
Wearables – niederenergetische Sensorsysteme am menschlichen Körper

Dr.-Ing. Thomas Knieling

microtec nord, Fh ISIT, Itzehoe, 21.09.2015

Inhalt

- Vorstellung des Projekts Akustische Ganganalyse
 - Vorgeschichte und verwandte Produkte
 - Erster Prototyp
 - Vergleich verschiedener Sensorprinzipien
 - Zweiter Prototyp
- Vorstellung Projekt MoniShirt
- Zusammenfassung und Ausblick

Akustische Ganganalyse – was ist das?

Methoden zur Ganganalyse (Auswahl):

Kinematisch:

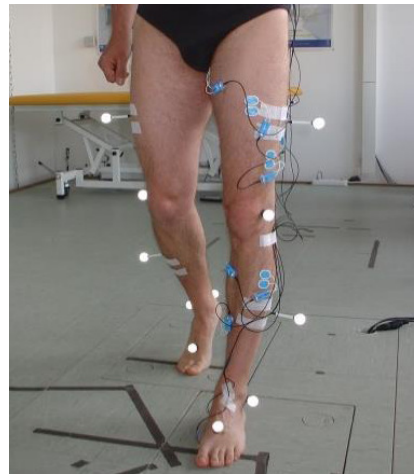


Erste Antworten zur Frage:
Was ist ein gutes Gangbild?

Ergebnisse bieten großen Interpretationsspielraum.
Erfahrener Beobachter nötig.

Visuelle Messmethode
(Fotografie, Video, IR,...)

Elektromyografie:



Messung elektrischer Potentiale
auf der Haut, während
(zyklischer) Muskelkontraktion

Keine Informationen zur
plantaren Druckverteilung oder
zu Gelenkstellungen

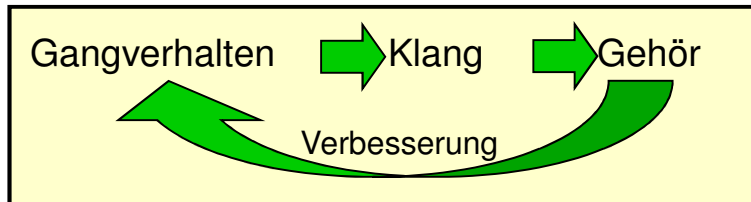
Kinetisch:



Statische u. d. dynamische Messung
der plantaren Druckverteilung, z.B.
auf Druckmessplatten oder auf
Laufbändern mit integrierter Sensorik

Projekt „Akustische Ganganalyse“ – Projektziele und Arbeitspakete

Funktion:



- Arbeitspakete des ISIT:
 - Entwicklung und Herstellung einer biegeflexiblen Sohleneinlage mit integrierter Kraftsensor-Matrix (100 Hz) und gedruckten Funktionalitäten (Leiterbahnen, Antenne, Kontaktpads)
 - Evaluierung verschiedener Sensorprinzipien
 - Herstellung von flachen, biegsamen Li-Polymer-Akkumulatoren zur Integration in die Einlage
 - Zuverlässigkeits- und Schadensanalytik
 - Datenmanagement

Konsortium:



Projektlaufzeit: 11/2013 – 10/2016

Mittelgeber: BMWI (ZIM, über AiF)

- Messung, Berechnung und Analyse von:
 - Zeitliche und räumliche Druckverteilung
 - Abrollverhalten
 - Schritte über die Zeit
 - Fußzoneneinteilung: Ferse, Mittelfuß, etc.
 - Mittlere Druck- und Kraftwerte und –verläufe
 - Ganglinie
 - Schrittfrequenz
 - Max. Druck- und Kraftwerte
 - Mittlere Ganggeschwindigkeit
 - Schrittweite und –länge
 - Schritt-/Spurbreite
 - Fußaufsatzwinkel Doppelschrittlänge
 - Doppelstandphase
 - Doppelschrittzeit (sek)

- Zu erwartende Kosten des Endprodukts: Bis ca. 400 € (Medizin), 100 € (Sport)

Vorlaufprojekte, Vergleich mit anderen Produkten

- Sonifikation von Ruderbewegungen (Uni Hamburg), u.a. bei der deutschen Olympia-Rudermannschaft, über Beschleunigungssensorik
- Durchführung, Ergebnisse und Zitate (©Uni Hamburg, BESB GmbH Berlin):

Participants

- Sighted Athletes
 - seniors & juniors ($N=47$)
 - 12 boats, 3 on-water training sessions
- Adaptive Athletes ($N=6$)
 - 2 visual impaired & 2 physically handicapped
 - Coxed Four (LTA4+), 2 weeks, 7 training sessions

Measuring system

- *Sofirow* (BeSB GmbH Berlin & Uni Hamburg)
 - a_{boat} (MEMS acceleration sensor (125 Hz))
 - v_{boat} (4-Hz-GPS)
 - Parameter Sonification



- High acceptance of sonification among athletes and coaches
- Intuitive understanding
- Athletes' statement
 - "focussed improvement of the weak points in the movement"*
 - "keeping the tone as constant as possible during recovery"*
- Coaches' statement
 - "...smoother movement with the sound"*
 - "...more clearly and better"*

Klangbeispiele:

Vorlaufprojekte, Vergleich mit anderen Produkten

- Produkt "Moticon"

- Einlage mit Knopfzelle und 13 Sensorflächen, Temperatur- und Beschleunigungssensor
- Auslesen mit Funk (Echtzeit) oder USB
- Visuelles Feedback
- 13 Sensoren, ca. 6.500 €, nur Medizin



- Produkt "Sensoria"

- Textile Sensorik in Socken plus magn. Knöchelklemme mit Akku & zur Echtzeit-Datenübertragung
- Visuelles Feedback
- 3 Sensoren, 40 Hz, ca. 400 €, nur Sport



- Weitere Produkte (marktreif oder F&E)



Meilensteine und Prototypen

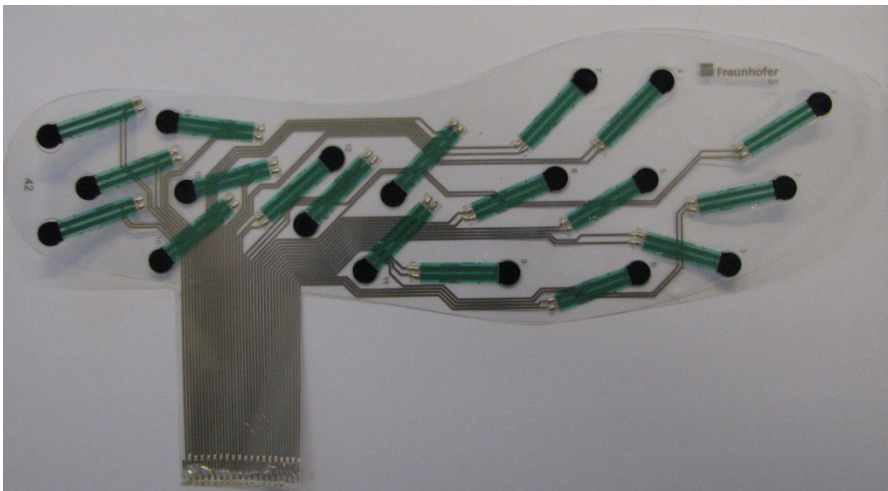
- Es werden zwei Prototypen entwickelt und gefertigt:

Nach 6 Monaten: Kabelgebundene, biegsame Drucksensoreinlage mit diskreter Peripherie (Elektronik, Energieversorgung) und einfacher Messdatenerfassung und –auswertung, WLAN-Datenübertragung.

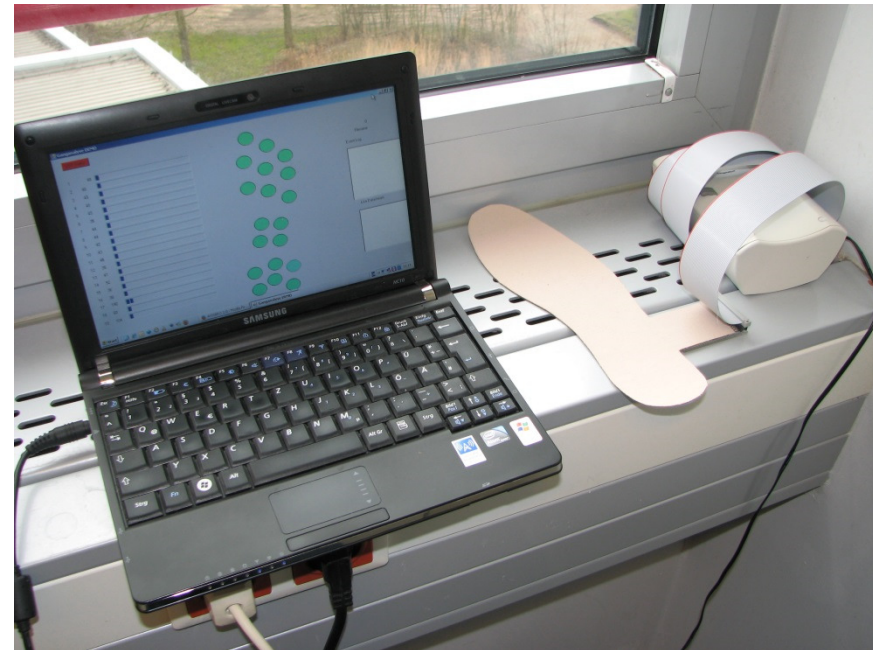


- Ergebnisse:

Einlagen mit Sensoren (resistiv) und gedruckten Leiterbahnen



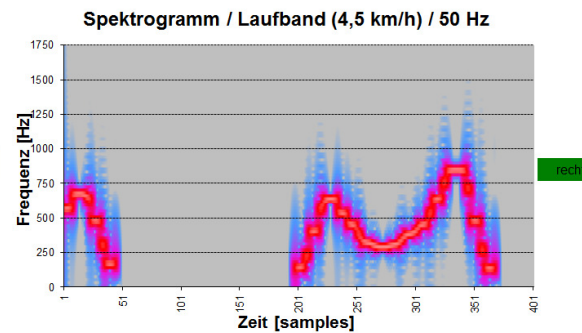
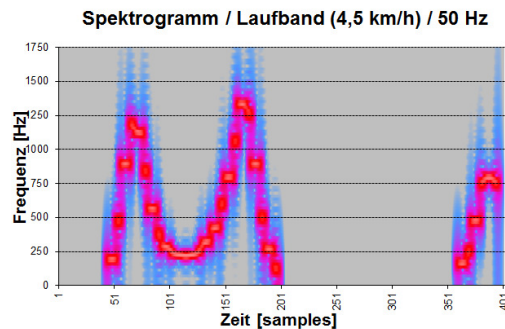
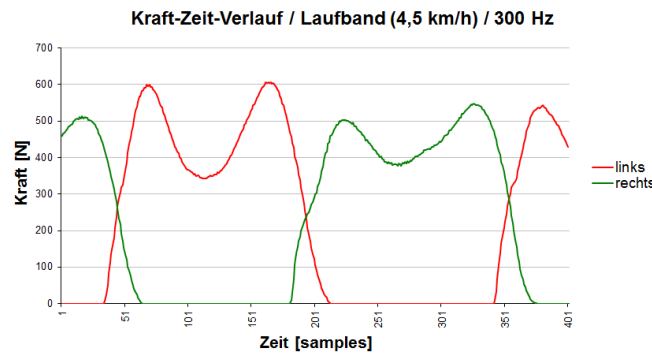
System Einlage-Elektronik-Rechner-WLAN



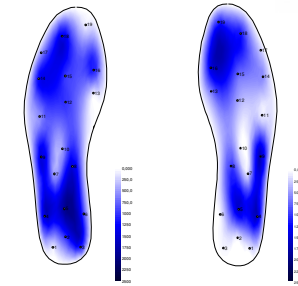
Meilensteine und Prototypen

Nach 6 Monaten: 1. Prototyp: Kabelgebundene, biegsame Drucksensoreinlage mit diskreter Peripherie (Elektronik, Energieversorgung) und einfacher Messdatenerfassung und –auswertung, WLAN-Datenübertragung.

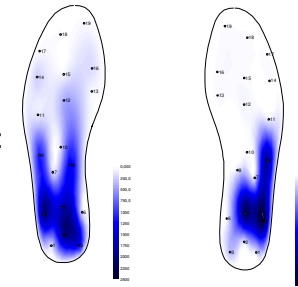
- Farbcodierte Darstellung der plantaren Druckverteilung (relativ, 2Hz):
- Sonifikation (Beispiel):



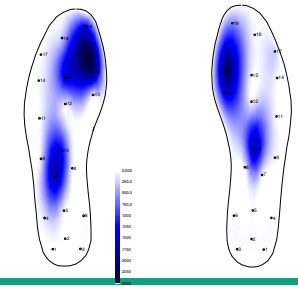
Flaches Stehen:



Stehen auf Ferse:

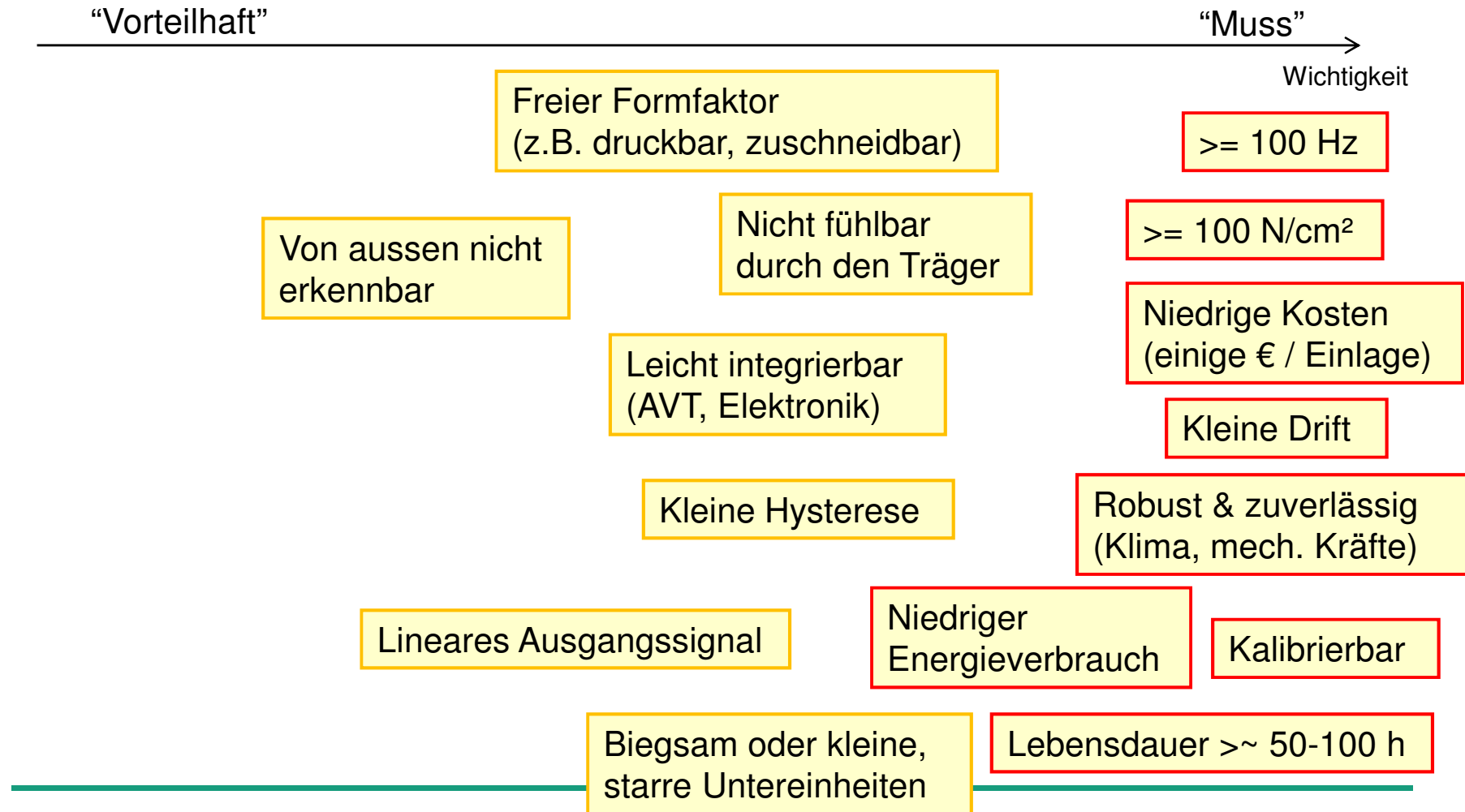


Stehen auf Vorderfuss:



Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Anforderungen (priorisiert):

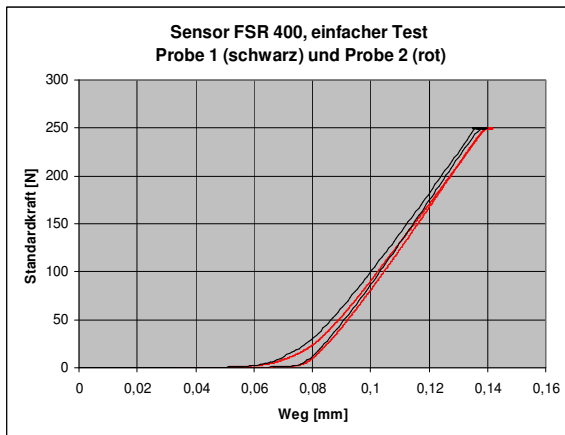


Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Sensortechnik: Auswahl und Evaluierung geeigneter Druck-/Kraftsensoren:

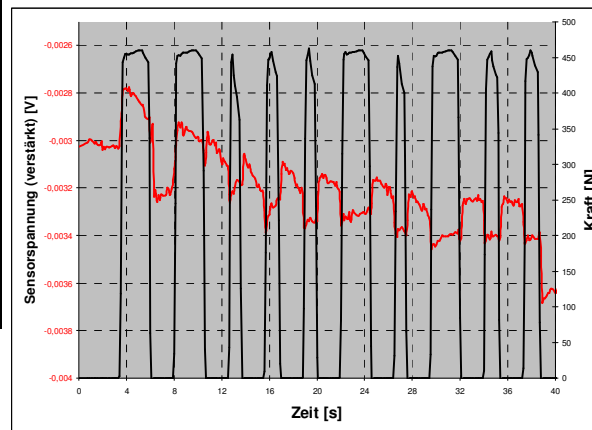
1) Foliensensoren

- Werden aktuell eingesetzt
- Kosten:
Layout und Messbereich fest:
Ca. 5 – 10 €/Stück
Designanpassung: Einige T€
- Resistives Messprinzip, statisch & dynamisch
- Einfache Implementierung, biegsam, jedoch z.T. nichtlinear & hysteresebefahet, Kalibrierung nötig, anfällig gegenüber Scherkräften



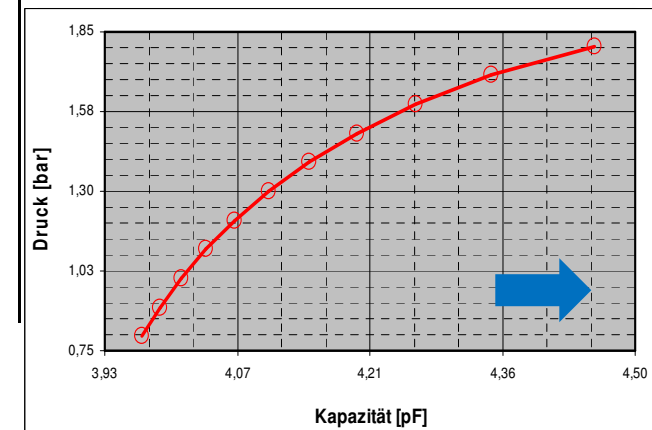
2) Elektroaktive Polymere (EAP)

- Wurden ansatzweise getestet
- Folien, welche zugeschnitten und beidseitig mit Kontakten bedruckt werden, Polarisierung nötig
- Kosten:
Ca. 100 €/m² plus Nacharbeit
- Messprinzip Ladungsverschiebung (gepolt), nur dynamisch, Kalibrierung nötig.
- freier Formfaktor, als Substrat direkt verwendbar jedoch sehr kleine Signale (Elektronik, Verstärker)



3) MEMS-Sensoren (kapazitiv)


- Abgeschlossene Bachelorarbeit
- Kleine, starre Bauteile (0,6 x 1,2 x 0,5 mm) mit beweglicher Membran
- Kosten:
Layout fest: 10 €/Bauteil
Designanpassung: Ab ca. 100 T€
- Kapazitives Messprinzip, statisch & dynamisch, Kalibrierung nötig.
- recht kleine Signale (Elektronik, Verstärker), anfällig gegenüber mech. Einwirkung (Integration)



Pressure sensors with ASIC in a 5x5mm² package

Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Sensortechnik: Auswahl und Evaluierung geeigneter Druck-/Kraftsensoren:

4) Dehnungsmessstreifen	5) Piezoelektrische Sensorflächen	6) Kapazitive Sensorflächen
<ul style="list-style-type: none">- Werden aktuell getestet- Kosten:<ul style="list-style-type: none">Layout und Messbereich fest: Ca. 5 – 10 €/StückDesignanpassung: Einige T€- Resistives Messprinzip, statisch & dynamisch- Einfache Implementierung, biegsam, jedoch z.T. nichtlinear & hysteresesebehaftet, Kalibrierung nötig, anfällig gegenüber Scherkräften- Auch eigene Herstellung möglich (und begonnen), jedoch umfangreiche Entwicklung, mit gleichen Problemen wie kommerziell erhältliche DMS 		

Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Sensortechnik: Auswahl und Evaluierung geeigneter Druck-/Kraftsensoren:

4) Dehnungsmessstreifen	5) Piezoelektrische Sensorflächen	6) Kapazitive Sensorflächen
<ul style="list-style-type: none"> - Werden aktuell getestet - Kosten: Layout und Messbereich fest: Ca. 5 – 10 €/Stück Designanpassung: Einige T€ - Resistives Messprinzip, statisch & dynamisch - Einfache Implementierung, biegsam, jedoch z.T. nichtlinear & hysteresebefahftet, Kalibrierung nötig, anfällig gegenüber Scherkräften - Auch eigene Herstellung möglich (und begonnen), jedoch umfangreiche Entwicklung, mit gleichen Problemen wie kommerziell erhältliche DMS 	<ul style="list-style-type: none"> - Werden aktuell getestet - Eigene Pastenformulierung (PZT, BaTiO₃) - Siebdruck (3 Schichten) - Ausheizen - Polung (dickenabhängig) - Kosten: Ca. 5 €/Einlage (17 Sensoren) plus Nacharbeit - Messprinzip Piezoelektrizität (Diploverschiebung erzeugt Stromfluss), nur dynamisch, Kalibrierung nötig, hohe Anforderungen an Elektronik und Software - freier Formfaktor - prinzipiell als Harvester vorstellbar 	



Vergleich verschiedener Sensortechnologien

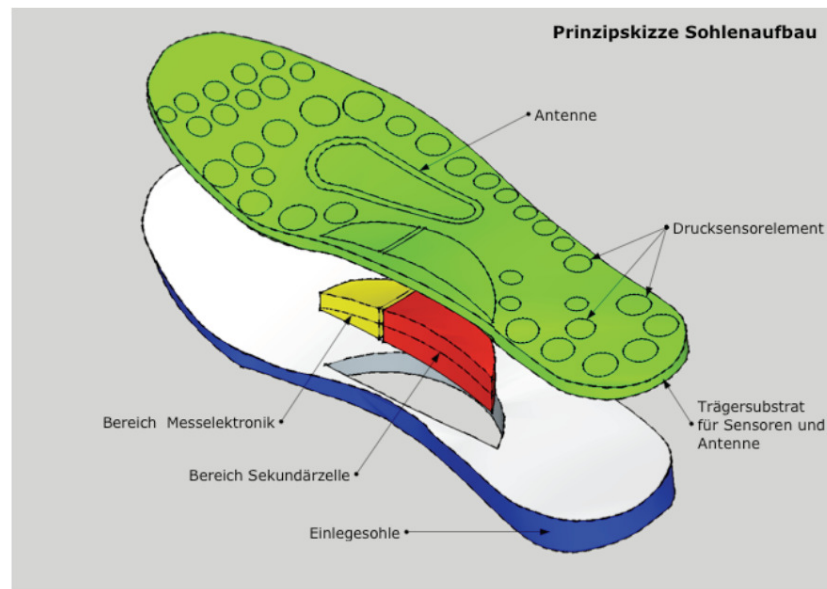
Sensortechnik: Auswahl und Evaluierung geeigneter Druck-/Kraftsensoren:

4) Dehnungsmessstreifen	5) Piezoelektrische Sensorflächen	6) Kapazitive Sensorflächen
<ul style="list-style-type: none"> - Werden aktuell getestet - Kosten: Layout und Messbereich fest: Ca. 5 – 10 €/Stück Designanpassung: Einige T€ - Resistives Messprinzip, statisch & dynamisch - Einfache Implementierung, biegsam, jedoch z.T. nichtlinear & hysteresebefahet, Kalibrierung nötig, anfällig gegenüber Scherkräften - Auch eigene Herstellung möglich (und begonnen), jedoch umfangreiche Entwicklung, mit gleichen Problemen wie kommerziell erhältliche DMS 	<ul style="list-style-type: none"> - Werden aktuell getestet - Eigene Pastenformulierung (PZT, BaTiO₃) - Siebdruck (3 Schichten) - Ausheizen - Polung (dickenabhängig) - Kosten: Ca. 5 €/Einlage (17 Sensoren) plus Nacharbeit - Messprinzip Piezoelektrizität (Diploverschiebung erzeugt Stromfluss), nur dynamisch, Kalibrierung nötig, hohe Anforderungen an Elektronik und Software - freier Formfaktor - prinzipiell als Harvester vorstellbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Werden aktuell getestet, sollen ggf. resitive Foliensensoren ersetzen - Eigene Pastenformulierung (Dielektrikum) - Siebdruck (3 Schichten) - Kosten: Ca. 5 €/Einlage (17 Sensoren) plus Nacharbeit - Messprinzip kapazitiv, auch statische Messungen damit möglich - Problematik des Crosstalk → mech. Entkopplung nötig - Freier Formfaktor

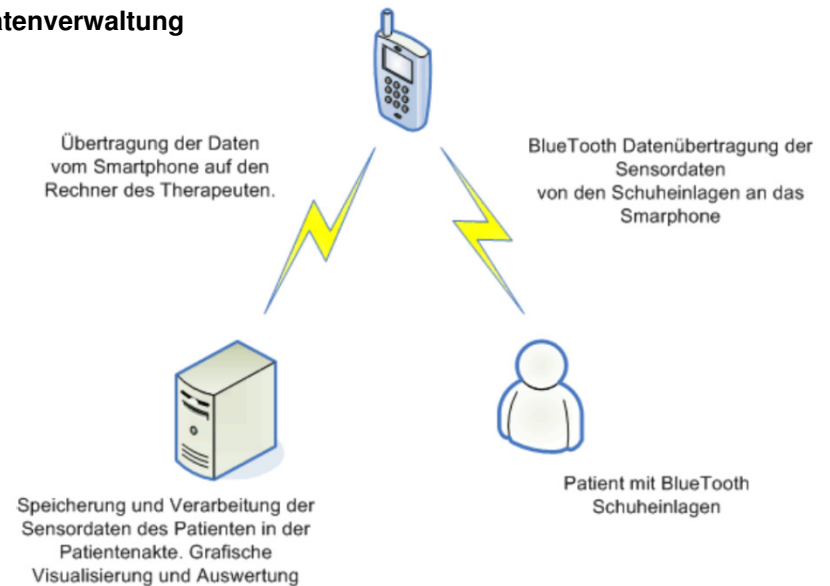


Entwicklung des zweiten Prototypen (autarke Einlage)

Nach ~ 24 Monaten: Kabellose, dehnbare Drucksensoreinlage mit eingebetteten Komponenten (Elektronik, NFC-Antenne, Li-Polymer-Zelle (ISIT), Schnittstelle), umfassende Messdatenerfassung und –auswertung für klinische Tests und Datenübertragung und –darstellung an Smartphone / Rechner.



Datenverwaltung



Zweiter Prototyp - Planung

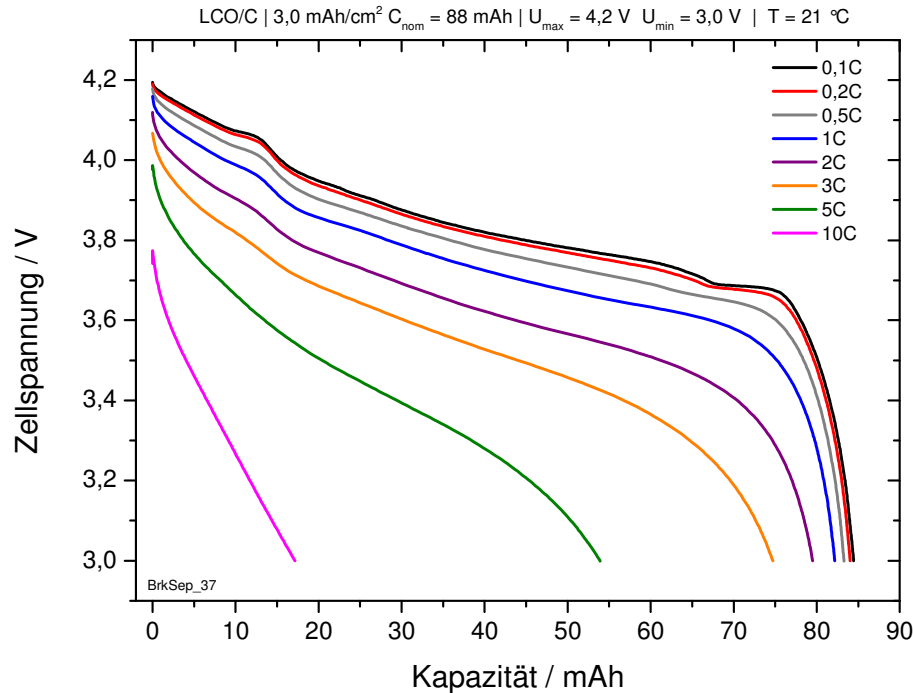
- Integration der ISIT-Zelltechnologie: Li-Co-System

Mögliche Zellchemie (Sekundärzellen):

		Design 1	Design 2
	Config. accu	2S / 1P	2S / 1P
LFP/LTO	U(accu)	3,6V	3,6V
	Q(accu)	104 mAh	271 mAh
	E(cell)	375 mWh	977 mWh
	Energy density (Zelle)	148 mWh/cm ³	148 mWh/cm ³
LCO/C	U(accu)	7,6V	7,6V
	Q(accu)	94 mAh	244 mAh
	E(accu)	712 mWh	1857 mWh
	Energy density (accu)	281 mWh/cm ³	281 mWh/cm ³
			Für ca. 2 h Betrieb der Einlage
LMC/C	U(accu)	8V	8V
	Q(accu)	94 mAh	244 mAh
	E(accu)	750 mWh	1954 mWh
	Energy density (accu)	296 mWh/cm ³	296 mWh/cm ³

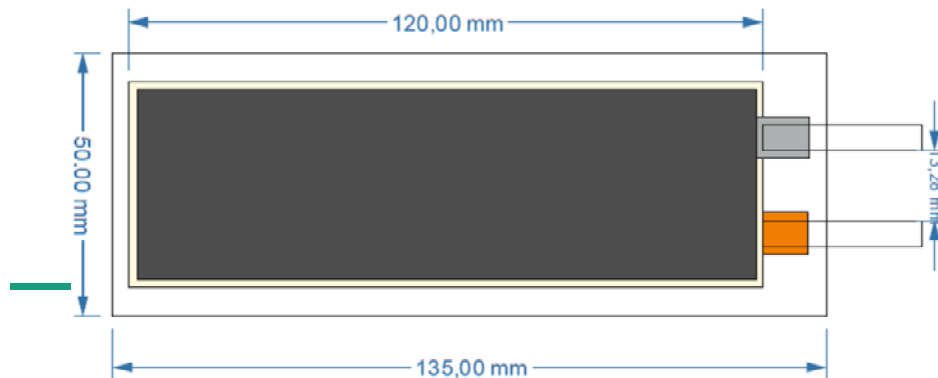
Zweiter Prototyp - Planung

- Integration der ISIT-Zelltechnologie: Li-Co-System



Rated capacitance:	250 mAh
Nominal voltage @ 0.2 C:	3.7 V
End-of-charge voltage:	4.2 V
End-of-discharge voltage:	3.0 V
Charge current:	0.5 C (1C)
Charge procedure:	CCCV
Cell weight:	Ca. 10 g
Cathode:	Lithiumcobaltoxide
Anode:	Graphite

Aktuelles Zellenlayout:



Erste Prototypen gefertigt,
Tests laufen

Projekt MoniShirt (Fh ISIT, FH ISC, UAN, Beirat), 06/2015-05/2016

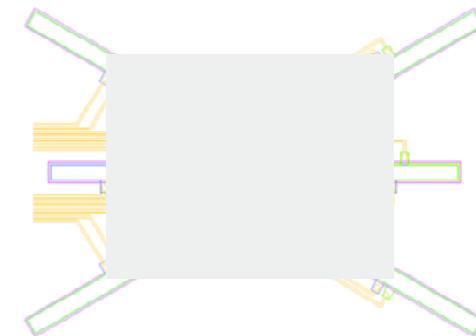
- Thema: Entwicklung einer gedruckten, großflächigen, piezo-basierten Sensorik zum Monitoring und zur Analyse menschlicher Bewegungen (Body Tracking)

Integrierte Elektroden in Sportbekleidung, die Sensorik könnte in ähnlicher Weise integriert werden

© HealthWatch



Mögliches Sensorlayout:



- Anwendungen: Betreutes Wohnen, Arbeitssicherheit, Sport, Bekleidung, Medizin,...
- Wissenschaftliches Vorprojekt, Zeigen der Machbarkeit
→ Schon jetzt mögliche Partner für Folgeprojekt gesucht (Industrie, KMU, F&E)

Zusammenfassung und Ausblick

- Kombination von Technologien („Hybrid Electronics“) ermöglicht neue Anwendungen
- Komplexität bleibt nur da bestehen, wo sie wirklich gebraucht wird
- Produkte werden deutlich preiswerter (z.B. 10 T€ → 200 €)
- Aber: Herausforderungen bei Qualität und Lebensdauer bleiben (abhängig von der Anwendung)
- Gedruckte Sensorik und deren Integration sind Kernthemen

Danksagung

Das Projekt Akustische Ganganalyse wird gefördert vom BMWI/AiF (FKZ VP2219108WM3)

Das Projekt MoniShirt wird gefördert vom BMBF (FKZ 16SV7353)

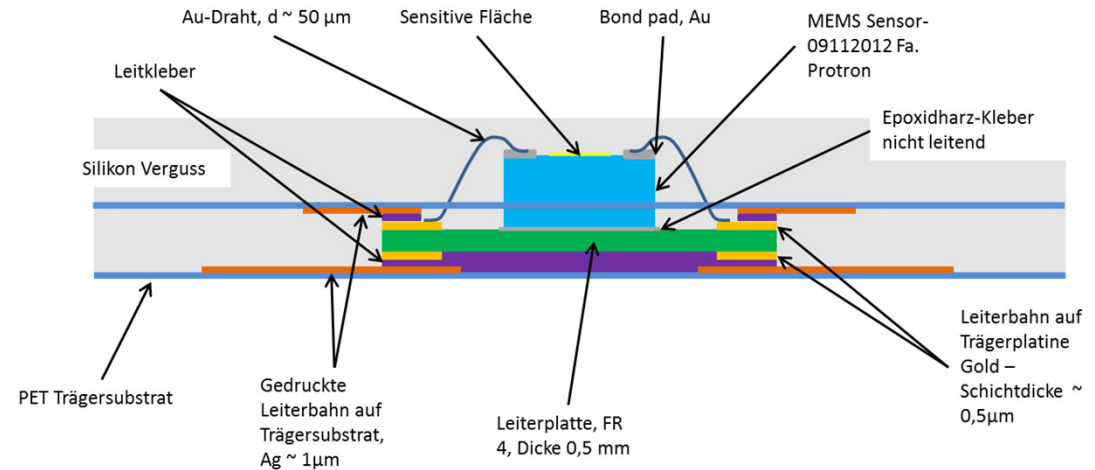
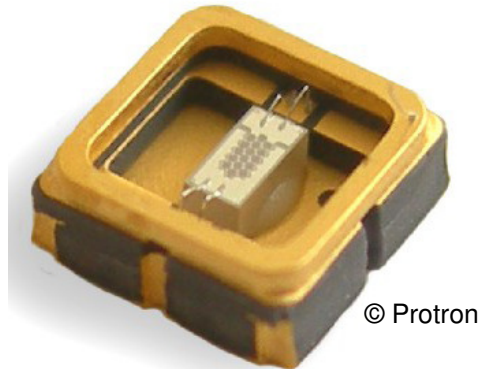


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Sensortechnik: Kapazitive MEMS-Kraftsensoren (Bachelor-Arbeit Florian Beeck)

Protron-Drucksensor:

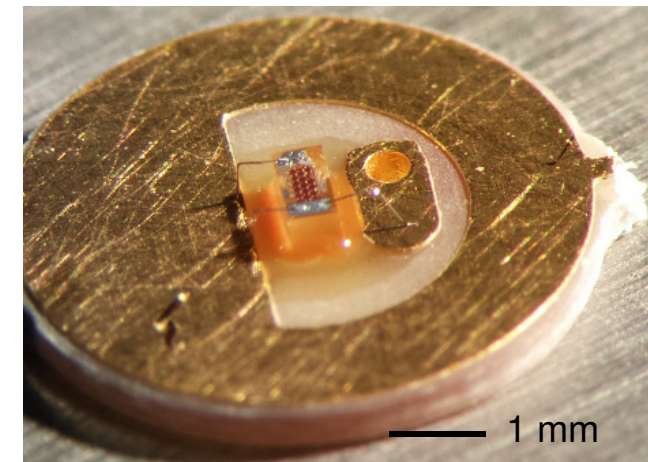
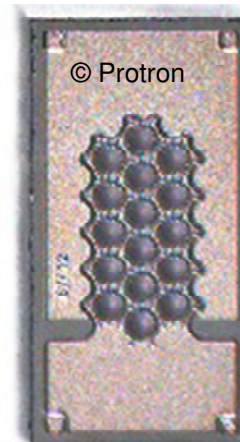


Vorteile:

- Kaum Drift, keine Hysterese
- **Etwa** passender Messbereich, Ca. 20 - 80 N/cm² (touch mode)
- Schnell (>100 Hz)

Nachteile

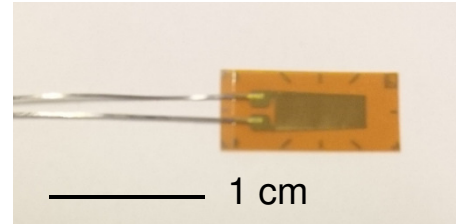
- Klein, nur punktuelle Messung
- Teuer (bis einige 1.000: Ca. 10 €/Stk.)
- Zusätzliches Interface nötig (Platine)
- Mech. stabil?



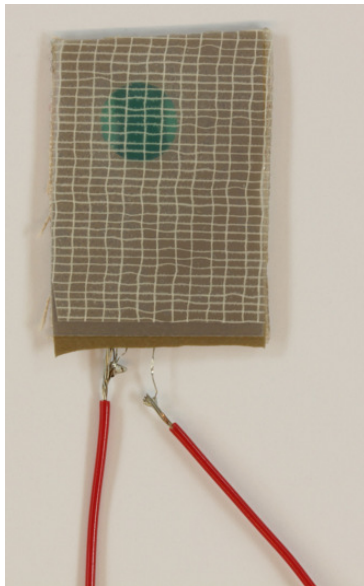
Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Sensortechnik: Dehnungsmessstreifen (DMS), resistiv

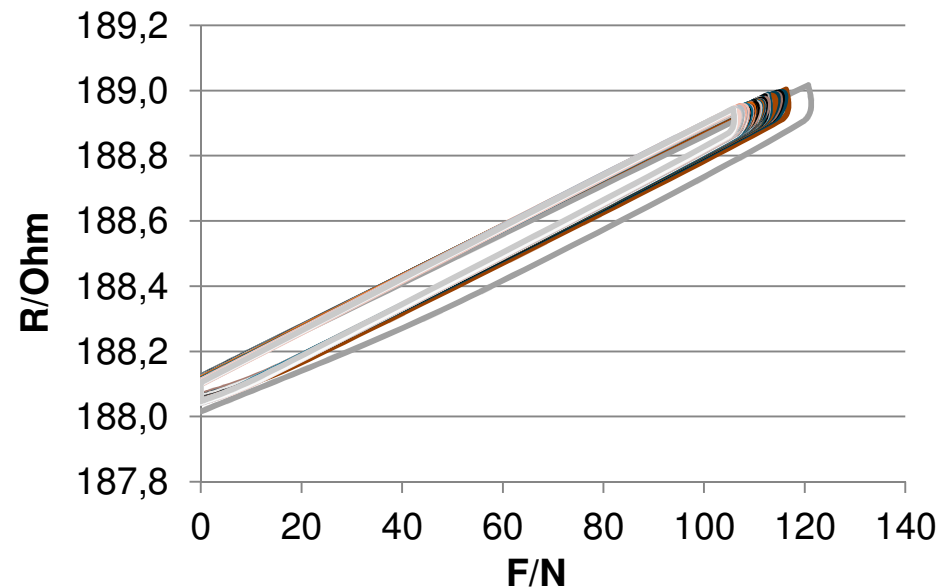
Typ: HBM LY18-6/120 (Al), $120\Omega \pm 0,35\%$:



Eingebettet in Textil:



100 Belastungszyklen (Ausdehnung in Polyurethan), RT:



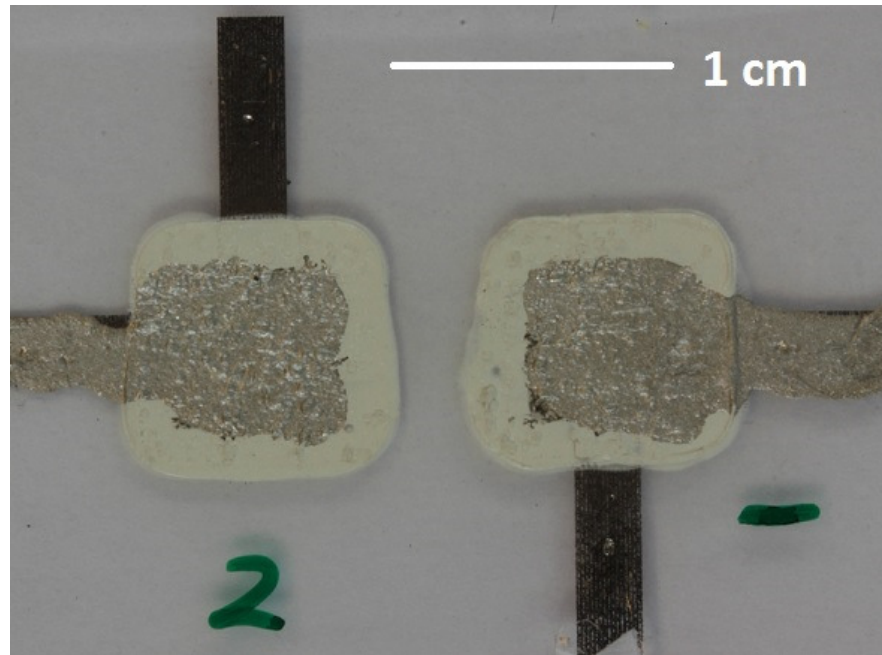
- Performance ok, aber Sensor wohl zu teuer.
- Kleiner Messbereich ($\sim 1\text{ Ohm}$, ungünstig für äußere Einflüsse)
- Außerdem: Ähnlicher Aufbau wie Leiterbahnen → Störende Einflüsse durch ähnliche Signale?



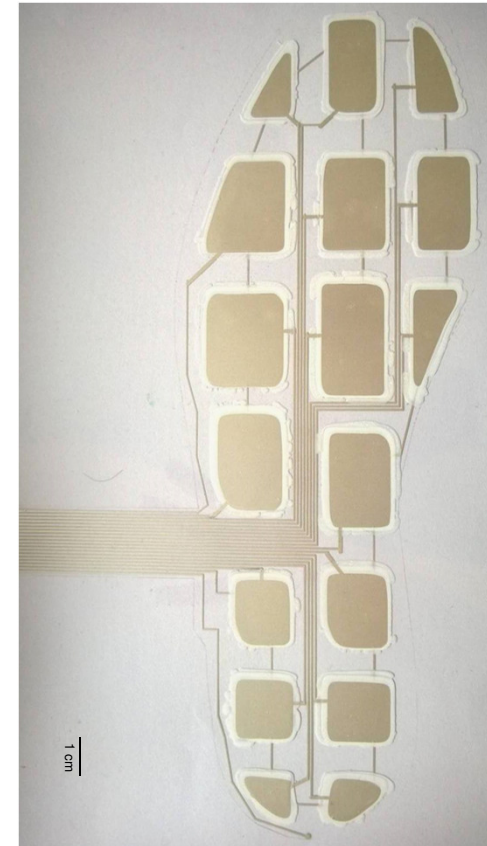
Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Sensortechnik: Gedruckte, piezoelektrische Sensorflächen (Masterarbeit V.S. Sethu-Madhavan)

Erstes Labormuster gedruckter Piezo-sensitiver Flächen:



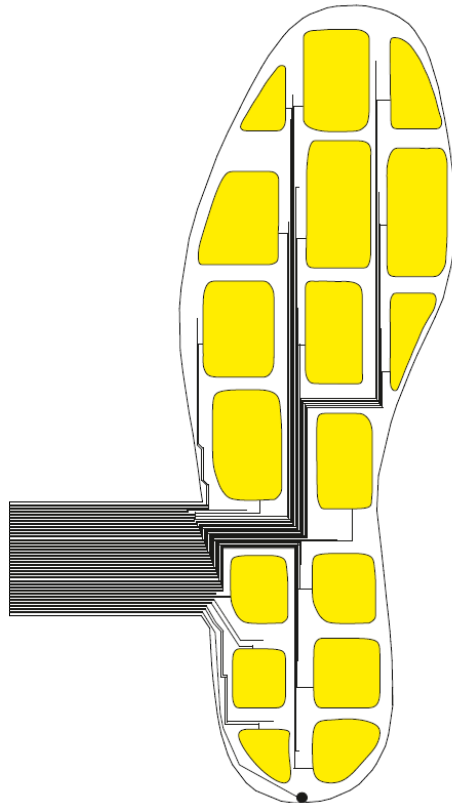
Inlay mit gedruckten Piezo-Sensorflächen



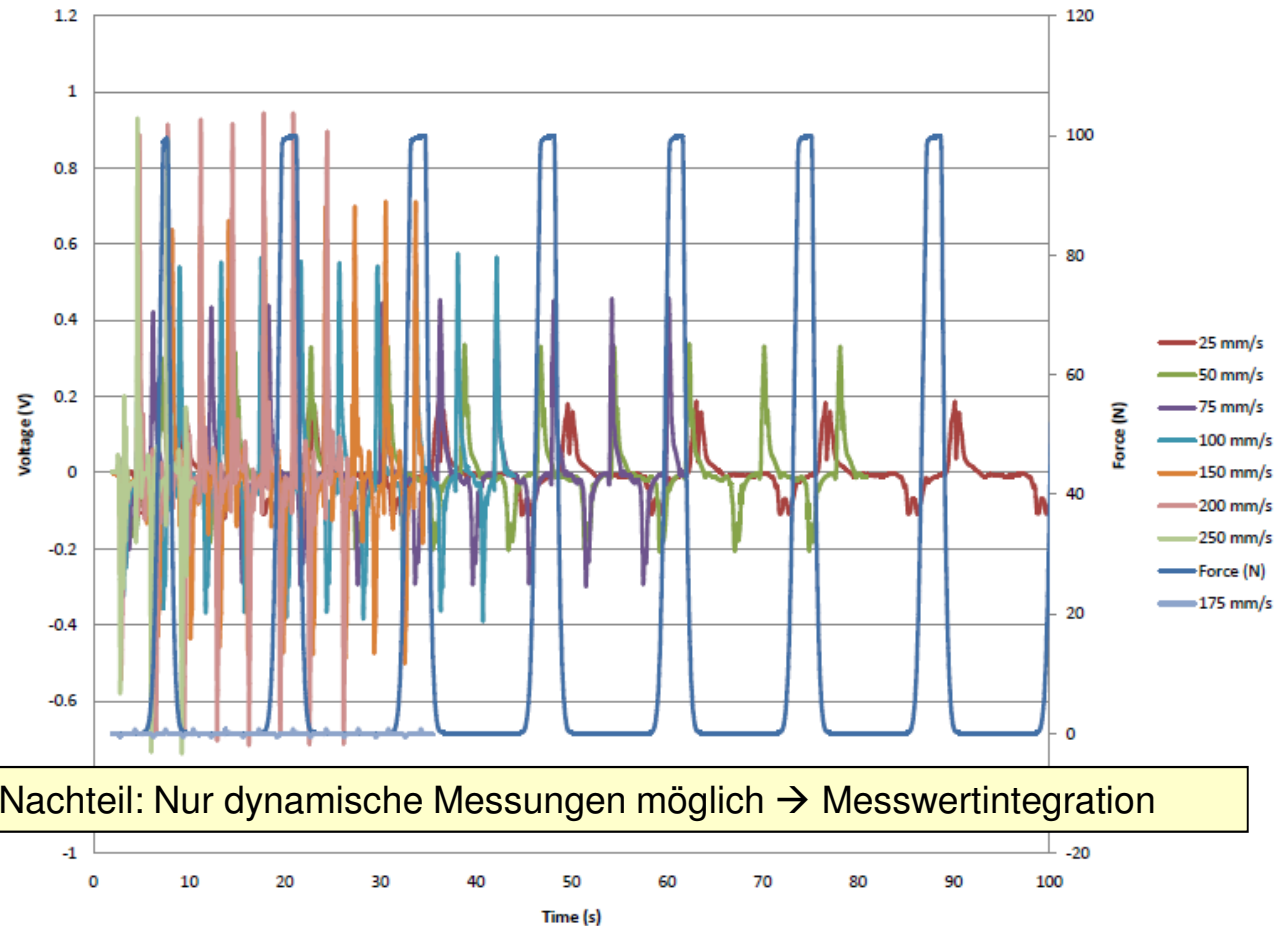
Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Prinzip: Gedruckte piezoelektrische Sensorflächen (Masterarbeit V.S. Sethu-Madhavan)

Layout für Inkjet- & Schablonendruck:



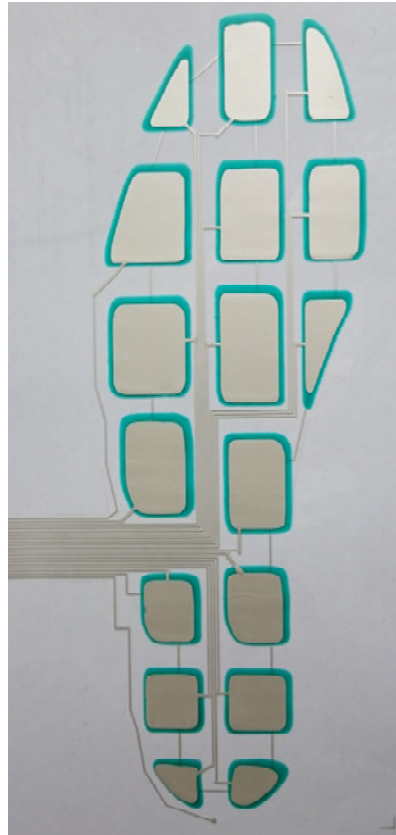
Sensitivity of printed BaTiO₃_different Velocities



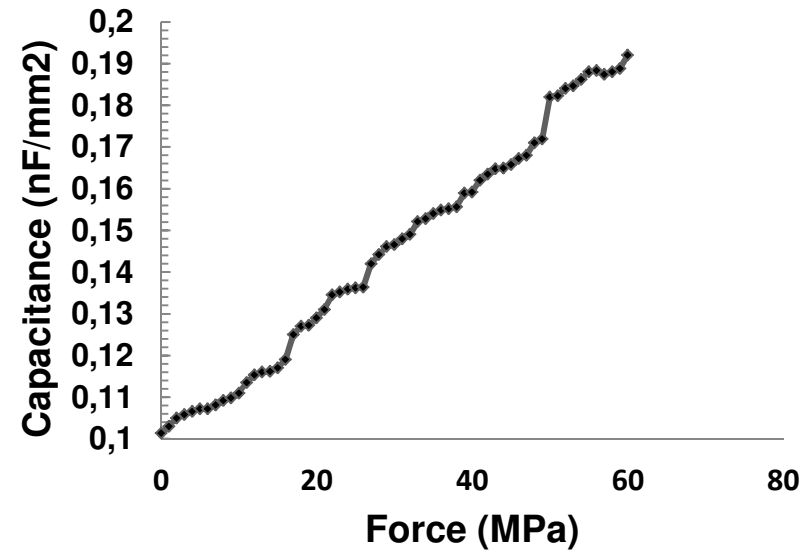
Vergleich verschiedener Sensortechnologien

Prinzip: Gedruckte kapazitive Sensorflächen (Masterarbeit V.S. Sethu-Madhavan)

Mit Sensorflächen bedrucktes Inlay



Charakterisierung: Normierte Kapazität vs. Kraft:



Erfüllt die meisten Anforderungen an die Sensorik, werden resistive Foliensensoren ersetzt.

