

Zusammenfassung Projekt 03WIR0414

„WIR! – I-Ma-Tech – Leichtbau-Akkordeon - Entwicklung von Leichtbaulösungen in der Akkordeonfabrikation (Akko_Light)“

Ausführlicher Projekttitle:	WIR! – I-Ma-Tech – Leichtbau-Akkordeon - Entwicklung von Leichtbaulösungen in der Akkordeonfabrikation TP1: „Untersuchungen zur konstruktiven Gestaltung gewichtsreduzierter Akkordeonbaugruppen“ (HTWK Leipzig) TP2: „Akustische und schwingungstechnische Analyse, Entwicklung und Optimierung von Leichtbaulösungen an Baugruppen des Akkordeons“ (IfM Zwota)
Kurztitel/Akronym:	AkkoLight
Projektlaufzeit:	01.10.2022 bis 30.11.2024

Projektbeteiligte Einrichtungen	Ansprechpartner
HTWK Leipzig	Prof. Dr.-Ing. Johannes Zentner M. Eng. Moritz Leo Neubert
IfM Zwota	Dipl.-Ing. Holger Schiema

Inhaltsverzeichnis

0	Abstract.....	2
1	Projektziele.....	3
2	Projektablauf	4
2.1	Analyse der Bauteile und Baugruppen.....	4
2.2	Entwicklung von Leichtbaukonstruktionen für den Akkordeonkorpus.....	4
2.3	Geometrisch-stoffliche Optimierung der Diskantmechanik-Konstruktion	5
2.4	Konstruktive Entwicklung einer additiv herstellbaren Leichtbau-Bassmechanik	5
2.5	Untersuchungen zu einer alternativen Bassmechanik-Konstruktion.....	5
2.6	Musterfertigung.....	6

2.7	Katalogisierung der Ergebnisse und Leitlinienerstellung.....	6
3	Projektergebnisse.....	7
4	Potentielle Nutzung der Projektergebnisse	10

0 Abstract

Das Projekt "WIR! - I-Ma-Tech - Leichtbau-Akkordeon - Entwicklung von Leichtbaulösungen in der Akkordeonfabrikation (AkkoLight)" befasste sich mit der Erarbeitung von Maßnahmen zur Gewichtsreduzierung moderner Akkordeons.

Das Hauptziel in diesem Projekt war die Entwicklung und simulationsgestützte Absicherung gewichtsreduzierter Konstruktionen für Korpus, Diskant- und die Bassmechanik. Dabei wurden verschiedene Leichtbaustrategien verfolgt und kombiniert: Material-, Konstruktions- und Technologiesubstitution. Begleitende akustische Untersuchungen sollten dabei eine negative Beeinflussung der klanglichen Eigenschaften ausschließen.

Zur Umsetzung der Maßnahmen wurde das Instrument zunächst digital rekonstruiert und davon ausgehend Funktion und Aufbau der Komponenten des Akkordeons umfassend analysiert. Außerdem wurden die Massen der relevanten Baugruppen und Bauteile empirisch bestimmt. Das dabei entstandene CAD-Modell des Instrumentes stellte die Grundlage der neuen Konstruktionen dar.

Für den Korpus wurde eine Konstruktion in Sandwichbauweise mit flachfaserverstärktem Kunststoffschäum und umgestalteten Blechteilen zur besseren Lasteinleitung entwickelt.

Die Klavishebel der Diskantmechanik wurden mit FE-Simulationen strukturoptimiert und für die Herstellung aus Magnesiumlegierungen umgestaltet.

Für die Bassmechanik wurde eine Konstruktion mit Fokus auf additiver Fertigung, Gewichtseinsparung durch Hohlstrukturen und den Einsatz leichter Kunststoffe erarbeitet, sowie ein Systemleichtbau-Ansatz auf Basis eines neuen technischen Prinzips mit weniger beweglichen Teilen untersucht.

Anschließend wurden in Zusammenarbeit mit dem gewerblichen Partner Demonstratoren und Mutterbaugruppen hergestellt und in einem Experimentalakkordeon auf Funktion und Klang untersucht.

Im Experimentalakkordeon wurden folgende Masseneinsparungen erzielt: Korpus 0,614 kg, Diskantmechanik 0,135 kg, und Bassmechanik 0,088 kg. Dies ergibt eine Gesamteinsparung von 0,837 kg,

was etwa 19 % der ursprünglichen Masse der bearbeiteten Baugruppen von 4,477 kg entspricht und somit das gesetzte Einsparziel von 0,824 kg erreicht.

Blindtests mit professionellen Musikern fielen insgesamt positiv aus, wobei kleinere Optimierungspunkte wie Optik und Tastengeräusche identifiziert wurden, die jedoch behebbar sind. Basierend auf den Projektergebnissen wurden zudem Leitfäden zur Umsetzung von Leichtbauvorhaben sowie zur Anwendung von Material-, Technologie- und Konstruktionssubstitution erstellt.

Die Arbeitspakete des Projekts wurden vollständig abgeschlossen und alle Meilensteine planmäßig erreicht. Es konnte nachgewiesen werden, dass die entwickelten Leichtbaukonstruktionen für Korpus, Diskant- und Bassmechanik funktionsfähig und fertigungstechnisch umsetzbar sind.

1 Projektziele

Moderne Akkordeons haben eine fast 200-jährige Evolution hinter sich und sind zu relativ komplexen Produkten gereift, das Ergebnis eines immer größer gewordenen Funktionsumfangs, sowie stetig verbesserter spieltechnischer und akustischer Eigenschaften. Hiermit geht jedoch historisch auch ein hohes Gewicht einher, was bezüglich der Handhabung ein Manko darstellt und für Schüler, Amateur- und Profimusiker ein immer wichtigeres Auswahlkriterium ist. Das Ziel des Projektes war es, diesen bisherigen Widerspruch zwischen Funktionsumfang, gutem Klang und der Instrumentenmasse durch moderne Leichtbau-Ansätze aufzulösen, dadurch die Attraktivität des Instrumentes zu erhöhen und auch den Akkordeonbau in der Region durch die Einführung moderner Methoden und Technologien zu fördern.

Insgesamt sollte über dieses und folgende Projekte hinweg eine Massereduktion von 15 % erreicht werden. In diesem Projekt war die Überarbeitung der Baugruppen Korpus, Diskant- und Bassmechanik angesetzt. Beim Korpus sollten anstelle von Holz naturfaserverstärkte und präferiert biobasierte Kunststoffschäume in Sandwichbauweise zum Einsatz kommen, bei der Diskantmechanik Magnesiumlegierungen anstelle von Aluminium eingesetzt werden und bei der Bassmechanik der herkömmliche Aufbau durch den Einsatz leichter Kunststoffe optimiert, sowie ein neues technisches Prinzip mit Systemleichtbau-Ansatz untersucht werden.

Die Rolle der HTWK bestand dabei vor allem in der Entwicklung und Umsetzung der konstruktiven Maßnahmen in enger Zusammenarbeit mit dem gewerblichen Partner und die Rolle des IfM in der anschließenden akustischen, funktionellen und spieltechnischen Untersuchung der Musterbaugruppen und des Experimentalakkordeons.

2 Projektablauf

Das Projekt wurde im Wesentlichen fünf Arbeitspakete unterteilt, angefangen von der Analyse der Bauteile und Baugruppen (AP1) über die Korpusoptimierung (AP2), die Optimierung der Akkordeonmechanik (AP3) und die Musterfertigung (AP4) bis hin zur Katalogisierung der Ergebnisse (AP5). Es wurde anfänglich ein Referenzakkordeon beschafft, das sowohl die Ausgangslage der Konstruktion, als auch der akustischen Untersuchungen darstellte. Konstruktionsarbeiten und die additive Herstellung von Funktionsmustern fanden an der HTWK Leipzig und bei einem gewerblichen Partner statt, die akustischen Untersuchungen inklusive Musikertests wurden vom IfM e.V. Zwota durchgeführt.

2.1 Analyse der Bauteile und Baugruppen

In diesem Arbeitspaket wurde die Funktion des kompletten Akkordeons sowie seiner Baugruppen und Einzelteile detailliert analysiert und Forderungen an Funktion und Gestalt abgeleitet. Anschließend wurden die aktuellen Gewichte von Korpus, Diskant- und Bass-Mechanik in einem ausgewählten Referenzinstrument empirisch bestimmt. Die durch Werkstoffsubstitution und einhergehenden konstruktiven Änderungen erreichbaren Gewichtseinsparungen wurden qualitativ abgeschätzt, um das Potential der Gewichtsreduktion zu ermitteln.

Es wurde in diesem Zuge das Ziel für die Massereduktion festgelegt und das Potenzial konkreter, konstruktiver Einsparmaßnahmen abgeschätzt. Außerdem wurden nach Untersuchung des Referenzinstrumentes die akustischen Zielgrößen für das Experimentalakkordeon ermittelt.

2.2 Entwicklung von Leichtbaukonstruktionen für den Akkordeonkorpus

In diesem Arbeitspaket wurden die Material-, Konstruktions- und Technologiesubstitution angewendet und Sandwichkonstruktionen für den Diskant- und Basskorpus entwickelt und hergestellt, die auf einem Faser-Kunststoffschaum-Verbund basieren. Die Korpuswände werden durch die Integration tragender Strukturen aus Metall- und Holzelementen entlastet, was den Einsatz des grundsätzlich weniger belastbaren Schaumstoffmaterials begünstigt. Auch die Herstellung von 3D-Druck-Korpusteilen wurde erprobt.

Ein zentraler Aspekt waren umfangreiche Finite-Elemente-Simulationen zur virtuellen Analyse der Belastungen und Beanspruchungen des Instrumentes, sowie zur Validierung und Optimierung der neu konstruierten Bauteile.

Akustikseitig wurden in diesem Projektabschnitt modalanalytische Untersuchungen und schwingungstechnische Optimierungen am Original- und Kunststoffschaumgehäuse durchgeführt. Dabei

wurden sowohl simulativ , als auch experimentell die Gehäuseschwingungen und Eigenfrequenzen der Diskant- und Bassgehäuse ermittelt und verglichen.

2.3 Geometrisch-stoffliche Optimierung der Diskantmechanik-Konstruktion

In diesem Arbeitsschritt wurde die Material- und Konstruktionsubstitution angewendet und damit form- und querschnittsoptimierte Leichtbau-Konstruktionen für die Klavishebel der Pianoklavatur auf Basis von Magnesium entwickelt, sowie deren Musterfertigung vorbereitet.

Zusätzlich wurden alternative Hebelkonstruktionen aus Aluminium betrachtet und mit den Magnesiumhebeln verglichen, bei denen Material- und damit Masseinsparungen durch belastungsge- rechte Formoptimierung mit Fachwerkstrukturen und C-Profilen erreicht wurden.

In diesem Zuge wurden das Ansprache- und Spielverhalten der Tastatur, die Betätigungskräfte, die Betätigungsgeräusche und der Luftverbrauch der Referenz- und Leichtbau-Diskantmechaniken er- mittelt und verglichen.

2.4 Konstruktive Entwicklung einer additiv herstellbaren Leichtbau-Bassme- chanik

In diesem Arbeitsschritt wurde eine auf Serienfertigung optimierte, additiv mit FDM herstellbare Leichtbaukonstruktion der Bassmechanik entwickelt, hergestellt, zusammengebaut und erfolgreich getestet. Insbesondere die Kunststoffteile der Bassmechanik, wie Schieber und das Chassis wurden neu designt und durch den gewerblichen Partner zu einer funktionsfähigen Bassmechanik zusam- mengebaut.

Auch hier wurde anschließend das Ansprech- und Kräfteverhalten, sowie das klangliche Verhalten der neuen Mechanik und der Tasten untersucht und mit dem Referenzinstrument verglichen.

2.5 Untersuchungen zu einer alternativen Bassmechanik-Konstruktion

In diesem Arbeitsschritt wurden alternative Konzepte für eine Bassmechanik mit weniger bewegli- chen Teilen, dafür aber komplexen Luftwegen untersucht, durch die eine einfachere Montage ohne Justierung erreicht werden kann.

Anhand von FE-Strömungssimulationen wurden verschiedene Konzepte verglichen. Im Rahmen ei- ner Masterarbeit wurde ein auf Luftkanälen basierendes Konzept strömungstechnisch optimiert und mit additiver Fertigung ein Demonstrator hergestellt. Mit einem eigens gebauten Versuchsstand wurden Lautstärkemessungen durchgeführt und mit der aktuellen Bassmechanik verglichen. Dar- über hinaus wurden keine tiefergehenden akustischen Messungen durchgeführt.

2.6 Musterfertigung

Die Musterfertigung der einzelnen Baugruppen erfolgte simultan zu deren materialtechnischen, konstruktiven und technologischen Optimierung. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes entstanden die endgültigen Versionen der einzeln optimierten Baugruppen, die in das Experimentalakkordeon eingebaut wurden.

Anschließend konnten die akustischen Untersuchungen am gesamten Instrument durchgeführt werden, was unter anderem auch Spieltests mit Musikern und deren Einschätzung anhand eines Fragebogens umfasste.

2.7 Katalogisierung der Ergebnisse und Leitlinienerstellung

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden die methodische Erkenntnisse der Bearbeitung der vorangegangenen Arbeitspakete für die weitere Verwendung durch andere Bündnispartner und Akteure der Musikinstrumentenindustrie aufbereitet. Darin einbezogen waren zum einen das übergeordnete Vorgehen bei der Lösung von Leichtbauaufgaben, und zum anderen Handlungsalgorithmen für die einzelnen Leichtbaustrategien Material-, Technologie- und Konstruktionssubstitution, welche sich grundsätzlich fast immer gegenseitig bedingen.

Weiterhin wurden die Erkenntnisse aus den akustischen Untersuchungen katalogisiert und die Kennwerte der neuen Materialien für zukünftige Vorhaben abrufbereit archiviert.

3 Projektergebnisse

Die Arbeitspakete konnten vollständig abgeschlossen und alle Meilensteine planmäßig und rechtzeitig erreicht werden.

Für die einzelnen Baugruppen konnte ein Eignungsnachweis aus funktioneller, technologischer und strukturmechanischer Sicht erbracht werden. Sie wurden erfolgreich in das Leichtbau-Experimentalkordeon (Abbildung 1) integriert bestanden auch die akustischen und spieltechnischen Tests.

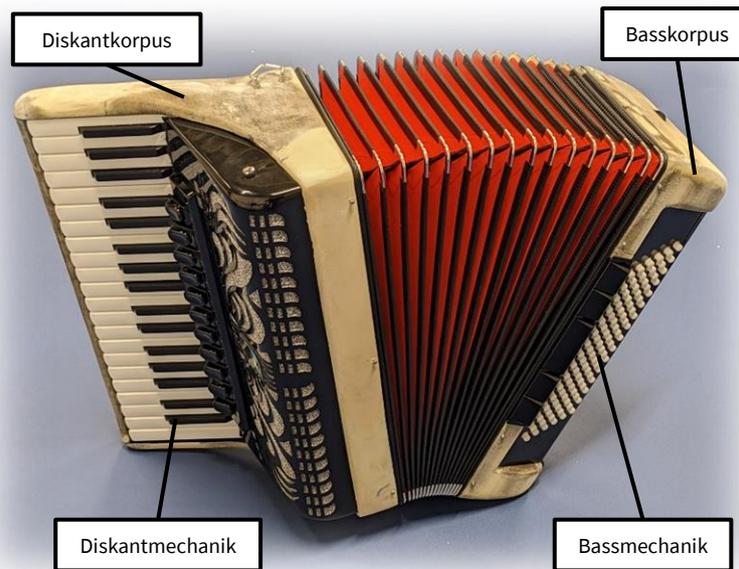


Abbildung 1 – Experimentalkordeon

Die geringere Masse des Instrumentes wurde positiv aufgenommen. Angemerkt wurde die etwas unfertige Optik des Experimentalkordeons, leichte Tastengeräusche und einige klangliche Aspekte, welche sich allerdings bei weiterer Entwicklung abstellen lassen.



Abbildung 2 - Spieltest des Experimentalkordeons im IfM Zwota

Für dieses Projekt wurde ein Einsparziel von 0,824 kg angesetzt. Die Ausgangsmasse der bearbeiteten Baugruppen betrug 4,477 kg (Tabelle 1). Dieses Ziel konnte durch die Maßnahmen im Projekt mit einer Einsparung von 0,837 kg erreicht werden (entspricht rund 19 % der Ausgangsmasse).

Tabelle 1 – Baugruppenmassen im Akkordeon

Einheit	Unterbaugruppe	Masse [kg]	Summe [kg]	
Diskant	Diskantkorpus	1,443	5,122	10,4
	Diskantstimmstöcke	1,502		
	Pianoklaviatur	1,050		
	Registerventilbaugruppe	0,575		
	Registermaschine	0,346		
	Tastenaufnahme	0,256		
	Schaltbaugruppe Diskant	0,050		
Bass	Bassmechanik	1,089	3,568	
	Basskorpus	0,895		
	Bassstimmstöcke	0,989		
	Schaltmechanik Bassseite	0,695		
Balg	-	1,510	1,510	

Im Einzelnen wurden pro Arbeitspaket folgende Ergebnisse erzielt:

AP1 – Analyse der Bauteile und Baugruppen

- Untersuchung von Funktion, Material, Masse und Dichte aller Einzelteile und Baugruppen
- Untersuchung des IST-Standes der mechanischen und schwingungstechnischen Parameter
- digitale Rekonstruktion des Experimentalakkordeons in CAD
- Abschätzung des Einsparpotenzials und Entscheidung über umsetzbare Ansätze
- Kennwerte zum Korpusmaterial und zur Geräuschneigung der Mechanik
- Definition der zu erreichenden Zielparameter bezüglich Klangspektrum, Lautstärke, Stimmung, Frequenzverwerfung, Ansprechdruck, Tastenniederdruckkräfte, Tastengeräusche, Luftverbrauch und Gehäuseschwingungen

AP2 – Entwicklung von Leichtbaukonstruktionen für den Akkordeonkorpus

- Herstellung und Test flachsfaserverstärkter PMI-Kunststoffschaum-Korpuse und erfolgreicher Einbau in das Experimentalakkordeon
- Masseeinsparung beträgt **0,614 kg**, entspricht **26 %** der Ausgangsmasse von **2,338 kg**
- die Schaumstoffgehäuse weisen nach der experimentellen Modalanalyse weniger Eigenmoden auf, dies wird positiv bewertet
- unterhalb 1 kHz wurden höhere Amplituden bei Eigenschwingungen festgestellt, es ergibt sich daraus jedoch kein negativer Einfluss auf die Schallabstrahlung

AP3 (1) – Geometrisch-stoffliche Optimierung der Diskantmechanik-Konstruktion

- Herstellung und Test von Klavishebeln aus Magnesium und erfolgreicher Einbau in das Experimentalakkordeon
- Masseinsparung beträgt 0,135 kg, entspricht 13 % der Ausgangsmasse von 1,05 kg
- die Eignung der neuen Diskantmechanik konnte aus Sicht der spieltechnischen Parameter und aus Sicht der Akustik erfolgreich nachgewiesen werden

AP3 (2) – Konstruktive Entwicklung einer additiv herstellbaren Leichtbau-Bassmechanik

- Herstellung und Test einer Bassmechanik aus mit FDM gefertigten Bauteilen aus ASA und erfolgreicher Einbau in das Experimentalakkordeon
- Masseinsparung beträgt **0,088 kg**, entspricht **8 %** der Ausgangsmasse von **1,089 kg**
- die Eignung der optimierten Bassmechanik konnte aus Sicht der spieltechnischen Parameter und aus Sicht der Akustik erfolgreich nachgewiesen werden

AP3 (3) – Untersuchungen zu einer alternativen Bassmechanik-Konstruktion

- Herstellung eines Demonstrators mit strömungsoptimierten Luftkanälen und Test auf einem selbstgebauten Versuchsstand für Lautstärkemessungen
- Funktion konnte nicht in erwarteter Qualität realisiert werden; Leichtbaupotenzial wurde nicht endgültig abgeschätzt

AP4 – Aspekte der Musterfertigung

- erfolgreiche Integration der einzelnen Baugruppen beim Zusammenbau des Experimentalakkordeons durch den gewerblichen Partner
- gesichert mögliche Einsparung beträgt **0,837 kg**, dies entspricht **ca. 19 %** bezogen auf die Masse der bearbeiteten Baugruppen von **4,477 kg**
- Erfolgreiches Bestehen funktioneller und akustischer Tests durch den gewerblichen Partner und IfM, das Leichtbauakkordeon schneidet bei Musikertests im Vergleich zum Referenz-Akkordeon insgesamt gut ab
- einige Merkmale wie Klang, Ansprache und Stimmung, sowie die unfertige Optik und einige Tastengeräusche wurden etwas geringer bewertet, ließen sich jedoch mit vergleichsweise geringem Aufwand abstellen

4 Potentielle Nutzung der Projektergebnisse

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse können – nicht nur im Musikinstrumentenbau – vielfältig weitergenutzt werden.

Das Teilvorhaben bot den Projektpartnern, weiterführende Erkenntnisse im Bereich der Konstruktion, Auslegung und Herstellung von Leichtbaulösungen und Materialien aus dem Bereich Leichtbau zu erlangen. Besonders der Einfluss konkreter Faserverbundwerkstoffe, deren Zusammensetzung, Aufbau und Prozessparameter auf die mechanischen und akustischen Eigenschaften von Bauteilen im Musikinstrumentenbereich ist ein wesentlicher Know-How-Gewinn. Damit wurde die Grundlage geschaffen, weitere Forschungsprojekte im Bereich des Leichtbaus und der Alternativmaterialien zu generieren. Durch die Veröffentlichung der Ergebnisse wird die Expertise der Projektpartner im Hinblick auf die Themen Leichtbaumaterialien und Bewertung/Beratung von Konstruktionen und Technologien, sowie akustischer Wirkung beim Einsatz unterschiedlicher Faserverbundstrukturen innerhalb der Fachwelt, aber auch der Branche gestärkt. Zukünftige wissenschaftliche Mitarbeiter und interessierte Forscher werden so auf die Institutionen aufmerksam. Tätigkeiten für andere Branchen sind ebenfalls denkbar.

Kurzfristig sollen nach Abschluss des Teilvorhabens anhand der Untersuchungsergebnisse Leichtbau-Akkordeons gebaut werden.

Mittelfristig soll das Anwendungsfeld für Leichtbaulösungen im Musikinstrumentenbau ausgeweitet werden.

Die Forschungsergebnisse sollen während der Projektlaufzeit sowie über die Projektlaufzeit hinaus wissenschaftlich für relevante Zielgruppen, bestehend aus Forschern, Entwicklern und Ausführenden aufbereitet und publiziert werden. Hierbei sind sowohl Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und als Vorträge auf Fachtagungen und Messen vorgesehen, um die Ergebnisse einem breiten Fachpublikum zu präsentieren.

Damit werden potenziellen Anwendern Hilfestellungen für die Realisierung von Leichtbaulösungen zur Verfügung gestellt, deren Anwendung erleichtert, die Praxistauglichkeit belegt und damit die Akzeptanz dieser Methoden erhöht.