
Trillingoverdrachtverzwakking in de praktijk bij enkele knooppunten met ankerloze spouwmuren van cellenbeton¹

H.J. Martin¹, J.P. Smits¹, E. Gerretsen², J.W. Niggebrugge³, L.C.J. van Luxemburg⁴

1 TU/e, Faculteit Bouwkunde, Postbus 155, 5600 AD Eindhoven; heiko.martin@bwk.nl

2 TNO - TU/e; eddy.gerretsen@tno.nl

3 Kupers&Niggebrugge bv

4 Level Acoustics; TU/e

Vibration reduction index in the field for some junctions of cavity walls of aerated-concrete

Abstract

The European Standard EN 12354-1 [1] presents a model for the transmission of airborne sound between 2 adjacent rooms in buildings. The model links the performance of buildings to that of building elements.

Input data for this model are the sound reduction indices of relevant building elements and the acoustical properties of the junctions formed by those elements. The junctions are acoustically characterized by means of the vibration transmission index K_{ij} . For junctions of single homogeneous building elements the values of K_{ij} are rather well known. For junctions with cavity walls however, the values of K_{ij} are not known quite well, partly because of the lack of data from practice. To compensate this, empirical values are used in computer models, based on EN 12354-1.

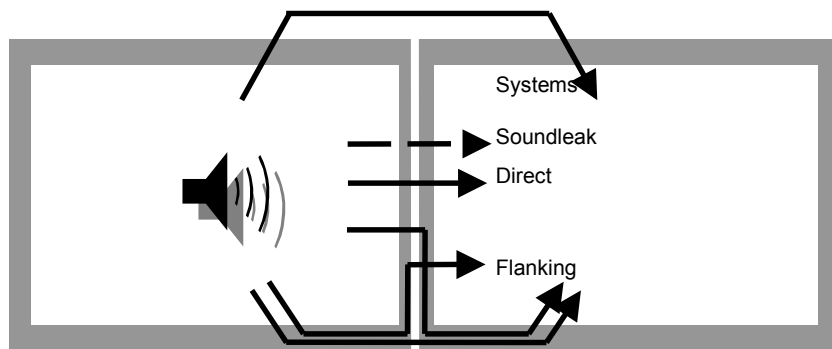
To get some data on K_{ij} , measurements have been carried out in practice to determine its value at several junctions with cavity walls made of aerated concrete. Measurement results have been compared to the empirical values. The difference depends on the type of transmission path. Also it seems that K_{ij} of a junction depends on the situation and geometry of the junction.

1. Inleiding

Burenlawaai is, naast wegverkeerslawaai, nog steeds een belangrijke bron van hinder in woningen. Verhoging van de geluidisolatie tussen woningen zal deze hinder zeer waarschijnlijk doen verminderen. In eengezinswoningen is de toepassing van de ankerloze spouwmuur een goed middel om een hoge geluidisolatie tussen de woningen te verkrijgen.

Echter, naarmate de geluidisolatie van de directe scheidingsconstructie hoger is, wordt flankerende geluidoverdracht belangrijker. Deze problematiek wordt beschreven in de Europese norm EN 12354-1 [1]: een model voor de totale geluidoverdracht tussen twee aangrenzende ruimten (fig.1).

¹ Dit artikel is ontleend aan het afstudeerwerk van J.P. Smits.



Figuur 1: Overdrachtswegen tussen twee ruimten.

In dit model is de “flankerende geluidisolatie” langs elke overdrachtsweg i-j afhankelijk van de geluidisolatie van de samenstellende bouwelementen en de akoestische eigenschappen van de bouwknoop die ze vormen. De akoestische prestatie van bouwkundige knooppunten wordt uitgedrukt middels de trillingoverdrachtverzwakking K_{ij} .

$$R_{ij} = \frac{R_i}{2} + \frac{R_j}{2} + K_{ij} + 10 \lg \frac{S_d}{l_0 l_{ij}}, \text{ met } l_0 = 1 \text{ m} \quad (1)$$

R_i = geluidisolatie van vlak i [dB]

R_j = geluidisolatie van vlak j [dB]

K_{ij} = trillingoverdrachtverzwakking [dB]

S_d = oppervlakte van de directe scheidingsconstructie [m^2]

l_{ij} = lengte waarover vlak i en j zijn gekoppeld [m]

De geluidisolatie van bouwelementen kan worden bepaald in het laboratorium en, indien nodig, worden gecorrigeerd voor praktijkomstandigheden. In EN 12354-1 zijn voor veel voorkomende knooppunten al gegevens opgenomen, op grond van de massa van de gekoppelde delen en het soort knooppunt. Dit betreft voornamelijk knooppunten met enkelvoudige homogene constructies. Voor knooppunten met ankerloze spouwmuren bevatten simulatiemodellen zoals BASluc0 [2], gebaseerd op het model uit EN 12354-1, vaak benaderingsformules voor K_{ij} , op empirische basis. De betrouwbaarheid van deze benaderingen is nog niet goed bekend, o.a. door het ontbreken van gegevens uit de praktijk.

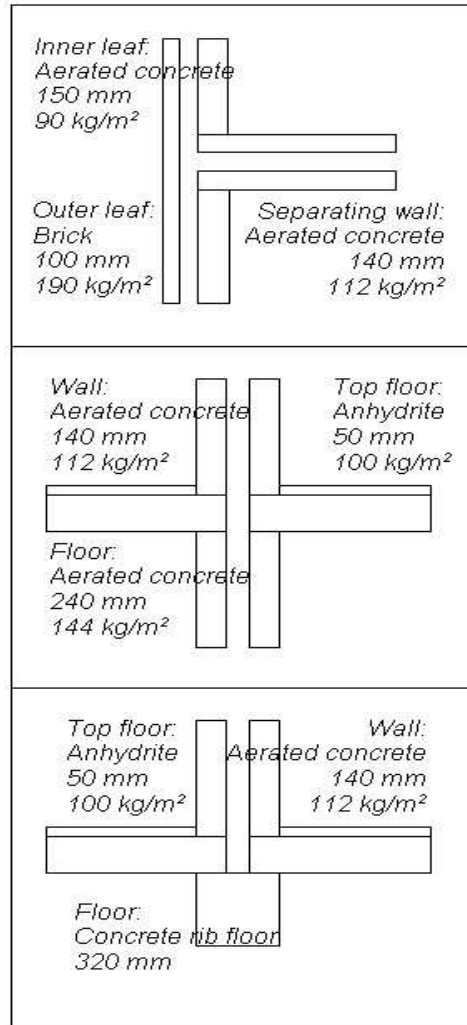
Om enigszins in deze leemte te voorzien zijn de waarden van K_{ij} in de praktijk bepaald aan de meest voorkomende knooppunten bij ankerloze spouwmuren (fig.2), uitgevoerd in cellenbeton²³. De gevelspouw is gevuld met glaswol; het buitenspouwblad is t.p.v. de woningscheidende wand gedilateerd. Zoals gebruikelijk zijn in de gevelspouwmuur spouwankers aangebracht, ongeveer 4 per m^2 . Er is een eenvoudige meetmethode ontwikkeld, die in de praktijk weinig tijd vergt, met weinig meetapparatuur, ook tijdens de uitvoering. Tevens is geprobeerd inzicht te krijgen in de nauwkeurigheid van de verkregen waarden van K_{ij} m.b.t.:

- de meetmethode;
- de uitvoering.

² Met dank aan Xella voor de sponsoring en het beschikbaar stellen van de meetobjecten in Utrecht de Woerd.

³ N.B. Ankerloze spouwmuren in cellenbeton zijn zeker geen usance in de huidige Nederlandse bouwpraktijk.

Tenslotte is enig onderzoek gedaan om erachter te komen of K_{ij} wel een eigenschap van het knooppunt is of ook mede afhangt van de situering van dat knooppunt.



Figuur 1: Relevante knooppunten bij ankerloze spouwmuren⁴ van cellenbeton: de gevel-woningscheidende wand, de vloer-woningscheidende wand knooppunten op begane-grond en de verdieping; het buitenspouwblad is t.p.v. de woningscheidende wand gedilateerd

2. De trillingoverdrachtverzwakking K_{ij}

Voor eenvoudige situaties kan K_{ij} worden bepaald uit het gemiddelde snelheidsniveauverschil tussen 2 vlakken in een flankerende weg, wanneer één der vlakken in trilling wordt gebracht door lucht- of contactgeluid, en de absorptielengtes van beide vlakken, te bepalen uit de uitklinktijd van die vlakken.

$$K_{ij} = \overline{D_{v,ij}} + 10 \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i \cdot a_j}} \quad (2)$$

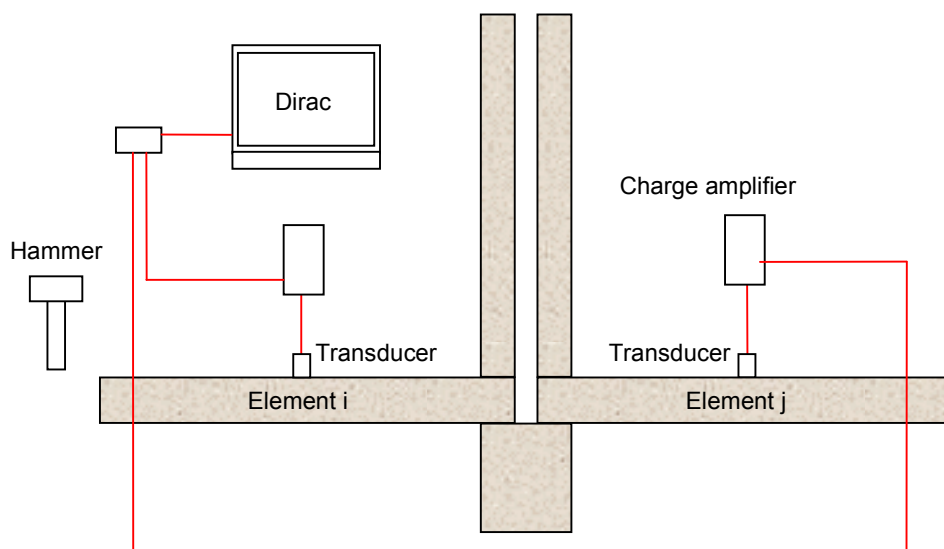
$$a = \frac{2,2 \pi^2 \cdot S}{c_0 \cdot T_s} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad (3)$$

⁴ De dichtheid van cellenbeton kan variëren tussen 600 en 800 kg/m³.

Met: D_{vij} = het gemiddelde snelheidsniveauverschil tussen vlak i en vlak j [dB]
 l_{ij} = de lengte van de koppeling tussen vlak i en vlak j [m]
 a, a_i, a_j = de absorptielengten (verliesfactoren) van de relevante vlakken [m]
 S = de oppervlakte van de relevante vlakken [m²]
 T_s = de uitklinktijd van de relevante vlakken [s]
 c_0 = de voortplantingssnelheid van het geluid, 340 [m/s]
 f = middenfrequentie frequentieband [Hz]
 f_{ref} = de referentiefrequentie, = 1000 [Hz]

3. De meetmethode

Het gemiddelde snelheidsniveauverschil $\overline{D_{v,ij}}$ is bepaald volgens één van de methoden uit ISO 10848 [3, 4]. Vanwege de eis aan de meetmethode m.b.t. snelheid en toepasbaarheid in de bouw is gekozen voor een pulsformige aanstoting van het zendvlak. De snelheidsniveaus op zend- en ontvangvlak worden dan gelijktijdig gemeten (fig.3) en verwerkt op een laptop met het Dirac software pakket [5]. Ook de uitklinktijden van beide vlakken zijn bepaald met dit meetsysteem. In beide gevallen zijn de eisen uit ISO 10848 voor wat betreft het aantal en de plaats van aanstoot- en ontvangposities op zend- en ontvangvlak aangehouden, voor beide 3.

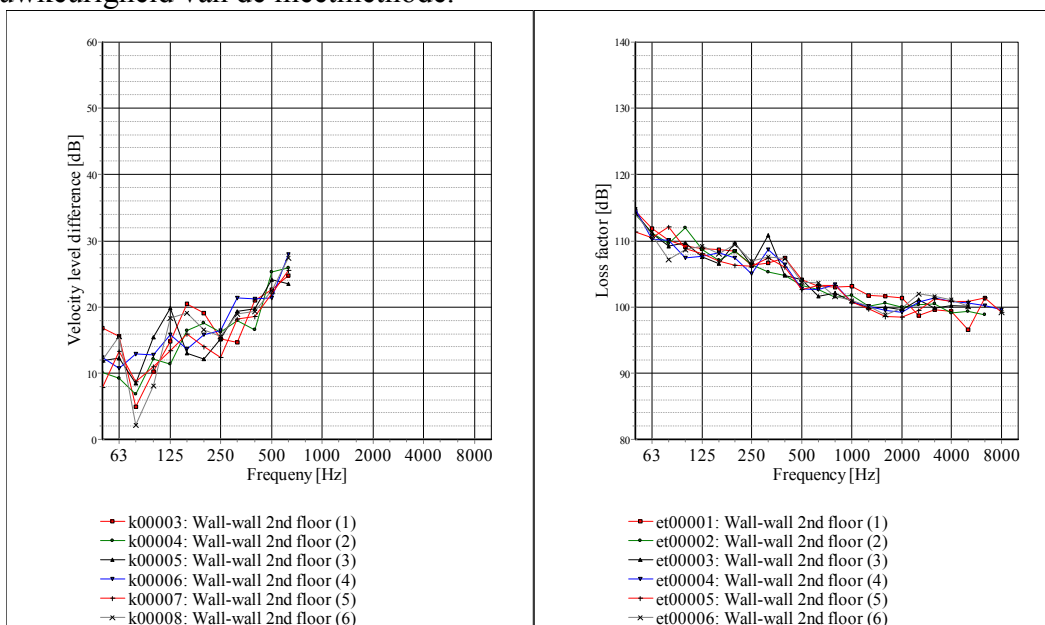


Figuur 3 Het meetsysteem voor het meten van de snelheidsniveaus op zend- en ontvangvlak.

Voor de pulsformige aanstoting is een rubber hamer met een massa van 1 kg gebruikt vanwege de gewenste gelijkmatigheid van het aanstootspectrum over het frequentiegebied en de vereiste signaal-ruis-verhouding.

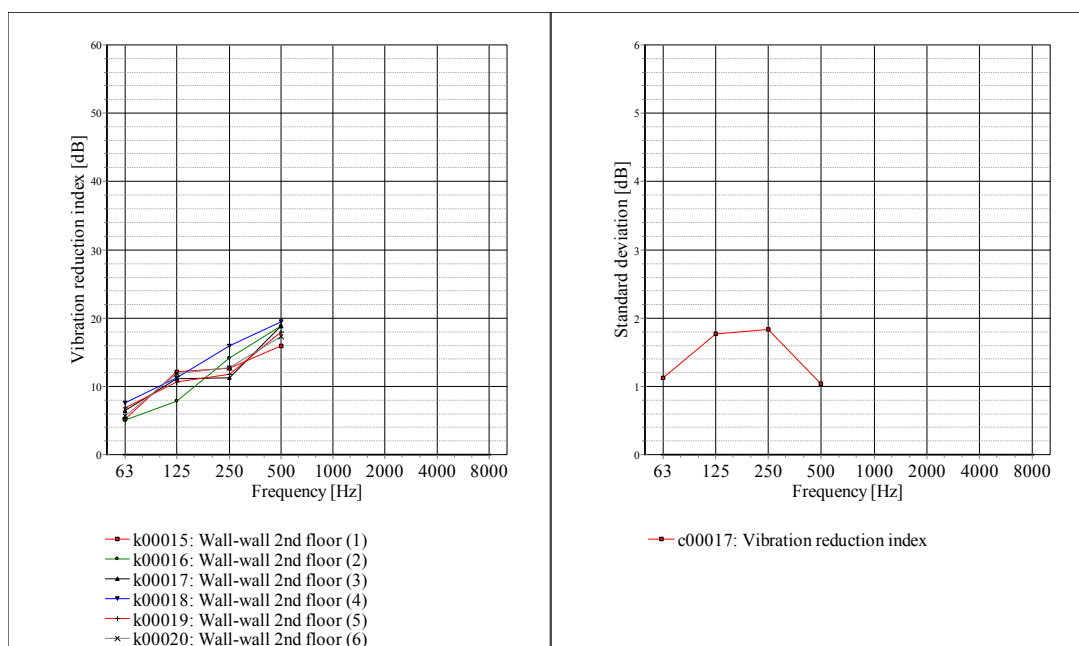
Trillingniveaus worden gewoonlijk gemeten met een versnellingsopnemer die met bijenwas op het bouwelement wordt bevestigd. Vanwege de gewenste snelheid van meten en omdat ook tijdens de bouw moest worden gemeten is de versnellingsopnemer bevestigd op een pin en wordt het geheel met de hand tegen het bouwelement gehouden. Voor het meten van de uitklinktijden maakt het niet zoveel uit welke methode wordt gebruikt. De gemeten versnellingsniveaus op het zendvlak hangen wel af van de gebruikte bevestigingsmethode: boven 630 Hz treden verschillen van minimaal 3 dB op. Deze verschillen zijn afhankelijk van de manier waarop de pin tegen het object wordt gehouden en mogelijke pinresonanties.

Om deze reden zijn alleen de meetdata tot 800 Hz weergegeven (de octaafbanden van 63 Hz t/m 500 Hz). In figuur 4 staan de resultaten van herhalingsmetingen aan het knooppunt spouwblad-spouwblad op de 1^e verdieping weergegeven, als een indruk van de nauwkeurigheid van de meetmethode.



Figuur 4 Resultaten van herhalingsmetingen van het snelheidsniveauverschil en de verliesfactor, gemeten aan steeds hetzelfde knooppunt.

Vanwege de lage modedichtheid bij metingen in tertsbanden en de bijbehorende hoge standaarddeviatie zijn verder alle metingen in octaafbanden uitgevoerd. Figuur 5 geeft de trillingoverdrachtverzwakking berekend uit dezelfde meetresultaten van figuur 4 in octaafbanden en de hieruit berekende standaardafwijking van 1 à 2 dB

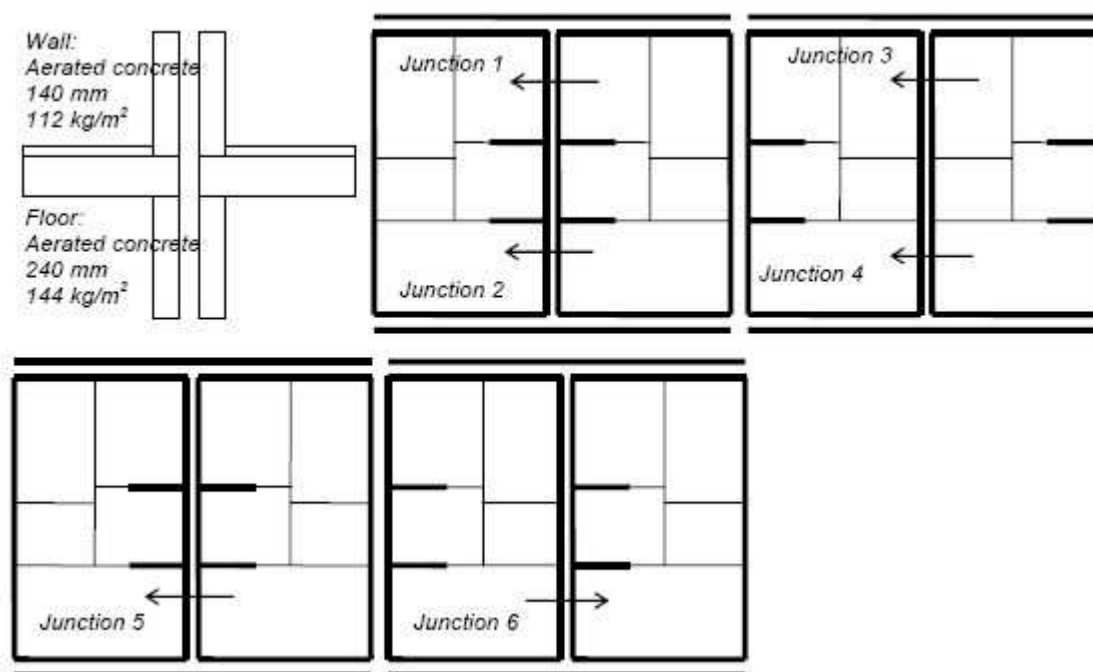


Figuur 5 Resultaten van herhalingsmetingen van de trillingoverdrachtverzwakking, gemeten aan steeds hetzelfde knooppunt.

4. Uitvoerings(on)nauwkeurigheid

Om de in de praktijk bepaalde waarden van de trillingoverdrachtverzwakking op waarde te kunnen schatten is het nodig enig inzicht te krijgen in de nauwkeurigheid waarmee de knooppunten worden gerealiseerd. Daartoe zou bij voorkeur een bepaald aantal (minimum 6) metingen aan steeds hetzelfde type bouwknoop in dezelfde geometrie/situatie moeten worden verricht. Dit is in de bouw vaak moeilijk uitvoerbaar vanwege de beschikbare tijd en meetobjecten.

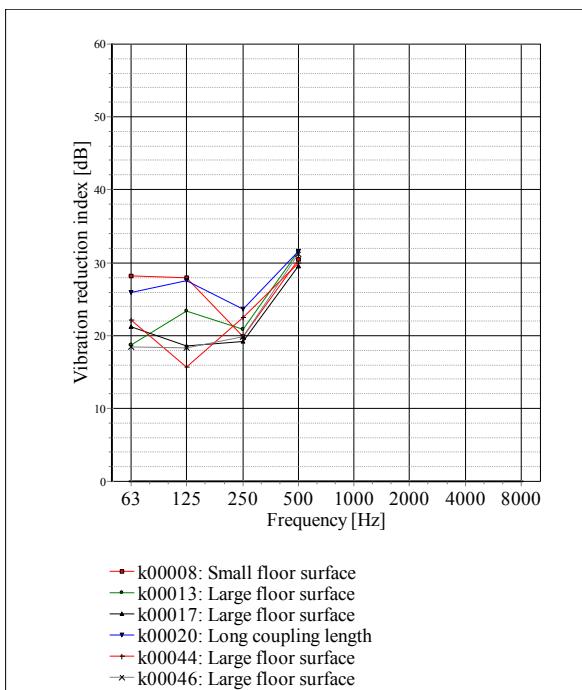
Het alternatief is om dat aantal metingen wel aan dezelfde bouwknoop te doen, maar dan met de bouwknoop in verschillende situaties, met andere koppellengtes en oppervlaktes van m.n. het ontvangvlak, er van uit gaande dat K_{ij} , zoals bedoeld, daar niet gevoelig voor is. Aan het knooppunt woningscheidende wand-verdiepingsvloer is in 4 woningparen K_{ij} 6 keer bepaald van vloer naar vloer. Figuur 6 geeft de plattegronden⁵, figuur 7 de meetresultaten.



Figuur 6 Overdrachtspad vloer – vloer in verschillende situaties.

De resultaten lijken verdeeld in 2 groepen: een groep van 4 met het grote ontvangvlak (junction 2, 4, 5 en 6) en een groep van 2 (junction 1 en 3) met een klein oppervlak en een grote koppellengte, hoewel eigenlijk alleen junction 2 en 5 hetzelfde zijn. De grootste spreiding (ca.10 dB) ligt voornamelijk in de octaafbanden 63 en 125 Hz, terwijl bij de andere octaafbanden de tendens dezelfde is en de resultaten onderling minder verschillen (3-5 dB).

⁵ De dunne lijnen in de plattegrond betreffen lichte scheidingswanden.



Figuur 7 Trilling overdrachtverzwakking van hetzelfde pad in verschillende situaties.

5. Meetresultaten

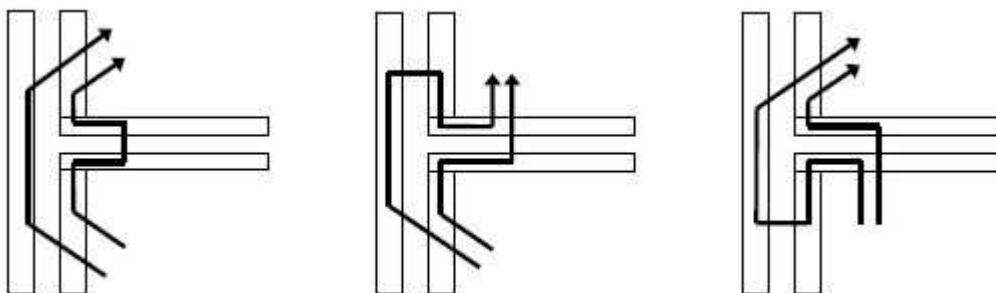
5.1 Inleiding

De trillingoverdracht tussen 2 vlakken vindt meestal plaats via een aantal parallelle overdrachtspaden. Voor het knooppunt gevel-woningscheidende wand is dit in figuur 8 weergegeven. De overdrachtspaden zijn:

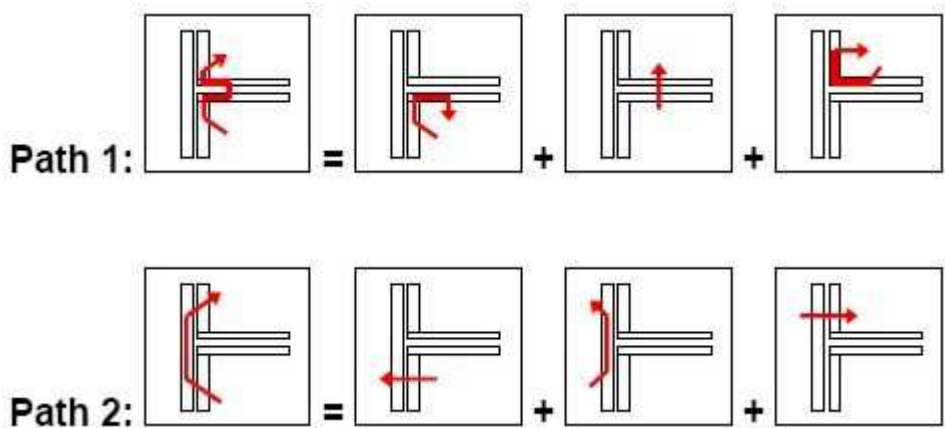
- binnenblad-binnenblad
- binnenblad-woningscheidende wand
- woningscheidende wand-binnenblad

De overdracht van trillingsenergie langs elk pad kan vervolgens in een aantal stappen worden beschreven, zoals bijvoorbeeld in figuur 9 is te zien voor de overdrachtsweg binnenblad- binnenblad. Dit principe wordt ook in BASlucó gebruikt. Voor elke stap kan dan de overdracht worden gemeten of rekenkundig benaderd.

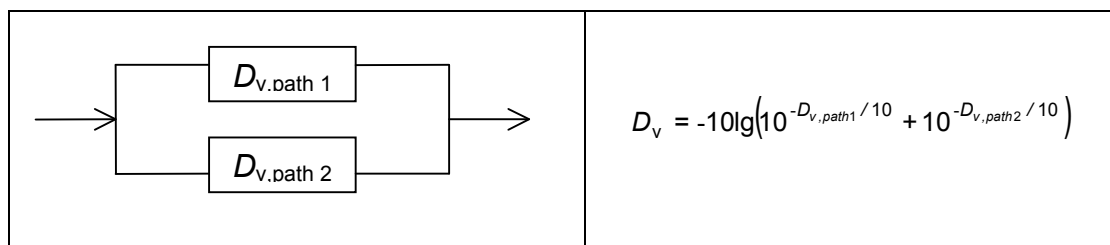
In dit onderzoek is van elke stap het snelheidsniveauverschil bepaald door successieve aanstoting van de diverse vlakken. De totale overdracht wordt dan “energetisch” opgeteld. Dit geeft inzicht in de bijdragen van de verschillende paden aan het totaal.



Figuur 8 Overdrachtspaden bij het knooppunt gevel-woningscheidende wand.

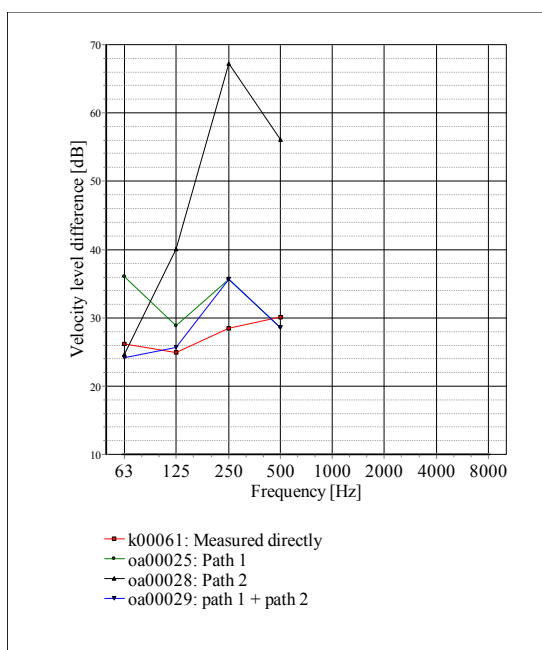


Figuur 9a De overdrachtspaden 1 en 2 bij de overdracht van binnenspouwblad naar binnenspouwblad, opgedeeld in een aantal stappen.



Figuur 9b Sommatie van de snelheidsniveaunderschillen van de paden

In figuur 10 is de bijdrage van elk pad aan de totale overdracht te zien. Hieruit blijkt, zoals te verwachten was gezien de dilatatie in het buitenspouwblad, dat pad 1 bepalend is voor de overdracht van binnenspouwblad naar binnenspouwblad. Uit deze figuur blijkt dat de sommatie van de overdracht via beide paden naar de totale overdracht van binnenspouwblad naar binnenspouwblad, ook gelet op de meetnauwkeurigheid, ongeveer hetzelfde resultaat oplevert als de directe meting, met uitzondering van de octaafband van 250 Hz.

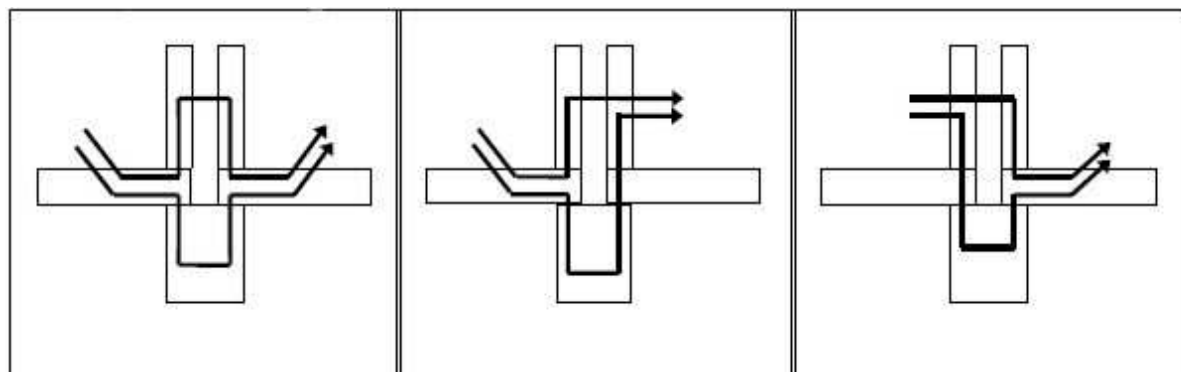


Figuur 10 Snelheidsniveaunderschil langs verschillende paden van binnenspouwblad naar binnenspouwblad.

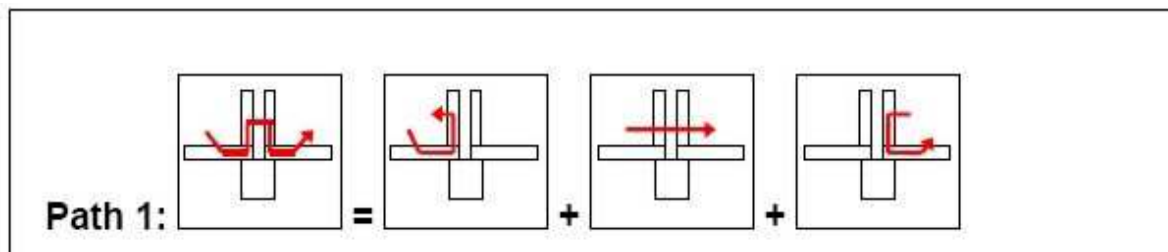
5.2 Knooppunt begane-grond vloer-woningscheidende wand

In een blok eengezinswoningen levert de geluid-en trillingoverdracht via het knooppunt begane-grond vloer – woningscheidende wand i.h.a. een belangrijke bijdrage aan de totale overdracht. Dit knooppunt, waarvan veel varianten bestaan, is vaak moeilijk enigszins waarheidsgetrouw in te voeren in BASlucO. Om die redenen wordt in het volgende ruim aandacht besteed aan dit knooppunt.

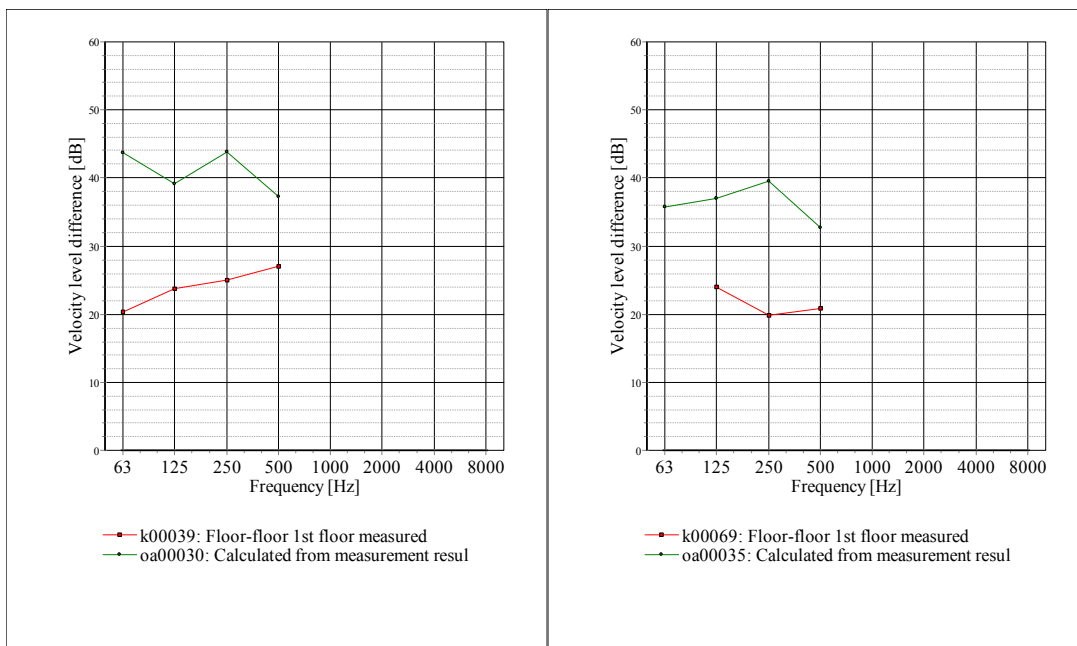
Figuur 11 toont de belangrijkste overdrachtswegen in dit knooppunt, vloer-vloer, vloer-wand en wand-vloer. Elke overdrachtsweg bestaat uit 2 paden. Figuur 12 geeft pad 1 weer van de overdrachtsweg vloer-vloer en de opdeling ervan in stappen. De overdracht van het andere pad 2 is in de praktijk niet meetbaar.



Figuur 11 De overdrachtswegen in het knooppunt begane-grond vloer – woningscheidende wand.



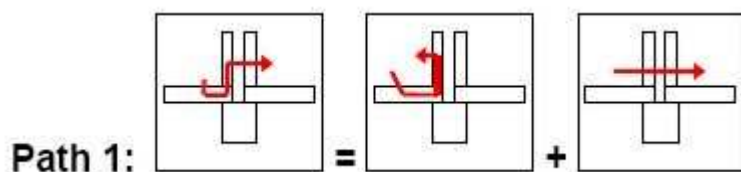
Figuur 12 Het overdrachtspad Path 1 van vloer naar vloer in het knooppunt begane-grond vloer – woningscheidende wand en de onderscheidenlijke stappen.



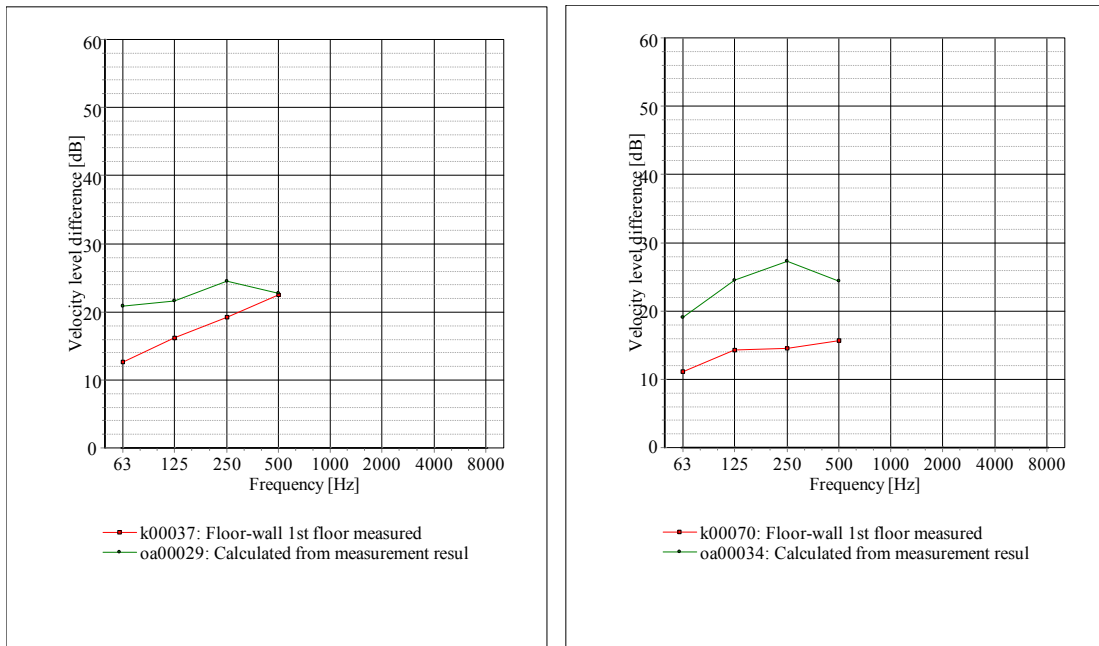
Figuur 13 Gemeten en berekend snelheidsniveauverschil voor het pad b.g.-vloer-b.g.-vloer op 2 locaties.

Het gemeten en het uit de stappen berekende snelheidsniveauverschil is weergegeven in figuur 13 voor 2 verschillende locaties. Het verschil bedraagt 15 à 20 dB, afhankelijk van de locatie van de bouwknop.

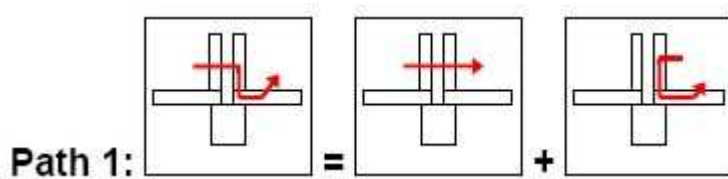
In de figuren 14 t/m 17 staan soortgelijke resultaten voor de overdracht van de b.g.-vloer naar de woningscheidende wand resp. van de woningscheidende wand naar de b.g.-vloer. Uit figuur 17 blijkt dat bij de overdracht van wand naar vloer de optelsom ongeveer dezelfde resultaten oplevert als de metingen. Hier lijkt de fundering niet significant bij te dragen aan de overdracht, in tegenstelling tot de resultaten in de figuren 13 en 15, waar de verschillen tussen de meetresultaten en de optelsommen aanzienlijk zijn en veel groter dan mogelijke standaarddeviaties. De paden via de fundering zijn hier niet meegenomen.



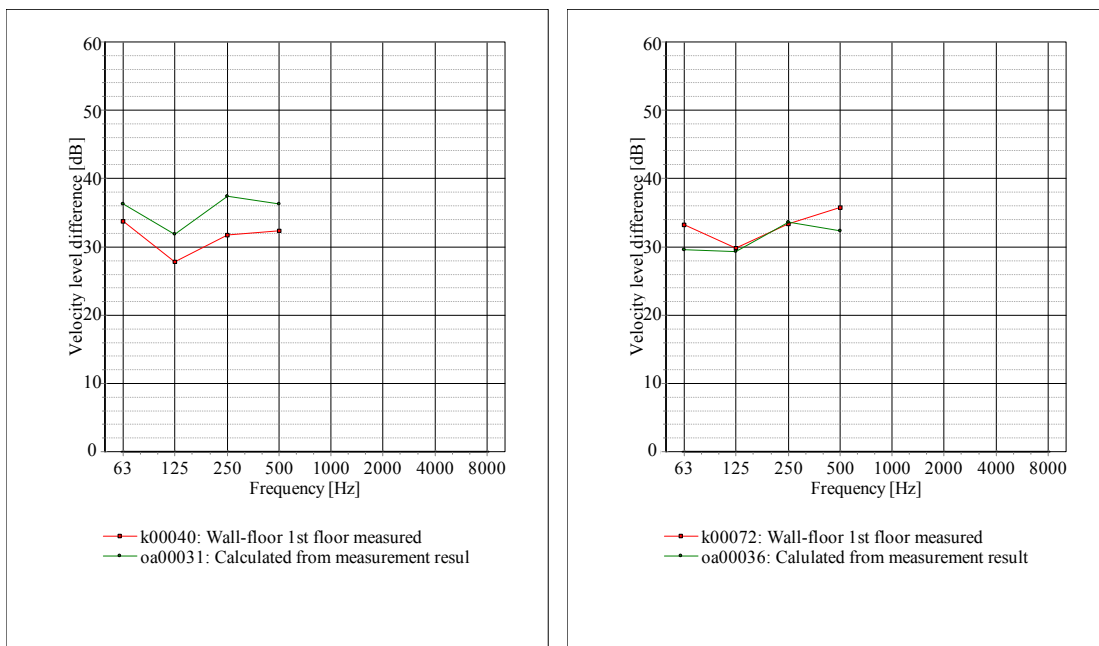
Figuur 14 Het overdrachtspad van begane-grond vloer naar de woningscheidende wand in het knooppunt begane-grond vloer – woningscheidende wand.



Figuur 15 Gemeten en berekend snelheidsniveauverschil voor de overdrachtsweg van begane-grond vloer naar de woningscheidende wand.



Figuur 16 De overdrachtsweg van de woningscheidende wand naar de b.g.-vloer in het knooppunt begane-grond vloer – woningscheidende wand.



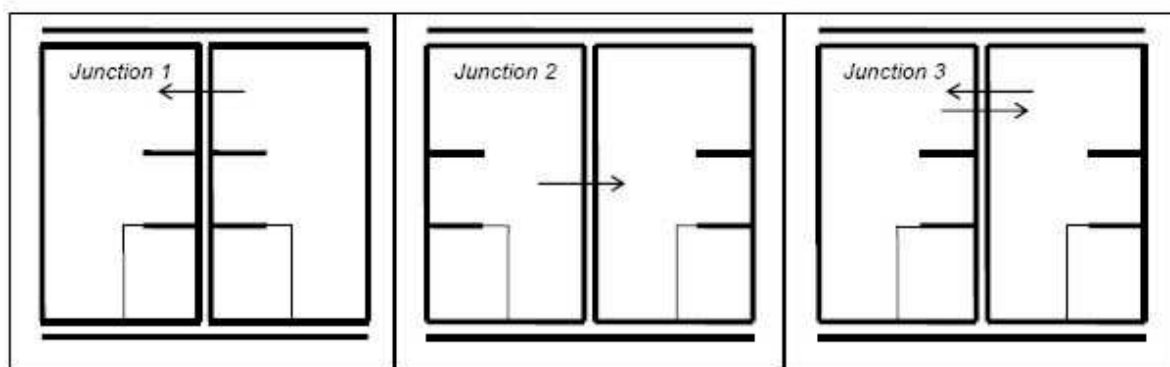
Figuur 17 Gemeten en berekend snelheidsniveauverschil voor de overdrachtsweg woningscheidende wand -b.g.-vloer .

6. Meet- vs berekeningsresultaten

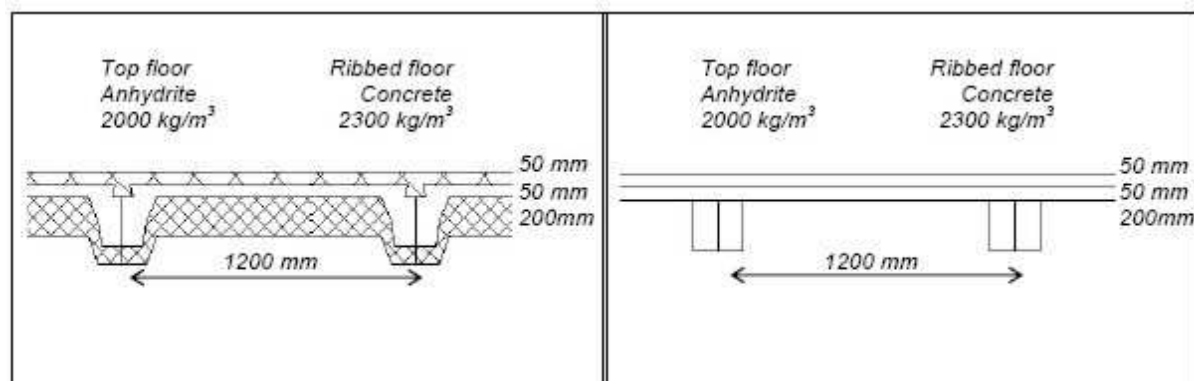
6.1 Knooppunt begane-grond vloer

Volgens het model in EN 12354-1 is de trillingoverdrachtverzwakking K_{ij} tussen twee vlakken onafhankelijk van de koppellengte van het knooppunt. Om na te gaan of dit inderdaad het geval is zijn de waarden van K_{ij} bepaald voor 3 identieke knooppunten op de begane-grond op 3 verschillende locaties. Hetzelfde is gedaan voor het knooppunt verdiepingsvloer-woningscheidende wand en het gevelknooppunt.

Figuur 18 geeft de plattegronden van de locaties op de begane-grond weer. Zoals eerder gezegd is de precieze opbouw van het begane-grond knooppunt moeilijk in BASlucio in te voeren. Het originele knooppunt en de mogelijke invoervarianten zijn aangegeven in figuur 19. De meetresultaten zijn vergeleken met de berekeningsresultaten in figuur 20.

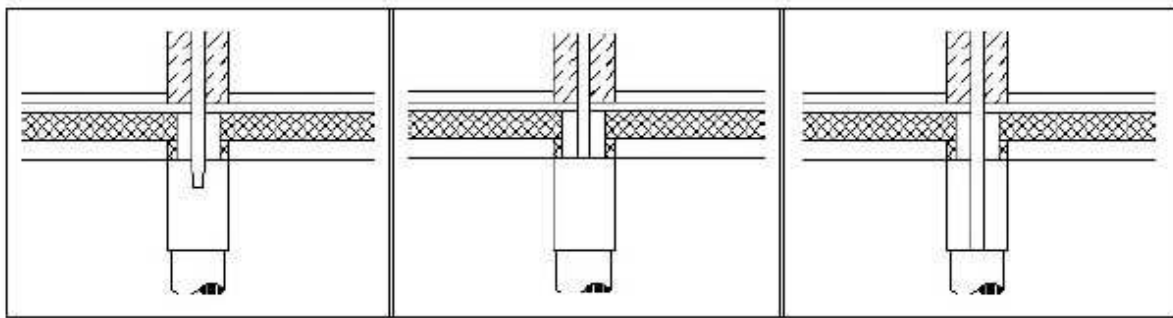


Figuur 18 Plattegronden van de locaties van 3 begane-grond vloer knooppunten



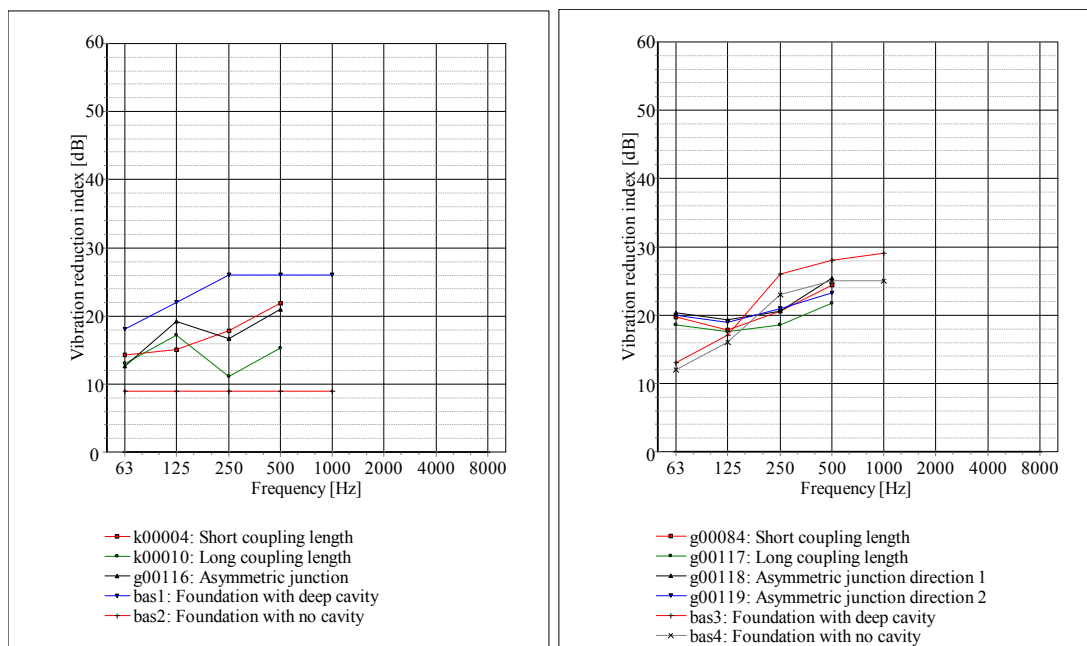
Figuur 19.1: Originele vloer

Figuur 19.2: Vereenvoudigde vloer voor invoer in BASlucio



Figuur 19.3 Uitgevoerde spouw **19.4** BASluco geen spouw

19.5 BASluco diepe spouw



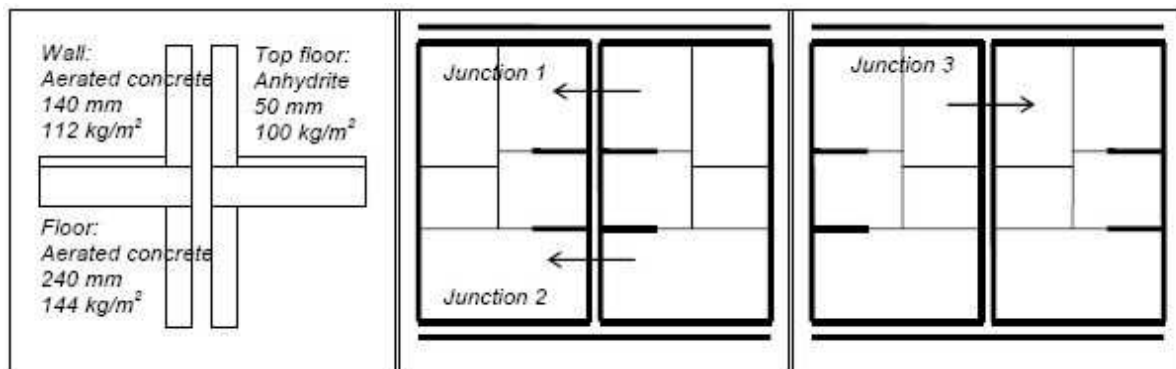
Figuur 20 Meet- vs berekeningsresultaten van vloer naar vloer (links) en van vloer naar wand.

In figuur 20 is duidelijk te zien dat voor de overdrachtsweg vloer-vloer de berekende waarden van K_{ij} frequentie-onafhankelijk en lager zijn dan de meetresultaten wanneer in BASluco geen spouw is ingevoerd. Daarentegen is K_{ij} frequentie-afhankelijk en veel groter dan de gemeten waarden, wanneer in BASluco de verdiepte spouw wordt ingevoerd. Voor het knooppunt met de kleine koppellengte is K_{ij} ongeveer even groot als die van het asymmetrische knooppunt, zeker bij 250 en 500 Hz. Voor het knooppunt met de grote koppellengte is K_{ij} duidelijk lager bij 250 en 500 Hz.

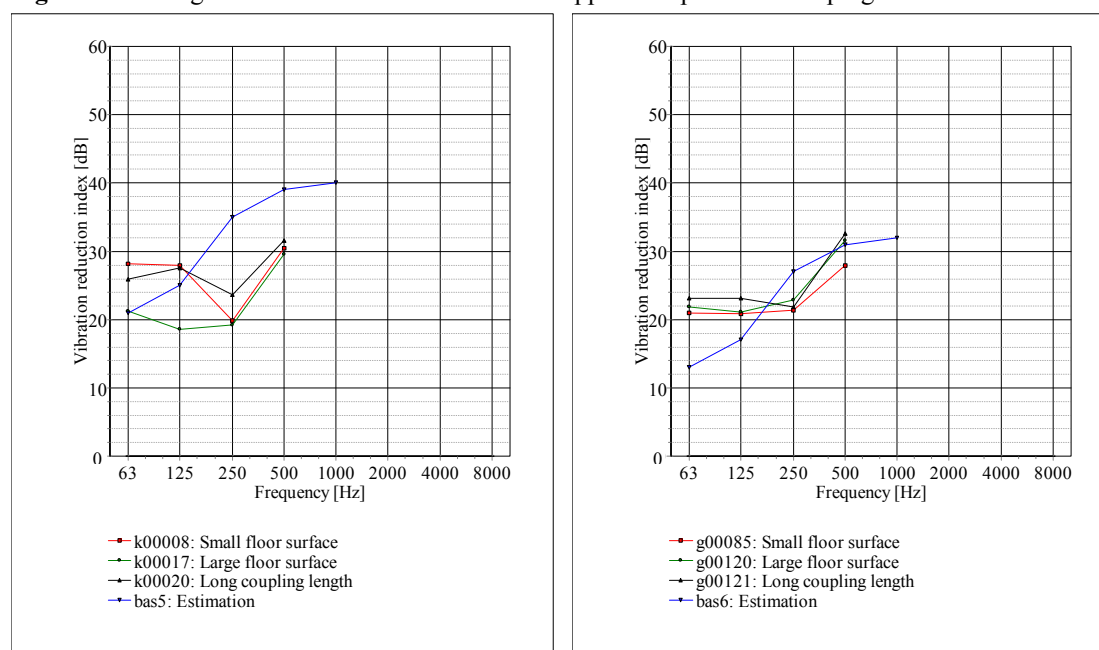
Voor de overdrachtsweg vloer-wand zijn de verschillen tussen meet- en berekeningsresultaten klein bij 125 Hz. Bij 63 Hz zijn de gemeten waarden van K_{ij} groter dan de berekende waarden, terwijl bij 250 en 500 Hz het juist andersom is, doordat de berekende K_{ij} sterker met de frequentie toeneemt dan de gemeten K_{ij} . Hier lijken de berekende waarden beter overeen te stemmen met de gemeten waarden wanneer in BASluco wordt gekozen voor de situatie zonder spouw. De verschillende knooppuntvarianties laten minder grote verschillen in K_{ij} zien dan bij de overdrachtsweg vloer-vloer.

6.2 Knooppunt verdiepingsvloer

Figuur 21 geeft de plattegronden van de locaties op de 1^e verdieping weer. De meetresultaten zijn vergeleken met de berekeningsresultaten in figuur 22. In tegenstelling tot de resultaten in figuur 20 komen de laagste waarden van K_{ij} niet voor bij het knooppunt met de grote koppellengte, maar bij die met het grootste oppervlak. Voor de andere twee knooppunten komen de resultaten aardig overeen. Bij de octaafbanden 250 en 500 Hz zijn de verschillen in K_{ij} bij alle knooppunten kleiner dan bij 63 en 125 Hz.



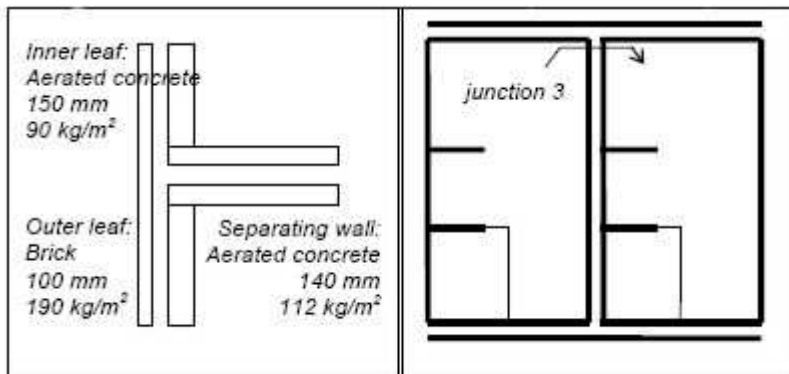
Figuur 21 Plattegronden van de locaties van 3 knooppunten op de 1^e verdieping.



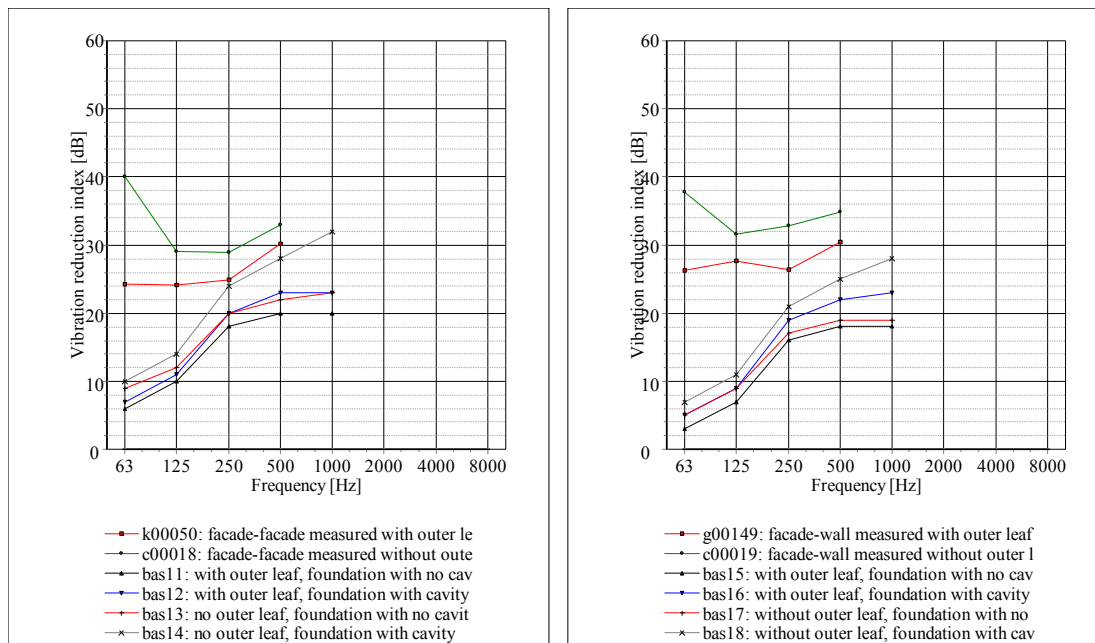
Figuur 22 Meet- en berekeningsresultaten van vloer naar vloer (links) en van vloer naar wand op de eerste verdieping.

6.3 Gevelknooppunt

Figuur 23 geeft de plattegronden van de locatie op de begane-grond weer. De meetresultaten zijn vergeleken met de berekeningsresultaten in figuur 24. Tijdens de bouw zijn ook metingen uitgevoerd aan dit knooppunt waarbij het buitenspouwblad nog niet was aangebracht. Ook aan deze variant zijn berekeningen uitgevoerd.



Figuur 23 Plattegrond van het knooppunt gevel-woningscheidende wand op de begane grond.



Figuur 24 Meet- en berekeningsresultaten van gevel naar gevel (links) en van gevel naar wand van het knooppunt gevel-woningscheidende wand op de begane grond.

In figuur 24 is te zien dat de waarde van K_{ij} ca. 5 dB daalt wanneer het buitenspouwbad is aangebracht, zowel in de overdracht van gevel naar gevel als van gevel naar de woningscheidende wand. Het resultaat van de berekeningen is in alle gevallen (veel) lager, laagfrequent 20-30 dB, hoogfrequent nog altijd 10 tot 15 dB. Ook het frequentieverloop is anders. De verschillen zijn het kleinst wanneer in de fundering een verdiepte spouw wordt ingevoerd.

7. Conclusies

Kort samengevat:

- de gebruikte meetmethode is voldoende nauwkeurig voor 250 Hz en 500 Hz, wanneer in octaafbanden wordt gemeten;
- uit het onderzoek naar de invloed van de uitvoerings(on)nauwkeurigheid op de waarden van K_{ij} blijkt dat de spreiding in K_{ij} groter is dan die in D_v , waarbij niet zeker is te zeggen of dit wordt veroorzaakt door uitvoeringson nauwkeurigheid of omdat K_{ij} situatieafhankelijk is;
- bij het begane-grondvloer knooppunt heeft de fundering invloed op de overdracht van vloer naar vloer en van vloer naar wand en niet bij de overdracht van wand naar wand;
- bij het gevel knooppunt heeft het buitenspouwblad een negatieve invloed op overdracht gevel-gevel;
- de voorspelling van K_{ij} door de stappenbenadering is alleen nauwkeurig bij overdracht van vloer naar wand op de verdieping;
- de voorspelling van K_{ij} door BASluco t.o.v. meetresultaten:
 - is moeilijk bij funderingsdetail vanwege invoerproblematiek;
 - de voorspelde K_{ij} bij het gevelknooppunt is lager bij alle frequenties;
 - de voorspelde K_{ij} bij andere knooppunten is laagfrequent lager en hoogfrequent hoger.

Literatuur

- [1] EN 12354-1: Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements –
Part 1: Airborne sound insulation between rooms, (2000)
Part 2: Impact sound insulation between rooms, (2000)
- [2] BASluco, 2000, Stichting bouwresearch
- [3] EN ISO 10848-1: Acoustics – Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms – Part 1: Frame document, (2006)
- [4] EN ISO 10848-4: Acoustics – Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms – Part 4: Application to all other cases, (2005)
- [5] <http://www.acoustics-engineering.com/dirac/files/bp1974.pdf>, 2007-09, Acoustics Engineering
- [6] Craik, R.J.M., Sound transmission through buildings using statistical energy analysis, (1996), Gower Publishing Hampshire
- [7] Crispin, C., Mertens, C., Blasco, M., Ingelaere, B., van Damme, M., Wuyts, D., The vibration reduction index K_{ij} : laboratory measurements versus predictions EN-12354-1, Inter-noise 2004 Prague, 2004
- [8] Gerretsen, E., Vibration reduction index K_{ij} - a new quantity for sound transmission at junctions of building elements, Inter-noise 96 Liverpool, 1996, 1475-1480
- [9] Gerretsen, E., Vibration reduction index K_{ij} for junctions of building elements with cavities, Inter-noise 97 Budapest, 1997, 693-698
- [10] Hopkins, C., Measurement of the vibration reduction index, K_{ij} on free-standing masonry wall constructions, 1999, 235-257
- [11] Meier, A., Die Bedeutung des Verlustfaktor bei der Bestimmung der Schalldämmung im Prüfstand, (2000), Shaker Verlag GmbH Achen
- [12] Scheck, J., Fisher, H., Schneider, M., Investigation of the sound transmission through double-leaf separating walls with respect to incomplete separation, DAGA, 2004
- [13] Schneider, M., Influence of flanking transmission on impact sound insulation in solid multi-dwellings, DAGA, 2004
- [14] Schröder, M.R., New method of measuring the reverberation time, Journal of the acoustical society of America, 1965, 409-412
- [15] Späh, M., Blessing, S., Fisher, H., Verifizierung des Rechenverfahrens für die Luftschalldämmung nach EN 12354-1 für den Massivbau, Teil 1: Einfluß von Eingangsgrößen, DAGA, 2001