

Entwicklung eines Flach-Lautsprecher mittels Körperschallwandler

Bachelorthesis

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Eng. (B.Eng.)

Fakultät Fahrzeugtechnik

Ostfalia Hochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

eingereicht durch

Jonathan Friehe

(Matr.-Nr. 70460252)

Erstprüfer:	Prof. Dr. Udo Becker	Ostfalia
Zweitprüfer:	Martin Stahlberg	Ostfalia
Datum der Ausgabe:	22. Januar 2026	
Datum der Einreichung:	Februar 28, 2026	

Name

Adresse

-Land-

„Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form in keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

Wolfsburg

22. Januar 2026

Name, Unterschrift

Veröffentlichungen über den Inhalt dieser Arbeit sind nur mit schriftlicher Genehmigung der Firma XYZ zugelassen. Die Ergebnisse, Meinungen und Schlussfolgerungen dieser These sind nicht notwendigerweise die der Firma XYZ. Die vorliegende Arbeit ist nur den Mitarbeitern der Firma XYZ, den Korrektoren sowie den Mitgliedern des Prüfungsausschusses zugänglich zu machen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen meinen aufrichtigen Dank aussprechen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Erstprüfer Herrn Prof. Dr. Udo Becker, der mir die Möglichkeit eröffnet hat, diese Abschlussarbeit unter seiner Betreuung anzufertigen. Die Gelegenheit, mich im Rahmen dieser Arbeit im Labor einzubringen und dort einen bleibenden Beitrag zu hinterlassen, weiß ich sehr zu schätzen.

Ebenso möchte ich meinem Betreuer Herrn Martin Stahlberg meinen herzlichen Dank aussprechen. Seine engagierte Betreuung, die konstruktiven Ratschläge sowie die stets kompetente Unterstützung haben maßgeblich zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen. Die fachlichen Diskussionen und seine wertvollen Anregungen waren für den Fortgang dieser Arbeit von unschätzbarem Wert.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Nomenklatur	5
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	2
2 Grundlagen	3
2.1 DML-Technologie	3
2.1.1 Funktionsprinzip und Abstrahlcharakteristik	3
2.1.2 Material-Parameter und dessen Einfluss	3
2.2 Exciter-Position und dessen Einfluss	3
2.2.1 Multi-Exciter-Konfiguration	3
2.3 Messtechnik	3
2.3.1 Frequenzgang-Messung und Interpretation	3
2.3.2 Bewertung nach DIN 45500	3
2.4 VDI-2221: Systematische Produktentwicklung	3
2.5 PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act)	3
3 Lösung der Aufgabenstellung	4
3.1 Konzeptentwicklung	5

3.1.1	Lösungskonzepte für Systemarchitektur	5
3.1.2	Vergleichstabelle und Bewertung	5
3.1.3	Konzeptentscheidung für diese Arbeit	5
3.2	Simulation in COMSOL Multiphysics	5
3.2.1	Theoretische Grundlagen der Simulation	5
3.2.2	COMSOL-Modell-Aufbau	5
3.2.3	Durchgeführte Simulationsstudien	5
3.2.4	Zusammenfassung Simulations-Ergebnisse	5
3.3	Test im Freifeld-Raum	5
3.3.1	Versuchsaufbau	5
3.3.2	Getestete Exciter-Positionen	5
3.3.3	Messergebnisse und Auswertung (Messunsicherheit)	5
3.4	Validierung und Vergleich der Ergebnisse	5
3.4.1	Vergleich Simulation und Versuch	5
4	Umsetzung	6
4.1	Bau nach Testergebnissen	6
4.1.1	Materialliste	6
4.1.2	Finale Messungen	6
4.2	Subjektive Hör-Validierung	6
4.2.1	Test-Design (Fragebogen)	6
4.2.2	Ergebnis Diskussion	6
4.3	Wirtschaftliche Betrachtung	6
5	Fazit und Ausblick	7
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	7
5.2	Reflexion	7
	Literaturverzeichnis	8

Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichenverzeichnis

<i>Formelzeichen</i>	<i>phys.Einheit</i>	<i>Bedeutung</i>
F	N	Kraft
m	kg	Masse
a	m/s^2	Beschleunigung

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung

CAD

DML

FEM

Bedeutung

Computer Aided Design

Distributed Mode Loudspeaker

Finite-Elemente-Methode

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Konventionelle Membranlautsprecher weisen inherente Limitationen auf: gerichtete Schallabstrahlung mit begrenztem Sweet Spot sowie voluminöse Gehäuse mit Bautiefen über 20 cm limitieren Designfreiheit und Raumin-
tegration. Distributed-Mode-Loudspeaker (DML) bieten als Alternative omni-
direktionale Abstrahlung (150-170°) und flache Bauformen (<2 cm) durch
Biege-Wellen-Anregung in Platten. Dies eröffnet Anwendungen in Wandinte-
gration, Automotive-Audio und architektonischen Installationen. Die zentrale
Herausforderung besteht jedoch in Frequenzgang-Unregelmäßigkeiten von ± 8 -
12 dB (Bai & Huang 2001), welche aus komplexer modaler Struktur resultie-
ren. Die akustische Performance wird maßgeblich durch die Exciter-Position
determiniert. Trotz existierender Hersteller-Empfehlungen (z.B. Dayton Audio
„2/5x3/5-Regel“) fehlt eine systematische, FEM-gestützte Optimierung für spe-
zifische Panel-Materialien wie Kappa-Sandwichplatten. Zudem besteht For-
schungsbedarf bezüglich der optimalen Systemarchitektur (Fullrange, 2-Wege,
3-Wege) unter Berücksichtigung der Vokalbereich-Integrität (500-4000 Hz). Für
die Ostfalia Hochschule ergibt sich die Relevanz, durch Integration alternati-
ver Schallwandler-Konzepte das Lehrangebot zu erweitern und die Innovations-
kompetenz angehender Ingenieure zu fördern. Es besteht somit der Bedarf an
systematischer DML-Optimierung mittels Simulation und Experiment sowie der
Entwicklung eines kostengünstigen, reproduzierbaren Prototyps für Lehrzwecke.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit verfolgt sowohl technische als auch pädagogische Zielsetzungen. Im technischen Kontext gilt es, einen funktionsfähigen Flachlautsprecher auf Basis der DML-Technologie zu entwickeln, welcher den Anforderungen der DIN 45500 für HiFi-Lautsprecher entspricht. Parallel dazu soll die Arbeit zur Erweiterung des Lehrangebots der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften beitragen, indem Studierenden eine erweiterte Varietät von Akustikmodulen geboten wird, um das technische Verständnis zu schärfen sowie Innovationskraft und Pioniergeist der zukünftigen Ingenieurgeneration zu fördern.

Im Zentrum der technischen Zielsetzung steht die systematische Optimierung der Exciter-Positionierung auf einem Flachpanel sowie die optimale Größe der Panele bei gegebenen Materialien. Die Positionierung der Körperschallwandler aber auch die Größe und Eigenschaften der Panele beeinflusst maßgeblich die Anregung der Schwingungsmoden und determiniert folglich den resultierenden Frequenzgang. Diese Arbeit adressiert die bestehende Forschungslücke durch einen integrierten methodischen Ansatz, welcher experimentelle Freifeld-Messungen, Finite-Elemente-Simulationen in COMSOL Multiphysics sowie den Bau eines funktionsfähigen Flachlautsprechers kombiniert.

Übergeordnet leistet diese Arbeit einen Beitrag zur Erweiterung des an der Ostfalia verfügbaren Spektrums von Lautsprechertechnologien und bietet angehenden Ingenieuren einen fundierten Einblick in alternative Schallwandlerkonzepte. Durch die Auseinandersetzung mit innovativen Technologien wird die Innovationskompetenz und das kritische analytische Denken der Studierenden gefördert, was für ihre zukünftige Tätigkeit als Ingenieure von fundamentaler Bedeutung ist.

2 Grundlagen

2.1 DML-Technologie

2.1.1 Funktionsprinzip und Abstrahlcharakteristik

2.1.2 Material-Parameter und dessen Einfluss

2.2 Exciter-Position und dessen Einfluss

2.2.1 Multi-Exciter-Konfiguration

2.3 Messtechnik

2.3.1 Frequenzgang-Messung und Interpretation

2.3.2 Bewertung nach DIN 45500

2.4 VDI-2221: Systematische Produktentwicklung

2.5 PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act)

3 Lösung der Aufgabenstellung

3.1 Konzeptentwicklung

3.1.1 Lösungskonzepte für Systemarchitektur

3.1.2 Vergleichstabelle und Bewertung

3.1.3 Konzeptentscheidung für diese Arbeit

3.2 Simulation in COMSOL Multiphysics

3.2.1 Theoretische Grundlagen der Simulation

3.2.2 COMSOL-Modell-Aufbau

3.2.3 Durchgeführte Simulationsstudien

3.2.4 Zusammenfassung Simulations-Ergebnisse

3.3 Test im Freifeld-Raum

3.3.1 Versuchsaufbau

3.3.2 Getestete Exciter-Positionen

3.3.3 Messergebnisse und Auswertung (Messunsicherheit)

3.4 Validierung und Vergleich⁵ der Ergebnisse

3.4.1 Vergleich Simulation und Versuch

4 Umsetzung

4.1 Bau nach Testergebnissen

4.1.1 Materialliste

4.1.2 Finale Messungen

4.2 Subjektive Hör-Validierung

4.2.1 Test-Design (Fragebogen)

4.2.2 Ergebnis Diskussion

4.3 Wirtschaftliche Betrachtung

5 Fazit und Ausblick

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

5.2 Reflexion

Literaturverzeichnis

(1) AUTHOR: *Title*. year