

Automatisierte Raumakustik-Analyse und - Design: Whitepaper

Zusammenfassung

Die Qualität der Raumakustik hat direkten Einfluss auf Sprachverständlichkeit, Wohlbefinden und Produktivität. Klassische raumakustische Analysen sind zeitaufwendig und erfordern spezialisierte Messtechnik sowie umfangreiche Berechnungen. Dieses Whitepaper stellt ein Konzept für eine App vor, die auf einem iPad Pro mit LiDAR-Sensorik eine automatisierte Flächenerfassung durchführt, die theoretische Nachhallzeit berechnet, die reale Nachhallzeit misst und aus diesen Daten sofortige Handlungsempfehlungen generiert. Sie unterstützt Ingenieur- und Planungsbüros bei der normgerechten Bewertung von Räumen nach DIN 18041 („Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“) und ISO 3382-1 („Akustik – Messung der Nachhallzeit von Räumen“).

1. Einleitung

Moderne Arbeits- und Freizeitwelten verlangen Räume, die sowohl funktional als auch akustisch optimiert sind. Die nationale Norm DIN 18041 definiert Anforderungen und Empfehlungen zur Hörsamkeit für verschiedene Raumtypen wie Büros, Unterrichtsräume oder Konzertsäle und liefert Zielwerte für die Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen. Die internationale Norm ISO 3382-1 legt Verfahren zur Messung und Auswertung der Nachhallzeit fest. Gemeinsam bilden diese Normen den Rahmen für fundierte Planungs- und Sanierungsmaßnahmen.

Gleichzeitig stehen mit dem iPad Pro kompakte Geräte zur Verfügung, die dank integrierter LiDAR-Sensoren präzise 3D-Modelle von Räumen erfassen. In Kombination mit einer intelligenten Software kann daraus ein leistungsfähiges Werkzeug entstehen, das raumakustische Analysen vereinfacht und eine sofortige Bewertung ermöglicht.

2. Problemstellung

Konventionelle raumakustische Berechnungen basieren auf manueller Aufnahme von Raumgeometrie, Oberfläche und Materialien. Messungen der Nachhallzeit werden häufig erst im Anschluss an die Planung durchgeführt. Durch diese zweistufige Vorgehensweise können Planungsfehler erst spät erkannt werden, was Kosten und Aufwand erhöht. Zudem erfordern akustische Simulationen spezielle Software, die nicht überall verfügbar ist.

Die Vision ist eine mobile Anwendung, die folgende Aufgaben automatisiert:

- **Erfassung der Geometrie:** Mithilfe des LiDAR-Sensors des iPad Pro wird der Raum in Echtzeit gescannt. Flächen (Wände, Decken, Böden) werden segmentiert und ihre Flächeninhalte ermittelt.
- **Materialzuordnung:** Über ein Dropdown-Menü wählt der Nutzer für jede Fläche eine Textur aus (z. B. Putz, Holz, Glaswolle). Hinter den Texturen liegt eine Datenbank mit frequenzabhängigen Absorptionskoeffizienten.

- **Theoretische Berechnung:** Aus Volumen, Oberflächen und Absorptionskoeffizienten berechnet die App nach der Sabine-Formel die theoretische Nachhallzeit. Es wird geprüft, ob diese den Sollwerten gemäß DIN 18041 entspricht.
- **Messung der Nachhallzeit:** Ein Messmikrofon (Klasse 1) wird über USB-C angeschlossen und vor der Messung mit einer Korrekturkurve linearisiert. Der Raum wird durch einen Klatsch oder Ballonknall angeregt, und die Impulsantwort wird gemessen und ausgewertet (RT60). Das Messverfahren orientiert sich an ISO 3382-1.
- **Dokumentation:** Die App erzeugt einen Bericht mit Fotos, gemessenen und berechneten Nachhallzeit-Kurven sowie eine Bewertung, ob die Anforderungen eingehalten werden.
- **Empfehlungen:** Wenn die Sollwerte nicht eingehalten werden, schlägt die App geeignete Maßnahmen vor und benennt die notwendigen Materialien (z. B. Absorber aus Mineralwolle, Holz-Paneele oder PET-Recycling-Pads) sowie die zu behandelnden Flächen.

3. Systemübersicht

Die App besteht aus mehreren Modulen:

1. **Flächenerfassung (LiDAR-Modul):** Erzeugt ein 3D-Modell des Raums, segmentiert Flächen und berechnet deren Größen. Die Daten werden als 3D-Polygone gespeichert.
2. **Materialdatenbank:** Enthält frequenzabhängige Absorptionskoeffizienten für verschiedene Materialien. Die Datenbank kann erweitert werden (z. B. Glaswolle, Mineralwolle, Schafwolle, Holz, recycelte PET-Platten).
3. **Rechenmodul:** Berechnet die theoretische Nachhallzeit T_s mit der Sabine-Formel:

$$T_s = 0,161 \cdot V / A, \text{ mit } A = \text{Summe}(S_i \cdot \alpha_i),$$

wobei V das Raumvolumen, S_i die Fläche der i -ten Oberfläche und α_i der mittlere Absorptionsgrad dieser Oberfläche ist. Für eine normgerechte Bewertung werden unterschiedliche Sollwerte je Nutzungsart (Büro, Vortragssaal, Musiksaal) berücksichtigt. 4. **Messmodul:** Verarbeitet das Signal des Messmikrofons. Die Impulsantwort wird im Zeit- und Frequenzbereich analysiert. Die Nachhallzeit RT60 wird aus dem Pegelabfall über 60 dB ermittelt. Eine Korrekturkurve sorgt dafür, dass das Mikrofon frequenzlinear ist. 5. **Dokumentationsmodul:** Erstellt automatisch einen Bericht mit Messdaten, theoretischem Soll-/Ist-Vergleich, Nachhallzeit-Kurve und Foto-Dokumentation der Oberflächen. 6. **Empfehlungsmodul:** Bewertet Abweichungen von Sollwerten und generiert konkrete Vorschläge zur akustischen Optimierung. Dabei wird die Materialdatenbank genutzt, um Flächen mit hoher Nachhallzeit zu identifizieren und geeignete Absorber bzw. Streuelemente vorzuschlagen. 7. **Lernmodul (KI):** Über einen langfristigen KI-Ansatz sollen die Messdaten zukünftige Empfehlungen verbessern. Ein Machine-Learning-Modell analysiert, welche Maßnahmen zu den gewünschten Nachhallzeiten geführt haben, und optimiert die Materialempfehlungen. 8. **Audiovorhersage (VST-Plugin):** Für eine hörbare Vorschau plant das Projekt die Entwicklung eines VST-Plugins, das auf Grundlage der berechneten akustischen Parameter den zukünftigen Klang des Raums simuliert. Es wird in eine DAW (Digital Audio Workstation) eingebunden und erlaubt eine Echtzeit-Vorschau.

4. Normative Grundlagen

4.1 DIN 18041

Die deutsche Norm DIN 18041 definiert Anforderungen an die Hörsamkeit für Räume mit unterschiedlichen Nutzungen. Sie ordnet Räume in Kategorien ein (z. B. A1 Musik, A2 Sprache, B Unterricht, C Büro) und gibt Sollwerte für die Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen vor. Für Büro- und Verwaltungsräume werden kurze Nachhallzeiten gefordert (häufig zwischen 0,4 s und 0,6 s).

bei 500 Hz), während Musik- oder Konzertsäle längere Zeiten aufweisen dürfen (1,2 s bis 2,0 s oder mehr). Durch eine stufenlose Anpassung der Sollwerte kann die App einen Raum normgerecht einordnen.

4.2 ISO 3382-1

Diese internationale Norm regelt das Messverfahren der Nachhallzeit. Sie definiert unter anderem die Messung der Impulsantwort, die Auswertung der Pegelrückgangskurve und die Berechnung der RT60. Die App orientiert sich an diesen Messmethoden, um konsistente und vergleichbare Ergebnisse zu gewährleisten. Für den hochfrequenten Bereich (125 Hz bis 4 kHz) werden die Nachhallzeiten separat ermittelt und gemittelt.

5. Messung und Kalibrierung

Um verlässliche Ergebnisse zu erhalten, wird ein Messmikrofon mit Klasse-1-Zertifizierung eingesetzt. Vor der Messung wird eine Korrekturkurve aufgezeichnet, um Frequenzunlinearitäten zu kompensieren. Der Raum wird durch einen kurzen Impuls (Handklatschen oder mit einem platzenden Ballon) angeregt. Die App zeichnet das Signal auf, berechnet den Energienachhall und bestimmt die Nachhallzeit. Die Ergebnisse werden mit den theoretisch berechneten Werten verglichen. So können Abweichungen erkannt und direkt Maßnahmen abgeleitet werden.

6. Empfehlungen zur akustischen Optimierung

Basierend auf dem Soll-/Ist-Vergleich schlägt die App Materialien und Positionen für akustische Maßnahmen vor. Beispiele:

- **Poröse Absorber:** Glas- oder Mineralwolle-Paneele zur Reduktion der Nachhallzeit. Sie werden vorzugsweise an reflektierenden Wänden oder der Decke angebracht.
- **Natürliche Materialien:** Schafwolle oder Holzoberflächen bieten gute Absorption im mittleren Frequenzbereich und werden bei nachhaltigen Konzepten bevorzugt.
- **Diffusoren:** Strukturelle Elemente aus Holz oder Kunststoff streuen Schall und verbessern die räumliche Verteilung von Reflexionen.
- **Recycling-Materialien:** PET-basierte Akustik-Pads sind ressourcenschonend und bieten flexible Gestaltungsmöglichkeiten.

Durch die Variation der Flächenanteile und Materialtypen zeigt die App, wie sich die Nachhallzeit theoretisch ändern würde und welche Maßnahmen die größte Wirkung haben.

7. KI-basierte Weiterentwicklung

Um die Qualität der Empfehlungen langfristig zu verbessern, sammelt die App anonymisierte Messdaten und Ergebnisse der akustischen Maßnahmen. Mit Hilfe von Machine-Learning-Verfahren können daraus Muster abgeleitet werden, die bei ähnlichen Raumtypen zu besseren Vorhersagen führen. Das System lernt somit selbstständig, welche Materialien und Positionierungen in der Praxis den größten Effekt zeigen.

8. Echtzeit-Simulation und VST-Integration

Ein weiteres Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines VST-Plugins, das auf Basis der ermittelten Raumparameter eine Klangsimitation bereitstellt. Die Echtzeit-Simulation ermöglicht es, akustische

Veränderungen bereits vor der Umsetzung zu hören. Im Zusammenspiel mit der App kann der Nutzer unmittelbar beurteilen, wie sich unterschiedliche Materialien und Designs auf die Akustik auswirken. Das Plugin wird als Open-Source-Komponente bereitgestellt und lässt sich in gängige Digital-Audio-Workstations integrieren.

9. Open-Source-Ansatz

Die gesamte Software soll unter einer offenen Lizenz (z. B. MIT oder GPL) veröffentlicht werden. Dadurch können andere Entwickler und Ingenieure die Lösung anpassen, weiterentwickeln und in ihre Arbeitsabläufe integrieren. Der offene Zugang zur Materialdatenbank fördert außerdem Transparenz und Austausch von akustischen Kennwerten. Bei der Entwicklung wird besonderer Wert auf Datenschutz gelegt: Messdaten verbleiben lokal auf dem Gerät, und nur anonymisierte Informationen werden zur Verbesserung des Systems verwendet.

10. Offene Software & Globale Forschung

Offene Raumakustik-Software und Forschungsprojekte bieten zahlreiche frei verfügbare Methoden, die als Bausteine für die vorgestellte App dienen können. Viele dieser Projekte sind jedoch für Expertinnen und Experten konzipiert und erfordern Programmierkenntnisse; sie bieten kein integriertes, mobiles Nutzererlebnis. Im Folgenden werden wichtige Projekte vorgestellt:

- **Pyroomacoustics** – Eine Python/C++-Bibliothek mit objektorientierter API zur Simulation von Raumimpulsantworten. Sie nutzt eine C++-optimierte Image-Source-Methode und Ray-Tracing, enthält Beamforming- und DOA-Algorithmen und dient als Referenz für STFT und adaptive Filter ¹.
- **CRAM (Computational Room Acoustics Module)** – Ein plattformunabhängiges, interaktives Tool mit 3D-Editor, das verschiedene Näherungen bietet (Sabine, Eyring, Arau-Puchades), Ray-Tracing, Image-Source-Methode und 2D-FDTD. Es enthält eine umfangreiche Materialdatenbank und ermöglicht den Export von Ergebnissen ² ³.
- **RoomAcoustiC++ / RoomAcoustiCpp** – Eine Echtzeit-C++-Bibliothek mit intuitiver API für Quell- und Hörerpositionen, Raumgeometrie und akustische Parameter, die besonders für Psychoakustik und Immersion entwickelt wurde ⁴.
- **PFFDTD (Pretty Fast FDTD)** – Ein GPU-beschleunigtes 3D-FDTD-Framework, das Multi-GPU-Ausführung und frequenzabhängige Impedanzrandbedingungen ermöglicht. Es ist auf hohe Genauigkeit ausgelegt, benötigt aber leistungsfähige Hardware ⁵.
- **WaveCloud** – Offenes FDTD-Projekt, das auf die starke Präzision wellenbasierter Methoden aufmerksam macht. FDTD ermöglicht eine breitbandige, genaue Simulation, ist jedoch rechenintensiv; WaveCloud bietet Visualisierung und Auralisation ⁶.
- **I-Simpa** – Eine flexible Vor- und Nachverarbeitungsplattform, die externe akustische Programme wie das statistische TCR-Verfahren oder das partikelbasierte SPPS integriert. Sie ermöglicht Anwenderinnen und Anwendern, eigene Simulationen zu koppeln und Materialdaten zentral zu verwalten ⁷.
- **Akustikdatensätze** – Datensammlungen wie *AcousticRooms* stellen hunderttausende Raumimpulsantworten und Materialdaten bereit. Die Datenbank umfasst 300 000 RIRs in 260 Räumen mit 332 Materialien und kombiniert wellenbasierte und geometrische Simulationen ⁸ ⁹. Solche Daten ermöglichen das Training von KI-Modellen zur Vorhersage von Nachhallzeiten.

Diese Projekte zeigen, dass eine breite Palette an Simulationstechniken verfügbar ist. Sie verdeutlichen aber auch den Bedarf an einer einheitlichen, anwenderfreundlichen Plattform. Das geplante System greift auf diese offenen Bibliotheken und Datensätze zurück, vereint sie in einer mobilen Anwendung

und nutzt KI, um die Bedienung zu vereinfachen. Darüber hinaus ist ein hybrider Ansatz (Wellen- und Strahlenakustik) denkbar, wie er in der Forschungsarbeit *Wayverb* diskutiert wird ¹⁰.

11. Globale Markt- und Wettbewerbsanalyse

Neben der Betrachtung offener Bibliotheken ist auch der internationale Markt zu betrachten. **Open-Source-Software spielt eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung raumakustischer Simulationen**, aber viele Projekte sind kaum benutzbar und bleiben in Forschungsrepositorien verborgen. Eine Untersuchung auf dem Forum Acusticum zeigt, dass die meisten Open-Source-Programme als Code-Repositories vorliegen, die spezielles Know-how erfordern ¹¹ ¹². Die Community-Plattform **CHORAS** will diesen Mangel beseitigen: Sie bietet eine webbasierte Oberfläche, die unterschiedliche Simulationsmethoden (z. B. Diffusionsgleichung und discontinuous Galerkin) integriert und Forscher weltweit zur Mitarbeit einlädt ¹¹. CHORAS nutzt einen modernen Web-Stack mit React-Frontend und Python-/Flask-Backend und verlagert die rechenintensiven Simulationen in die Cloud ¹³. Ziel ist es, die Fragmentierung der Werkzeuglandschaft zu überwinden und vergleichbare Ergebnisse zu ermöglichen.

Die internationale Marktanalyse zeigt zudem, dass die meisten verfügbaren Lösungen entweder auf klassische proprietäre Software (ODEON, EASE, COMSOL) beschränkt sind oder nur einzelne Aspekte (Ray-Tracing, FDTD) abdecken. **Eine integrierte, mobile App**, die Erfassung, Simulation, Normbewertung und Empfehlung kombiniert, ist weltweit kaum vorhanden. Für den deutschsprachigen Raum wurden Potenziale identifiziert: Über 70 % aller Bauvorhaben betreffen Bestandsgebäude [35†L711-L718], und KI-gestützte Tools wie Aurivus zeigen, dass sich der Modellierungsaufwand um rund 50 % senken lässt [32†L80-L88]. Gleichzeitig sind neuere Plattformen wie die Facility-Management-Lösung TRIRIGA bereit, KI einzusetzen, weisen aber noch keine mobilen Erfassungsmöglichkeiten auf [23†L190-L198]. Der Markt verlangt somit nach einer nutzerfreundlichen Gesamtlösung.

Der **Pareto-Effekt** gilt dabei auch für die Softwarelandschaft: Eine kleine Anzahl von Projekten liefert den Großteil der Funktionalität. Aus rund 20 % der weltweit verfügbaren Open-Source-Bibliotheken – wie Pyroomacoustics, CRAM, RoomAcousticC++, PFFDTD und AcousticRooms – lässt sich ein großer Teil der benötigten Funktionen abdecken ¹ ² ⁴. Die Herausforderung besteht darin, diese Komponenten in einer einheitlichen Benutzeroberfläche zu vereinen, sodass Anwenderinnen und Anwender die Vorteile ohne Programmierkenntnisse nutzen können.

Zudem ergibt sich eine **Engpass-Perspektive** (EKS-Strategie): Architekturbüros und öffentliche Bauherren leiden unter Zeit- und Ressourcenknappheit bei der Bestandsaufnahme und Entscheidungsfindung. Eine Lösung, die diesen Engpass direkt adressiert, trifft auf eine hohe Zahlungsbereitschaft und erlaubt eine Fokussierung der Entwicklung auf den größten Nutzen. Die Kombination aus Bedarf, fehlenden Konkurrenzprodukten und technisch machbaren Open-Source-Bausteinen signalisiert, dass die Geschäftsidee international konkurrenzfähig ist – vorausgesetzt, sie wird nutzerfreundlich umgesetzt.

12. Fazit und Ausblick

Die vorgestellte App verbindet moderne LiDAR-Sensortechnik mit raumakustischem Know-how und automatisierten Berechnungs- sowie Messverfahren. Durch die Kombination von theoretischer Berechnung, normgerechter Messung und KI-basierten Empfehlungen entsteht ein leistungsfähiges Werkzeug für Planer und Ingenieure. Langfristig soll die Lösung durch eine hörbare Echtzeit-Simulation über ein VST-Plugin ergänzt werden. Der Open-Source-Ansatz bietet eine transparente Grundlage für

die weitere Forschung und Anwendung. Insgesamt ermöglicht das System eine effizientere Planung, eine bessere Raumakustik und trägt damit zu nachhaltigeren und nutzerfreundlicheren Gebäuden bei.

13. Marktgröße und Potenzial (TAM/SAM/SOM)

Um das Marktpotenzial der vorgestellten Lösung zu quantifizieren, wurde der deutschsprachige Raum (DACH) betrachtet. Laut Statistiken gibt es in Deutschland **32 841 Architekturunternehmen** ¹⁴. In Österreich sind etwa **5 000 ausführende Architektinnen und Architekten** tätig ¹⁵, die einen Großteil der Planungsleistungen erbringen und häufig in kleinen Büros organisiert sind. Für die Schweiz meldet das ETH-Projektportal *map* im Jahr 2015 **26 000 projektierende Unternehmen**, von denen etwa 50 000 Personen in Architekturbüros angestellt sind ¹⁶. Für die Berechnung wird angenommen, dass diese Firmen potenzielle Nutzer eines digitalen Raumakustik-Werkzeugs sind.

Auf Basis dieser Zahlen lässt sich der **Total Addressable Market (TAM)**, also die theoretische Gesamtzahl potenzieller Kunden, bestimmen. Multipliziert man die Anzahl der Unternehmen mit einem angenommenen Lizenzpreis von **1 500 € pro Jahr**, ergibt sich ein Umsatzpotenzial von knapp **96 Mio. €**. Da jedoch nicht jedes Unternehmen sofort eine Lizenz erwerben wird, wird der **Serviceable Addressable Market (SAM)** auf etwa **30 %** des TAM geschätzt (Unternehmen mit Schwerpunkt auf Sanierung oder Akustik). Der **Serviceable Obtainable Market (SOM)** berücksichtigt schließlich eine konservative Marktdurchdringung von **5 %** dieser adressierbaren Unternehmen. Tabelle 1 fasst die Berechnungen zusammen.

Kennzahl	Anzahl Unternehmen	Annahme Preis (€/Jahr)	Umsatzpotenzial (≈)	Quellen
TAM (DACH)	63 841 (DE + AT + CH)	1 500 €	95 761 500 €	DE: ¹⁴ ; AT: ¹⁵ ; CH: ¹⁶
SAM (30 % von TAM)	19 152	1 500 €	28 728 000 €	Annahme
SOM (5 % von SAM)	957	1 500 €	1 435 500 €	Annahme

Tab. 1: Schätzung von TAM, SAM und SOM für die DACH-Region bei einem angenommenen Jahrespreis von 1 500 €.

Diese Abschätzung zeigt, dass bereits ein kleiner Marktanteil (SOM) einen Jahresumsatz im Millionenbereich generieren kann. Bei einer international erweiterten Zielgruppe (z. B. ganz Europa) würde sich das Potenzial entsprechend erhöhen. Für eine realistischere Planung sollten neben Architekturbüros auch weitere Zielgruppen (Facility-Manager, Kommunen, Bauunternehmen) einbezogen werden.

14. Wettbewerbsanalyse

Im Folgenden wird das Produkt mit bestehenden Lösungen verglichen. Die **Wettbewerbsanalyse** berücksichtigt Funktionen, Preismodell und KI-Integration (Tabelle 2). Sie zeigt, dass keine der verfügbaren Lösungen alle Funktionen der geplanten App (Erfassung, Simulation, Normbewertung, automatische Empfehlungen und hörbare Vorschau) in einem mobilen Produkt vereint.

Wettbewerber	Merkmale / Funktionen	Preismodell*	KI-Integration	Quellen
Autodesk Forma	Cloudbasiertes Pre-Design-Tool mit Standortdaten (Topografie, Karten) und Integration in Revit/Rhino/Dynamo; ermöglicht datengetriebene Entwurfsanalysen und Nachhaltigkeitsbewertungen ¹⁷	185 \$ / Monat oder 1 500 \$ / Jahr ¹⁷	Mittel: automatisierte Analysen, aber keine vollautomatische Akustik	¹⁷
PlanRadar	Bau- und Mängelmanagement mit KI-Assistent; KI durchsucht Bilder, Dokumente und Projektdaten; unterstützt 360°-SiteView ¹⁸	26 € (Basic), 89 € (Starter), 129 € (Pro) pro Nutzer und Monat ¹⁹	Mittel: generiert Antworten auf Anfragen, nutzt jedoch keine akustischen Simulationen	¹⁸ ¹⁹
Aurivus	AI-gestützte Scan-to-BIM-Software; erkennt Objekte (Rohre, Balken, Wände, Fenster, Türen, Möbel) in 3D-Punktwolken; automatisiert Mengenermittlung und Kostenschätzungen; kompatibel mit LiDAR (z. B. iPhone) ²⁰	Preis auf Anfrage (individuelle Angebote) ²⁰	Hoch: Deep-Learning-Methoden für Objekterkennung und automatisierte Auswertung	²⁰
Archicad AI Visualizer	KI-gestützte Entwurfsinspiration innerhalb von Archicad; nutzt Stable Diffusion für generative Design-Varianten; cloudbasiert ²¹	200 \$ / Monat (Solo), 234,17 \$ / Monat (Collaborate), BIMcloud 45 \$ / Monat ²¹	Hoch: generatives Design mit Diffusionsmodellen, aber keine akustische Analyse	²¹
IBM TRIRIGA	Integrierte Facility-Management-Plattform; nutzt Sensordaten (Wi-Fi, IoT) für Belegungs- und Gebäudeanalysen; bietet KI-Assistenten zur Raumreservierung und Predictive Maintenance ²²	ab 42 000 \$ pro Jahr ²³	Hoch: KI-gestützte Analytics für Flächenbelegung und Instandhaltung, keine LiDAR-Integration	²² ²³
Traditionelle Vorgehensweise	Manuelle Vermessung, Laser-Scanning und händische Modellierung; zeitaufwendig; keine automatischen Empfehlungen	stark variierende Kosten; hohe Personalkosten	keine	–

* Preise sind gerundet und können je nach Lizenzmodell oder Zusatzmodulen variieren.

Tab. 2: Vergleich der wichtigsten am Markt verfügbaren Tools und Systeme.

Die **Wettbewerbsanalyse** unterstreicht, dass die geplante App eine Lücke schließt: Sie vereint LiDAR-Gestützte Erfassung, normgerechte Berechnung, reale Messung, KI-basierte Empfehlungen und Auralisation in einem mobilen Gerät. Die meisten Konkurrenzprodukte adressieren nur Teilaspekte (z. B. Scan-to-BIM oder Facility-Management) und sind preislich meist auf große Unternehmen ausgerichtet. Die Kombination aus **moderatem Preis**, **offenem Lizenzmodell** und **breiter Funktionsabdeckung** hebt die vorgestellte Lösung hervor.

1 GitHub - LCAV/pyroomacoustics: Pyroomacoustics is a package for audio signal processing for indoor applications. It was developed as a fast prototyping platform for beamforming algorithms in indoor scenarios.

<https://github.com/LCAV/pyroomacoustics>

2 3 raw.githubusercontent.com

<https://raw.githubusercontent.com/gregzanch/cram/master/README.md>

4 RoomAcousticC++ Documentation

<https://roomacousticcpp.readthedocs.io/en/latest/>

5 raw.githubusercontent.com

<https://raw.githubusercontent.com/bsxfun/pffdttd/main/README.md>

6 (PDF) WaveCloud: an Open Source Room Acoustics Simulator using the Finite Difference Time Domain Method

<https://www.researchgate.net/publication/>

264540742_WaveCloud_an_Open_Source_Room_Acoustics_Simulator_using_the_Finite_Difference_Time_Domain_Method

7 I-Simpa overview — Documentation I-Simpa 1.3.4

https://i-simpa-wiki.readthedocs.io/fr/latest/I_Simpa_overview.html

8 9 raw.githubusercontent.com

<https://raw.githubusercontent.com/facebookresearch/AcousticRooms/clean-main/README.md>

10 Wayverb - Context

<https://reuk.github.io/wayverb/context.html>

11 12 13 (PDF) Towards a Community Hub for Open-source Room Acoustics Software

https://www.researchgate.net/publication/392763947_Towards_a_Community_Hub_for_Open-source_Room_Acoustics_Software

14 Architekturbüros Statistik Deutschland 2025

<https://listflix.de/statistik/architekturbueros/>

15 Überblick

<https://www.advantageaustria.org/tm/zentral/branchen/architektur/overview/Ueberblick.de.html>

16 map | Wirtschaft

<https://map.arch.ethz.ch/artikel/44/wirtschaft>

17 Breaking Down Autodesk Forma: Worth the \$185/month?

<https://ai4architects.ai/p/breaking-down-autodesk-forma-worth-the-185-month>

18 PlanRadar AI Assistant - PlanRadar

<https://www.planradar.com/planradar-ai-assistant/>

19 PlanRadar Pricing - Try now for free!

<https://www.planradar.com/pricing/>

20 aurivus pricing, case studies, alternatives & more | aec+tech

<https://www.aecplustech.com/tools/aurivus>

21 Archicad AI Visualizer

<https://architectaihub.com/tool/archicad-ai-visualizer/>

22 IBM adds AI capabilities to its TRIRIGA facilities management solution

<https://www.rcrwireless.com/20200218/network-infrastructure/inbuildingtech/ibm-adds-ai-capabilities-its-tririga-facilities-management-solution>

23 TRIRIGA Reviews 2025: Pricing, Features & More

<https://www.selecthub.com/p/iwms-software/tririga/>