

Bouwen aan geluidwering met kwaliteit

Citation for published version (APA):

Gerretsen, E. (1996). *Bouwen aan geluidwering met kwaliteit*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1996

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

BOUWEN AAN GELUIDWERING MET KWALITEIT

INTREEREDE

Prof.ir. Eddy Gerretsen



Technische Universiteit Eindhoven

INTREEREDE

Uitgesproken op 11 oktober 1996
aan de
Technische Universiteit Eindhoven

Prof.ir. Eddy Gerretsen

Mijnheer de Rector Magnificus,
Dames en heren,

Inleiding

Over de geluidwering in gebouwen kan iedereen meepraten. We wonen allemaal in woningen en horen daar van alles - de burens, het verkeer, spelende kinderen buiten, het tikken van de verwarming, het doortrekken van een WC. We werken of verblijven in gebouwen en horen de collega's naast ons, het ventilatiesysteem, het gepraat op de gang en het verkeer van buiten.

Als mensen wordt gevraagd naar hinder dan scoort geluidhinder in de woning hoog. Veel mensen onder- vinden van tijd tot tijd of voortdu- rend hinder van buurgeluiden en installatiegeluiden in hun woning, al jaren lang. Toch zijn de eisen die we in dit opzicht aan de woon- en werkomgeving stellen sinds de oorlog vrijwel ongewijzigd gebleven. We stellen ons op dit gebied blijkbaar - of schijnbaar - nog steeds tevreden met een kwaliteits- niveau van vijftig jaar geleden. En zelfs het net voldoen aan dat niveau stelt de bouwwereld nog regelmatig voor problemen. Om maar te zwijgen van het bouwen van een betere kwaliteit die nu en voor de toekomst wenselijk zou zijn.

De concentratie van geluidhinder, nabij drukke verkeerswegen of rond vliegvelden, levert duidelijk meer politieke aandacht op dan een feitelijk ernstiger maar landelijk verspreid probleem. En misschien heeft de Bouwakoestiek wel last van een achterstand door de oorspronkelijke voorsprong. De geluidwering van woningen was het eerste gebied waarop eisen werden gesteld aan de hoeveelheid toelaat- baar geluid. De hernieuwde formu- lering van de akoestische eisen in het Bouwbesluit heeft in dit opzicht zeker geen verbetering gebracht.

Via een korte terugblik op de ontwikkelingen vanuit het verleden wil ik aangeven welke kwaliteit van de geluidwering in woningen en gebouwen wenselijk is en wat er nodig is in het ontwerp- en bouw- proces om die kwaliteit ook te kunnen realiseren. Daaraan kan het onderwijs en onderzoek hier aan de universiteit een duidelijke bijdrage leveren. We kunnen hier samen bouwen aan de noodzake- lijke kennis en hulpmiddelen voor het realiseren van gebouwen met geluidwering van een toekomst- gerichte kwaliteit.

Een stukje historie

Kort na de oorlog was vooral de wederopbouw een punt van aan- dacht. Om snel in de behoefte aan nieuwe woningen te voorzien

werden nieuwe bouwmaterialen en bouwmethoden geïntroduceerd. Er bestond in de toen nog kleine akoestische wereld, hier en in de ons omringende landen, de vrees dat die nieuwe woningen wel eens een veel slechtere geluidwering zouden kunnen opleveren dan de vooroorlogse woningen. Daarom werden meetmethoden ontwikkeld om de geluidwering tussen woningen objectief te kunnen vaststellen, werden proefprojecten opgezet om diverse bouwmethoden aan de tand te kunnen voelen (zie figuur 1) en werd er nagedacht over de te stellen eisen. Dat resulteerde uiteindelijk in een minimumcurve voor de geluidwering waaraan een woning tenminste zou moeten voldoen, een curve die was gebaseerd op een goede, Duitse voor-

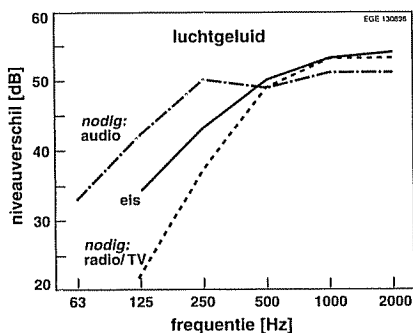
oorlogse woning. De eerste voor-norm werd al in 1952 gepubliceerd met zogenaamde prestatie-nummers. Pas in 1962 kwam een definitieve norm tot stand waarin prestatie-eisen werden gesteld aan de luchtgeluid- en contactgeluid-isolatie tussen ruimten. Ook toen al was gekozen voor prestatie-eisen, al werd dat woord niet gebruikt. In dit opzicht is er met het Bouwbesluit niets nieuws onder de akoestische zon.

Natuurlijk werd niet zonder meer aangenomen dat een vooroorlogse Duitse woning een voldoende geluidwering zou opleveren. Er is uitgebreid onderzoek verricht bij TNO naar wat feitelijk nodig zou zijn. Zo werd nagegaan hoeveel geluid de radio bij de buurman maakt en hoeveel geluid het lopen



Figuur 1: TNO proefwoningen te Rotterdam; 1960

op vloeren maakt, om op basis van een acceptabel geacht geluidniveau in de woning te komen tot de minimaal gewenste geluidwering. Gelukkig bleek de eerder genoemde curve voor de wering van luchtgeluid vrij adequaat te zijn (fig. 2). In essentie wordt deze dan ook nog steeds gebruikt in Nederland en al onze omringende landen.

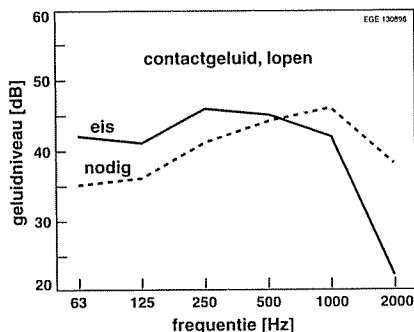


Figuur 2: Gewenste en vereiste luchtgeluidisolatie

Geleidelijk aan kan men zich echter wel afvragen of deze eisen, die ruim voldeden voor 'buurmans radio', ook nog wel adequaat zijn voor 'buurmans hi-fi-set' of de getto-blasters van buurmans kinderen.

Met de loogeluiden was het anders gesteld. De curve die was gebaseerd op typische Duitse vooroorlogse vloeren bleek toch niet erg realistisch te zijn voor de Hollandse vloeren, zeker niet voor de betonnen vloeren. De lage tonen blijken veel belangrijker te zijn voor het geluid dat ontstaat door lopen

(fig. 3). In Nederland werd de beoordelingsmethode in de norm dan ook in 1976 aangepast.

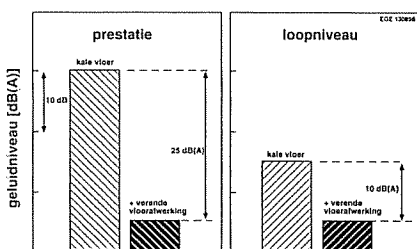


Figuur 3: Gewenste en vereiste contactgeluidisolatie, weergegeven als het toelaatbaar geluidniveau van loogeluid

Hier doet zich nog wel het probleem voor dat de eisen feitelijk te laag zijn om bewoners de volledige vrijheid te laten in de keuze van hun vloer-afwerking. De eisen worden aan de kale vloer gesteld, hetgeen suggereert dat de bewoner de volledige vrijheid heeft daarop ongestraft elk type vloer-afwerking aan te brengen. Maar niets is minder waar dan dat. Bij deze eisen is er feitelijk impliciet van uitgegaan dat de bewoner een enigszins zachte, veerkrachtige vloerbedekking zal toepassen. Was dat vroeger ook heel gebruikelijk, de huidige welvaart heeft harde vloer-afwerkingen als parket en plavuizen populairder gemaakt en daarvoor zijn de minimale eisen aan de kale vloer echt onvoldoende. Om de vrijheid te hebben ook dergelijke

vloerafwerkingen te kiezen zou de eis tenminste 5 tot 10 dB strenger moeten zijn. Praktische oplossingen kunnen worden gevonden in verend opgelegde dekvloeren of het verend opleggen van parket. Met name met dat eerste is elders in Europa veel ervaring; in Duitsland en Oostenrijk is een verende dekvloer - ook wel zwevende dekvloer genoemd, als wat vreemde vertaling van 'schwimmende Estrich' - feitelijk al jaren verplicht. Hier schuilt echter een addertje onder het gras. Zware kale vloeren worden in Duitsland door het beoordelingssysteem zeer slecht beoordeeld, veel slechter dan wij in Nederland terecht vinden. Met het Duitse systeem levert echter een beetje stof op de vloer al aanmerkelijke verbeteringen op; een beetje redelijk uitgevoerde verende dekvloer of een kunststof

goed als een even zware kale betonvloer volgens de Nederlandse beoordelingsmethode. Harde vloerafwerking, stugge tapijten, parket en verende dekvloeren met zeer dunne tussenlaagjes leveren nauwelijks verbetering voor loopgeluiden en dus ook nauwelijks verbetering volgens de Nederlandse beoordelingsmethode, maar een aanzienlijke verbetering volgens de 'buitenlandse' beoordelingsmethode. Bewust en onbewust wordt de markt dan ook overspoeld met mededelingen over gigantische verbeteringen van de contactgeluidisolatie met een parket of verende dekvloer met dunne tussenlaagjes, gebaseerd op die buitenlandse beoordelingsmethode, terwijl voor het lopen de effecten nauwelijks waarneembaar zijn. Om met verende tussenmaterialen daadwerkelijk verbeteringen te krijgen voor het geluid van lopen, zoals gekwantificeerd volgens de Nederlandse beoordelingsmethode, zullen dan ook echt andere materialen en dikkere lagen moeten worden toegepast. Hopelijk zal de komende uniforme Europese methode om de prestaties van produkten aan te geven aan deze verwarring op termijn een einde maken, want daarin wordt, heel voorzichtig, ook de Nederlandse zienswijze geïntroduceerd.

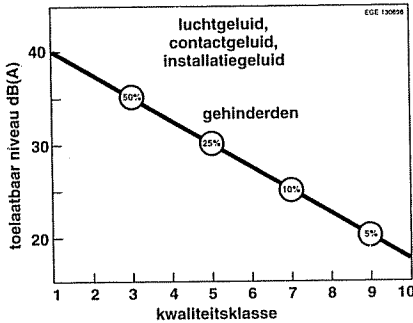


Figuur 4: Kale vloer en vloer met verende afwerking; internationale beoordeling en 'werkelijkheid'.

vloerafwerking doet dat zeker. Daarmee is de winst al gauw 20 dB of meer! Het resultaat voor die vloer met bedekking is dan echter net zo

Akoestische kwaliteit

Geleidelijk aan is uit onderzoek een redelijk beeld ontstaan van de relatie tussen de geluidwering en de beleving van bewoners, de mate van ondervonden hinder (fig. 5).



Figuur 5: Hinderbeleving van geluiden in woningen

Globaal komt het er op neer dat bij het voldoen aan de huidige minimale eisen nog ongeveer 20% van de bewoners duidelijk geluidhinder ervaren. Uitgedrukt in een rapportcijfer krijgen woningen misschien net een dikke 5, dus net niet onvoldoende. Als er geen zachte vloerbedekking is toegepast ligt voor contactgeluid dat cijfer nog aanmerkelijk lager. De woning biedt bij een gemiddeld gedrags- en leefpatroon juist voldoende bescherming tegen ontoelaatbare hinder, maar storing zal regelmatig optreden door hardere muziek, stampend lopen en door sommige installaties. Voor een echt goede kwaliteit - een rapportcijfer 8 - waarbij niet meer bij alle

bezigheden constant rekening moet worden gehouden met de burens, zou de geluidwering toch ongeveer 10 dB beter moeten zijn. Het helder maken van de kwaliteit van woningen in dit opzicht, het geven van een akoestisch rapportcijfer, zou een goede mogelijkheid kunnen zijn om de klant, ons allen dus, een middel in handen te geven om ook op akoestisch gebied naar een woning met kwaliteit te vragen. Dit besef dringt ook langzaam door in diverse ons omringende landen. De tijd van uitsluitend minimum eisen lijkt een beetje voorbij. De aandacht zal gericht moeten worden op de gewenste kwaliteit van het akoestisch woon- en werkklimaat. Het zou toch eigenlijk vanzelfsprekend moeten zijn dat een hogere kwaliteit geluidwering een vast onderdeel vormt van het streven naar Duurzaam Bouwen.

Ontwerpen van kwaliteit

Eisen stellen is één ding, maar het realiseren van gebouwen die daaraan kunnen voldoen is nog iets anders. In dit opzicht werd de bouwakoestiek jarenlang even ambachtelijk benaderd als het bouwen zelf. Veel werd geëxperimenteerd en gemeten, op zoek naar praktische aanwijzingen voor het bouwproces. Voor een traditionele wijze van bouwen is dat een goed werkbaar aanpak: de ontwikkelingen gaan langzaam en de

ervaring kan die ontwikkelingen bijhouden. Maar als de ontwikkelingen sneller gaan gaat dat mis: de ervaringen zijn nog maar net in praktische aanwijzingen omgezet of er komen al weer nieuwe materialen op de markt of worden andere bouwmethoden toegepast. En dus ging het in de zeventiger jaren regelmatig fout, omdat de verworven ervaringen niet op die nieuwere ontwikkelingen waren toegesneden. Het proces kon vaak weer van vooraf aan beginnen. Voor bouwakoestici was dit natuurlijk interessant. Van fouten leer je het meest. De Stichting Bouwresearch had in die jaren naast het reguliere onderzoeksbudget ook een zogenaamd potje voor 'bouwfouten', waaruit snel kon worden geput om geconstateerde fouten in de praktijk nader te onderzoeken. Soms bleek dan dat de achterblijvende geluidwering veroorzaakt werd door fouten die bij akoestici al lang bekend waren: bij het in zwang raken van schoon metselwerk werden natuurlijk mooie, maar ook wel poreuze stenen toegepast! Dat resulteert dan in een geluidwering waarbij je de burens moeiteloos kunt verstaan. Soms was de oorzaak van een achterblijvende geluidwering minder duidelijk en leverde het nader onderzoek in concrete praktijksituaties veel inzicht op in de mechanismen van de geluidoverdracht in gebouwen. Soms bleken fouten overigens helemaal niet aan de ontwerper of

bouwer te liggen, maar aan de meter: een microfoon vlak bij de luidspreker geeft nu eenmaal een veel stabielere meteruitslag dan een door de kamer bewogen microfoon! Maar dat laatste is wel relevanter.

Zo is in de jaren zeventig de basis gelegd voor het inzicht in de geluidoverdracht door bouwconstructies van waaruit het mogelijk werd een stap verder te komen. Op basis van dit toegenomen inzicht werd het mogelijk die overdracht te modelleren, vooraf te berekenen. Dat is iets wat in andere disciplines al veel langer in ontwikkeling was. Maar het meten van de geluidwering in woningen was relatief eenvoudig en onder het motto 'METEN is WETEN' werd het modelleren vaak sceptisch bekeken. Het werd beschouwd als iets dat vast wel wetenschappelijke waarde had, maar waarmee toch niet de praktische problemen en vragen vanuit de bouw zouden kunnen worden opgelost. Modelleren en rekenen zou te moeilijk zijn en vooral te onpraktisch. Maar zoals prof. Manfred Heckl - vrij vertaald - al heeft gezegd:

Er is niets zo praktisch als een goed theoretisch model!

Een *theoretisch model* is een fysisch verantwoorde, maar noodzakelijkerwijs vereenvoudigde,

beschrijving van de werkelijkheid. Een model is *goed* als het alle relevante kenmerken van de te beschrijven situatie bevat en met name de kenmerken die hanteerbaar zijn bij het ontwerpen. En een goed model is *praktisch* omdat

- *vooraf ontwerpen op hun eigenschappen kunnen worden bekeken;*
- *de consequenties van ontwerp-wijzigingen kunnen worden nagegaan;*
- *het heldere verbanden legt tussen de prestaties van het geheel en de prestaties van de onderdelen;*
- *het de fouten van een trial-and-error aanpak voorkomt;*
- *het hanteren van een model veel goedkoper is dan experimenteren.*

Kortom:

***meten is - achteraf - weten,
maar
modelleren is - vooraf -
kwaliteit creëren***

In veel disciplines is, zoals gezegd, het modelleren en rekenen dan ook de gewoonste zaak van de wereld geworden. Soms zelfs zo zeer dat er nooit meer wordt gemeten en geleidelijk aan de relatie met de werkelijkheid dreigt te verdwijnen. Althans dat risico is aanwezig. In de bouwakoestiek beginnen slechts geleidelijk aan de voordelen van modellering duidelijk te worden. En ook al wordt er in het Bouwbesluit met geen woord over rekenen

gesproken, de uitwerking van het Bouwbesluit heeft hiermee weldegelijk te maken. Want het meten in de bouwakoestiek is daarmee helaas zo complex en duur geworden dat ook hier het regelmatig meten steeds minder gebruikelijk wordt. Op zich is dat overigens geen goede zaak.

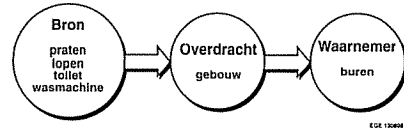
Het Bouwbesluit is een enorme inspanning geweest om alle bouwtechnische regelgeving op eenduidige wijze in één document samen te vatten. En het verdient in dat opzicht ook alle hulde. Daarbij is voor alle disciplines het begrip prestatie-eis geïntroduceerd. Dat was voor de akoestische aspecten niets nieuws, in de bouwakoestiek werd altijd al in prestatie-eisen gedacht en gewerkt. Maar de introductie van het begrip vrije indeelbaarheid heeft zeker in de akoestiek geleid tot uitwerkingen van grootheden en meetmethoden die hun doel ver voorbij schieten. De grootheden zijn ondoorzichtig geworden en de meetmethoden in veel gevallen niet praktisch bruikbaar. Dat daarbij, bijna stiekem, het niveau van de eisen op onderdelen is verhoogd valt nauwelijks op. De kans dat de bewoner daar uiteindelijk ook iets van zal merken lijkt bovendien vrij klein: een aanscherping van de eis op een onderdeel zal in de beleving nauwelijks winst opleveren als andere onderdelen, zoals bijvoorbeeld contactgeluid, niet strenger worden

beoordeeld. Bovendien is de kans dat aan de strengere eisen ook wordt voldaan voorlopig zeker kleiner geworden door de complexiteit van de regelgeving en de onvolkomenheden van de beschikbare richtlijnen. Het zou toch zo aardig zijn geweest als het Bouwbesluit in dit opzicht in de uiteindelijke versie redelijk doorzichtig was geweest en ook de controle door metingen achteraf goed uitvoerbaar was gebleven. En politiek was het misschien wel handiger geweest als daarbij dan tevens de eisen expliciet in plaats van slechts impliciet waren verhoogd. Want zeker na de eerste complexe concepten was de bouwwereld er geleidelijk aan toch al een beetje aan gewend geraakt dat de eisen wat strenger zouden worden. Een vereenvoudigde definitieve versie had vast iedereen tevreden gesteld en zeker de bewoner en gebruiker van de gebouwen. Of de evaluatie van het Bouwbesluit in dit opzicht de politiek tot inkeer zal brengen is overigens te betwijfelen.

Modelvorming in de bouwakoestiek

Het meest algemene 'denkmodel' dat in de akoestiek wordt gebruikt is een kwalitatief model, waarbij duidelijk onderscheid wordt gemaakt tussen de veroorzaker van het geluid, de overdracht van het geluid en de resulterende waarneming van het geluid:

Bron - Overdracht - Waarnemer.
Het klinkt misschien banaal, maar het is heel nuttig om problemen aan de hand hiervan uit elkaar te rafelen.



Figuur 6: Analysemodel Bron - overdracht- waarnemer.

De waarnemer is duidelijk: dat is de bewoner die beschermd moet worden tegen te veel geluid. Bronnen zijn er in de bouwakoestiek vele. De menselijke stem, de radio, de TV, zogenaamde luchtgeluiden. Het lopen of het slaan met deuren, de zogenaamde contactgeluiden omdat hierbij de bouwconstructie via direct contact wordt aangestoten. De diverse installaties en huishoudelijke machines, als verwarmingsketels, sanitair, liften, wasmachines, meestal een combinatie van lucht- en contactgeluiden.

Ten gevolge van al deze bronnen wordt de bouwconstructie aangestoten, in trilling gebracht, en deze trillingen planten zich door de bouwconstructie voort om elders tot geluidafstraling te leiden. De overdracht door de bouwconstructie, de voortplanting van dit constructiegeluid, is een gemeenschappelijk element van alle geluidbronnen in gebouwen.

Voor al deze bronnen is een goede beschrijving van belang. De sterkte van luchtgeluiden en loopgeluiden wordt bepaald door de menselijke gedragingen; hieraan kunnen door de overheid moeilijk harde eisen worden gesteld. Vandaar dat hiervoor wordt uitgegaan van min of meer gemiddelde gedragingen en op basis daarvan eisen worden gesteld aan de overdracht om tot aanvaardbare waarneemniveaus te komen. Bij machines en installaties zou het zinvol zijn eisen te stellen aan de bronsterkte en daarop afgestemde eisen aan de overdracht. Helaas is dit nog niet mogelijk, omdat nog geen goed en geaccepteerd model bestaat om in dit geval bron en overdracht te scheiden, noch om elk van deze onderdelen apart te kwantificeren. Dit is een van de opgaven waarvoor het huidige onderzoek staat: enerzijds het ontwikkelen van goede, praktische meetmethoden om de geluidbronnen in de installaties te beschrijven en kwantificeren; anderzijds om de hierop aansluitende overdrachtsmodellen te ontwikkelen.

Hoe verschillend de ontstaansmechanismen van de geluiden in gebouwen ook mogen zijn - luchtgeluid, contactgeluid, geluid van diverse installaties - vrijwel altijd nemen we die geluiden waar nadat deze zich hebben voortgeplant door de bouwconstructie. Deze geluidvoortplanting, de trillingoverdracht

via de bouwconstructie, duiden we aan als constructiegeluid. Om de overdracht van constructiegeluid te beschrijven zijn in principe diverse modelleringen van de werkelijkheid mogelijk. Voor relatief eenvoudige constructies zijn exacte beschrijvingen van het trillinggedrag voorhanden, waarmee voor elke frequentie en elke positie het trillinggedrag precies is aan te geven. Voor complexere constructies zoals complete gebouwen is dit echter niet meer mogelijk. Gelukkig is een exacte beschrijving vaak meer dan we feitelijk willen weten. Een meer globale benadering die het gemiddelde gedrag van een constructie beschrijft, gemiddeld over de frequentie en gemiddeld over de elementen van de constructie is meestal al meer dan voldoende.

Daarbij is het goed te bedenken dat het eerder besproken denkmodel ook van nut is bij het beschouwen van rekenmodellen, maar dan te vertalen in de keten: Invoergegevens - Rekenmodel - Resultaten. De betrouwbaarheid van de uitkomst van een berekening wordt ten minste evenzeer bepaald door de kwaliteit van de invoergegegevens als door de mogelijkheden en beperkingen van het betreffende model. Een gedetailleerd rekenmodel vraagt ook om veel en gedetailleerde invoergegegevens. Deze zijn bij specifieke onderzoeken natuurlijk te bepalen, maar bij praktische toepassing op realis-

tische situaties zijn veel van de benodigde gegevens vaak onbekend en slechts globaal te schatten. Daarmee is het risico groot dat de uitkomsten van een gedetailleerd model uiteindelijk onnauwkeuriger zijn dan de resultaten van meer benaderende modellen met globalere, maar wel goed bekende invoergegevens !

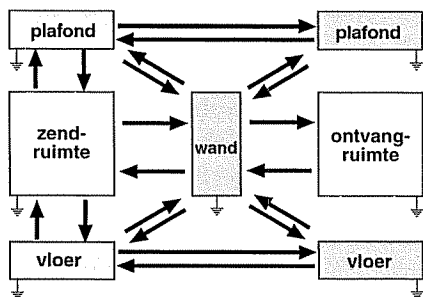
Daarom is naast de aandacht voor de ontwikkeling van modellen, van minstens even groot belang de aandacht voor relevante grootheden om het akoestisch gedrag van constructies en materialen te beschrijven en de aandacht voor meet- en/of rekenmethoden om die gegevens voor concrete constructies en materialen te bepalen. Op bouwakoestisch gebied zijn al sinds jaren diverse produkt-meetmethoden genormeerd, doch ten aanzien van diverse aspecten ontbreken dergelijke methoden nog. Voor bestaande en voor te ontwikkelen meetmethoden geldt bovendien, dat de bruikbaarheid voor het ontwerpen, voor het voorspellen van de akoestische prestatie van gebouwen, mede wordt bepaald door de mate waarin de produkt-grootheden aansluiten op de te hanteren ontwerpmodellen. De ontwikkeling van beide dient daarom op elkaar te zijn en worden afgestemd.

Een in de akoestiek veel toegepaste beschouwingswijze, die veelal

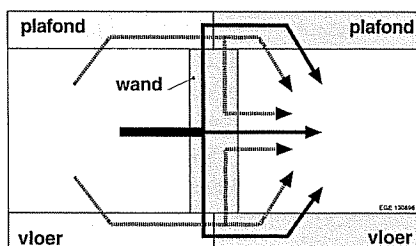
realistisch en voldoende is, is de beschouwing van geluidenergie en energiestromen. Die benadering veronderstelt dat gemiddelde grootheden bepalend zijn en dat diverse elementen als onafhankelijk kunnen worden beschouwd. De basis wordt gevormd door elk systeem, elk gebouw opgebouwd te denken uit elementen die elk voldoende gekenmerkt worden door de energie. Voor een gebouw zijn dergelijke elementen de ruimten in het gebouw, de wanden, vloeren, gevels etc. Voor elk element kunnen dan de energiestromen worden beschreven in de vorm van een geluidvermogensbalans: het geluidvermogen dat aan het element wordt toegevoerd, direct via een bron of via overdracht vanuit gekoppelde elementen, moet gelijk zijn aan wat er wordt afgevoerd, door demping in het element of door overdracht naar andere gekoppelde elementen.

Voor bouwelementen is de geluid-energie van een element evenredig met de gemiddelde trillingsnelheid en voor ruimten met het kwadraat van de gemiddelde geluiddruk, hetgeen dat we waarnemen. De totale geluidoverdracht kan dus worden beschreven als een geluidvermogensbalans voor alle elementen, uitgedrukt in trillingsnelheden, geluiddrukken, dempingen en de koppelingen tussen elementen via de koppelingsfactoren. Daarmee hebben we feitelijk alleen nog maar

een handige manier om het gedrag van het systeem op te schrijven. Er komt pas wat zinnigs uit als we ook kennis hebben over die koppelingsfactoren.



Figuur 7a: Illustratie van een SEA-model



Figuur 7b: Illustratie van een paden-model

Daarbij kan nuttig gebruik worden gemaakt van het principe van reciprociteit, want de koppeling van een element 1 naar een element 2 is niet onafhankelijk van de koppeling in omgekeerde richting. Reciprociteit leert ons bijvoorbeeld dat de snelheid op een punt ten gevolge van een kracht op een ander punt in dezelfde verhouding staat als we de positie van de

snelheid en de kracht verwisselen. Dit principe kan heel vaak nuttig zijn. Zo kan het in een experiment veel makkelijker zijn de aanstoot- en responsieposities te verwisselen. Voor het rekenen betekent dit feitelijk dat het aantal te bepalen koppelingsfactoren, de overdrachtstermen tussen elementen, ongeveer wordt gehalveerd.

Deze modellering van geluidenergiestromen tussen elementen wordt SEA genoemd, statistische energie analyse. In principe is dit een totale vermogensbalans voor alle elementen. Voor een gebouw kunnen dat er heel veel zijn. Op zich geeft die balans weinig inzicht: dit ontstaat pas bij het oplossen van de vergelijkingen, hetgeen de energie van elk element oplevert, dus bijvoorbeeld ook de geluiddrukken in een zenden en een ontvangvertrek. Maar dit geheel is ook anders te beschouwen. We kunnen ons ook tussen twee elementen verschillende overdrachtspaden voorstellen en de bijdrage van elk overdrachtspad tot de overdracht tussen een zend- en ontvangelement beschouwen. De totale overdracht is dan de som van een zeer groot aantal mogelijke paden. Vaak zijn echter de meest voor de hand liggende paden bepalend en kunnen we ons daartoe beperken. Daarmee wordt het model beter hanteerbaar en inzichtelijker en resulteert in een beschrijving die dichter bij de praktische werkelijkheid ligt.

Bij deze modellering is geen onderscheid gemaakt tussen de diverse geluidbronnen die van belang zijn. Voor de overdracht en het resulterende geluid in een ontvangruimte is dat ook niet nodig. De verschillen zitten niet in de geluidoverdracht, maar in de opwekking van het constructiegeluid, de aanstoting van de constructies door die geluidbronnen.

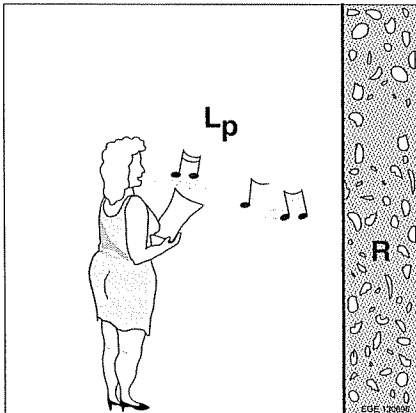
Opwekking van constructiegeluid

luchtgeluid

Een luchtgeluidbron als een luidspreker of de menselijke stem wekt luchtrillingen op in de ruimte en alle ruimtebegrenzende constructies worden door de trillende lucht ook in trilling gebracht. De mate waarin wordt bepaald door de sterkte van de geluiden en de materiaal- en constructie-eigenschappen. De

geluidsterkte wordt gegeven door het gemiddeld geluiddrukkniveau L_p in de ruimte: een maat voor de kracht die de trillende lucht per vierkante meter op de bouwconstructie uitoefent.

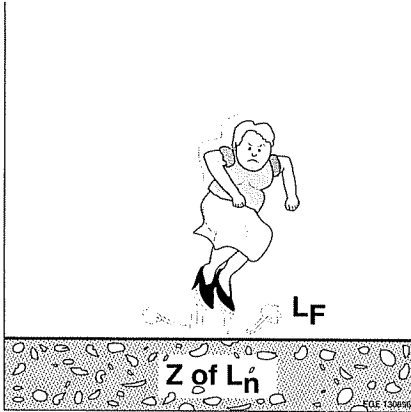
De constructie-eigenschappen zijn primair de massa, de stijfheid en de opbouw van de constructie. Een goede maat daarvoor is de transmissiefactor van een constructie; in decibels uitgedrukt wordt dit de geluidisolatie R genoemd. Deze constructie-eigenschap kan betrekkelijk eenvoudig worden gemeten en is dan ook van veel constructies bekend. Bovendien kan voor veel bouwconstructies de geluidisolatie ook goed uit de materiaaleigenschappen en constructie-opbouw worden berekend. Dus bij een luchtgeluidbron volgt de opwekking van constructiegeluid uit de gemiddelde geluiddruk die de bron veroorzaakt en de geluidisolatie van de beschouwde constructie.



Figuur 8: Luchtgeluidopwekking

contactgeluid

Als het geluid dat men waarneemt het gevolg is van directe mechanische aanstoting van de bouwconstructie, zoals bij lopen of het dichtslaan van deuren, wordt dat aangeduid als contactgeluid. Door het lopen op een vloer wordt een kracht uitgeoefend waardoor deze in trilling wordt gebracht. De mate waarin dit gebeurt wordt bepaald door de uitgeoefende kracht en de eigenschappen van de vloer, primair aan te geven met de impedantie



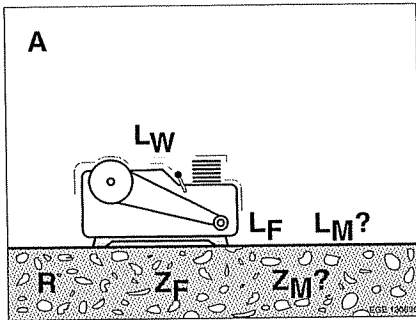
Figuur 9: Contactgeluidopwekking

van de vloer, de maat voor de weerstand die de vloer biedt tegen het in trilling komen.

Dus bij een eenvoudige contactgeluidbron volgt de opwekking van constructiegeluid uit het gemiddeld krachtniveau L_F dat de bron uitoefent en de mechanische impedantie Z van de beschouwde constructie. Voor het representeren van loopgeluiden is internationaal een gestandaardiseerde krachtbron gedefinieerd, de zogenaamde hamermachine. Daarmee kan het gedrag van de vloerconstructie ook worden uitgedrukt in het resulterende geluiddrukkniveau L_n onder die vloer ten gevolge van die genormeerde krachtaanstoting; de impedantie van de vloer zit hierin dan verwerkt. Andere vormen van contactgeluid, zoals van installaties, machines en leidingen zijn echter niet zonder meer zo eenvoudig voor te stellen als een simpele krachtbron.

Installatiegeluid

In gebouwen komen diverse installaties voor: toilet, waterleiding, wasmachine, verwarming, ventilatie, liften etc. Ook in dit geval wordt er luchtgeluid geproduceerd. Daarvoor is het geluidvermogen-niveau L_w een goede maat; met kennis over de geluidabsorptie A in de ruimte kan daaruit het gemiddeld geluiddrukkniveau worden bepaald, waarmee de bouwconstructie wordt aangestoten. Meestal is echter het waargenomen geluid vooral het gevolg van direct mechanisch contact tussen de installatie en de bouwconstructie. Bij dergelijke installaties zijn er vaak vele contactpunten tussen installatie of installatieonderdelen en de bouwconstructie. Bovendien kunnen in principe bij elk contactpunt, in verschillende richtingen, krachten en snelheden inwerken op de constructie. In welke mate die verschillende aanstootvormen optreden hangt niet alleen van de bron af maar ook van de bouwconstructie. Op een zware betonvloer kan een bepaalde installatie zich in dit opzicht heel anders gedragen dan op een lichte houten vloer. In theorie is wel aan te geven hoe een dergelijke complexe bron in combinatie met de fundatieconstructie moet worden gemodelleerd, maar dit leidt nog niet tot een praktisch hanteerbare opzet. Een opzet waarbij bron- en constructiegegevens, zoals hiervoor, apart kunnen en mogen worden beschouwd. Zoals gezegd is de



Figuur 10: Geluidopwekking installaties

overdracht ook in dit geval gelijksoortig te beschrijven als bij de andere soorten bronnen. Maar essentieel is het beschrijven en kwantificeren van machines en installaties als bron van constructiegeluid op een relevante en praktisch hanteerbare wijze. Het totale krachtniveau L_F kan hiervoor een praktische grootheid zijn; de bouwconstructie wordt hierop aansluitend dan met de krachtimpedantie Z_F gekarakteriseerd. Maar mogelijk kunnen we daarmee niet volstaan en zullen meer grootheden moeten worden gehanteerd, bijvoorbeeld ook een momentniveau L_M en een momentimpedantie Z_M .

Het goed beschrijven en kwantificeren van de bronnen is niet alleen van belang voor berekeningen van de geluidoverdracht, maar minstens zo relevant voor een heldere verdeling van de verantwoordelijkheden tussen de diverse betrokken partijen als de ontwerper, de bou-

wer, de installateur en de leveranciers. Door alleen naar het eindresultaat te kijken - het resulterende geluid in een vertrek - kan bij een te hoog geluidsniveau iedere partij zich achter de ander verschuilen: de machine zal wel te veel lawaai maken, nee, de installatie is niet goed geïnstalleerd, nee, de bouwconstructie laat teveel door of de ruimte-indeling is wel heel ongelukkig. Dergelijke vruchteloze discussies - alleen vruchtbaar voor de akoestisch deskundige die in de arm is genomen om het probleem op te lossen - worden dan ook regelmatig gevoerd. Als een heldere opdeling in bronnen en overdracht wordt aangehouden en wordt gekwantificeerd, kan iedereen vooraf weten waar hij aan toe is en kan achteraf eenvoudiger de vinger op een eventuele zwakke plek worden gelegd.

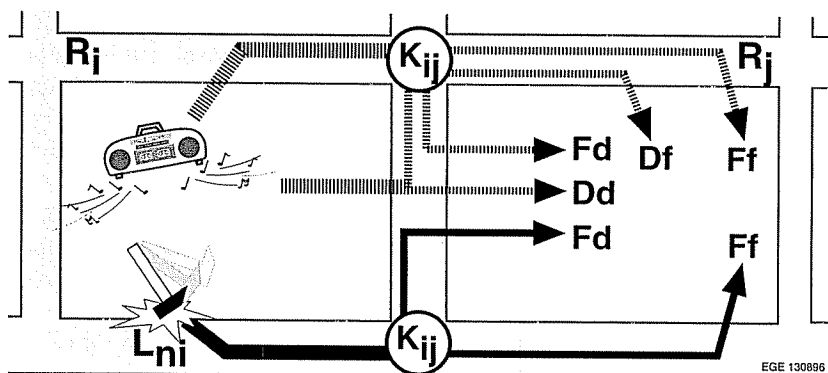
Het beschikken over goede meetmethoden om de constructiegeluidproductie van installaties te bepalen is bovendien van groot belang voor het gericht kunnen ontwikkelen van stillere installaties. Eén van de beste manieren van lawaai-bestrijding is nog altijd het geluid daar te bestrijden waar het wordt geproduceerd: bij de bron. Zo wordt er wel aandacht besteed aan - en soms ook geadverteerd met - stille wasmachines, maar dat betekent dan dat ze relatief stil zijn voor degene die er naast staat. Daarvoor is het geproduceerde luchtgeluid verantwoordelijk. Hiervan kan een goed en

betrouwbaar beeld worden verkregen door toepassen van bestaande genormeerde meetmethoden voor het geluidvermogeniveau. Het betekent echter geenszins dat ze ook stiller zijn voor de burens, want daarvoor is het geproduceerde constructiegeluid bepalend en daarvoor bestaan nog geen goede meetmethoden. Plannen om dergelijke huishoudelijke machines dan ook te voorzien van een akoestisch label hebben weinig waarde - zijn zelfs als misleidend te beschouwen - als het alleen betrekking heeft op het geproduceerde luchtgeluid en niet tevens iets zegt over het geproduceerde constructiegeluid. Maar om dat goed te kunnen 'labellen' zullen de onderzoekers toch eerst met een relevante en hanteerbare methode moeten komen. Dit is dan ook een belangrijk onderdeel waaraan binnen de vakgroep FAGO aandacht wordt besteed en promotie-onderzoek plaatsvindt en plaats zal gaan vinden.

Overdracht van constructiegeluid

Door de verschillende bronnen wordt de bouwconstructie dus in trilling gebracht. De gemiddelde trillingsnelheid van de aangestoten constructie kan worden bepaald uit broneigenschappen en constructie-eigenschappen. Deze trillingen planten zich door de constructie voort. Als we twee ruimten naast elkaar beschouwen zijn de bouwconstructies die de beide ruimten begrenzen via de knooppunten met elkaar verbonden. De opgewekte trillingen in een constructie in de ene ruimte leidt tot trillingen in alle gekoppelde constructies en dus tot geluidafstraling door alle constructies. De eigenschappen van het knooppunt, de materialen en detaillering, bepalen de mate van overdracht.

Figuur 11: Geluidoverdrachtspaden tussen twee ruimten.



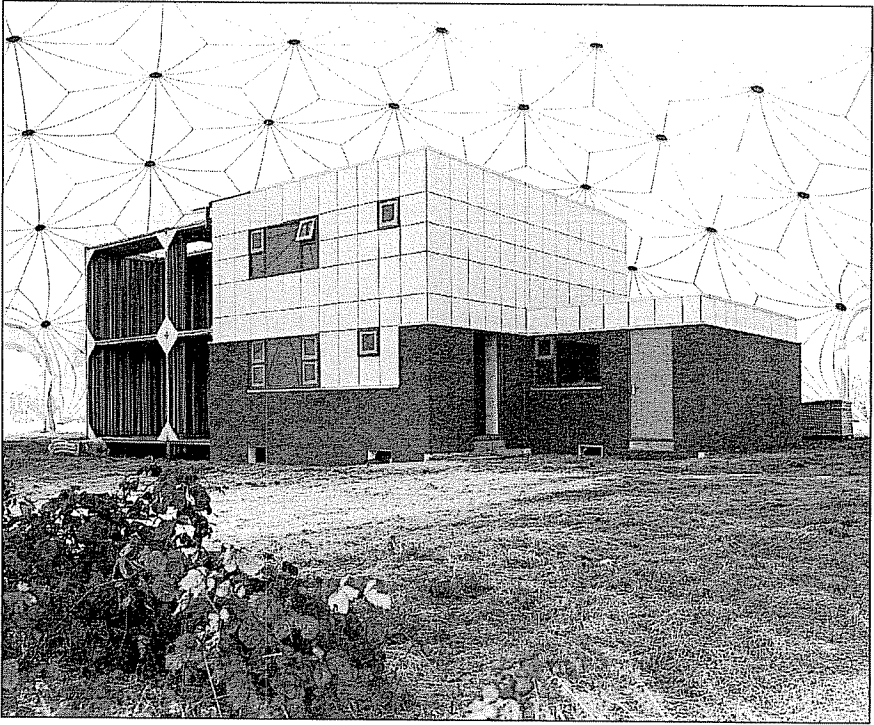
EGE 130896

Bij contactgeluid zoals dat door lopen wordt veroorzaakt, wordt vaak slechts één constructie aangestoten en is er een beperkt aantal overdrachtspaden te onderscheiden. Bij installaties kan dat ook het geval zijn, maar moet vaak ook rekening worden gehouden met andere constructies waaraan installatie-onderdelen en leidingen zijn bevestigd. Bij luchtgeluid wordt het nog ingewikkelder. Niet alleen de scheidingsconstructie wordt tot trillingen aangestoten, maar alle constructies die de ruimte begrenzen. Vanaf elk van deze constructies kunnen we dus overdrachtspaden beschouwen. Naast de directe overdracht door de scheidingsconstructie spreken we dan van flankerende overdracht: de trillingoverdracht via de bouwconstructies die de scheidingsconstructie 'flankeren'. De totale overdracht, dat wat direct in gebouwen kan worden gemeten en waar de eisen aan worden gesteld, volgt uit de optelling van de bijdrage via alle te onderscheiden paden. Voor elk te onderscheiden overdrachtspad kan de overdracht van constructiegeluid in zijn eenvoudigste vorm worden uitgedrukt in de akoestische prestatie van de bouwelementen - zoals wanden, vloeren en gevel - en de akoestische prestatie van de knooppunten. In alle gevallen speelt de trillingoverdracht bij de bouwkundige knooppunten dus een belangrijke rol.

De akoestische prestatie van de elementen wordt in eerste instantie voldoende beschreven door de luchtgeluidisolatie R en de contactgeluidisolatie L_n . Al sinds vele jaren zijn er internationaal genormaliseerde meetmethoden beschikbaar om deze grootheden te bepalen. Dat ligt echter anders voor de minstens zo belangrijke knooppunten.

Bouwkundige knooppunten

Voor de akoestische prestatie van de knooppunten is recentelijk ook een beschrijvende grootheid ontwikkeld, de trillingoverdrachtverzwakking K_{ij} . Deze grootheid vertoont grote overeenkomst met de geluidisolatie van de elementen. Voor zeer eenvoudige koppelingen tussen zeer eenvoudige elementen kan deze worden berekend. Feitelijk zou deze echter voor realistische uitvoeringen van knooppunten moeten worden gemeten. Een internationaal aanvaarde meetmethode en meetopstelling is echter nog niet beschikbaar. Dit is echter wel noodzakelijk om op realistische wijze voorspellingen te kunnen doen en verschillende uitvoeringen van knooppunten akoestisch te kunnen vergelijken. Bij de vakgroep FAGO werd reeds onderzoek op dit gebied verricht en dat zal de komende tijd nog worden geïntensiveerd. Zo is onder andere onderzoek verricht naar de specifieke knooppunten tussen de staalementen



Figuur 12: TUE proefwoning (ISB); 1995

van de experimentele ISB-proefwoningen hier op het TUE-terrein. En misschien verschijnt er binnenkort onder de tent naast die woning ook nog een echt laboratorium voor het akoestisch onderzoek aan knooppunten in de bouwconstructies.

De knooppunten in bouwconstructies zijn voor de geluidoverdracht van groot belang. Het zijn ook bij uitstek de plekken in de constructie waar diverse disciplines samenkomen: bouwfysica, detaileren, bouwen. Knutselen aan een detail ter verbetering van één van

de aspecten kunnen we waarschijnlijk allemaal wel, maar een goed detail ontwerpen op basis van inzicht in de materie, de kosten en de fabricageprocessen dat is slechts weinigen gegeven. Toch ligt daarin, meer dan in alle andere dingen, het verschil tussen het in de praktijk realiseren van een matige of een goede geluidwering !

Slot

Zeer gewaardeerde toehoorders.

Teneinde in het steeds complexere bouwproces een geluidwering met goede kwaliteit te garanderen is het noodzakelijk bij het ontwerpen en realiseren van gebouwen - meer dan tot nu toe - gebruik te maken van modellen voor het beschrijven van de geluidoverdracht. Essentieel voor de toepassing van dergelijke modellen is dat van alle bouwproducten ook de akoestische prestaties op eenduidige wijze worden weergegeven en bepaald. Alleen met een dergelijke aanpak is de nu vereiste minimale kwaliteit met meer zekerheid te realiseren en is het realiseren van een gewenste hogere kwaliteit haalbaar. Dit sluit geheel aan op de Europese benadering in de Richtlijn Bouwproducten en de uitwerking die daaraan wordt gegeven in diverse Europese normen. Ook in de ons omringende landen wordt deze behoefte gevoeld. Zo worden in Frankrijk en Duitsland voorzichtige stappen gezet om de hiervoor geschetste opzet ook in richtlijnen voor de bouw te verankeren.

Modellen kunnen voor ontwerpers en bouwers de hulpmiddelen vormen om een geluidwering van goede kwaliteit te realiseren. De producenten en leveranciers van bouwmaterialen en bouwsystemen zullen daartoe de benodigde gegevens moeten kunnen aanleveren over de akoestische prestaties van hun producten. Daarmee is bovendien de verantwoordelijkheid van deze partijen voor het realiseren van een goede geluidwering duidelijker aan te geven. Dit is vooral van belang bij het geluid van installaties waarbij ook nog de installateur en leveranciers van machines en installatie-onderdelen zijn betrokken. Met een goed model kan de ontwerper zijn verantwoordelijkheid nemen en kan het 'zwarte-pieten spel' bij tegenvallende resultaten worden vervangen door een doelgerichte analyse. Zo ver is het nu nog niet. Daarvoor ontbreekt nog teveel kennis en inzicht in diverse elementen. Maar met het enthousiasme van studenten en medewerkers van de vakgroep, zoals ik dat de afgelopen twee jaar al heb ervaren, kunnen we hier aan de TUE een goede bijdrage leveren om dat doel te bereiken. Samen bouwen aan de kennis en de hulpmiddelen om een geluidwering met een betere kwaliteit te kunnen realiseren.

Dankwoord

Tot slot enkele woorden van dank.

Beste Renz

Jou wil ik bedanken voor het initiatief dat je hebt genomen vanuit het Centrum voor Bouwonderzoek om te komen tot de instelling van de leerstoel Constructiegeluid in gebouwen. Dit draagt zeker bij aan een intensivering van de samenwerking tussen TNO en TUE en binnen TNO.

Geachte Directie en medewerkers van TNO-TPD

Jullie wil ik bedanken voor het voluit ondersteunen en uiteindelijk realiseren van mijn aanstelling. Mijn directe collega's bij de TPD doen het zonder morren een dag zonder mij. Ik ben er van overtuigd dat deze brug tussen Eindhoven en Delft voor beide vruchtbaar zal zijn.

Beste Jakob, beste Heiko

Jullie wil ik bedanken voor de hartelijke manier waarop ik in de akoestische hoek van de vakgroep ben opgenomen. In veel opzichten hebben jullie, met de overige medewerkers van de vakgroep, er voor gezorgd dat mijn bedje gespreid was bij mijn komst en ik

direct inhoudelijk aan het werk kon gaan.

Een speciaal woord van dank voor twee oud-collega's, vroegere leermeesters en ere-leden van het Nederlands Akoestisch Genootschap.

Beste De Lange, beste Kleinhoonte van Os

Als beginnend TPD-er hebben jullie mij de kneepjes van het akoestisch vak bijgebracht en met name geïntroduceerd in de Bouwakoestiek. Ik denk met bijzonder veel plezier terug aan die begintijd en draag graag de fakkel verder die ik van jullie heb gekregen, in de hoop hem ook weer over te kunnen dragen aan een van mijn studenten.

Ik heb gezegd.

Vormgeving en druk:
Reproductie en Fotografie van de CTD
Technische Universiteit Eindhoven
Illustraties:
Marketing & Communicatie, TNO-TPD

Informatie:
Academische en Protocolaire Zaken
Telefoon (040-247)2250/4676

ISBN 90 386 0109 3



Eddy Gerretsen werd in 1945 te Den Haag geboren. Na het HBS-B examen op het Maerlant Lyceum in Den Haag ging hij Natuurkunde studeren aan de toenmalige Technische Hogeschool Delft, waar hij in 1970 het diploma behaalde. Vanaf 1971 tot heden is hij werkzaam bij de divisie Geluid van TNO-TPD. In die periode is hij betrokken geweest bij en heeft leiding gegeven aan onderzoek en ontwikkelingswerk op diverse deelgebieden van de geluidbeheersing, zoals geluidoverdracht in de buitenlucht, geluidoverdracht door leidingsystemen, reductie van de geluidproductie van voertuigen en geluidoverdracht in gebouwen. Op dit laatste gebied, de Bouwakoestiek, is hij actief betrokken bij nationale en internationale normalisatie, docent bij de Hogere Cursus Akoestiek te Antwerpen, en de Hogere Cursus Toegepaste Bouwakoestiek te Amsterdam. Als

voorzitter van een Europese normalisatie werkgroep vervult hij een trekkende rol in de tot stand koming van ontwerpmodellen op het gebied van Bouwakoestiek. Hij is auteur van een groot aantal publikaties. Per 1 oktober 1994 werd hij op voordracht van het TNO Lorentz-van Iterson fonds benoemd tot bijzonder hoogleraar op het gebied van 'Constructie-geluid in gebouwen' bij de Vakgroep FAGQ van de Technische Universiteit Eindhoven.