

AURALISATIE ALS TOOL VOOR INCLUSIEF ONTWERPEN:

**EEN VERKENNEND ONDERZOEK MET DRIE
ERVARINGSDESKUNDIGEN**

Promotors:
Ann Heylighen &
Peter-Willem Vermeersch

Dany Ye
2^e master ingenieurswetenschappen:
architectuur (specialisatie: bouwtechnisch)
Academiejaar 2025 - 2026

Voorwoord

Een thesis schrijven is meer dan alleen onderzoek doen. Het is een proces van zoeken, bijleren, twijfelen en groeien. Ook voor mij was deze thesis niet enkel een academisch traject, maar tegelijk een persoonlijke ervaring die mijn kijk op architectuur en ruimtebeleving sterk heeft veranderd.

Tijdens mijn opleiding heb ik altijd de ambitie gehad om met mijn kennis en vaardigheden iets te kunnen betekenen voor anderen. De motivatie kreeg binnen deze thesis een extra persoonlijke betekenis: een dierbare persoon is op latere leeftijd blind geworden door erfelijke aandoeningen. Lange tijd vond ik het moeilijk om me voor te stellen hoe ingrijpend die verandering zou zijn. Hoe het voelt om een ruimte plots op een totaal andere manier te moeten ervaren dan voorheen.

Omdat inclusief ontwerpen en de beleving van ruimte voor mij aanvankelijk grotendeels onbekend terrein waren, volgde ik op aanraden van mijn promotoren het vak *'H03U1a Inclusive Design'* bij prof. Ann Heylighen. Het vak was een verrijkende ervaring. Het hielp mij niet alleen om inclusie beter te begrijpen, maar ook om beter samen te werken met ervaringsdeskundigen.

Deze thesis kwam tot stand dankzij de steun, begeleiding en betrokkenheid van vele mensen, aan wie ik graag mijn oprechte dank wil uitspreken. In de eerste plaats wil ik mijn promotoren, Ann Heylighen en Peter-Willem Vermeersch, bedanken voor hun begeleiding, kritische feedback en voortdurende ondersteuning tijdens dit traject. Daarnaast gaat mijn dank uit naar prof. Monika Rychtáriková en doctoraatsstudent Majid Lavasani voor hun hulp met Odeon, naar Archipelago voor de ondersteuning bij Treble, en naar Negin Eisazadeh voor de toestemming om beeldmateriaal te gebruiken. Ook wil ik de assessoren, Sam Michiels en Karel Vandenhende, bedanken voor hun interesse en voor het beoordelen van mijn werk.

Bijzondere dank gaat uit naar de ervaringsdeskundigen die bereid waren hun tijd, ervaringen en inzichten met mij te delen. Zonder hun openheid en medewerking had deze thesis niet dezelfde diepgang gehad.

Tot slot wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor hun steun en aanmoediging gedurende mijn volledige opleiding en tijdens het schrijven van deze thesis.

Abstract

Traditioneel is het architectonisch ontwerpproces sterk visueel georiënteerd, waarbij de auditieve dimensie van ruimtes vaak pas laat door gespecialiseerde akoestici wordt geanalyseerd. Hoewel de auditieve mogelijkheden in het ontwerp de laatste jaren zijn toegenomen door diverse softwarepakketten, wordt geluid tijdens het creatieve proces nog onvoldoende als ontwerpparameter ingezet. Deze benadering schiet tekort in het waarborgen van auditieve toegankelijkheid voor diverse gebruikersgroepen.

Auralisatie, het auditieve equivalent van visualisatie, biedt een manier om de akoestische beleving van een ruimte al tijdens het ontwerpproces hoorbaar te maken. In dit onderzoek wordt auralisatie benaderd als een verkennende, communicatieve en participatieve ontwerptool die de uitwisseling tussen technische akoestische parameters en subjectieve ruimtelijke ervaring kan ondersteunen binnen inclusieve ontwerppraktijken.

De centrale onderzoeksvraag luidt: **"Hoe kan auralisatie, met aandacht voor auditieve diversiteit, worden ingezet als een tool tijdens het ontwerpproces om tot meer inclusieve ruimtelijke ontwerpen te komen?"** Een grondige literatuurstudie legt de theoretische basis en identificeert auditieve diversiteit bij mensen met een zintuiglijke beperking of mensen die neurodivergent zijn: mensen met een visuele beperking hebben baat bij enige nagalm voor ruimtelijke oriëntatie, mensen met een auditieve beperking vereisen een korte nagalmtijd¹ voor spraakverstaanbaarheid², en mensen op het autismespectrum hebben vaak behoefte aan een korte nagalm en een laag geluidsniveau om sensorische overbelasting te voorkomen.

Door middel van een kwalitatieve casestudy binnen het kader van het herbestemmingsproject voor het Stadhuis van Leuven, waarbij drie ervaringsdeskundigen werden betrokken, werd onderzocht hoe auralisatie in een concrete ontwerpcontext kan functioneren. De sessies leverden niet alleen ontwerp-gerelateerde inzichten op, maar maakten ook zichtbaar hoe uiteenlopende auditieve ervaringen elkaar kunnen aanvullen of in spanning kunnen staan. Dit benadrukt dat inclusieve akoestiek niet kan worden herleid tot uniforme richtlijnen, maar eerder een proces is van afwegen en contextualiseren.

De bijdrage van dit onderzoek ligt in het verkennen van auralisatie als een communicatieve en participatieve ontwerptool die het begrip van akoestische ruimte-ervaring kan ondersteunen. De resultaten suggereren dat auralisatie kan bijdragen aan het expliciteren van impliciete kennis over geluid en ruimte, en het faciliteren van dialoog tussen architecten en ervaringsdeskundigen. Binnen de beperkingen van dit verkennend onderzoek wordt auralisatie hierbij beschouwd als een hulpmiddel voor participatieve reflectie, eerder dan als een zelfstandige ontwerpoplossing.

¹ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

² 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

Abstract | English version

Traditionally, architectural design is a predominantly visual discipline, where the acoustic dimension of space is often addressed only in later stages by specialist acousticians. Although recent software developments have increased the integration of acoustic considerations in the design process, sound is still not used sufficiently as a design parameter during early creative stages. This approach falls short in ensuring auditory accessibility for diverse user groups.

Auralisation, the auditory equivalent of visualisation, offers a way to make the acoustic experience of a space audible already during the design process. In this research, auralisation is approached as an exploratory, communicative, and participatory design tool that can support the exchange between technical acoustic parameters and the subjective, multimodal experience of space within inclusive design practices.

The central research question is: ***"How can auralisation, with attention to auditory diversity, be deployed as a tool during the design process to arrive at more inclusive spatial designs?"*** A comprehensive literature review provides the theoretical foundation and identifies auditory diversity among people with sensory impairments and neurodivergent individuals: people with visual impairments benefit from some reverberation for spatial orientation, people with hearing impairments require short reverberation times³ for speech intelligibility⁴, and autistic individuals often benefit from low reverberation and low sound levels to avoid sensory overload.

Through a qualitative case study conducted within the context of the adaptive reuse project of Leuven Town Hall, in which three user/experts were involved, the study explored how auralisation can function in a concrete design context. The sessions not only produced design-related insights but also revealed how different auditory experiences can complement each other or come into tension with one another. This highlights that inclusive acoustics cannot be reduced to uniform guidelines but should instead be understood as a process of negotiation and contextualisation.

The contribution of this research lies primarily in exploring auralisation as a communicative and participatory design tool that can support the understanding of acoustic spatial experience. The results suggest that auralisation may contribute to making implicit knowledge about sound and space more explicit, and to facilitating dialogue between architects and user-experts. Within the limitations of this exploratory study, auralisation is therefore considered a tool for participatory reflection rather than a standalone design solution.

³ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

⁴ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

Inhoudstafel

Voorwoord	2
Abstract	3
Abstract English version	4
Inhoudstafel	5
1. Inleiding	7
1.1. Aanleiding en probleemstelling	7
1.2. Onderzoeksdoel en relevantie	9
2. Onderzoeksmethodologie	10
2.1. Literatuurstudie	10
2.2. Kwalitatief casestudy onderzoek	11
2.2.1. Onderzoeksopzet en methodologische keuze	11
2.2.2. Dataverzameling	12
2.2.3. Ethische aspecten	14
3. Literatuurstudie & theoretisch kader	16
3.1. Auditieve diversiteit	16
3.1.1. Mensen met een visuele beperking	16
3.1.2. Mensen met een auditieve beperking	17
3.1.3. Mensen op het autismespectrum	18
3.1.4. De uitdaging van akoestische diversiteit: tussen verstaanbaarheid, ruimtelijkheid en rust	20
3.2. Akoestische kernbegrippen en hun rol in het ingenieursgesprek	21
3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)	22
3.2.2. Geluidslandschap (Soundscape)	23
3.2.3. Reflectie (kort en lang)	23
3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)	24
3.2.5. Achtergrondlawaai (Background Noise)	24
3.3. Auditief ontwerpen en inclusiviteit	25
3.4. Simulatiemethoden, auralisatie- en visualisatietechnieken	26
3.4.1. Evolutie van auralisatie	26
3.4.2. Het auralisatieproces: van model tot geluid	27
3.4.3. Integratie in ontwerp en uitdagingen	29
3.5. Conclusie	31
4. Casestudy: renovatie stadhuis Leuven	33
4.1. Projectcontext	33

4.2.	Relevantie van het project voor het onderzoek	43
4.2.1.	Data- en casusselectie: twee typologieën voor auditieve diversiteit	44
4.3.	Verkennend methodisch onderzoek	44
4.3.1.	Keuze simulatiemethode en auralisatietechniek	45
4.3.2.	Visualisatietechnieken	51
4.3.3.	Het 3D-model ontwerpen	53
4.4.	Inzichten van de ervaringsdeskundigen	65
4.4.1.	Ervaringsdeskundigen	65
4.4.2.	Routes doorheen het Stadhuis van Leuven	71
4.5.	Verworven inzichten	87
5.	Discussie en aanbevelingen	90
5.1.	Geluid en gebruiker: tussen theorie en geleefde ervaring	90
5.1.1.	Mensen met een visuele beperking	90
5.1.2.	Mensen met een auditieve beperking	90
5.1.3.	Mensen op het autismespectrum	91
5.1.4.	Cross-analyse: spanningsvelden tussen de gebruikersgroepen	92
5.1.5.	Aanvullingen naast de literatuur	93
5.2.	Onderzoeksbependingen	94
5.3.	Suggesties voor vervolgonderzoek	94
5.4.	Praktische implicaties	96
6.	Conclusie	98
6.1.	Antwoord op de deelvragen	98
6.2.	Antwoord op de centrale onderzoeksvraag	99
7.	Bibliografie	100
8.	Lijsten en bijlagen	107
8.1.	Lijst van tabellen	107
8.2.	Lijst van figuren	107
8.3.	Bijlagen	112
8.3.1.	Europese toegankelijkheidsnorm (EN 17621, technical report, p. 150) ..	112
8.3.2.	Vragenlijsten eerste interviewsessie	113
8.3.3.	Vragenlijsten tweede interviewsessie	117

1. Inleiding

1.1. Aanleiding en probleemstelling

"[...] We are predominantly a visually based discipline. We promote architecture visually, we write about it visually, we think and teach about it with only the visual aspects in mind." (Van Lengen, geciteerd in Massie, 2014)

Architectuur wordt vaak beschouwd als een visuele en ruimtelijke discipline, waarbij de nadruk vooral ligt op vorm, licht en materialiteit. Hierdoor wordt een essentieel aspect van de ruimtelijke ervaring en het menselijk welzijn vaak over het hoofd gezien: de auditieve beleving. Akoestiek wordt veelal pas in latere ontwerpfasen als technisch probleem behandeld, ondanks het feit dat ruimtes niet uitsluitend visueel worden waargenomen. Ruimtelijke ervaring is immers intrinsiek multisensorisch, waarbij geluid een wezenlijk en vormgevend onderdeel vormt van die beleving (Blesser & Salter, 2006; Vermeersch, 2013; Vermeersch & Heylighen, 2021).

Verschillende onderzoekers wijzen erop dat akoestisch comfort een bepalende rol speelt in hoe mensen architectuur ervaren, maar dat het desondanks structureel onderbelicht blijft in ontwerppraktijken (Heylighen et al., 2008; Milo, 2020; Patel, 2020). Geluid beïnvloedt ons welzijn, onze concentratie, onze communicatie en ons gevoel van veiligheid (Bettarello et al., 2022; Blesser & Salter, 2006; Goubran et al., 2023; Odelius et al., 2005; Zahorik & Brandewie, 2011). Talrijke onderzoekers benadrukken dan ook het belang van het integreren van akoestiek in de vroege ontwerpfase (Blesser & Salter, 2006; Milo, 2020; Pelzer et al., 2014; Thery et al., 2019; Vermeersch & Heylighen, 2021). In de huidige praktijk blijven akoestische kwaliteiten echter doorgaans uitgedrukt in abstracte, normatieve parameters (zoals nagalmtijd⁵ of spraaktransmissie-index (STI)⁶), cijfers die voor niet-experten moeilijk te vertalen zijn naar de concrete ruimtelijke ervaring. Hierdoor ontstaat een kloof tussen het technische inzicht van de akoesticus en het ruimtelijk creatieve ontwerpdenken van de architect (Milo, 2020).

De digitalisering van het ontwerpproces biedt hier nieuwe mogelijkheden. Auralisatie, het auditieve equivalent van visualisatie, is één van deze digitaliseringën. Deze techniek stelt ontwerpers in staat om letterlijk te “luisteren” naar een ontwerp nog vóór de bouw (Aspöck et al., 2014; Lavagna et al., 2022; Pelzer et al., 2014; Thery et al., 2022). Door abstracte parameters om te zetten in een directe, subjectief beleefbare auditieve ervaring, kunnen niet-becijferbare akoestische kwaliteiten, zoals de helderheid van een ruimte of de verstorende ophoping van echo's, worden geanalyseerd en begrepen vanuit het perspectief van de uiteindelijke gebruiker (Thery et al., 2022; Vorländer, 2020). Auralisatie heeft daarmee het potentieel om akoestiek te transformeren van een technische add-on naar een subjectieve ontwerpparameter.

Die transformatie is des te relevanter wanneer men erkent dat de gebouwde omgeving niet voor iedereen op dezelfde manier functioneert. Om dit te begrijpen, is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen akoestische en auditieve diversiteit. Akoestiek verwijst naar de manier waarop geluid zich gedraagt en klinkt binnen een ruimte (Woorden.org, z.d.-a), terwijl auditief betrekking heeft op het menselijk gehoor (Woorden.org, z.d.-b).

⁵ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

⁶ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

Akoestische diversiteit duidt dus op de variatie in hoe geluid in verschillende ruimten wordt ervaren: hetzelfde geluid klinkt anders in een drukke kantoorruimte dan in een stille leeszaal. Auditieve diversiteit daarentegen verwijst naar de verschillen in gehoor en geluidspceptie tussen mensen: twee personen in dezelfde ruimte kunnen het omgevingsgeluid heel anders waarnemen en beleven.

Dit onderscheid vormt de basis voor twee begrippen die in dit onderzoek centraal staan. Onder auditieve toegankelijkheid wordt in dit onderzoek verstaan de mate waarin een ruimte akoestisch bruikbaar is voor mensen met uiteenlopende auditieve behoeften, of waarin iedereen, ongeacht beperking of neurodivergentie, de ruimte goed kan horen, begrijpen en beleven. Akoestisch comfort wordt hier gehanteerd als een bredere term die ook gebruikers zonder beperking omvat en betrekking heeft op de algemene geluidskwaliteit en -beleving in een ruimte. Waar auditieve toegankelijkheid vertrekt vanuit diversiteit en inclusie, betreft akoestisch comfort de kwaliteit van de auditieve omgeving voor alle gebruikers.

De relevantie van een doordachte akoestische benadering toont zich daarbij op uiteenlopende manieren. Voor mensen met een visuele beperking kan een goed ontworpen geluidsomgeving functioneel zijn voor oriëntatie (Afonso-Jaco & Katz, 2022; Picinali et al., 2014; Rychtáriková, 2015). Voor mensen met een auditieve beperking kan het de spraakverstaanbaarheid⁷ verbeteren, wat het verschil betekent tussen wel of niet kunnen deelnemen aan een gesprek (Heylighen et al., 2008; Odelius et al., 2005; Zahorik & Brandewie, 2011). Voor mensen op het autismespectrum is een goede akoestiek van cruciaal belang voor hun welzijn en functioneren, vanwege sensorische verwerkingsverschillen zoals auditieve overgevoeligheid (Nagib & Williams, 2018). Akoestiek kan de grootste bron van stress zijn voor mensen met autisme (SENShome Interreg Project, geciteerd in Bettarello et al. (2022)), en een ontoereikende akoestiek kan leiden tot sensorische overbelasting, angst en stress (Bettarello et al., 2021; Kanakri et al., 2017).

Deze uiteenlopende perspectieven tonen aan dat akoestische kwaliteit niet louter een technische ontwerpparameter is, maar een bepalende factor in de mate waarin een ruimte toegankelijk en inclusief kan functioneren. Dit sluit aan bij het principe van inclusief ontwerp, dat streeft naar omgevingen die bruikbaar zijn voor mensen met een zo breed mogelijk scala aan capaciteiten (Heylighen et al., 2008). Toch blijft akoestiek ook binnen dit kader vaak onderbelicht:

“To our knowledge, however, studies on inclusive design in architecture have paid little attention to hearing so far. They tend to focus on accessibility of buildings and spaces, but rarely address their acoustic qualities.” (Heylighen et al., 2008, p. 75)

De centrale probleemstelling van dit onderzoek is daarom drieledig: (1) het traditionele architectonische ontwerpproces is sterk visueel georiënteerd en schiet tekort in het waarborgen van auditieve toegankelijkheid en inclusiviteit, (2) akoestiek wordt vaak pas laat als technisch add-on geëvalueerd via abstracte metrieken, wat een dieper begrip van de uiteenlopende auditieve behoeften van gebruikers belemmert, en (3) er is een kloof tussen de technische evaluatie van akoestiek en de integratie ervan als vormgevende parameter in het creatieve ontwerpproces.

⁷ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

Vanuit deze problematiek onderzoekt deze thesis de rol van auralisatie als brug tussen akoestische simulatie, subjectieve beleving en inclusief ontwerp. De focus ligt daarbij niet primair op de technische capaciteiten van de tool, maar op haar potentieel om het ontwerpproces te verrijken, het auditieve bewustzijn te vergroten en een dialoog over auditieve diversiteit te faciliteren.

Dit leidt tot de volgende hoofdonderzoeksvraag:

"Hoe kan auralisatie, met aandacht voor auditieve diversiteit, worden ingezet als een tool tijdens het ontwerpproces om tot meer inclusieve ruimtelijke ontwerpen te komen?"

1.2. Onderzoeksdoel en relevantie

Dit onderzoek heeft tot doel de toepassingsmogelijkheden van auralisatie voor inclusief ontwerp te verkennen. Dit wordt uitgewerkt via de volgende doelstellingen, die de deelvragen beantwoorden:

1. Hoe ervaren mensen met een zintuiglijke beperking of mensen die neurodivergent zijn geluid in een ruimte, en wat onthult dit over de diversiteit in hun auditieve beleving?

Deze vraag beoogt de constructie van een theoretisch kader voor 'auditieve inclusie' door een systematische analyse van de wijze waarop deze gebruikers geluid waarnemen en benutten. Hierbij wordt ingegaan op kenmerken als spraakverstaanbaarheid ⁸, nagalmtijd ⁹, achtergrondlawaai ¹⁰, ruimtelijke oriëntatiecues, akoestische voorspelbaarheid en het actief gebruik van geluid.

2. Welke auralisatietechnieken en simulatiemethodes bestaan er momenteel, en hoe worden ze toegepast binnen de architectuurpraktijk?

Dit onderdeel richt zich op de technische aspecten van auralisatie, met inbegrip van een kritische evaluatie van de sterktes en beperkingen van bestaande methodes, hun toepassingscontexten, en de benodigde software en hardware. Tevens wordt een historisch overzicht van de evolutie van auralisatie gepresenteerd.

3. Hoe beïnvloedt het gebruik van auralisatie de gezamenlijke verkenning en het begrip van auditieve ervaringen tijdens ontwerpgesprekken met ervaringsdeskundigen?

De vraag onderzoekt in hoeverre auralisatie bijdraagt aan het expliciteren van impliciete auditieve kennis, het ontstaan van gedeelde begrippen rondom geluid, en de ontwikkeling van een gezamenlijk referentiekader gedurende een co-creatieproces tussen ontwerper en ervaringsdeskundigen.

Dit onderzoek is relevant omdat het de domeinen architectonisch ontwerp, ruimteakoestiek en inclusiviteit met elkaar verbindt. Het positioneert auralisatie niet louter als een technische validatietool, maar als een inclusieve ontwerptool die kan bijdragen aan een meer mensgerichte architectuur (Blessner & Salter, 2006; Herssens, 2011; Milo, 2020; They et al., 2022; Vermeersch & Heylighen, 2021).

⁸ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

⁹ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

¹⁰ 3.2.5. Achtergrondlawaai (Background Noise)

2. Onderzoeksmethodologie

Dit onderzoek is opgebouwd uit twee opeenvolgende fasen: 2.1. Literatuurstudie en 2.2. Kwalitatief casestudy onderzoek.

2.1. Literatuurstudie

De eerste fase omvat een uitgebreide literatuurstudie die de beschikbare kennis in kaart brengt over auralisatie, inclusief ontwerp, en de impact van akoestiek op de drie centrale gebruikersgroepen in dit onderzoek: mensen met een visuele beperking, mensen met een auditieve beperking en mensen op het autismespectrum. Voor elk van deze groepen toont de bestaande literatuur aan dat de akoestiek van gebouwen een impact heeft op hun functioneren en hun welzijn. Studies waarin deze drie groepen als afzonderlijke categorieën direct met elkaar worden vergeleken, komen echter nauwelijks voor. Overlappende profielen, zoals autisme in combinatie met een visuele of auditieve beperking, worden daarentegen wel regelmatig onderzocht (Kinnear et al., 2020). Dit onderzoek positioneert zich bewust op die tekortkoming. Het doel van de literatuurstudie is bestaande kennis te synthetiseren, tekortkomingen te identificeren en een theoretisch kader te construeren als fundament voor de verdere onderzoeksfasen.

Google Scholar en Limo werden gebruikt om papers te vinden. Daarna werd de lijst aangevuld met enkele papers die door mijn promotoren waren voorgesteld. De gebruikte zoektermen omvatten onder meer:

Google Scholar: ("Auralization" OR "Auralisation") AND ("Inclusive design" OR "Universal design"), "blind users AND architecture", "Architectural acoustics" AND ("blind" OR "visual impairment"), "Acoustic simulation" AND ("blind" OR "visual impairment"), "Architectural acoustics" AND ("autism" OR "ASD" OR "hyperacusis"), "Acoustic simulation" AND ("autism" OR "ASD" OR "hyperacusis"), ("Speech intelligibility" OR "room acoustics") AND "hearing impairment", "Architectural acoustics" AND "hearing impairment", "Acoustic simulation" AND "hearing impairment", "Auralization" AND "design process", auralization AND blind users, auralization AND Architecture, soundscape AND accessibility, acoustic simulation AND user perception

Limo: "auralisations acoustics", "auralisations acoustics, indoor, architecture", "blind AND visually impaired users", "acoustics needs", "architecture"

De zoekstrategie is opgebouwd rond de kernvraag: ***“Hoe kan auralisatie, met aandacht voor auditieve diversiteit, worden ingezet als een tool tijdens het ontwerpproces om tot meer inclusieve ruimtelijke ontwerpen te komen?”*** Voor een gerichte literatuurzoekopdracht is het gebruik van de Booleaanse operator ‘AND’ onmisbaar. Zonder deze operator kunnen zoekresultaten ook documenten bevatten die slechts op één van de twee deelonderwerpen ingaan. Zo wordt bijvoorbeeld een publicatie gevonden die uitsluitend over algemene architecturale akoestiek handelt, of een andere die uitsluitend een specifieke gebruikersgroep behandelt. In die gevallen ontbreekt het verband tussen de akoestische eigenschappen en de gebruikersgroep. Relevantie is alleen gegarandeerd wanneer beide concepten verplicht in dezelfde publicatie voorkomen. De literatuur dient immers specifiek in te gaan op de akoestische kenmerken van een ruimte in relatie tot een bepaalde beperking of zintuiglijke gevoeligheid.

Deze methode leverde ongeveer 68 papers op. De abstract, introductie en conclusie werden gelezen, waarna een samenvatting met een kritische reflectie werd gemaakt. In een eerste fase werd hiervoor gebruikgemaakt van AI-ondersteuning om snel een overzicht te genereren van relevante papers. Al snel bleek echter dat de relevantiecriteria van AI niet overeenkwamen met mijn relevantiecriteria. Dit is een vaststelling die de vraag oproept wat 'relevant' precies betekent en vanuit welk perspectief die beoordeling wordt gemaakt. De papers werden daarom opnieuw geordend op basis van een eigen inhoudelijke beoordeling en vervolgens gelezen, met bijbehorende samenvattingen en kritische reflecties. Niet-relevante papers, zoals zeer theoretische artikelen over akoestiek, technieken of neurologische concepten, werden verwijderd. Deze verwijdering leverde een uiteindelijke hoeveelheid van 52 relevante papers op.

De overgebleven papers werden een tweede keer gelezen en geanalyseerd aan de hand van de categorieën: thema, techniek/auralisatie, gebruikersgroep, voor- en nadelen, en opmerkingen. Vervolgens werden de papers gesorteerd per auralisatietechniek en simulatiemethode, inclusief hun toepassing in VR-omgevingen of CAD-software. Een poging om dit overzicht via AI te genereren bleek opnieuw onvoldoende betrouwbaar, waarna werd gekozen voor een volledige manuele analyse. Per paper worden gedetailleerde nota's bijgehouden om latere raadpleging mogelijk te maken zonder herlezing. Uit deze analyse werden de voornaamste technieken en methodes afgeleid, met als doel de lezer een helder overzicht te bieden van de beschikbare middelen en hun werking.

2.2. Kwalitatief casestudy onderzoek

2.2.1. Onderzoeksopzet en methodologische keuze

De opzet van dit onderzoek vergt een zorgvuldige keuze van onderzoekscomponenten, afgestemd op de aard van de onderzoeksvraag. Centraal staat niet het meten van objectieve grootheden, maar het verkennen van inzichten, leerprocessen en interacties. In de literatuur worden vaak mixed-methodsbenaderingen toegepast om naast kwalitatieve inzichten ook kwantitatieve gegevens over deelnemerservaringen te verzamelen. Zo maakten Castronovo et al. (2013) gebruik van een Likertschaal om de responsen te kwantificeren.

In dit onderzoek wordt echter bewust gekozen voor een kwalitatieve casestudybenadering binnen het herbestemmingsproject van het Stadhuis van Leuven, waarbij auralisatie wordt ingezet als communicatieve en participatieve ontwerptool. De casuskeuze wordt verder toegelicht in sectie 4.2.

Deze keuze sluit aan bij de focus op de ervaringsgerichte en auditieve dimensie van de ruimte. De casestudy maakt het mogelijk om de contextafhankelijke dynamiek van ontwerpinteracties en reflectieprocessen in detail te onderzoeken. Daarnaast biedt ze ruimte om te analyseren hoe akoestische inclusie kan worden geïntegreerd in het ontwerpproces, ook wanneer er beperkte of geen gespecialiseerde akoestische expertise aanwezig is, en hoe auralisatie hierbij het ontwerpdenken en de ontwerpprocedure kan beïnvloeden.

In deze tweede fase worden kwalitatieve gegevens verzameld via semigestructureerde interviews met ervaringsdeskundigen, aangevuld met observaties. Bij deze methode wordt

vooraf een topiclijst met thema's en open vragen opgesteld, maar tijdens het gesprek blijft het vrij om door te vragen en af te wijken van de vaste volgorde. Die flexibiliteit sluit aan bij de laatste deelvraag van het onderzoek, die draait om perceptie, leerproces en interactie. Op deze manier kan diepgaand worden achterhaald wat ervaringsdeskundigen precies hoorden in de auralisaties, hoe zij dat beleefden, en wat zij als prettig of hinderlijk ervoeren. Daarbij wordt eveneens gevraagd naar de kwaliteiten en hindernissen waarmee zij worden geconfronteerd en kunnen deelnemers zelf andere onderwerpen ter discussie inbrengen. Ook biedt de methode ruimte om het leerproces in kaart te brengen: wat namen deelnemers mee uit het testen, en hoe ontwikkelde hun luistergedrag of inzicht zich?

2.2.2. Dataverzameling

De dataverzameling bestaat uit drie hoofdfasen:

Fase 1: Selectie en ontwikkeling van auralisaties

In de eerste fase staan de selectie en verdere ontwikkeling van auralisaties centraal, die allemaal voortbouwen op de inzichten uit de voorafgaande literatuurstudie en de testen met verschillende softwarepakketten. Deze fase vormt de methodologische basis voor het verdere onderzoek. Hiertoe werden vooraf twee typen auralisaties getest: de pre-rendered auralisatie (Treble) en de hybride auralisatie (Odeon + Unreal). De keuze voor deze twee tools werd bepaald door de beschikbare toegangsmogelijkheden voor studenten van de KU Leuven. De versies van Odeon en Treble bleken beschikbaar: enerzijds via het departement Bouwakoestiek, anderzijds via promotor Peter-Willem Vermeersch. Op basis daarvan werd uiteindelijk voor deze twee gekozen. Odeon is een software dat nog steeds veelvuldig wordt toegepast door akoestische ingenieurs. Treble daarentegen is een recente online software, gelanceerd in 2023. Het wordt inmiddels ingezet in architectenkantoren zoals Archipelago, waar architecten ermee werken. De meest geschikte en gebruiksvriendelijke tool wordt vervolgens gebruikt in de daaropvolgende sessies.

Fase 2: Interventie & dataverzameling

Deze fase is primair gericht op het beantwoorden van deelvraag 3 en daarmee op het beantwoorden van de hoofdvraag.

Onderzoeksdesign en deelnemers

De studie hanteert een kwalitatieve onderzoeksopzet, bestaande uit sessies met ervaringsdeskundigen (N=3), waaronder personen met een visuele beperking (N=1) en personen op het autismespectrum (N=2). De deelnemers werden gerekruteerd via de Adviesraad Toegankelijkheid van Leuven. Dit is een bewuste keuze aangezien de ervaringsdeskundigen van deze Adviesraad reeds betrokken waren bij het project rond het Stadhuis van Leuven. Tijdens een vergadering van de Adviesraad Toegankelijkheid gaven drie geïnteresseerde kandidaten aan te willen deelnemen op basis van hun eigen interesse en beschikbaarheid. Per sessie wordt kwalitatieve feedback verzameld over de auditieve beleving van de geselecteerde ruimtes.

Verloop van de sessies

Eerst vindt een introductiemoment plaats, gevolgd door een pre-interview waarin de algemene auditieve behoeften van de deelnemers worden vastgesteld. Vervolgens wordt een luisteranalyse afgenomen met subgroepspecifieke vragen: bijvoorbeeld over oriëntatie bij personen met een visuele beperking of over spraakverstaanbaarheid¹¹ bij personen met een auditieve beperking (zie bijlagen, 8.3.2 Vragenlijsten eerste interviewsessie).

Tijdens de sessie doorlopen de ervaringsdeskundigen virtueel de geselecteerde routes doorheen het stadhuis om een zo volledig mogelijke beleving van het gebouw te krijgen. (verder toegelicht in sectie 4.4.2). Na elke virtuele ruimte wordt aan de deelnemers gevraagd of zij zich comfortabel voelden in die ruimte, met toelichting op hun antwoord. Daarop volgen verdiepende vragen. Na de auralisatie worden zowel subgroepspecifieke als algemene vragen gesteld, gericht op het verkrijgen van nadere informatie over de ervaringen tijdens de simulatie. Tot slot wordt aan het einde van de sessie om verbeteruggesties gevraagd.

Aansluitend op de eerste sessie werd een vervolgsessie gepland. In deze sessie zouden de besproken aandachtspunten voor het Stadhuis van Leuven worden geïmplementeerd in alternatieve versies van de simulatie. Tijdens een nieuwe bijeenkomst zouden deze aanpassingen worden besproken en verder bediscussieerd, wat verdere verdieping en co-creatie mogelijk zou maken. Wegens tijdsgebrek werd deze geplande sessie vervangen door een check-upsessie waarin de eerder opgedane inzichten werden vastgelegd en gevalideerd. Aanvullende verdiepvragen en vragen over andere gebruikersgroepen zorgen ervoor dat er een algemeen beeld ontstaat van de verschillende groepen en hun kennis van elkaars domeinen. (zie bijlagen, 8.3.3. Vragenlijsten tweede interviewsessie).

Fase 3: Data-analyse & synthese

De laatste fase omvat de grondige analyse en synthese van alle verzamelde data. De kwalitatieve data-analyse start met het transcriberen van alle interviews. Vervolgens wordt deze data geanalyseerd met behulp van thematische analyse, een systematische methode om patronen te identificeren (Caulfield, 2021). Het coderingsproces verloopt in twee stappen: eerst vindt open codering plaats, waarbij initiële labels worden toegekend aan uitspraken, waarna wordt gezocht naar overkoepelende thema's. Voorbeelden van dergelijke thema's zijn bewustwording en empathie, de vertaling van inzichten naar ontwerp, de waarde van directe feedback en de rol van auralisatie als gemeenschappelijke taal.

Tijdens de synthese worden de kwalitatieve bevindingen uit de verschillende sessies met elkaar vergeleken en in relatie gebracht tot het theoretische kader. Hierbij wordt nagegaan in welke mate de empirische resultaten aansluiten bij of afwijken van de literatuur, en worden eventuele spanningen, aanvullingen en nuances tussen beide niveaus in kaart gebracht.

Om de representatie van de ervaringsdeskundigen te waarborgen, werden de draftversies van de delen waarin de ervaringsdeskundigen voorkomen, na de check-upsessie en vóór de indiening van de thesis, aan hen voorgelegd ter goedkeuring en feedback. Dit betrof delen van de methodologiesectie (2.2.3. Ethische aspecten), de casestudysectie (4.4.

¹¹ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

Inzichten van de ervaringsdeskundigen) en de sectie over discussie en aanbevelingen (5.1. Geluid en gebruiker: tussen theorie en geleefde ervaring). Deze terugkoppeling gebeurde via e-mail en had als doel na te gaan of hun ervaringen en perspectieven correct en respectvol werden weergegeven.

2.2.3. Ethische aspecten

Wetenschappelijk onderzoek met deelnemers vereist een zorgvuldige ethische onderbouwing, gericht op het waarborgen van hun rechten, welzijn en privacy. Dit hoofdstuk licht de ethische principes en praktische maatregelen toe die ten grondslag liggen aan het onderzoek **“Auralisatie als tool voor inclusief ontwerpen: een verkennend onderzoek met drie ervaringsdeskundigen”**.

Alle sessies vinden plaats in een stille, akoestisch gecontroleerde ruimte en duren maximaal 2,5 à 3 uur. Gegevens worden verzameld via audio-opnames, observatienotities en transcripties. Na transcriptie worden alle opnames onderworpen aan een thematische analyse, waarbij de observatienotities worden geïntegreerd om leerprocessen, interactiekwaliteit en emotionele reacties in kaart te brengen. Tot slot worden de teksten van secties 2.2.3, 4.4 en 5.1 vóór indiening van de thesis opnieuw ter inzage en correctie voorgelegd aan de ervaringsdeskundigen.

Het onderzoek is ontworpen rondom de fundamentele ethische principes: respect voor autonomie, welzijn, rechtvaardigheid en het vermijden van schade. Deze principes komen allereerst tot uiting in de transparante informatieverstrekking via de *Informed Consent-formulieren* (ICF's). Hierin worden het doel, de procedures en de verwachtingen duidelijk uiteengezet. Voor elke groep worden realistische tijdsinvesteringen gespecificeerd: ongeveer vijf uur voor ervaringsdeskundigen, verdeeld over meerdere sessies. Deze openheid stelt potentiële deelnemers in staat een volledig geïnformeerde keuze te maken.

Een centraal recht van de deelnemer is de vrijwilligheid van deelname. Dit wordt nadrukkelijk gewaarborgd. Deelnemers kunnen te allen tijde, zonder opgaaf van reden en zonder enige negatieve consequentie, het onderzoek verlaten of ervoor kiezen om bepaalde vragen niet te beantwoorden. Dit recht op autonomie wordt voorafgaand aan elke sessie opnieuw bevestigd. Hoewel de risico's van het onderzoek als minimaal worden ingeschat, worden mogelijke ongemakken, zoals vermoeidheid of emotioneel onbehagen bij het bespreken van ontoegankelijke ervaringen, niet genegeerd. Er worden duidelijke voorzieningen getroffen, zoals het aanbieden van pauzes en de mogelijkheid om te stoppen, om het welzijn van de deelnemer te beschermen.

De bescherming van de privacy en de vertrouwelijkheidsbehandeling van gegevens zijn van het grootste belang. Een strikt datamanagementplan, conform de *General Data Protection Regulation* (GDPR) en de richtlijnen van de KU Leuven, garandeert pseudonimisering. Alle persoonsgegevens worden direct gecodeerd, audio- en video-opnames worden uitsluitend voor deze thesis gebruikt, en alleen de onderzoeker en de promotoren hebben toegang tot de ruwe data. Afhankelijk van de keuze van de deelnemer kan de verdere gegevensdeling beperkt blijven tot de promotor en co-promotor, tot de onderzoeksgroep van de promotor en co-promotor (Research[x]Design, KU Leuven), of tot andere KU Leuven-onderzoeksgroepen. In wetenschappelijke publicaties zullen resultaten, indien gewenst, pseudoniem worden gerapporteerd. Deze maatregelen creëren een veilige ruimte voor openheid en eerlijke feedback.

Deelnemers dragen bij aan zowel directe als maatschappelijke voordelen, zoals kennisuitwisseling en het bevorderen van inclusief ontwerp. De ethische kaders waarbinnen dit onderzoek werd uitgevoerd, sluiten aan bij het postdoctorale onderzoeksproject van Natalia Pérez Liebergesell. Dit project werd voorafgaand aan het onderzoek ter goedkeuring voorgelegd aan de Ethische Commissie van de KU Leuven en werd goedgekeurd onder de code G-2023-6237-R3(MAR). Binnen dit goedgekeurde kader werden ook de procedures rond *informed consent* en dataverzameling toegepast op de thesis.

3. Literatuurstudie & theoretisch kader

Dit hoofdstuk bouwt het theoretische fundament op waarop de rest van dit onderzoek rust. Om de rol van auralisatie in een inclusief ontwerpproces te begrijpen, is het noodzakelijk om eerst de bredere context te verkennen. Daartoe wordt in een eerste sectie ingegaan op auditieve diversiteit: de verschillen in geluidspereceptie tussen mensen en de implicaties daarvan voor drie specifieke gebruikersgroepen. Vervolgens worden de akoestische kernbegrippen toegelicht die doorheen deze thesis terugkeren, telkens gekoppeld aan hun betekenis in een gesprek met een akoestisch ingenieur. In een derde sectie wordt onderzocht hoe deze concepten worden vertaald naar ontwerpprincipes voor een auditief toegankelijke en inclusieve omgeving. Ten slotte worden de simulatiemethoden en auralisatietechnieken besproken die ontwerpers in staat stellen akoestische kwaliteiten te verbeelden en te communiceren nog vóór de bouw. Het hoofdstuk sluit af met een conclusie die de belangrijkste inzichten samenbrengt en de brug legt naar het empirische luik van dit onderzoek.

3.1. Auditieve diversiteit

Het streven naar inclusief ontwerp brengt een fundamentele ontwerpuitdaging aan het licht: de auditieve behoeften van verschillende gebruikersgroepen kunnen tegenstrijdig zijn. Dit spanningsveld vormt de kern van wat dit onderzoek verstaat onder auditieve diversiteit.

3.1.1. Mensen met een visuele beperking

Voor mensen met een visuele beperking functioneert het gehoor als het primaire zintuig voor ruimtelijke oriëntatie en navigatie. Zij zijn afhankelijk van auditieve cues zoals echo's, galm en geluidsmodulatie om een mentale kaart van hun omgeving te vormen (Herssens, 2011; Rychtáriková, 2015).

Binnen de groep mensen met een visuele beperking bestaan er verschillen in auditieve verwerking tussen mensen die vroeg blind zijn en mensen die op latere leeftijd blind zijn geworden. Mensen die vroeg blind zijn, vertrouwen sterker op auditieve en haptische input bij de vorming van hun ruimtelijk begrip, terwijl mensen die later blind zijn geworden, vaak een beroep kunnen doen op visueel geheugen. Dit uit zich in een vaak superieure prestatie bij auditieve localisatietaken bij mensen die vroeg blind zijn, een nuance die van invloed kan zijn op de effectiviteit van specifieke akoestische interventies (Herssens, 2011; Picinali et al., 2014).

Deze nuances in akoestiek transformeren het geluid van achtergrondinformatie naar een medium voor waarneming en oriëntatie. Uit het werk van Hull & Hayhoe (2019) blijkt dat een rijke akoestische omgeving (soundscape¹²) functionele informatie en een existentieel gevoel van aanwezigheid biedt. Zijn ervaring illustreert het onderscheid tussen twee vormen van niet-visuele navigatie. Enerzijds is er navigatie door voorspelling, waarbij het geheugen als kaart dient. Hij beschrijft dit als: "*I know them from memory. They give no immediate evidence of their presence*" (Hull, 1990, pp. 22-24, geciteerd in Hull & Hayhoe, 2019), een mentaal proces dat is gebaseerd op interne kennis. Anderzijds is er de ervaring van navigatie via coherent geluid, waarbij het geluid zelf als een directe livekaart fungeert. Dit wordt zichtbaar in zijn reflectie op de regen: "*The rain presents the fullness of an entire*

¹² 3.2.2. Geluidslandschap (Soundscape)

situation all at once [...] [and] gives a sense of perspective" (Hull, 1990, pp. 22-24, geciteerd in Hull & Hayhoe, 2019). Waar de eerste vorm de wereld statisch en op afstand houdt, onthult de tweede de ruimte dynamisch en creëert een gevoel van verbondenheid met de omgeving. Een hoogwaardige akoestische omgeving is voor iemand die blind is dan ook een kwestie van functionele toegankelijkheid, veiligheid en welzijn, en niet louter van comfort (Poirier-Quinot et al., 2016; Rahman et al., 2021).

De specifieke auditieve behoeften zijn gericht op het mogelijk maken van deze auditieve navigatie. Een ruimte moet heldere, ruimtelijke cues bieden via vroege reflecties¹³ en een gebalanceerde nagalm, waarbij zowel een te lange galmtijd als een volledig 'dode' ruimte problematisch zijn (Kurniawan et al., 2004; Rychtáriková, 2015). Een 'dode' ruimte, of anechoïsche ruimte, is een ruimte die extreem stil is, aangezien alle geluid en echo's door de materialen in de kamer worden geabsorbeerd (Hoorzorg Specialist Sander, 2025). Cruciaal is de mogelijkheid tot actieve echolocatie via mondklikken of stoktikken, waarbij gebruikers een "duidelijke voorkeur voor hun eigen mondklikken" tonen (Poirier-Quinot et al., 2016). Consistentie en voorspelbaarheid in de soundscape¹⁴ zijn essentieel, evenals het strategisch gebruik van natuurlijke akoestische landmarks.

Auralisatie kan een cruciaal hulpmiddel zijn door dergelijke auditieve signalen al in de ontwerpfase te simuleren. Onderzoek toont aan dat auditieve virtual reality (Audio-VR) mensen die blind zijn in staat stelt virtuele ruimtes te verkennen en deze nauwkeurig te begrijpen (Afonso-Jaco & Katz, 2022; Picinali et al., 2014). Poirier-Quinot (2025) benadrukt het belang van "*cue-preserving auralisations*" waarin essentiële, subtiele geluids informatie getrouw wordt weergegeven. Zo onderzochten ze hoe "*cue-preserving auralisations*" kunnen worden geoptimaliseerd voor een realistische auditieve verkenning van virtuele binnenruimtes door mensen die blind of slechtziend zijn. De studie toonde aan dat, naast het behoud van akoestische signalen, natuurlijke interactie cruciaal is om het potentieel van auditieve oriëntatie (zoals echolocatie via mondklikken) volledig te benutten. Voor een geloofwaardige virtuele omgeving zijn technisch gezien hoge eisen essentieel, waaronder een hoge ruimtelijke resolutie, ondersteuning voor hoofdtracking en extreem lage latentie (Afonso-Jaco & Katz, 2022; Poirier-Quinot et al., 2016).

Kortom, een doordachte akoestiek stelt mensen met een visuele beperking in staat een functionele dialoog met de ruimte aan te gaan, wat de sleutel vormt tot zelfstandige navigatie en een rijke ruimtelijke ervaring (Poirier-Quinot et al., 2016; Vermeersch & Heylighen, 2021).

3.1.2. Mensen met een auditieve beperking

Voor mensen met een auditieve beperking vormen akoestische uitdagingen zich primair rond het centrale thema van spraakverstaanbaarheid¹⁵. De auditieve vereisten verschillen sterk tussen mensen met slechthorendheid en mensen die doof zijn. Voor mensen met een gehoorbeperking staat het maximaliseren van de spraakverstaanbaarheid¹⁶ centraal. Het type en de mate van gehoorverlies, zoals hoogfrequent verlies, bepalen daarbij de optimale akoestiek (Zaar & Carney, 2022). Voor mensen die doof zijn gaan primair af op gebarentaal,

¹³ 3.2.3. Reflectie (kort en lang)

¹⁴ 3.2.2. Geluidslandschap (Soundscape)

¹⁵ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

¹⁶ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

verschuift de prioriteit naar visuele toegankelijkheid en een akoestiek die visuele communicatie ondersteunt. Een te lange nagalm kan bijvoorbeeld niet alleen spraak vertroebelen, maar ook de concentratie verstoren bij wie afgaat op lippen of gebaren, door de alsnog aanwezige geluidsverstoring (Goubran et al., 2023).

Achtergrondlawaai ¹⁷, galm en echo's bemoeilijken het kritische proces van het onderscheiden van spraakinformatie aanzienlijk (Brown & Bacon, 2010; Ding et al., 2023). Traditionele normatieve metrieken bieden waardevolle, maar beperkte inzichten, omdat zij uitgaan van een typisch gehoorprofiel.

Auralisatie biedt hier een innovatief perspectief door objectieve metingen te koppelen aan auditieve modellen die verschillende gehoorverliesprofielen simuleren (Minnaar et al., 2010; Zaar & Carney, 2022). Deze benadering stelt ontwerpers in staat niet alleen akoestische prestaties te meten, maar ook te ervaren hoe mensen met bijvoorbeeld hoogfrequent gehoorverlies een ruimte beleven (Zahorik & Brandewie, 2011). Verschillende studies demonstreren deze toepassingen, waaronder onderzoek naar draadloze hoofdtelefoons in musea (Abraham & Manohar, 2015) en de koppeling van virtuele geluidsomgevingen aan hoortoesteltests (Minnaar et al., 2010).

Uit onderzoek komen duidelijke vereisten naar voren voor een gelijkwaardige participatie. De kernbehoefte is optimale spraakverstaanbaarheid ¹⁸, vertaald naar drie cruciale parameters: een korte nagalmtijd ¹⁹ (idealiter $\approx 1,0$ seconde voor grote zalen), een hoge STI-waarde ²⁰ ($> 0,75$ voor volledige zinsverstaanbaarheid) en minimaal achtergrondlawaai ²¹ (Heylighen et al., 2008; Odelius et al., 2005). Technische ondersteuning via inductielussen is essentieel, maar kan nooit een slechte basisakoestiek compenseren.

De behoefte reikt echter verder dan alleen spraakverstaanbaarheid ²². Minnaar et al. (2010) benadrukken dat "*the spatial aspects of sound*" eveneens essentieel zijn voor een natuurlijke luisterervaring. Deze complexe vereisten vragen om geavanceerde testmethoden, zoals het VR-systeem van Guastamacchia et al. (2024) dat een inclusieve evaluatiemethodologie biedt met directe gebruikersfeedback.

Concluderend vereist een toegankelijke akoestische omgeving voor mensen met een auditieve beperking een integrale aanpak: een korte nagalmtijd ²³, hoge spraakverstaanbaarheid, lage ruisniveaus, het behoud van ruimtelijke cues en hoogwaardige technische ondersteuning. Alleen zo kan worden voldaan aan de dubbele behoefte aan zowel verstaanbaarheid als een complete, natuurlijke luisterervaring.

3.1.3. Mensen op het autismespectrum

Voor mensen op het autismespectrum vormt de alledaagse geluidsomgeving vaak een bron van intense stress en sensorische overbelasting. Deze uitdaging wordt gekenmerkt door een diversiteit aan auditieve behoeften, wat het spectrum weerspiegelt. Onderzoek toont

¹⁷ 3.2.5. Achtergrondlawaai (Background Noise)

¹⁸ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

¹⁹ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

²⁰ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

²¹ 3.2.5. Achtergrondlawaai (Background Noise)

²² 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

²³ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

aan dat een meerderheid last heeft van hypergevoeligheid voor geluid, waarbij de auditieve verwerking wordt gekenmerkt door moeite met het filteren van achtergrondgeluid. Alle geluiden worden vaak met gelijke intensiteit en urgentie verwerkt (Bettarello et al., 2021). Dit kan resulteren in wat vaak wordt omschreven als een sensorische overstroming, met angst, ongemak en soms crisisgedrag tot gevolg. Daarentegen is een kleinere groep hyposensitief en zoekt juist extra geluidsprikkels op, waarbij een te stille omgeving kan leiden tot onderprikkeling en compenserend gedrag (Bettarello et al., 2021; Zaniboni & Toftum, 2023). Het creëren van een ondersteunende akoestische omgeving is daarom een fundamentele voorwaarde voor welzijn, communicatie en participatie, en gaat ver voorbij aan comfort. Deze variatie in behoeften vereist een ontwerp dat een scala aan akoestische zones binnen een gebouw biedt, van stille retreats tot actievere ruimtes. Op deze manier kunnen gebruikers zelfregie uitoefenen over hun sensorische input.

Voor personen met hypergevoeligheid zijn de aanbevelingen primair gericht op het creëren van een voorspelbare en gedempte omgeving. Dit begint met het handhaven van een laag algemeen geluidsniveau. Onderzoek wijst op een drempelwaarde van ongeveer 50 dB om stressgerelateerd gedrag te helpen verminderen (Caldas et al., 2024; Zaniboni & Toftum, 2023). Daarnaast is de nagalmtijd²⁴ een bepalende factor. Een lange nagalm zorgt voor een ophoping van echo's, wat een ruimte overweldigend kan maken. Een nagalmtijd²⁵ tussen 0.4 en 0.7 seconden wordt daarom gezien als ideaal om een "kalme" omgeving te creëren (Bettarello et al., 2022). Deze kwantitatieve maatregelen concretiseren het bredere principe om achtergrondlawaai²⁶, echo en nagalm actief te vermijden als bronnen van hinder (Zaniboni & Toftum, 2023). Het vermijden van onverwachte geluiden is eveneens cruciaal. Om dit alles te bereiken zijn architectonische maatregelen zoals geluidsisolatie, zonering en het gebruik van absorberende materialen essentieel om storende geluiden van buitenaf en uit aangrenzende ruimtes te bufferen (Zaniboni & Toftum, 2023). Op persoonlijk niveau kunnen actieve ruisonderdrukkende apparaten uitkomst bieden (Zaniboni & Toftum, 2023).

Voor personen met hypogevoeligheid ligt de focus niet op het elimineren van geluid, maar op het mogelijk maken van veilige en gecontroleerde sensorische input. Een centraal uitgangspunt is dan ook dat geluid niet verwijderd, maar tolereerbaar gemaakt moet worden (Zaniboni & Toftum, 2023). Dit kan door het gebruik van persoonlijke apparaten voor geluidsversterking of geluidsveldversterking, of door het diffuse aanbieden van voorspelbare achtergrondgeluiden zoals roze ruis (Zaniboni & Toftum, 2023).

Veel aanbevelingen dienen echter een dubbele functie en dragen bij aan een inclusief ontwerp voor het volledige spectrum. Architectonische strategieën zoals zonering en isolatie creëren bijvoorbeeld een gecompartmenteerde omgeving die hypergevoeligen beschermt, maar die tegelijkertijd afgebakende ruimtes creëert waar hypogevoeligen geluid kunnen opzoeken zonder anderen te storen. Assisterende technologie, zoals gelsensoren, kan uiteindelijk worden ingezet om de omgeving te monitoren en persoonlijke regie te ondersteunen (Zaniboni & Toftum, 2023).

De architectonische aanpak moet verder reiken dan enkel de akoestische afwerking. Effectieve geluidsisolatie is essentieel om mensen op het autismespectrum te beschermen

²⁴ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

²⁵ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

²⁶ 3.2.5. Achtergrondlawaai (Background Noise)

tegen geluid van buitenaf en uit aangrenzende ruimtes. Zo blijkt uit een casestudy dat onvoldoende isolatie tussen woonunits kan leiden tot conflicten tussen bewoners (Nguyen et al., 2020). Daarnaast moet de ruimtelijke indeling zelf voorspelbaar en logisch zijn, waarbij activiteitzones worden gecompartmenteerd en bufferruimtes worden ingezet om geluiden te scheiden (Caldas et al., 2024). Deze maatregelen, in combinatie met ruimschoots gebruik van geluidsabsorberende materialen, zijn essentieel voor het creëren van een omgeving die sensorische overbelasting voorkomt en het welzijn ondersteunt.

3.1.4. De uitdaging van akoestische diversiteit: tussen verstaanbaarheid, ruimtelijkheid en rust

Uit onderzoek komt naar voren dat de definitie van 'hoogwaardige akoestiek' verre van eenduidig is en voor verschillende gebruikersgroepen vaak tegenstrijdig wordt opgevat.

Voordat de tegenstellingen tussen gebruikersgroepen worden uitgelicht, is het belangrijk om de gemeenschappelijke noemers te identificeren. Ondanks schijnbare tegenpolen zijn deze duidelijk. Alle groepen zijn gebaat bij het vermijden van schadelijk of onvoorspelbaar lawaai. Nog crucialer is de gedeelde behoefte aan controle en keuzevrijheid. Dit uit zich concreet in de mogelijkheid om zich terug te trekken in een stille ruimte of te vertrouwen op consistente akoestische signalen. Deze gezamenlijke basis sluit aan bij het pleidooi voor '*user-centered design*' (Bettarello et al., 2021), waarbij de ervaring van de eindgebruiker centraal staat.

Het conflict situeert zich in de spanning tussen verstaanbaarheid en ruimtelijke oriëntatie. Voor mensen met een auditieve beperking is een korte nagalmtijd²⁷ essentieel. Een te lange nagalm laat lettergrepen in elkaar overlopen, waardoor spraak onverstaanbaar wordt (Heylighen et al., 2008). Voor mensen met een visuele beperking daarentegen is diezelfde nagalm een cruciaal hulpmiddel voor akoestische *wayfinding*. Dit conflict wordt treffend samengevat door Goubran et al. (2023):

“Since long reverberation times are known to be harmful to communication it is often assumed that shorter reverberation times are always better, however this is not the case. [...] Reverberation time should also reflect the proportions of the space to facilitate orientation and wayfinding for people with vision loss.” (p. 36)

Een tweede tegenstelling manifesteert zich in de perceptie van geluid: is het informatie of storing? Het geroezemoes in een gang is voor een persoon met een visuele beperking een waardevolle aanwijzing voor menselijke aanwezigheid, maar voor een persoon met autisme een ondraaglijke afleiding die kan leiden tot sensorische overbelasting. Zelfs technologische oplossingen creëren nieuwe conflicten: Assisterende Luistersystemen (ALS) leveren weliswaar een zuiver spraaksignaal aan slechthorenden, maar kunnen ook leiden tot sociale isolatie (Goubran et al., 2023).

Concluderend vereist auditieve diversiteit een balancerende daad. Het vraagt ontwerpers om de paradoxen te omarmen en te erkennen dat de ideale omgeving geen vaststaand gegeven is, maar een flexibel ecosysteem dat de gebruiker de regie geeft. Zo wordt de gebouwde omgeving niet langer een bron van uitsluiting, maar een platform voor gelijkwaardige participatie, waar "*the full richness of the acoustical information*" (Minnaar

²⁷ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

et al., 2010) behouden blijft voor wie het nodig heeft, en gedempt wordt voor wie erdoor overweldigd raakt.

De techniek van auralisatie kan niet alleen waardevol zijn voor het valideren van ontwerpen voor één specifieke groep, maar kan in dit onderzoek ook worden onderzocht als een essentiële tool voor het onderhandelen tussen deze auditieve diversiteit. Door verschillende akoestische scenario's en 'zones' binnen een virtueel model hoorbaar te maken, kunnen ontwerpers en gebruikers samen een optimale balans vinden. Het kan teams in staat stellen om de akoestische trade-offs, zoals het spanningsveld tussen een korte nagalmtijd²⁸ voor spraak en een langere voor oriëntatie, concreet te ervaren en af te wegen (Guastamacchia et al., 2024; Thery et al., 2022). Op deze manier kan auralisatie het ontwerp van 'akoestische zoning' faciliteren, waarbij verschillende delen van een gebouw zijn geoptimaliseerd voor verschillende functies en gebruikers, als praktische oplossing voor auditieve diversiteit.

3.2. Akoestische kernbegrippen en hun rol in het ingenieursgesprek

Voordat we ingaan op de onderwerpen inclusief ontwerp en auralisatie, is het goed om stil te staan bij een aantal begrippen die terugkomen bij het bespreken van akoestische en auditieve uitspraken. De uitleg blijft eenvoudig: het gaat erom dat we de begrippen begrijpen, niet dat we ze zelf gaan berekenen. Later in het ontwerpproces wordt hiervoor namelijk een akoestisch ingenieur ingeschakeld.

Het ontwerpen van akoestiek gaat over het vormgeven van de fysieke omgeving om de auditieve ervaring en de functionaliteit te optimaliseren. Dit is geen exacte wetenschap met universele regels, maar een ontwerpdiscipline die rekening moet houden met diverse gebruikersbehoeften en contexten (Anderson, 2022; ARUP & Aural Diversity Network, 2024; Hugill, 2022).

ARUP en Aural Diversity Network (2024) ontwikkelden de Aural Diversity Toolkit als referentie-instrument voor bouwprofessionals, vertrekkend vanuit een fundamentele kritiek: de meeste akoestische standaarden zijn gebaseerd op een 'geoptimaliseerd' gehoor en missen daardoor de uiteenlopende behoeften van een auditief diverse populatie. Zo is de gangbare dBA-maat afgeleid uit luisterproeven met 'gezonde' 18- tot 25-jarigen en weerspiegelt ze de breedte van de auditieve ervaringen niet.

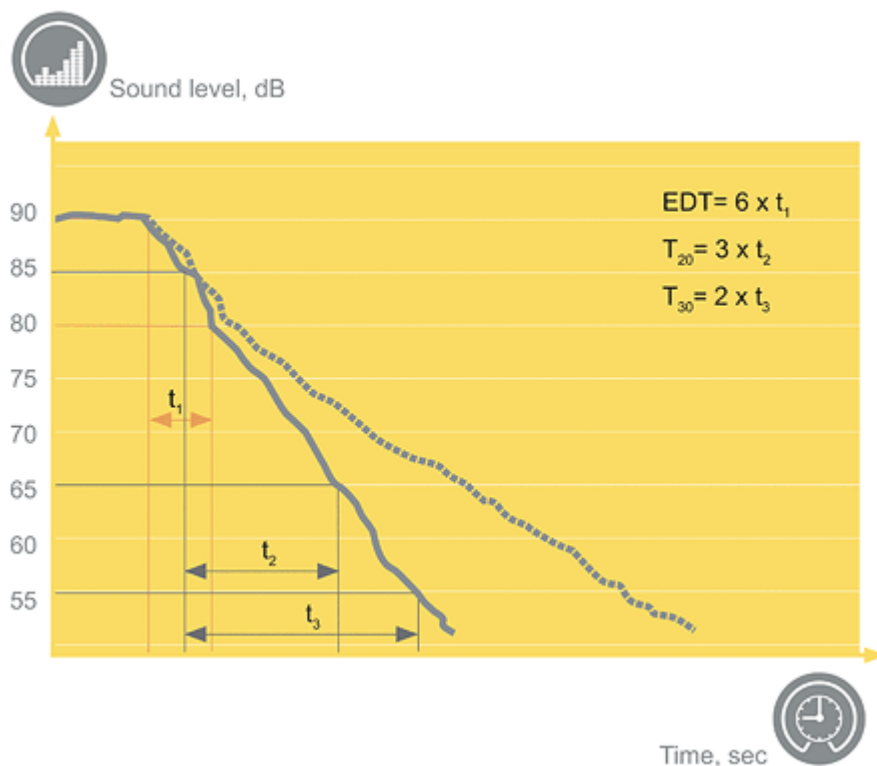
Wanneer architecten, ervaringsdeskundigen of opdrachtgevers in gesprek gaan met een akoestisch ingenieur, verzorgt die het rekenwerk en de objectieve onderbouwing, terwijl de andere partijen zich vooral subjectief opstellen. Voor architecten is het essentieel om de vertaalslag te kunnen maken tussen ontwerpintenties en de objectieve parameters die een akoestisch ingenieur zal meten en modelleren. Het gaat daarbij niet om het onthouden van exacte waarden, maar om het begrijpen van welk auditief fenomeen er achter een bepaalde meting schuilgaat, en hoe dat door vorm- en materiaalkeuze wordt beïnvloed.

Hieronder worden de vijf kernbegrippen voor deze thesis toegelicht die bij auralisaties het meest aan bod zullen komen:

²⁸ 3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

3.2.1. Nagalmtijd (Reverberation Time – RT/T60)

De nagalmtijd (RT of T60) is de tijd in seconden die nodig is voordat een geluidsniveau in een ruimte met 60 dB afneemt nadat de geluidsbron is gestopt, en fungeert zo als een objectieve, meetbare parameter voor de galm of echo (*Reverberation Time in Room Acoustics*, 2023). In de praktijk wordt die zestig daling niet altijd rechtstreeks gemeten, daarom gebruikt men verschillende delen van de galmcurve. Zo meet men de EDT (Early Decay Time) over de eerste 10 dB van het verval. Deze vroege nagalm geeft vaak beter weer hoe wij galm ervaren. Voor het meten van de late nagalm worden grotere niveau-intervallen gebruikt: T20 over 20 dB en T30 over 30 dB. Zowel bij T20 als bij T30 wordt de meting pas gestart nadat het geluidsniveau al met 5 dB is gedaald, om pieken en vroege reflecties²⁹ uit te sluiten. Als de nagalmcurve perfect lineair zou zijn, zouden EDT, T20 en T30 allemaal dezelfde uitkomst opleveren. In de praktijk is de curve echter niet recht (stippellijn), waardoor de parameters onderling verschillen (Ecophon, z.d.).



Figuur 1 Grafiek nagalmtijd | Overgenomen uit *Nagalmtijd*, door Ecophon, z.d. (<https://www.ecophon.com/nl/about-ecophon/acoustic-knowledge/room-acoustic-descriptors/reverberation-time/>).

Deze waarde is fundamenteel voor de akoestische kwaliteit: een te lange nagalmtijd, vaak het gevolg van veel harde, reflecterende materialen, kan leiden tot een rommelige en onverstaanbare akoestiek waar geluiden elkaar overlappen, terwijl een te korte nagalmtijd een ruimte juist ‘doods’ en ongezellig kan maken en de natuurlijke versterking van spraak of muziek belemmert (Campbell et al., 2015; Institute of Acoustics (IOA) & Association of Noise Consultants (ANC), 2015). De ideale waarde is echter niet universeel, maar wordt bepaald door de functie van de ruimte. Zo vereist een concertzaal een langere nagalmtijd voor muzikale rijkheid, terwijl een klaslokaal een korte nagalmtijd nodig heeft voor optimale spraakverstaanbaarheid³⁰.

²⁹ 3.2.3. Reflectie (kort en lang)

³⁰ 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

In gesprek met de ingenieur: Omdat T60 vrijwel nooit haalbaar is door beperkingen van apparatuur of door achtergrondlawaai³¹ en ruis, wordt er vaak gekeken naar T20 en T30 om een benadering van T60 te verkrijgen. Zo kan worden berekend dat $T60 \approx 3 \times T20$ of $T60 \approx 2 \times T30$ (Beldam, 2018; *Reverberation Time in Room Acoustics*, 2023).

Daarbij is het cruciaal om te beseffen dat twee ruimtes met dezelfde nagalmtijd toch een heel verschillende akoestische beleving kunnen opleveren, afhankelijk van de verdeling en het type absorptiemateriaal (Campbell et al., 2015).

3.2.2. Geluidslandschap (Soundscape)

De soundscape vertegenwoordigt een benadering die verder gaat dan het louter meten van het geluidsniveau (dB). Het omvat de akoestische omgeving zoals die door mensen in hun specifieke context wordt waargenomen en begrepen (Kang et al., 2016), en benadrukt juist de kwalitatieve, subjectieve en vaak positieve dimensie van geluid. Deze benadering verschuift de focus essentieel van 'geluid als overlast bestrijden' naar 'geluid als hulpbron ontwerpen', waarbij wordt erkend dat geluid betekenis, sfeer en oriëntatie kan geven. Denk aan het geruststellende geluid van een fontein of het oriënterende geluid van voetstappen op een bepaald materiaal (Secchi et al., 2017).

In gesprek met de ingenieur: soundscape-ontwerp vraagt om andere evaluatiemethoden dan alleen decibelmeters. Een ingenieur kan verwijzen naar psychoakoestische metrieken zoals luidheid, scherpheid, ruwheid en fluctuatiersterkte, die de subjectieve ervaring beter benaderen. Het gesprek gaat dan minder over "hoeveel dB" en meer over "welk karakter heeft het geluid hier?" en "maskert dit geluid storende elementen?"

Onderzoek toont aan dat deze perceptie wordt gevormd door een samenspel van interdisciplinaire factoren: akoestische metingen, psychoakoestiek (luidheid, scherpheid, ruwheid en fluctuatiersterkte), ruimtelijke vormgeving en de sociale dimensie (Axelsson et al., 2010; Hong & Jeon, 2017). In de praktijk is soundscape-ontwerp daarom bij uitstek participatief en inclusief, aangezien geluidspereceptie sterk verschilt tussen individuen (ARUP & Aural Diversity Network, 2024). Het uiteindelijke doel is niet het bereiken van een universeel akoestisch ideaal, maar het creëren van een betekenisvolle en toegankelijke geluidsomgeving voor diverse gebruikersgroepen (Renel, 2022).

3.2.3. Reflectie (kort en lang)

Het akoestische fenomeen van reflectie, ofwel de terugkaatsing van geluidsgolven op een oppervlak, vormt een fundamenteel principe in de ruimteakoestiek. Het tijdsverloop van deze reflecties is hierbij essentieel: vroege reflecties, die het oor binnen ongeveer 50 milliseconden na het directe geluid bereiken, helpen ons brein bij het lokaliseren van de bron en versterken op een nuttige manier de geluidsterkte, wat de spraakverstaanbaarheid³² ten goede komt. Late reflecties, die na deze kritische grens arriveren, worden daarentegen apart waargenomen als echo's of galm en kunnen de verstaanbaarheid juist schaden (Blessner & Salter, 2006; Fay, 2013).

In gesprek met de ingenieur: De ingenieur zal het hebben over het tijddomein en de impulsrespons. De verdeling van energie tussen vroeg en laat wordt gekwantificeerd met

³¹ 3.2.5. Achtergrondlawaai (Background Noise)

³² 3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

parameters zoals C50 (voor spraak) en C80 (voor muziek), die de verhouding tussen vroege en late energie uitdrukken (SonaVyx, z.d.). Een hoge C50-waarde betekent meer helderheid. Voor muzikale ruimtelijkheid is de Lateral Fraction (LF) een cruciale parameter. Deze meet de energie van zijwaartse vroege reflecties die bijdragen aan het gevoel van omhulling (enveloppement) (SonaVyx, z.d.).

Het beheersen van deze reflecties door middel van vormgeving en materialisering staat daarom centraal, waardoor een ontwerper kan sturen waar, wanneer en hoe sterk geluiden reflecteren om specifieke akoestische effecten te creëren, van een intieme fluistergalerij tot een helder gesprekspodium. In de praktijk wordt reflectie zo'n actieve ontwerptool, zoals zichtbaar in de *Bishop Edward King Chapel* (2025), waar gebogen houten wanden zorgvuldig zachte, diffuse reflecties creëren voor een serene sfeer. Deze aanpak sluit aan bij het concept van architect Kengo Kuma, die spreekt over "*onomatopoeia architecture*", waarbij materialen en vormen worden geselecteerd om specifieke, gewenste geluiden en reflectiepatronen te genereren (Tsimpou, 2025).

3.2.4. Spraakverstaanbaarheid (Speech Intelligibility)

Spraakverstaanbaarheid, ofwel de mate waarin gesproken taal correct wordt begrepen, is een subjectieve perceptie die toch kan worden voorspeld op basis van objectieve parameters. Deze verstaanbaarheid is van kritiek belang in educatieve, werk- en zorgomgevingen, waar een lage kwaliteit kan leiden tot cognitieve overbelasting, vermoeidheid, verminderde prestaties en frustratie (Hamida et al., 2024).

In gesprek met de ingenieur: de akoestische beoordeling ervan steunt vaak op twee belangrijke objectieve maten: de C50 (Clarity Index), die de verhouding tussen vroege en late geluidsenergie aangeeft en waar een verschil van ongeveer 1 dB al waarneembaar is (Bradley et al., 1999), en de complexere STI (Speech Transmission Index), die zowel galm als achtergrondlawaai³³ integreert om de spraakoverdracht te voorspellen (Minelli et al., 2020; Probst et al., 2017). De STI wordt uitgedrukt op een schaal van 0 (onverstaanbaar) tot 1 (perfect). Voor een klaslokaal of vergaderzaal is een STI > 0.75 vaak het streefdoel (*Speech Clarity | Room Acoustic Descriptors | Ecophon, z.d.*). Deze drempelwaarde mag echter niet eenduidig worden geïnterpreteerd als garantie voor goede verstaanbaarheid voor alle gebruikers, aangezien de waargenomen spraakverstaanbaarheid sterk afhankelijk blijft van individuele factoren zoals leeftijd en gehoorvermogen. Dit wordt benadrukt in de Europese toegankelijkheidsnorm (EN 17621, technical report, p. 150), waarin wordt aangegeven dat STI-waarden contextafhankelijk moeten worden geïnterpreteerd en dat voor bepaalde gebruikersgroepen, zoals oudere luisteraars met een auditieve beperking, een STI van 0,75 in de praktijk niet altijd haalbaar of voldoende is (zie bijlage, sectie 8.3.1). In het akoestisch ontwerp kan de focus dus verschuiven van het louter behalen van streefwaarden naar het garanderen van effectieve spraakverstaanbaarheid voor diverse gebruikersgroepen met uiteenlopende auditieve profielen.

3.2.5. Achtergrondlawaai (Background Noise)

Achtergrondlawaai omvat alle ongewenste geluiden in een omgeving die een auditieve taak, zoals luisteren of concentreren, kunnen verstoren, of deze nu van buitenaf komen (verkeer) of van binnenuit (HVAC-systemen, pratende collega's) (Nureva support, 2024). Het belang

³³ 3.2.5. Achtergrondlawaai (Background Noise)

ervan schuilt in het feit dat het het doelgeluid maskeert, waardoor de signaal-ruisverhouding verslechtert. Zelfs bij lage niveaus kan constant achtergrondlawaai stress veroorzaken en de cognitieve functie aantasten (Erfanian et al., 2019). Bovendien vormt het de basismatrix waarop alle overige geluiden moeten worden waargenomen.

In gesprek met de ingenieur: de beheersing ervan vindt plaats via een drietal benaderingen: bronaanpak (stille installaties), overdrachtsaanpak (geluidsisolatie) en ruimteakoestiek (absorptie om het niveau ter plaatse te verlagen). Deze benadering komt overeen met het “*Source-Path-Receiver Model*”, waarbij geluid wordt aangepakt aan de bron, tijdens de overdracht of ter hoogte van de ontvanger (Larsen et al., 2022). In soundscape-ontwerp kan soms zelfs ‘gewenst’ achtergrondgeluid, zoals natuurgeluiden, worden ingezet om storende geluiden te maskeren, een strategie die bekend staat als soundscaping. Voor de objectieve beoordeling worden metingen doorgaans uitgedrukt in A-gewogen decibels (dBA), die de gevoeligheid van het menselijk oor nabootsen (Gracey & Associates, 2023).

3.3. Auditief ontwerpen en inclusiviteit

“In architecture, inclusive design aims at environments that are accessible, useable and comfortable for all people.” (p. 82) — Heylighen et al. (2008)

Het concept van ‘*aural architecture*’, zoals beschreven door Blesser & Salter (2006), omvat vier dimensies: sociale, navigatie-, esthetische en muzikale ruimtes. Zij stellen dat, als architectuur esthetisch aantrekkelijk kan worden ontworpen voor het oog, dit evengoed mogelijk moet zijn voor het oor. Deze dimensies staan echter vaak met elkaar in conflict, wat bewuste ontwerpkeuzes vereist waarbij de akoestiek wordt afgestemd op de functie van de ruimte. Blesser & Salter (2006) concluderen dat elke ruimte een unieke auraliteit bezit die haar functie en sfeer mede bepaalt, en pleiten ervoor om de auditieve ervaring als een even fundamentele component van de architectuur te beschouwen.

Herssens (2011) sluit hierop aan en stelt dat architectuur te visueel georiënteerd is. In haar raamwerk voor multi-zintuiglijk ontwerpen onderscheidt ze negen haptische parameters: textuur, luchtdoorlatendheid, elasticiteit, temperatuur, soortelijk gewicht, kromming, oriëntatie, configuratie en grootte, om de ruimtelijke ervaring voor iedereen te verbeteren.

Rychtáriková (2015) toont aan dat mensen die blind of slechtziend zijn het soundscape actief gebruiken om een mentale kaart van hun omgeving te vormen. Dit impliceert dat ontwerpers niet alleen moeten nadenken over visuele esthetiek, maar ook over de akoestische kwaliteit en helderheid van een ruimte.

Het belang van akoestiek reikt echter veel verder. Zo beschrijft Larsson (2016) de impact van achtergrondgeluid:

“Noise affects human health and wellbeing in several ways. A Task Force of the World Health Organisation (WHO, 1993) has identified the following specific health effects: interference with communication, noise-induced hearing loss, annoyance responses, and effects on sleep, cardiovascular and psychophysiological systems, performance, productivity and social behaviour. Various combinations of these effects are considered critical for specific environments such as dwellings, schools, hospitals, concert halls, outdoor concerts and discotheques, as well as for sensitive time periods (night- and daytime, weekends).”

Deze passage benadrukt dat geluid niet enkel een fysiek fenomeen is, maar ook een factor die diep ingrijpt op de gezondheid, het gedrag en het sociaal functioneren. Patel (2020) benadrukt daarom dat akoestiek vanaf het begin moet worden geïntegreerd in het ruimtelijke ontwerp, de materiaalkeuze en de architectonische intentie. De huidige reactieve aanpak, waarbij akoestiek pas op het einde van het ontwerpproces wordt toegevoegd, mist de kans om geluid als vormgevende parameter te benutten en het als integraal onderdeel te laten vormen binnen elk architectonisch ontwerpproces.

Williams et al. (2016) pleiten voor samenwerking tussen architecten, technologen en eindgebruikers om de voordelen van technologie optimaal te benutten. Defays et al. (2014) onderstrepen eveneens het belang van samenwerking tussen disciplines en stellen:

“The collaboration between architects and acousticians is critical to the success of a design project, but continuous exchange between them is sometimes difficult to organize during the design project.” (p. 13)

Tijdens het symposium *“Sound-Driven Design”* werd de toekomst van geluidsgedreven ontwerp verkend, met een centrale focus op geluid als een ‘tussenobject’ dat co-creatie kan faciliteren. Hieruit kwam een debat naar voren: moet geluid worden benaderd als een op zichzelf staand object, of eerder als een relationeel fenomeen dat pas ontstaat in de interactie tussen luisteraar en omgeving? Dit vraagstuk zet aan tot een herdefiniëring van de rol van de ontwerper, die steeds meer verschuift van individuele maker naar facilitator van een collectief proces. Deze verschuiving wordt vooral concreet in de praktijk van inclusief ontwerp, waar de inzet van auralisatie de expert transformeert: niet langer is hij of zij primair de technicus die scenario's simuleert, maar veeleer de facilitator die met behulp van die simulaties een gedeelde, ervaringsgerichte dialoog mogelijk maakt (*Symposium on Sound Driven Design*, 2025). Zij wijzen op de nieuwe mogelijkheden die digitalisering biedt om geluid als ontwerpparameter te integreren.

De kracht van deze integratie ligt in een wederzijdse versterking: inclusief ontwerp biedt een ethisch kader dat verder kijkt dan standaardnormen, terwijl auditief ontwerp methodologische instrumenten aanreikt. Auralisatie stelt ontwerpers in staat om inclusiviteit al in de ontwerpfase te integreren (Thery et al., 2019). Zo transformeert auditief ontwerp het inclusiviteitsideaal naar een meetbare ontwerpparameter, waarbij akoestische kwaliteiten bewust worden ingezet voor toegankelijke ruimtes.

3.4. Simulatiemethoden, auralisatie- en visualisatietechnieken

3.4.1. Evolutie van auralisatie

De geschiedenis van auralisatie gaat terug tot de tweede helft van de 20e eeuw, toen onderzoekers begonnen te zoeken naar manieren om de auditieve ervaring van een ruimte te simuleren. In de beginjaren, nog vóór de digitale revolutie, werd dit vaak gedaan aan de hand van schaalmodellen: fysieke miniatuurmodellen van concertzalen of kamers. In die miniatuur zond men geluid uit met een heel hoge toon (frequentie), omdat het geluid in het kleine model een evenredig kortere golflengte moet hebben om op dezelfde manier te kaatsen en te galmen als in de echte ruimte. Deze analoge aanpak gaf waardevolle inzichten, maar was tijdrovend en beperkt in flexibiliteit (Kleiner et al., 1993; Vorländer, 2020).

Met de komst van digitale signaalverwerking en krachtigere computers in de jaren 1980 werd het mogelijk om akoestiek te modelleren met numerieke methoden. Onderzoekers zoals Mendel Kleiner, Bengt-Inge Dalenbäck en Peter Svensson (1993) introduceerden toen het begrip “*auralization*”, dat ze omschreven als het proces van het genereren van hoorbare geluidssignalen die overeenkomen met hoe een ruimte zou klinken, een akoestisch equivalent van visualisatie (Vorländer, 2020).

Tijdens de jaren 1990 ontwikkelden zich verschillende simulatiebenaderingen, zoals de image-source-methode, ray tracing en finite-difference modelling. Deze technieken maakten het mogelijk om geluidsgolven virtueel te berekenen in plaats van fysiek te meten, en zo voor het eerst realistische geluidswaargaves van virtuele ruimtes te creëren. De toepassing van auralisatie in de zaalakoestiek en het architectonisch ontwerp nam in deze periode een vlucht, bijvoorbeeld om het verschil te beoordelen tussen verschillende ontwerpen voor een concertzaal nog vóórdat de bouw begon (Vorländer, 2014).

In deze beginfase van de digitale auralisatie lag de focus sterk op de objectieve analyse van akoestische parameters, zoals nagalmtijd of geluidsabsorptie, eerder dan op de subjectieve beleving van de luisteraar (Vorländer, 2014). Toch legde dit de basis voor de latere ontwikkeling van auralisatie als perceptuele en immersieve tool.

Vanaf de jaren 2000 verschoof de aandacht naar binaurale reproductie en 3D-audio-rendering, waarmee onderzoekers konden inspelen op de manier waarop mensen geluid in de ruimte waarnemen. Door het gebruik van *head-related transfer functions* (HRTF) werd het mogelijk om geluid via een hoofdtelefoon zo te filteren dat het overeenkwam met de natuurlijke richtingservaring van het menselijk oor (Vorländer, 2020).

Vandaag is auralisatie uitgegroeid tot een interdisciplinaire tool die wordt toegepast in architectuur, virtuele realiteit, akoestische simulatie en inclusief ontwerp. Dankzij real-time technieken zoals *dynamic ambisonics* en VR-integratie kunnen gebruikers zich auditief door een ruimte bewegen terwijl het geluid zich voortdurend aanpast aan hun positie. Deze evolutie heeft de kloof tussen ontwerp, simulatie en menselijke ervaring verkleind, waardoor architecten, ingenieurs en onderzoekers nu letterlijk kunnen ‘luisteren naar hun ontwerpen’ (Vorländer, 2020).

3.4.2. Het auralisatieproces: van model tot geluid

Auralisatie maakt deel uit van een cyclisch proces waarin simulatie, auralisatie en VR samenkomen om akoestiek te genereren en te ervaren. Het proces start met een digitaal ontwerpmodel (bijvoorbeeld in AutoCAD) dat als input dient voor de simulatie. Tijdens de auralisatie is het resulterende geluid hoorbaar, en als de akoestiek niet voldoet, wordt het model aangepast en wordt de cyclus herhaald. Het auraliseren kan de ervaring verder verrijken met visuele elementen via VR of met tastbare feedback via haptische modellen.

Praktische implementatie

Het proces verloopt volgens deze stappen:

1. Creëren van een 3D-model in CAD-software met materiaaltoekenning via laagstructuren
2. Export naar compatibel formaat voor simulatiesoftware

3. Strategische plaatsing van geluidsbronnen en ontvangers voor *Room Impulse Response* (RIR)³⁴-berekening in de simulatiesoftware
4. Indien werken met een visualisatietechniek zoals VR:
 - a. Export van gesimuleerde impulsresponsies naar VR-engine
 - b. Integratie van *spatializers* (*spatial audio engines*)³⁵ voor realistische geluidswaergave tijdens beweging
5. Auralisatie via koptelefoon of luidsprekers

RIR-metingen kunnen op twee manieren worden uitgevoerd: via opmeting ter plaatse in bestaande gebouwen of via virtuele simulatie tijdens het ontwerpproces. Voor de uiteindelijke geluidsbeleving bestaan er twee hoofdmethoden: binaurale waergave via een hoofdtelefoon of via luidsprekers (Khairul Anuar et al., 2024).

Simulatiemethodes

In de computationele ruimteakoestiek worden hoofdzakelijk drie benaderingen onderscheiden, elk met een eigen domein van toepasbaarheid. Allereerst zijn er de wave-based methoden, zoals de *Finite Element Method* (FEM), de *Finite Difference Time Domain* (FDTD) en de *Boundary Element Method* (BEM). Deze technieken lossen de volledige golfvergelijking numeriek op en modelleren daarmee alle golfverschijnselen, zoals interferentie, diffractie en staande golven, in het hoogst mogelijke detail (Vorländer, 2020). Deze nauwkeurigheid vereist echter intensieve computerberekeningen, waardoor wave-based simulaties voornamelijk worden ingezet voor lage-frequentieanalyses en relatief kleine volumes (Hamilton & Bilbao, 2017).

Voor berekeningen in grote architectonische schaal zijn Geometrische Akoestiek (GA) (GA)-methoden de standaard. Software zoals Odeon en CATT Acoustics simuleert de impulsresponsie van een ruimte door reflecties op te sporen, waarbij vroege en late reflecties worden gecombineerd (Vorländer, 2020). GA-methoden, zoals de beeldbronmethode en ray-tracing, zijn gebaseerd op de aanname dat geluid zich als een straal voortplant en zijn bijzonder efficiënt en accuraat voor de midden- en hoge frequenties die bepalend zijn voor de gehoorperceptie (Dalenbäck, 1996).

Type	Techniek/engine	Kenmerken volgens de literatuur
Geometrische Akoestiek	Odeon	Offline, hoge nauwkeurigheid, combinatie vroege/late reflecties (Pelzer et al., 2014)
	CATT Acoustics	Image-Source-Methode + Ray Tracing (Thery et al., 2019)
Wave-based	FDTD/FEM/BEM	Zeer nauwkeurig, computationeel intensief (Vorländer, 2020)

Tabel 1 Overzicht van de soorten simulatiemethodes en hun kenmerken

³⁴ Een **Room Impulse Response (RIR)** is een opname van hoe een ruimte klinkt: alle oppervlakken zoals muren, vloer en plafond weerkaatsen geluid en creëren zo een kenmerkende galm. Die opname kan vervolgens worden gebruikt om andere geluiden dezelfde ruimtelijke klank te geven (Architecture V, z.d.).

³⁵ Een **spatializer** is een technologie die nabootst hoe wij geluid in drie dimensies horen. Dit doet het door rekening te houden met kleine verschillen in timing en volume tussen het linker- en rechteroor, en met de manier waarop de oorschelp geluid filtert (*head-related transfer function*, HRTF) (Unity Technologies, z.d.).

Ten slotte, voor de combinatie met een visualisatietechniek, is er de opkomende trend van Game-engine simulatie (op platforms als Unity en Unreal Engine). Deze methode richt zich op snelheid en real-time prestaties boven fysieke nauwkeurigheid. Een illustratief voorbeeld van deze aanpak wordt geleverd door Wyke et al. (2020), die een real-time evaluatiemethode voor ruimteakoestiek ontwikkelden waarbij BIM-modellen direct werden gekoppeld aan real-time akoestische rendering. Deze aanpak maakt snellere iteraties mogelijk in een ontwerpproces, maar vereist inherent compromissen op het gebied van nauwkeurigheid.

Type	Techniek/ engine	Kenmerken volgens de literatuur
Game-engine	Unity	Real-time, snelle iteraties, lagere nauwkeurigheid (Wyke et al., 2020)
	Unreal Engine	VR-integratie, real-time performance (Lindebrink & Nätterlund, 2015)

Tabel 2 Overzicht van de soorten visualisatietechnieken die gecombineerd kunnen worden met de simulatiemethodes

Auralisatietechnieken

Tabel 3 geeft een overzicht van de vier belangrijkste technieken voor de hoorbare weergave:

Type	Techniek/ engine	Kenmerken
Binaural	HRTF	Individuele weergave hoofdtelefoon, front-back confusies (Khairul Anuar et al., 2024; Picinali et al., 2014)
Ambisonics	Spherical Harmonics	Flexibele weergave, dynamische VR-omgevingen (Khairul Anuar et al., 2024) via luidsprekers of hoofdtelefoon
Wave Field Synthesis	WFS arrays	Zeer accurate groepsweergave, kostbaar (Weber et al., 2011) via luidsprekers in een ruimte
Real-time platform	TyrEngine	Geïntegreerd systeem: simulatie, tracking, rendering (Lindebrink & Nätterlund, 2015)

Tabel 3 Overzicht van de soorten auralisatietechnieken

Auralisaties kunnen pre-rendered, real-time of hybride zijn. Hybride werking deelt het model op in vaste en dynamische elementen, waarbij vaste elementen vooraf worden gesimuleerd en dynamische elementen in real time worden berekend.

3.4.3. Integratie in ontwerp en uitdagingen

Ontwerptool en validatie

Auralisatie biedt de mogelijkheid om akoestiek actief in het ontwerpproces te integreren. Door (real-time) simulaties te koppelen aan BIM- en CAD-software kunnen ontwerpers de auditieve gevolgen van hun keuzes direct ervaren (Pelzer et al., 2014). Toch wordt de techniek momenteel vooral door akoestische adviseurs ingezet en blijft de toepassing in de vroege, conceptuele ontwerpfase een uitdaging (Lindebrink & Nätterlund, 2015).

Recente ontwikkelingen richten zich op multimodale auralisatie, waarbij geluid wordt gecombineerd met visuele ervaringen. Deze integratie leidt tot een meer holistische

perceptie van een ruimte en valideert goed tegenover de perceptie van echte ruimtes (Aspöck, 2020; Guastamacchia et al., 2024). Azevedo & Sacks (2014) benadrukken hierbij dat auralisatie als een ontwerptool moet worden gezien.

Gedurende het literatuuronderzoek bleek de toegang tot de servers van akoestische tijdschriften beperkt, waardoor mogelijk relevante publicaties niet konden worden geraadpleegd. Met name het *Journal of the Acoustical Society of America* (JASA) bevat talrijke artikelen die virtual reality (VR) en auralisatie met elkaar in verband brengen, maar deze bleken grotendeels ontoegankelijk via de beschikbare inloggegevens. Twee recente bijdragen zijn hierbij van belang: “*Open-source real-time auralizations with Virtual Acoustics*” van Pascal Palenda, Philipp Schäfer, Lukas Aspöck en Michael Vorländer (2024) en “*Use of Virtual Reality and auralization as a training tool for acoustic practitioners*” van Matthew Ottley en Yuxiao Chen (2024). Van dit laatste artikel kon via een externe bron wel een PDF worden gevonden, zij het niet via het officiële JASA-platform. Deze versie bevat echter relatief weinig technische details. Het onderzoek richtte zich primair op de gebruikerservaring van deelnemers die met luidsprekeropstellingen en een VR-bril werkten. Hoewel de deelnemers een positieve indruk rapporteerden, gaven zij tevens aan dat de gesimuleerde ervaring niet volledig kon concurreren met een fysieke referentiesituatie. Een bevinding die, gezien de huidige stand van de techniek, als verwacht kan worden beschouwd. Het artikel verschaft echter geen inzicht in de wijze waarop Unity met Odeon is gekoppeld, noch of deze integratie door de voorbereiders van de studie als eenvoudig of complex werd ervaren.

Praktijkvoorbeelden

Praktijkonderzoek illustreert de mogelijkheden en uitdagingen. De TyrEngine-applicatie, gebouwd op een game engine, genereert uit BIM- en CAD-modellen multisensorische simulaties die de ontwerpdiscussie verruimen. De voorbereidingsefficiëntie blijft een uitdaging. Hiermee wordt de verhouding bedoeld tussen enerzijds de benodigde tijd, inspanning en kennis en anderzijds de simulatiekwaliteit. Dit beperkt de toepasbaarheid in snelle, iteratieve ontwerpprocessen (Lindebrink & Nätterlund, 2015). Een andere studie integreerde productmodellen met akoestisch gedrag in een VR-systeem dat gebruikmaakt van *Wave Field Synthesis* (WFS), wat veelbelovend is voor simultane geluidsweergave aan meerdere gebruikers in de vroege ontwerpfase (Weber et al., 2011).

Naast VR-integratie bestaat er een alternatief voor weergave: het koppelen van een hoofdtelefoon aan een 3D-tactiele map, waarbij de positie van het hoofd en de vingers wordt getraceerd (Poirier-Quinot, 2025). Hoewel dit niet empirisch is onderzocht, kan de hypothese worden gesteld dat een dergelijke opstelling kosteneffectiever is. De benodigde hardware beperkt zich immers tot een hoofdtelefoon en een tactiele map, zonder de noodzaak van een volwaardige VR-opstelling of dure simulatiesoftware.

Type	Techniek/ engine	Kenmerken volgens de literatuur
BIM/CAD	IFC-formaat	Koppeling ontwerpsoftware, materiaal informatie (Lavagna et al., 2022; Wyke et al., 2020)
VR-systemen	Head-mounted displays	Multimodale ervaring, hoofdtracking (Guastamacchia et al., 2024)
Auditief ontwerpen	Cue-preserving	Essentiële akoestische cues voor mensen met een visuele beperking (Poirier-Quinot, 2025)

	Augmented auralization	Combinatie auditieve VR met tastbare interfaces (Poirier-Quinot et al., 2016)
--	------------------------	---

Tabel 4 Overzicht van technologische integratie en toepassingsdomeinen van auralisatie

Uitdagingen en beperkingen

De implementatie kent echter een aantal belemmeringen. Tijdsdruk, technische complexiteit en hoge kosten vormen de grootste obstakels, vooral bij kleinere projecten (Thery et al., 2019, 2022). Hoewel de systemen veel inspanning vergen, kunnen zowel binaurale als monaurale methoden betrouwbare voorspellingen opleveren (Guastamacchia et al., 2024).

Specifieke uitdagingen omvatten:

- Tijdsintensieve conversie van CAD- naar VR-formaten (Pelzer et al., 2014; Wyke et al., 2020)
- Tekortkomingen in materiaal informatie bij BIM-modellen (Lavagna et al., 2022; Wyke et al., 2020)
- Nauwkeurigheidsbeperkingen bij real-time simulaties (Lindebrink & Nätterlund, 2015; Wyke et al., 2020)
- Hoge computationele eisen voor kwalitatieve weergave (Hamilton & Bilbao, 2017; Vorländer, 2020)

Toekomstperspectief

Ondanks de huidige beperkingen opent auralisatie nieuwe mogelijkheden voor participatief ontwerp en het gebruikersgericht testen van akoestische scenario's. Zoals Poirier-Quinot et al. (2016) reeds opmerkten:

"Room acoustic simulations and auralizations are more and more accepted as a component of acoustic analysis and architectural design." (p. 2)

De dalende kostprijs van VR maakt integratie met BIM toegankelijker (Wyke et al., 2020), maar verder onderzoek blijft nodig naar de nauwkeurigheid en toepasbaarheid in uiteenlopende praktijksituaties.

3.5. Conclusie

Uit de uitgebreide literatuurstudie komen enkele kerninzichten naar voren die het vertrekpunt vormen voor het empirische deel van dit onderzoek.

Ten eerste bevestigt de literatuur de centrale probleemstelling: akoestiek wordt in de architectuurpraktijk nog te vaak als een late technische add-on beschouwd, in plaats van als een integraal onderdeel van het ruimtelijk ontwerp. Milo (2020) stelt kritisch dat akoestiek vaak wordt gezien als "een louter technische specialisatie die losstaat van het creatieve ontwerpproces". Dit leidt niet alleen tot suboptimale akoestische omgevingen, maar ook tot een gebrek aan aandacht voor de uiteenlopende auditieve behoeften van gebruikers.

Ten tweede is het technologische potentieel van auralisatie als participatieve ontwerptool groot. De techniek is voldoende geëvolueerd om realistische auditieve ervaringen te genereren. Zoals Pelzer et al. (2014) benadrukken, kan een ontwerper letterlijk "luisteren

naar een ontwerp nog vóór de eerste steen is gelegd". De evolutie naar real-time technieken heeft "de kloof tussen ontwerp, simulatie en menselijke ervaring drastisch verkleind" (Vorländer, 2020). Echter richt de literatuur zich vaak op auralisatie als een tool voor technische validatie of post-hoc-evaluatie. Het gebruik ervan als tool voor bewustwording, leren en co-creatie in de eerdere ontwerpfasen is minder goed onderzocht.

Ten derde zijn de specifieke akoestische behoeften van de drie onderzochte gebruikersgroepen gedetailleerd in kaart gebracht, waarbij de literatuur de akoestische diversiteit aantoont. Voor visueel beperkten is enige nagalm een cruciaal hulpmiddel voor oriëntatie, voor auditief beperkten is een korte nagalmtijd essentieel voor spraakverstaanbaarheid (Heylighen et al., 2008), en voor mensen met autisme zijn een laag geluidsniveau en een zeer korte nagalm (0.4 - 0.7s) nodig om sensorische overbelasting te voorkomen (Bettarello et al., 2022).

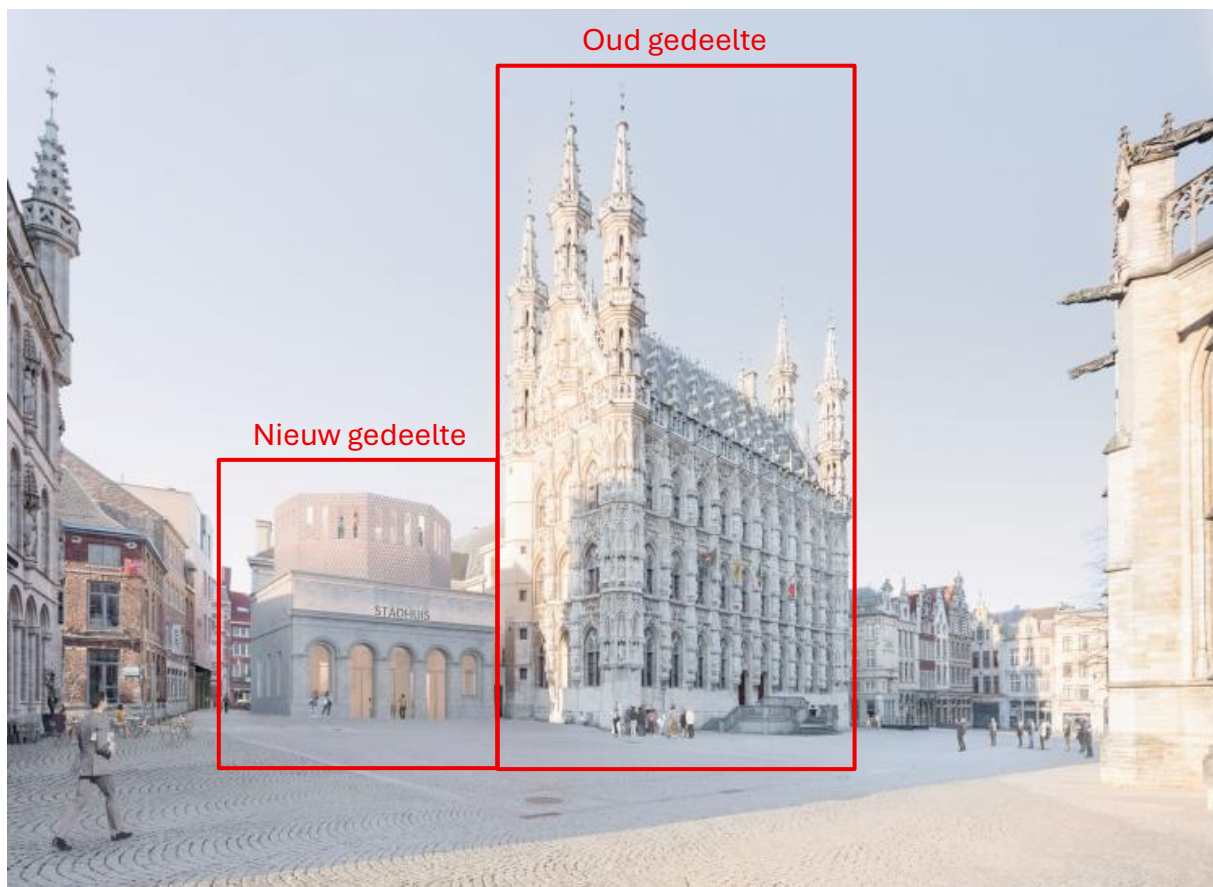
De vraag naar de bijdrage van auralisatie aan een inclusievere ontwerpbenadering weerspiegelt de bredere oproep tot '*user-centered design*' (Bettarello et al., 2021). Uit deze literatuurstudie blijkt dat auralisatie het potentieel heeft om te fungeren als een "gemeenschappelijke taal". Een medium dat de dialoog tussen architecten en ervaringsdeskundigen niet alleen mogelijk maakt, maar ook verdiept. Tegelijkertijd toont de literatuur aan dat dit potentieel in de praktijk nog onvoldoende wordt benut en dat concrete methodologische kaders voor het inzetten van auralisatie in een participatieve ontwerpcontext grotendeels ontbreken.

Vertrekkend vanuit de theoretische inzichten uit dit hoofdstuk wordt in de volgende fase gezocht naar een concrete en praktische manier om auralisatie toe te passen als communicatietool in een gesprek over akoestiek met ervaringsdeskundigen. Dit wordt onderzocht aan de hand van een casestudy van het Stadhuis van Leuven, waarin de theoretische inzichten worden getoetst aan de praktijk.

4. Casestudy: renovatie stadhuis Leuven

4.1. Projectcontext

Het Stadhuis van Leuven ondergaat sinds oktober 2025 een restauratie (Stad Leuven, z.d.-b), naar ontwerp van de architectenbureaus aNNo en FELT. Hun doel is het herwaarderen en herbestemmen van het monument, zodat het historische gebouw een relevante rol in de stad behoudt. Hoewel het gebouw sinds 1937 een beschermd monument is en eerder al verbouwingen heeft ondergaan, werd in 2020 besloten tot een grondige restauratie om de historische waarde te behouden en het verleden zichtbaar te maken. Naast het herstel komt er een nieuw gebouw naast het monument, dat een dialoog tussen oud en nieuw creëert (Stad Leuven, z.d.-a).



Figuur 2 Ontwerp toekomstige stadhuis | Aangepast overgenomen uit Ontwerp van het toekomstige stadhuis, door Stad Leuven, z.d. (<https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuys>).

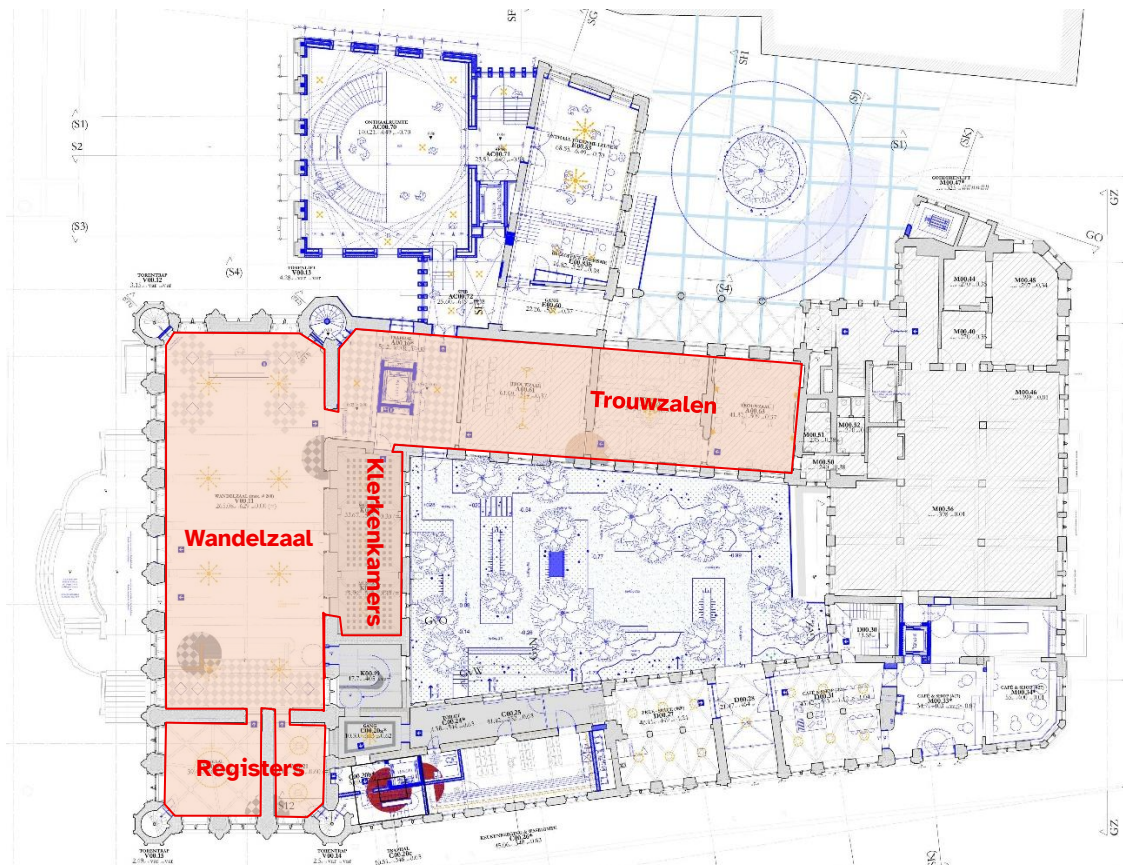
Belangrijke ingrepen in het interieur van het bestaande stadhuis omvatten het herstel van vloeren, meubels, behang en schilderwerk, en de grondige restauratie van onder meer de Wandelzaal, de Gotische Zaal, het kabinet van de burgemeester, de collegezaal, de raadskeiders, de klerkenkamer, de schatkamer, het register, de salons op de eerste verdieping en de beeldenzolder (Stad Leuven, z.d.-a). De onderstaande afbeeldingen geven een overzicht van de huidige staat van de ruimtes vóór de renovaties, aangeduid op de plannen van de architecten (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023):



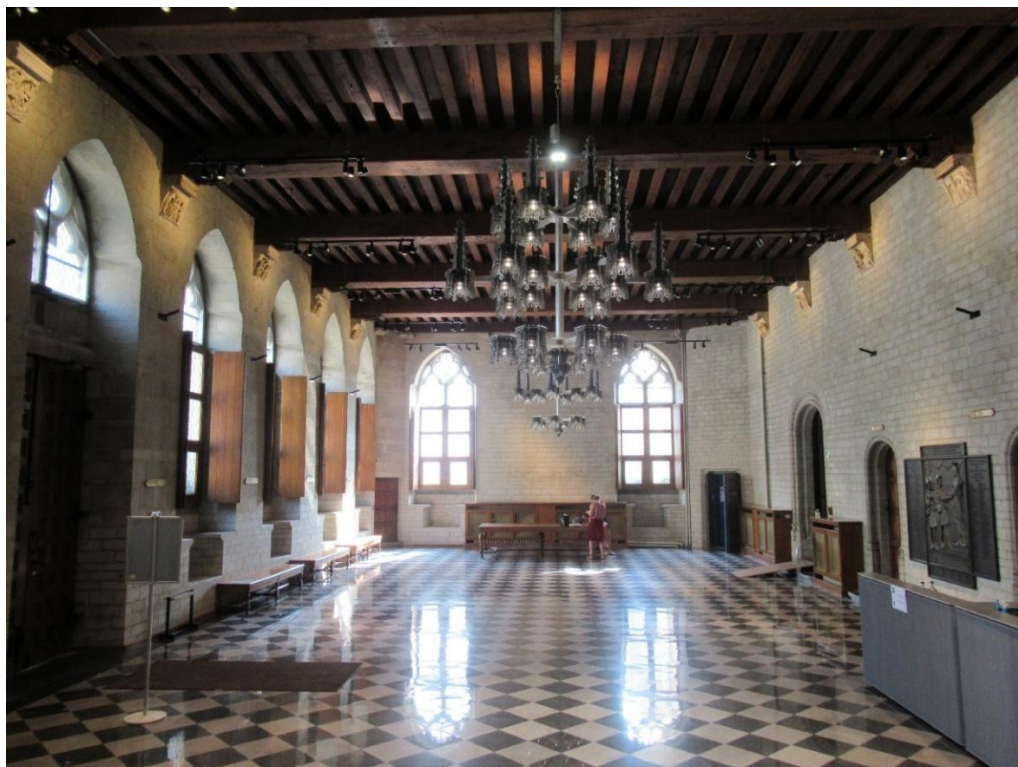
Figuur 3 Raadskelders worden workshopruimtes op de tweede ondergrondse verdieping (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 1), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



Figuur 4 Foto van één van de raadskelders | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



Figuur 5 Wandelzaal, musealen (= klerkenkamers, registers) en trouwzalen op +0 (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



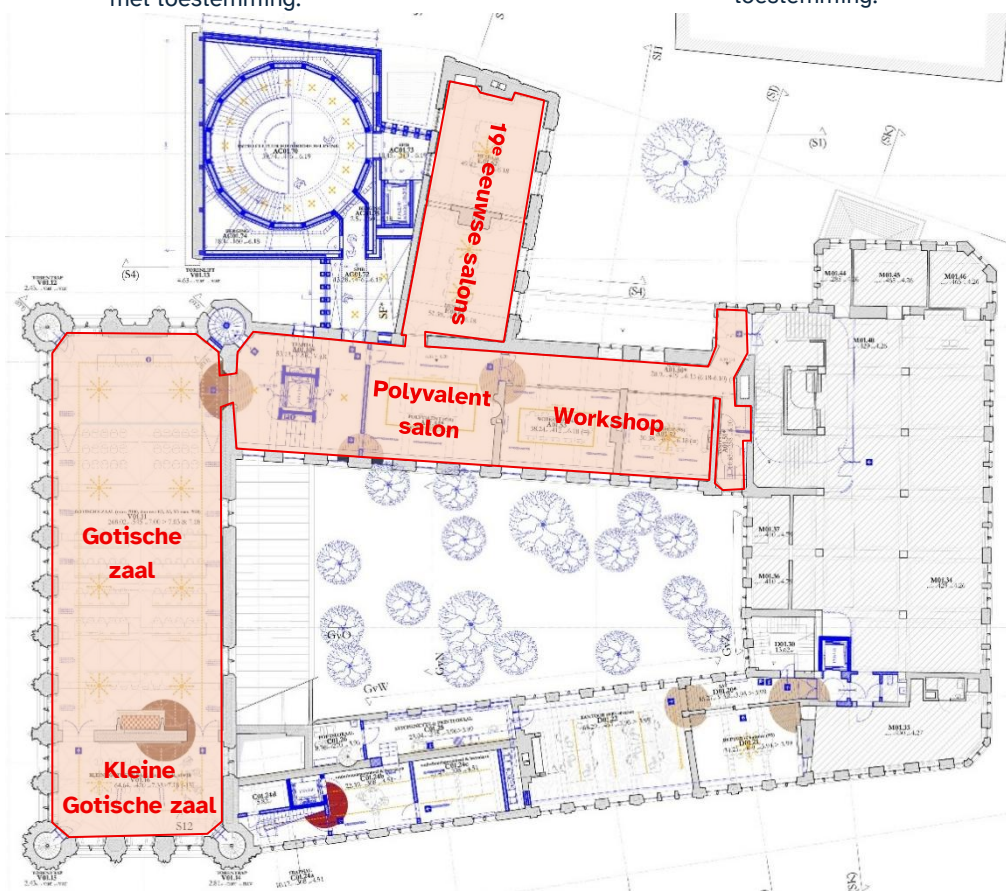
Figuur 6 Foto van de Wandelzaal | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



Figuur 7 Foto van de klerkenkamers | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



Figuur 8 Foto van de trouwsalons | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



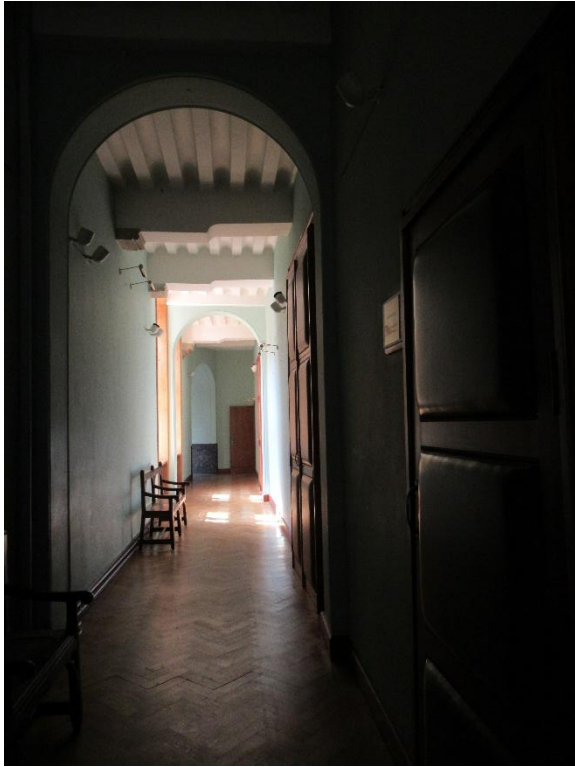
Figuur 9 Polyvalent '18e'-eeuws salon, twee 19e-eeuwse salons, (kleine) Gotische zaal op +1 (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



Figuur 10 Foto van de Gotische zaal | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



Figuur 11 Foto van de kleine Gotische zaal | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



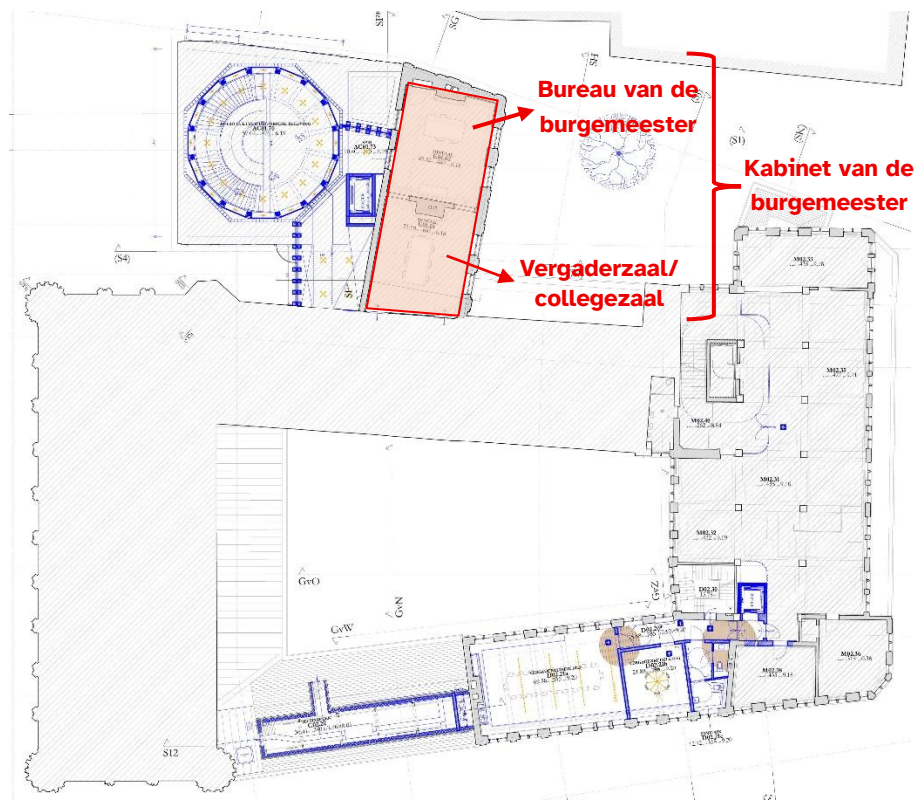
Figuur 12 Gang polyvalent '18e'-eeuws salon | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



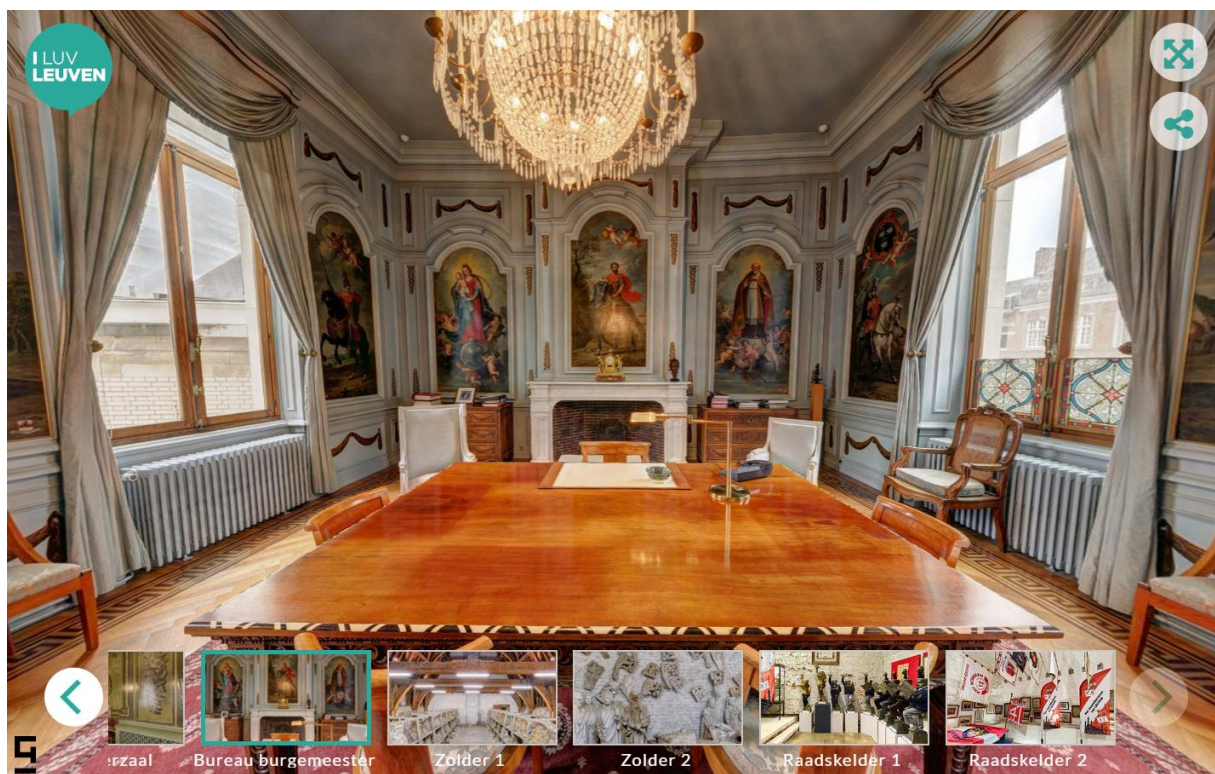
Figuur 13 Polyvalent '18e'-eeuws salon | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



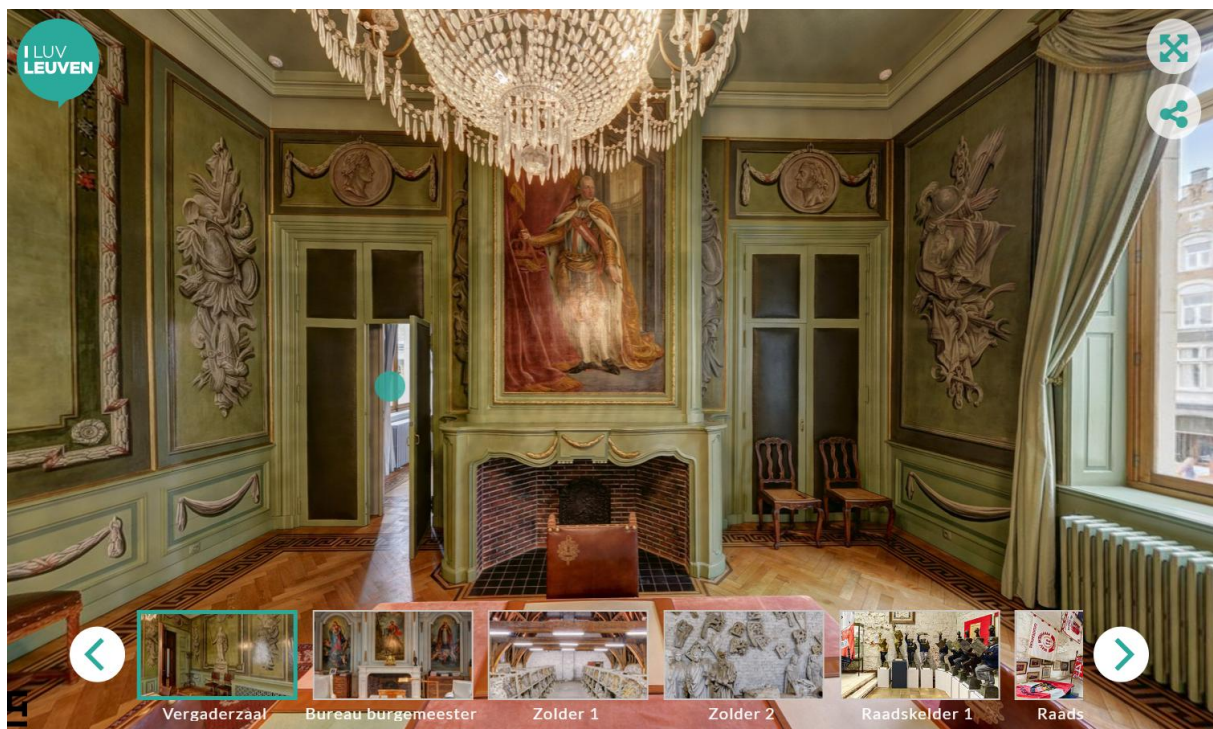
Figuur 14 19e-eeuws salon | Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.



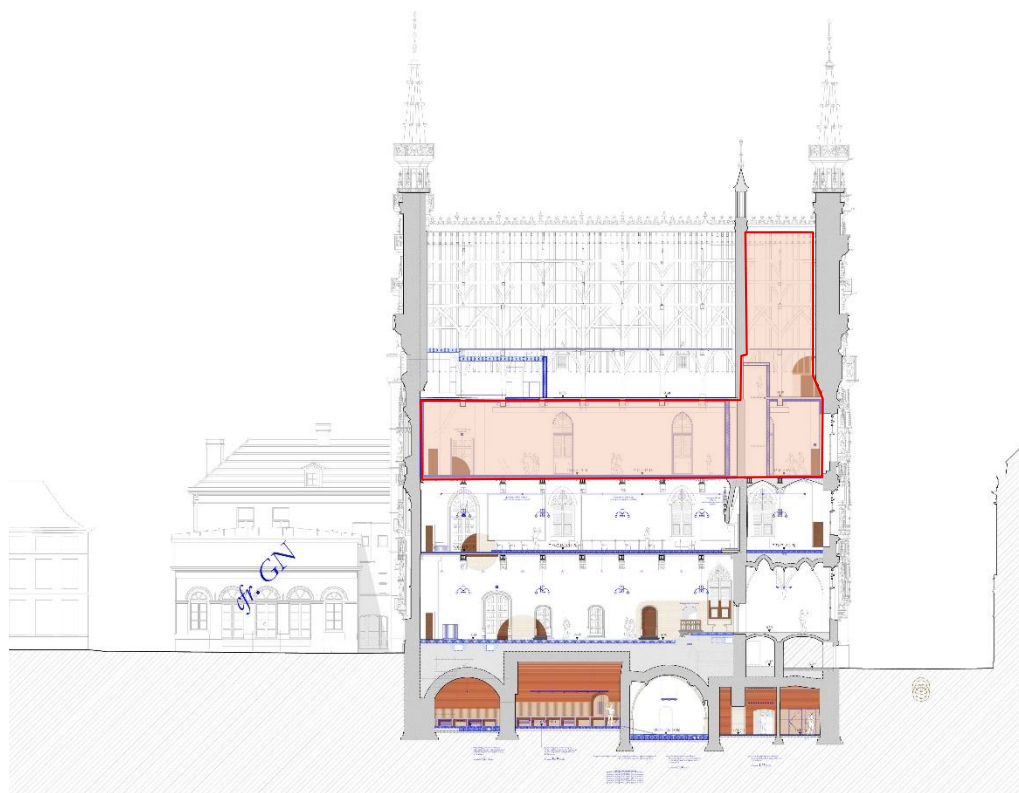
Figuur 15 Bureau van de burgemeester & de collegezaal op +2 (rood aangeduid) (aNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 5), door aNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



Figuur 16 Bureau van de burgemeester (Visit Leuven, z.d.) | Screenshot van I luv Leuven, door Visit Leuven, z.d. (<http://townhall.visitleuven.be/>).



Figuur 17 Vergaderzaal/collegezaal (Visit Leuven, z.d.) | Screenshot van *I luv Leuven*, door Visit Leuven, z.d. (<http://townhall.visitleuven.be/>).



Figuur 18 Beeldenzolder op snede C (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

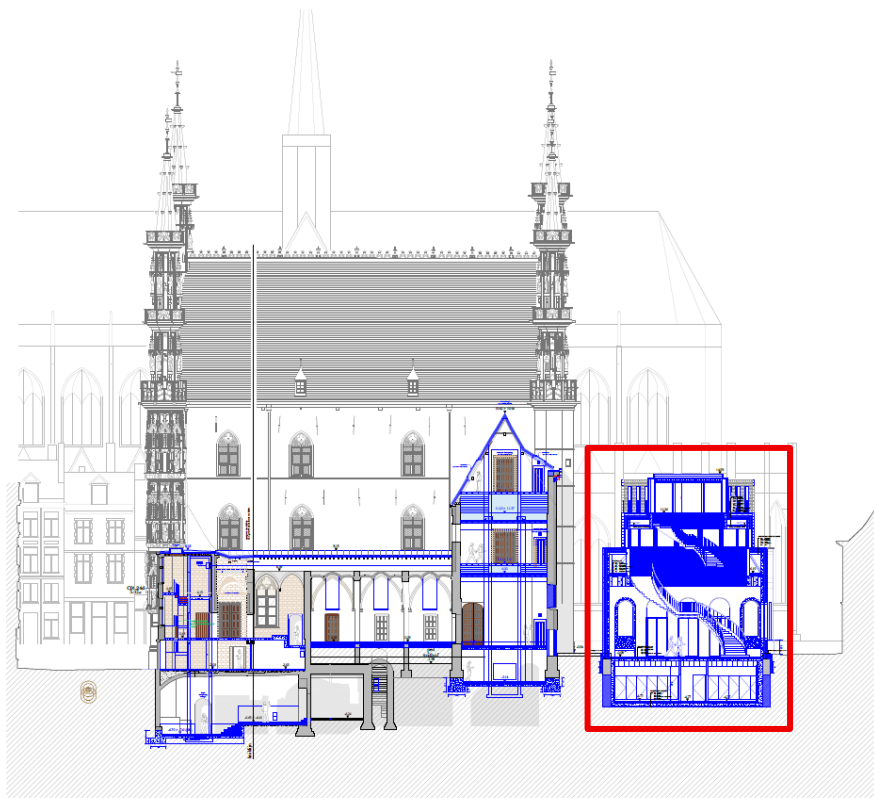


Figuur 19 Beeldenzolder 1 (Visit Leuven, z.d.) | Screenshot van *I luv Leuven*, door Visit Leuven, z.d. (<http://townhall.visitleuven.be/>).



Figuur 20 Beeldenzolder 2 (Visit Leuven, z.d.) | Screenshot van *I luv Leuven*, door Visit Leuven, z.d. (<http://townhall.visitleuven.be/>).

Het nieuwe volume deed dienst als het Corps de Garde, het voormalige politiebureau. Dit volume zal worden ingericht als toekomstige toegang- en onthaalruimte van het stadhuis. In dit gedeelte vinden de meest ingrijpende aanpassingen plaats, aangezien het in 1965 werd heropgebouwd en nog slechts weinig oorspronkelijke architecturale elementen bevat. De indeling van de nieuwbouw omvat een gelijkvloerse onthaalruimte met balie van Visit Leuven en de toeristische infodienst van de stad, een eerste verdieping met informatie over het stadhuis en Leuven, en een tweede verdieping met het stadsbalkon dat uitzicht biedt op de Grote Markt en het stadhuis (Stad Leuven, z.d.-a).



1905
Stadhuis
DO
SD
DOORSNED E D
0 2 4m
schaal 1:250

FELT
aNo
ARCHITECTEN
14.02.2023

Figuur 21 Doorsnede D: Overzicht verdiepingen antichambre (aNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 9), door aNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



Figuur 22 Onthaalruimte in de antichambre (links) en de tussenruimte met passerelle naar het historische gedeelte (rechts) | Overgenomen uit Ontwerp van het toekomstige stadhuis, door Stad Leuven, z.d. (<https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuiss>).



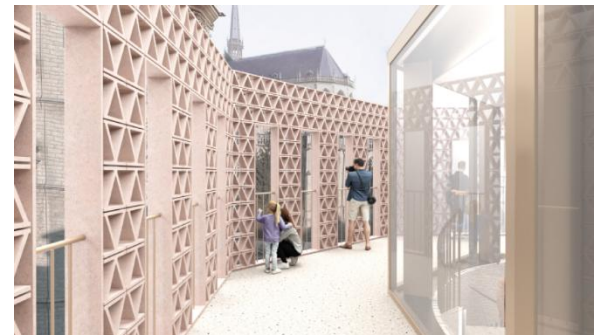
*Figuur 23 Onthaal Toerisme Leuven (receptie) | Overgenomen uit *Ontwerp van het toekomstige stadhuis*, door Stad Leuven, z.d. (<https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuis>).*



*Figuur 24 Intro cultuurhistorische beleving (1e verdiep antichambre) | Overgenomen uit *Ontwerp van het toekomstige stadhuis*, door Stad Leuven, z.d. (<https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuis>).*



*Figuur 25 Intro cultuurhistorische beleving + stadsbalkon (2e verdiep antichambre) | Overgenomen uit *Ontwerp van het toekomstige stadhuis*, door Stad Leuven, z.d. (<https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuis>).*



De stad Leuven omschrijft het project als "toegankelijk", met nieuwe liften, trappen, een tweede ingang en een helling in het Vrijthof die als groene rustplek dient (Stad Leuven, z.d.-a). Deze maatregelen leggen de nadruk op rolstoeltoegankelijkheid.

4.2. Relevantie van het project voor het onderzoek

Het Stadhuis van Leuven wordt geselecteerd als casestudy omwille van zijn architectonische tegenstelling tussen een historisch, nagalmrijk gedeelte, voornamelijk bestaande uit lokalen en vergaderzalen, en een moderne vleugel met grotere ontwerpvrijheid, die fungeert als onthaalruimte en infopunt. Deze combinatie biedt een gevarieerd spectrum aan akoestische contexten en gebruikersbelevingen binnen één project.

Het onderzoek situeert zich midden in het ontwerpproces: de voorontwerpen zijn voltooid en de werken zijn van start gegaan. De beschikbaarheid van gedetailleerde plannen van de architecten vormt het vertrekpunt voor het simulatieproces, waarbij op basis daarvan een 3D-model wordt opgesteld voor de auralisatie.

Deze technische basis wordt verder verrijkt met kwalitatieve inzichten uit een voorafgaand participatief onderzoek. Dat onderzoek werd uitgevoerd met ervaringsdeskundigen met diverse beperkingen (mobiliteit, visueel, auditief, autisme) en bracht naast toegankelijkheid ook het gebruikscomfort in kaart: een bredere focus dan enkel rolstoeltoegankelijkheid (Eisazadeh et al., 2025).

Hoewel er reeds een akoestisch ingenieur bij het project betrokken was, werd tijdens de ontwerpproessen met de ervaringsdeskundigen opmerkelijk genoeg geen aandacht besteed aan akoestische toegankelijkheid. Dit werd door de ervaringsdeskundigen zelf vastgesteld tijdens de interviews voor dit onderzoek. Dit betekent dat het gebruikersperspectief weliswaar integraal is meegenomen in het project, maar dat de akoestische toegankelijkheid specifiek tot nu toe buiten beeld is gebleven in de participatieve sessies. Hoewel niet kan worden gesteld dat de architecten de bevindingen van dit onderzoek daadwerkelijk zullen opnemen in het ontwerpproces, biedt deze timing op zijn minst de mogelijkheid om de resultaten ter beschikking te stellen, en daarmee de ontbrekende schakel tussen akoestische expertise en gebruikerservaring alsnog te overbruggen.

4.2.1. Data- en casusselectie: twee typologieën voor auditieve diversiteit

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, zijn twee ruimtes in het Stadhuis van Leuven geselecteerd die elk een andere functionele typologie en bijbehorende akoestische eisen vertegenwoordigen. Daarnaast wordt overwogen om een parcours te onderzoeken in plaats van geïsoleerde ruimtes, omdat dit beter aansluit bij de auditieve ervaring van gebruikers die zich door een opeenvolging van ruimtes bewegen. Deze casussen bieden een basis om de specifieke akoestische kenmerken te onderzoeken in relatie tot het ontwerpproces. Per ruimte wordt beoordeeld in hoeverre de geluidsomstandigheden geschikt zijn voor mensen met een zintuiglijke beperking of mensen die neurodivergent zijn (zie Figuur 56 en Figuur 57 voor de plannen van de betrokken ruimtes, sectie 4.4.2 geeft een gedetailleerde toelichting bij alle routes).

De eerste casus is een publieke ruimte, zoals de antichambre in het nieuwe gedeelte van het stadhuis. Dit is een dynamische, dubbelhoge ruimte waar dagelijks veel mensen passeren. Ze fungeert als wachtruimte, circulatiezone en oriëntatiepunt, met veel achtergrondlawaai en menselijke activiteit. Er wordt onderzocht of deze entree een comfortabele en toegankelijke omgeving kan bieden. Daarbij komen klassieke akoestische parameters aan bod, zoals nagalmtijd, achtergrondlawaai, reflecties voor ruimtelijke cues en spraakverstaanbaarheid. Naast de technische akoestische parameters wordt ook de bredere geluidsbeleving (de soundscape) van de ruimte in aanmerking genomen. Om het parcours realistischer te maken, is ook de aangrenzende receptie met backoffice Toerisme opgenomen, waar bezoekers het infopunt raadplegen.

De tweede casus richt zich op de polyvalente zaal in het oude gedeelte van het stadhuis. Hier staan communicatie en concentratie centraal, maar de historische, vaak harde afwerking vormt een akoestische uitdaging. Het streven naar behoud van authenticiteit vraagt om een zorgvuldige afweging om de ruimte toch comfortabel en functioneel te houden. Ook hier worden nagalmtijd, achtergrondgeluid, reflecties en spraakverstaanbaarheid kritisch geanalyseerd, aangevuld met een beoordeling van de bredere geluidsbeleving die de ruimte als geheel kenmerkt.

4.3. Verkennend methodisch onderzoek

Voordat de semigestructureerde interviews kunnen plaatsvinden, moet eerst een aantal praktische zaken worden voorbereid. Het gaat hierbij om het aanleren van het maken van een 3D-model, de simulatiemethode, de auralisatie- en visualisatietechniek, en het bepalen van welke techniek het meest geschikt is om in het onderzoek te gebruiken.

Daarnaast is het belangrijk om te weten welke delen van het stadhuis we in het onderzoek willen betrekken (zie sectie 4.2.1). Zodra alles is voorbereid, kunnen we de semigestructureerde interviews afnemen, waarna we overgaan tot de dataverzameling en -analyse.

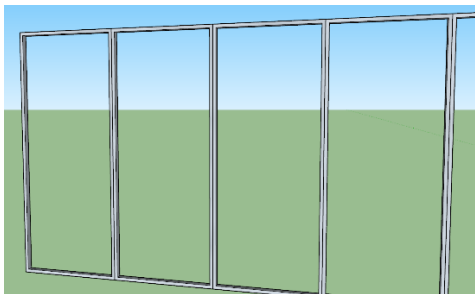
4.3.1. Keuze simulatiemethode en auralisatietechniek

Dit onderzoek vergelijkt twee softwarepakketten uit de literatuurstudie: een gecombineerde simulatie- en auralisatiemethode met Odeon en een pre-rendered auralisatietechniek met Treble. Beide technieken leveren een binaurale weergave, zodat gebruikers de simulaties via een hoofdtelefoon kunnen beleven.

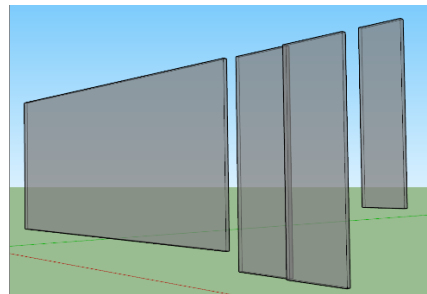
ODEON

De eerste geteste methode maakt gebruik van Odeon. Dit pakket is zeer geavanceerd voor geometrisch-akoestische simulatie, maar wordt in de praktijk als een van de minst gebruiksvriendelijke ervaren. De techniek vereist namelijk aanzienlijke expertise.

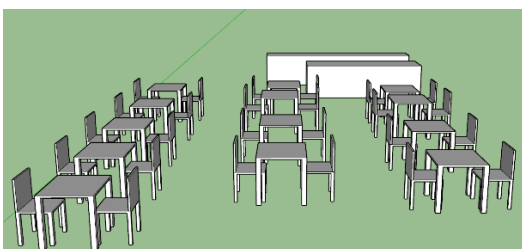
De voorbereiding van het 3D-model is cruciaal en tijdrovend: de oppervlakken moeten eenvoudig zijn. Zeer kleine vlakken worden genegeerd omdat ze tot vertraging of fouten kunnen leiden. Het is raadzaam om onderdelen met een minimale diepte of een minimaal volume (zoals dunne raamkaders of sierlijsten) weg te laten om de rekentijd te verkorten. Ook niet-relevante geometrie, zoals ornamenten aan de buitenkant of gedetailleerd meubilair, kan worden weggelaten. Het akoestische effect kan worden benaderd via scattercoëfficiënten op hoofdoppervlakken (bijvoorbeeld 0,100 op de vloer, 0,200 op het plafond). Daarnaast is compatibiliteit een aandachtspunt: een .PAR-bestand uit een oude SketchUp-versie (bijvoorbeeld 2017) opent mogelijk niet in een nieuwere Odeon-omgeving.



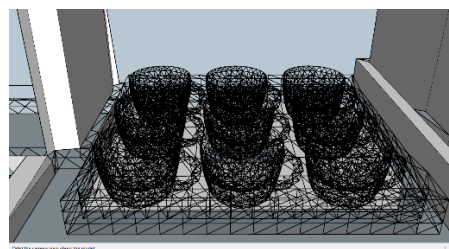
Figuur 26 Minimale diepte raamkader | Screenshot uit SketchUp, eigen werk.



Figuur 27 Minimale diepte raamkader vervangen door volledig glas (juiste methode) | Screenshot uit SketchUp, eigen werk.

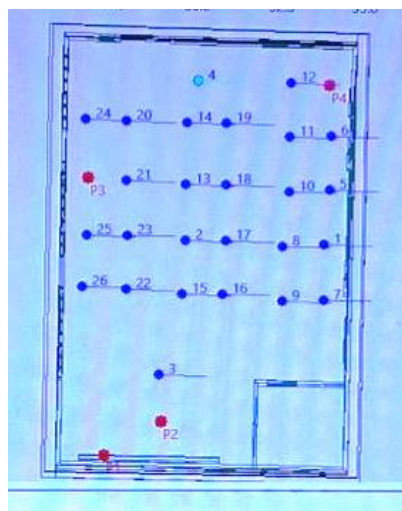


Figuur 28 Meubilair (best simplistisch of weggelaten) | Screenshot uit SketchUp, eigen werk.



Figuur 29 Bakers (weglaten, want het vergt veel tijd) | Screenshot uit SketchUp, eigen werk.

Ontvangers plaatst men bij voorkeur willekeurig verspreid, wat representatiever is dan een rechte lijn. Een grid van ontvangers is ook mogelijk. Ontvangers en bronnen kunnen worden toegevoegd in Odeon zelf of via een Sketchup-plugin, wat zeer efficiënt is.



Figuur 30 Bronnen (rood) en ontvangers (blauw) | Screenshot uit Odeon, eigen werk.

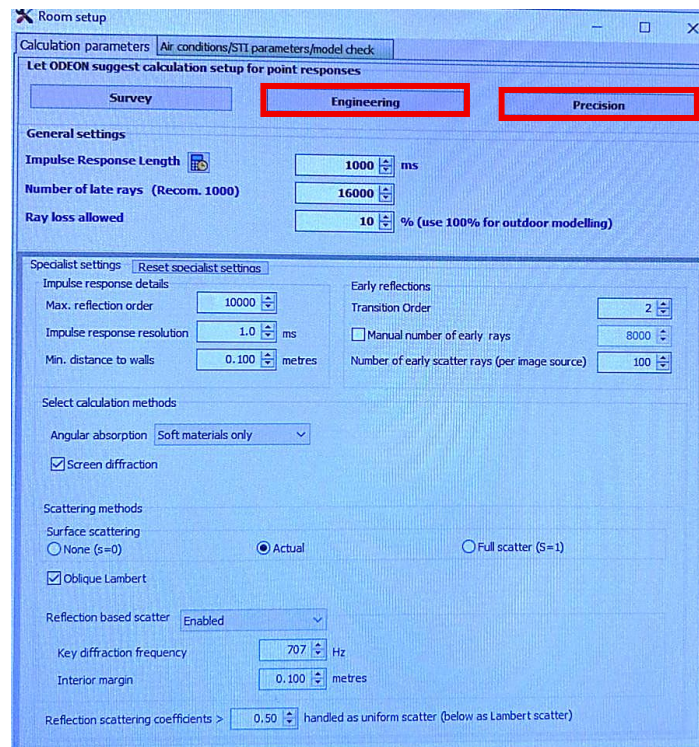
Bron/ontvanger	Omschrijving
P1 (bron)	Koffiemachine met lepels en borden
P2 (bron)	Kassamedewerker
P3 en P4 (bron)	Zittende mensen die aan het praten zijn
Ontvanger 3	Persoon die bestelt
Ontvanger 4	Persoon die binnenkomt aan de ingang
Alle andere ontvangers	Zittende mensen in een grid

Tabel 5 Bronnen en ontvangers van het cafetariamodel

Bovenstaande tabel (Tabel 5) geeft een toelichting op de bronnen en ontvangers die in het cafetariamodel zijn gebruikt. Zij zijn op een logische manier gepositioneerd. De bronnen worden willekeurig gekozen en geplaatst, zodat het geluid vanuit verschillende locaties kan worden verkend.

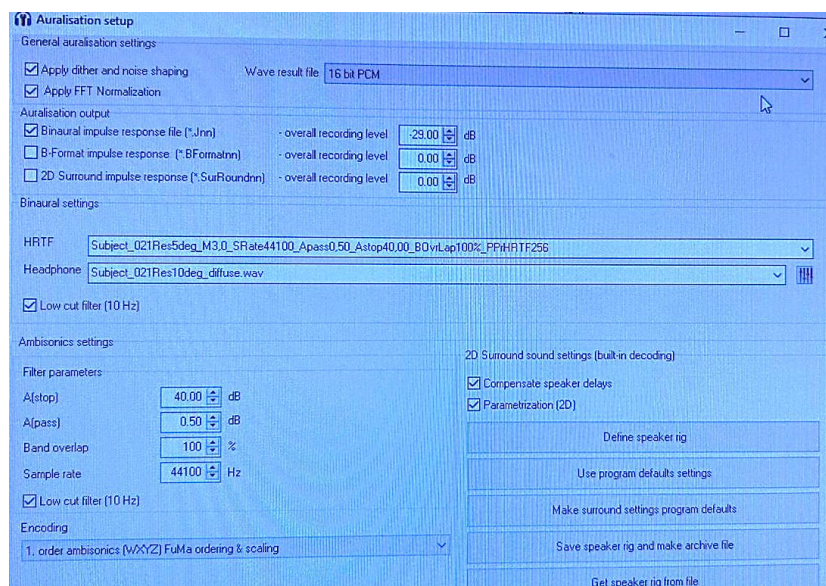
De materiaaltoewijzing is technisch: de interne bibliotheek is beperkter dan die van Treble. Dus de ontbrekende materialen, zoals specifiek aluminium, moeten handmatig worden toegevoegd via externe gegevens of technische fiches met absorptiecoëfficiënten per octaafband.

De concrete workflow in Odeon verliep in verschillende fasen, onder begeleiding van doctoraatsstudent Majid Lavasani (departement Bouwakoestiek). Het voorbereide 3D-model bleek te gedetailleerd en te complex te zijn, wat te hoge simulatietijden zou vereisen. Daarom hielp Majid met het controleren en verfijnen van het model (zie Figuur 26 tot en met Figuur 29). Na deze aanpassingen werd het model geïmporteerd. Eerst volgde een snelle simulatie met de 'Engineering'-instelling, daarna een nauwkeurige 'Precision'-run die ongeveer een kwartier duurde. Zonder zijn begeleiding zou het doorgronden van de software meer dan een dag hebben gekost.

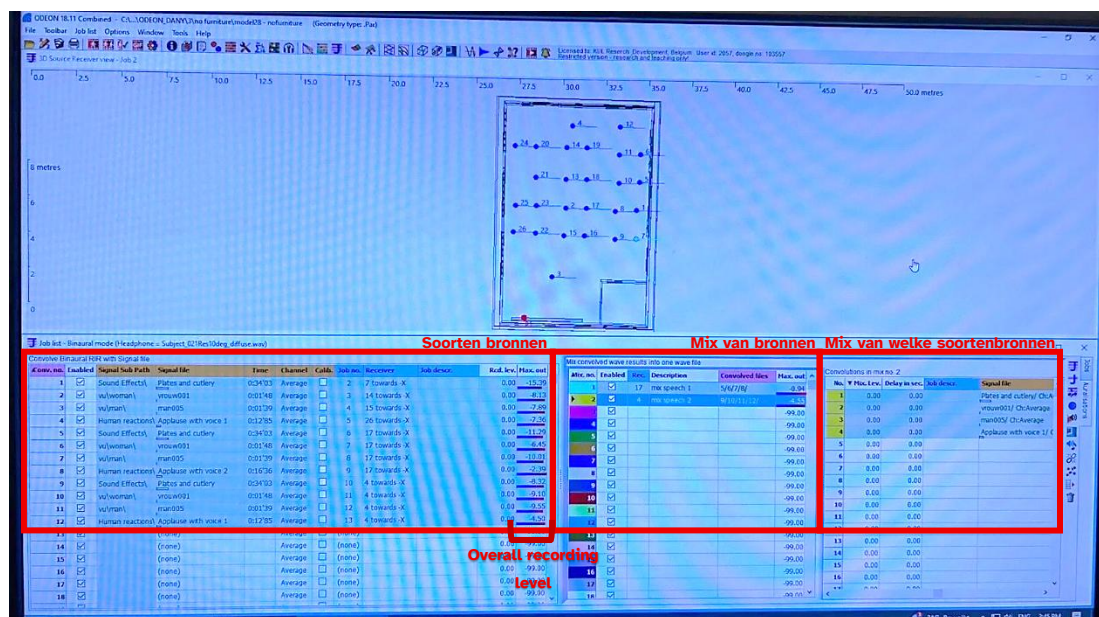


Figuur 31 Simulatiemogelijkheden Odeon | Screenshot uit Odeon, eigen werk.

Voor de auralisatie in Odeon werden de volgende stappen doorlopen, aan de hand van een Youtube-video (ODEON Room Acoustics Software, 2024): in de Auralisation Setup werd een binaurale impulse response gekozen met een gedetailleerde HRTF (bijv. subject_02Res5deg). Vervolgens werden in de Joblist signalen toegewezen aan specifieke bron-ontvangerparen. Kalibratie van het uitgangsniveau was essentieel om clipping te voorkomen. Het uitgangsniveau werd zorgvuldig ingesteld zodat het signaal niet overstuurd raakte en het geluid zuiver en onvervormd werd opgenomen. Daarom werd het algemene opnameniveau ingesteld tussen 0 dB en -10 dB. Het beluisteren kon vervolgens direct in Odeon via de BRIR-speler (Alt+S) worden gedaan. Het aantal beschikbare geluidsbronnen is uitgebreid. Mocht het gewenste geluid ontbreken, dan kunnen er extra geluiden worden geïmporteerd.



Figuur 32 Auralisation setup | Screenshot uit Odeon, eigen werk.



Figuur 33 Configuratie van auralisatie Odeon | Screenshot uit Odeon, eigen werk.

De resultaten worden vooral geïnterpreteerd aan de hand van parameters als D(50), ideaal voor het beoordelen van de spraakverstaanbaarheid, en STI. De software genereert uitgebreide grafieken, maar het interpreteren ervan vereist achtergrondkennis. De export van data en auralisaties voor gebruik in game-engines zoals Unreal Engine is een niet-geautomatiseerd proces dat extra stappen vereist. Zo moeten bestanden één voor één worden gedownload.

In dit onderzoek wordt Odeon gebruikt onder licentie van het Departement Bouwakoestiek van de KU Leuven, met toestemming van professor Monika Rychtáriková en met ondersteuning van de doctoraatsstudent Majid Lavasani. Dit betreft een educatieve licentie, met een jaarlijkse kostprijs van € 3.490 (€ 2.662 voor de licentie + € 828 voor de upgrade). Een commerciële licentie kost € 6.993 per jaar (€ 5.333 + € 1.660) (ODEON A/S, z.d.).

Datum	Software	Activiteit	Plaats	Duurtijd
Maandag 29/12/2025	Odeon	Model in software steken en simulatie + auralisatie uitvoeren	Labo akoestiek	3h (13h30 tot 16h30)

Tabel 6 Duurtijd initiatie Odeon

TREBLE

Treble is een webgebaseerde applicatie voor akoestische simulatie. Het platform maakt gebruik van een hybride golf- en geometrisch-akoestisch rekenmodel en biedt de mogelijkheid om akoestische eigenschappen van ruimtes te analyseren en te auraliseren (Treble, z.d.). Financieel zijn de licentiemodellen van Treble gebaseerd op een jaarlijks abonnement, met een 'Single User Standard'-licentie voor € 2.990 en een 'Single User Premium'-licentie voor € 4.990 per jaar (Treble, z.d.). Hogere licentieniveaus ontgrendelen extra geavanceerde functionaliteiten. Zo biedt de 'Single User Premium'-licentie onder andere Multi-GPU acceleration, wat aanzienlijk kortere simulatietijden voor de wave solver mogelijk maakt door automatisch en optimaal gebruik te maken van meerdere GPU's per simulatie. Voor deze thesis werd de 'Single User Standard'-licentie gebruikt, ter beschikking gesteld door promotor Peter-Willem Vermeersch. Prijzen voor team- of enterprise-licenties worden op maat bepaald.

Voor het 3D-model gelden dezelfde vereisten als bij Odeon: gebruik eenvoudige oppervlakken, negeer zeer kleine vlakken, verwijder elementen met een verwaarloosbare diepte, en laat ornamenten en meubilair weg.

In de praktijk verliep het uitvoeren van simulaties vlot en intuïtief. De software is duidelijk minder gefocust op technische details en meer op gebruiksvriendelijkheid voor niet-experts. Zonder uitgebreide voorkennis of begeleiding kan individueel snel met het programma worden gewerkt.

Na import van een 3D-model in een geschikt formaat (zoals .OBJ of .DXF, max. 80 MB) kunnen bronnen en ontvangers direct worden geplaatst. De werkwijze hiervoor is identiek aan die in Odeon, met het verschil dat het plaatsen in Treble zelf gebeurt, in plaats van via een plugin in SketchUp. De materiaaltoewijzing is eenvoudig dankzij een uitgebreide interne bibliotheek. Dit vereist wel dat het model vooraf logisch in lagen is opgebouwd. Treble heeft een ruime selectie ingebouwde soundscapes, die het simuleren van diverse akoestische scenario's zonder fysieke metingen zeer toegankelijk maken. Materialen en geluiden die niet in de bibliotheek zitten, kunnen op dezelfde manier worden toegevoegd als bij Odeon.

Voor Treble zijn er echter enkele specifieke aandachtspunten. Ondanks export als DXF-bestand worden lagen niet altijd correct overgenomen, en eenmaal geïmporteerd kan de laagstructuur in Treble niet meer worden gewijzigd. Dit maakt een grondige voorbereiding in de CAD-software noodzakelijk, een beperking die overigens ook bij Odeon speelt. In de praktijk leidt dit er dan ook vaak toe dat er een apart, vereenvoudigd model wordt aangemaakt. Bovendien kunnen elementen in Treble niet worden verwijderd, maar alleen onzichtbaar worden gemaakt. De simulatie kan blokkeren als een geluidsbron of ontvanger zich te dicht bij een dergelijk object bevindt. Om het 'obstakel' te verwijderen, moet het hele model het proces opnieuw doorlopen. De workflow kent verder beperkingen, zoals het ontbreken van een 'undo'-functie en het omslachtige beheer van meerdere modelversies. Net als Odeon presenteert Treble de simulatieresultaten ook in technische grafieken.

Een cruciaal praktisch voordeel van Treble is de pre-rendered navigatie, waarbij gebruikers direct door het model kunnen bewegen van punt tot punt en de soundscapes vanuit wisselende posities kunnen beleven. Deze functionaliteit staat in contrast met Odeon, dat geen ingebouwde pre-renderingmogelijkheid heeft. Om met Odeon een vergelijkbare interactieve ervaring te creëren, is een koppeling met een externe game-engine, zoals Unreal Engine, nodig.

De pre-rendered weergave van Treble brengt echter wel een technische afweging met zich mee: om vloeiende navigatie mogelijk te maken, moet de software snel beelden en geluid renderen, wat de beschikbare rekentijd per frame beperkt. Dit is een belangrijke reden waarom de akoestische nauwkeurigheid van Treble in deze modus over het algemeen lager is dan bij de grondigere offline simulaties van Odeon.

Datum	Software	Activiteit	Duurtijd
Maandag 29/12/2025	Treble	Model in software steken en simulatie uitvoeren	+/- 30 min

Tabel 7 Duurtijd initiatie Treble

Onderstaande tabel is een vergelijkingstabel van beide softwarepakketten:

Kenmerk	Odeon	Treble
Type software	Desktopsoftware	Online platform via cloud
Installatie	Moet geïnstalleerd worden (Windows)	Werkt in de webbrowser, geen installatie, internet nodig
Rekenmethode	Gecombineerde ray-tracing technieken	Geavanceerde mix van golf- en raytrace-technieken
Simulaties	Zeer nauwkeurig, gedetailleerde voorspellingen van akoestische parameters	Snel en nauwkeurig, focus op ontwerpsnelheid
Geluidswaergave/auralisatie	Ja, je kunt het resultaat beluisteren	Ja, met immersive 3D-geluid en beeld (pre-rendered)
Gebruiksgemak	Robuust, industrieel standaard workflow	Modern, intuïtief en gemaakt voor samenwerking
Visualisatie	Kleurkaarten en grafieken	Interactieve 3D-beelden, kleurkaarten en grafieken
Licentie & kosten	Commercieel: €6993/jaar	Startend vanaf €2990/jaar
Samenwerking	Via uitwisseling van bestanden	Direct in de cloud, gedeelde projecten
Gebruikersgroep	Acoustici, onderzoekers (diepgaande analyse)	Architecten, ontwerpers, audio-professionals (snel ontwerpen)

Tabel 8 Vergelijkingstabel Odeon & Treble

Conclusie: uiteindelijke keuze software

Na een praktische evaluatie van beide methoden is Treble geselecteerd als de primaire software voor de komende interviews en interactieve sessies. Deze beslissing is gebaseerd op drie kernoverwegingen: gebruiksvriendelijkheid, financiële haalbaarheid en aansluiting bij de gebruikersgroep.

Treble stelt respondenten in staat om, zonder technische inleiding, intuïtief te experimenteren met akoestische scenario's. Het doorslaggevende voordeel is de pre-rendered navigatie: gebruikers kunnen door het model lopen van punt tot punt en soundscapes direct vanuit verschillende posities ervaren. Deze snelle simulaties en directe feedback zijn essentieel voor interactieve sessies waarin de gebruikersbeleving centraal staat.

Daarnaast vormen de kostprijs en de schaalbaarheid sterke praktische argumenten. In een professionele context zou een commerciële Odeon-licentie een aanzienlijke jaarlijkse investering vereisen. Treble biedt een flexibel licentiemodel waarbij een hoger abonnement krachtigere functionaliteiten ontgrendelt, zoals Multi-GPU-acceleratie voor aanzienlijk kortere rekentijden. Dit maakt de software niet alleen financieel toegankelijker, maar ook technisch schaalbaar voor complexere projecten.

Ten slotte sluit Treble beter aan bij de gebruikerscontext: architecten die streven naar een inclusiever ontwerp. De software is ontwikkeld met focus op toegankelijkheid en visuele helderheid, waardoor het een geschiktere tool is voor dialoog met niet-experts over inclusieve akoestiek. Tegelijkertijd kunnen objectieve parameters worden voorgelegd aan akoestische ingenieurs.

De beperkingen van Treble, zoals het niet kunnen wijzigen van lagen na import, zijn in deze onderzoeksopzet acceptabel. Door te werken met een grondig voorbereid model worden deze beperkingen omzeild. De focus verschuift daarmee van de complexe, technische workflow van Odeon naar de directe, ervaringsgerichte en schaalbare aanpak van Treble. Dit maakt Treble tot het meest geschikte platform om de beoogde inzichten in gebruikersperceptie en ontwerpkeuzes te verzamelen, maar ook tot de tool die de gebruiker zo min mogelijk extra handelingen oplegt. De benodigde stappen voelen daardoor niet als overbodig werk, maar als een meerwaarde in het ontwerpproces.

4.3.2. Visualisatietechnieken

Zoals uit de literatuur blijkt, kan visualisatie de beleving versterken: gebruikers worden meer betrokken bij het model en kunnen er letterlijk doorheen bewegen alsof het echt is. Treble biedt met zijn pre-rendering al een antwoord: gebruikers kunnen bewegen en hun 'hoofd' 360° draaien om de ruimte waar te nemen. Odeon biedt op dit vlak niets. Unreal Engine zou een aanvullende factor kunnen zijn, maar dat vereist voorkennis en extra voorbereidingen. Dit laatste kan een stap te veel zijn voor architecten die vandaag al een zware werklast hebben.

Game Engine: Unreal

In deze thesis is gekozen voor Unreal Engine in plaats van Unity of een andere game-engine, omdat het de enige gratis software is. Deze keuze vormt geen beperking, aangezien Unreal een vergelijkbare populariteit geniet als Unity. Het onderzoek richtte zich tevens op de gebruiksvriendelijkheid van Unreal Engine voor iemand zonder game-engine-ervaring, en op de haalbaarheid van de koppeling met een auralisatietechniek.

Voor de integratie van akoestische simulaties in een virtuele omgeving biedt Unreal Engine een geschikt platform. Dit proces vereist een technische voorbereiding en een leercurve. Het exportproces vanuit de modelsoftware bleek een eerste uitdaging: Unreal Engine accepteert bestandsformaten zoals FBX, glTF of GLB, terwijl SketchUp 2017 enkel KMZ, COLLADA of SKB exporteert. Uiteindelijk kon het model succesvol worden omgezet naar Vectorworks 2022.

De praktische opzet in Unreal Engine: het importeren van het model, het plaatsen van de vooraf geëxporteerde WAV-bestanden (audio's) uit ODEON, en het configureren van basisnavigatie en verlichting, nam ongeveer 1 uur en 50 minuten in beslag. Een aandachtspunt is dat het automatiseren van het afspelen van geluid op basis van de positie van de speler (bijvoorbeeld bij het passeren van een bron) niet eenvoudig bleek en nog verder moet worden onderzocht. Omdat in deze thesis al voor Treble is gekozen, is dit aspect niet verder uitgewerkt. Desondanks toont deze bevinding aan dat het integreren van een game-engine extra tijd en extra achtergrondkennis vergt.

Een volledige, realtime interactieve auralisatie in Unreal Engine, waarbij geluid dynamisch reageert op beweging, zou een iteratief en mogelijk complex proces zijn. Hoewel objecten in de engine verplaatst kunnen worden, moeten de bijbehorende audio's telkens opnieuw worden gepositioneerd. Deze extra laag complexiteit, gecombineerd met de benodigde rekencapaciteit en tijd, maakt dat Treble, voor het doel van deze thesis: het snel verkennen en evalueren van akoestische scenario's met gebruikers, mogelijk een praktischere keuze is. Treble biedt namelijk direct pre-rendered auralisatie zonder deze extra technische stappen. Het voornaamste nadeel van Odeon op zich is de afwezigheid van een real-time-ervaring. Een integratie in Unreal Engine kan dit oplossen, maar gaat gepaard met aanzienlijk extra voorbereidingswerk.

Datum	Software	Activiteit	Duurtijd
30/12/2025	Unreal Engine	Model en simulatie in deze engine steken voor virtuele rondgang	1h50

Tabel 9 Duurtijd initiatie Unreal Engine

Haptisch model

Een haptisch of tactiel model kan worden overwogen als aanvullende visualisatietechniek naast tools zoals Treble en Odeon. In tegenstelling tot digitale pre-rendering of game-enginekoppelingen kan een fysiek model voor sommige ervaringsdeskundigen, bijvoorbeeld mensen met een visuele beperking, een meer directe ondersteuning bieden bij het begrijpen van de ruimtelijke configuratie, zeker wanneer zij de ruimte niet (meer) kennen of nooit fysiek hebben bezocht.

Binnen het departement Architectuur zijn reeds lasercut-modellen in verschillende schaalgroottes (klein, medium en groot) beschikbaar, die in een dergelijk kader potentieel kunnen worden ingezet. Door middel van tactiele verkenning kan de gebruiker zich een beeld vormen van de ruimtelijke opbouw van het gebouw, waarna op specifieke locaties aanvullende auditieve informatie kan worden gekoppeld via bijbehorende geluidsfragmenten. Op die manier kan een multimodale verkenning van de ruimte worden ondersteund.

Een vergelijkbare benadering werd toegepast in de audiomaquette van de Tweede Kamer in Den Haag, ontwikkeld door initiatiefnemer Hannes Wallrafen in samenwerking met NOV'82 Architecten (NOV'82 Architecten, z.d.; Tweede Kamer der staten-generaal, 2022). Deze voel- en luistermaquette werd specifiek ontworpen voor blinde en slechtziende bezoekers en combineert een tactiele representatie van het gebouw met locatiegebonden auditieve informatie. Bij het aanraken van bepaalde onderdelen ontvangen gebruikers via een hoofdtelefoon aanvullende informatie over de bijbehorende ruimte. Voorafgaand aan de realisatie werd uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar onder meer schaal, materiaalgebruik, detailniveau en de combinatie van tactiele en auditieve informatie. Het project illustreert hoe haptische en auditieve representaties elkaar kunnen aanvullen om ruimtelijk inzicht en oriëntatie toegankelijker te maken voor personen met een visuele beperking.



Figuur 34 'Bovenaanzicht Audiomaquette Tweede Kamer' | Overgenomen uit Audiomaquette Tweede Kamer, door NOV'82 Architecten, z.d. (<https://nov82.nl/projecten/audiomaquette-tk/>)

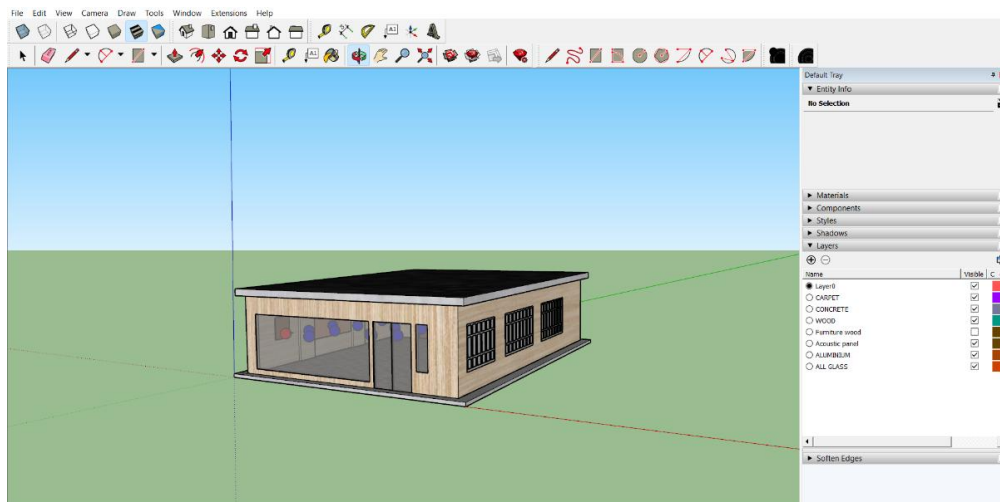
Binnen deze context kan het mediumformaatmodel als een mogelijke optie worden beschouwd. Een zeer groot model lijkt niet noodzakelijk, aangezien de huidige simulatie onvoldoende detailniveau biedt om een dergelijke schaal te rechtvaardigen. Een zeer klein model daarentegen is minder geschikt voor tactiele navigatie omdat de vingers de ruimtelijke kenmerken onvoldoende nauwkeurig kunnen waarnemen en lokaliseren.

4.3.3. Het 3D-model ontwerpen

4.3.3.1. Het referentiemodel voor softwarevergelijking

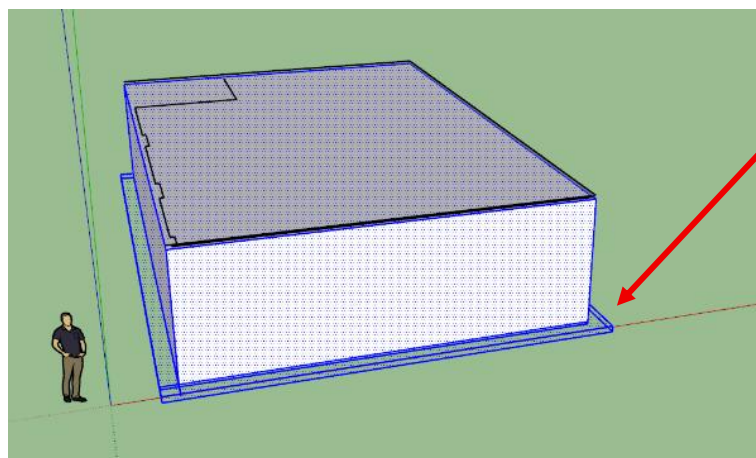
Om te bepalen welke CAD-software het best compatibel is met Treble, de uiteindelijk gekozen auralisatiesoftware voor dit onderzoek, werden twee programma's getest: SketchUp en Vectorworks. Beide zijn CAD-softwarepakketten, met als verschil dat Vectorworks ook geschikt is voor het tekenen van 2D-plattegronden. De bevindingen uit deze vergelijking worden hieronder beschreven.

Aangezien er voor deze fase van het onderzoek nog geen bruikbaar 3D-model van het Stadhuis van Leuven beschikbaar was en de beschikbare tijd beperkt was, werd ervoor gekozen om een bestaand cafetariamodel van het platform CGTrader te downloaden en aan te passen tot referentiemodel (judedefelix, 2024). De reden om voor een cafetariamodel te kiezen was dat horecagelegenheden akoestisch gezien tot de meest uitdagende publieke ruimtes behoren. Hoge geluidsniveaus, veel galmende oppervlakken en onvoorspelbare geluidspieken maken ze bijzonder relevant voor onderzoek naar auditieve diversiteit. Dit sluit bovendien aan bij het stadhuis als publieke ontmoetingsruimte, waar vergelijkbare vormen van auditieve overprikkeling kunnen optreden. In latere fases van het onderzoek werd wel een eigen model van het stadhuis opgebouwd en gebruikt (zie sectie 4.3.3.2).



Figuur 35 Cafetariamodel met bronnen en ontvangers, en lagenverdeling | Screenshot uit SketchUp, eigen werk.

Het aanpassen van dit model vergde aanzienlijke inspanning en ging gepaard met technische problemen. Een rechtstreekse import in SketchUp via een COLLADA-bestand (.dae) resulteerde erin dat alle onderdelen aan elkaar werden gekoppeld, wat het correct toewijzen van afzonderlijke componenten aan aparte lagen bijzonder moeilijk maakte. Na het opdelen bleken elementen zich op willekeurige posities te bevinden en niet verwijderbaar te zijn, een probleem veroorzaakt door onzichtbare componenten in andere lagen. Het verwijderen daarvan leidde telkens tot het verdwijnen van de gekoppelde elementen. Dit inefficiënte proces nam in SketchUp ongeveer drie uur in beslag.



Figuur 36 Onzichtbare elementen die leiden tot het verwijderen van andere gekoppelde elementen | Screenshot uit SketchUp, eigen werk.

Gezien deze problemen werd besloten hetzelfde proces in Vectorworks uit te voeren. Deze software bleek gebruiksvriendelijker voor het verdelen van componenten over lagen, doordat deze consequent volledige componenten selecteerde. In tegenstelling tot SketchUp, waar vaak alleen vlakken werden geselecteerd, wat de onzichtbare koppelingen verklaarde. Het opdelen van de componenten in Vectorworks was in ongeveer 30 minuten voltooid. Deze tijden hebben uitsluitend betrekking op het verdelen over lagen en het toewijzen van materialen. Het uiteindelijk aangepaste model werd vanuit Vectorworks als DXF-bestand geëxporteerd.

Uit dit traject bleek dat de voorbereiding van het 3D-model de meest kritische fase is voor een succesvolle akoestische simulatie, met specifieke vereisten voor de gebruikte software.

Het algemene uitgangspunt voor zowel Odeon als Treble is dat het absoluut essentieel is om het model tijdens de initiële ontwerpfasen zeer zorgvuldig en in logische lagen op te bouwen. Een slordige structuur leidt onherroepelijk tot dubbel werk en groot tijdverlies.

De conclusie is dat de investering in een schoon, eenvoudig en perfect georganiseerd 3D-model uren bespaart bij het oplossen van problemen met de simulatiesoftware. Het is de belangrijkste stap in het hele proces.

Datum	Software	Activiteit	Duurtijd
Zaterdag 20/12/2025	Sketchup	Model aanpassen + componenten in aparte lagen + materialen aan toewijzen	+/- 3 uur
Zaterdag 20/12/2025	Vectorworks	Model aanpassen + componenten in aparte lagen + materialen aan toewijzen	+/- 30 min
Maandag 29/12/2025	Sketchup	Model simplificeren en aanpassen	2h45 (10h15 tot 13h)

Tabel 10 Duurtijd initiatie Sketchup & Vectorworks voor in Odeon en Treble

In onderstaande tabel is er een samenvattende tabel voor de modelvereisten van beide softwarepakketten:

Vereiste	Odeon	Treble
Modeltype	Gesloten geometrie met vlakken/surfaces	
Schaal & eenheden	Juiste schaal essentieel	
Maximale complexiteit	Zeer complexe modellen mogelijk, maar vereenvoudiging vaak nodig voor berekensnelheid	Ontworpen voor complexe geometrie, maar vereenvoudiging vaak nodig voor berekensnelheid
Overlap & fouten	Model moet vrij zijn van overlappende vlakken en gaten	
Materiaaltoewijzing	Materialen toegewezen in Odeon zelf	Materialen toegewezen in webinterface van Treble zelf
Bronnen/ontvangers	Plaatsing binnen de software of in SketchUp	Plaatsing via de webinterface (niet in SketchUp)
Aanbevolen workflow	1. Model bouwen in CAD-software (zo eenvoudig mogelijk) 2. Laagstructuur volgens materiaalsoorten in CAD-software 3. Bronnen en ontvangers plaatsen in SketchUp via Odeon-plugin 4. Materialen toewijzen aan de laagstructuren in Odeon 5. Simulatie uitvoeren	1. Model bouwen in CAD-software (zo eenvoudig mogelijk) 2. Exporteren naar ondersteund formaat van Treble 3. Uploaden naar Treble 4. Materialen toewijzen aan de laagstructuren in Treble 5. Bronnen en ontvangers in Treble plaatsen 6. Simulatie uitvoeren
Veelvoorkomende problemen	• Te veel polygonen (traag) • Niet-gesloten ruimtes	• Te grote bestanden (uploadtijd) • Niet-gesloten ruimtes

	• Te kleine details die de simulatie verstoren	• Ontbrekende texturen/materialen • Te kleine details die de simulatie verstoren
--	--	---

Tabel 11 Modelvereisten Odeon & Treble

4.3.3.2. Modelling en technische voorbereiding van de geselecteerde ruimtes

Hoewel de ideale workflow in theorie rechtlijnig lijkt, blijkt in de praktijk dat flexibiliteit en een grondige voorbereiding essentieel zijn. De voorgaande secties schetsten hoe de geschikte software werd geselecteerd en getest op basis van een cafetariamodel. Die verkennende fase leverde een eerste reeks inzichten op over de workflow. Tijdens het modelleren van de geselecteerde ruimtes in het Stadhuis van Leuven kwamen bijkomende en onverwachte problemen aan het licht, die het stappenplan verder verfijnden. Onderstaand overzicht is dan ook niet louter theoretisch: het is een methodologie die stap voor stap werd bijgesteld op basis van concrete ervaringen.

Stap 1: CAD-model opbouwen met het oog op Treble

Voor een foutloze import in Treble is het gebruik van SketchUp (≥ 2021) vereist. De lagen dienen vanaf het begin op materiaal te worden georganiseerd (bijvoorbeeld 'Baksteen', 'Glas'), aangezien de laagstructuur na import niet meer kan worden gewijzigd. Er dient een strikt vereenvoudigingsprincipe te worden gehanteerd: vlakken worden gemodelleerd zonder dikte, terwijl dunne kaders, sierlijsten en meubilair dat niet akoestisch relevant is, worden weggelaten.

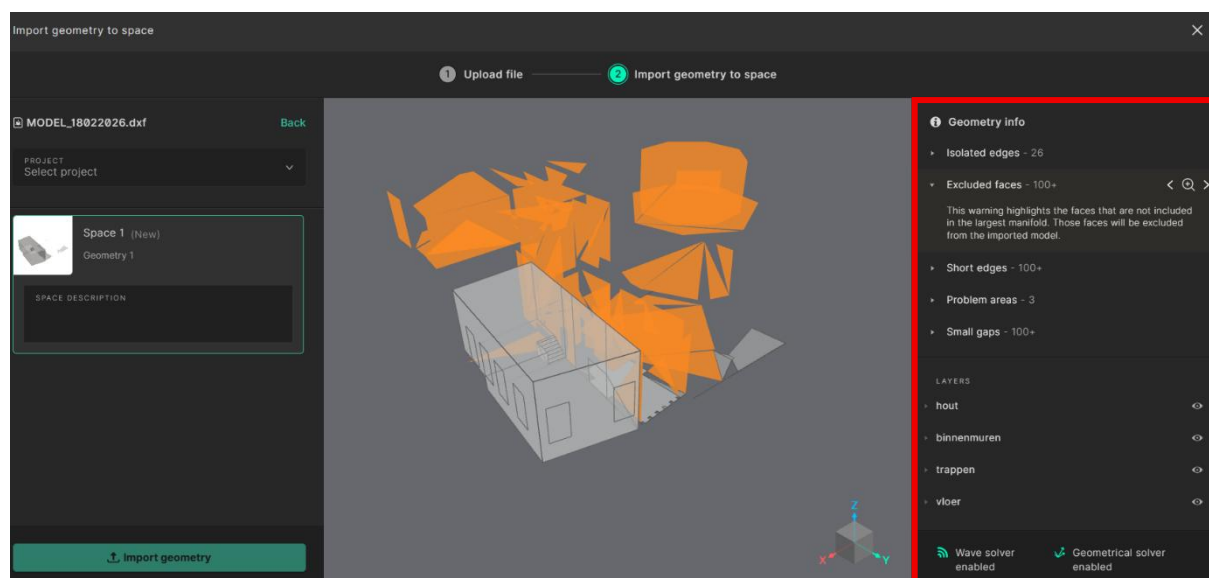
Bij het Stadhuis van Leuven kwamen er nog extra moeilijkheden bij. Aanvankelijk was het de bedoeling om een 3D-model te verkrijgen van het architectenbureau FELT. Het doel was om in samenwerking met hen inzicht te verwerven in de architecturale uitgangspunten van het ontwerp. Dit proces verliep echter anders dan verwacht. Door de grote publieksinteresse in het project, waar de architecten niet op hadden gerekend, beschikten zij in het stadhuis over onvoldoende tijd voor interviews of voor het aanleveren van documentatie. Daarnaast bleek er reeds een akoestisch adviseur aan het project verbonden, waardoor het onderzoek vanuit hun perspectief geen toegevoegde waarde bood. Zij gaven aan dat het project zich in een te vergevorderde fase bevond om ontwerpwijzigingen nog in overweging te nemen.

Na een langdurige wachtperiode en een negatieve respons werd besloten zelf over te gaan tot het modelleren van de ruimte. Dit proces nam meer tijd in beslag dan voorzien, doordat de betrokken ruimtes: de antichambre, de receptie en de polyvalente zaal, gelegen in een historisch gebouw, gekenmerkt worden door complexe hoogteverschillen en vormen. Bovendien bleek het initieel opgestelde model te gedetailleerd voor verwerking in de software Treble. Op aanwijzing van promotor Peter-Willem Vermeersch werd het model vereenvoudigd tot vlakken zonder dikte. Rechte trappen worden daarbij als vlakken gemodelleerd, gegeven hun beperkte oppervlakte.

Stap 2: Importeren en controleren in Treble

Na het uploaden is een visuele inspectie verplicht, omdat Treble niet altijd foutmeldingen genereert bij ontbrekende vlakken. Indien fouten worden geconstateerd, dient men terug te keren naar de CAD-software, het model verder te vereenvoudigen en opnieuw te exporteren. De exportroute (DXF of OBJ) dient vooraf te worden getest met een gedeeltelijk model.

Bij het Stadhuis van Leuven kwamen in deze stap bijkomende technische obstakels aan het licht. Verscheidene vlakken werden door Treble verwijderd zonder dat hierover duidelijke foutmeldingen werden gegenereerd. Het gehele traject, van modelopbouw tot softwareverwerking, kreeg daardoor het karakter van een trial-and-errorproces (zie Figuur 37).



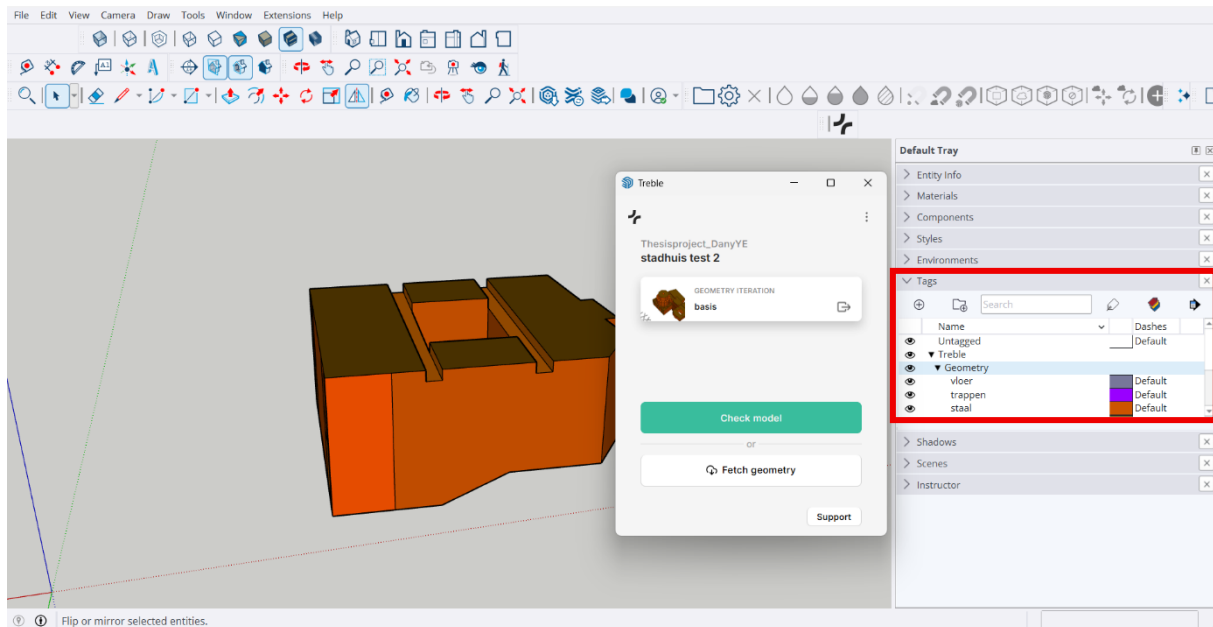
Figuur 37 Verdwijnende vlakken en foutmeldingen | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Om makkelijker te werk te gaan met Treble en het 3D-model, werd er gebruikgemaakt van een Treble-plugin. Deze plugin kon direct vanuit SketchUp het model importeren, en kan er gezien worden waar het nog niet 'waterdicht' is. Echter werkt dit alleen met de nieuwere versies van SketchUp. Een technische beperking was het gebruik van SketchUp 2017. Deze versie bood geen ondersteuning voor de Treble-plugin en liet evenmin export naar andere bestandsformaten toe. De export verliep noodgedwongen via VectorWorks naar DXF, wat regelmatig leidde tot compatibiliteitsproblemen tussen verschillende softwareomgevingen.

Na melding van deze problemen aan de promotoren werd een werksessie ingepland met Peter-Willem Vermeersch. Tijdens deze sessie werd het model verder afgewerkt en werden de optredende fouten geanalyseerd. Vermeersch beschikte over een recentere SketchUp-licentie met geïntegreerde Treble-plugin, waardoor het gelijktijdig modelleren en valideren mogelijk werd (zie Figuur 38). Hoewel fouten hierdoor sneller gelokaliseerd konden worden, bleef de precieze oorzaak ervan veelal onduidelijk. Gedurende de sessie van vier uur werd het model nagenoeg voltooid en kon het uiteindelijk in Treble worden geladen.

Voor SketchUp-gebruikers met een recente licentie biedt de Treble-plugin een grote meerwaarde. Dankzij real-time detectie en correctie van fouten tijdens het modelleren is er geen export/import meer nodig om wijzigingen te toetsen. Dit versnelt het oplossen van

problemen aanzienlijk. Bij gebruik van de plugin is een vaste hiërarchie essentieel: hoofdmap 'Treble', daarin submap 'Geometries', en daaronder de materiaallagen. Alleen op die manier kan de plugin correct 'tracken' en de lagen herkennen voor verdere verwerking in Treble. De plugin biedt ook de flexibiliteit om lagen toe te voegen of te verwijderen, wat het finetunen vereenvoudigt.



Figuur 38 Treble plugin in Sketchup | Screenshot uit SketchUp, eigen werk.

Ten slotte ondersteunt Treble gangbare formaten zoals .DXF en .OBJ. Test de exportroute voordat het model volledig is afgewerkt. Dat voorkomt veel tijdverlies achteraf. Het einddoel van deze fase is een 'schoon' waterdicht model, geëxporteerd naar een geschikt formaat en klaar voor import in Treble.

Stap 3: Materialen en geluidsbronnen toewijzen

Materialen worden geselecteerd uit de Treble-bibliotheek. Indien een specifiek geluid ontbreekt, kan een eigen WAV-bestand worden geïmporteerd. Treble ondersteunt geen mp3-bestanden, waardoor voorafgaande conversie noodzakelijk is. Soundscapes maken het mogelijk om realistische scenario's te creëren, zoals stemgeluid, stofzuigers of mobiele telefoons.

Ontvangers en geluidsbronnen

Zodra het model definitief is gevalideerd en 'waterdicht' is, kunnen bronnen en ontvangers worden toegevoegd. Voor de bronnen werden voornamelijk geluiden van mensen ingezet, alsook geluiden van stofzuigers, gsm's, ... Daarnaast werden drie geluiden van Pixabay toegevoegd, omdat Treble deze niet standaard aanbood. Het ging om een huilende baby, een schreeuwende vrouw, en een open- en dichtgaande deur. Deze bestanden waren in mp3-formaat en dienden te worden omgezet naar WAV-formaat, wat via Cloudconvert gebeurde. Tabel 21 geeft een overzicht van de ontvangers en geluidsbronnen, terwijl Figuur 53, Figuur 54 en Figuur 55 de ruimtelijke spreiding ervan op het plan weergeven.

Materialen

Het toewijzen van materialen verliep vlot. Dit kan in Sketchup met de Treble-plugin gebeuren. Wel dienden de juiste vlakken van de juiste materialen te worden voorzien. Voor het Stadhuis van Leuven waren de materialen vrij gelijkaardig, waardoor er weinig variatie in de materiaaltoewijzing nodig was. Doordat de vlakken in het model op voorhand werden ingedeeld in verschillende lagen, kon de materiaaltoewijzing efficiënt verlopen: per laag werd een corresponderend materiaal toegewezen. Hieronder volgt een overzicht van de in Treble toegewezen materialen, aangevuld met de bijbehorende materiaaleigenschappen en figuren. De vlakken die aan een bepaald materiaal zijn toegewezen, worden telkens in rood aangeduid.

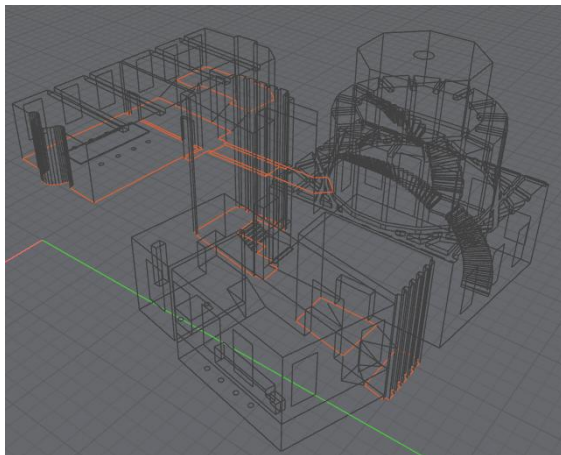
Voor de trappen en vloeren werden twee materialen toegepast, afhankelijk van de afwerking: *terrazzo slabs* voor de harde, gladde oppervlakken en *wooden flooring* voor de houten vloerdelen:

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Scattercoëfficiënt: 0.15							

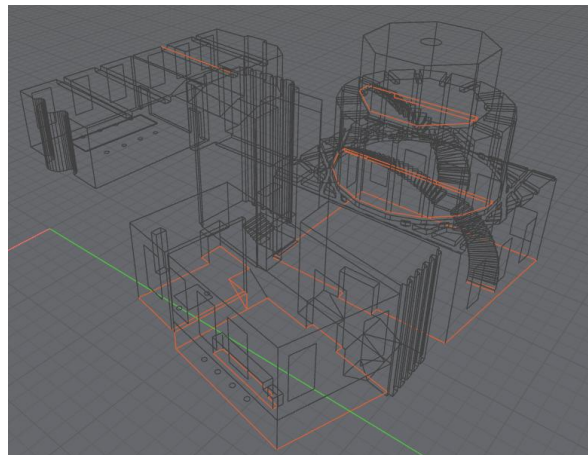
Tabel 12 Eigenschappen trappen/vloeren in Treble (terrazzo slabs)

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.16	0.15	0.13	0.1	0.08	0.07	0.07	0.07
Scattercoëfficiënt: 0.15							

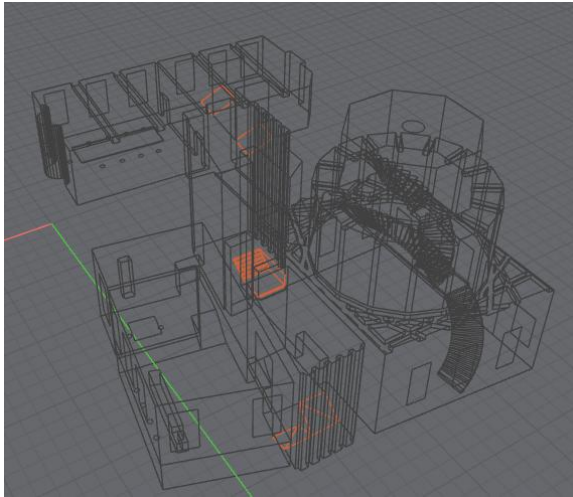
Tabel 13 Eigenschappen trappen/vloeren in Treble (wooden flooring)



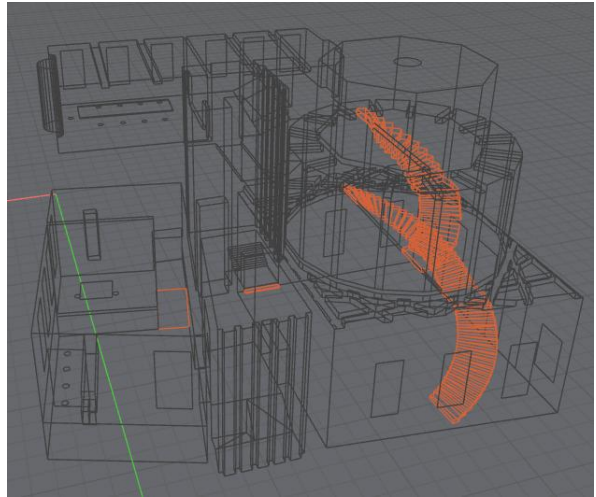
Figuur 39 Vloeren met wooden flooring | Screenshot uit Treble, eigen werk.



Figuur 40 Vloeren met terrazzo slabs | Screenshot uit Treble, eigen werk.



Figuur 41 Trappen met wooden flooring | Screenshot uit Treble, eigen werk.

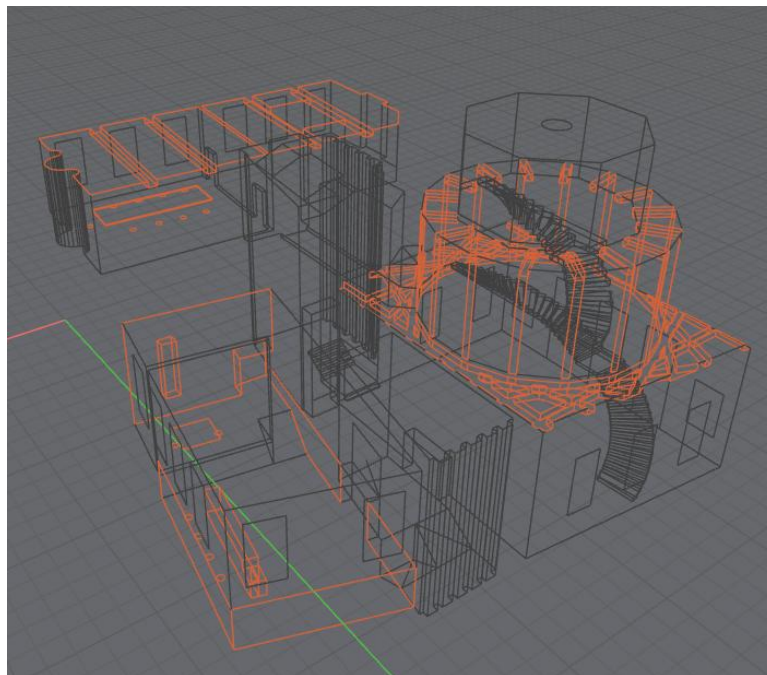


Figuur 42 Trappen met terrazzo slabs | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Voor de houten oppervlakken, zoals kolommen en balken, werd het materiaal *wood* gebruikt.

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.02	0.02	0.03	0.04	0.08	0.15	0.2	0.22
Scattercoëfficiënt: 0.25							

Tabel 14 Eigenschappen houten oppervlakken Treble (wood)

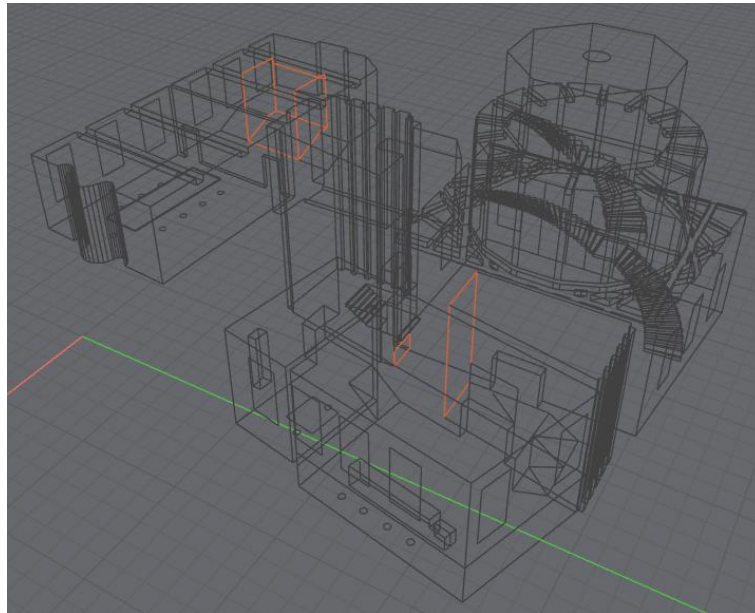


Figuur 43 Houten oppervlakken | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Voor de stalen oppervlakken, zoals de lift, werd het materiaal '*steel elevator*' gebruikt. Dit materiaal werd zelf aangemaakt in Treble, waarbij de frequentiecoëfficiënten werden bepaald op basis van AI op basis van de meest voorkomende waarden. Omdat geschikte technische fiches online moeilijk te vinden waren, zijn deze coëfficiënten niet afkomstig uit een officiële bron. Beschouw ze dan ook als door AI geschatte waarden.

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Scattercoëfficiënt: 0.10							

Tabel 15 Eigenschappen stalen oppervlakken Treble (steel elevator)

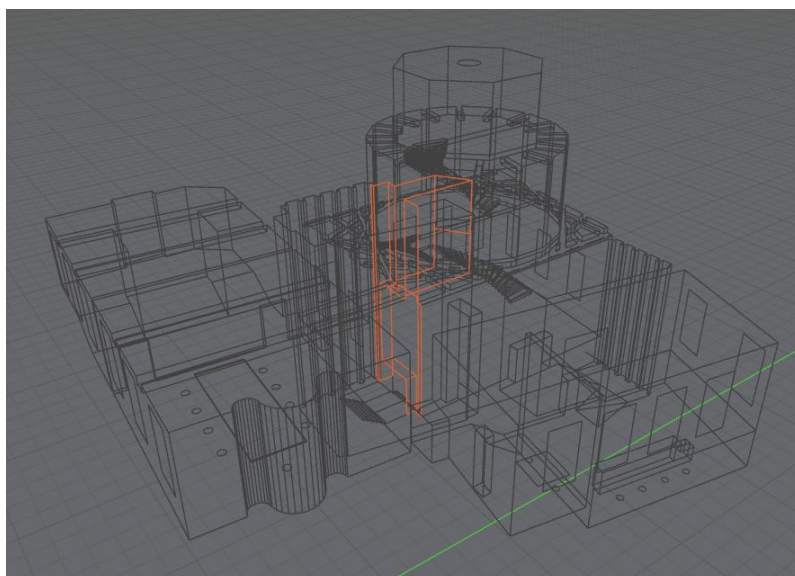


Figuur 44 Stalen lift | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Voor het metselwerk werd *brick unglazed* toegepast:

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.09
Scattercoëfficiënt: 0.40							

Tabel 16 Eigenschappen metselwerk Treble (brick unglazed)

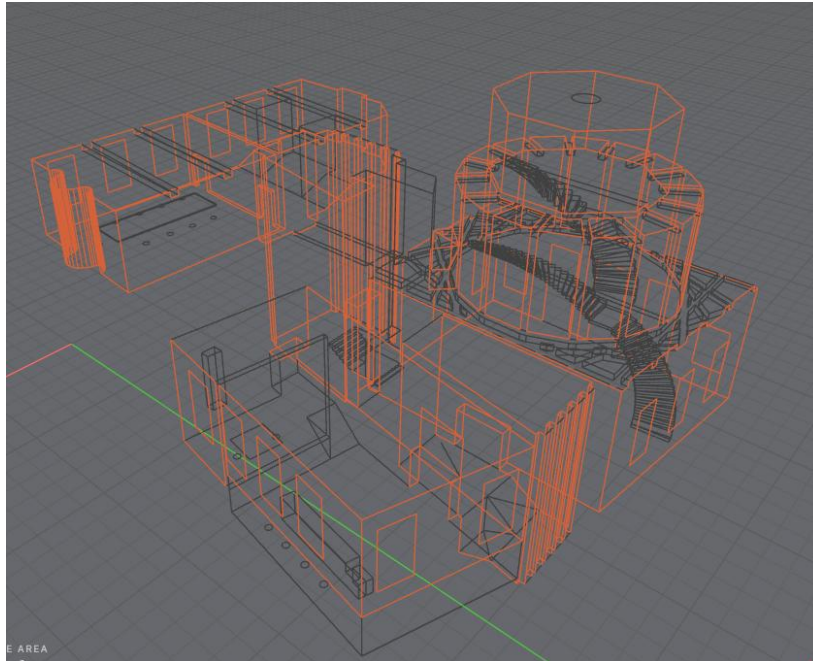


Figuur 45 Metselwerk | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Voor de binnenmuren werd *plastered masonry wall* gebruikt:

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.07	0.08	0.08
Scattercoëfficiënt: 0.15							

Tabel 17 Eigenschappen binnenmuren Treble (*plastered masonry wall*)

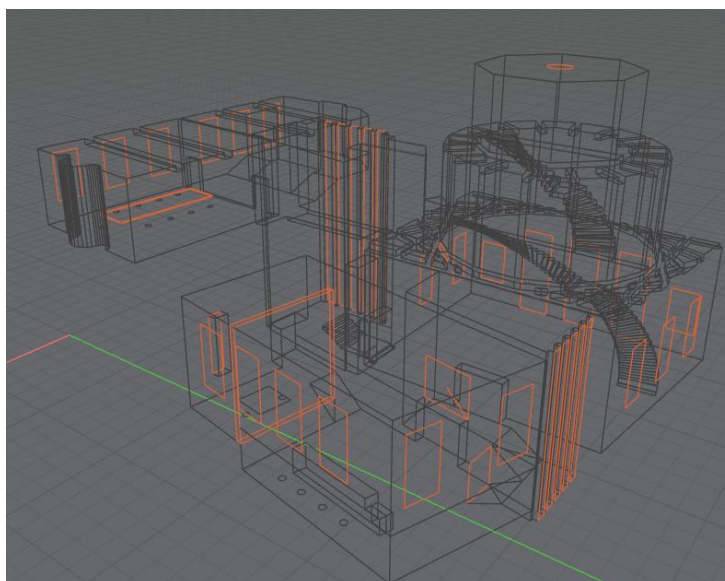


Figuur 46 Binnenmuren met *plastered masonry wall* | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Voor de glasoppervlakken werd *double 2-3 mm glass, >30 mm air gap* toegepast:

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.2	0.13	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Scattercoëfficiënt: 0.20							

Tabel 18 Eigenschappen glasoppervlakken Treble (*double 2-3 mm glass, >30 mm air gap*)

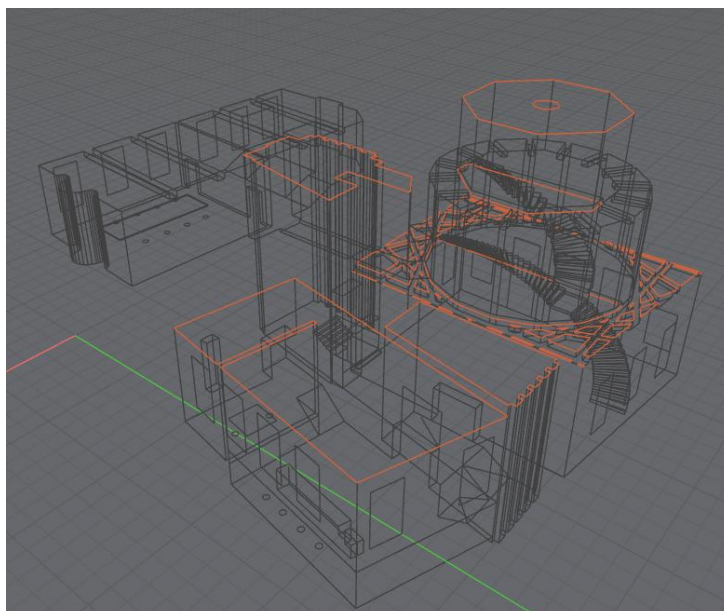


Figuur 47 glasoppervlakken | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Voor het plafond werd een akoestisch glaswolplafond toegepast: *acoustic ceiling (glasswool)*, 20 mm, 30 kg/m³, suspended 50 mm:

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.03	0.06	0.17	0.44	0.8	0.94	0.95	0.95
Scattercoëfficiënt: 0.20							

Tabel 19 Eigenschappen plafond Treble (*acoustic ceiling (glasswool)*, 20 mm , 30 kg/m³, suspended 50 mm)



Figuur 48 Akoestisch plafond | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Routes

Voor de ontvangers werd een grid opgesteld om na de simulatie een overzichtelijk beeld van de akoestische componenten te krijgen. Daarnaast werden puntontvangers toegevoegd om tijdens de simulatie van punt naar punt te kunnen schakelen, zodat de 1,5 meter kon worden gehandhaafd, aangezien navigatie door het grid niet mogelijk was. De bronnen zijn onder te verdelen in twee categorieën: omgevingsgeluiden (zoals pratende mensen en stofzuigers) en geluiden die bezoekers zelf produceren tijdens het bewegen, waaronder voetstappen. Alle bronnen werden willekeurig geplaatst, met uitzondering van de brug. Daar werden de bronnen op een onderlinge afstand van twee meter gepositioneerd, zodat een opeenvolgende reeks voetstappen hoorbaar werd. Er zijn vier routes uitgekozen, telkens vertrekkend vanaf de inkom naar: 1) de receptie en backoffice van Toerisme Leuven, 2) de polyvalente zaal, 3) het stadsbalkon en 4) de tussenruimte met een passerelle naar het historische gedeelte. De bijbehorende plannen en de keuze voor de routes zijn terug te vinden in sectie 4.4.2.

Stap 4: Simulatie plannen en auralisatie voorbereiden

De simulatie dient ruim van tevoren te worden gestart, bij voorkeur de dag vóór de presentatie. Het uitvoeren van een simulatie tijdens een presentatie of interview wordt afgeraden. Treble biedt de mogelijkheid tot pre-rendered navigatie: na afloop kunnen gebruikers met een hoofdtelefoon zelfstandig door het model bewegen, zonder verdere rekentijd.

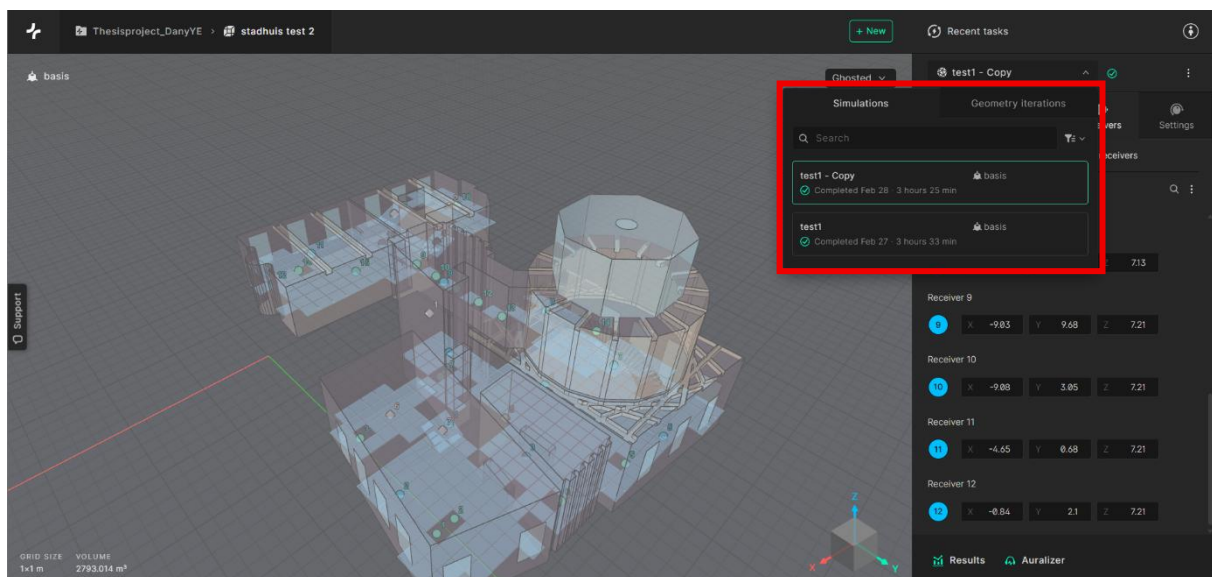
Auralisatie hoorbaar maken

Dit gebeurt met behulp van een Sony-hoofdtelefoon, model WH-1000XM3. Deze hoofdtelefoon beschikt over noise cancelling, waardoor de deelnemers volledig worden omgeven door het geluid van de auralisaties en de werkelijke omgevingsgeluiden niet meer horen. Om de virtuele omgeving vanuit verschillende richtingen te kunnen beluisteren, kunnen de deelnemers met de muis hun 'hoofd' draaien naar de luisterpositie in de ruimte.

Simulatietijd

De simulatie duurde circa vier uur. Deze doorlooptijd is aanzienlijk, vooral wanneer de bedoeling is om nieuwe bron- of ontvangerposities toe te voegen. Voor de volledige simulatie van het gehele gebouw (zonder opsplitsing in afzonderlijke ruimtes) geldt dat een testronde met 18 bronnen en 1 ontvanger even lang duurt als een testronde met 18 bronnen en 12 ontvangers. De duur van de simulatie wordt beïnvloed door het aantal bronnen, maar ook door zeer kleine onnauwkeurigheden in het model. Het toevoegen van extra ontvangers heeft daarentegen geen effect op de rekentijd.

Aanbevolen wordt de simulatie voorafgaand aan een presentatie klaar te zetten voordat de resultaten aan de opdrachtgevers worden voorgelegd. Indien de simulatie op het laatste moment zou moeten plaatsvinden, dreigt tijdgebrek een probleem te vormen. Een praktisch voordeel van Treble is dat meerdere simulaties in de wachtrij kunnen worden gezet. Zodra een berekening is voltooid, start de volgende automatisch.



Figuur 49 Simulatieduur model Treble | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Stap 5: Evaluatie en inzet voor gebruikersonderzoek

Tijdens de evaluatie kunnen zowel subjectieve luisterindrukken als objectieve akoestische parameters worden verzameld. Dankzij de pre-rendered navigatie is het model direct bruikbaar voor gebruikersonderzoek, zonder dat verdere handelingen in Treble nodig zijn.

Een betrouwbare auralisatie staat of valt met drie zaken: een recente softwareomgeving, een zo eenvoudig mogelijk model en een ruime tijds marge. Kleine omissies zoals een verouderde SketchUp-versie, een fout benoemde laag of een mp3 in plaats van WAV,

kunnen uren vertraging veroorzaken. Een doordachte modelopbouw is dan ook de belangrijkste succesfactor voor het gehele traject.

4.4. Inzichten van de ervaringsdeskundigen

4.4.1. Ervaringsdeskundigen

Voor het onderzoek werden drie personen geïnterviewd op basis van hun ervaringsdeskundigheid. Omwille van de anonimiteit zijn hun namen vervangen door pseudoniemen. Zij waren allen al bekend met het Stadhuis van Leuven door eerdere bezoeken, wat een duidelijke meerwaarde vormde: ze konden aanvullende inzichten bieden over de akoestiek en beschikten reeds over kennis van de gebouwstructuur.

Het betreft hier echter geen recente bezoeken. Voor alle drie was het al vrij lang geleden dat ze het stadhuis effectief hadden bezocht. Sandy bezocht het stadhuis twee tot drie keer, Stefanie vier tot vijf keer en Wout eveneens twee tot drie keer. Wout heeft daarentegen wel maandelijks vergaderingen met architecten en leden van de Adviesraad Toegankelijkheid van het Stadhuis van Leuven, waarbij hij plannen kan bekijken. Zijn kennis van het gebouw is daardoor vooral gebaseerd op deze planbesprekingen en minder op recente fysieke bezoeken.

Daardoor kennen ze het stadhuis erg goed en zijn ze vertrouwd met het toegankelijkheidsproces. Ze gingen er niet alleen voor eigen zaken, zoals tentoonstellingen of een huwelijk, maar soms ook voor onderzoek of locatiebezoeken.

Tabel 20 geeft een overzicht van de ervaringsdeskundigen:

Sandy	ervaringsdeskundige op het vlak van visuele beperking (vroegblind)
Stefanie	ervaringsdeskundige op het vlak van autisme en ADHD
Wout	ervaringsdeskundige op het vlak van autisme en mentale beperking

Tabel 20 Informatie ervaringsdeskundigen

4.4.1.1. Gemeenschappelijke ervaringen

Hoewel ze alle drie gevoelig zijn voor geluid, verschillen hun ervaringen en copingstrategieën opmerkelijk. Daarbij gaven de ervaringsdeskundigen aan dat zij na de interviewsessies een gevoel van vermoeidheid hadden en dat het toch wel een stevige sessie was. Alle drie zeiden dat, indien het in toekomstige projecten gehouden zou worden, het het best in kleinere stukken gedaan zou worden, of per ruimte.

4.4.1.2. Sandy | visuele beperking (vroegblind)

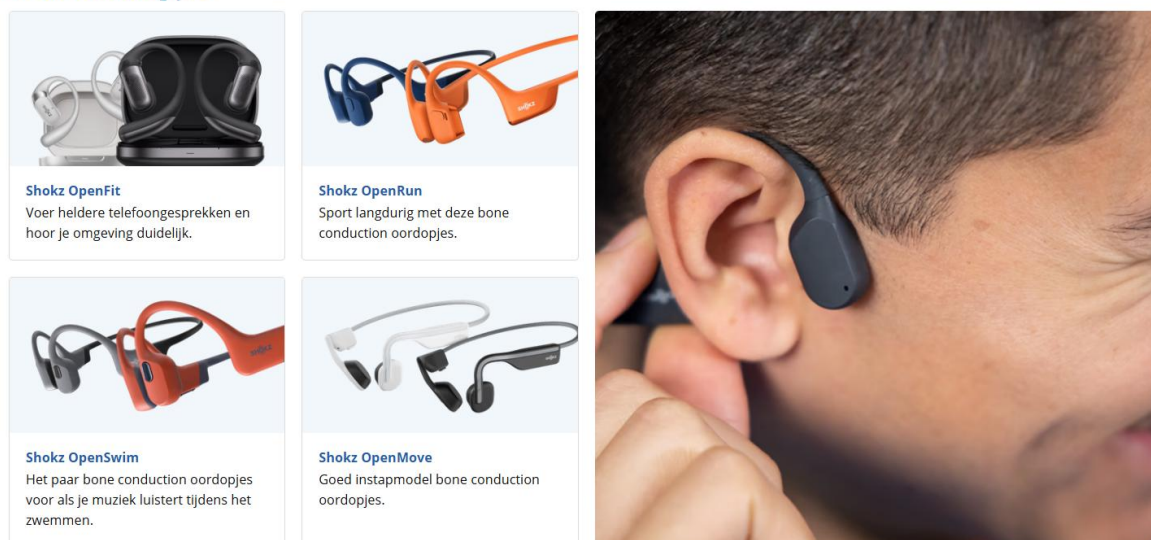
Sandy navigeert voornamelijk via geluid en gebruikt haar gehoor actief om ruimtes te verkennen. Zo kan ze bijvoorbeeld horen of ze van een hoge naar een lage ruimte gaat door de verandering in galm, en herkent ze openingen tussen gebouwen aan verschillen in geluidssweerkaatsing. Ze maakt gebruik van navigatie-apps, maar ervaart de vele geluidssignalen daarin vaak als overbodig. Ze legt uit:

“[...] soms vind ik het wel gemakkelijk dat je een geluidje hebt, maar in die apps, daar zitten zoveel geluidjes in. Bijvoorbeeld voor het aanduiden van een

oversteekplaats, of het aanduiden van vuilbakken, of een zitbankje, of je bent in de buurt van een point of interest dat je daar [app] zelf hebt ingegeven.”

Daarom benadrukt ze: *“Het moet geen klankspel worden.”* Ze gebruikt daarnaast Aftershokz-oortjes die achter het oor haken, zodat haar oren vrij blijven. Zo geeft zij niet de indruk asociaal te zijn wanneer iemand tegen haar wil praten.

Shokz oordopjes



Figuur 50 Voorbeeld Shokz oordopjes Coolblue (Shokz oordopjes, z.d.) | Screenshot van Shokz oordopjes, door Coolblue, z.d. (<https://www.coolblue.be/nl/oordopjes/shokz>).

Daarnaast maakt Sandy gebruik van stoktikken om auditieve signalen te genereren die haar helpen te navigeren. Wanneer haar oriëntatie wordt bemoeilijkt door overheersend geluid, zoals dat van een stofzuiger, probeert ze zich daarop te concentreren om haar omgeving alsnog te kunnen interpreteren en eventueel hulp te kunnen lokaliseren. Ze geeft aan geen specifieke behoefte te hebben aan een stille toevluchtsruimte, al suggereert haar ervaring met de akoestisch aangepaste antichambre dat een beperkte nagalmtijd wel rustgevend werkt: *“als dat moet kunnen, dan is dat wel dikwijls rustgevender voor mij”*.

Het tikken met haar stok vormt een essentieel onderdeel van haar oriëntatie, naast haar witte stok en haar gidslijnen. Ze gebruikt dit geluid actief om haar omgeving te ‘lezen’ en zich te situeren. Wat de gidslijnen betreft, zou ze die ook in gebouwen willen zien, zodat ze onafhankelijker kan navigeren. Als voorbeeld verwijst ze naar station Brussel-Zuid, dat zij als immens groot en chaotisch ervaart. Door het ontbreken van duidelijke richtlijnen is het voor haar moeilijk om zelfs de loketten voor hulp te vinden. Over hulp gesproken, benadrukt ze dat onthaalpunten voor haar erg belangrijk zijn en dat ze het liefst zo dicht mogelijk bij de ingang geplaatst worden.

Bij materialen zoals tapijt merkt ze dat stoktikken nauwelijks nog effect heeft: *“Dat maakt geen lawaai meer, en je hoort dat dan echt niet.”* Daarnaast geeft ze aan dat ze geen fan is van tapijt, omdat *“je dan ook niet altijd hoort hoe je kunt stappen, of wat het geluid is als je tikt met een stok.”*

Wanneer ze zich niet goed kan oriënteren, heft ze haar stok licht op en tikt ze drie à vier keer op de grond. Zo geeft ze een auditief signaal aan haar omgeving dat ze eraan komt en ruimte nodig heeft, terwijl het haar tegelijk helpt om botsingen met obstakels te

vermijden. Dit werkt niet overal even goed, maar verhoogt wel haar detecteerbaarheid in de ruimte.

De aanwezigheid van andere mensen en omgevingsgeluid vindt ze vooral belangrijk in onbekende gebouwen:

“In gebouwen waar ik het niet ken, vind ik dat eigenlijk heel belangrijk, omdat je toch iets zou kunnen vragen aan mensen. Dus eigenlijk vind ik dat wel altijd gemakkelijk.”

In drukke omgevingen zoals restaurants of cafés komt ze liever niet, omdat het te chaotisch is en ze moeilijk kan inschatten of de medewerker haar heeft opgemerkt. In vertrouwde contexten vraagt ze soms om een teken wanneer medewerkers haar hand zien opsteken.

Wat materiaalvoorkeuren betreft, geeft Sandy de voorkeur aan tegels, hout en linoleum boven tapijt. In haar woning gebruikt ze beneden tegels en boven parket, en vermijdt ze zoveel mogelijk matten. Dit is deels praktisch voor onderhoud, maar vooral belangrijk voor de akoestische leesbaarheid van de ruimte. Ze merkt ook dat lege ruimtes een holle klank hebben, terwijl meubels het geluid dempen. Voor ontwerpers is dit een belangrijk inzicht: niet alleen materialen, maar ook de inrichting beïnvloedt de akoestiek sterk.

Op de vraag naar interactieve geluidsbronnen tijdens auralisatie is Sandy eerder terughoudend: *“Ik denk dat je dan wel heel lang bezig gaat zijn.”* Ze suggereert dat ontwerpers beter vooraf bepalen welke geluidsbronnen relevant zijn, en deze vervolgens gericht voorleggen aan ervaringsdeskundigen. Ze verkiest een eenvoudige aanpak waarbij bestaande geluiden tijdens de sessie kunnen worden aan- of uitgezet boven extra interactieve toevoegingen.

Over de meerwaarde van auralisatie voor ontwerpers is ze positief. Volgens haar is het ideaal wanneer ontwerpers een eerste ontwerp maken, dit via auralisatie laten testen door ervaringsdeskundigen en vervolgens bijsturen. Zo kunnen de behoeften van verschillende gebruikersgroepen al op een vroeg stadium worden geïntegreerd. Ze benadrukt daarbij het belang van flexibiliteit in het ontwerpproces: *“dat er de mogelijkheid is [...] dat het toch nog kan aangepast worden.”* Ze ziet ook een meerwaarde in het gebruik van de tool binnen ontwerpstudio's, zodat studenten leren om rekening te houden met auditieve aspecten.

Daarnaast deelt Sandy enkele kritische inzichten over toegankelijkheid. Ze wijst erop dat moderne liften met touchscreens zonder spraak voor haar quasi onbruikbaar zijn en pleit voor standaard ingeschakelde gesproken verdiepingsaanduidingen. Over toegankelijk ontwerp stelt ze: *“[...] Waarom esthetiek, het moet praktisch zijn. Als je over inclusie spreekt, denk ik niet dat je veel esthetisch kunt verwezenlijken.”*

Zij maakt ook een onderscheid tussen vroeg- en laatblinden, waarbij laatblinden volgens haar meer moeite hebben omdat zij hun visuele geheugen moeten herstructureren. Zij vertrouwt sterk op haptische overzichten, zoals kleine maquettes, eerder dan op grote, gedetailleerde modellen. *“Ik heb liever dat ze met mijn vinger wandelen door een tekening”* geeft ze daarbij aan.

Zij gaf aan geen nood te hebben aan een haptisch model tijdens de sessie rond het Stadhuis van Leuven, aangezien zij het gebouw reeds kende en er sinds haar laatste bezoek geen significante wijzigingen waren in de ruimtelijke configuratie. Sandy beschikt over een

sterk visueel geheugen voor plattegronden en ruimtelijke structuren, waardoor zij de positionering van de ruimtes accuraat kon reconstrueren. In deze context gaf zij de voorkeur aan het aanduiden van routes met de vinger op een plan, eerder dan via een fysiek model.

Hoewel zij eerder met haptische modellen van het Stadhuis van Leuven heeft gewerkt, gaf zij aan dat deze in dit geval minder noodzakelijk waren dankzij haar bestaande mentale kaart van het gebouw. Voor onbekende gebouwen hanteert zij echter een andere aanpak: zij verkiest in eerste instantie een kleine, overzichtelijke maquette die een globaal ruimtelijk inzicht biedt. Vervolgens kan zij deze verder verkennen door met de vinger de circulatie en ruimtelijke relaties te onderzoeken.

Tot slot deelt ze aanvullende observaties over andere gebruikersgroepen. Voor doven en slechthorenden benadrukt ze het belang van visuele signalen en goede lichtcommunicatie, evenals een stabiele internet- of mobiele verbinding in liften om noodcommunicatie mogelijk te maken. Ze merkt op dat gehoorapparaten vaak als monotoon worden ervaren, terwijl cochleaire implantaten natuurlijker klinken. Voor mensen met autisme wijst ze op de nood aan rustige ruimtes en minder prikkels, al erkent ze tegelijk dat te veel neutralisatie de beleving kan verarmen: *“Een kermis zonder muziek is geen kermis.”*

Ze besluit dat het waardevol is om met meerdere ervaringsdeskundigen tegelijk te werken (visuele, auditieve en neurodiverse profielen), mits er een goede audioweergave is via over-ear-koptelefoons. Voor grotere opstellingen ziet ze eventueel ook een meer collectieve aanpak als relevant, waarbij iedereen zijn eigen luisterervaring behoudt.

4.4.1.3. Stefanie | autisme en ADHD

Stefanie ervaart geluid als een indringende prikkel die ze niet automatisch kan filteren. Concrete storende geluiden zijn voor haar buiten auto's, vrachtwagens, treinen en blaffende honden, en binnen babbelende collega's, een slechte akoestiek in oude gebouwen, en in restaurants het gebabbel van andere mensen, smakkende geluiden en het schuiven van stoelen. Ze geeft aan dat een restaurant voor haar *“een heel lastige omgeving”* is om te functioneren of een gesprek te voeren, omdat *“het omgevingsgeluid te overheersend is”*.

Om zich voor te bereiden op nieuwe plekken zoekt ze vooraf informatie op. Ze vraagt zich dan af: *“Hoe ziet dat eruit? Waar kan ik mijn fiets zetten?”* Ook bekijkt ze het menu en de omgeving via Google Maps, en kent ze vaste plekjes waar ze graag komt met een gewenste zitplek.

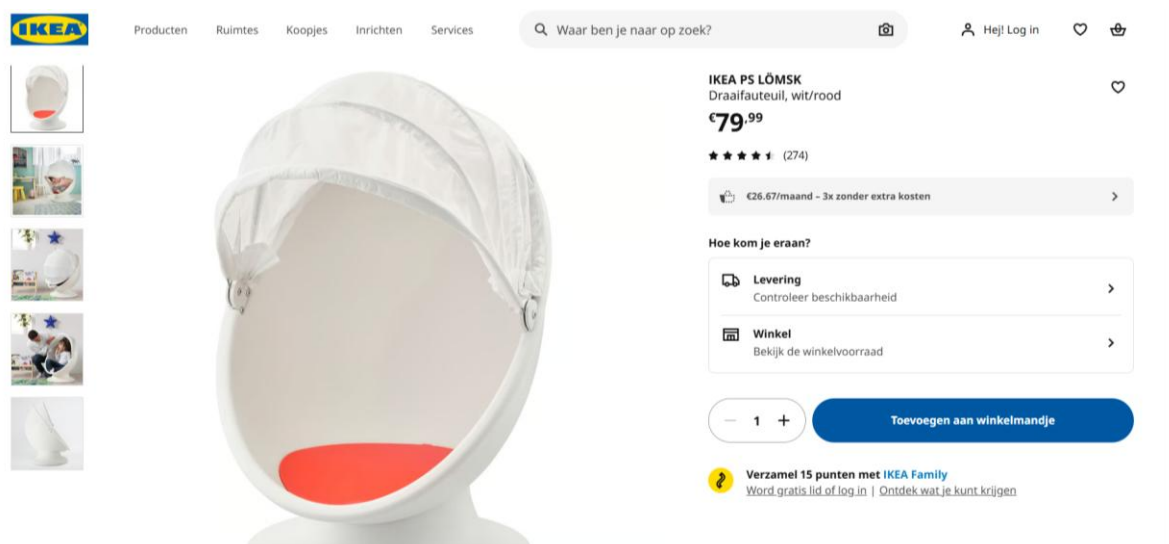
Ze beschrijft dat ze geen automatisch filter heeft voor irrelevante geluiden, iets wat volgens haar andere mensen wel hebben. Ze zegt lachend: *“Ik kan er mij niks bij voorstellen.”* Aan het einde van een drukke dag met veel prikkels, zoals een receptie of personeelsvergadering, zit haar hoofd *“helemaal vol”* en kan er niets meer bij. Geluid is voor haar *“vaak een heel indringende prikkel in het dagelijks bestaan”*.

Tijdens de auralisaties maakte Stefanie actief gebruik van de 360°-functie om geluidsbronnen te lokaliseren. Ze vond dit een nuttige toevoeging, maar bleef zich bewust van de context en de beperkte realiteit van de simulatie: *“Ik was me de hele tijd ook wel bewust van het feit dat ik hier op deze stoel zat, alleen.”* Ze deed haar best om zich in te leven, al vond ze dit niet vanzelfsprekend. Tegelijk benadrukt ze dat *“[...] het volledige*

plaatje sowieso wel informatiever [is] dan enkel het geluid of enkel het beeld [...]”, omdat ze zo beter de ruimte kan begrijpen door zowel te kijken als te bepalen waar geluiden vandaan komen.

Hoewel ze niet meteen kan benoemen welke materialen ze prettig vindt, geeft ze aan dat ze thuis tapijt heeft en dat dit een gevoel van rust geeft. Het dempt voetstappen en het geloop van kinderen, waardoor alles doffer klinkt. Op kantoor waardeert ze geluidswerende schermen die haar bureau afschermen van de rest van het kantoor.

Een stille toevluchtsruimte zou Stefanie sterk waarderen, ook wanneer die gedeeld wordt met onbekende mensen, *“zolang ze stil zijn en zich aan de regels houden”*. Ze merkt wel op dat het effect van zo’n ruimte kan verminderen wanneer er te veel mensen aanwezig zijn. Qua inrichting zoekt ze een balans tussen soberheid en gezelligheid. Ze vermijdt te veel kleur, te drukke patronen of een mix van verschillende soorten stoelen. Ze geeft de voorkeur aan afgeschermdde plekken, zoals een eivormige stoel die je bij IKEA kunt kopen of zetels die rug aan rug staan, zoals in De Valk 3 van KU Leuven, zodat ze *“[even] afgeschermd is van de wereld”*.



Figuur 51 Eivormige stoel van IKEA (IKEA, z.d.) | Screenshot van IKEA PS LÖMSK, door IKEA, z.d. (<https://www.ikea.com/be/nl/p/ikea-ps-loemsk-draaifauteuil-wit-rood-10407136/>).



Figuur 52 Inrichting cafetaria De Valk 3 (KU Leuven, z.d.) | Overgenomen uit 00.32 - academisch Kwartier De Valk, door KU Leuven, z.d. (<https://www.kuleuven.be/kulag/nl/lokaal/103-03-000032/onderwijs>).

Ze benadrukt echter dat zo'n stille ruimte niet exclusief voor mensen met autisme bedoeld mag zijn, maar voor iedereen toegankelijk moet zijn. *“Faciliteiten zijn er om gebruikt te worden.”* Wel vindt ze dat, wanneer voorrang nodig is (bijvoorbeeld bij een rolstoeltoegankelijk toilet), deze ook moet worden gerespecteerd. Wat de plaatsing van zulke ruimtes betreft, verkiest ze een toegankelijke maar rustige locatie, bijvoorbeeld *“op een toegankelijke, makkelijk vindbare locatie, zonder dat er al te veel passage is. Bijvoorbeeld op het einde van een gang.”*

Stefanie benadrukt dat toegankelijkheid verder gaat dan alleen akoestiek. Duidelijke bewegwijzering en heldere aanduiding van functies zijn volgens haar essentieel. Wanneer een balie niet expliciet als informatiebalie wordt aangeduid, zal ze er niet spontaan naartoe gaan. Ook meubilair dat niet duidelijk als zitplaats herkenbaar is, gebruikt ze niet snel of als eerste. Een druktemeter op de website van een gebouw (zoals bij IKEA of pretparken) vindt ze een groot hulpmiddel, zodat ze van tevoren kan zien op welke dagen en uren het rustig is en zelf haar bezoekmoment kan kiezen.

Wat bredere toegankelijkheid betreft, stelt ze dat informatie op verschillende manieren beschikbaar moet zijn. In een treinstation moeten aankondigingen bijvoorbeeld *“zowel auditief als visueel ter beschikking staan.”* Ook bij brandalarmen spelen visuele signalen, zoals lichtflitsen, een belangrijke rol voor mensen met een auditieve beperking. Daarnaast wijst ze erop dat noodsituaties in liften problematisch kunnen worden wanneer communicatie uitsluitend auditief is.

Ze waarschuwt voor de valkuil om alle mensen over één kam te scheren: *“Iedereen is anders”*, ook binnen een bepaalde beperking. Wat voor de ene persoon met autisme werkt, kan voor de andere persoon storend zijn. Ze geeft het voorbeeld van opvallende kleuren voor slechtzienden, die voor iemand met autisme juist overprikkelend kunnen zijn. *“De gulden middenweg is vaak moeilijk te vinden.”*

Op de vraag of ze het nuttig zou vinden om tijdens de auralisatie zelf te kunnen klappen of tikken, antwoordt Stefanie: *“Voor mij zou dat denk ik niet echt veel verschil maken. [...] Een tof speeltje, maar het zou niet zo heel veel toevoegen.”* Ze ziet meer waarde in het kunnen vergelijken van verschillende varianten (met en zonder panelen).

Tot slot is ze enthousiast over het gebruik van auralisatie. De simulaties met en zonder aanpassingen (panelen, tapijt) zijn volgens haar *“supernuttig”*, omdat ze het verschil hoorbaar maken en ontwerpers in staat stellen verschillende opties onderling te vergelijken voordat er iets gebouwd is.

4.4.1.4. Wout | autisme en mentale beperking

Wout heeft moeite om geluiden te onderscheiden. Hij haat achtergrondgeluid en drukke ruimtes, raakt snel overprikkeld en heeft voorafgaand aan afspraken of sociale gelegenheden, zoals feestjes, voorbereiding nodig. Zijn copingmechanisme is vluchtgedrag: zodra een situatie ongemakkelijk wordt, wil hij meteen weg, zoekt hij een rustige plek op of belt hij met een vriendin.

Om zich tegen prikkels te beschermen, gebruikt hij actief een noise-cancelling-koptelefoon (merk: Golden Sound). Wanneer hij tot rust wil komen, zet hij in zijn studio de muziek luid en zingt hij mee. Dit ervaart hij als essentieel, al wordt het door anderen soms als storend

ervaren. Ook geeft hij aan dat hij bij een onprettig gevoel juist meer gaat praten en drukker gedrag vertoont.

Wat ruimtes betreft, hebben akoestische ingrepen voor hem een grote meerwaarde: hoe meer akoestische materialen aanwezig zijn, hoe beter. Zeker op drukke plaatsen met veel passage en veel mensen. Stille ruimtes moeten volgens hem aan strikte eisen voldoen: absolute stilte (geen gefluister of normale gesprekken) en een sobere maar gezellige inrichting met neutrale kleuren, planten en kussens, maar zonder felle kleuren of slingers. Hij kan zich niet voorstellen dat hij zich op zijn gemak zou voelen in zo'n ruimte met onbekenden. Zijn voorkeurslocatie in het Stadhuis van Leuven voor een stille ruimte is de bovengelegen receptiezaal, aan het einde van een gang met weinig passage.

Wout geeft al jaren advies over plannen en vindt dat architecten nauwer moeten samenwerken met mensen met een beperking. Volgens hem zijn sommige architecten moeilijk te overtuigen, terwijl anderen juist erg openstaan voor aanpassingen. Hij pleit voor autismevriendelijke labels en meer aandacht voor niet-fysieke beperkingen zoals autisme en het syndroom van Down. Daarbij benadrukt hij ook: *"[...] voor elke mens met een handicap is het anders."*

Wat oriëntatie betreft, vertrouwt hij liever op een eenvoudig en overzichtelijk plan of op een foto dan op een haptisch model. Een plattegrond mag niet te druk zijn, want te veel lijntjes, symbolen of kruisen kunnen snel overprikkelend zijn.

De auralisatiesessie ervoer hij als moeilijk. Hij klikte vaak snel door, zowel om de geluiden te vermijden als omdat hij het gebouw al deels kende, waardoor hij zich moeilijk kon inleven in een statische simulatie op de computer. Hij zou zich beter kunnen concentreren als hij daadwerkelijk in beweging was met een koptelefoon op. *"Ik weet het niet, ik kan me dat niet voorstellen. Het is heel moeilijk om mij dat in te beelden"*, zei hij fronsend. Toch ziet hij de auralisatie als een meerwaarde, op voorwaarde dat hij alle informatie over het gebouw vooraf krijgt. Hij ervaart het als *"onvoorspelbaar"* omdat hij zich er dan niet op kan voorbereiden.

Wout benadrukt dat architecten vaak vergeten dat er naast fysieke beperkingen ook andere vormen bestaan. In veel ontwerpen ontbreekt het hem aan voldoende pictogrammen, duidelijke bewegwijzering, overzichtelijkheid en rustige ruimtes. De receptie zou volgens hem beter meer naar voren geplaatst worden, bijvoorbeeld centraal in de onthaalruimte in plaats van helemaal achteraan. Ook vindt hij dat het baliepersoneel een gerichte opleiding zou moeten krijgen in de omgang met mensen met een beperking.

Tot slot wijst Wout op zijn gebruik van SMOG (spreken met ondersteuning van gebaren) en op het belang van toegankelijkheid voor doven en slechthorenden. Hij formuleert concrete aanbevelingen: een sprekende lift die verdiepingen aankondigt, een flikkerend licht bij brandalarm, goede wifi in liften voor noodoproepen, en het vermijden van glasdeuren omdat die vaak moeilijk zichtbaar zijn. Daarnaast ziet hij waarde in een app die ondersteuning biedt bij probleemsituaties voor mensen met een beperking.

4.4.2. Routes doorheen het Stadhuis van Leuven

Voor de auralisaties werden routes uitgestippeld die telkens door het midden van de ruimte liepen en een rechte, voorspelbare lijn volgden. Deze keuze is bewust: zo ervaart de

deelnemer de akoestische eigenschappen van elke ruimte op een consistente en vergelijkbare manier. Elke route is zo samengesteld dat alle geselecteerde ruimtes aan bod komen, waardoor een volledig beeld ontstaat van het akoestische parcours door het gebouw. Bij elke route werd de ervaringsdeskundige gevraagd om tijdens het doorlopen van de route zijn of haar mening te geven. Na afloop volgde er algemene feedback en werden er verdiepende vragen gesteld.

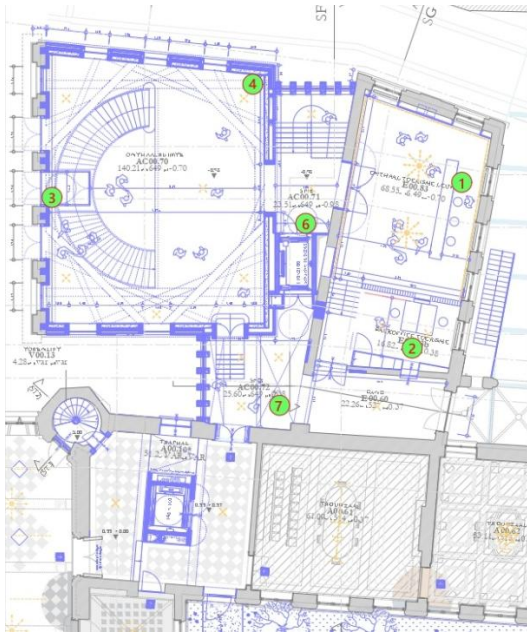
De geluidsbronnen werden zo gekozen dat ze overeenkomen met geluiden uit het dagelijkse leven. De bronnen die menselijke geluiden produceren, werden zowel willekeurig als op logische plaatsen gepositioneerd, zoals bij de wachtplaats van een lift of bij de receptie. Het geluid van stofzuigers werd in de gangen geplaatst: één keer in een open gang en één keer in een halfgesloten gang in een hoekje. Dit om te onderzoeken hoe luid het geluid kan zijn wanneer het wat verstopt zit, in vergelijking met wanneer het zich in een open ruimte bevindt. Naast deze bronnen werden ook voetstappen toegevoegd. Het totale aantal bronnen werd bewust hoog gehouden om de meest akoestisch belastende situatie te trachten te simuleren. De redenering hierachter is dat een akoestische oplossing die standhoudt tijdens piekmomenten, ook doeltreffend zal zijn tijdens rustigere periodes.

De gebruikte bronnen zijn als volgt:

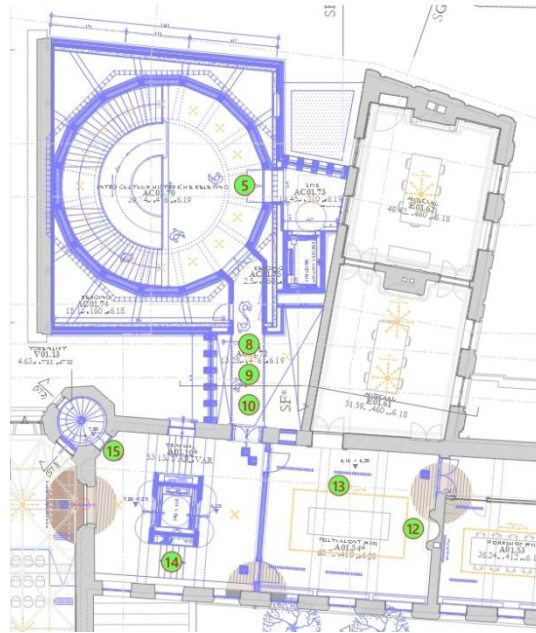
Bron 1: woman 03 (vrouw die zit te praten aan de receptie over marketing)	Bron 8 - 10: lecture hall steps (voetstappen)
Bron 2: stofzuiger	Bron 11: crying baby (hulende baby)
Bron 3: Deur van de inkom die open en toe gaat	Bron 12: man speech v01 (man die een presentatie houdt in de polyvalente zaal)
Bron 4: jongens die hoesten en lachen	Bron 13: boys whisper dialogue (fluisterende jongens die een dialoog houden)
Bron 5: female shout 02 (vrouw die roept)	Bron 14: lecture hall steps (voetstappen)
Bron 6: iphone (een inkomend gsmgesprek)	Bron 15: stofzuiger
Bron 7: female & male dialogue (vrouw en man dialoog)	

Tabel 21 Overzicht van de gebruikte geluidsbronnen in het model van het Stadhuis van Leuven

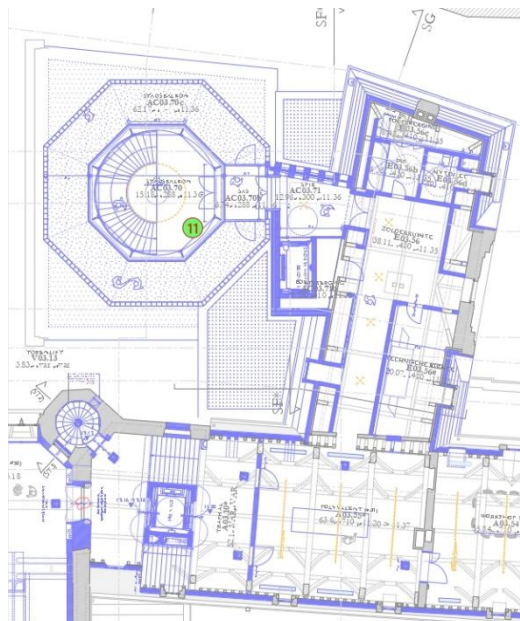
De positionering van deze bronnen wordt weergegeven op de grondplannen in Figuur 53, Figuur 54 en Figuur 55.



Figuur 53 Positionering van de geluidsbronnen op het grondplan van het gelijkvloers (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

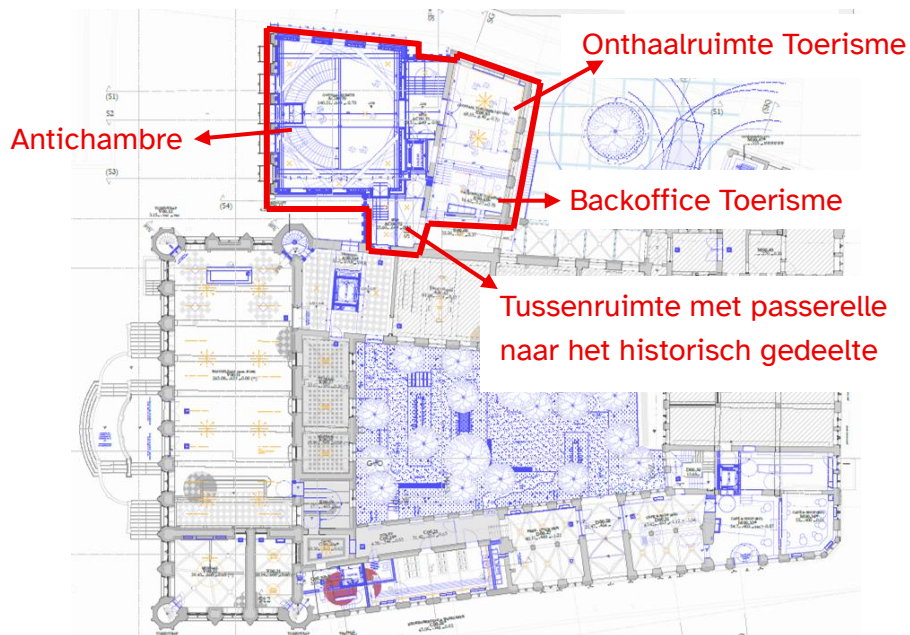


Figuur 54 Positionering van de geluidsbronnen op het grondplan van de eerste verdieping (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



Figuur 55 Positionering van de geluidsbronnen op het grondplan van de derde verdieping (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 6), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

Hierbij worden de plannen van de ruimtes die voor de auralisatie werden gebruikt, toegevoegd. De betreffende ruimtes zijn aangeduid op de grondplannen van het gelijkvloers (Figuur 56) en de eerste verdieping (Figuur 57). De antichambre strekt zich uit over meerdere verdiepingen, dus die ruimte wordt volledig meegenomen, samen met de ruimte voor de lift.

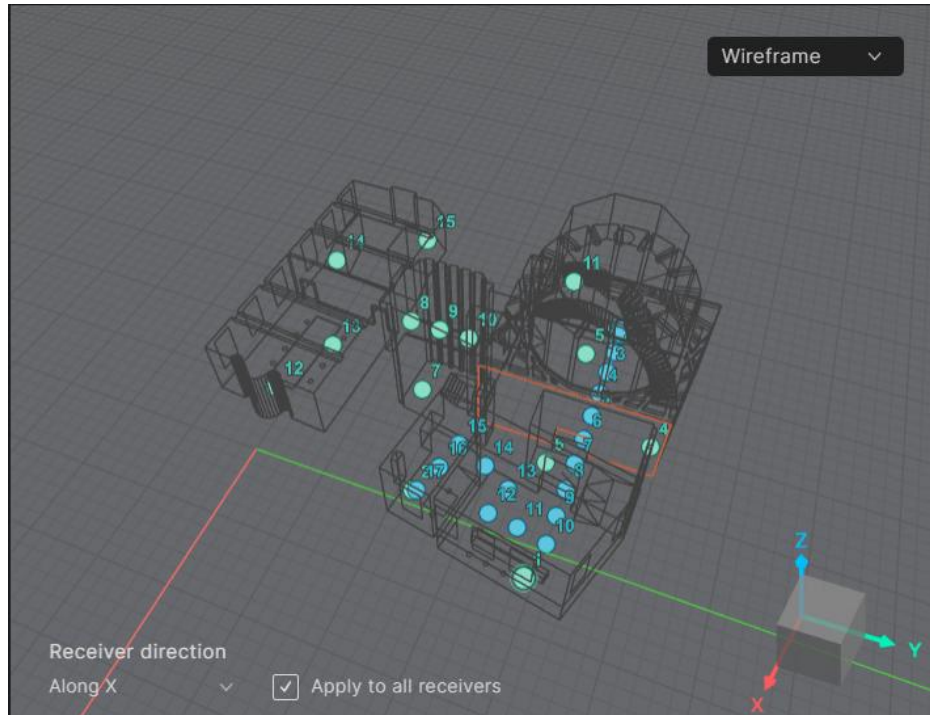


Figuur 56 Grondplan gelijkvloers (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

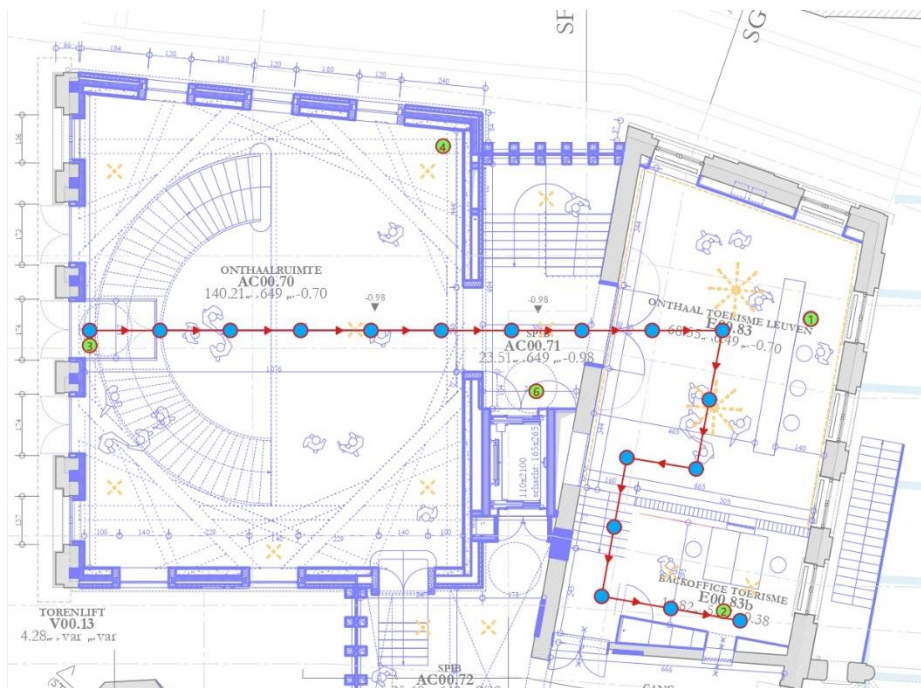


Figuur 57 Grondplan eerste verdiep (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

4.4.2.1. Route 1: inkom naar de receptie en backoffice Toerisme



Figuur 58 Route 1 op 3D-model | Screenshot uit Treble, eigen werk.



Figuur 59 Gelijkvloers route 1 (aNNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

Deze route volgt de blauwe bollen (telkens twee meter uit elkaar) van de inkom naar de antichambre, de tussenruimte, de receptie en de ruimte ernaast. De geluidsbronnen omvatten onder meer een stofzuiger, een huilende baby, een roepende vrouw, een openende en sluitende deur, voetstappen, gesprekken, een gsm en een presentatie in de polyvalente zaal. De bronnen in Tabel 21 kunnen gevonden worden in de afbeelding erboven (groene bollen).

Tijdens het beluisteren van de route:

Sandy vroeg tijdens de uitleg naar de locatie van de hogere ruimte naast de receptie en herinnerde zich die correct, zoals van jaren geleden, wat wijst op een zeer visueel geheugen. Stefanie en Wout kregen de mogelijkheid om 360° rond te kijken. Stefanie maakte hier actief gebruik van om bronnen te lokaliseren, terwijl Wout dat niet deed: hij wilde zo snel mogelijk weg van alle geluiden.

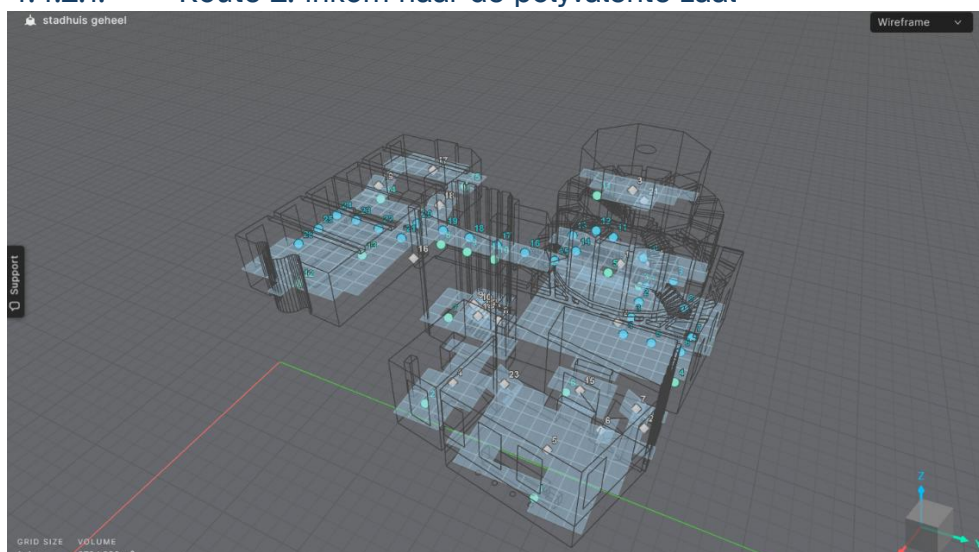
Na het beluisteren van de route:

Sandy vond het stofzuigergeluid (geen verandering in dB, normaal geluid) te luid en noemde het "overstemmend". Ze was opgelucht wanneer het even dof klonk: *"Ik was blij dat het heel af en toe zo heel even dof was."* Toen de stofzuiger werd weggelaten, kon ze de huilende baby opmerkelijk goed lokaliseren: *"die kleine die aant janken is"*, *"links en hoog, vermoedelijk het tweede verdiep."* Ze verklaarde dit door haar vermogen om geconcentreerd te luisteren. De sprekende vrouw aan de receptie (bron 1) kon ze steeds goed horen, maar niet verstaan, *"want het was Engels"*. Haar navigatietactiek bestond uit links/rechts/midden/voor/achter.

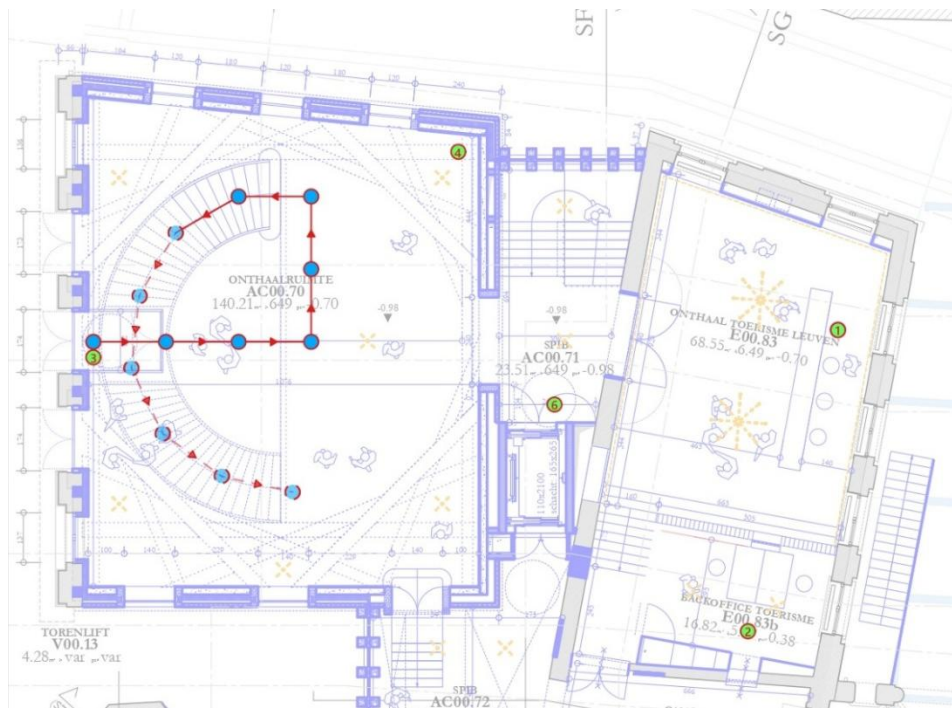
Stefanie vond de aanwezigheid van andere mensen irritant. Voor haar was niet de stofzuiger (die was teruggebracht naar een verschil van -20 dB) maar de deur het meest storend. Ze noemde het gepiep en gekraak *"heel opvallende dingen"*. De oriëntatie van de deur was voor haar niet duidelijk, ze wist niet precies waar het geluid vandaan kwam. De receptionist kon ze niet goed verstaan door het overheersende achtergrondgeluid. De galm vond ze acceptabel, hoewel hij aanwezig was.

Wout (ook met een stofzuiger op een verschil van -20 dB) noemde drie overheersende geluiden: de huilende baby, de aanwezige mensen en de gsm. De receptionist kon hij alleen op korte afstand verstaan. Hij merkte wel dat het een Engelse stem was. Hij vond de route onaangenaam vanwege de onvoorspelbaarheid. De deur vond hij irritant, de stofzuiger soms ook, maar hij relativeerde dat door te zeggen dat er tegenwoordig stille stofzuigers bestaan. De antichambre omschreef hij als erg druk. Het was voor hem een te veel aan mensen en geluiden.

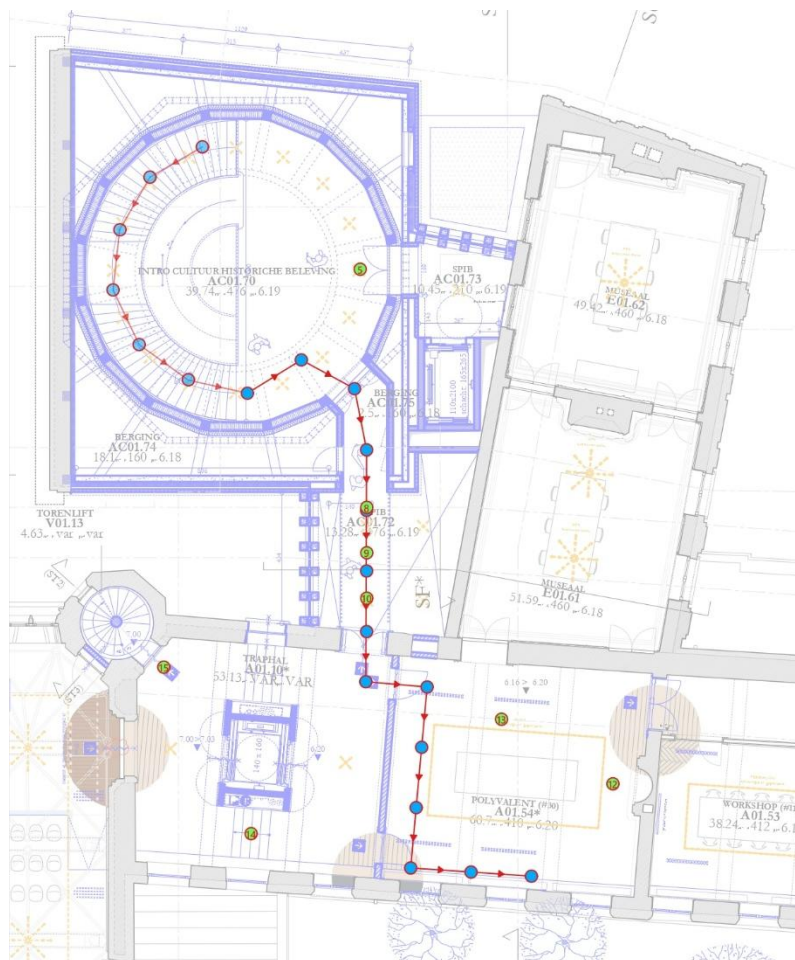
4.4.2.1. Route 2: inkom naar de polyvalente zaal



Figuur 60 Route 2 op 3D-model | Screenshot uit Treble, eigen werk.



Figuur 61 Gelijkvloers route 2 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



Figuur 62 Eerste verdieping route 2 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

Deze route volgt de blauwe bollen (telkens twee meter uit elkaar) van de inkom naar de antichambre, via de trappen naar het eerste verdiep, over het bruggetje en vervolgens de polyvalente zaal binnen tot vlakbij de spreker. De geluidsbronnen (Tabel 21) zijn dezelfde als in route 1, maar de stofzuiger werd voor alle drie de ervaringsdeskundigen voorafgaand aan de simulatie uitgeschakeld, zodat zij alleen de omgevingsgeluiden hoorden.

Tijdens het beluisteren van de route

Voor het beluisteren werd aan Sandy opnieuw de route uitgelegd. Omdat zij niet zelf kon rondkijken, bewoog ik door de ruimte zonder 360°-bewegingen. Ik klikte enkel naar elke volgende positie. Zij vroeg of de polyvalente zaal rechts was, wat ik bevestigde, en ik gaf haar een visueel beeld door haar vinger vast te houden en de richting aan te wijzen. Zij was blij dat de stofzuiger weg was, ze noemde dat een *“onaangenaam overstemmend geluid”*. *“Ik denk als je daar dienen stofzuiger nog had opgezet, dat ik dan na die tweede reeks moet zeggen van: ja, mannekes nu gaat het niet meer”*, voegde ze er lachend aan toe. Deskundigen 2 en 3 konden zelf navigeren en rondkijken. Ook bij hen was de stofzuiger uitgezet.

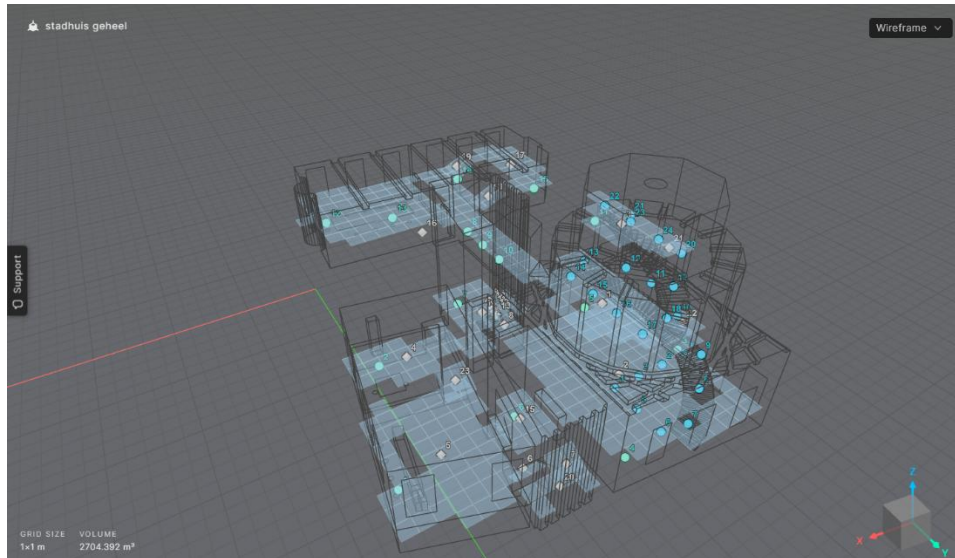
Na het beluisteren van de route

Sandy kon de mannelijke spreker in de polyvalente zaal zeer goed lokaliseren en verstaan. *“Eigenlijk was hij heel duidelijk”*, zei ze. Ze beschreef gedetailleerd dat het geluid eerst rechts was, daarna meer naar voren kwam en op het einde iets linkser zat, maar nooit extreem links of achter haar. Oriëntatie in termen van links/rechts/midden was voor haar essentieel. De fluisterende mensen in de zaal stoorden haar niet, integendeel, ze zag er een potentiële bron van hulp in: *“iemand waar ik toch iets aan kan vragen eventueel”*. Voetstappen hoorde ze altijd goed, al vond ze die niet per se nuttig: *“het hoort er gewoon bij”*.

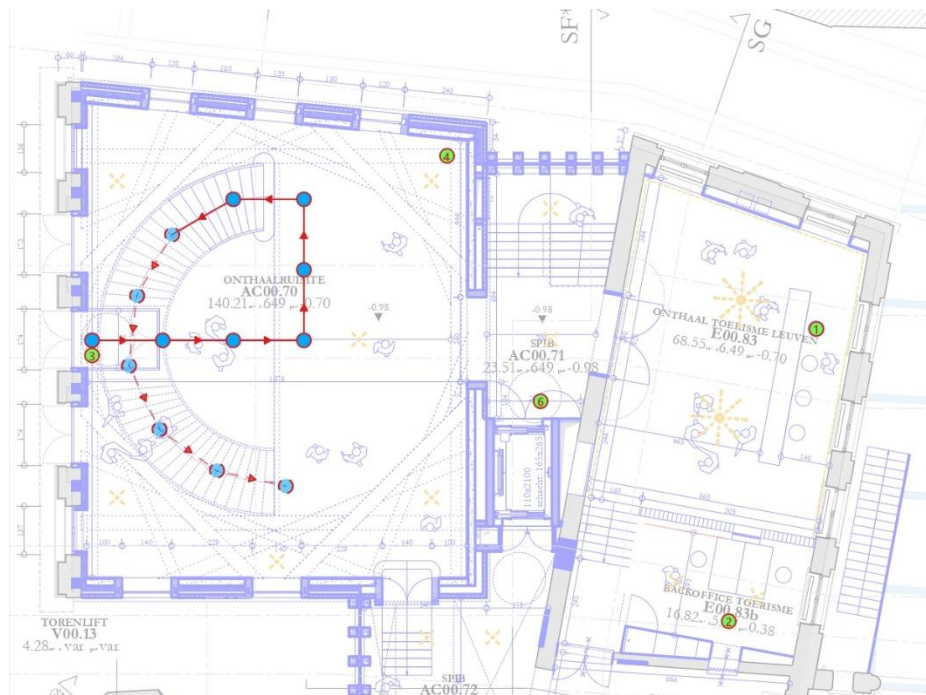
Stefanie vond de roepende vrouw, die ook op deze route aanwezig was, irritant, maar maakte een belangrijk onderscheid: een huilende baby of een deur zijn geluiden die je kunt verwachten en waar je je op kunt voorbereiden, terwijl de roepende vrouw komt *“elke keer hard binnen omdat je het niet verwacht”*. *“Net zoals als je langs de treinsporen aan het wandelen bent, is een trein even luid... maar doordat je weet dat hij eraan gaat komen, ga je er beter mee om”*, legde ze uit. Ze was actief op zoek naar de bron van dat geluid: *“waar staat die irritante vrouw nu te gillen?”* en merkte dat het geluid *“all over the place”* leek te komen, een ervaring die ze uit het echte leven herkent. De spreker in de polyvalente zaal kon ze daarentegen *“heel goed verstaan”* omdat het geluid aangenamer aankwam. Ze vergeleek met de receptionist in route 1: *“Bij de receptie was er nog veel meer alles door elkaar”*, terwijl het filteren in deze zaal meer vanzelf ging. De fluisteraars stoorden haar niet, voetstappen vielen haar niet op door de andere geluiden.

Wout vond de route erg onaangenaam. Hij reageerde met *“WEERAL dezelfde storende geluiden.”* Op positie 22 reageerde hij met *“nog meer stemmen!”* en op positie 24 vond hij het achtergrondgeluid storend. Hij gaf aan dat hoe korter de route, hoe beter, omdat je dan minder wordt blootgesteld aan storende geluiden. Toch was de polyvalente zaal voor hem een verbetering ten opzichte van eerdere routes: *“Deze [polyvalente] zaal vond ik wel oké. Maar de weg ernaartoe is wel bijzonder overprikkelend.”*

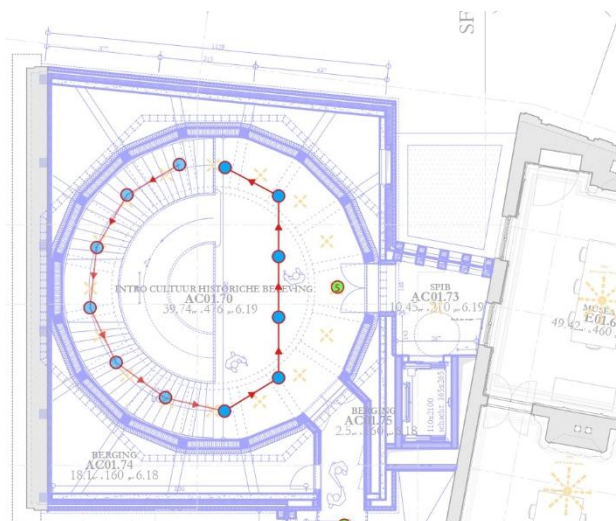
4.4.2.1. Route 3: inkom naar het stadsbalkon



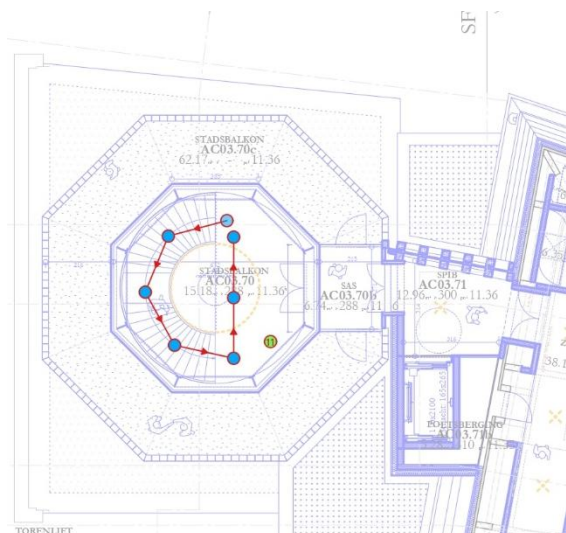
Figuur 63 Route 3 op 3D-model | Screenshot uit Treble, eigen werk.



Figuur 64 Gelijkvloers route 3 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



Figuur 65 Eerste verdieping route 3 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.



Figuur 66 Derde verdieping route 3 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 6), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

Deze route volgt de blauwe bollen (telkens twee meter uit elkaar) van de inkom naar het midden van de antichambre, vervolgens de trappen op naar het eerste verdiep en daarna naar het tweede verdiep. De stofzuiger werd niet aangezet. De overige geluidsbronnen zijn dezelfde als in route 1. Sandy nam niet deel aan deze route, aangezien zij de ruimte al eerder had verkend en er al gedetailleerde bevindingen over had vastgelegd.

Na het beluisteren van de route

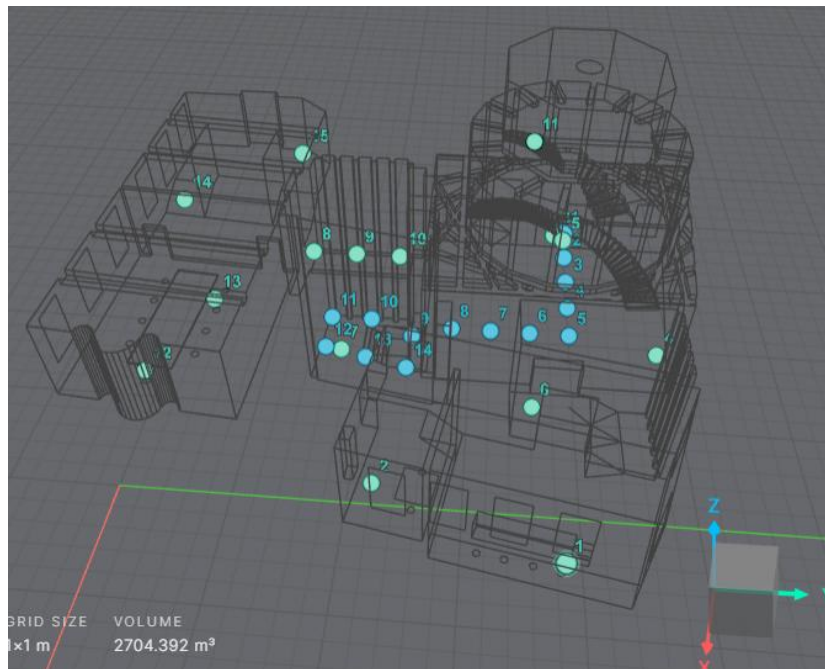
Na het beluisteren gaven de twee ervaringsdeskundigen opnieuw uiteenlopende reacties, al kwam er bij Stefanie weinig wezenlijk nieuws ten opzichte van de eerdere routes.

Stefanie gebruikte deze route om een concreet onderscheid te maken tussen de huilende baby en de roepende vrouw. De baby produceert een constant geluid, niet altijd hetzelfde, maar wel voortdurend aanwezig, waardoor "je het een plaats kan geven". Dit vergelijkt ze met een stofzuiger: irritant, maar voorspelbaar (aan of uit). De roepende vrouw daarentegen "komt de hele tijd vanuit het niks", wat haar veel meer afleidend maakt.

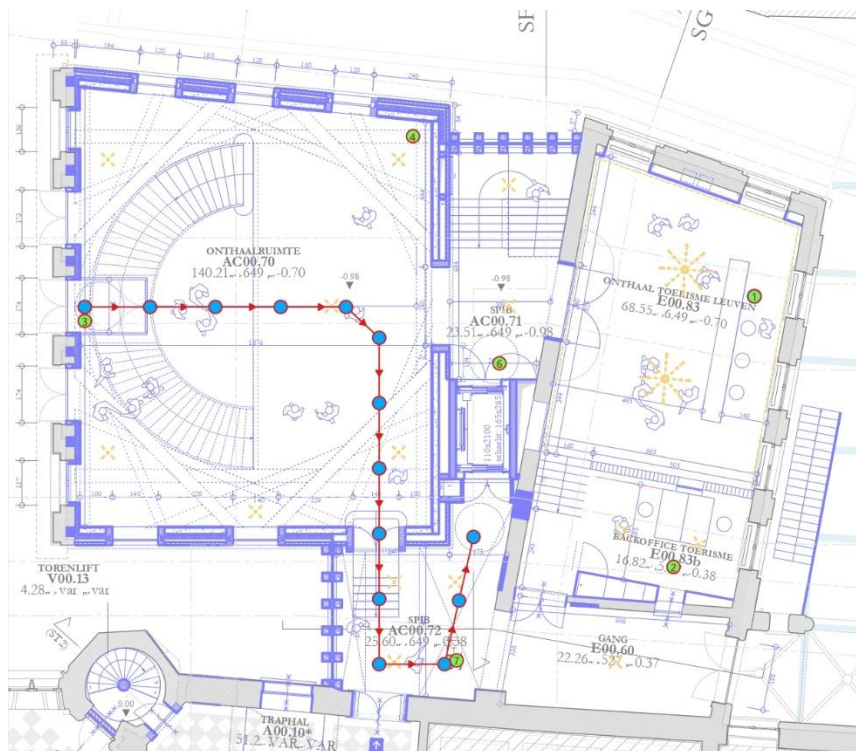
"Bij een huilende baby is het wel op sommige momenten dat het stiller is en dan wat luider is. Dat maakt het enerzijds irritant want onvoorspelbaar, maar anderzijds heb je wel zo'n stille geluidjes ertussen", aldus Stefanie.

Wout vond deze route zeer onaangenaam, nog onaangener dan route 2. Op geen enkel moment voelde hij zich op zijn gemak. Alles was oncomfortabel en hij wilde zo snel mogelijk weg. Hij zocht niet naar de bronnen en wilde er geen interactie mee hebben. Hij bewoog niet rond om te kijken, maar klikte gedwee door. Hij reageerde al bij de start met "VEEL TE DRUK!" en zette later zijn hoofdtelefoon gedeeltelijk af: één oor wel, het andere niet, omdat hij nergens rust kon vinden. De huilende baby en de roepende vrouw vond hij onaangenaam op positie 14, op positie 22 noemde hij de baby "zeer onaangenaam". Opvallend was dat hij de huilende baby en de roepende vrouw even irritant vond, zonder het onderscheid dat Stefanie maakte.

4.4.2.1. Route 4: inkom naar de tussenruimte met passerelle naar het historisch gedeelte



Figuur 67 Route 4 op 3D-model | Screenshot uit Treble, eigen werk.



Figuur 68 Gelijkvloers route 4 (aNNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) | Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.

Deze route volgt de blauwe bollen (telkens twee meter uit elkaar) van de inkom naar het midden van de antichambre, via de trappen omhoog naar de tussenruimte rechts, waar de lift en de brug zich bevinden. De bronnen zijn dezelfde als in route 1. De stofzuiger stond op normaal volume aan voor Stefanie, maar was uitgeschakeld voor deskundigen 1 en 3.

Dit kwam doordat Stefanie het gedempte volume van de stofzuiger op een andere plek had gehoord. Om te bepalen of dit haar evenzeer zou storen als bij Sandy op de eerste route, werd de stofzuiger ingesteld op normaal volume. Bij Wout was het achtergrondgeluid daarentegen al zeer vermoeiend, dus werd het uitgezet.

Na het beluisteren van de route

Sandy hoorde een pratend koppel. "Ik heb een koppel gehoord, een man en een vrouw. ... Die man en die vrouw heb ik altijd gehoord langs rechts. Die vrouw haar stem verspreidt zich meer", merkte ze op. Zoals in eerdere routes probeerde ze de taal te herkennen en het gesprek te volgen, "ik denk dat het Spaans is". De afwezigheid van de stofzuiger stoorde haar niet. Ze kon zich concentreren op de stemmen.

Stefanie kreeg de stofzuiger juist op normaal volume. Ze reageerde direct: "*Ah ja, nu hoor ik de stofzuiger goed*". Het geluid was "*heel storend*", vooral in het gangetje waar ze stond. Ze kon het gesprek niet meer volgen en "*wist niet eens in welke taal ze bezig waren*". Op de vraag of ze de stofzuiger storender vond dan een huilende baby, gaf ze een genuanceerd antwoord: "*enerzijds is een stofzuiger minder irritant dan een huilende baby omdat het een constant geluid is... anderzijds was het in ieder geval zo luid dat ik verder niets kon horen*". De baby heeft pieken en dalen, dat maakt hem onvoorspelbaar, maar biedt tussendoor wel even stilte. Ze voegde eraan toe dat ze in het echte leven niet lang zou blijven in een onthaalruimte of doorgang: "*er is veel passage, veel mensen die een babbeltje doen*".

Wout vond de route erg onaangenaam. Hij merkte op dat hoe korter de route, hoe beter, omdat je dan minder wordt blootgesteld aan storende geluiden. Het pratende koppel in een hoekje vond hij storend. Al bij de start riep hij: "*WEERAL dezelfde storende geluiden*" en was hij zichtbaar geïrriteerd. Hij zette zijn hoofdtelefoon gedeeltelijk af (één oor wel, het andere niet) omdat hij nergens rust kon vinden.

4.4.2.1. Vergelijkingen op basis van akoestische aanpassingen (materialen)

Voor de vergelijkingen werden twee afzonderlijke ruimtes beschouwd, waarbij de deuren gesloten waren en de ruimtes dus akoestisch van elkaar geïsoleerd waren. De keuze viel op de antichambre en de polyvalente zaal, omdat uit het beluisteren van de auralisaties, alvorens de interviews, een zeer groot verschil in akoestiek tussen beide ruimtes bleek. Dit werd bovendien bevestigd door de inzichten uit de verschillende routes: alle ervaringsdeskundigen gaven aan dat de antichambre voor hen het meest onaangenaam of storend was. De polyvalente zaal was op zich geen goede ruimte, maar bood qua akoestiek een beter verblijfsklimaat.

Gelijktijdig met het aanmaken van de auralisaties voor de verschillende routes werden ook vergelijkende auralisaties voor beide ruimtes gemaakt. Omdat de antichambre een nieuwbouw betreft, hebben de architecten vrijwel volledige vrijheid bij de architecturale elementen. De beneden- en bovenverdieping bleven ongewijzigd: de bovenverdieping is beglaasd en biedt een zicht naar buiten, de benedenverdieping is de eerste ruimte die elke bezoeker betreedt. De centrale trap, die een rol speelt in de verticale circulatie, werd bedekt met tapijt genaamd *carpet tiles* met de volgende eigenschappen in Treble:

Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.05	0.06	0.07	0.12	0.18	0.24	0.26	0.27
Scattercoëfficiënt: 0.15							

Tabel 22 Eigenschappen tapijt Treble (carpet tiles)

Bovendien werd de middenruimte echter ook aangepast. Er worden akoestische panelen geplaatst met de volgende specificaties in Treble: *striped panel, 3,0 mm stripes met een tussenafstand van 10,0 mm, 40 mm dikke absorber met een dichtheid van 81 kg/m³, 100,0 mm cavity*. De bijbehorende eigenschappen zijn:

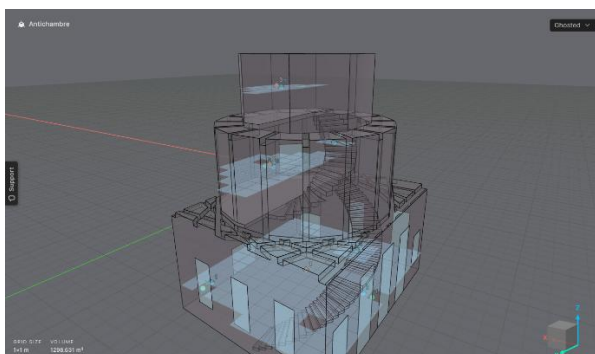
Absorptiecoëfficiënt per frequentie (Hz)							
63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.4	0.74	0.92	0.9	0.92	0.8	0.49	0.19
Scattercoëfficiënt: 0.3							

Tabel 23 Eigenschappen akoestische panelen Treble (*striped panel, 3,0 mm stripes met een tussenafstand van 10,0 mm, 40 mm dikke 81 kg/m³ absorber, 100,0 mm cavity*)

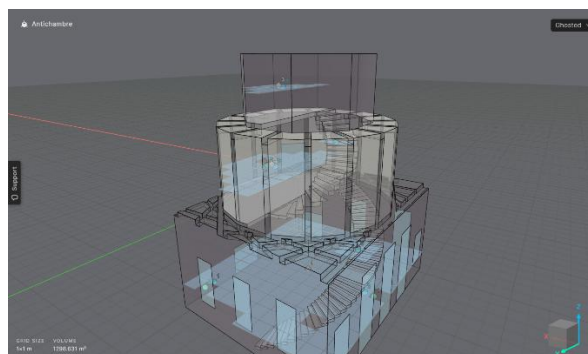
Deze gestreepte akoestische panelen zijn esthetisch aantrekkelijk en volgen de verticale as van de kolommen.

Voor de polyvalente zaal werden dezelfde akoestische panelen gebruikt, maar uitsluitend in de zaal, niet in de gang. Aangezien het hier om een historische ruimte gaat waarbij het authentieke karakter zoveel mogelijk behouden moet blijven, werden enkel de vier wanden van de ruimte bekleed met panelen.

Antichambre

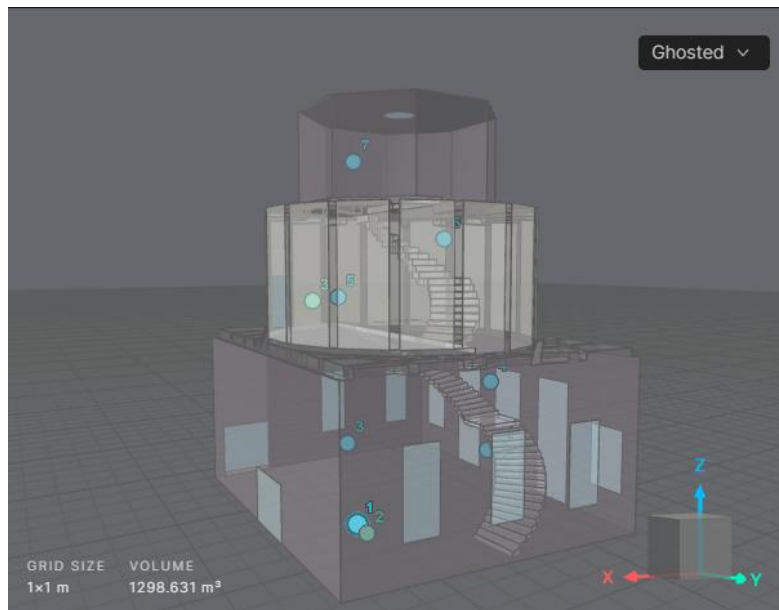


Figuur 69 Antichambre: oorspronkelijk | Screenshot uit Treble, eigen werk.



Figuur 70 Antichambre: gewijzigd | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Voor de vergelijkingen werd geen route uitgestippeld, maar werden er puntontvangers (blauw) op strategisch verspreide locaties geplaatst. In plaats van een vaste lijn te volgen, werden deze bewust op uiteenlopende plekken gepositioneerd: in het midden van de ruimte, in een hoek, nabij een deur, op de trappen, naast een spreker of op een stoel. Op die manier wordt het geluid vanuit verschillende perspectieven en gebruikssituaties ervaren, wat een genuanceerder beeld geeft van de akoestische kwaliteiten van de ruimte. In de antichambre bevonden de puntontvangers zich op de volgende locaties:



Figuur 71 Plaatsing van puntontvangers in de antichambre | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Alle drie ervoeren de aangepaste versie als een verbetering, maar de mate en de specifieke aandachtspunten verschilden.

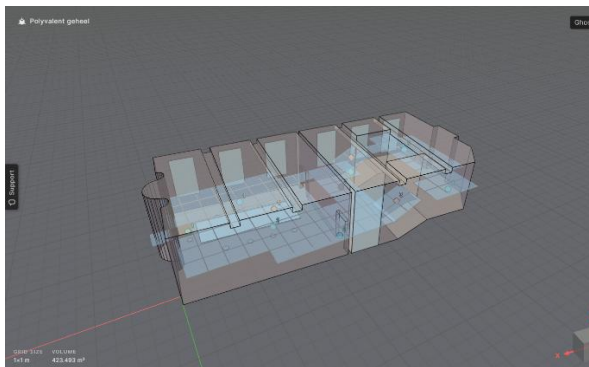
Sandy was duidelijk enthousiast. Bij positie 1 merkte ze dat *"ge hoort veel beter dienen gil"*, de andere geluiden goed hoorbaar bleven, en de galm veel minder was. Ze omschreef het als *"minder hol"*. Bij positie 2 vond ze het geluid *"natuurlijker"* en niet storend. *"Ik heb dat veel liever, zo... de geluiden komen mij veel natuurlijker over"*, zei ze. Ze relativeerde wel dat galm niet altijd volledig weg te werken is, maar gaf aan dat minder galm voor haar *"rustgevender"* is.

Stefanie vond het verschil in de antichambre minder opvallend dan in de polyvalente zaal, maar wel duidelijk. Het tapijt dempte merkbaar. *"Met dat tapijt wordt het ook duidelijk gedempt"*, bevestigde ze. Vooral op de tussenverdieping was het verschil groter, met name bij de gil van de vrouw: die was in de aangepaste versie *"duidelijk minder irritant"*. Op de vraag of ze nog steeds weg wilde vluchten, antwoordde ze dat het nog niet aangenaam was, maar dat ze ook niet zo snel mogelijk weg wilde. *"Ik vind het nog steeds niet aangenaam. Maar het is ook niet dat ik zo snel mogelijk weg wil"*, gaf ze aan. De verbetering was evident. Wel bleef het een plek waar ze in het dagelijks leven niet lang zou blijven, behalve misschien om even de tentoonstelling over de geschiedenis te bekijken. Concluderend maakte Stefanie een duidelijk onderscheid per verdieping: op de gelijkvloerse onthaalruimte was het verschil tussen de originele en de aangepaste versie het meest subtiel: *"als je binnenkomt in de inkomhal [onthaalruimte], daar vind ik het verschil tussen de twee scenario's het meest subtiel"* terwijl ze op de tussen- en bovenverdieping het contrast *"heel omvallend"* noemde. Dit suggereert dat de akoestische aanpassingen hun effect vooral lieten voelen op de hogere niveaus van de antichambre, en minder op het gelijkvloers.

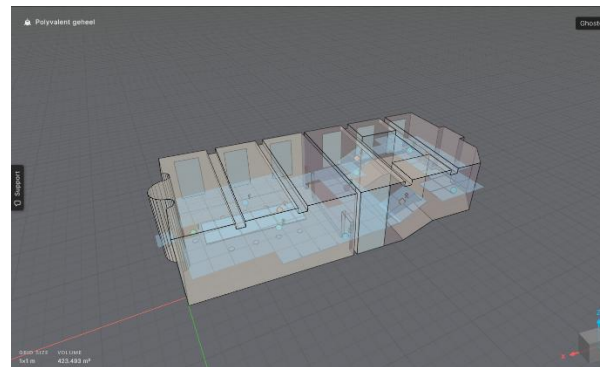
Wout vond de oorspronkelijke versie op positie 1 *"te druk en ambetant"*, de aangepaste versie was *"minder luid"* en bood een neutrale omgeving om te blijven, hoewel hij uit eigen beweging extra akoestische panelen aanraadde. Opmerkelijk was dat hij in de aangepaste versie op positie 3 de hoestende persoon wel hoorde, terwijl die in de oorspronkelijke simulatie voor hem onhoorbaar was. Posities 3 en 4 waren in de aangepaste versie

aangenaam om te verblijven. De roepende vrouw op positie 5 bleef in beide simulaties zeer irritant, maar de ruimte was in de aangepaste versie “*neutraal*”, terwijl ze in de oorspronkelijke versie “*zeer onaangenaam*” was. Hij was zelf verbaasd dat hij bijna alle posities als aangenaam had beoordeeld: “*Is dat normaal dat ik bij hen allemaal 'aangenaam' heb gezegd?*”. Positie 1 bleef voor hem het meest onaangenaam vanwege te veel geluid en galm. De overige posities (2 tot en met 7) waren in de aangepaste versie aangenaam.

Polyvalente zaal



Figuur 72 Polyvalente zaal: oorspronkelijk | Screenshot uit Treble, eigen werk.



Figuur 73 Polyvalente zaal: gewijzigd | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Voor alle drie was de antichambre de minst comfortabele ruimte en de polyvalente zaal de meest comfortabele. Dit kwam door de sterke galm en het grote aantal menselijke interacties in de antichambre. Het was een overvloed aan geluiden. In de polyvalente zaal, waar de spreker centraal stond, werd de verbeterde akoestiek door iedereen als rustgevender ervaren.

Hier werden de puntontvangers (blauw) gezet op:



Figuur 74 Plaatsing puntontvangers polyvalente zaal | Screenshot uit Treble, eigen werk.

Alle drie de ervaringsdeskundigen ervoeren de aangepaste akoestische versie van de polyvalente zaal als een aanzienlijke verbetering, al verschilden hun specifieke focus en beleving.

Sandy vond de ruimte met de spreker aangenamer dan de antichambre, omdat er minder galm was. De mannelijke spreker was daardoor goed te horen, in tegenstelling tot de vrouw aan de receptie in eerdere routes (die veel galm had). De antichambre omschreef ze als de drukste ruimte. Daar zou ze zich niet op haar gemak voelen. Op positie 1 hoorde ze een zacht babbelende persoon en duidelijk het getyp op een computer, maar dat stoorde haar niet omdat ze de spreker goed kon volgen. Op positie 2 merkte ze in de oorspronkelijke simulatie veel galm. De aangepaste versie klonk *“veel beter”* en *“aangenamer”*, en het typen stoorde niet. Op positie 3 ving ze in de oorspronkelijke versie wel woorden op, maar niet geconcentreerd: het *“blokkeerde”*. In de aangepaste versie kon ze de spreker niet verstaan (te ver weg), maar hoorde wel dat er iemand sprak. Ze wist op deze positie niet hoe ze zich moest oriënteren (waar de openingen waren, links of rechts). Op positie 4 kon ze zich ook niet oriënteren (ze wist niet dat ze voor een deuropening stond). Ze hoorde voetstappen van het midden, typen links en de spreker rechts, alles duidelijker dan voorheen. Ze verstond de spreker niet, maar vond dat niet erg: *“met weinig weerkaatsing van de galm ... is dat gewoon aangenaam.”* Sandy maakte aan het einde van de vergelijkingen ook een expliciete uitspraak over het verschil in akoestische verwachtingen tussen circulatie- en verblijfsruimtes: voor een ruimte waar men constant doorloopt, hoeft de galm voor haar niet per se aangepakt te worden, maar voor een ruimte waar men langdurig verblijft en luistert, is een comfortabele akoestiek essentieel. *“Als je ergens lang moet zitten, dan is het ECHT niet aangenaam om naar heel veel galm te moeten luisteren”*, zei ze. Voor een voorhal relativeerde ze echter: *“Ik vind dat akoestiek, waar dat je constant binnen en buiten kan, dat het niet veel kan schelen.”* Haar voornaamste winst lag in het wegvallen van galm: zonder die galm kon ze geluiden beter lokaliseren en zich ruimtelijk oriënteren, al bleef dat op sommige posities moeilijk.

Stefanie erkende dat een huilende baby irritant is, maar vond dat het geluid in de zaal eenmaal wezenlijk anders was dan op de trap of in de gang. De weg ernaartoe vond ze *“bijzonder overprikkelend”*, maar de zaal zelf was oké. Op positie 1 was ze overdonderd door het verschil: *“een enorm verschil”* en een *“gevoel van rust”*. In de aangepaste versie verstond ze de spreker beter. Het typen vond ze irritant, *“maar dat hoort erbij”*. Op positie 2 wilde ze bij de oorspronkelijke versie spontaan weglopen (*“dit is niet voor mij”*), terwijl ze bij de aangepaste versie rustig kon blijven luisteren. Op positie 3 was ze verbaasd dat het effect van de akoestische panelen in de zaal ook in de gang merkbaar was: de gang mét panelen vond ze best aangenaam, de gang zonder panelen riep *“ik wil hier weg!”* op *“een wereld van verschil”*. Op positie 4 bevestigde ze dat ze bij de oorspronkelijke simulatie echt weg wilde lopen, ook op afstand. Het typen op de laptop viel haar erg op. Met panelen kon ze de spreker nog net verstaan, zonder panelen was hij onverstaanbaar door de echo. Voor haar was het verschil zo groot dat ze van *“weg willen lopen”* naar *“best oké om te zijn”* ging; zij pleitte voor zoveel mogelijk panelen: *“hoe meer, hoe beter”*.

Wout deed geen algemene uitspraak over de vergelijking tussen beide ruimtes, maar uit zijn gedetailleerde feedback bleek dat hij de aangepaste versie prettig vond. Op positie 1 vond hij de oorspronkelijke versie te druk en de spreker onduidelijk; in de aangepaste versie verstond hij elk woord. Op positie 2 vond hij in de oorspronkelijke versie te veel echo. In de aangepaste versie klonk het geluid te ver weg om het goed te verstaan. Op positie 3 kon hij in de aangepaste versie de stappen horen, maar de spreker niet goed verstaan. In de oorspronkelijke versie hoorde hij de spreker wel, maar met echo. Op positie 4 vond hij de oorspronkelijke situatie ook te veel echo. In de aangepaste versie was alles qua geluid duidelijk en hoorde hij de stem goed. Voor hem was de aangepaste versie ronduit

aangenaam, met een duidelijke verbetering in de spraakverstaanbaarheid op de meeste posities.

De polyvalente zaal blijkt daarmee, mits akoestisch aangepast, een voorbeeld van hoe historische ruimtes toegankelijker kunnen worden gemaakt zonder afbreuk te doen aan hun karakter.

4.5. Verworven inzichten

Dit hoofdstuk bundelt en interpreteert de bevindingen uit de interviews en auralisaties. Waar in de voorgaande secties de ervaringen per ervaringsdeskundige en per route centraal stonden, ligt de focus hier op het identificeren van overkoepelende patronen en het vertalen van deze bevindingen naar bredere ontwerpimplicaties. Door de inzichten thematisch te benaderen, wordt een analytische laag toegevoegd die verder gaat dan de individuele observaties.

Een eerste belangrijk inzicht is dat geluid voor alle ervaringsdeskundigen een bepalende rol speelt in de ruimtelijke beleving, maar dat de functie ervan sterk verschilt. Voor Sandy fungeert geluid als een essentieel oriëntatiemiddel. Zij gebruikt auditieve informatie actief om ruimtelijke kenmerken, zoals hoogteverschillen, openingen en materiaalovergangen, te interpreteren. Geluid is in haar geval niet enkel een prikkel, maar een bron van informatie die haar toelaat zich zelfstandig door een ruimte te bewegen. Voor Stefanie en Wout daarentegen wordt geluid voornamelijk ervaren als een indringende, moeilijk te filteren prikkel. Zij ondervinden dat verschillende geluidsbronnen zich opstapelen, waardoor een gevoel van overprikkeling ontstaat dat hun functioneren en comfort negatief beïnvloedt. Deze tegenstelling toont aan dat akoestiek binnen inclusieve architectuur een dubbele rol vervult: enerzijds moet ze voldoende informatie bieden voor oriëntatie, anderzijds moet ze worden gecontroleerd om overbelasting te voorkomen.

Daarnaast blijkt dat niet zozeer het absolute geluidsniveau, maar vooral de complexiteit van het geluidscapitaal bepalend is voor de beleving. Ruimtes waarin meerdere geluidsbronnen gelijktijdig aanwezig zijn, zoals de antichambre, worden door alle ervaringsdeskundigen als belastend ervaren. Vooral menselijke geluiden, zoals gesprekken, geroep of huilen, dragen bij aan deze complexiteit. Opvallend is dat onvoorspelbare geluiden als storender worden ervaren dan constante geluiden. Geluiden met een herkenbaar en continu karakter kunnen beter geplaatst en verwerkt worden, terwijl plotse of moeilijk te lokaliseren geluiden leiden tot een verhoogde stress. Voorspelbaarheid blijkt daarmee een cruciale factor in het ontwerp van akoestisch comfortabele ruimtes.

Een derde belangrijk aspect is de rol van nagalm en spraakverstaanbaarheid. Een hoge nagalmtijd zorgt voor een diffuus en hol geluidsbeeld, wat zowel de oriëntatie als de verstaanbaarheid bemoeilijkt. Voor Sandy betekent dit dat auditieve signalen minder duidelijk worden, terwijl het voor Stefanie en Wout leidt tot een verhoogde cognitieve belasting. Het reduceren van nagalm, onder andere door het gebruik van akoestische materialen, leidt tot een natuurlijker en rustiger geluidsbeeld. Dit maakt het eenvoudiger om geluidsbronnen te lokaliseren en verbetert de verstaanbaarheid van de spraak. Opvallend is dat deze verbetering door alle ervaringsdeskundigen als positief wordt ervaren, ondanks hun verschillende behoeften. Dit wijst op het belang van nagalmbeheersing als een breed toepasbaar principe binnen inclusieve ontwerpstrategieën.

Materiaalgebruik speelt hierin een centrale rol en brengt tegelijkertijd een spanningsveld met zich mee. Harde materialen zoals tegels en hout ondersteunen auditieve oriëntatie doordat ze geluid reflecteren, maar versterken ook de geluidsintensiteit en de nagalm. Zachte materialen zoals tapijt hebben een dempend effect en dragen bij aan een rustiger geluidsklimaat, maar beperken de auditieve feedback die nodig is voor oriëntatie. Dit toont aan dat materiaalkeuzes niet eenduidig geoptimaliseerd kunnen worden, maar afgestemd moeten worden op de functie van de ruimte en de gebruikers. Bovendien blijkt dat niet alleen vaste materialen, maar ook meubilair en inrichting invloed hebben op de akoestiek, wat bijkomende mogelijkheden biedt om het geluidsklimaat te sturen.

Naast de eigenschappen van afzonderlijke ruimtes blijken ook de ruimtelijke routes van groot belang te zijn. De beleving van een ruimte wordt beïnvloed door de route ernaartoe. Lange of complexe circulaties verhogen de blootstelling aan geluidsprikkels en worden als belastend ervaren, terwijl kortere en duidelijkere routes bijdragen aan een aangename ervaring. In meerdere gevallen werd de bestemming zelf als relatief comfortabel ervaren, terwijl de weg ernaartoe als overprikkelend werd ervaren. Dit benadrukt dat akoestisch ontwerp niet beperkt kan blijven tot afzonderlijke ruimtes, maar ook de overgangszones en circulatiestromen moet omvatten. Voor de ruimtes waarvoor vergelijkingen werden gemaakt op basis van akoestische materialen, werden gerandomiseerde puntontvangers geplaatst. Beide benaderingen hebben echter hun eigen waarde: gerandomiseerde ontvangers bieden een gedetailleerd, locatiespecifiek beeld van de akoestische parameters op verschillende plekken in de ruimte, terwijl een route-gebaseerde aanpak de dynamische, opeenvolgende beleving van een gebruiker in beweging simuleert. De keuze tussen beide hangt dan ook af van het onderzoeksdoel: waar de ene benadering meet, laat de andere beleven. Een combinatie van beide methodes zou in vervolgonderzoek een nog vollediger beeld kunnen opleveren.

Verder komt bij ervaringsdeskundigen met autisme een duidelijke behoefte aan controle en voorspelbaarheid naar voren. Zij bereiden zich vaak voor op nieuwe omgevingen door informatie op te zoeken en verkiezen situaties waarin functies en de ruimtelijke organisatie duidelijk herkenbaar zijn. Dit laatste geldt ook voor mensen met een visuele beperking, denk bijvoorbeeld aan de ruimtelijke planning van het station Brussel-Zuid (zie sectie 4.4.1.2). Onzekerheid en ambiguïteit vergroten de kans op stress en overprikkeling. Dit vertaalt zich ruimtelijk in de nood aan heldere signalisatie, eenduidige functies en voorspelbare akoestische omstandigheden. Daarnaast wordt het belang van stille toevluchtsruimtes benadrukt, hoewel de invulling hiervan per persoon verschilt. Waar de ene openstaat voor gedeeld gebruik mits stilte, verkiest de andere een volledig afgeschermd en gecontroleerde omgeving. Dit onderstreept dat individuele verschillen ook binnen dezelfde gebruikersgroep aanzienlijk zijn.

De vergelijkingen tussen de oorspronkelijke en aangepaste auralisaties tonen aan dat akoestische ingrepen een impact kunnen hebben op de ruimtelijke beleving. Het reduceren van nagalm en het verbeteren van de akoestische absorptie leiden tot een verhoogd comfort, een betere spraakverstaanbaarheid en een afname van stressreacties. In sommige gevallen resulteert dit zelfs in een fundamentele verandering van de ervaring, waarbij een ruimte evolueert van onaangenaam naar aanvaardbaar of zelfs aangenaam. Tegelijk blijkt dat de effectiviteit van deze ingrepen afhankelijk is van de ruimtelijke context en configuratie, wat het belang van een geïntegreerde ontwerpbenadering onderstreept.

Tot slot wordt de meerwaarde van auralisatie als participatieve ontwerptool door alle ervaringsdeskundigen erkend. Auralisatie maakt het mogelijk om de akoestische kwaliteiten van een ruimte vooraf te ervaren en verschillende scenario's te vergelijken zonder fysieke ingrepen. Dit biedt ontwerpers de kans om iteratief te werken en gebruikers actief te betrekken bij het ontwerpproces. Tegelijk wordt benadrukt dat dergelijke simulaties de individuele ervaring niet volledig kunnen vervangen, maar eerder dienen als een ondersteunende tool binnen een breder participatief proces.

Samenvattend tonen de verworven inzichten aan dat akoestiek een cruciale rol speelt in de toegankelijkheid en beleving van architectuur. Het ontwerpen van inclusieve ruimtes vraagt om een zorgvuldige balans tussen oriëntatie, prikkelbeheersing en voorspelbaarheid, waarbij rekening wordt gehouden met uiteenlopende en soms tegenstrijdige behoeften.

5. Discussie en aanbevelingen

5.1. Geluid en gebruiker: tussen theorie en geleefde ervaring

In dit hoofdstuk wordt de relatie tussen geluid en gebruikerservaring geanalyseerd op basis van de empirische bevindingen en het theoretisch kader. Geluid wordt hierbij niet benaderd als een geïsoleerde meetbare grootte, maar als een contextuele en situationele ervaring die verschilt naargelang de gebruiker en de ruimtelijke context. De analyse vertrekt vanuit drie gebruikersgroepen en wordt afgesloten met een cross-analyse van spanningsvelden en aanvullende inzichten.

5.1.1. Mensen met een visuele beperking

Voor mensen met een visuele beperking vormt geluid een essentieel oriëntatiemiddel, waarbij nagalm, reflecties en soundscape bijdragen aan het opbouwen van een mentale kaart van de ruimte (Herssens, 2011; Rychtáriková, 2015). Sandy bevestigde dit door actief gebruik te maken van auditieve cues, zoals verschillen in galm en reflecties, om ruimtelijke informatie af te leiden.

De literatuur benadrukt het belang van een gebalanceerde nagalmtijd, waarbij zowel een te lange nagalmtijd als een volledig ‘dode’ ruimte problematisch zijn (Kurniawan et al., 2004; Rychtáriková, 2015). Het empirisch onderzoek nuanceert dit inzicht: niet alleen de nagalmtijd op zich, maar vooral de interactie tussen nagalm en andere geluidsbronnen blijkt bepalend. Sandy kon geluiden beter lokaliseren en zich ruimtelijk oriënteren zodra de galm afnam, maar het waren vooral de combinaties van galm én achtergrondgeluiden, zoals een stofzuiger of menselijk geroezemoes, die samen haar oriëntatie en spraakverstaanbaarheid verstoorden, niet de nagalm op zich. In complexe geluidsomgevingen blijkt de combinatie van reflecties en achtergrondgeluiden de oriëntatie te beïnvloeden, wat aansluit bij de soundscape-benadering waarin geluid als geheel wordt benaderd (Kang et al., 2016).

Naast deze factoren komt ook het belang van echolocatie naar voren. Zowel de literatuur als empirisch onderzoek beschrijven dit als een relevante techniek (Poirier-Quinot et al., 2016). De empirische bevindingen maken echter concreet zichtbaar dat de materiaalkeuze hierin een bepalende rol speelt. Verschillen tussen tapijt en harde vloeren beïnvloeden de auditieve feedback en dus de bruikbaarheid van deze oriëntatie-informatie. Dit wijst op een belangrijke ontwerpnuance: materialen beïnvloeden niet alleen de mate van absorptie of reflectie, maar ook de manier waarop auditieve informatie wordt geïnterpreteerd. De uitdaging ligt daarom niet in het maximaliseren van demping, maar in het bewust afstemmen van akoestische eigenschappen op de ruimtelijke functie en de diversiteit aan gebruikers.

5.1.2. Mensen met een auditieve beperking

Voor mensen met een auditieve beperking ligt de nadruk op spraakverstaanbaarheid als centrale ontwerpdoelstelling, met parameters zoals nagalmtijd, STI en signaal-ruisverhouding als bepalende factoren (Heylighen et al., 2008; Minelli et al., 2020; Probst et al., 2017).

Opvallend is dat deze parameters in de praktijk ook bepalend bleken voor alle drie de deelnemers (Sandy, Stefanie, Wout). Reducties in nagalm en achtergrondlawaai worden door hen als positief ervaren, wat overeenkomt met de literatuur die stelt dat achtergrondlawaai, nagalm en echo's het proces van het onderscheiden van spraakinformatie kunnen bemoeilijken (Brown & Bacon, 2010; Ding et al., 2023). In omgevingen met veel achtergrondgeluid, zoals de antichambre, was spraak moeilijk verstaanbaar, zelfs wanneer de spreker dichtbij was. Dit betekent echter niet dat de ervaringen van mensen met een auditieve beperking hierdoor kunnen worden afgeleid. De parallellen zijn indicatief en tonen aan dat bepaalde akoestische condities breed gedeelde voordelen kunnen hebben, maar vervolgonderzoek met de specifieke doelgroep blijft noodzakelijk.

Wat wel uit de interviews naar voren kwam, is een aantal concrete, niet-akoestische randvoorwaarden die cruciaal zijn voor inclusief ontwerp maar in de akoestische literatuur doorgaans ontbreken. Zo zijn visuele alarmen (zoals een flikkerend licht bij brand) essentieel, evenals sprekende liften zonder touchscreen en een goede wifi-verbinding in liften voor noodoproepen. Verder worden het vermijden van glasdeuren, het voorzien van schriftelijke informatie naast mondelinge omroepen en het gebruik van een app bij probleemsituaties genoemd.

5.1.3. Mensen op het autismespectrum

De literatuur beschrijft dat mensen op het autismespectrum vaak gevoelig zijn voor auditieve overprikkeling en baat hebben bij lage geluidsniveaus, korte nagalmtijden en voorspelbare geluidsomgevingen (Bettarello et al., 2021, 2022; Caldas et al., 2024). Deze bevindingen worden sterk bevestigd door empirisch onderzoek. Zowel Stefanie als Wout bevestigden dit: beiden raakten snel overprikkeld door de combinatie van galm, achtergrondgeluiden en menselijke interacties. In de akoestisch aangepaste ruimtes ervoeren beiden een duidelijke verbetering: Wout beoordeelde de meeste posities als *“aangenaam”* en Stefanie ging van *“weg willen lopen”* naar *“best oké om te zijn”*, wat de impact van kortere nagalmtijden en voorspelbaardere geluidsomgevingen concreet illustreert.

Tegelijkertijd blijkt dat 'voorspelbaarheid' per individu verschilt. Zo maakte Stefanie een duidelijk onderscheid tussen continue en discontinue geluiden: onverwachte geluiden, zoals een roepende vrouw, vond ze veel storender dan voorspelbare geluiden zoals die van een stofzuiger, omdat je je op die laatste kunt voorbereiden. Wout vond daarentegen beide even storend. Dit benadrukt dat er binnen het autismespectrum geen uniforme reactie op geluidspatronen is.

Wel delen beiden een sterke behoefte aan voorspelbaarheid en controle. Een noodzaak die de literatuur koppelt aan welzijn en participatie (Bettarello et al., 2021). Die behoefte wordt concreet zichtbaar in hun dagelijkse leven. Stefanie zoekt vooraf informatie op via Google Maps, bekijkt menu's en de omgeving, en heeft vaste plekjes waar ze zich veilig voelt. Wout bereidt zich bij voorkeur voor op sociale activiteiten zoals feestjes en afspraken, zodat hij verwachtingen kan vormen en zich beter kan oriënteren in deze situaties. Ook zijn ervaring met auralisatie, die hij als *‘onvoorspelbaar’* ervoer wanneer hij geen voorafgaande informatie over het gebouw kreeg, bevestigt dat hij zich zonder voorbereiding niet kan instellen op een situatie. Omdat de perceptie van voorspelbaarheid zo persoonlijk is, pleit

dit voor flexibele ontwerpstrategieën, zoals instelbare akoestiek of meerdere typen stille ruimtes.

Ten slotte benadrukt de literatuur ook het belang van zonering en het scheiden van geluidsbronnen met behulp van absorberende materialen (Zaniboni & Toftum, 2023). Het empirisch onderzoek voegt hieraan toe dat dit niet alleen geldt voor afzonderlijke ruimtes, maar ook voor de overgangen ertussen. Stefanie gaf aan dat de polyvalente zaal zelf akoestisch aanvaardbaar was, maar dat de weg ernaartoe "*bijzonder overprikkelend*" was. Wout bevestigde dit door aan te geven dat "*hoe korter de route, hoe beter*". Zonering omvat dus ook circulatiezones en overgangszones.

5.1.4. Cross-analyse: spanningsvelden tussen de gebruikersgroepen

De literatuur identificeert verschillende spanningsvelden tussen gebruikersgroepen, die in het empirisch onderzoek duidelijk herkenbaar zijn.

Een eerste spanningsveld betreft de nagalmtijd en het materiaalgebruik. Voor mensen met een visuele beperking zijn reflecties en auditieve feedback essentieel (Rychtáriková, 2015), terwijl mensen op het autismespectrum en mensen met een auditieve beperking eerder baat hebben bij gedempte omgevingen met korte nagalmtijden (Bettarello et al., 2022; Heylighen et al., 2008). Dit verschil wordt ook in de literatuur benoemd als een afweging tussen oriëntatie en verstaanbaarheid (Goubran et al., 2023). Sandy navigeert actief met behulp van geluidsreflecties en merkt expliciet op dat tapijt haar oriëntatie bemoeilijkt, omdat haar stok "*geen lawaai meer maakt*". Stefanie en Wout ervoeren de aangepaste versies met akoestische panelen en tapijt als een duidelijke verbetering. Wat voor Sandy een noodzakelijke auditieve prikkel is, is voor Stefanie en Wout een bron van stress.

Een tweede spanningsveld betreft de functie van het geluid. Geluid kan functioneren als oriëntatiemiddel, communicatiemiddel of als bron van overbelasting, afhankelijk van de gebruiker (Axelsson et al., 2010; Kang et al., 2016). De huilende baby illustreert dit: Sandy lokaliseerde het geluid als nuttige ruimtelijke informatie ("*links en hoog, vermoedelijk op het tweede verdiep*"), terwijl Wout het "*zeer onaangenaam*" vond en Stefanie het als "*irritant maar voorspelbaar*" ervoer. Hetzelfde geluid functioneert dus als oriëntatiemiddel voor de ene gebruiker en als bron van overbelasting voor de andere.

Een bijkomend spanningsveld, dat voortkomt uit de interviews, ligt in de gewenste oriëntatiehulpmiddelen. Wout verkiest een eenvoudige, overzichtelijke plattegrond boven een haptisch model, terwijl Sandy een klein tastbaar model of vingerbegeleiding op een tekening wenst. Stefanie gebruikt de 360°-weergave actief, maar ervaart, net als de andere ervaringsdeskundigen, een inlevingsbarrière. Dit wijst op een diversiteit aan ruimtelijke representatiebehoeften die in de literatuur nauwelijks worden aangepakt. Ontwerpers kunnen hierop anticiperen door meerdere formaten aan te bieden (plattegrond, digitale tour, haptische maquette) en gebruikers de keuze te laten.

Daarnaast komen zowel in de literatuur als in het empirisch onderzoek het belang van geluidscomplexiteit en achtergrondlawaai naar voren (Bettarello et al., 2021; Caldas et al., 2024; Kang et al., 2016; Zaniboni & Toftum, 2023). Een reductie van geluidscomplexiteit wordt door alle groepen als positief ervaren, wat wijst op mogelijke overlappen tussen de ontwerprichtingen. De ervaring van de antichambre illustreert ook het belang van een soundscape-benadering: niet één specifieke geluidsbron werd als problematisch ervaren,

maar de combinatie van galm, menselijke interacties, een stofzuiger en een huilende baby. Wout omschreef de antichambre als "*te druk en ambetant*", Stefanie gaf aan er in het dagelijks leven niet lang te blijven. Sandy toonde vanuit haar perspectief dat het wegnemen van één geluidsbron, zoals de stofzuiger, de volledige geluidsomgeving merkbaar veranderde. De geluidservaring kan dan ook niet worden herleid tot afzonderlijke bronnen, maar vloeit voort uit hun onderlinge wisselwerking (Kang et al., 2016).

5.1.5. Aanvullingen naast de literatuur

Het empirisch onderzoek brengt een aantal aspecten naar voren die in de literatuur minder expliciet aan bod komen.

Naast functionele dimensies zoals verstaanbaarheid en oriëntatie wijst het onderzoek op een uitgesproken emotionele dimensie van akoestiek. Geluid beïnvloedt niet alleen het functioneren van een ruimte, maar ook hoe deze wordt beleefd. Factoren zoals overprikkeling, vermoeidheid, stress en ruimtevermijding spelen hierin een belangrijke rol, maar blijven zowel in onderzoek als in de ontwerppraktijk vaak onderbelicht (Erfanian et al., 2019; Larsson, 2016). Dit wordt zichtbaar in de rol van de blootstellingsduur tijdens de sessies. Hoewel de literatuur de impact van geluid op welzijn erkent, tonen de sessies aan dat overprikkeling zich geleidelijk opbouwt bij blootstelling aan complexe geluidsomgevingen. Dit suggereert dat akoestische evaluaties niet enkel per ruimte, maar ook in functie van de totale blootstellingsduur moeten worden benaderd.

Een tweede aspect is het gebruik van copingstrategieën. Alle drie de ervaringsdeskundigen gingen actief met hun omgeving om: Sandy paste haar luistergedrag aan, Stefanie zocht vooraf informatie op en kende vaste plekken, en Wout zocht actief een uitweg in oncomfortabele situaties. In het kader van '*user-centered design*' (Bettarello et al., 2021) laten deze strategieën zien dat mensen zich aanpassen aan hun omgeving, maar ook dat die omgeving zelf nog beter op hun behoeften afgestemd kan worden.

Daarnaast komen ook ondersteunende hulpmiddelen naar voren die in de literatuur zelden worden genoemd. Zo werd een druktemeter op een website (bijvoorbeeld bij IKEA) door Stefanie als waardevol ervaren, omdat deze haar in staat stelde rustigere momenten te kiezen en zo meer controle en voorspelbaarheid te ervaren. Dit soort eenvoudige digitale tools kan een laagdrempelige aanvulling vormen op fysieke akoestische maatregelen. Daarnaast maken zowel Wout als Stefanie gebruik van ruisonderdrukkende apparaten, wat aansluit bij de bestaande literatuur (Zaniboni & Toftum, 2023).

Tot slot bevestigt het empirisch onderzoek de rol van auralisatie zoals beschreven in de literatuur, namelijk als een tool om akoestische scenario's te ervaren en te evalueren (Pelzer et al., 2014; Vorländer, 2020). Tegelijk blijkt dat simulaties deel uitmaken van een bredere ervaring waarin perceptie en context een belangrijke rol spelen. Stefanie gaf aan zich de hele tijd bewust te zijn van het feit dat ze "*op die stoel zat, alleen*", en kon zich daardoor moeilijk volledig inleven. Wout ervoer de auralisatie als "*onvoorspelbaar*" door een gebrek aan voorkennis over het gebouw. Sandy zag de auralisatie vooral als een waardevolle ontwerptool, waarbij ontwerpers een eerste ontwerp laten testen door ervaringsdeskundigen en dit vervolgens bijsturen.

5.2. Onderzoeksbependingen

Dit onderzoek kent verschillende beperkingen die in rekening moeten worden gebracht bij de interpretatie van de resultaten.

Een eerste beperking betreft de beperkte omvang van het aantal deelnemers. Het onderzoek is gebaseerd op een klein aantal ervaringsdeskundigen, waardoor de bevindingen niet generaliseerbaar zijn naar alle personen binnen dezelfde gebruikersgroepen. De resultaten bieden voornamelijk diepgaande kwalitatieve inzichten in individuele ervaringen.

Een tweede beperking betreft de toegang tot relevante wetenschappelijke literatuur. Ondanks een brede literatuurstudie bleek een aanzienlijk aantal potentieel relevante artikelen, met name via *The Journal of the Acoustical Society of America*, niet toegankelijk met de beschikbare KU Leuven-inloggegevens. Hierdoor bestaat de reële kans dat belangrijke theoretische en empirische bijdragen niet konden worden meegenomen, wat de volledigheid en diepgang van de literatuuronderbouwing mogelijk heeft beperkt.

Een derde beperking betreft de vereenvoudigde visuele weergave van het gebruikte model. Omdat de simulatie zich op akoestiek richt, biedt de visuele component een abstracte weergave van de ruimte die niet vergelijkbaar is met een professionele presentatievisualisatie. Dit kan de multimodale beleving, waarbij visuele en akoestische indrukken samen de ruimtelijke ervaring vormen, beïnvloeden en het inlevingsvermogen van deelnemers beperken.

Een vierde beperking hangt samen met het beoogde maar niet gerealiseerde iteratieve ontwerpproces. Het onderzoek was oorspronkelijk opgezet als een cyclisch proces van opeenvolgende ontwerp- en evaluatierondes. Dit iteratieve karakter kon echter niet worden gerealiseerd, enerzijds door tijdsgebrek en anderzijds door de beperkte haalbaarheid van de participatie van de betrokken architecten binnen de beschikbare tijd en de projectcontext. Hierdoor kon een cruciale feedbacklus binnen een ontwerpgerichte evaluatie niet worden doorlopen.

Daarnaast richtte dit onderzoek zich primair op de ervaringen van ervaringsdeskundigen, waardoor het leerproces en de perceptie van architecten bij het werken met auralisatie buiten beschouwing bleven. Hierdoor blijft onduidelijk in welke mate ontwerpers daadwerkelijk nieuwe inzichten verwerven via de tool, en hoe die inzichten hun ontwerpbeslissingen beïnvloeden. Vervolgonderzoek kan verder verkennen hoe bevindingen uit de belevingen van auralisaties op een structurele manier kunnen worden geïntegreerd in een iteratief ontwerpproces, waarbij ook het leerproces van architecten expliciet wordt meegenomen.

5.3. Suggesties voor vervolgonderzoek

Hoewel dit onderzoek waardevolle inzichten opleverde in de auditieve ervaringen van gebruikers, blijven verschillende vragen onbeantwoord die een vruchtbare bodem vormen voor toekomstig onderzoek.

De kwalitatieve diepgang van dit onderzoek liet toe inzicht te verwerven in welke aspecten van akoestiek voor verschillende personen van belang zijn in hun auditieve beleving van de

ruimte, via gerichte interacties met auralisaties. Vervolgonderzoek zou kunnen nagaan of dezelfde thema's terugkeren in uiteenlopende gebouwtypes zoals scholen, zorginstellingen en openbare gebouwen, en of de gehanteerde participatieve aanpak ook daar bruikbaar is. Daarbij is het betrekken van een bredere diversiteit aan ervaringsdeskundigen, waaronder mensen met een auditieve beperking of meervoudige zintuiglijke beperkingen, essentieel om te toetsen of auralisatie voor hen een toegankelijke tool is om over akoestiek te spreken.

Een centrale aanbeveling is om auralisatie niet langer in eenmalige lineaire evaluaties in te zetten, maar te integreren in een live ontwerpproces met meerdere ontwerp cycli. Onderzoekers zouden architectenteams kunnen volgen die auralisatie inzetten van schets tot oplevering, en documenteren welke ontwerpbeslissingen veranderen wanneer geluidsbeleving als feedback wordt meegenomen. Een specifieke vraag daarbij is hoe zo'n iteratieve aanpak kan worden ingepast binnen de bestaande werkdruk en beslissingscultuur van ontwerp bureaus. Dit sluit aan bij een andere belangrijke piste: het leerproces van architecten zelf. De toepassing van auralisatie in de vroege conceptuele fase blijft een uitdaging door tijdsdruk, technische complexiteit en kosten (Lindebrink & Nätterlund, 2015; Thery et al., 2022). Toekomstig onderzoek zou kunnen nagaan welke inzichten architecten concreet verwerven wanneer zij met auralisatie werken, en hoe die inzichten hun ontwerpdenken op de lange termijn vormgeven. Daarbij is het bijzonder relevant te onderzoeken onder welke voorwaarden: qua toolkeuze, begeleiding en projectcontext, auralisatie effectief ingang vindt in de vroege ontwerpfase.

Daarnaast roept deze studie de vraag op in hoeverre auralisatie functioneert als sociaal-technisch communicatietool tussen architecten, akoestici en ervaringsdeskundigen, naast een louter technisch validatietool. De effectiviteit hangt niet alleen af van technische nauwkeurigheid, maar ook van de mate waarin de simulatie een gedeelde en betekenisvolle ervaring creëert. Auralisatietools bieden naast geluid ook akoestische parameters in cijferwaarden en grafieken, waardoor elke discipline een vertrouwde weergave krijgt. Vervolgonderzoek kan toetsen in hoeverre deze gecombineerde weergave bijdraagt aan een meer geïntegreerde samenwerking.

Op technisch vlak kan toekomstig onderzoek verschillende gradaties van modelgetrouwheid met elkaar vergelijken. Dit onderzoek gebruikte sterk vereenvoudigde modellen, wat de multimodale beleving (horen, zien en bewegen) beïnvloedde. Systematische variatie van het detailniveau (van eenvoudige statische simulaties tot volledig uitgewerkte VR-omgevingen met bewegingsvrijheid) kan antwoord geven op de vraag niet hoe realistisch een simulatie moet zijn, maar welk minimum detailniveau nodig is om diverse gebruikersgroepen betekenisvolle uitspraken te laten doen. Een gerelateerde piste betreft de invloed van meubilair op de akoestische ervaring. Meubilair absorbeert en reflecteert geluid op dezelfde manier als wand- of plafondmaterialen. Vervolgonderzoek kan nagaan of het toevoegen van meubilair aan het simulatiemodel een merkbaar verschil oplevert in de auditieve beleving. Dit naar analogie met de vergelijking tussen de oorspronkelijke en de akoestisch aangepaste versies in dit onderzoek. Hoewel gedetailleerdere modellen meer rekentijd vergen, hoeft dit geen principieel bezwaar te zijn wanneer het doel is om te toetsen of de extra complexiteit een meerwaarde biedt voor de ervaringsdiscussie.

Tot slot biedt een bijkomende technische piste de combinatie van auralisatie met haptische of tactiele ondersteuning, specifiek voor blinde en slechtziende gebruikers. Onderzocht kan worden in welke mate een auditieve simulatie, aangevuld met een tastbaar

model of tactiele oppervlakte-informatie, bijdraagt aan ruimtelijke navigatie, oriëntatie en zelfstandigheid bij het verkennen van een ontwerp. Ontwerpend onderzoek kan verkennen hoe oppervlaktematerialen of haptische maquettes auditieve simulaties vertalen naar een betekenisvolle ruimtelijke ervaring.

5.4.Praktische implicaties

De bevindingen van dit onderzoek leiden tot verschillende praktische implicaties voor zowel de architectuurpraktijk als het architectuuronderwijs.

Implicaties voor de architectuurpraktijk

Een eerste aanbeveling betreft de vroegtijdige integratie van auralisatie in het ontwerpproces. Tools zoals Treble maken het mogelijk om de auditieve impact van materiaal-, vorm- en zoneringskeuzes al vanaf de beginfase te verkennen en bespreekbaar te maken, zonder diepgaande akoestische expertise. Een goed gestructureerd 3D-model, met logische lagen en vereenvoudigde geometrie, blijkt daarbij een essentiële randvoorwaarde voor een efficiënte workflow.

De keuze van de auralisatietool dient te worden afgestemd op het beoogde doel. Voor participatieve sessies met ervaringsdeskundigen verdient een tool met pre-rendered navigatie en een intuïtieve interface, zoals Treble, de voorkeur boven complexe offline simulatoren zoals Odeon. Een dergelijke tool verlaagt de drempel voor niet-experts en maakt het mogelijk om tijdens de sessie vrij door de ruimte te bewegen. Voor technische validatie van een ontwerp, bijvoorbeeld het toetsen aan normwaarden, blijft nauwkeurigheid de prioriteit. Hierbij kan een geavanceerdere simulator met een langere rekentijd geschikter zijn.

Wat de opzet van de sessies betreft, zijn er drie praktische richtlijnen van belang. Ten eerste is het aan te raden om sessies te plannen met een maximale duur van 30 tot 45 minuten, omdat langere blootstelling aan complexe geluidsomgevingen bij gevoelige gebruikers snel tot overprikkeling en vermoeidheid kan leiden. Ten tweede moeten deelnemers vooraf informatie over het gebouw ontvangen, zoals een plattegrond, foto's of een digitale rondleiding, om de voorspelbaarheid van de simulatie te vergroten. Ten derde is begeleiding door een akoestisch expert bij de modelopbouw onmisbaar, omdat het vereenvoudigen van de geometrie en het correct toekennen van materiaaleigenschappen de betrouwbaarheid van de simulatie in hoge mate bepalen.

Op het niveau van het ontwerp zelf toont het onderzoek het belang van gedifferentieerde akoestische zones aan. In plaats van elke ruimte als een uniforme entiteit te benaderen, verdient het aanbeveling om een gebouw te ontwerpen als een opeenvolging van zones met wisselende akoestische eigenschappen, afgestemd op de functie en de verblijfsduur. Daarbij moet bijzondere aandacht uitgaan naar circulatieroutes en overgangszones, zoals gangen en trappenhuisen, omdat deze in de praktijk vaak bepalend blijken voor de algehele ervaring, maar in traditioneel akoestisch ontwerp onderbelicht blijven. Voorzie steeds stille toevluchtsruimtes naast levendigere zones, zodat gebruikers een omgeving kunnen opzoeken die aansluit bij hun auditieve behoeften.

Tot slot is het essentieel om akoestische maatregelen te combineren met niet-akoestische randvoorwaarden die de inclusiviteit aanzienlijk vergroten. Uit de interviews kwamen onder

meer de volgende elementen naar voren: visuele alarmen (bijvoorbeeld een flikkerend licht bij brand), sprekende liften zonder touchscreen, een betrouwbare wifi-verbinding in liften voor noodoproepen, het vermijden van glasdeuren, het voorzien van schriftelijke informatie naast mondelinge omroepen, en digitale druktemeters op websites (zoals bij IKEA) die gebruikers in staat stellen een rustig bezoekmoment te kiezen. Deze maatregelen zijn relatief eenvoudig te realiseren, worden in de akoestische literatuur zelden genoemd, en versterken de bruikbaarheid van een gebouw voor een breed scala aan gebruikers.

Implicaties voor het architectuuronderwijs

Ook voor architectuuropleidingen bieden de bevindingen relevante aanknopingspunten. Het is aan te bevelen auralisatie en auditieve beleving structureel in het curriculum te integreren, niet alleen als theoretisch onderwerp, maar ook als ervaringsgericht onderdeel van ontwerpstudio's. Studenten zouden niet enkel de theorie van nagalmtijden en absorptiecoëfficiënten moeten leren, maar ook daadwerkelijk moeten ervaren hoe materiaalkeuzes en ruimtelijke configuraties de geluidsbeleving beïnvloeden. Door samen te werken met akoestici en ervaringsdeskundigen kunnen toekomstige architecten een scherper inzicht ontwikkelen in de ruimtelijke werking van geluid en in de uiteenlopende, soms tegenstrijdige auditieve behoeften van diverse gebruikersgroepen

6. Conclusie

Dit onderzoek stelde zich de vraag hoe auralisatie, met aandacht voor auditieve diversiteit, kan worden ingezet als een tool tijdens het ontwerpproces om tot meer inclusieve ruimtelijke ontwerpen te komen. Op basis van een literatuurstudie en een kwalitatieve casestudy met drie ervaringsdeskundigen binnen het kader van het herbestemmingsproject voor het Stadhuis van Leuven, worden in dit besluitende hoofdstuk de drie deelvragen en de centrale onderzoeksvraag beantwoord.

6.1. Antwoord op de deelvragen

De eerste deelvraag: ***“Hoe ervaren mensen met een zintuiglijke beperking of mensen die neurodivergent zijn geluid in een ruimte, en wat onthult dit over de diversiteit in hun auditieve beleving?”*** werd beantwoord door de literatuurstudie, aangevuld en genuanceerd door de empirische bevindingen. De resultaten bevestigen dat auditieve behoeften sterk verschillen tussen gebruikersgroepen en binnen die groepen. Terwijl mensen met een visuele beperking vaak gebruikmaken van reflecties, nagalm en andere auditieve cues voor oriëntatie, hebben mensen met een auditieve beperking en mensen op het autismespectrum doorgaans baat bij een hogere spraakverstaanbaarheid, een beperkte geluidscomplexiteit en een voorspelbare geluidsomgeving.

De casestudy toont daarnaast aan dat niet alleen afzonderlijke ruimtes, maar ook circulatiezones, overgangsmomenten en de opeenvolging van geluidsomstandigheden bepalend zijn voor de algehele auditieve ervaring. Bovendien blijkt dat gebruikers actief copingstrategieën ontwikkelen om met hun auditieve omgeving om te gaan, wat het belang onderstreept van een ontwerpbenadering die rekening houdt met uiteenlopende individuele behoeften.

De tweede deelvraag: ***“Welke auralisatietechnieken en simulatiemethodes bestaan er momenteel, en hoe worden ze toegepast binnen de architectuurpraktijk?”*** werd beantwoord door de literatuurstudie en verder geconcretiseerd door een vergelijkend onderzoek tussen Odeon en Treble. Uit de literatuur blijkt dat auralisatie in de praktijk nog vooral door akoestisch adviseurs wordt ingezet, en minder door architecten in de vroege fases (Lindebrink & Nätterlund, 2015; Thery et al., 2022). De belangrijkste drempels zijn tijdsdruk, technische complexiteit en de conversie van CAD-modellen naar simulatieomgevingen.

De vergelijking tussen Treble en Odeon bevestigt dat zowel de technische kwaliteit van de simulatie als de gebruiksvriendelijkheid van de tool bepalend zijn voor de toepasbaarheid ervan binnen participatieve ontwerptrajecten. Treble, met pre-rendered navigatie en een intuïtieve interface, verlaagt de drempel voor architecten en ervaringsdeskundigen, maar kent beperkingen in akoestische nauwkeurigheid ten opzichte van Odeon. Een goed gestructureerd 3D-model blijkt in beide gevallen een essentiële voorwaarde voor betrouwbare simulaties.

De laatste deelvraag: ***“Hoe beïnvloedt het gebruik van auralisatie de gezamenlijke verkenning en het begrip van auditieve ervaringen tijdens ontwerpgesprekken met ervaringsdeskundigen?”*** werd beantwoord met een kwalitatieve casestudy. De casestudy toont aan dat auralisatie kan fungeren als een waardevolle communicatietool tussen ontwerpers en ervaringsdeskundigen doordat toekomstige akoestische situaties hoorbaar

en erfahrbaar worden gemaakt. Hierdoor verschuift de focus van abstracte akoestische parameters naar een meer ervaringsgerichte dialoog, waarin impliciete kennis explicieter wordt en feedback concreter en gericht kan worden geformuleerd. Dit maakt het mogelijk dat deelnemers sneller en doelgerichter reageren op specifieke ruimtelijke en geluidsmatige situaties. Bovendien worden verschillen in perceptie, voorkeuren en gevoeligheden duidelijker zichtbaar, wat de gezamenlijke verkenning verdiept.

Tegelijkertijd blijkt de effectiviteit van auralisatie afhankelijk te zijn van contextuele factoren, zoals voorkennis, mate van inleving en ervaren realisme. Deze factoren bepalen in hoeverre deelnemers zich tot de gesimuleerde ruimte kunnen verhouden en beïnvloeden daarmee de kwaliteit en diepgang van de feedback.

6.2. Antwoord op de centrale onderzoeksvraag

Op basis van de literatuurstudie en de kwalitatieve casestudy van het Stadhuis van Leuven kan de centrale onderzoeksvraag: **“Hoe kan auralisatie, met aandacht voor auditieve diversiteit, worden ingezet als een tool tijdens het ontwerpproces om tot meer inclusieve ruimtelijke ontwerpen te komen?”** als volgt worden beantwoord.

Auralisatie kan effectief worden ingezet als communicatieve en participatieve ontwerptool, mits het gefocust is op de subjectieve beleving en is ingebed in een iteratief proces met ervaringsdeskundigen. De meerwaarde ervan ligt niet uitsluitend in het simuleren van akoestische prestaties, maar vooral in het hoorbaar en bespreekbaar maken van uiteenlopende auditieve ervaringen tijdens het ontwerpproces.

Hieruit volgen drie centrale inzichten. Ten eerste maakt auralisatie de gevolgen van ontwerpkeuzes, zoals materiaalgebruik, ruimtelijke configuratie en akoestische zonering, al in een vroege ontwerpfase erfahrbaar. Hierdoor kunnen auditieve aspecten worden meegenomen voordat belangrijke ontwerpbeslissingen definitief vastliggen. Ten tweede creëert auralisatie een gedeeld referentiekader tussen ontwerpers, akoestici en ervaringsdeskundigen, waardoor subjectieve ervaringen beter kunnen worden gedeeld en geïntegreerd in ontwerpbeslissingen. Ten derde maakt de tool duidelijk dat auditieve behoeften niet uniform zijn. Wat voor de ene gebruiker ondersteunend werkt, kan voor een andere gebruiker juist een bron van hinder zijn. Inclusief akoestisch ontwerp vraagt daarom niet om één optimale oplossing, maar om flexibele en contextafhankelijke ontwerpstrategieën.

De bevindingen van dit onderzoek hebben een verkennend karakter en zijn niet zonder meer generaliseerbaar, maar suggereren wel dat auralisatie een waardevolle bijdrage kan leveren aan een ontwerppraktijk waarin auditieve diversiteit expliciet wordt meegenomen. De kracht van de tool ligt niet in het vervangen van traditionele akoestische analyses, maar in het aanvullen ervan met de perspectieven en ervaringen van gebruikers. Auralisatie is daarmee geen universele oplossing, maar een ondersteunende tool die kan bijdragen aan het positioneren van geluid als volwaardig ontwerpaspect binnen een inclusief ontwerpproces. Deze verschuiving blijkt zeker waardevol voor de verdere ontwikkeling van auditief inclusief ontwerp, waarbij de vraag niet zozeer is of auralisatie een plaats heeft, maar vooral hoe deze rol verder kan worden uitgewerkt.

7. Bibliografie

- Abraham, A. K., & Manohar, N. (2015). Efficacy of an assistive device for museum visitors with hearing impairment. *Journal of All India Institute of Speech & Hearing (JAIISH)*, 34, 117-127.
- Afonso-Jaco, A., & Katz, B. F. G. (2022). Spatial Knowledge via Auditory Information for Blind Individuals: Spatial Cognition Studies and the Use of Audio-VR. *Sensors*, 22(13), 4794. <https://doi.org/10.3390/s22134794>
- Anderson, S. (2022). Beyond standards: In search of heterogeneous approaches to sound in the design and planning of the public realm. *inter-noise and noise-con Congress and Conference Proceedings*, 265(5), 2561-2567. <https://www.ingentaconnect.com/content/ince/incecp/2023/00000265/00000005/art000067>
- aNno ARCHITECTEN & FELT architectuur & design. (2023, 14 februari). 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 [Architectuurplannen].
- Architexture V. (z.d.). *Recroding Room Impulse Responses*. Architexture V - 2: Room Impulse Responses. Geraadpleegd 27 mei 2026, van <https://architexture.york.ac.uk/learning-activities/2-room-impulse-responses>
- ARUP & Aural Diversity Network. (2024, februari). *Aural Diversity Toolkit*. <https://www.arup.com/insights/aural-diversity-toolkit/>
- Aspöck, L. (2020). *Validation of room acoustic simulation models*. Logos Verlag GmbH.
- Aspöck, L., Pelzer, S., Wefers, F., & Vorländer, M. (2014, 3 april). *A real-time auralization plugin for architectural design and education*. Proceedings of the EAA Joint Symposium on Auralization and Ambisonics.
- Axelsson, Ö., Nilsson, M. E., & Berglund, B. (2010). A principal components model of soundscape perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), 2836-2846. <https://doi.org/10.1121/1.3493436>
- Azevedo, M., & Sacks, J. (2014, 3 april). *Auralization as an architectural design tool*. Proceedings of the EAA Joint Symposium on Auralization and Ambisonics. <https://doi.org/10.14279/depositonce-27>
- Beldam, M.-B. (2018, maart 9). Room acoustic descriptors—RT, C50 and Strength/ Gain. *Acoustic Bulletin*. <https://www.acousticbulletin.com/room-acoustic-descriptors-rt-c50-and-gain/>
- Bettarello, F., Caniato, M., Marzi, A., Scavuzzo, G., & Gasparella, A. (2022). Smart Sensors and Auditory Sensitivity: Acoustic Optimization of Dedicated Spaces for Autistic Individuals. In *Building Simulation Applications BSA 2022* (pp. 387-393). Bozen-Bolzano University Press. <https://arts.units.it/handle/11368/3041980>
- Bettarello, F., Caniato, M., Scavuzzo, G., & Gasparella, A. (2021). Indoor Acoustic Requirements for Autism-Friendly Spaces. *Applied Sciences*, 11(9), 3942. <https://doi.org/10.3390/app11093942>
- Blessner, B., & Salter, L.-R. (2006). *Spaces Speak, Are You Listening?: Experiencing Aural Architecture*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/6384.001.0001>
- Bradley, J. S., Reich, R., & Norcross, S. G. (1999). A just noticeable difference in C50 for speech. *Applied Acoustics*, 58(2), 99-108. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(98\)00075-9](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(98)00075-9)
- Brown, C. A., & Bacon, S. P. (2010). Fundamental frequency and speech intelligibility in background noise. *Hearing Research*, 266(1-2), 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2009.08.011>

- Caldas, F., Underwood, S., Masiero, B. S., & Wang, L. M. (2024). Autism and Indoor Sounds. *Acoustics Today*, 20(2), 21. <https://doi.org/10.1121/AT.2024.20.2.21>
- Campbell, C., Nilsson, E., & Svensson, C. (2015). The Same Reverberation Time in Two Identical Rooms does not Necessarily Mean the Same Levels of Speech Clarity and Sound Levels when We Look at Impact of different Ceiling and Wall Absorbers. *Energy Procedia*, 78, 1635-1640. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.242>
- Castronovo, F., Nikolic, D., Liu, Y., & Messner, J. (2013, 30 oktober). *An evaluation of immersive virtual reality systems for design reviews*. Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality. https://www.researchgate.net/publication/286095846_An_evaluation_of_immersive_virtual_reality_systems_for_design_reviews
- Caulfield, J. (2021, 6 september). Wat is een thematische analyse (thematic analysis)? *Scribbr*. <https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/thematische-analyse/>
- Dalenbäck, B.-I. L. (1996). Room acoustic prediction based on a unified treatment of diffuse and specular reflection. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100(2), 899-909. <https://doi.org/10.1121/1.416249>
- Defays, A., Safin, S., Billon, A., Decaestecker, C., Warzée, N., Leclercq, P., & Nyssen, A.-S. (2014). Bimodal Interaction: The Role of Visual Information in Performing Acoustic Assessment in Architecture. *Ergonomics Open Journal*, 7. <https://doi.org/10.2174/1875934301407010013>
- Ding, N., Gao, J., Wang, J., Sun, W., Fang, M., Liu, X., & Zhao, H. (2023). Speech recognition in echoic environments and the effect of aging and hearing impairment. *Hearing Research*, 431, 108725. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2023.108725>
- Ecophon. (z.d.). *Nagalmtijd*. Ecophon. Geraadpleegd 2 mei 2026, van <https://www.ecophon.com/nl/about-ecophon/acoustic-knowledge/room-acoustic-descriptors/reverberation-time/>
- Eisazadeh, N., Vermeersch, P.-W., Heylighen, A., & Houbart, C. (2025). Informing Heritage Conservation Through Diverse Experiences: The Case of the Leuven Town Hall. *Urban Planning*, 10. <https://doi.org/10.17645/up.9168>
- Erfanian, M., Mitchell, A. J., Kang, J., & Aletta, F. (2019). The Psychophysiological Implications of Soundscape: A Systematic Review of Empirical Literature and a Research Agenda. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3533. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193533>
- Fay, M. (2013). Acoustics 101 for Architects. *GraceNote Design Group*, (1).
- Goubran, R., Vukovic, B., Laska, B., Ault, L., Hirotsu, M., Wallace, B., Gunnell, J., Bergin, C., & Hudak, A. (2023). *Informing Standards for Acoustics and the Built Environment: Final Research Report*. Carleton University. Faculty of Engineering and Design. <https://doi.org/10.22215/rcgl/23jn0251e>
- Gracey & Associates. (2023, 12 mei). *Sound level frequency-weightings terms and definitions*. Acoustic glossary. <https://www.acoustic-glossary.co.uk/frequency-weighting.htm#a-weighting>
- Guastamacchia, A., Rosso, R. G., Puglisi, G. E., Riente, F., Shtrepi, L., & Astolfi, A. (2024). Real and Virtual Lecture Rooms: Validation of a Virtual Reality System for the Perceptual Assessment of Room Acoustical Quality. *Acoustics*, 6(4), 933-965. <https://doi.org/10.3390/acoustics6040052>
- Hamida, A., Eijkelenboom, A., & Bluysen, P. M. (2024). Profiling university students based on their acoustical and psychosocial preferences and characteristics of their

- home study places. *Building and Environment*, 253, 111324.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111324>
- Hamilton, B., & Bilbao, S. (2017). FDTD Methods for 3-D Room Acoustics Simulation With High-Order Accuracy in Space and Time. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 25(11), 2112-2124.
<https://doi.org/10.1109/TASLP.2017.2744799>
- Herssens, J. (2011). *Designing Architecture for More: A Framework of Haptic Design Parameters with the Experience of People Born Blind*.
<https://documentserver.uhasselt.be//handle/1942/13903>
- Heylighen, A., Vermeir, G., & Rychtáriková, M. (2008). The Sound of Inclusion: A Case Study on Acoustic Comfort for All. In P. Langdon, J. Clarkson, & P. Robinson (Eds.), *Designing Inclusive Futures* (pp. 75-84). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-211-1_8
- Hong, J. Y., & Jeon, J. Y. (2017). Relationship between spatiotemporal variability of soundscape and urban morphology in a multifunctional urban area: A case study in Seoul, Korea. *Building and Environment*, 126, 382-395.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.021>
- Hoorzorg Specialist Sander. (2025, 7 juli). Horend Goed Audiciens. *De Stilste Plek op Aarde: De Dode Kamer*. <https://www.horendgoed.nl/nieuws-achtergrond/de-stilste-plek-op-aarde-de-dode-kamer/>
- Hugill, A. (2022, 23 oktober). *Aural Diversity: Infographic*.
<https://auraldiversity.org/infographic.html>
- Hull, J. M., & Hayhoe, S. (2019). Touching the Rock: An Experience of Blindness (1990). In G. Thomas Couser & S. B. Mintz (Eds.), *Disability Experiences* (Vol. 2, pp. 759-762). Macmillan.
https://www.cengage.com/search/productOverview.do?Ntt=disability+experiences%7C46451897913091060613172535481579171035&N=197&Nr=197&Ntk=APG%7CP_EPI&Ntx=mode+matchallpartial
- IKEA. (z.d.). *IKEA PS LÖMSK* [Screenshot]. Geraadpleegd 16 mei 2026, van <https://www.ikea.com/be/nl/p/ikea-ps-loemsk-draaifauteuil-wit-rood-10407136/>
- Institute of Acoustics (IOA) & Association of Noise Consultants (ANC). (2015). *Acoustics of Schools: A design guide*.
- judefelix. (2024, 30 juli). *Coffee Shop* [3D model]. CGTrader.
<https://www.cgtrader.com/free-3d-models/exterior/exterior-public/coffee-shop-716d606e-a4c4-432a-9bcb-67ed957e019b>
- Kanakri, S. M., Shepley, M., Varni, J. W., & Tassinary, L. G. (2017). Noise and autism spectrum disorder in children: An exploratory survey. *Research in Developmental Disabilities*, 63, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.02.004>
- Kang, J., Aletta, F., Gjestland, T. T., Brown, L. A., Botteldooren, D., Schulte-Fortkamp, B., Lercher, P., Van Kamp, I., Genuit, K., Fiebig, A., Bento Coelho, J. L., Maffei, L., & Lavia, L. (2016). Ten questions on the soundscapes of the built environment. *Building and Environment*, 108, 284-294.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.011>
- Khairul Anuar, F. N., Sulaiman, R., Din, N. C., & Abdul Razak, A. S. (2024). A Conceptual Framework for Immersive Acoustic Auralisation: Investigating the Key Attributes. *Journal of Physics: Conference Series*, 2721(1), 012015.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2721/1/012015>
- Kinnear, D., Rydzewska, E., Dunn, K., Hughes-McCormack, L., Melville, C., Henderson, A., & Cooper, S.-A. (2020). The relative influence of intellectual disabilities and autism

- on sensory impairments and physical disability: A whole-country cohort of 5.3 million children and adults. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 33(5), 1059-1068. <https://doi.org/10.1111/jar.12728>
- Kleiner, M., Dalenbäck, B.-I. L., & svensson, P. (1993). Auralization—An overview. *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 41, No. 11, 861-875.
- KU Leuven. (z.d.). 00.32—Academisch Kwartier De Valk—KULag [Afbeelding]. Geraadpleegd 16 mei 2026, van <https://www.kuleuven.be/kulag/nl/lokaal/103-03-000032/onderwijs>
- Kurniawan, S. H., Sporka, A., Nemec, V., & Slavik, P. (2004). Design and user evaluation of a spatial audio system for blind users. *Virtual Reality*.
- Larsen, O. N., Gannon, W. L., Erbe, C., Pavan, G., & Thomas, J. A. (2022). Source-Path-Receiver Model for Airborne Sounds. In C. Erbe & J. A. Thomas (Red.), *Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1: Methods* (pp. 153-183). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97540-1_5
- Larsson, K. (2016). *The Importance of Engineering Acoustics*. https://www.academia.edu/28159491/The_Importance_of_Engineering_Acoustics
- Lavagna, L., Shtrepi, L., Farina, A., Bevilacqua, A., & Astolfi, A. (2022, 6 juli). *Acoustic design optimization through the use of auralization: How does it sound like?* PROCEEDINGS of the 2nd Symposium: The Acoustics of Ancient Theatres. <https://doi.org/10.58874/SAAT.2022.189>
- Lindebrink, J., & Nätterlund, J. (2015, 15 november). *An engine for real-time audiovisual rendering in the building design process*. Acoustics 2015 Hunter Valley. <https://www.semanticscholar.org/paper/AN-ENGINE-FOR-REAL-TIME-AUDIOVISUAL-RENDERING-IN-Lindebrink-N%C3%A4tterlund/7a52b7e386133c344a77be3d0b8ec4a33a861c8a>
- Massie, C. (2014, 7 maart). Soundscape Architecture Analyzes Aural Characteristics of Iconic Buildings. *Architect Magazine*. https://www.architectmagazine.com/practice/professional-development/soundscape-architecture-analyzes-aural-characteristics-of-iconic-buildings_o
- Milo, A. (2020). The acoustic designer: Joining soundscape and architectural acoustics in architectural design education. *Building Acoustics*, 27(2), 83-112. <https://doi.org/10.1177/1351010X19893593>
- Minelli, G., Astolfi, A., & Puglisi, G. E. (2020). *The effect of classroom acoustics on students? Learning processes: selection of objective parameters and provision of a measurement protocol*. 6 pages. <https://doi.org/10.48465/FA.2020.0575>
- Minnaar, P., Favrot, S., & Buchholz, J. M. (2010). Improving hearing aids through listening tests in a virtual sound environment. *The Hearing Journal*, 63(10), 40. <https://doi.org/10.1097/01.HJ.0000389926.64797.3e>
- Nagib, W., & Williams, A. (2018). Creating “therapeutic landscapes” at home: The experiences of families of children with autism. *Health & Place*, 52, 46-54. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.05.001>
- Nguyen, P., d'Auria, V., & Heylighen, A. (2020). Detail Matters: Exploring Sensory Preferences in Housing Design for Autistic People. In P. Langdon, J. Lazar, A. Heylighen, & H. Dong (Red.), *Designing for Inclusion* (pp. 132-139). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43865-4_14
- Níall McLaughlin Architects. (2025, 26 maart). *Bishop Edward King Chapel*. <https://www.niallmclaughlin.com/projects/bishop-edward-king-chapel/>

- NOV'82 Architecten. (z.d.). *Audiomaquette Tweede Kamer*. Geraadpleegd 30 mei 2026, van <https://nov82.nl/projecten/audiomaquette-tk/>
- Nureva support. (2024, 12 april). *About background noise levels*. <https://support.nureva.com/docs/about-background-noise-levels>
- Odelius, J., Johansson, Ö., & Ågren, A. (2005). *Communication quality for students with a hearing impairment: An experiment evaluating speech intelligibility and annoyance*. *Forum Acusticum* 2005. https://www.researchgate.net/publication/229043294_Communication_quality_for_students_with_a_hearing_impairment_An_experiment_evaluating_speech_intelligibility_and_annoyance
- ODEON A/S. (z.d.). *Prices and Editions*. ODEON Room Acoustics Software. Geraadpleegd 30 december 2025, van <https://odeon.dk/buy/prices-and-editions/>
- ODEON Room Acoustics Software. (2024, 9 oktober). *How to produce auralisations of your room model—ODEON tutorial* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=NxB6596U5c0>
- Patel, R. (2020). *Architectural Acoustics: A guide to integrated thinking*. Routledge.
- Pelzer, S., Aspöck, L., Schröder, D., & Vorländer, M. (2014). Integrating Real-Time Room Acoustics Simulation into a CAD Modeling Software to Enhance the Architectural Design Process. *Buildings*, 4(2), 113-138. <https://doi.org/10.3390/buildings4020113>
- Picinali, L., Afonso, A., Denis, M., & Katz, B. F. G. (2014). Exploration of architectural spaces by blind people using auditory virtual reality for the construction of spatial knowledge. *International Journal of Human-Computer Studies*, 72(4), 393-407. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2013.12.008>
- Poirier-Quinot, D. (2025). Cue-preserving auralisations for blind exploration of virtual indoor environments. *Technology and Disability*, 0(0), 1-18. <https://doi.org/10.1177/10554181251339605>
- Poirier-Quinot, D., Postma, B. N., & Katz, B. F. (2016). *Augmented auralization: Complementing auralizations with immersive virtual reality technologies*. 1-10. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=WDE5XP4AAAAJ&citation_for_view=WDE5XP4AAAAJ:IjCSPb-OGc4C
- Probst, W., Böhm, M., & Datakustik GmbH. (2017). *The application of the STI in speech communication*. https://www.datakustik.com/fileadmin/user_upload/e-Learning-Center/Papers-and-Publications/2017_Application_STI_WP_MB.pdf
- Renel, W. (2022). Non-normative sonic space: Exploring the divergent capacities of soundscape design in the built environment. *inter-noise and noise-con Congress and Conference Proceedings*, 265(6), 1102-1113. <https://www.ingentaconnect.com/content/ince/incecp/2023/000000265/00000006/art00012>
- Reverberation Time in Room Acoustics*. (2023, 9 maart). Larson Davis. <http://www.larsondavis.com/learn/building-acoustics/Reverberation-Time-in-Room-Acoustics>
- Rychtáriková, M. (2015). How do blind people perceive sound and soundscape? *Akustika*, 23, 6-9.
- Secchi, S., Lauria, A., & Cellai, G. (2017). Acoustic wayfinding: A method to measure the acoustic contrast of different paving materials for blind people. *Applied Ergonomics*, 58, 435-445. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.08.004>
- Shokz oordopjes. (z.d.). [Screenshot]. Coolblue. Geraadpleegd 16 mei 2026, van <https://www.coolblue.be/nl/oordopjes/shokz>

- SonaVyx. (z.d.). *Early Reflections*. SonaVyx. Geraadpleegd 2 mei 2026, van <https://sonavyx.com/en/glossary/early-reflections>
- Speech clarity | Room acoustic descriptors | Ecophon. (z.d.). Geraadpleegd 2 mei 2026, van <https://www.ecophon.com/en/about-ecophon/acoustic-knowledge/room-acoustic-descriptors/speech-clarity/>
- Stad Leuven. (z.d.-a). *Ontwerp van het toekomstige stadhuis*. Geraadpleegd 17 november 2025, van <https://www.leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuis>
- Stad Leuven. (z.d.-b). *Verbouwings- en renovatiewerken in het stadhuis*. Geraadpleegd 17 november 2025, van <https://www.leuven.be/verbouwings-en-renovatiewerken-het-stadhuis>
- Symposium on Sound Driven Design*. (2025, 11 september). Ressources IRCAM. <https://ressources.ircam.fr/fr/event/symposium-on-sound-driven-design-2025>
- Thery, D., Boccara, V., & Katz, B. F. G. (2019). Auralization uses in acoustical design: A survey study of acoustical consultants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 145(6), 3446-3456. <https://doi.org/10.1121/1.5110711>
- Thery, D., Poirier-Quinot, D., Jouan, S., Katz, B. F., & Boccara, V. (2022). Architectural acoustic design: Observation of use cases including audio-only and multimodal auralizations. *Building Acoustics*, 29(1), 179-199. <https://doi.org/10.1177/1351010X211045518>
- Treble. (z.d.). Geraadpleegd 30 december 2025, van <https://app.treble.tech/subscription?type=singlestandard&period=monthly>
- Tsimpou, T. (2025, 11 februari). *Kengo kuma discusses translating sound into space as “onomatopoeia” show lands in athens*. Designboom | Architecture & Design Magazine. <https://www.designboom.com/architecture/kengo-kuma-sound-space-onomatopoeia-architecture-exhibition-athens-interview-02-11-2025/>
- Tweede Kamer der staten-generaal. (2022, 4 april). *Kamer onthult audiomaquette en blindegeleidelijn*. <https://www.tweedekamer.nl/nieuws/kamernieuws/kamer-onthult-audiomaquette-en-blindegeleidelijn>
- Unity Technologies. (z.d.). *Spatial Audio*. Unity Glossary. Geraadpleegd 26 mei 2026, van <https://unity.com/glossary/spatial-audio>
- Vermeersch, P.-W. (2013). *Less vision, more senses: Towards a more multisensory design approach in architecture*. https://www.researchgate.net/publication/275891851_Less_vision_more_senses_Towards_a_more_multisensory_design_approach_in_architecture
- Vermeersch, P.-W., & Heylighen, A. (2021). Involving blind user/experts in architectural design: Conception and use of more-than-visual design artefacts. *CoDesign*, 17(1), 50-69. <https://doi.org/10.1080/15710882.2018.1557696>
- Visit Leuven. (z.d.). *360° virtuele tour | Discover Leuven town hall* [Screenshot]. Bezoek Leuven virtueel. Geraadpleegd 29 mei 2026, van <http://townhall.visitleuven.be/>
- Vorländer, M. (2014). Virtual Acoustics. *Archives of Acoustics*, 39(3). <https://doi.org/10.2478/aoa-2014-0036>
- Vorländer, M. (2020). *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-51202-6>
- Weber, C., Husung, S., Brix, T., Brix, S., & Sladeczek, C. (2011, 12 september). *Auralisation of acoustical product properties for technical systems in virtual environments*. 56th international scientific colloquium.
- Williams, M. A., Dubin, B., Amaefule, C., Nguyen, L., Abdolrahmani, A., Galbraith, C., Hurst, A., & Kane, S. K. (2016). Better Supporting Blind Pedestrians and Blind Navigation

- Technologies Through Accessible Architecture. In P. Langdon, J. Lazar, A. Heylighen, & H. Dong (Red.), *Designing Around People* (pp. 237-246). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29498-8_25
- Woorden.org. (z.d.-a). *Akoestiek*. Woorden.org - Nederlands woordenboek. Geraadpleegd 17 december 2025, van <https://www.woorden.org/woord/akoestiek>
- Woorden.org. (z.d.-b). *Auditief*. Woorden.org - Nederlands woordenboek. Geraadpleegd 17 december 2025, van <https://www.woorden.org/woord/auditief>
- Wyke, S. S., Svidt, K., Christensen, F., Sorensen, J. B., Fadnes, T. M., & Jensen, R. L. (2020). *Real-Time Evaluation of Room Acoustics using IFC-Based Virtual Reality and Auralization Engines*. 279-290. <https://doi.org/10.46421/2706-6568.37.2020.paper020>
- Zaar, J., & Carney, L. H. (2022). Predicting speech intelligibility in hearing-impaired listeners using a physiologically inspired auditory model. *Hearing Research*, 426, 108553. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2022.108553>
- Zahorik, P., & Brandewie, E. (2011). Perceptual Adaptation to Room Acoustics and Effects on Speech Intelligibility in Hearing-Impaired Populations. *Proceedings of Forum Acusticum*, 2167-2172.
- Zaniboni, L., & Toftum, J. (2023). Indoor environment perception of people with autism spectrum condition: A scoping review. *Building and Environment*, 243, 110545. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110545>

8. Lijsten en bijlagen

8.1. Lijst van tabellen

Tabel 1 Overzicht van de soorten simulatiemethodes en hun kenmerken.....	28
Tabel 2 Overzicht van de soorten visualisatietechnieken die gecombineerd kunnen worden met de simulatiemethodes.....	29
Tabel 3 Overzicht van de soorten auralisatietechnieken.....	29
Tabel 4 Overzicht van technologische integratie en toepassingsdomeinen van auralisatie.....	31
Tabel 5 Bronnen en ontvangers van het cafetariamodel.....	46
Tabel 6 Duurtijd initiatie Odeon.....	48
Tabel 7 Duurtijd initiatie Treble.....	49
Tabel 8 Vergelijkingstabel Odeon & Treble.....	50
Tabel 9 Duurtijd initiatie Unreal Engine.....	52
Tabel 10 Duurtijd initiatie Sketchup & Vectorworks voor in Odeon en Treble.....	55
Tabel 11 Modelvereisten Odeon & Treble.....	56
Tabel 12 Eigenschappen trappen/vloeren in Treble (terrazzo slabs).....	59
Tabel 13 Eigenschappen trappen/vloeren in Treble (wooden flooring).....	59
Tabel 14 Eigenschappen houten oppervlakken Treble (wood).....	60
Tabel 15 Eigenschappen stalen oppervlakken Treble (steel elevator).....	61
Tabel 16 Eigenschappen metselwerk Treble (brick unglazed).....	61
Tabel 17 Eigenschappen binnenmuren Treble (plastered masonry wall).....	62
Tabel 18 Eigenschappen glasoppervlakken Treble (double 2-3 mm glass, >30 mm air gap).....	62
Tabel 19 Eigenschappen plafond Treble (acoustic ceiling (glasswool), 20 mm , 30 kg/m ³ , suspended 50 mm).....	63
Tabel 20 Informatie ervaringsdeskundigen.....	65
Tabel 21 Overzicht van de gebruikte geluidsbronnen in het model van het Stadhuis van Leuven.....	72
Tabel 22 Eigenschappen tapijt Treble (carpet tiles).....	83
Tabel 23 Eigenschappen akoestische panelen Treble (striped panel, 3,0 mm stripes met een tussenafstand van 10,0 mm, 40 mm dikke 81 kg/m ³ absorber, 100,0 mm cavity).....	83

8.2. Lijst van figuren

Figuur 1 Grafiek nagalmtijd Overgenomen uit <i>Nagalmtijd</i> , door Ecophon, z.d. (https://www.ecophon.com/nl/about-ecophon/acoustic-knowledge/room-acoustic-descriptors/reverberation-time/).....	22
Figuur 2 Ontwerp toekomstige stadhuis Aangepast overgenomen uit <i>Ontwerp van het toekomstige stadhuis</i> , door Stad Leuven, z.d. (https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuys).....	33
Figuur 3 Raadskelders worden workshopruimtes op de tweede ondergrondse verdieping (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast	

overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 1), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	34
Figuur 4 Foto van één van de raadschelders Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.	34
Figuur 5 Wandelzaal, musealen (= klerkenkamers, registers) en trouwzalen op +0 (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	35
Figuur 6 Foto van de wandelzaal Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.	35
Figuur 7 Foto van de klerkenkamers Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.	36
Figuur 8 Foto van de trouwsalons Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.	36
Figuur 9 Polyvalent '18e'-eeuws salon, twee 19e-eeuwse salons, (kleine) Gotische zaal op +1 (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	36
Figuur 10 Foto van de Gotische zaal Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.	37
Figuur 11 Foto van de kleine Gotische zaal Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.	37
Figuur 12 Gang polyvalent '18e'-eeuws salon Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.	38
Figuur 13 Polyvalent '18e'-eeuws salon Foto genomen door Negin Eisazadeh op 12 augustus 2020, gebruikt met toestemming.	38
Figuur 14 19e-eeuws salon Foto genomen door Negin Eisazadeh op.....	38
Figuur 15 Bureau van de burgemeester & de collegezaal op +2 (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 5), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	39
Figuur 16 Bureau van de burgemeester (Visit Leuven, z.d.) Screenshot van <i>I luv Leuven</i> , door Visit Leuven, z.d. (http://townhall.visitleuven.be/).	39
Figuur 17 Vergaderzaal/collegezaal (Visit Leuven, z.d.) Screenshot van <i>I luv Leuven</i> , door Visit Leuven, z.d. (http://townhall.visitleuven.be/).	40
Figuur 18 Beeldenzolder op snede C (rood aangeduid) (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	40
Figuur 19 Beeldenzolder 1 (Visit Leuven, z.d.) Screenshot van <i>I luv Leuven</i> , door Visit Leuven, z.d. (http://townhall.visitleuven.be/).	41

Figuur 20 Beeldenzolder 2 (Visit Leuven, z.d.) Screenshot van <i>I luv Leuven</i> , door Visit Leuven, z.d. (http://townhall.visitleuven.be/).	41
Figuur 21 Doorsnede D: Overzicht verdiepingen antichambre (aNNno ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 9), door aNNno ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.....	42
Figuur 22 Onthaalruimte in de antichambre (links) en de tussenruimte met passerelle naar het historische gedeelte (rechts) Overgenomen uit <i>Ontwerp van het toekomstige stadhuis</i> , door Stad Leuven, z.d. (https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuys).	42
Figuur 23 Onthaal Toerisme Leuven (receptie) Overgenomen uit <i>Ontwerp van het toekomstige stadhuis</i> , door Stad Leuven, z.d. (https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuys).	43
Figuur 24 Intro cultuurhistorische beleving (1e verdiep antichambre) Overgenomen uit <i>Ontwerp van het toekomstige stadhuis</i> , door Stad Leuven, z.d. (https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuys).	43
Figuur 25 Intro cultuurhistorische beleving + stadsbalkon (2e verdiep antichambre) Overgenomen uit <i>Ontwerp van het toekomstige stadhuis</i> , door Stad Leuven, z.d. (https://leuven.be/ontwerp-van-het-toekomstige-stadhuys).	43
Figuur 26 Minimale diepte raamkader Screenshot uit SketchUp, eigen werk.	45
Figuur 27 Minimale diepte raamkader vervangen door volledig glas (juiste methode) Screenshot uit SketchUp, eigen werk.....	45
Figuur 28 Meubilair (best simplistisch of weglaten) Screenshot uit SketchUp, eigen werk.	45
Figuur 29 Bekers (weglaten, want het vergt veel tijd) Screenshot uit SketchUp, eigen werk.	45
Figuur 30 Bronnen (rood) en ontvangers (blauw) Screenshot uit Odeon, eigen werk.....	46
Figuur 31 Simulatiemogelijkheden Odeon Screenshot uit Odeon, eigen werk.	47
Figuur 32 Auralisation setup Screenshot uit Odeon, eigen werk.....	47
Figuur 33 Configuratie van auralisatie Odeon Screenshot uit Odeon, eigen werk.....	48
Figuur 34 'Bovenaanzicht Audiomaquette Tweede Kamer' Overgenomen uit <i>Audiomaquette Tweede Kamer</i> , door NOV'82 Architecten, z.d. (https://nov82.nl/projecten/audiomaquette-tk/).	53
Figuur 35 Cafetariamodel met bronnen en ontvangers, en lagenverdeling Screenshot uit SketchUp, eigen werk.....	54
Figuur 36 Onzichtbare elementen die leiden tot het verwijderen van andere gekoppelde elementen Screenshot uit SketchUp, eigen werk.....	54
Figuur 37 Verdwijnende vlakken en foutmeldingen Screenshot uit Treble, eigen werk.....	57
Figuur 38 Treble plugin in Sketchup Screenshot uit SketchUp, eigen werk.	58
Figuur 39 Vloeren met wooden flooring Screenshot uit Treble, eigen werk.....	59
Figuur 40 Vloeren met terrazzo slabs Screenshot uit Treble, eigen werk.	59
Figuur 41 Trappen met wooden flooring Screenshot uit Treble, eigen werk.	60

Figuur 42 Trappen met terrazzo slabs Screenshot uit Treble, eigen werk.	60
Figuur 43 Houten oppervlakken Screenshot uit Treble, eigen werk.....	60
Figuur 44 Stalen lift Screenshot uit Treble, eigen werk.	61
Figuur 45 Metselwerk Screenshot uit Treble, eigen werk.....	61
Figuur 46 Binnenmuren met plastered masonry wall Screenshot uit Treble, eigen werk.	62
Figuur 47 glasoppervlakken Screenshot uit Treble, eigen werk.	62
Figuur 48 Akoestisch plafond Screenshot uit Treble, eigen werk.....	63
Figuur 49 Simulatieduur model Treble Screenshot uit Treble, eigen werk.	64
Figuur 50 Voorbeeld Shokz oordopjes Coolblue (Shokz oordopjes, z.d.) Screenshot van <i>Shokz oordopjes</i> , door Coolblue, z.d. (https://www.coolblue.be/nl/oordopjes/shokz).	66
Figuur 51 Eivormige stoel van IKEA (IKEA, z.d.) Screenshot van <i>IKEA PS LÖMSK</i> , door IKEA, z.d. (https://www.ikea.com/be/nl/p/ikea-ps-loemsk-draaifauteuil-wit-rood-10407136/).	69
Figuur 52 Inrichting cafetaria De Valk 3 (KU Leuven, z.d.) Overgenomen uit 00.32 - <i>academisch Kwartier De Valk</i> , door KU Leuven, z.d. (https://www.kuleuven.be/kulag/nl/lokaal/103-03-000032/onderwijs).	69
Figuur 53 Positionering van de geluidsbronnen op het grondplan van het gelijkvloers (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit <i>1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3</i> (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.....	73
Figuur 54 Positionering van de geluidsbronnen op het grondplan van de eerste verdieping (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit <i>1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3</i> (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	73
Figuur 55 Positionering van de geluidsbronnen op het grondplan van de derde verdieping (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit <i>1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3</i> (p. 6), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.....	73
Figuur 56 Grondplan gelijkvloers (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit <i>1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3</i> (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	74
Figuur 57 Grondplan eerste verdiep (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit <i>1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3</i> (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	74
Figuur 58 Route 1 op 3D-model Screenshot uit Treble, eigen werk.....	75
Figuur 59 Gelijkvloers route 1 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit <i>1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3</i> (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	75
Figuur 60 Route 2 op 3D-model Screenshot uit Treble, eigen werk.....	76

Figuur 61 Gelijkvloers route 2 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	77
Figuur 62 Eerste verdieping route 2 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	77
Figuur 63 Route 3 op 3D-model Screenshot uit Treble, eigen werk.	79
Figuur 64 Gelijkvloers route 3 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	79
Figuur 65 Eerste verdieping route 3 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 4), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	80
Figuur 66 Derde verdieping route 3 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 6), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	80
Figuur 67 Route 4 op 3D-model Screenshot uit Treble, eigen werk.	81
Figuur 68 Gelijkvloers route 4 (aNNo ARCHITECTEN & FELT architectuur & design, 2023) Aangepast overgenomen uit 1905_DO_230214_00_architectuurplannen_A3 (p. 3), door aNNo ARCHITECTEN en FELT architectuur & design, 2023.	81
Figuur 69 Antichambre: oorspronkelijk Screenshot uit Treble, eigen werk.....	83
Figuur 70 Antichambre: gewijzigd Screenshot uit Treble, eigen werk.	83
Figuur 71 Plaatsing van puntontvangers in de antichambre Screenshot uit Treble, eigen werk.	84
Figuur 72 Polyvalente zaal: oorspronkelijk Screenshot uit Treble, eigen werk.....	85
Figuur 73 Polyvalente zaal: gewijzigd Screenshot uit Treble, eigen werk.	85
Figuur 74 Plaatsing puntontvangers polyvalente zaal Screenshot uit Treble, eigen werk.	85
Figuur 75 STI-normen voor mensen met gehoorverlies Document verkregen van promotor Peter-Willem Vermeersch, gebruikt met toestemming.....	112

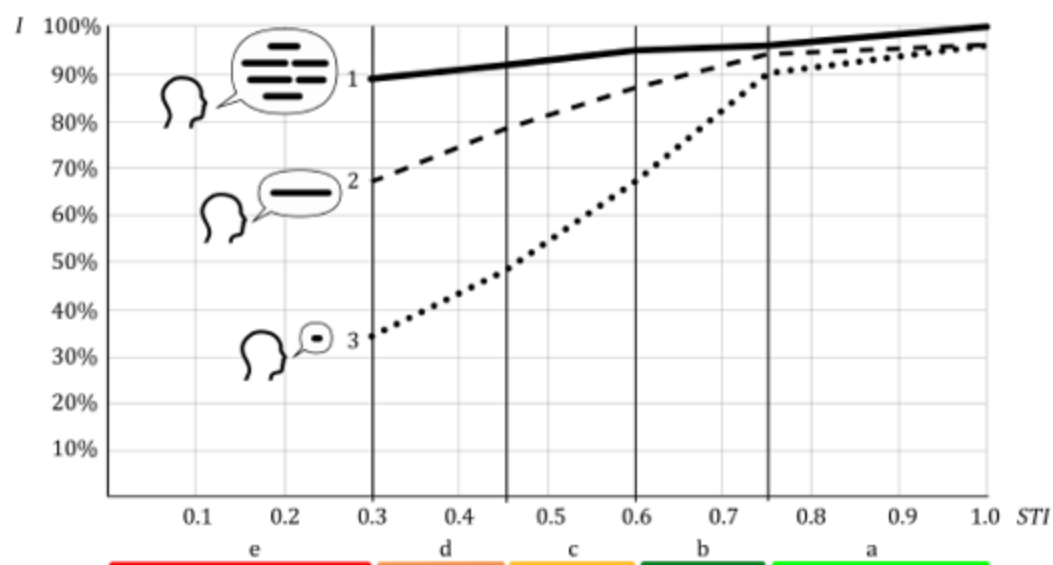
8.3. Bijlagen

8.3.1. Europese toegankelijkheidsnorm (EN 17621, technical report, p. 150)

Table 28 — Examples of corrected target values of Speech Transmission Index (STI) for older listeners with hearing losses (EN 60268-16)

STI category	label	Normal listeners (Standard STI) Pure Tone Average Hearing Level 0 to 5 dB	Older listeners Pure Tone Average Hearing Level = 15 dB	Older listeners Pure Tone Average Hearing Level = 20 dB	Older listeners Pure Tone Average Hearing Level = 30 dB
bad — poor		0.3	0.42	0.47	0.51
poor — fair		0.45	0.57	0.62	0.66
fair — good		0.6	0.72	cannot be achieved	cannot be achieved
good — excellent		0.75	cannot be achieved	cannot be achieved	cannot be achieved

See Figure 79.



Key

- I* intelligibility, %
- 1 sentences
- 2 words
- 3 syllables
- STI* Speech Transmission Index and categories
- a excellent
- b good
- c fair
- d poor
- e bad

Figure 79 — Simplified representation of intelligibility of sentences, words and syllables in STI categories

Figuur 75 STI-normen voor mensen met gehoorverlies | Document verkregen van promotor Peter-Willem Vermeersch, gebruikt met toestemming.

8.3.2. Vragenlijsten eerste interviewsessie

INTRODUCTIE

1. Kan je jezelf kort voorstellen? (naam, leeftijd, wat je doet in het dagelijks leven)
2. Wat motiveerde je om deel te nemen aan dit onderzoek?
3. Hoe zou je mensen met een visuele beperking of op het autismespectrum omschrijven?
4. Autismespectrum: waar in het spectrum zit je? Waarvoor ben je het meest gevoelig? Hoe ga je om met ruimtes die je onrustig maken?
5. Sinds wanneer heb je deze beperking, of wist je al dat je autisme had?
6. Wat weet je al over akoestiek? Ben je bekend met auditieve simulaties?
7. Ben je het Stadhuis van Leuven al bekend, wat de ruimtes betreft?
8. Heb je al eens met andere ervaringsdeskundigen samengezeten voor een overleg over het ontwerp?

ALGEMENE ERVARING VAN RUIMTES

9. Hoe ervaar jij meestal een nieuwe ruimte wanneer je ergens binnenkomt?
10. Wanneer je een ruimte binnenkomt, welke informatie krijg je eerst via het geluid?
11. Welke zintuigen gebruik je het meest om een ruimte te begrijpen?
12. Hoe belangrijk is geluid voor jouw oriëntatie in vergelijking met andere zintuigen zoals aanraking of geur?
13. Hoe verplaats je je meestal in gebouwen of in publieke ruimtes?
14. Zijn er dingen in gebouwen die voor jou vaak moeilijk zijn, of juist heel helpend?
15. Zijn er ruimtes waar je je meteen comfortabel bij voelt? Wat maakt dat zo?
16. Zijn er ruimtes die voor jou verwarrend of moeilijk te begrijpen zijn? Waarom?

SPECIFIEK OVER RUIMTEPERCEPTIE

17. Hoe merk je dat een ruimte groot of klein is?
18. Zijn er bepaalde geluiden of dingen die je helpen om een ruimte beter te begrijpen?
19. Gebruik je soms geluid dat je zelf maakt (zoals stappen, tikken met een stok) om een ruimte te verkennen?

AKOESTIEK EN RUIMTELIJK BEGRIP

20. Zijn er bepaalde akoestische kenmerken (bijvoorbeeld echo, galm, stilte) die je helpen om een ruimte beter te begrijpen?
21. Kan je beschrijven hoe geluid je helpt om de vorm of structuur van een ruimte te begrijpen?
22. In welke mate helpt de akoestiek van een ruimte je om te weten waar muren, openingen of obstakels zich bevinden?
23. Heb je het gevoel dat verschillende materialen (bijvoorbeeld steen, hout of glas) ook anders “klinken” in een ruimte?
24. Zijn er momenten waarop geluid juist verwarrend kan zijn bij het begrijpen van een ruimte?
25. Hoe belangrijk is de aanwezigheid van andere mensen en hun geluiden voor jouw oriëntatie in een gebouw?

CONCRETE VOORBEELDEN

26. Kan je een voorbeeld geven van een ruimte waar de akoestiek je hielp om je beter te oriënteren?
27. Kan je ook een voorbeeld geven van een ruimte waar de akoestiek het juist moeilijker maakte?

TECHNOLOGIE EN SIMULATIE

28. Heb je ooit technologie of hulpmiddelen gebruikt die je helpen om ruimtes beter te begrijpen?
29. Denk je dat geluidsimulaties of audioweergaves van een ruimte nuttig zouden kunnen zijn om een gebouw vooraf te begrijpen? Waarom wel of niet?
30. Als je een ruimte enkel via geluid zou kunnen ervaren (bijvoorbeeld via een audioweergave), denk je dan dat je een goed beeld van die ruimte kunt vormen? Waarom wel of niet?

ARCHITECTUUR EN ONTWERP

31. Als architecten één ding in gebouwen zouden kunnen veranderen om ze toegankelijker te maken voor mensen met een visuele beperking of op het autismespectrum, wat zou dat zijn?
32. Hoe denk je dat architecten geluid of akoestiek beter kunnen benutten in het ontwerp van gebouwen voor inclusief ontwerp?

AFSLUITING

33. Wat hoop je dat architecten of ontwerpers beter zullen begrijpen dankzij jouw ervaringen?
34. Wat denkt u dat ontwerpers vaak over het hoofd zien wanneer ze denken aan mensen met visuele beperking/ op het autismespectrum?
35. Is er nog iets over hoe jij ruimtes ervaart dat volgens jou belangrijk is, maar dat we nog niet hebben besproken?

VOOR MENSEN MET EEN VISUELE BEPERKING:

1. ORIËNTATIE & MENTALE KAART

- grootte en vorm: als u uw ogen sluit en alleen luistert, wat vertelt het geluid (galm, echo) u over de afmetingen van de ruimte? Voelt het als een grote hal, een kleine gang, of een kamer met een hoog plafond?
- Materialen: kunt u aan het geluid horen of de ruimte hard of zacht is ingericht? (bijv. veel steen en glas, of juist tapijt en gordijnen?) Waaraan hoort u dat?
- Objecten en obstakels: hoort u of er objecten in de ruimte staan die de geluidsgolven breken? Bijvoorbeeld een balie, een meubelstuk of planten?
- zones onderscheiden: stel dat u van de entree naar de receptie loopt. Helpt het geluid u te voelen dat u van de ene plek naar de andere beweegt (bijv. open/galmend → gedempt bij de balie) of klinkt alles hetzelfde?

2. NAVIGATIE & HERKENNING

- Voetstappen: zijn uw eigen (gesimuleerde) voetstappen duidelijk genoeg om de textuur van de vloer te voelen en te horen waar u loopt? Helpt dit u op een rechte koers te blijven?
- Akoestische bakens: zijn er constante geluiden (bijv. zoemen van een apparaat, kabbelend water, verkeer buiten) die u helpen uw positie te bepalen of de uitgang te vinden?
- rumoer van mensen: als er andere mensen in de opname zijn (stappen, praten), geven deze geluiden u informatie over drukte en looproutes, of zorgen ze juist voor verwarring?

3. VEILIGHEID & COMFORT

- Gevarendetectie: klinkt de ruimte zo dat u een open deur, trap of liftschacht zou horen voordat u ertegenaan loopt? Waarom wel of niet?
- leegte vs. beslotenheid: geeft het geluid een gevoel van oneindige leegte (onveilig) of van beslotenheid (prettig)? Welke geluidselementen veroorzaken dit gevoel?
- Vertrouwdheid: doet de klank van de ruimte u denken aan een plek die u kent? Is dit prettig of onprettig?

4. AANPASSINGEN & MATERIALEN

- Verbeteringen: wat zou u veranderen aan deze ruimte om deze beter te laten voelen? (indeling, akoestiek, meubilair, etc.)
- Materialen: welke materialen zouden beter passen in deze ruimte? Zijn er materialen die u liever niet gebruikt?
- Persoonlijke voorkeur: welke materialen en texturen heeft u over het algemeen het liefst in ruimtes? waarom?

VOOR MENSEN OP HET AUTISMESPECTRUM:

1. STILLE PLEKKEN EN GELUIDSVERWACHTING

- Als er in deze ruimte een stille plek zou moeten zijn, waar zou je die het liefst willen hebben? waarom?
- Welke plek dacht je stil te zijn, maar is toch luid? Wat maakt deze plek lawaaiig?

2. SENSORISCHE BELASTING & PRIKKELVERWERKING

- Aantal geluiden: hoeveel geluiden hoor je tegelijk? Kun je bepaalde geluiden negeren en je focussen op andere, of is alles één ononderscheidbare brij van geluid?
- Gelaagdheid: kun je de geluiden in lagen onderscheiden (bijv. een gesprek op de voorgrond, een ventilator op de achtergrond)? Of lijken alle geluiden even hard aanwezig?
- Intensiteit & pijn: zijn er geluiden die onaangenaam of pijnlijk zijn? (bijv. te schel, te hard of te laag)
- Duur van geluiden: zijn er langdurige geluiden die irriteren, of juist korte, scherpe geluiden die je doen schrikken?

3. VOORSPELBAARHEID & PATRONEN

- Ritme: heeft het geluid een duidelijk ritme of patroon? Vind je dit rustgevend, hypnotiserend of storend?
- Onverwachte gebeurtenissen: zijn er geluiden die plotseling klinken en je verrassen? welke?
- controle: voel je dat je invloed kunt uitoefenen op het geluid (bijv. weglopen, zachter praten)? Of overkomt het geluid je volledig?

4. RUST, HERSTEL & FUNCTIONEREN

- voorspelbare rust: zou dit een plek kunnen zijn om tot rust te komen? Waarom wel of niet? Wat zou er moeten veranderen om het rustiger te maken?
- Concentratie: kun je hier een taak uitvoeren zoals lezen of een formulier invullen, of zou het geluid je afleiden?
- Zou je hier kunnen werken? Word je snel vermoeid van zoveel geluiden tegelijk?
- Vluchtroute: geeft de geluidsaanwijzingen aan waar stille plekjes zijn? Of klinkt het overal even luid zodat je nergens kunt “schuilen”?

5. MATERIALEN EN AKOESTIEK

- Welke materialen in de ruimte beïnvloeden het geluid het meest (bijv. harde vloeren, tapijt, glas, gordijnen)?
- Verbeteringen: wat zou u veranderen aan deze ruimte om deze beter te laten voelen? (indeling, akoestiek, meubilair, etc.)
- Materialen: welke materialen zouden beter passen in deze ruimte? Zijn er materialen die u liever niet gebruikt?
- Persoonlijke voorkeur: welke materialen en texturen heeft u over het algemeen het liefst in ruimtes? waarom?

EXTRA VRAGEN OVER MENSEN MET EEN AUDITIEVE BEPERKING

1. ALGEMENE PERCEPTIE

- Wat denkt u dat de grootste moeilijkheden zijn voor iemand met een auditieve beperking in een ruimte?
- Denkt u dat bepaalde soorten ruimtes moeilijker zijn voor hen? Welke en waarom?
- Welke rol denkt u dat geluid speelt in hoe iemand met gehoorverlies een ruimte ervaart?

2. GELUIDSOMGEVING

- Stel dat iemand een gehoorapparaat draagt. Welke soorten geluiden in een ruimte zouden volgens u storend kunnen zijn?
- Denkt u dat veel achtergrondgeluid (zoals gesprekken, ventilatie of machines) een probleem kan zijn? Waarom wel of niet?
- Hoe zou volgens u een “comfortabele geluidsomgeving” eruitzien voor iemand met een auditieve beperking?

3. RUIMTELIJK ONTWERP

- Welke aanpassingen in een gebouw zouden volgens u kunnen helpen voor iemand met een auditieve beperking?
- Denkt u dat materialen in een ruimte (zoals harde muren of zachte materialen) invloed kunnen hebben op hoe iemand met gehoorverlies geluid ervaart?
- Zouden kleinere ruimtes of rustige zones u helpen? Waarom?

4. COMMUNICATIE EN INTERACTIE

- Wat zou volgens u helpen om de communicatie voor iemand met een auditieve beperking in een publieke ruimte gemakkelijker te maken?

5. VERGELIJKING MET EIGEN ERVARING

- Zijn er dingen die u zelf ervaart in ruimtes die volgens u ook moeilijk zouden kunnen zijn voor iemand met een auditieve beperking?
- Denkt u dat sommige oplossingen voor uw eigen behoeften ook nuttig kunnen zijn voor mensen met gehoorverlies?
- Welke ontwerpkeuzes zouden volgens u meerdere groepen tegelijk kunnen helpen?

6. REFLECTIE

- Als u één verandering aan gebouwen zou mogen doen om ze beter te maken voor mensen met een auditieve beperking, wat zou dat zijn?
- Wat denkt u dat ontwerpers vaak over het hoofd zien wanneer ze aan mensen met gehoorverlies denken?

8.3.3. Vragenlijsten tweede interviewsessie

SANDY – VISUEEL

1. Is het ok dat ik je gewoon 'E1 (Ervaringsdeskundige 1)' noem in mijn thesis? Of zou je liever een alias willen?
2. Mag de andere ervaringsdeskundigen weten dat je ook aan het onderzoek deelneemt? Of blijf je liever op dat vlak anoniem?
3. Wat motiveerde je om deel te nemen aan dit onderzoek?
4. Zou je het tof vinden als we continu auralisaties gebruiken en jou uitnodigen als ED?
5. Sinds wanneer heb je te maken met een visuele beperking?
6. Welke verschillen merk jij op tussen mensen die vroegblind zijn en mensen die laatblind zijn?
7. Toen je in het Stadhuis van Leuven was, wat was de eerste indruk van het geluid die je kreeg?
8. Welke zintuigen gebruik je het meest om een ruimte te begrijpen?
9. Hoe belangrijk is geluid voor jouw oriëntatie in vergelijking met andere zintuigen zoals aanraking of geur?
10. Tapijtvloeren: stoort dat jou?
11. Hoe verplaats je je meestal in gebouwen of in publieke ruimtes?
12. Zijn er dingen in gebouwen die voor jou vaak moeilijk zijn, of juist heel helpend?

13. Zijn er ruimtes waar je je meteen comfortabel bij voelt? Wat maakt dat zo?
14. Zijn er ruimtes die voor jou verwarrend of moeilijk te begrijpen zijn? Waarom?
15. Hoe belangrijk is de aanwezigheid van andere mensen en hun geluiden voor jouw oriëntatie in een gebouw?
16. In de literatuur was er sprake van hoogwaardige akoestische omgeving, dat dat een kwestie is van functionele toegankelijkheid, veiligheid en welzijn, en niet louter van comfort. Ga je akkoord met deze stelling?
17. In de literatuur werd er ook gesproken over consistentie en voorspelbaarheid, dat die essentieel zijn. Is dat voor jou ook essentieel, wanneer heb jij dat (niet) gemerkt?
18. Natuurlijke interactie tijdens de auralisatie (maw mondklikken of stokgeluiden maken), zou dat het nog beteren voor jou denk je?
19. Zou een haptisch model jou nog beter geholpen hebben tijdens de auralisatie? Of zou een haptisch model in de toekomst voor gesprekken over akoestiek met auralisatie gecombineerd worden het beste zijn voor jou?
20. (Suggesties voor architecten) Als architecten één ding zouden kunnen veranderen in gebouwen om ze toegankelijker te maken voor mensen met een visuele beperking (of autisme), wat zou dat zijn?
21. Hoe denk je dat architecten geluid of akoestiek beter kunnen gebruiken in het ontwerp van gebouwen voor inclusief ontwerp?
22. Wat hebben volgens jou mensen met een auditieve beperking of autisme nodig om geluid aangenamer te maken, of om geluid een voor hen belangrijke rol te laten spelen?
23. Wat denk jij dat de grootste moeilijkheden zijn voor iemand met een auditieve beperking in een ruimte?
24. Denk je dat bepaalde soorten ruimtes moeilijker voor hen zijn? Welke en waarom?
25. Welke rol denk je dat geluid speelt in hoe iemand met gehoorverlies een ruimte ervaart?
26. Welke aanpassingen in een gebouw zouden volgens jou kunnen helpen voor iemand met een auditieve beperking?
27. Zijn er dingen die je zelf ervaart in ruimtes die volgens jou ook moeilijk zouden kunnen zijn voor iemand met een auditieve beperking?
28. Denk je dat sommige oplossingen voor jouw eigen noden ook nuttig kunnen zijn voor mensen met gehoorverlies?
29. Welke ontwerpkeuzes zouden volgens jou meerdere groepen tegelijk kunnen helpen?
30. Is er nog iets over hoe jij ruimtes ervaart dat volgens jou belangrijk is, maar dat we nog niet besproken hebben?

STEFANIE – AUTISME + ADHD

1. Is het ok dat ik je gewoon 'E2 (Ervaringsdeskundige 2)' noem in mijn thesis? Of zou je liever een alias willen?
2. Mag de andere ervaringsdeskundigen weten dat je ook aan het onderzoek deelneemt? Of blijf je liever op dat vlak anoniem?
3. Wat motiveerde je om deel te nemen aan dit onderzoek?
4. Zijn er bepaalde geluiden of dingen die je helpen om een ruimte beter te begrijpen?
5. Gebruik je soms geluid dat je zelf maakt (zoals stappen, tikken met een stok) om een ruimte te verkennen?
6. Kan je beschrijven hoe geluid je helpt om de vorm of structuur van een ruimte te begrijpen?

7. In welke mate helpt de akoestiek van een ruimte je om te weten waar muren, openingen of obstakels zich bevinden?
8. Zijn er momenten waarop geluid juist verwarrend kan zijn bij het begrijpen van een ruimte?
9. Denk je dat geluidsimulaties of audioweergaves van een ruimte nuttig zouden zijn om een gebouw alvast beter te begrijpen? Waarom wel/niet?
10. Als je een ruimte enkel via geluid zou kunnen ervaren (bijvoorbeeld via een audioweergave), denk je dan dat je een goed beeld van die ruimte kunt vormen? Waarom wel/niet?
11. Vind je het virtuele beeld een toevoeging aan de auralisatie? Kon je je inleven in hoe de ruimte eruit zou zien in het echt?
12. Als architecten één ding in gebouwen zouden kunnen veranderen om ze toegankelijker te maken voor mensen met een visuele beperking of autisme, wat zou dat zijn?
13. Hoe denk je dat architecten geluid of akoestiek beter kunnen inzetten in het ontwerp van gebouwen voor inclusief ontwerp?
14. Wat hoop je dat architecten of ontwerpers beter zullen begrijpen dankzij jouw ervaringen?
15. Wat denk je dat ontwerpers vaak over het hoofd zien wanneer ze denken aan mensen met een visuele beperking of autisme?
16. Als er een stille plek in het Stadhuis van Leuven zou moeten zijn, waar zou je die het liefst willen hebben? Waarom?
17. Wat zou je liever willen zien in het renderingsmodel, zodat je je volledig geïntegreerd zou voelen in de ruimte?
18. Wat denk jij dat de grootste moeilijkheden zijn voor iemand met een auditieve beperking in een ruimte?
19. Denk je dat bepaalde soorten ruimtes moeilijker voor hen zijn? Welke en waarom?
20. Welke rol denk je dat geluid speelt in hoe iemand met gehoorverlies een ruimte ervaart?
21. Welke aanpassingen in een gebouw zouden volgens jou kunnen helpen voor iemand met een auditieve beperking?
22. Zijn er dingen die je zelf ervaart in ruimtes die volgens jou ook moeilijk zouden kunnen zijn voor iemand met een auditieve beperking?
23. Denk je dat sommige oplossingen voor jouw eigen behoeften ook nuttig kunnen zijn voor mensen met gehoorverlies?
24. Welke ontwerpkeuzes zouden volgens jou meerdere groepen tegelijk kunnen helpen?
25. Is er nog iets over hoe jij ruimtes ervaart dat volgens jou belangrijk is, maar dat we nog niet hebben besproken?

WOUT - AUTISME + MENTALE BEPERKING (VEREENVOUDIGDE VERSIE)

1. Is het oké dat ik je in mijn thesis “E3 (Ervaringsdeskundige 3)” noem? Of wil je liever een andere naam?
2. Mogen de andere deelnemers weten dat jij ook meedoet? Of wil je liever dat dit privé blijft?
3. Waarom wilde je meedoen aan dit onderzoek?
4. Gebruik je soms dingen (zoals apps of hulpmiddelen) die je helpen om een ruimte beter te begrijpen? Of die helpen tegen storende geluiden?

5. Denk je dat het handig is om vooraf te horen hoe een ruimte klinkt? Waarom wel of niet?
6. Als je een ruimte alleen via geluid hoort, kan je je dan voorstellen hoe die eruitziet? Waarom wel of niet?
7. Helpt een beeld (zoals een foto of video), samen met het geluid, om de ruimte beter te begrijpen?
8. Als architecten één ding aan gebouwen kunnen veranderen, wat zou jij willen dat ze veranderen?
9. Hoe kunnen architecten geluid beter in gebouwen benutten?
10. Wat wil jij dat architecten dankzij jouw ervaring beter begrijpen?
11. Wat vergeten ontwerpers volgens jou vaak?
12. Jullie mochten de studio zelf inrichten. Waarom heb jij het zo gedaan? Dacht je toen ook aan dingen zoals toegankelijkheid (makkelijk bewegen, zien of horen)?
13. Waar zou jij een stille plek in het Stadhuis van Leuven willen? Waarom daar?
14. Wat mis je nog in het model (beeld of geluid) zodat je je echt “in de ruimte” voelt?
15. Wat denk jij dat moeilijk is voor iemand die minder goed hoort in een ruimte?
16. Zijn sommige ruimtes moeilijker? Welke en waarom?
17. Hoe belangrijk is geluid voor hoe iemand een ruimte ervaart, denk je?
18. Wat kan een gebouw beter doen voor mensen met gehoorproblemen?
19. Zijn er dingen die jij moeilijk vindt in een ruimte, die ook moeilijk kunnen zijn voor hen?
20. Denk je dat oplossingen die jou helpen, ook anderen kunnen helpen?
21. Wat kan helpen om veel verschillende mensen tegelijk te helpen?
22. Is er nog iets dat je wil vertellen over hoe jij ruimtes ervaart?