

Lastenheft – Raumakustik-App

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Die Akustik in Innenräumen beeinflusst maßgeblich die Konzentrationsfähigkeit, Sprachverständlichkeit und das subjektive Wohlbefinden. In der Praxis ist die Planung häufig zeitintensiv: die geometrische Aufnahme des Raumes, die Auswahl geeigneter Materialien und die Messung der Nachhallzeit erfolgen getrennt voneinander. Ziel dieses Projekts ist es, eine mobile Anwendung zu entwickeln, die diese Schritte automatisiert und Ingenieurbüros bei der normgerechten Beurteilung nach DIN 18041 und ISO 3382-1 unterstützt. Die Anwendung soll mithilfe des iPad Pro (inklusive LiDAR) die Raumgeometrie erfassen, Materialien zuordnen, die theoretische und reale Nachhallzeit ermitteln, Abweichungen bewerten und Empfehlungen zur Optimierung geben.

2. Geltungsbereich

Dieses Lastenheft beschreibt die Anforderungen an die Software für die automatisierte raumakustische Analyse. Es richtet sich an den Auftragnehmer, der die App entwickeln soll, und dient als Grundlage für das Pflichtenheft. Als Zielgruppe sind Planungs- und Ingenieurbüros, Akustiker sowie Facility-Manager definiert.

3. Zielgruppe

- Akustik-Ingenieure und Planer
- Architekten und Innenarchitekten
- Facility-Manager von Büro- und Bildungsgebäuden
- Veranstalter von Konzerten und Events

4. Anforderungen

4.1 Funktionale Anforderungen

F1 – Flächenerfassung: Die App erstellt mithilfe des LiDAR-Sensors ein 3D-Modell des Raumes und segmentiert Wände, Decken und Böden. Es werden Flächen und Volumen berechnet.

F2 – Materialzuordnung: Der Anwender kann für jede Fläche ein Material aus einer Datenbank auswählen. Die Datenbank enthält frequenzabhängige Absorptionskoeffizienten für Materialien wie Putz, Beton, Glaswolle, Mineralwolle, Schafwolle, Holz und PET-Recycling-Pads.

F3 – Theoretische Nachhallzeit: Die App berechnet die theoretische Nachhallzeit gemäß der Sabine-Formel und stellt sie für relevante Oktavbänder (125 Hz – 4 kHz) dar. Sollwerte aus DIN 18041 werden abhängig von der Raumkategorie (z. B. Büro, Unterrichtsraum, Konzertsaal) berücksichtigt.

F4 – Messmodul: Ein Klasse-1-Mikrofon wird über USB-C angeschlossen. Vor der Messung wird eine Korrekturkurve eingespielt. Die App zeichnet die Impulsantwort nach einer Raumanregung (Klatschen oder Ballonknall) auf, ermittelt die Nachhallzeit RT60 und gleicht sie mit den theoretischen Werten ab.

F5 – Analyse & Bewertung: Die Soll- und Ist-Nachhallzeiten werden verglichen. Abweichungen werden farblich markiert. Das System erkennt übermäßigen Hall und lokalisiert problematische Bereiche.

F6 – Empfehlungen: Werden die Sollwerte nicht erreicht, generiert die App Vorschläge für akustische Maßnahmen. Sie benennt geeignete Materialien, deren erforderliche Flächenanteile und die Position an Wand, Decke oder Boden. Dabei werden Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt.

F7 – Dokumentation: Nach Abschluss der Messung erstellt die App einen Bericht. Dieser enthält: Raumdaten (Volumen, Flächen), ausgewählte Materialien, theoretische und gemessene Nachhallzeit-Kurven, Foto-Dokumentation der Oberflächen sowie Empfehlungen. Der Bericht kann als PDF, Markdown oder Textdatei exportiert werden.

F8 – Datenbankverwaltung: Der Anwender kann die Materialdatenbank erweitern (z. B. neue Absorber). Zudem können eigene Projektprofile gespeichert und geladen werden.

F9 – KI-Lernfunktion: Die App sammelt anonymisierte Projekt- und Messdaten, um mittels Machine-Learning die Qualität der Empfehlungen zu verbessern. Sie erkennt Muster zwischen Raumtyp, Materialien und erreichten Nachhallzeiten.

F10 – Echtzeit-Simulation (optional): Ein VST-Plugin soll die berechnete Nachhallzeit in Echtzeit hörbar machen. Das Plugin wird in eine DAW eingebunden und bildet den zukünftigen Raumklang ab.

F11 – Mehrsprachigkeit: Die Benutzeroberfläche steht mindestens in Deutsch und Englisch zur Verfügung.

4.2 Nicht-funktionale Anforderungen

NF1 – Genauigkeit: Die Flächenerfassung mittels LiDAR soll einen Fehler von höchstens $\pm 10\%$ aufweisen. Die ermittelte Nachhallzeit soll mit einem Fehler $\leq \pm 0,05\text{ s}$ in der Anwendung angegeben werden.

NF2 – Bedienbarkeit: Die App soll ein intuitives Nutzererlebnis bieten. Wichtige Funktionen müssen mit maximal drei Interaktionen erreichbar sein.

NF3 – Performance: Die Berechnung der theoretischen Nachhallzeit und die Darstellung der Ergebnisse sollen in weniger als 60 Sekunden erfolgen. Die Messung und Auswertung der Nachhallzeit sollen ebenfalls innerhalb von 2 Minuten abgeschlossen sein.

NF4 – Sicherheit und Datenschutz: Messdaten werden lokal gespeichert. Eine Übertragung in die Cloud erfolgt nur mit Zustimmung des Nutzers und ausschließlich in anonymisierter Form.

NF5 – Plattform: Die App läuft auf iPad Pro Geräten mit iPadOS 15 oder höher. Die Messfunktion setzt ein USB-C-fähiges Mikrofon voraus. Das optionale VST-Plugin muss mit gängigen DAWs (z. B. Ableton Live, Logic Pro) kompatibel sein.

NF6 – Open-Source-Lizenzierung: Die Software soll unter einer offenen Lizenz veröffentlicht werden (z. B. MIT oder GPL). Die verwendeten Komponenten müssen lizenzverträglich sein.

NF7 – Normkonformität: Alle Berechnungen und Messungen müssen den Anforderungen von DIN 18041 und ISO 3382-1 entsprechen. Die App stellt sicher, dass ihre Empfehlungen normgerecht sind.

4.3 Qualitätsanforderungen

- **Dokumentationsqualität:** Der erzeugte Bericht muss klar strukturiert, vollständig und für den Kunden verständlich sein.
- **Robustheit:** Die App muss auch bei variierenden Lichtbedingungen und komplexen Raumgeometrien zuverlässig funktionieren.
- **Erweiterbarkeit:** Neue Materialien und Funktionalitäten sollen ohne große Anpassungen integrierbar sein.

5. Schnittstellen

- **Hardware-Schnittstellen:** LiDAR-Sensor des iPad Pro, USB-C-Anschluss für Mikrofon, optional drahtloses Triggergerät für die Impulsanregung.
- **Software-Schnittstellen:** Materialdatenbank (lokale SQLite oder JSON), Exportfunktion (PDF, Markdown), Schnittstelle für das VST-Plugin.
- **Benutzerschnittstelle:** Touch-optimiertes GUI mit 3D-Visualisierung des Raums, Dropdown-Menüs zur Materialauswahl, Echtzeit-Graphen für Nachhallzeiten.

6. Nutzungsszenario (Beispiel)

1. **Projekt anlegen:** Der Anwender erstellt einen neuen Projektdatensatz, gibt den Raumtyp (z. B. Büro) und den Namen ein.
2. **Raum erfassen:** Der Anwender bewegt das iPad durch den Raum. Das LiDAR-Modul erstellt ein 3D-Modell und visualisiert die erkannten Flächen.
3. **Materialien auswählen:** Für jede Fläche wählt der Anwender ein Material aus der Datenbank aus oder definiert ein neues Material.
4. **Berechnung:** Die App berechnet die theoretische Nachhallzeit und vergleicht sie mit den Sollwerten.
5. **Messung:** Das Messmikrofon wird angeschlossen und kalibriert. Nach der Anregung wird die Impulsantwort aufgezeichnet und analysiert.
6. **Analyse und Bericht:** Die App zeigt die theoretische und gemessene Nachhallzeit, markiert Abweichungen und generiert eine Liste mit empfohlenen Maßnahmen. Ein Bericht wird erstellt und kann exportiert werden.

7. Daten und Speicher

- **Materialdaten:** Enthalten Bezeichnung, Frequenzbänder und Absorptionskoeffizienten. Sie werden lokal auf dem Gerät gespeichert und können vom Nutzer erweitert werden.
- **Projekt- und Messdaten:** Bestehen aus Raumgeometrie, Materialauswahl, Messkurven und Empfehlungen. Die Daten werden verschlüsselt gespeichert. Eine Synchronisation mit einer Cloud ist optional.

8. Restriktionen

- Die Genauigkeit der LiDAR-Erfassung kann durch transparente Materialien oder Spiegelungen beeinträchtigt sein.

- Die Messung der Nachhallzeit hängt von Umgebungsgeräuschen ab. Störgeräusche sollten minimiert werden.
- Die Verfügbarkeit des VST-Plugins ist von der unterstützten Plattform abhängig (iOS/OSX vs. Windows).

9. Risiken und Annahmen

- **Technologierisiko:** Änderungen an iPad-Hardware oder iPadOS könnten den Zugriff auf LiDAR-Daten oder USB-C-Zubehör einschränken.
- **Datenrisiko:** Falsch zugeordnete Materialien führen zu fehlerhaften Berechnungen. Ein strukturiertes Review der Materialauswahl ist wichtig.
- **Akzeptanzrisiko:** Nutzer müssen von der Genauigkeit und dem Nutzen der App überzeugt werden. Eine verständliche Darstellung der Ergebnisse ist daher essenziell.

10. Glossar

Begriff	Definition
Nachhallzeit	Die Zeit, in der der Schallpegel nach dem Verstummen der Schallquelle um 60 dB abnimmt.
RT60	Abkürzung für Nachhallzeit (Room Tone 60 dB).
Sabine-Formel	Empirische Formel zur Berechnung der Nachhallzeit aus Volumen und Absorption.
LiDAR	Light Detection And Ranging – Technologie zur Entfernungsmessung durch Laserimpulse.
Absorptionsgrad	Verhältnis der absorbierten zur einfallenden Schallenergie.