievoud bij 50 Pa. De **afwijking** van de berekende waarde ten opzichte van de gemeten waarde wordt als een maatstaf beschouwd voor de **toepasbaarheid van de theoretische schattingsmethode**. De onderstaande tabel toont de samenvattende resultaten van deze vergelijking voor beide werkwijzen (dubbele wand en enkelvoudige wand).

Normaal				
Dubbele wand	Enkelvoudige wand	Gemeten waarde	Afwijking	
Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Samengestelde wand [%]	Enkelvoudige wand [%]
10,00	9,86	7,14	40,1	38,1
Maatregel 1				
Dubbele wand	Enkelvoudige wand	Gemeten waarde	Afwijking	
Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Samengestelde wand [%]	Enkelvoudige wand [%]
6,88	6,73	6,79	1,3	0,88
Maatregel 2				
Dubbele wand	Enkelvoudige wand	Gemeten waarde	Afwijking	
Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Samengestelde wand [%]	Enkelvoudige wand [%]
4,39	4,28	5,85	25,0	26,8
Maatregel 3				
Dubbele wand	Enkelvoudige wand	Gemeten waarde	Afwijking	
Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Ventilatievoud bij 50 Pa [1/h]	Samengestelde wand [%]	Enkelvoudige wand [%]
4,39	4,28	5,35	17,9	20,0

Het blijkt dat de theoretische schattingsmethode die gebruik maakt van de gemeten waarde van de geluidverzwakingsindex van de **dubbele wand** een maximale afwijking heeft van 40,1%, waarbij de **gemiddelde afwijking** van deze methode **21,8%** bedraagt. De theoretische schattingsmethode die, daarentegen, gebruik maakt van de gemeten waarde van de geluidverzwakingsindex van de **enkelvoudige wand** en als het ware veronderstelt dat het metselwerk geen bijdrage levert, heeft een maximale afwijking van 38,1%. Nemen we de **gemiddelde afwijking** in beschouwing van deze laatste werkwijze, dan volgt hieruit dat deze **21,5%** bedraagt.

CONCLUSIE

ANTWOORD HOOFDONGDERZOEKSVRAAG

Om een antwoord te kunnen formuleren op de hoofdongderzoeksvraag werd een tweeledig experiment uitgevoerd, bestaande uit pressurietesten met een BlowerDoortoestel en geluidsmetingen met zowel professionele apparatuur als een mobiele applicatie. Het werd echter al snel duidelijk dat de metingen met de mobiele applicatie niet bruikbaar waren voor het verdere experiment. De resultaten van het tweeledig experiment, dat wilt zeggen de resultaten van de pressurietesten en de resultaten van de geluidsmetingen met de professionele apparatuur, hebben de aanleiding gegeven tot het opstellen van twee akoestische schattingsmethodes die de luchtdichtheid van een façade kunnen schatten, hetzij op een andere manier.

De eerste akoestische schattingsmethode (experimentele methode) maakt gebruik van de **fysische correlatie** tussen het ventilatievoud en het verschil in geluidsdrukniveau tussen de ontvangstkamer en de zendkamer, waarbij er **zeer nauwkeurige resultaten** werden bekomen bij het vergelijken van de geschatte waarden ten opzichte van de gemeten waarden.

De tweede akoestische schattingsmethode (theoretische methode) is gebaseerd op het verschil tussen de **'schijnbare' geluidverzwakingsindex** en de **theoretische geluidverzwakingsindex** van de façade, waarbij we veronderstellen dat dit verschil hoofdzakelijk gegeneerd wordt door luchtlekken. Hierdoor is het mogelijk om de gecumuleerde lekoppervlakte te bepalen, hetgeen resulteert in een geschat debiet en vervolgens een geschat ventilatievoud. **De waarden** die werden bekomen met deze methode **wijken echter behoorlijk, maar toch aanvaardbaar, af** van de gemeten waarden in het merendeel van de situaties.

SLOTBESCHOUWING

We besluiten dat geluidsmetingen waarbij er gebruik wordt gemaakt van professionele apparatuur **voldoende nauwkeurig** zijn om de luchtdichtheid van een façade te schatten, hetgeen duidelijk blijkt uit de zeer precieze resultaten bekomen met de experimentele schattingsmethode. Dit is evenwel niet het geval bij de geluidsmetingen uitgevoerd met de mobiele applicatie die om die reden niet verder zijn gebruikt in dit onderzoek. Hoewel de waarden bekomen met de theoretische schattingsmethode in het merendeel van de beschouwde situaties behoorlijk, maar aanvaardbaar, afwijken van de gemeten waarden, zijn deze **afwijkingen niet te wijten aan de onnauwkeurigheid** van de uitgevoerde geluidsmetingen, maar teneer aan de procedure om een **gewogen waarde van de geluidverzwakingsindex** te bekomen en mogelijks de vele aannames uit de literatuur waarop deze methode steunt.

Promotor
Prof. dr. ing. Jelle Langmans

Externe promotor | BELEMCO
Ir. Jan Loddeyckx

Copromotor
Prof. dr. ir. Hervé Desée

Bronnen

- [1] O. Hassan, „An alternative method for evaluating the air tightness of building components,” Building and Environment, nr. 67, pp. 82-86, 2013.
- [2] V. Iordache en C. Tiberiu, „Acoustic approach for building air permeability estimation,” Building and Environment, nr. 57, pp. 18-27, 2012.