

# Zusammenfassung

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 18466 N

## Thema

Entwicklung von smarten Innenbodenteilen zur situativen Komfortanpassung von Schuhen

## Projektlaufzeit

01.12.2014 - 30.11.2017

## Forschungsvereinigung

Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e. V.

## Forschungsstelle(n)

FS 1: International Shoe Competence Center Pirmasens gGmbH

FS 2: Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.

FS 3: Fachhochschule Kaiserslautern – FB Informatik und Mikrosystemtechnik

## Danksagung

Wir möchten uns hiermit für die Förderung des Forschungsvorhabens AiF-Nr. 18466 N bedanken, das im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ aus den Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. erfolgte.

Unser Dank gilt auch allen Firmen und deren Mitarbeitern für die tatkräftige Unterstützung bei der Bearbeitung des Projektes. Die konstruktiven Diskussionen und die materielle Unterstützung haben zum Gelingen wesentlich beigetragen:

- Adidas AG World of Sports
- Amsys GmbH & Co.KG
- Binder Elektronik GmbH
- Birke Schuhhaus und Orthopädie GmbH
- Carl Semler Schuhfabrik GmbH Co.
- comlet GmbH
- Heinz Trebs GmbH
- Institut für angewandte Biomechanik

- JOMO thermomolding GmbH
- Schuhfabrik Ludwig Brödel GmbH
- Steitz Secura GmbH + Co.KG

## **Kurzzusammenfassung**

Der Alltag der meisten Menschen, ob in Beruf oder Freizeit, ist durch häufige Tätigkeitswechsel gekennzeichnet. Obwohl ständig wechselnde Alltagssituationen es angemessen erscheinen lassen, haben nur die wenigsten Menschen im Laufe des Tages die Möglichkeit, ihr Schuhwerk zu wechseln oder entsprechend anzupassen.

Um den Komfort des Schuhwerks in möglichst vielen Situationen zu verbessern, gibt es eine Vielzahl an „nachrüstbaren“ Schuhinnenkomponenten, dazu gehören hauptsächlich Innenbodenteile wie Einlegesohlen, Fersen- und Ballenpolster oder Fußbetten. Dies erfordert jedoch, dass der Träger seinen Schuh ausziehen muss, um ihn an seine Bedürfnisse anzupassen. Des Weiteren gibt es Komponenten, bei denen eine Veränderung nicht mehr rückgängig gemacht werden kann – sozusagen eine irreversible Veränderung am Schuh.

Da der Komfort nicht nur vom Träger selbst, sondern auch von der Tragesituation abhängig ist, sind irreversible Anpassungen nicht geeignet, um einen ständigen und situationsangepassten Komfort des Schuhs zu garantieren. Zudem ist ein manuelles Austauschen von Komponenten in Abhängigkeit von der Tragesituation häufig sehr aufwändig.

Ziel des Projekts war die vorwettbewerbliche Entwicklung von neuartigen Schuhinnenbodenteilen, deren Eigenschaften vom Träger mit Hilfe einer smarten Ansteuerung modifizierbar sind. Der Träger soll die Innenbodenteile an sein individuelles Komfortbedürfnis und an die jeweilige Tragesituation anpassen können, indem er sie hart oder weich und darüber hinaus steif oder flexibel einstellt. Diese Adaptierbarkeit soll einen spürbar höheren Tragekomfort bringen.

**Das Ziel des Projektes wurde erreicht.**

## **1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung**

Der Alltag der meisten Menschen, ob in Beruf oder Freizeit, ist durch häufigen Tätigkeitswechsel gekennzeichnet. Obwohl ständig wechselnde Alltagssituationen es angemessen erscheinen lassen, haben nur die wenigsten Menschen im Laufe des Tages die Möglichkeit, ihr Schuhwerk zu wechseln oder entsprechend anzupassen.

Betrachtet man die verschiedenen Tragesituationen, die im Alltag auftreten können, so lässt sich postulieren, dass die Definition von „Komfort“ je nach Situation und individuellem Empfinden durchaus unterschiedlich sein kann.

Ziel dieses Projekts war es daher, eine Lösung zu entwickeln, die es dem Nutzer erlaubt, die Eigenschaften seines Schuhs, speziell die Eigenschaften seiner Innenbodenteile, situationsabhängig auf seine individuellen Komfortbedürfnisse einstellen zu können.

Die Schuhindustrie hat in der Vergangenheit bereits Entwicklungsarbeit in dieser Richtung geleistet. Das Resultat waren jedoch zumeist sehr aufwendige Konstruktionen, die häufig einen komplizierten manuellen Umbau verlangen.

Das bestehende Angebot an Innenbodenteilen ist sehr vielfältig und auf zahlreiche Verwendungszwecke zugeschnitten. Ungeachtet dessen sind die meisten dieser Bodenteile durch Material und Konstruktion in ihren Eigenschaften festgelegt. Diese Bodenteile sind nicht einstellbar. Jegliche Veränderung ihrer Eigenschaften mit dem Ziel der Anpassung an individuelle Fußmerkmale, Komfortwünsche oder Tragesituationen ist nur dadurch möglich, dass das komplette Innenbodenteil ausgetauscht wird.

Bei einem Teil der derzeit bekannten Innenbodenteile wird durch spezielle Materialien und Konstruktionen eine Feinanpassung an individuelle Fußsohlenformen und eine Vergrößerung der Kontaktfläche Fußsohle/Innenbodenteil erreicht. Diese Anpassung ist jedoch passiv, d. h. sie kann vom Träger nicht gezielt beeinflusst oder „eingestellt“ werden.

Innenbodenteile sind im Tragegebrauch erheblichen dynamischen Belastungen ausgesetzt. In früheren Forschungsprojekten wurde festgestellt, dass Innenbodenmaterialien diesen Belastungen nicht auf längere Zeit standhalten konnten. Die Innenbodenteile, die im Rahmen des Projekts neu entwickelt werden, müssen deshalb entsprechenden Dauerbelastungsprüfungen unterzogen werden.

Um den Aufwand zur Komfortanpassung zu reduzieren, sollen neue Lösungen geschaffen werden. Die Maßgaben: Der Schuh soll für die Einstellung der Komfoteigenschaften seiner Innenbodenteile nicht ausgezogen werden müssen und die Steuerung soll smart, d. h. automatisch oder per Fernbedienung erfolgen, beispielsweise durch eine Smartphone-Applikation. Hierdurch ist es möglich, den Schuh schnell und individuell an die jeweilige Tragesituation

anzupassen. Einen per Fernbedienung adaptierbaren Schuhkomfort gibt es bislang noch nicht und stellt demzufolge eine echte Innovation dar.

## **2 Forschungsziel / Lösungsweg**

Ziel des Projekts ist die vorwettbewerbliche Entwicklung von neuartigen Schuhinnenbodenteilen, deren Eigenschaften vom Träger mit Hilfe einer smarten Ansteuerung modifizierbar sind. Die innovativen Innenbodenteile sollen adaptierbare Härte- bzw. Dämpfungseigenschaften aufweisen. Auch die Biegesteifigkeit soll variabel einstellbar sein, und zwar vor allem im biegeintensiven Ballen- und Zehenbereich. Diese Eigenschaften sollen mittels einer "smarten" Steuerungsmöglichkeit durch den Träger selbst einstellbar sein.

### **Angestrebte Forschungsergebnisse**

Die angestrebten wissenschaftlichen und technischen Forschungsergebnisse sind:

- 1) die systematische und biomechanische Ermittlung der relevanten Komforteinstellmöglichkeiten und der zugehörigen Parameter, mit denen die Schuhträger die geschilderten positiven Effekte unter den diversen Tragesituationen individualisiert erzielen können;
- 2) die Entwicklung entsprechender technischer Module, mit denen die entsprechenden Einstellungsmöglichkeiten geschaffen werden können. Aufbau entsprechender Prinziplösungen;
- 3) die Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der entwickelten Module sowie die Ermittlung der biomechanischen Auswirkungen der Prinziplösungen auf das Gangbild;
- 4) die Entwicklung, Konstruktion und Evaluation von Modifikationsmöglichkeiten der Dämpfungseigenschaften und der Biegesteifigkeit an Schuhen durch Integration der technischen Module und Prinziplösungen;
- 5) die Entwicklung, Konstruktion und Evaluation von Lösungen zur smarten Ansteuerung;
- 6) die Entwicklung eines geeigneten Energiemanagements mit Ladezustandskontrolle.

### **Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse**

„Smarte“ Innenbodenteile sind eine Innovation im Schuhbereich und stellen einen Fortschritt im Produktsegment „Smart Clothing / Wearable Computing“ dar. Das Projekt liefert die wissenschaftlichen Grundlagen dazu und weist die Umsetzbarkeit sowohl an Funktionsmodellen als auch an realen Schuhen nach.

### **Aus Sicht der Schuhindustrie:**

Schuhhersteller, die in die Kategorie der KMU fallen und die keine eigenen Forschungsabteilungen betreiben können, werden von den Projektergebnissen profitieren.

Schuh- und Einlagenhersteller können preis- und komfortgestaffelte Produktkonzepte auf den „smarten Innenbodenteilen“ aufbauen. Von der Vermarktung her handelt es sich um eine echte Neuheit, um etwas, das der Schuhmarkt noch nicht gesehen hat und was sich in keinem Billigimport findet.

### **Aus Sicht der Zulieferindustrie:**

Für Hersteller von Einlegesohlen oder Fußbetten, die das Konzept der „smarten Innenbodenteile“ adaptieren wollen, gilt dies ebenfalls: Sie werden damit ihr Angebot um eine echte Marktneuheit erweitern können.

Der neue Ansatz erschließt zudem neue Zuliefergruppen für die Schuhindustrie. Unternehmen aus der Mikrotechnik beispielsweise eröffnet sich durch den geplanten Ansatz ein neuer Markt.

### **Aus Sicht des stationären Schuhhandels:**

Vorteile bieten die Ergebnisse des Projektes auch für den stationären Schuheinzelhandel. Die Unternehmen können ihren Kunden eine neue Produktgruppe anbieten, die eine ideale Ergänzung des Angebots an Schuhen darstellt.

### **Aus Sicht des Verbrauchers:**

Der Verbraucher wird die völlig neue Erfahrung machen, sich in seine Fußsohlen „hineinzuspüren“ und seinen Schuhkomfort auf die jeweilige Tragesituation einzustellen. Erstmals ist eine aktive individuelle Anpassung der Fläche unter der Fußsohle möglich.

## **Lösungsweg**

Das Projekt gliederte sich insgesamt in zwei Projektphasen:

Phase 1 - Erarbeitung der wissenschaftlichen Rahmenbedingungen, Lösungserarbeitung und Labortestung:

Zunächst wurde im Projekt ermittelt, welche komfortrelevanten Änderungen und Beeinflussungen an Innenbodenteilen vorgenommen werden sollten und wie diese auf die Träger wirken, sowie welche Einstellungsbereiche (qualitativ und quantitativ) umfasst werden müssen (AP 1-3). Es werden erste Lösungsvarianten zur Modifizierbarkeit von Biegesteifigkeit und Dämpfungseigenschaften erarbeitet, entwickelt und iterativ in einer Laborumgebung getestet. Hinzu kommt die Entwicklung und Erprobung adäquater Ansteuerungsmöglichkeiten. Hierzu wurden entsprechende Versuchsaufbauten und Untersuchungen im Labormaßstab und durchgeführt (AP 4-8).

## Phase 2 - Entwicklung technischer Realisierungsmöglichkeiten, Systemintegration und Evaluation:

Ab Ende der ersten Phase wurden die technischen Umsetzungen der gefundenen Lösungsmöglichkeiten am "realen" Schuh entwickelt und erprobt. Dafür wurden Prinziplösungen in Form eines Stufenplans erarbeiten. Als Ergebnis jeder Lösungsstufe entstanden in den beiden Parametern einstellbare Innenbodenmodule, die anschließend in der Systemintegration zusammengebracht und in den "realen" Schuh integriert wurden.

In Abhängigkeit vom vorgesehenen Einsatzzweck können diese Innenbodenmodule entweder separat eingesetzt oder bausteinartig miteinander kombiniert werden, sodass eine multifunktionale Innenbodenkonstruktion entsteht. Im Rahmen dieser Phase entstanden integrierte Funktionsmodelle für verschiedene Innenbodenmodule. Deren prinzipielle Eignung für den vorgesehenen Anwendungsfall wurden im Rahmen einer iterativen Testmodell-Evaluation nachgewiesen (AP 9-11). Den Abschluss dieser Phase bildeten die Zusammenfassung der Ergebnisse sowie der Ergebnistransfer in die Wirtschaft (AP 12).

## **Arbeitsplan**

Das beantragte Projekt „smarter Schuhkomfort“ war in 12 Arbeitspakete unterteilt.

- AP 1 Erstellen einer Übersicht zu den projektspezifischen Anforderungen an Schuhinnenbodenteile, zur Lokalisierung einstellbarer Bereiche und zu den Anforderungen unterschiedlicher Tragesituationen
- AP 2 Definition und Bereitstellung von Referenzschuhen (Labor-Messschuhe) und Referenzinnenbodenteilen
- AP 3 Ganganalysen und Probandenbefragung zur Präzisierung der Anforderungen an Schuhbodenteile.
- AP 4 Erarbeitung mikrosystemtechnischer Lösungsansätze zur Modifizierung von Biegesteifigkeit und Dämpfungseigenschaften.
- AP 5 Konstruktive Umsetzung von Lösungsvarianten für die Modifizierbarkeit der Biegesteifigkeit von Bodenteilen.
- AP 6 Konstruktive Umsetzung von Lösungsvarianten für die Modifizierbarkeit der Härte- und Dämpfungseigenschaften von Bodenteilen.
- AP 7 Entwicklung und Erprobung des Steuerungsprinzips für die Lösungen aus AP 5 und AP 6.
- AP 8 Voruntersuchung und Testung der Lösungen aus AP 5, 6 und 7 im Labor mit zu entwickelnder Versuchseinrichtung und mit Probanden.
- AP 9 Entwicklung technischer Realisierungsmöglichkeiten im Real-Schuh und Systemintegration
- AP 10 Evaluation des Testmodells (Real-Schuh) aus AP 9
- AP 11 Korrektur und Optimierung der Bodenmodule, der Ansteuerung und des Testmodells anhand der Testergebnisse aus AP 10.
- AP 12 Zusammenfassung der Ergebnisse, Ergebnistransfer und Abschlussbericht.

## 3 Ergebnisse

### Arbeitspaket 1

Aus der Literatur und aus den Ergebnissen früherer Forschungsprojekte der beteiligten Forschungsstellen (beispielsweise AiF-Forschungsprojekt Nr. 14412) wurden die Anforderungen an Innenbodenteile hinsichtlich der physikalischen Größen und ihrer Lokalisierung zusammengestellt. Diese Anforderungen umfassten maßliche Parameter. Weiterhin wurden die Bereiche des Schuhbodens, für die eine Einstellbarkeit, wie sie im Rahmen dieses Projektes angestrebt wurden, zweckmäßig wäre, maßlich zusammengestellt. Dazu wurde ihre genaue Position und Ausdehnung auf der Fußsohle bestimmt. Zu berücksichtigen waren

- Biegezonen (z. B. Ballenbereich)
- Zonen hoher Plantardruckbelastung (z.B. Fersenbereich, Mittelfußköpfe, Großzehe).

Außerdem wurde projektspezifisch zusammengetragen, inwieweit unterschiedliche Tragesituationen bestimmte Einstellungen der Längssteifigkeit und des Härtegrades erfordern.

Die Bearbeitung dieses Arbeitspaketes beinhaltet folgende Teilschritte:

- eine Analyse maßlicher Parameter und Identifizierung relevanter Zonen. Dies fand unter Berücksichtigung des anatomischen Aufbaus des Fußes statt.
- die Ermittlung von Druckbelastungen im Stand / Gang;
- die Ermittlung von Biegewinkel von Zehen und Schuhen;
- die Zusammenstellung von Dämpfungseigenschaften von Schuhen;
- die Berücksichtigung technischer Anforderungen, denn die großen Kräfte, denen die Dämpfungs- und Biegesteifigkeitsmodule ausgesetzt werden, stellen eine besondere Herausforderung dar;
- sowie die Definition von Tragesituationen.

Mit Hilfe der hierbei ermittelten Maße, wurde u.a. ein erster Konstruktionsvorschlag für die einstellbaren Bereiche der Sohle erarbeitet und am Beispiel einer Herrensohle der Größe 42 Stich dargestellt. Diese Schuhgröße entspricht einer Schuh-Innenlänge von 280 mm und einer Fußlänge von 270 mm. Für diesen Konstruktionsvorschlag wurden die Mittelwerte der Maße verwendet.



Abbildung 1: Konstruktionsvorschlag (Herrensohle, Größe 42)

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## Arbeitspaket 2

Hier wurden Referenzschuhen (Labor-Messschuhe) und / oder Referenzbodenteilen definiert und bereitgestellt. Als Referenzschuhe wurden jeweils, in Anlehnung an die in AP1 definierten Tragesituationen, die folgenden Schuhtypen festgelegt:

Freizeitschuh (FS):	Laufschuh (LS):	Hikingschuh (HS):	Fahrradschuh (RS):
 Abbildung 2: Freizeitschuh (Referenzschuh)	 Abbildung 3: Laufschuh	 Abbildung 4: Hikingschuh (Wanderschuh)	 Abbildung 5: Fahrradschuh

Nachdem die Schuhe definiert und bereitgestellt wurden, wurden sie im Rahmen von AP1 hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften getestet. Die Ergebnisse der Prüfungen dienen in den nachfolgenden Arbeitspaketen der zu entwickelnden smarten Sohle als Referenz.

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## Arbeitspaket 3

Mit einem Ganganalyse-System sowie mit einem EMG-Accelerometer-System wurden mit den Referenzschuhen aus AP 2 Stand- und Ganganalysen an Testpersonen beider Geschlechter durchgeführt und ausgewertet.



Die Messergebnisse sollten die Ergebnisse aus AP 1 ergänzen und bestätigen, beziehungsweise als Referenzmessung für vergleichende Analysen dienen. Neben der Pedographie und der Ableitung der Muskelaktivität wurden für die Analysen auch Beschleunigungssensoren hinzugezogen und ausgewertet. Ziele waren u. a. die Erfassung der plantaren Druckverteilung in Abhängigkeit des Referenzschuhs, die Auswirkungen unterschiedlicher Referenzschuhe auf die Muskelaktivität und das Gangbild sowie das subjektive Empfinden.

In diesem Arbeitspaket wurden mittels Ganganalysen und Probandenbefragung folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie wirken sich die unterschiedlichen Schuhe in den unterschiedlichen Tragesituationen auf die Muskelaktivität aus?

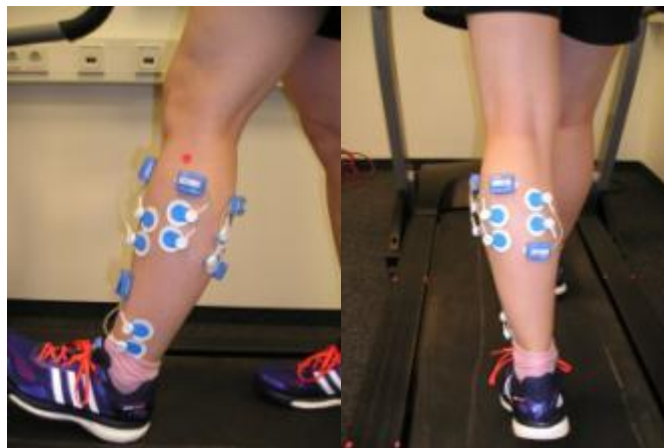


Abbildung 6: Ganganalyse mit Oberflächen-EMG und ACC

- Wie sehen die Druckverteilungen mit den unterschiedlichen Schuhtypen in den unterschiedlichen Tragesituationen aus?
- Welcher Schuhtyp ist für welche Aktivität am angenehmsten?

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## Arbeitspaket 4

Zur Realisierung von Schuhinnenbodenmodulen mit denen die Biegesteifigkeit und Dämpfung eingestellt werden kann, wurde eine umfassende Recherche durchgeführt, die durch eigene Ideen ergänzt wurde. Dabei wurden neben klassischen mechanischen Lösungsansätzen auch unkonventionelle Funktionsprinzipien mit aufgenommen. Gleichzeitig wurden mechanische und elektronische Komponenten identifiziert, die zur Realisierung einer einstellbaren Komfortanpassung in Frage kommen. Vor allem neue innovative Materialien sollten auf ihre Eignung als Akteure im Schuh untersucht werden. Aus der Vielzahl von Ideen, die oft frühzeitig

verworfen werden mussten, da die Komponenten augenscheinlich zu schwer und/ zu groß oder die Umsetzung zu kompliziert/ komplex waren, wurden einige interessante oder vielversprechende Konzepte ausgewählt.

Die untersuchten Lösungsansätze lassen sich in drei Gruppen einordnen:

1. Materialtechnische Lösungsansätze:

Lösungsansätze bei denen bestimmte Materialeigenschaften durch äußere Einflüsse manipulierbar sind, sogenannte „Smart Materials“ . Es wurden elektro- und magneto-rheologische Fluide und Formgedächtnislegierungen (SMA) untersucht.

2. Mechanische Lösungsansätze:

Lösungsansätze bei denen klassische mechanische Prinzipien oder Bauteile verwendet werden. Konkret wurde neben dem innovativen Ansatz des „layer jamming“ die Verwendung von Federn und Magnetismus untersucht.

3. Hydraulische und pneumatische Lösungsansätze:

Lösungsansätze bei denen durch die Verwendung von Flüssigkeiten oder Gasen die Dämpfung oder die Biegesteifigkeit eingestellt werden kann. Hierbei kommen verschiedenartige Pumpen, Ventile und Sensoren zum Einsatz. Für die Dämpfungseinstellung sind einige pneumatische Konstruktionen bereits bekannt und deshalb vielversprechend.

Informationen zu den untersuchten Lösungsansätzen sowie zu deren Eignungstestung können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## **Arbeitspaket 5**

Eine zentrale Fragestellung bei der Realisierung einer einstellbaren Biegesteifigkeit war die Gestaltung der Sohlenbiegezone. Um eine einstellbare Biegesteifigkeit zu erreichen, muss man von einer dünnen Sohle aus Vollmaterial ausgehen, da eine dünne Sohle, flexibler ist als eine dicke Sohle. Demnach müsste eine dünne Sohle durch Maßnahmen versteift werden, um eine einstellbare Biegesteifigkeit zu erreichen. Umgekehrt ist es deutlich schwieriger. Eine dicke Sohle aus Vollmaterial kann nur durch zusätzliche Aktoren, die die Biegung unterstützen, flexibler werden, was mit einem hohen Energieaufwand verbunden wäre und deshalb nicht sinnvoll ist.

Die Bearbeitung dieses Arbeitspaketes beinhaltete folgende Teilschritte:

- Überlegungen zum Design der Sohlenbiegezongen
- Aufbau der Federstruktur für die Biegesteifigkeitseinstellungen

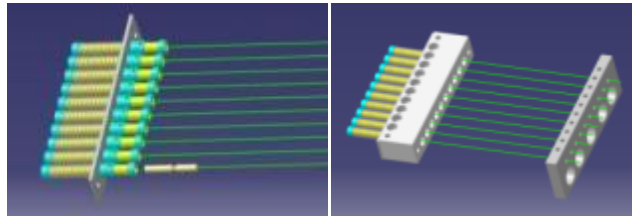


Abbildung 7: Konstruktion einer Biegesteifigkeitsstruktur

- EPMA Herstellungsverfahren
- „Tetris“ Konzept für die Biegesteifigkeitseinstellung

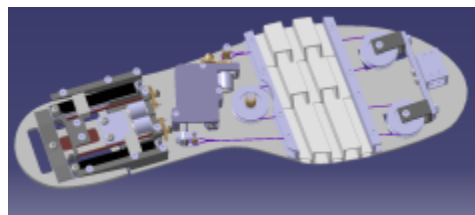


Abbildung 8: Tetris-Federstruktur

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## Arbeitspaket 6

Obwohl die Voruntersuchungen gezeigt hatten, dass das Konzept einer pneumatischen Dämpfungseinstellung vielversprechend ist, wurde an dieser Stelle zunächst das „Tetris“-Dämpferprinzip weiter verfolgt, da neue Ideen getestet werden sollten anstatt bekannte und bewährte Funktionen zu kopieren.

Die Bearbeitung dieses Arbeitspaketes beinhaltet folgende Teilschritte:

- Aufbau eines einfachen „Tetris“-Dämpfers
- Aufbau eines Dreh-Tetris-Dämpfers
- Aufbau eines symmetrischen Dreh-Tetris-Dämpfers

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## Arbeitspaket 7

Zur Steuerung der Sohle wurde Bluetooth 4.0 (kurz BLE) oder „Bluetooth smart“ verwendet. BLE ermöglicht einen äußerst energiesparenden Datenaustausch zwischen Smartphone und den Schuhen. Auf der Schuhseite wurden „Simblee“ Funkmodule von RF Digital eingesetzt. Mit Simblee lassen sich sehr einfach, mit der weitverbreiteten Arduino Programmierumgebung, Anwendungen für das Smartphone entwickeln. Auf dem Smartphone muss dazu die passende Simblee App installiert sein. Die App dient als Programmfenster in dem die App, die auf dem Simblee Controller programmiert wird, hochgeladen und ausgeführt wird. Durch die Verwendung des Simblee Systems konnte die Steuerung in relativ kurzer Zeit aufgebaut werden.

Zur Kommunikation zwischen dem linken und rechten Schuh wurden ebenfalls die Simblee Funkmodule verwendet. Als Funkprotokoll wurde hier aber nicht BLE, sondern das proprietäre Funkprotokoll Gazell von Nordic Semiconductor verwendet. Dadurch muss sich das Smartphone nur mit einem Schuh verbinden und nicht mit zwei, wodurch die Bedienung vereinfacht wird. BLE benötigt keine permanente Verbindung, deshalb ist es möglich mit zwei unterschiedlichen Funkprotokollen zu arbeiten zwischen denen sehr schnell umgeschaltet wird. Das Smartphone verbindet sich also nur mit einem Schuh, dem „master“ und der „master“ leitet die Einstellparameter vom Smartphone an den „slave“ weiter.

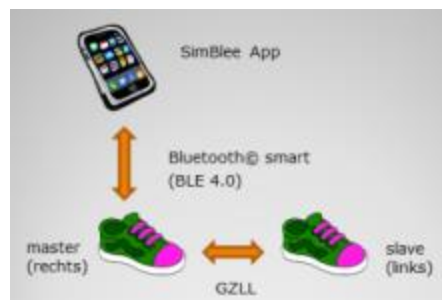


Abbildung 9: Steuerung der beiden Schuhe mit einem Smartphone

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## Arbeitspaket 8

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, die Lösungen aus AP 5-7 iterativ unter Laborbedingungen zu untersuchen. Es war festzulegen, welche subjektiv als angenehm empfundene und biomechanisch und objektiv als physiologisch sinnvoll erachtete Einstellung vorgenommen werden kann.

Da die physiologische Wirkung der Einstellungen der smarten Sohle mittels Ganganalysen nur im bereits eingebauten Zustand möglich war, wurde dieser Aspekt erst in AP 10 umgesetzt.

Um die Wirkung in AP 10 testen zu können wurde parallel zu AP7 die Stufen der Einstellmöglichkeiten festgelegt und in der App umgesetzt. Da das subjektive Empfinden von Körpergewicht und individuelle Sensibilität abhängig ist, hat man sich für eine 20stufige Einstellmöglichkeit hinsichtlich der Dämpfungseigenschaften entschieden.

Konstruktionsbedingt hat man bei der Biegesteifigkeitseinstellung 6 Stufen gewählt (in Abhängigkeit der Anzahl der Biegesteifigkeitsstrukturen).

Isolierte Labortests wurden mit der entwickelten Lösung durchgeführt.

Die detaillierten Ergebnisse dieses Arbeitspaketes sowie die des AP10 sind vergleichend im Abschlussbericht zu finden.

## Arbeitspaket 9

In diesem Arbeitspaket wurden die entwickelten Lösungen in den Schuh integriert.

Die Bearbeitung dieses Arbeitspaketes beinhaltet folgende Teilschritte:

- Positionierung der Biegesteifigkeitseinstellungen im Schuh

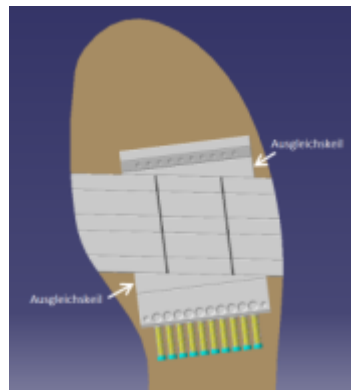


Abbildung 10: Anpassung der Biegelinie durch Ausgleichskeile

- Sohleneinbau der Biegesteifigkeitsstruktur



Abbildung 11: Aufbau einer Sohle mit Biegesteifigkeitseinstellung

- Sohleneinbau der Dämpfungseinstellungsstruktur



Abbildung 12: In die Sohle eingebauter Spindelmotor mit Klemmblock

Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## Arbeitspaket 10

In AP 10 wurden am PFI Laborprüfungen zur Praxistauglichkeit der smarten Sohle allein sowie der in den Schuh integrierten Sohle durchgeführt. Dazu wurden Dauerbelastung-, Schockabsorption- und Biegewinkel geprüft. Hier sind exemplarisch die Dauerbelastungsprüfung des Dämpfungsmoduls sowie die Bestimmung des statischen Biegewinkels vor dem Einbau in den Schuh dargestellt.

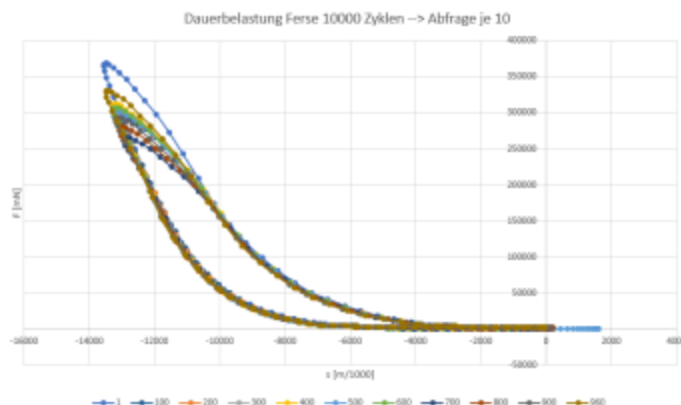


Abbildung 13: Dauerbelastungsprüfung

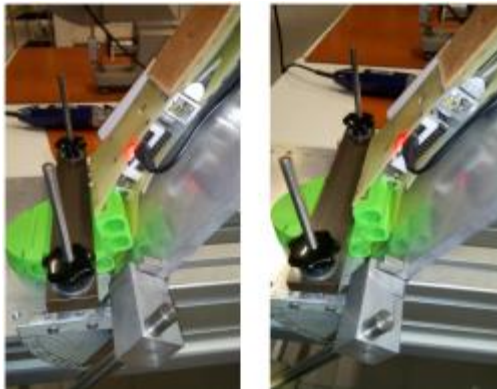


Abbildung 14: Biege winkelmessung

Das Testmodell (im Real-Schuh) wurde im Labor geprüft und auf Praxistauglichkeit evaluiert. Darüber hinaus wurde analog zu AP3 eine Stand- und Ganganalyse inklusive EMG und Beschleunigungsmessung durchgeführt, um folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Wie wirken sich die unterschiedlichen Einstellungen des smarten Schuhs in den unterschiedlichen Tragesituationen auf die Muskelaktivität aus?

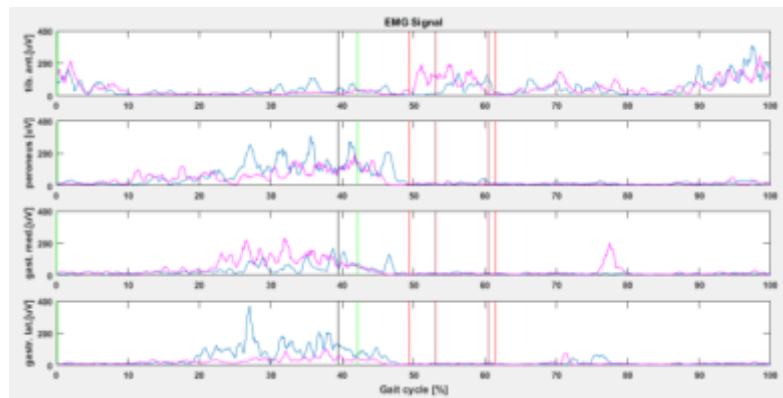


Abbildung 15: Direkter EMG Vergleich unterschiedlicher Einstellungen des smarten Schuhs.

- Wie sehen die Druckverteilungen mit den unterschiedlichen Einstellungen in den unterschiedlichen Tragesituationen aus?

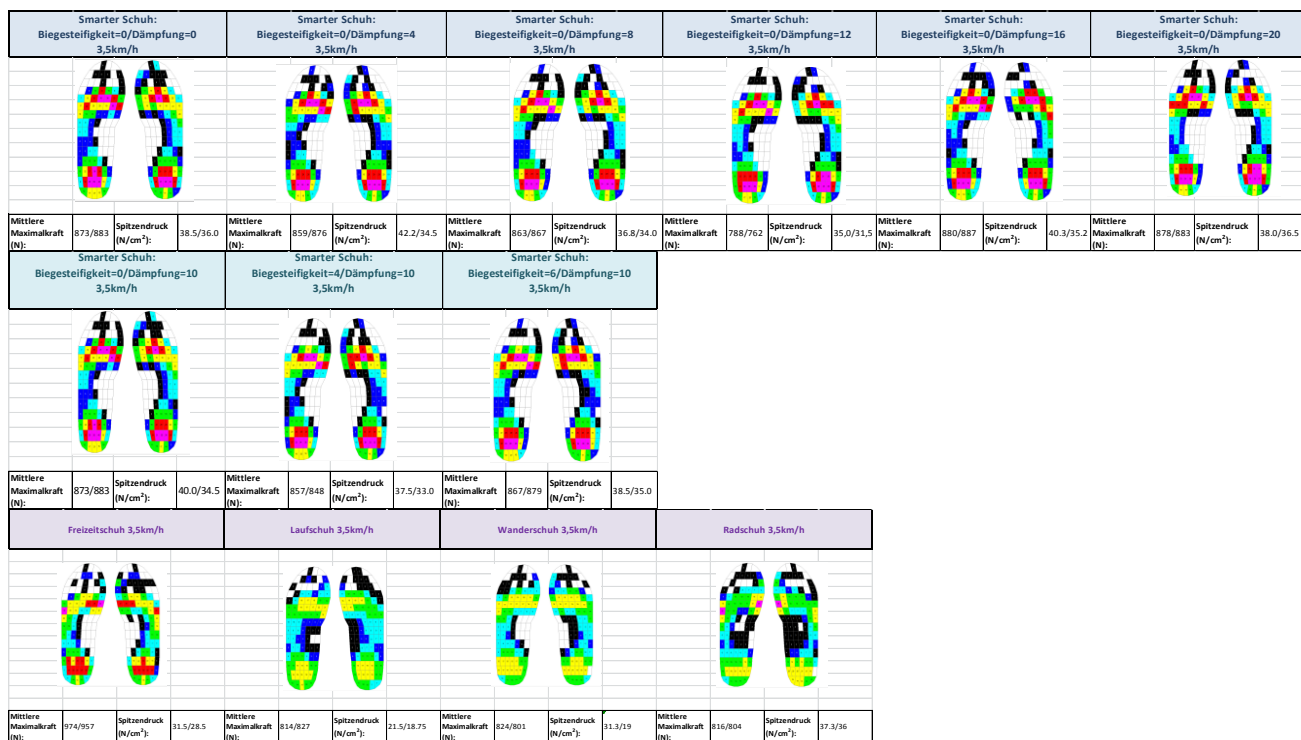


Abbildung 16: Gegenüberstellung der Druckverteilungen der Referenzschuhe und des smarten Schuhs (mit verschied. Einstellungen).

- Welche Einstellung ist für welche Aktivität am angenehmsten?
- Vergleich des smarten Schuhs und seinen Einstellungen mit den vier Referenzschuhen

Die vollständigen Ergebnisse dieses Arbeitspaketes können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## Arbeitspaket 11

In diesem Arbeitspaket wurden Korrekturen und Optimierungen der Bodenmodule und des Testmodells anhand der Testergebnisse aus AP10 durchgeführt.

Die Bearbeitung dieses Arbeitspaketes beinhaltete folgende Korrekturen / Optimierungen

- Erhöhung der zulässigen EPMA Riegelkraft
- Verbesserung der Biegesteifigkeitsstruktur
- Verbesserung der Dämpfungseinstellungsstruktur
- Konstruktive Gewichtsreduzierung
- Korrekturen am Schuh



Die Korrekturen und Optimierungen können im Detail dem Abschlussbericht entnommen werden.

## **Arbeitspaket 12**

Als Ergebnis dieses Arbeitspaketes entstand der Abschlussbericht zum Projekt.

Der Abschlussbericht kann über die Forschungsvereinigung „Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.“ bezogen werden.

### **4 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse**

Die Forschungsergebnisse sind sowohl für die Schuhindustrie als auch für die Bereiche Konstruktion oder Elektrotechnik von hohem Interesse.

Neben dem hauptsächlich adressierten Gebiet der Komfortanpassung zeigen die in diesem Vorhaben entwickelten Konzepte, Lösungsansätze sowie die untersuchten Prinzipien das große Potential von in den Schuh integrierter Technologie sowie der sich daraus ergebenden Möglichkeiten.

Die diskutierten Ansätze, auch die, die in diesem Vorhaben schlussendlich verworfen wurden, sind an anderer Stelle, also bei einem anderen als dem adressierten Ansatz, möglicherweise durchaus näher zu beleuchten und daher auch zielführend für den dann vom Ursprungszweck abweichenden Anwendungsfall.

Die gesamten ermittelten Bezugsquellen, ermittelten Daten, Aufbauten (elektronisch, schuhtechnisch, mechanisch, etc.) und Auswertungen sowie Prinzipschemata können von technologisch interessierten Firmen auch in diesem hier dargestellten, zugegebenermaßen durchaus noch frühen Entwicklungsstadium, dennoch als hilfreicher Einstieg in die jeweilige Materie genutzt werden.

Das Vorhaben zeigt also, neben seinem Hauptzweck, auch durchaus viele andere (hoch-) technologische Ansatzpunkte auf, welche sich gewinnbringend an anderer Stelle im Bereich Wearables oder Smart Textiles verwenden lassen.