

INHOUD

Voorwoord	11
1 Inleiding	13
1.1 Geluid en (bouw)akoestiek	14
1.2 Doelstellingen in de bouwakoestiek	14
1.3 Korte historiek	17
1.4 Opbouw van het boek	18
1.5 Strategie voor lawaai beheersing in gebouwen	19
2 Geluidgolven in lucht	23
2.1 Geluid en geluiddruk	24
2.2 Sferische golven en vlakke golven	25
2.3 De geluidssnelheid	28
2.4 Energie en intensiteit	30
2.4.1 De volumestijfheid van lucht	30
2.4.2 De potentiële en de kinetische energiedichtheid	30
2.4.3 De geluidintensiteit	31
2.4.4 Verband tussen bronvermogen en intensiteit	33
2.5 Harmonische golven	35
2.5.1 Basisbegrippen	35
2.5.2 Verstrooiing en buiging	37
2.5.3 Faser voorstelling	38
2.6 Spectrale analyse	41
2.6.1 Periodische signalen	41
2.6.2 Niet-periodische signalen	44
2.6.3 Vermogensspectrum en spectrale vermogensdichtheid	45
2.6.4 Niet-periodische geluidvelden	47
2.7 Geometrische akoestiek	47
Oefeningen	51
3 Geluidwaarneming	53
3.1 Het menselijk gehoor	54
3.2 Geluidsterkte en de decibelschaal	55
3.2.1 Energetische niveaus	55

3.2.2	Niveaumetingen	56
3.2.3	Samenstelling van energetische waarden	59
3.3	De frequentieschaal	61
3.4	Luidheid en frequentieweging	63
3.4.1	Isofoonkrommen	63
3.4.2	A-weging en C-weging	63
3.4.3	Noise rating	65
	Oefeningen	67
4	Bouwakoestische grootheden en relaties	69
4.1	Inleiding	70
4.2	Bouwakoestische basisgrootheden	70
4.2.1	Afstraalfactor σ	70
4.2.2	Luchtgeluidisolatie R	71
4.2.3	Geluidabsorptiecoëfficiënt α	75
4.2.4	Nagalmtijd T	76
4.3	Energetische relaties in het vrije veld	76
4.3.1	Sferisch geluidveld veroorzaakt door een puntbron	76
4.3.2	Cilindrisch geluidveld veroorzaakt door een lijnbron	78
4.4	Energetische relaties in een gesloten ruimte	80
4.4.1	Het diffuse geluidveld	80
4.4.2	Het totale geluidveld	82
4.5	De nagalmformule	83
4.6	Analyse van geluidtransmissieproblemen	84
4.6.1	Algemene werkwijze	84
4.6.2	Meetformule voor de geluidisolatie tussen twee ruimtes	85
4.6.3	Meetformule voor gevelisolatie	88
4.6.4	Geluidoverdracht van binnen naar buiten	89
4.6.5	Berekening van de geluidoverdracht tussen twee ruimtes	91
4.6.6	Statistische energie-analyse	93
	Oefeningen	95
5	Bouwakoestische prestatie-eisen	99
5.1	Inleiding	100
5.2	Luchtgeluidisolatie	100
5.2.1	Experimentele bepaling	100
5.2.2	Eengetalswaarden	102

5.2.3	Prestatie-eisen	106
5.3	Contactgeluidisolatie	111
5.3.1	Experimentele bepaling	111
5.3.2	Eengetalswaarden	113
5.3.3	Prestatie-eisen	116
5.4	Galm	117
5.5	Historische context	118
6	Geluidvelden	121
6.1	Inleiding	122
6.2	De golfvergelijking	122
6.2.1	Dynamisch evenwicht	122
6.2.2	Kinematische beschrijving	123
6.2.3	De differentiaalvergelijking voor het geluidveld	125
6.2.4	Eendimensionale vorm - oplossing van d'Alembert	126
6.3	Harmonisch geluidveld: de Helmholtzvergelijking	127
6.4	Eigenmodes van gesloten ruimtes	131
6.4.1	Eigenmodes van een gesloten buis	131
6.4.2	Eigenmodes van een balkvormige ruimte	132
6.4.3	De modedichtheid	135
	Oefeningen	137
7	Geluidabsorptie	139
7.1	Inleiding	140
7.2	Definities	140
7.2.1	Grootheden gerelateerd aan het geluidveld	140
7.2.2	Energetische grootheden	142
7.2.3	Eengetalswaarde	143
7.3	Experimentele bepaling	145
7.3.1	In de nagalmkamer	145
7.3.2	Met een impedantiebus	146
7.4	Absorptie door transmissie	149
7.5	Poreuze geluidabsorptie	151
7.5.1	Open poreuze materialen	151
7.5.2	Porositeit, stromingsweerstand en materiaalmodellen	153
7.5.3	Invloed van laagdikte, luchtsponw en oppervlaktevorm	157
7.5.4	Berekening van de geluidabsorptie van gelaagde systemen	160

7.6	Resonantie-absorptie	164
7.6.1	Helmholtzresonantie	164
7.6.2	Membraanresonantie	166
7.7	Richtwaarden	168
	Oefeningen	168
8	Mechanische trillingen en golven	171
8.1	Inleiding	172
8.2	Discrete systemen	172
8.2.1	Bewegingsvergelijking en vermogensbalans	172
8.2.2	Viskeuze demping en hysteresisdemping	174
8.2.3	Vrije trilling en nagalmtijd	174
8.2.4	Systemen met meerdere vrijheidsgraden	177
8.3	Elastische vervorming van vaste stoffen	178
8.4	De plaatvergelijking	181
8.4.1	Dynamisch evenwicht	182
8.4.2	Kinematische beschrijving	184
8.4.3	De differentiaalvergelijking voor het trillingsveld	185
8.5	Eendimensionale buiggolven in platen	186
8.5.1	Oplossing van de homogene plaatvergelijking	186
8.5.2	Dispersie, fasesnelheid en groepssnelheid	188
8.6	Vrije trilling van platen	188
8.6.1	Algemene oplossing van de homogene plaatvergelijking	189
8.6.2	Eigenmodes van een enkelvoudig opgelegde plaat	190
8.6.3	De modedichtheid	191
8.7	Gedwongen trilling van platen	193
8.7.1	De ongedempte trilling	193
8.7.2	De gedempte trilling	195
9	Luchtgeluidisolatie van enkelvoudige wanden	201
9.1	Inleiding	202
9.2	De massawet	202
9.2.1	Loodrechte geluidinval	202
9.2.2	Schuine geluidinval op een buigslappe wand	204
9.2.3	Diffuse geluidisolatie van een buigslappe wand	206
9.3	Schuine geluidinval op een buigstijve wand	207
9.4	Diffuse geluidisolatie van buigstijve wanden	212

9.5	Praktische beschouwingen	213
9.5.1	Dikteresonanties	213
9.5.2	Orthotropie	215
9.5.3	Luchtdichtheid	216
9.5.4	Eindige afmetingen	216
9.5.5	Empirische verbanden	217
	Oefeningen	219
10	Contactgeluidisolatie	223
10.1	Inleiding	224
10.2	Een trillende vloer als geluidbron	224
10.3	Berekening van de afstraalfactor	225
10.3.1	Geluidafstraling door een vrije buiggolf	225
10.3.2	Geluidafstraling door plaatmodes	229
10.4	Berekening van het snelheidsniveau	231
10.4.1	Kracht die op de vloer wordt uitgeoefend	231
10.4.2	Vermogen dat aan de vloer geleverd wordt	233
10.4.3	Vermogensbalans van de vloer	235
10.5	Contactgeluid van enkelvoudige vloeren	236
10.6	Verbetering van de contactgeluidisolatie	239
10.6.1	Met een soepele vloerbekleding	239
10.6.2	Met een zwevende dekvloer	242
10.6.3	Contactgeluidisolatieverbetering van houten vloeren	247
	Oefeningen	247
11	Luchtgeluidisolatie van dubbele wanden	249
11.1	Inleiding	250
11.2	Loodrechte geluidinval	250
11.2.1	Akoestisch dunne spouw	250
11.2.2	Akoestisch dikke spouw	255
11.3	Schuine geluidinval	259
11.4	Diffuse geluidinval	261
11.4.1	Prognosemethode	261
11.4.2	Driekamer methode	264
11.5	Contactbruggen	265
11.6	Gipsplaatwanden	268
11.7	Voorzetwanden	272

11.8	Beglazing	274
11.9	Ankerloze spouwmuren	277
	Oefeningen	280
12	Nevenwegtransmissie	281
12.1	Definities	282
12.2	Aanduiding van de transmissiepaden	284
12.3	Rekenmethode voor luchtgeluid	286
12.4	Empirische bepaling van de verbindingsdemping	288
12.5	Empirische gegevens voor de luchtgeluidisolatie	291
12.6	Rekenmethode voor contactgeluid	294
12.7	Praktische beschouwingen	296
	12.7.1 Invloed van ramen en deuren	296
	12.7.2 Invloed van voorzetwanden	297
	12.7.3 Dubbele wanden	298
12.8	Uitgewerkte voorbeelden	299
	Oefeningen	307
A	Bepaling van de verbindingsdemping	309
A.1	Diffuse trillingsvelden in platen	310
A.2	Nagalmtijd en equivalente lijnabsorptie	312
A.3	Meetformule voor de trillingsverzwakkingsindex	314
A.4	Voorspelling van de verliesfactor in situ	315
B	Oplossingen van de oefeningen	317
	Bibliografie	334

1

INLEIDING

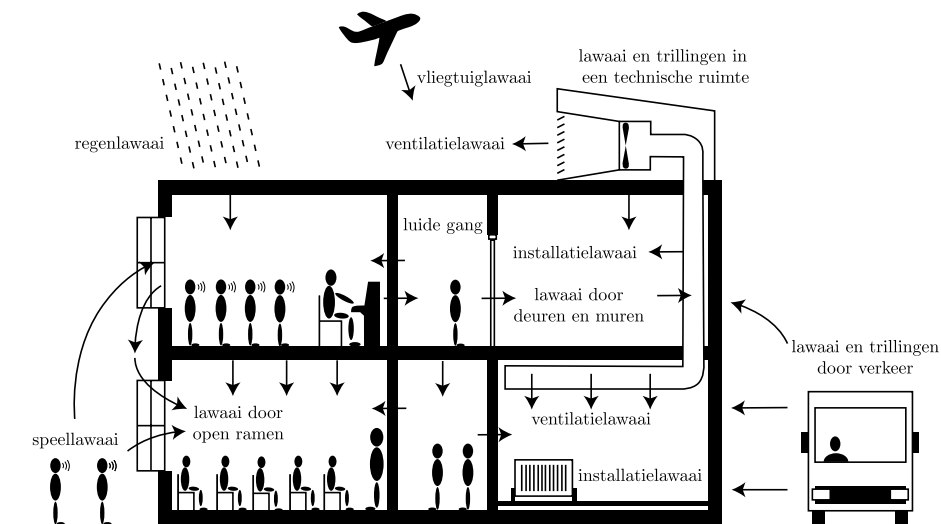
1.1 Geluid en (bouw)akoestiek

Onder geluid wordt in het dagelijks taalgebruik een signaal verstaan dat door het menselijk gehoor kan waargenomen worden. Akoestiek is de wetenschappelijke studie van geluid in de bredere zin, namelijk van mechanische golven in gassen, vloeistoffen en vaste stoffen. Het is een wijdvertakte wetenschappelijke discipline, met toepassingen in de wetenschappen (natuurkunde, biologie, geologie), de ingenieurswetenschappen (bouwkunde, werktuigkunde, elektrotechniek, milieukunde), de kunsten, de geneeskunde, enz. De eerste ontwikkelingen binnen de akoestiek hingen nauw samen met die van de muziek, d.w.z. de kunstvorm met geluid als medium. Zo ontdekte Pythagoras omstreeks 550 v.C. dat wanneer twee snaren die dezelfde spanning hebben, tegelijkertijd klinken, dit resulteert in een aangenaam (consonant) geluid wanneer hun lengtes een verhouding van kleine gehele getallen vormen. Het was het eerste bekende voorbeeld van een natuurwet die beheerst wordt door de getaltheorie.

De bouwakoestiek is de deeldiscipline van de akoestiek die handelt over de wetenschap en de technologie van geluid in gebouwen en de gebouwde omgeving. In de Engelstalige literatuur wordt het domein in Europa meestal aangeduid als *building acoustics*, in Noord-Amerika als *architectural acoustics*. Binnen de bouwkundige wetenschappen brengt men de bouwakoestiek soms onder bij de bouwfysica, waar de natuurkundige aspecten (transport van warmte, lucht, vocht, geluid en licht) van gebouwen, de gebouwde omgeving en de gebouwinstallaties bestudeerd worden. Een zeer belangrijk deel van de bouwakoestiek handelt over de interactie tussen geluidgolven en de mechanische vervorming van structuren (geluid-structuurinteractie). Daarom vormt de bouwakoestiek eveneens een deeldiscipline van de bouwmechanica, waar de krachtwerking in en op structuren bestudeerd wordt, alsook de structurele vervorming die daar het gevolg van is.

1.2 Doelstellingen in de bouwakoestiek

De algemene doelstelling in de bouwakoestiek is gewenst geluid zoals spraak en muziek te ondersteunen en ongewenst geluid zoals verkeers- en burenlawaai te onderdrukken, en dit via bouwkundig ontwerp. De ondersteuning van gewenst geluid gebeurt door via wanden en andere reflectoren bijkomende transmissiepaden van de zender naar de ontvanger te creëren; hierdoor wordt het geluid niet alleen versterkt, maar wordt er ook een beperkte hoeveelheid galm aan toegevoegd waardoor het minder droog klinkt. Voor de beheersing van lawaai zijn er in principe drie bouwkundige mogelijkheden: het verhogen van de geluidisolatie tussen twee ruimtes, het verhogen van de geluidabsorptie in een ruimte en het afschermen van bron en ontvanger door een geluidscherm. Daarnaast zijn er natuurlijk ook niet-bouwkundige ingrepen: in sommige gevallen is het bijvoorbeeld mogelijk om de geluidbron(nen) stiller te maken, om de ontvanger van gehoorbescherming te voorzien, of zelfs om het ongewenst geluid te maskeren door een ander geluid dat als minder storend ervaren wordt.

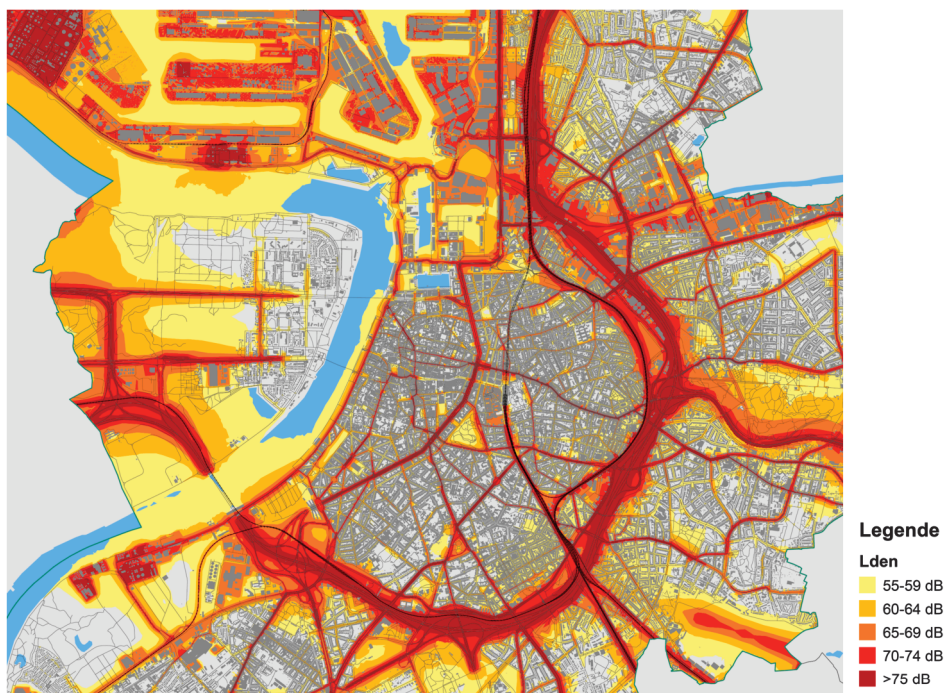


Figuur 1.1. Typische lawaaibronnen in een schoolgebouw. (Naar [23].)

De voorbije decennia werden gekenmerkt door een wereldwijde toename van de verstedelijkingsgraad en van de transportinfrastructuur. Deze trends blijven zich doorzetten onder impuls van een nog steeds sterk toenemende wereldbevolking en economische ontwikkeling. Een direct gevolg is dat lawaai een belangrijk maatschappelijk probleem is geworden. Zo blijkt uit grootschalig onderzoek in opdracht van de Vlaamse Overheid dat 3 op de 10 personen in Vlaanderen tamelijk tot extreem gehinderd worden door geluid in en om hun woning [111]. De Wereldgezondheidsorganisatie becijferde dan weer dat in West-Europa er jaarlijks ruim een miljoen gezonde levensjaren verloren gaan door verkeerslawaai alleen [162]. Lawaai veroorzaakt immers niet enkel irritatie, activiteitsverstoring en sociale spanningen, het kan ook gezondheidsproblemen veroorzaken zoals slaapverstoring, cardiovasculaire en metabole aandoeningen, cognitieve beperkingen en gehoorschade [163].

Onder omgevingslawaai verstaan we lawaai dat zich in de buitenomgeving voortplant. Het kan bijvoorbeeld afkomstig zijn van weg-, spoor- of vliegverkeer, industriële activiteiten of bouwplaatsen. Om de personen in een gebouw te beschermen tegen dergelijk omgevingslawaai, dient de geluidisolatie van de gebouwschil voldoende groot te zijn. Onder burenlawaai verstaan we lawaai dat zich tussen twee gesloten ruimtes voortplant. Ook tegen dergelijk lawaai dient het bouwkundig ontwerp een voldoende geluidisolatie te bieden. Het toepassingsgebied is overigens veel ruimer dan bewoning: het kan ook gaan om kantoorruimtes, scholen (fig. 1.1), ziekenhuizen, hotels, enz. Hoe kan geluidisolatie gekwantificeerd en gemeten worden? Wat zijn de vereiste minimumwaarden? Hoe kan men de geluidisolatie van een bouwkundig ontwerp voorspellen? Onder meer op deze vragen zoekt men in de bouwakoestiek een antwoord.

Vooraf voor omgevingslawaai worden de inspanningen die op gebouwniveau nodig zijn, bepaald door de ruimtelijke context. Het is dan ook van groot belang dat



Figuur 1.2. Geluidbelastingkaart voor de agglomeratie Antwerpen (detail), opgesteld in februari 2018. De ingerekende lawaaibronnen zijn weg-, spoor- en luchtverkeer, en industrie. Het lawaai afkomstig van wegverkeer op de ring (R1), havenactiviteiten (noordwesten) en de luchthaven (zuidoosten) is duidelijk onderscheidbaar. © Stad Antwerpen.

men bij ruimtelijke planning en verkeersplanning op grote en kleine schaal rekening houdt met de gevolgen op de ruimtelijke lawaaibelasting. Op het niveau van de Europese Unie (Europese richtlijn omgevingslawaai, 2002) werd afgesproken dat elke lidstaat geluidbelastingkaarten opstelt voor de drukke wegen, spoorwegen en luchtwegen en de grote agglomeraties, en op basis daarvan actieplannen aanneemt om de blootstelling van de bevolking aan omgevingslawaai te milderen. Hiertoe is het belangrijk om een zicht te hebben op hoe geluid zich voortplant in een buitenomgeving, wat de mogelijke maatregelen zijn voor lawaaireductie aan bron- en ontvangzijde en op het transmissiepad, en hoe het effect daarvan kwantitatief begroot kan worden. Een recente trend is om de gepercipieerde kwaliteit van de auditieve omgeving in zijn geheel te bekijken eerder dan enkel op het aspect luidheid te focussen; in het Engels spreekt men dan van *soundscape* naar analogie met de visuele omgeving of *landscape*.

Aan de andere zijde van het ruimtelijke spectrum is de zaalakoestiek de deeldiscipline van de bouwakoestiek waarbij de bron en de ontvanger van het geluid zich in dezelfde ruimte bevinden. In grotere ruimtes is de beheersing van galm (en daarmee gepaard gaand, het voorzien van voldoende geluidabsorptie) doorgaans de belangrijkste bekommernis, zowel om lawaai dat in die ruimte geproduceerd wordt

te beperken (bijvoorbeeld in productieruimtes) als om spraakverstaanbaarheid te garanderen (bijvoorbeeld in auditoria, theaters en stations). Beide doelstellingen komen samen in ruimtes waarin veel personen tegelijk spreken zoals restaurants en sportzalen. Naast overdreven galm zijn ook sterke late geluidreflecties doorgaans te mijden vanwege de echo die ze veroorzaken, alsook focusering bij grote concaaf gekromde oppervlakken. Het ontwerp van concertzalen is uiteraard bijzonder delicaat. Zo vereisen ze een specifieke hoeveelheid galm die afhankelijk is van de soort muziek, zodat enerzijds een volle, warme klank ontstaat maar anderzijds de muziek nog voldoende helder klinkt. Maar ook andere aspecten zoals luidheid en ruimtelijkheid zijn erg belangrijk. In de zaalakoestiek poogt men dan ook antwoorden te vinden op vragen als: Hoe kan men galm kwantificeren en beheersen? Hoe is de geluiddruk die veroorzaakt wordt door een geluidbron ruimtelijk verdeeld? En wat is het effect van (wijzigingen aan) het ontwerp van een ruimte op de auditieve beleving?

1.3 Korte historie

Reeds in de Grieks-Romeinse oudheid bestond er een zekere bouwakoestische kennis; deze komt bijvoorbeeld tot uiting in de goede spraakverstaanbaarheid in de openluchttheaters uit die periode. Gedurende een zeer lange tijd bleef deze kennis echter fragmentarisch en kwalitatief, en werd ze sterk beïnvloed door niet-wetenschappelijke theorieën. Deze situatie bleef zelfs bestaan nadat vanaf de 17^e eeuw de belangrijkste fysische verschijnselen in verband met geluid en geluidvoortplanting werden ontdekt, wat culmineerde in het tweedelig werk *The Theory of Sound* (1877) van John W. Strutt (Lord Rayleigh), die aan de Universiteit van Cambridge werkzaam was [129, 130]. Hoewel in dit werk zo goed als alle differentiaalvergelijkingen terug te vinden zijn die geluid- en trillingsvelden impliciet beschrijven, zijn de situaties waarvoor deze vergelijkingen daadwerkelijk (analytisch) opgelost kunnen worden, behoorlijk verschillend van de bouwakoestische praktijksituaties.

De eerste betrouwbare (d.w.z. fysisch onderbouwde) kwantitatieve bouwakoestische ontwerpformule, de nagalmformule, werd ontdekt in de periode 1895-1900, toen Wallace C. Sabine aan de Harvard-universiteit onderzoek deed naar galm in auditoria [137]. Deze ontdekking vormde de start van de bouwakoestiek als ingenieursdiscipline. Een volgende mijlpaal was het werk van Lothar Cremer over de luchtgeluidisolatie van enkelvoudige wanden (1942), waarin voor het eerst het coïncidentie-effect beschreven werd [29]. Na de Tweede Wereldoorlog nam het aantal analytische studies betreffende lucht- en contactgeluidisolatie van wanden en vloeren sterk toe. Belangrijke resultaten werden gebundeld in de referentiewerken van onder meer Lothar Cremer en Manfred Heckl [30] en Leo Beranek [15]. Om ook flankerende transmissie te kunnen analyseren, ontwikkelde Richard H. Lyon vanaf 1962 de statistische energie-analyse (SEA), een methode die toelaat om energiestromen te voorspellen tussen vibro-akoestische componenten waarin het trillings- of geluidveld diffuus is [107]. Onder impuls van onder meer Eddy Gerretsen werd een vereenvoudigde versie van de SEA voor de analyse van flankerende geluidtransmissie in gebouwen [48] gestandaardiseerd als Europese normenreeks EN 12354, ook

officieus bekend als de *akoestische eurocodes*. In 2017 werd deze normenreeks door de ISO (*International Organization for Standardization*) overgenomen onder hetzelfde nummer [88, 89, 90, 91]. Vanaf het midden van de jaren 1960 werden ook algemene numerieke technieken zoals de eindige-elementenmethode aangewend voor de modellering van akoestische, structurele en vibro-akoestische systemen (d.w.z. systemen met geluid-structuur-interactie) [165]. Hun rechtstreekse toepassing voor de analyse van grote systemen over een breed frequentiegebied - dit is de typische situatie in de bouwakoestiek - is echter problematisch omdat dit een zeer fijne discretisatie en dus een enorme rekenkracht vereist. De recente hybridisatie met SEA is een grote stap voorwaarts [141], ook voor de analyse van bouwakoestische problemen [132].

In hetzelfde jaar als waarin Rayleighs werk gepubliceerd werd, 1877, werden de luidspreker en de microfoon uitgevonden. De eerste versies waren echter niet bruikbaar voor metingen. Sabine gebruikte voor zijn experimenten orgelpijpen als geluidbron en het menselijk gehoor als meetinstrument: om de nagalmtijd te meten werd met een chronometer de tijd geregistreerd die nodig was om de onderbroken orgeltoon onhoorbaar te maken. Rond 1930 werden de orgelpijpen vervangen door elektrodynamische luidsprekers, die op dat moment voldoende vermogen hadden en het geluid relatief onvervormd (althans in amplitude) konden weergeven [136, 14]. Tot halverwege de jaren 1950 was er geen microfoon beschikbaar die een voldoende dynamisch bereik (luid-stil), een voldoende toonhoogtebereik, een voldoende stabiliteit en robuustheid tegen omgevingsinvloeden zoals temperatuur en relatieve vochtigheid, en een voldoende nauwkeurigheid had voor technische proeven [14]. Deze verscheen in 1958 op de markt, snel gevolgd door draagbare analoge sonometers (E: *sound level meters*) waarop ze gemonteerd werden [21, 127]. De sonometer vormt nog steeds, zij het in digitale vorm, het basisinstrument voor bouwakoestische metingen. De geluidintensiteitsmeter is een meer recente uitvinding [41].

1.4 Opbouw van het boek

Dit boek is ingedeeld in drie grote delen. Het eerste deel omvat hoofdstukken 2 tot en met 5. In dit deel worden eerst de relevante fysische aspecten rond geluid en geluidvoortplanting besproken (hoofdstuk 2). Vervolgens wordt dieper ingegaan op hoe de mens geluid waarneemt en welke gevolgen dit heeft op de grootheden en eenheden die in de technische akoestiek gebruikt worden (hoofdstuk 3). Daarna worden de bouwakoestische basisgrootheden zoals geluidisolatie en geluidabsorptie geïntroduceerd en worden de energetische formules afgeleid die toelaten om deze grootheden experimenteel te bepalen, alsook om bouwakoestische problemen te analyseren eens deze grootheden bekend zijn (hoofdstuk 4). De lezer beschikt dan over voldoende kennis om (norm)vereisten en productinformatie in verband met geluidisolatie en geluidabsorptie te begrijpen (hoofdstuk 5).

De volgende twee grote delen van het boek stellen de lezer in staat om de experimenteel vastgestelde bouwakoestische prestaties te begrijpen en de akoestische prestaties van een bouwkundig ontwerp te berekenen. In het tweede deel wordt de

geluidabsorptie meer in detail bestudeerd. Eerst worden geluidvelden geanalyseerd (hoofdstuk 6). Vervolgens komen de definities en meetmethoden, de fysische mechanismen en de modellering van geluidabsorberende systemen aan bod (hoofdstuk 7).

In het derde deel wordt de geluidisolatie in detail behandeld. Eerst worden trillingsvelden in platen geanalyseerd (hoofdstuk 8). Door vervolgens de interactie met de aangrenzende geluidvelden te bestuderen, kan de luchtgeluidisolatie van enkelvoudige wanden (hoofdstuk 9), de contactgeluidisolatie van vloeren (hoofdstuk 10) en de luchtgeluidisolatie van dubbele wanden (hoofdstuk 11) begroot worden. Tenslotte wordt aandacht besteed aan omloopgeluid en nevenwegtransmissie (hoofdstuk 12), zodat de geluidisolatie van bouwsystemen en volledige gebouwen kan bepaald worden.

1.5 Strategie voor lawaai beheersing in gebouwen

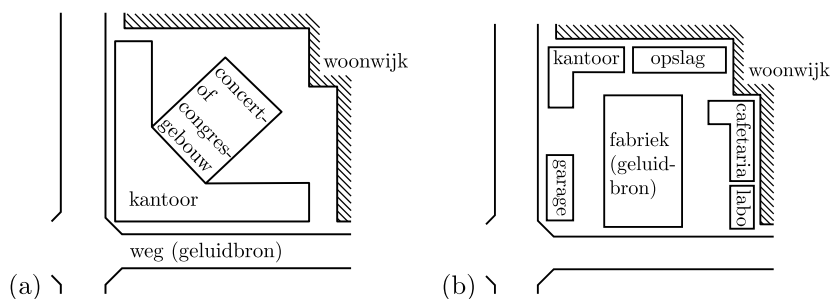
Alvorens in te gaan op de technische aspecten i.v.m. lawaai beheersing in gebouwen, is het nuttig om deze te kaderen in het volledige bouwproject. Nog te vaak worden de akoestische aspecten in een bouwproject immers verwaarloosd totdat, wanneer het project bijna voltooid is, een gebrekkige geluidisolatie en/of -absorptie wordt vastgesteld. Op dat moment kunnen de bouwakoestische gebreken meestal nog slechts gedeeltelijk verholpen worden en dit tegen een zeer hoge kostprijs.

Een strategie die wel passend is, bestaat uit de volgende stappen:

1. lawaai bronnen identificeren en zo veel mogelijk elimineren bij de start van het nieuwbouw- of renovatieproject;
2. rekening houden met akoestische aspecten bij het architecturaal (voor)ontwerp;
3. technische detaillering van het ontwerp naar geluidisolatie;
4. technische detaillering van het ontwerp naar geluidabsorptie;
5. toezien op het respecteren van het akoestische ontwerp gedurende alle projectfasen.

Bij de start van een bouwproject zijn al veel potentiële lawaai bronnen bekend. Het gaat daarbij zowel om externe bronnen zoals drukke wegen of horecazaken, als om interne bronnen zoals toestellen, liften en HVAC-installaties (*heating, ventilation, air conditioning*). Op de externe bronnen heeft men meestal weinig invloed en dus is het belangrijk om ze mee te nemen bij de keuze van de bouwlocatie. Interne bronnen die onaanvaarbare geluid- of trillingsniveaus veroorzaken, kan men soms weren via het bestek.

Aangezien geluidniveaus steeds afnemen met de afstand, is het bij het architecturaal (voor)ontwerp belangrijk om lawaai erige en rustige zones zo ver mogelijk uit elkaar te houden (fig. 1.3). Op die manier vermijdt men dat zeer hoge geluidisolatiewaarden moeten gehaald worden en dus ook de daaraan gerelateerde kostprijs. Zo is het in residentiële gebouwen aan te raden om de slaapkamers niet te laten grenzen aan lawaai erige gevels alsook om in appartementsgebouwen de slaapkamers van verschillende appartementen zo veel mogelijk aan elkaar te laten grenzen, zowel in



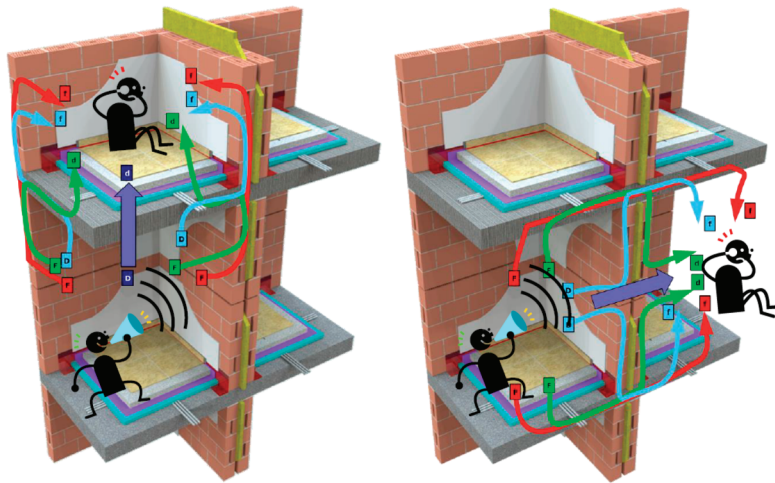
Figuur 1.3. Twee voorbeelden van architecturaal voorontwerp waarbij lawaaigevoelige zones gescheiden worden van de lawaaibronnen: (a) een auditorium wordt afgeschermd van een lawaaierige weg door tussenliggende kantoorruimtes, en (b) een woonwijk wordt afgeschermd van een lawaaierige fabriek door rustigere ruimtes. (Naar [109].)

horizontale als in verticale richting. Twee types van bouwprojecten zijn akoestisch zeer delicaat: projecten met gemengd gebruik, zoals appartementen boven een café of restaurant, of kantoorruimtes onder een fitnessruimte, en herbestemmingsprojecten, waarbij het gebouw dus een andere functie krijgt dan waar het oorspronkelijk voor ontworpen is.

Zodra de indeling vastligt, kan de benodigde geluidisolatie tussen de verschillende ruimtes (inclusief buitenruimtes) bepaald worden. In principe dient men per ruimte het maximaal toegelaten lawaainiveau te bepalen dat die ruimte mag bereiken vanuit de andere ruimtes. Als men dan voor elk van die andere ruimtes het geluidniveau bij normale activiteit inschat, kan de benodigde geluidisolatie voor elke combinatie van zend- en ontvangruimte begroot worden. Voor veelvoorkomende situaties is deze analyse echter al uitgevoerd en vindt men in de relevante normdocumenten rechtstreekse prestatie-eisen met betrekking tot de geluidisolatie terug. Zodra de prestatie-eisen bekend zijn, kan de technische detaillering van de bouwdelen en bouwknopen starten. Dit gebeurt best samen met de detaillering van de draagstructuur en de thermische detaillering, aangezien ze nauw verweven zijn. Bij de technische detaillering van een constructie naar geluidisolatie dient men niet alleen rekening te houden met rechtstreekse geluidtransmissie via de wand of vloer die twee ruimtes scheidt, maar ook met de andere paden waarlangs geluidgolven de ontvangruimte kunnen bereiken (fig. 1.4).

Bij het bepalen van de binnenafwerking in elke ruimte, dient de geluidabsorptie de nodige aandacht te krijgen. Ruimtes waarin veel lawaai geproduceerd wordt, grote ruimtes en ruimtes die voor lezingen en muziekkuitvoeringen gebruikt worden, vereisen vaak speciaal absorberende voorzieningen. Indien er in gangen en andere tussenruimtes zeer veel geluidabsorptie voorzien wordt, kunnen deze ook als akoestisch sas werken.

Tijdens het bouwproces is een nauwgezette en voortdurende kwaliteitscontrole op de werf van groot belang om ervoor te zorgen dat de beoogde prestatie-eisen effectief bereikt worden. De naleving van het bouwakoestische ontwerp en de bijbeho-



Figuur 1.4. Appartementengebouw met doorlopende draagvloeren en dubbele metselwerkwallen. Zowel in verticale als in horizontale richting plant het geluid zich niet enkel rechtstreeks doorheen de woningscheidende wand of vloer voort, maar ook via flankerende transmissiepaden. © WTCB.

rende detaillering verdient daarbij bijzondere aandacht, omdat zelfs ogenschijnlijk kleine foutjes de prestaties zeer nadelig kunnen beïnvloeden. Indien bijvoorbeeld het ontkoppelingsprincipe gebruikt wordt om een voldoende geluidisolatie te verkrijgen, is elk hard contactpunt tussen stijve, steenachtige materialen zeer nadelig.

In dit handboek ligt de nadruk op stappen 3 en 4, d.w.z. de detaillering van het ontwerp met betrekking tot geluidisolatie en geluidabsorptie, aangezien die het moeilijkst zijn: ze vereisen fysisch inzicht, ingenieur talent en vaak ook enige praktische ervaring. De andere stappen zijn echter evenzeer essentieel. Bij twijfel is het sterk aan te raden om een bouwakoestisch specialist bij het bouwproject te betrekken en dit in een zo vroeg mogelijk stadium.