

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR INTEGRIERTE SCHALTUNGEN IIS

BMBF-PROJEKT PIEZOTEX

Abschlussbericht Fraunhofer IIS

BMBF-PROJEKT PIEZOTEX

Abschlussbericht zum Deutschen Teilvorhaben
„Untersuchung und Entwicklung von
elektronischen, integrierten Schaltungen für
Piezoelektrische Fasern“

Dr. Peter Spies

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS

Verbundnummer: V4ERA007

Förderkennzeichen: 16SV5484K

Projektträger VDI/VDE-IT Berlin

Laufzeit des Vorhabens: 1.5.2011 – 30.4.2014

Inhalt

1	Kurzdarstellung	4
1.1	Aufgabenstellung.....	4
1.2	Planung, Ablauf und Zusammenarbeit	6
1.3	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	9
1.4	Wissenschaftlich–technischer Stand an den angeknüpft wurde	9
1.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	10
2	Eingehende Darstellung	11
2.1	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse	11
2.1.1	Elektrische Charakterisierung von piezoelektrischen Fasern	11
2.1.2	Konzept, Aufbau und Test Powermanagement mit Speicher	15
2.1.3	Charakterisierung von Piezofasern am menschlichen Körper	20
2.1.4	Demonstrator Seilzugschalter	22
2.2	Fortschreibung des Verwertungsplanes	24
2.3	Während der Laufzeit bekannt gewordenen Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens	25
2.4	Erfolgte Veröffentlichungen	25

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Gesamtziel (aus dem Gesamtantrag)

Das Ziel des vorgeschlagenen Projekts ist die Entwicklung von piezoelektrischen PVDF-basierten Fasern und deren Integration mit geeigneter Elektronik. Fokus sind Eigenschaften wie geringer Durchmesser, geringes Gewicht, hohe Flexibilität. Diese Eigenschaften machen die Fasern besonders geeignet für die Integration in textile Strukturen und für die Fertigung von großen Flächen für Sensoren, Aktoren und Energiewandler für Energy Harvesting mit typischen Produktionstechnologien wie Weben oder Stricken.

Erwartete Ergebnisse sind neue leitfähige Polymer-Komposite und Beschichtungsverfahren, eine neue Klasse von piezoelektrischen Fasern und Textilwaren, miniaturisierte Elektronik für die Verarbeitung von mechanischen Spannungsdifferenzen zur Energieversorgung und für die Verarbeitung von textilen Sensorsignalen. Weiterhin werden neue Textilien basierend auf selbstversorgten Sensoren zur Vitalparametermessung für multifunktionale Bekleidungsprodukte (Sport, Arbeit, Gesundheit) und technische Textilien mit neuen Eigenschaften angestrebt.

Der hohe Mehrwert durch Fasern und Materialien zur Datenerfassung und Energieumwandlung stellt ein strategisches Forschungsthema innerhalb Europas dar, ebenso wie es einen großen Markt adressiert und einen wichtigen Sektor europäischer Fertigung betrifft. Das vorgeschlagene Projekt passt hervorragend zu vier Themen der Ausschreibung, nämlich ‚Smart Sensor Systems‘, ‚Medical and Health Devices‘ und ‚Energy for a Mobile Life‘.

Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des deutschen Teilverbundes

Das Arbeitsziel des deutschen Teilverbunds des Projekts Piezotex ist das Powermanagement, die Applikationsgeräte wie Sensoren und Funksender und die finale Systemintegration. Die piezoelektrischen Textilien werden mit einem elektronischen Powermanagement kombiniert, welches die minimalen Ströme der Fasern verarbeiten kann. Die Herausforderung ist nicht-periodische, niederfrequente Ladungspulse zu verarbeiten, wie sie beim Einsatz von Piezomaterialien bei alltäglichen Aktivitäten des menschlichen Körpers wie Arm- und Beinbewegungen auftreten. Diese Ladungspulse müssen in eine konstante Spannung überführt werden, wie sie von herkömmlicher Elektronik und Batterien benötigt werden. Ein spezieller AC-DC Konverter muss entwickelt werden, der einen minimalen Eigenenergieverbrauch hat. Auf Grund der zu erwartenden geringen Ströme des Piezomaterials sind die Leckströme der Elektronik eine weitere Herausforderungen im Powermanagement. Wenn diese nicht minimal klein gehalten werden können, besteht Gefahr dass diese Leckströme die Effizienz der Energieumwandlung signifikant schmälern, da sie im Bereich der Ausgangsströme der Piezofasern liegen können.

Eine weitere Herausforderung ist die Miniaturisierung des gesamten Powermanagements zusammen mit den piezoelektrischen Fasern für die Integration in die Textilien. Hierzu soll im Projekt eine integrierte Schaltung (ASIC) entwickelt werden.

Durch die Kombination der piezoelektrischen Textilien mit dem Powermanagement kann eine vielseitige Energieversorgung bereitgestellt werden. Diese Energieversorgung ist in der Lage, verlustleistungsarme Elektronik, die am menschlichen Körper getragen wird, zu versorgen. Solche Elektronik können Sensoren für die Messung von Vitalparameter wie EKG, Pulsfrequenz oder Sauerstoffsättigung sein. Diese Sensoren werden im Projekt untersucht um Demonstratoren für mögliche Anwendungen von piezoelektrischen Energieversorgungen in Textilien zu realisieren. Weitere Beispiele sind verlustleistungsarme Funksendeempfänger, die in der Lage sind Body-Area-Networks zu bilden. Schließlich sollen Datalogger und dergleichen als Demonstratoren für piezoelektrische Energieversorgungen entwickelt werden.

Größte Innovation der Anwendungen wie Sensoren und Funksendeempfänger sind die Miniaturisierung und die signifikante Reduzierung des Energieverbrauchs. Nur auf diese Weise ist ein selbstversorgter Betrieb mit piezoelektrischen Energieversorgungen möglich, was ein Durchbruch in der Medizintechnik ist.

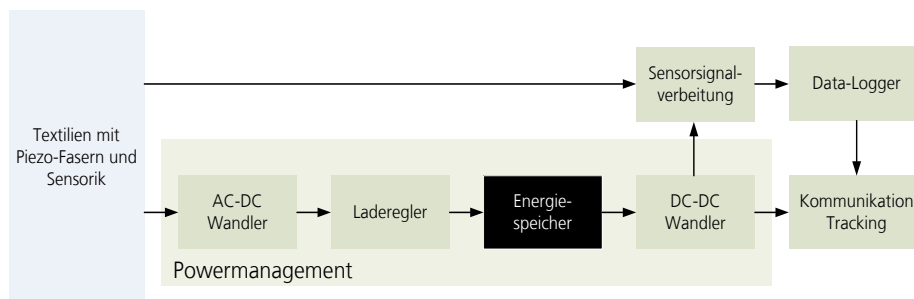


Abbildung 1: Blockschaltbild des Piezotex-Systems

1.2 Planung, Ablauf und Zusammenarbeit

Das Gesamtprojekt Piezotex ist in 5 Arbeitspakete (WP: Workpackages) gegliedert. Die Arbeiten des Fraunhofer IIS sind dabei in die Arbeitspakete 2, 3 und 4 eingeteilt. In Arbeitspaket 2 war die Aufgabe des Fraunhofer IIS die elektrische Charakterisierung der piezoelektrischen Fasern. In Arbeitspaket 3 wurde die komplette Mikroelektronik, vornehmlich die Powermanagement-Schaltungen in Form von Spannungswandlern untersucht und entwickelt. Schließlich wurde vom Fraunhofer IIS in Arbeitspaket 4 ein Demonstrator in Form eines Seilzugschalters aufgebaut und getestet, der die Einsatzmöglichkeiten der piezoelektrischen Fasern demonstriert.

WP\Month	1-6	7-12	13-18	19-24	25-30	31-36
WP1	Developm. of conductive polymer composites & coating materials					
WP2	Development of 2- and 3-component piezoelectric fibers and characterization					
WP3		Development of microelectronics for censoring and energy harvesting applications including contacting and interfacing technology				
WP4			Formulation of requirements and prototype development including testing			
WP5	Management, exploitation and dissemination					

Abbildung 2: Gantt-Chart des Gesamtprojekts Piezotex

Arbeitspaket	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Partner
Anforderungsspezifikation Powermanagement													FhG, ESYS
Anforderungsspezifikation Sensorik + Signalverarbeitung													Corscience, FhG
Anforderungsspezifikation Logging, Tracking und Kommunikation													ESYS, FhG, Corscience
Elektrische Charakterisierung Piezofasern													FhG
Elektrische Charakterisierung elektrischer Bauteile in Textilien													FhG, ESYS
Konzeptentwicklung, Aufbau und Test Sensorik													Corscience, FhG
Vitalparametersensorik													Corscience
Algorithmik													Corscience
Konzept, Aufbau und Test Powermanagement mit Speicher													FhG, ESYS
Konzeptentwicklung Logging, Tracking und Kommunikation													ESYS, FhG, Corscience
System- und Schaltungsentwicklung, Aufbau und Test Logging													ESYS
System- und Schaltungsentwicklung, Aufbau													ESYS

und Test Tracking														
System- und Schaltungsentwicklung, Aufbau und Test Kommunikation														ESYS
Chipentwicklung Powermanagement														FhG
Chipfertigung und Charakterisierung														FhG
Reentwicklung Powermanagement														FhG
Systemintegration Prototype und Test														Corscience, ESYS, FhG
Qualifikation														Corscience
Verbreitung														FhG, ESYS Corscience,
<i>Meilensteine</i>			M1			M2				M3	M4			
Arbeitspaket	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Partner	
Anforderungsspezifikation Powermanagement														FhG, ESYS
Anforderungsspezifikation Sensorik + Signalverarbeitung														Corscience, FhG
Anforderungsspezifikation Logging, Tracking und Kommunikation														ESYS, FhG, Corscience
Elektrische Charakterisierung Piezofasern														FhG
Elektrische Charakterisierung elektrischer Bauteile in Textilien														FhG, ESYS
Konzeptentwicklung, Aufbau und Test Sensorik														Corscience, FhG
Vitalparametersensorik														Corscience
Algorithmik														Corscience
Konzept, Aufbau und Test Powermanagement mit Speicher														FhG, ESYS
Konzeptentwicklung Logging, Tracking und Kommunikation														ESYS, FhG, Corscience
System- und Schaltungsentwicklung, Aufbau und Test Logging														ESYS
System- und Schaltungsentwicklung, Aufbau und Test Tracking														ESYS
System- und Schaltungsentwicklung, Aufbau und Test Kommunikation														ESYS
Chipentwicklung Powermanagement														FhG
Chipfertigung und Charakterisierung														FhG
Reentwicklung Powermanagement														FhG
Systemintegration Prototype und Test														Corscience, ESYS, FhG
Qualifikation														Corscience
Verbreitung														FhG, ESYS

Kurzdarstellung

Kostenvorteile geschaffen. Letztlich erzeugen die Piezofasern relativ hohe Spannungen, was eine Integration in ein IC nur bedingt möglich und sinnvoll macht. Deshalb wurde in Abstimmung mit dem Projektträger entschieden, die im Projekt entwickelten Schaltungen nicht mehr als ASIC zu realisieren.

1.3 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Hauptvoraussetzung für die Durchführung des Vorhabens war die Bündelung der Kompetenzen der am Projekt beteiligten Firmen. Speziell die Kombination des Know-hows über funktionalen Textilien der schwedischen und portugiesischen Partner und das Elektronik- und Anwendungswissen der deutschen Firmen machte das Gesamtvorhaben erst möglich.

Bezüglich des deutschen Teilvorhabens lagen die Voraussetzungen im Background-Know-how der Firmen Corscience, Esys und des Fraunhofer IIS. Dies sind vor allem die Kenntnisse im Bereich der low-power Schaltungstechnik, der verlustarmen Funkkommunikation und der medizinischen Sensorik.

1.4 Wissenschaftlich–technischer Stand an den angeknüpft wurde

Energy Harvesting nutzt Energie aus der Umwelt, um kleine elektronische Verbraucher wie Sensoren, Mikrokontroller, Displays oder Funksender mit Energie zu versorgen. Damit wird die Lebenszeit von Batterien verlängert oder Batterien komplett überflüssig gemacht. Eine Möglichkeit, mechanische Energie in elektrische Energie umzuwandeln, sind piezoelektrische Materialien. Sie reagieren auf mechanische Verformung mit einer Ladungstrennung. Da Piezomaterialien auf Grund ihrer Wirkungsweise nur Strom- bzw. Spannungspulse produzieren, sind Spannungswandler und Anpassschaltungen nötig, die diese Pulse in Gleichspannung zur Ladung von Batterien oder der Versorgung von elektrischen Verbrauchern umwandeln.

Im Bereich piezoelektrischer Materialien sind am Markt nur feste und teilweise flexible Materialien wie PZT oder PVDF verfügbar. Diese sind meist in Schichten oder Folien erhältlich. Hierfür existieren auch erste kommerziellen Spannungswandler und Powermanagement-Schaltungen bzw. wurden vom Fraunhofer IIS in Vorgängerprojekten (BMBF PiezoEN, Verbundnummer V3EAS024, Förderkennzeichen 01RI05060) entwickelt.

Die piezoelektrischen Fasern, die im Projekt beim Partner Swerea entstanden sind, sind kaum erforscht oder verfügbar. Daher existieren hierfür auch keine passenden Spannungswandler-Schaltungen.

Bezüglich der Entwicklung von Dataloggern, Trackingsystemen und drahtgebundener wie auch drahtloser Kommunikation ist international der gemeinsame Trend in Richtung Minimierung des Energieverbrauchs und Erhöhung der Performance also zweier antagonistischer Eigenschaften zu verzeichnen. Speziell auf dem Gebiet textiler Elektronik sind starke Aktivitäten bezüglich Energieverbrauchsminimierung, Miniaturisierung und Implementierung von elektronischen Funktionalitäten in die Textilien zu registrieren. International besteht derzeit das Problem, durch neue Ansätze

wie signalorientierte Erfassung und Verarbeitung der Daten und Integration elektronischer Funktionen in die Textilien entscheidende Fortschritte zu erzielen.

Diesen Schwerpunkten widmet sich auch der System- und schaltungstechnische Teil des Projektes bezogen auf die Datenerfassung, Verfolgung und Kommunikation.

1.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ziel des Projekts Piezotex war die Entwicklung von piezoelektrischen PVDF-basierten Fasern und deren Integration mit geeigneter Elektronik. Die Piezofasern sollen als Sensoren als auch als Energiewandler eingesetzt werden. Fokus des deutschen Konsortiums war dabei die Powermanagement- und Anwendungselektronik in Form von Spannungswandlern, Ladeschaltungen und Sensor- und Funkelektronik.

Am Fraunhofer IIS wurden dabei unterschiedliche Versionen der Piezofasern charakterisiert. Es entstanden dabei elektrische Modelle und Ersatzschaltbilder dieser Piezofasern. Diese wurden eingesetzt, um optimierte Spannungswandler zur Gewinnung der maximalen elektrischen Energie aus den Piezomaterialien zu entwickeln. Weiterhin dienten die elektrischen Charakterisierungen als Anhaltspunkt für die Optimierung der Piezofasern.

Es wurden unterschiedliche Spannungswandler aufgebaut, elektrisch charakterisiert und verglichen. Als Referenz diente eine kommerziell verfügbare integrierte Schaltung. Die leistungsfähigste Architektur war dabei der einfache Brückengleichrichter, welcher bei Verwendung mit den Piezofasern den besten Wirkungsgrad aufweist.

Am Fraunhofer IIS wurde im Projekt der Einsatz der piezoelektrischen Fasern als Energiewandler am menschlichen Körper untersucht. Die Fasern wurden dabei auch mit kommerziell verfügbaren Piezowandlern wie PZT-Materialien verglichen. Bei der Charakterisierung der unterschiedlichen Stellen am menschlichen Körper wurde am Ellenbogen die meist Energie gewonnen.

Schließlich wurde ein Demonstrator realisiert, bei dem die piezoelektrischen Fasern als Zugseil eingesetzt werden. Durch Zug an den Fasern wird ein Strompuls erzeugt. Dieser Strompuls wird vom Spannungswandler umgewandelt, in einem Kondensator zwischengespeichert und zur Versorgung eines Funksenders verwendet. Dieser Funksender sendet ein Signal um z.B. eine Lampe ein- oder auszuschalten. So wurde ein energie-autarker, kabelloser Funkschalter entwickelt.

Die piezoelektrischen Fasern der Projektpartner Swerea blieben leider mit ihren Eigenschaften hinter den Erwartungen zurück. Im Anschluss an dieses Projekt sollen nun vergleichbare, kommerziell verfügbare Piezomaterialien recherchiert werden, mit denen die entwickelten Spannungswandler in realen Anwendungen erprobt und weiterentwickelt werden.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

2.1.1 Elektrische Charakterisierung von piezoelektrischen Fasern

In der ersten Projektphase wurden Muster der piezoelektrischen Fasern des schwedischen Forschungspartners elektrisch charakterisiert. Ziel bei der Charakterisierung war die Ermittlung der elektrischen Parameter dieser Fasern. Dies sind vor allem der elektrische Widerstand sowie die elektrischen Induktivitäten und Kapazitäten bzw. der Induktivitäts- und Kapazitätsbelag. Diese Parameter werden benötigt, um die Spannungswandler, welche aus den generierten Strompulsen der Piezofasern eine Gleichspannung erzeugen, optimal an die Fasern anzupassen. Nur durch optimale Anpassung zwischen Piezofaser und Speicher durch geeignete Spannungswandler und Ladeschaltungen kann die Energieausbeute maximiert werden.

Für diese Charakterisierung war zunächst der Aufbau eines Impedanzmeßplatzes notwendig. Hier wird der Wechselstrom-Widerstand der Piezofasern über der Frequenz gemessen werden.



Abbildung 3: Impedanzspektrometer zu Ermittlung des Wechselstromwiderstands der Piezofasern



Abbildung 4: Charakterisierung erster Muster von Piezofasern

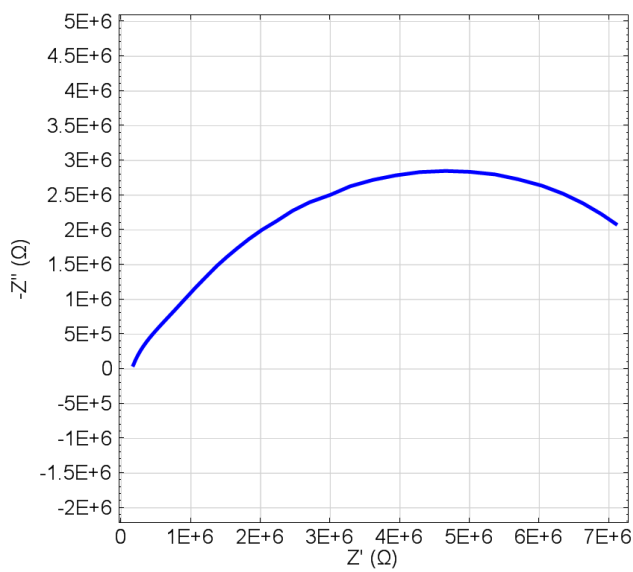


Abbildung 5: Impedanzkreis eines Textils aus piezoelektrischen Fasern zwischen 0,5 Hz und 4 kHz

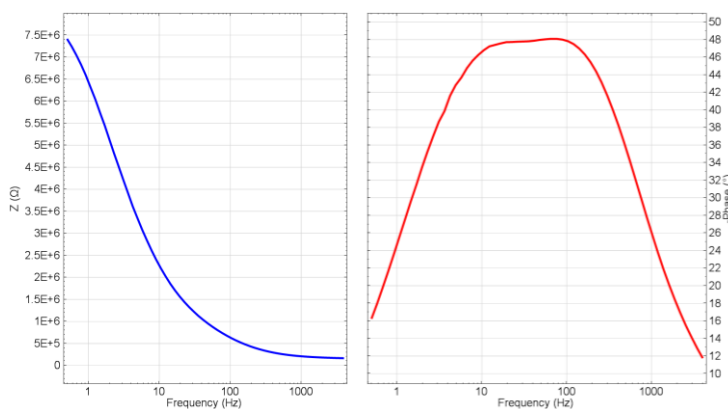


Abbildung 6: Frequenz- und Phasengang eines Textils aus piezoelektrischen Fasern (0,5 Hz – 4 kHz)

Mit Hilfe der Messung der Impedanz konnte nun ein elektrisches Ersatzschaltbild der Piezofasern entwickelt werden. Dieses wurde mit einem gebräuchlichen Schaltungsmodellierungs-Werkzeug (CADENCE) erstellt und dient nun dazu, mögliche Spannungswandler-Architekturen in der Simulation zu untersuchen und zu vergleichen. Die Spannungswandler müssen zur optimalen Anpassung den konjugiert komplexen Wert dieser Impedanz am Eingang aufweisen.

Eingehende Darstellung

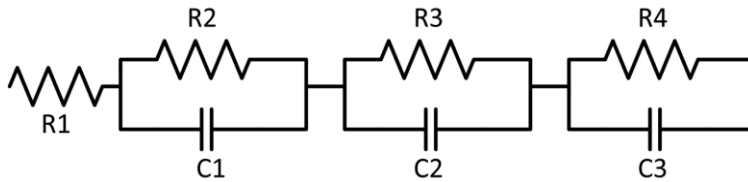


Abbildung 7: Ersatzschaltbild für die Piezofasern

Element	Value (Ω, F)	Estimated Error (%)
R1	4.66×10^5	0.96
R2	2.03×10^7	0.97
C1	5.51×10^{-9}	1.2
R3	6.4×10^6	6.9
C2	1.18×10^{-8}	5.6
R4	5.53×10^5	1.9
C3	1.35×10^9	1.8

Tabelle 1: Werte der elektrischen Elemente des Ersatzschaltbilds der Piezofasern

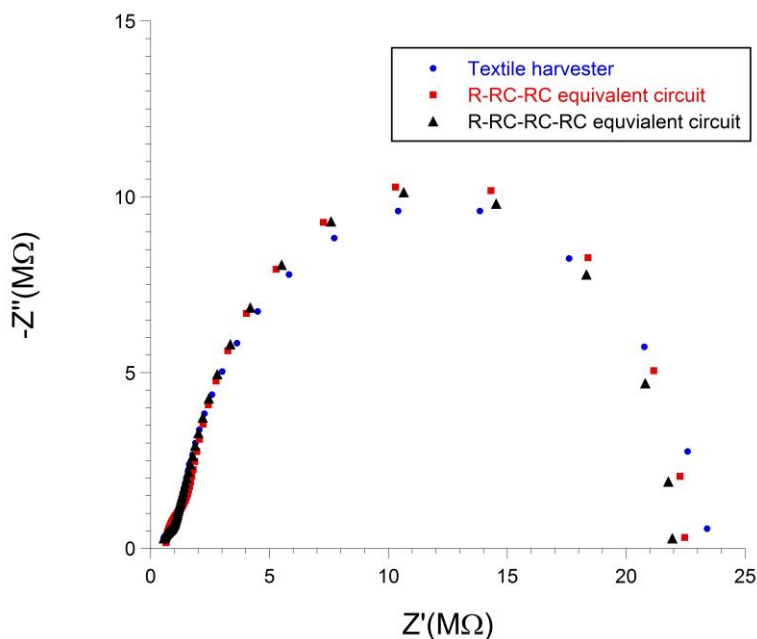


Abbildung 8: Impedanz der Piezofasern und der Ersatzschaltbilder

Weiterhin wurden die piezoelektrischen Fasern des Partners periodisch ausgelenkt und die elektrische Leistung gemessen. Zur Berechnung der möglichen elektrischen Leistung der Fasern wurde das Leistungsverhältnis aus nicht-komplexer zu komplexer Leistung berechnet:

.....
Eingehende Darstellung

$$\text{Power Ratio} = \frac{P_{\text{non-complexload}}}{P_{\text{complex-load}}}$$

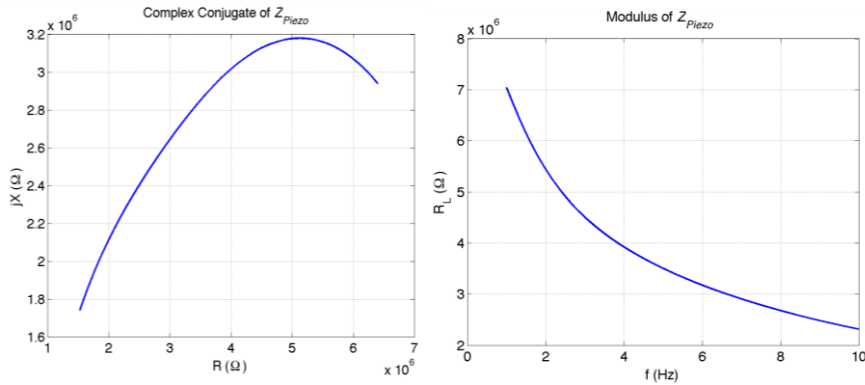


Abbildung 9: Ausgangsleistung der Fasern mit 83 g im Frequenzbereich 1 bis 10 Hz

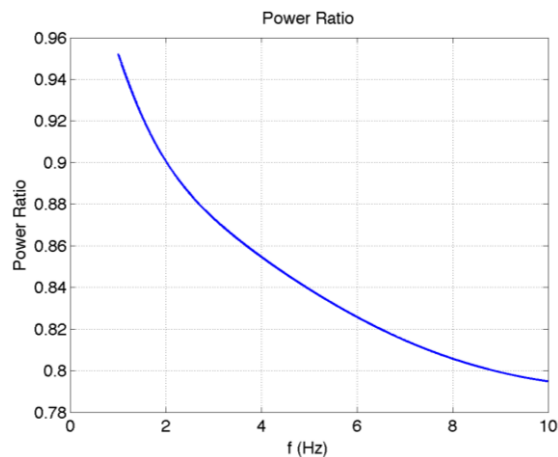
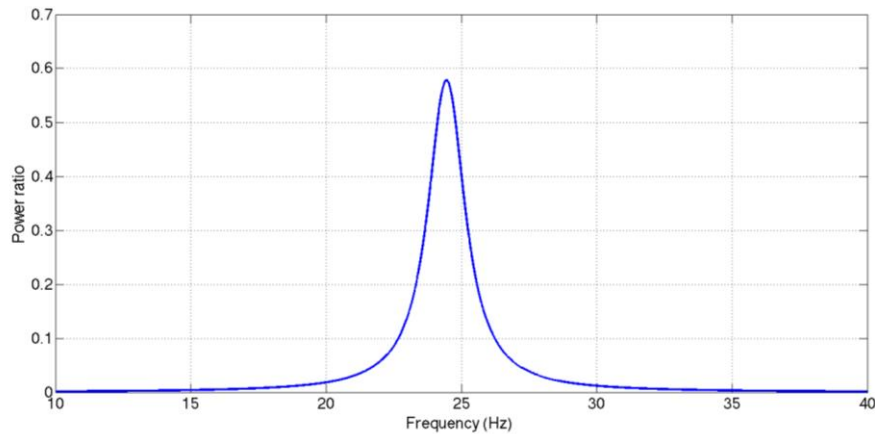


Abbildung 10: Leistungsverhältnis der Fasern mit 83 g im Frequenzbereich 1 bis 10 Hz

Zum Vergleich und als Anhaltspunkte für die weitere Optimierung der Fasern wurden käufliche, keramische Piezoelemente mit höherer Leistungsausbeute elektrisch charakterisiert und vermessen und das Leistungsverhältnis mit dem der Piezofasern verglichen.



Eingehende Darstellung

Abbildung 11: Leistungsverhältnis keramischer Fasern

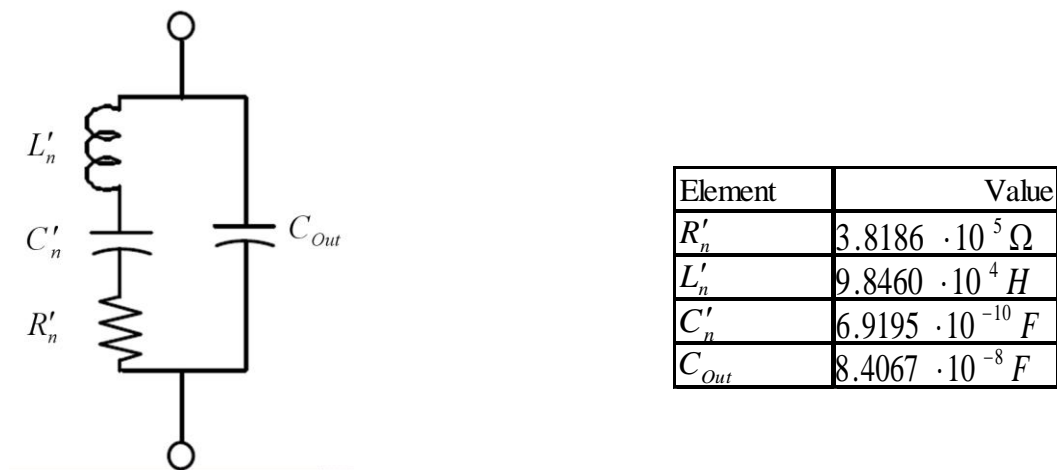


Abbildung 12: Ersatzschaltbild keramischer Piezoelemente

2.1.2 Konzept, Aufbau und Test Powermanagement mit Speicher

Am Fraunhofer IIS wurden im Projekt unterschiedliche Spannungswandler-Architekturen entwickelt, aufgebaut und getestet. Als Optionen wurden ein Vollbrücken-Gleichrichter (Diodenbrücke DB) und unterschiedliche Halbbrücken-Gleichrichter (MOSB, ActMOSB) aufgebaut. Bei den verwendeten Dioden musste speziell auf kleinere Kapazitäten, einen geringen Rückstrom und eine minimale Durchlassspannung geachtet. Ebenso haben die verwendeten MOSFETs besonders kleine Kapazitäten und sind für schnelle Schaltanwendungen geeignet. Eine Alternative war ein kommerziell verfügbarer Chip der Firma Linear Technology (LTC3588), der als Vergleich mit charakterisiert wurde. Als Energiequelle beim Test der Spannungswandler dienten unterschiedliche Muster von Piezofasern, die vorab am Fraunhofer IIS schon einzeln vermessen und in mehreren Feedback-Schleifen beim Partner Swerea optimiert wurden.

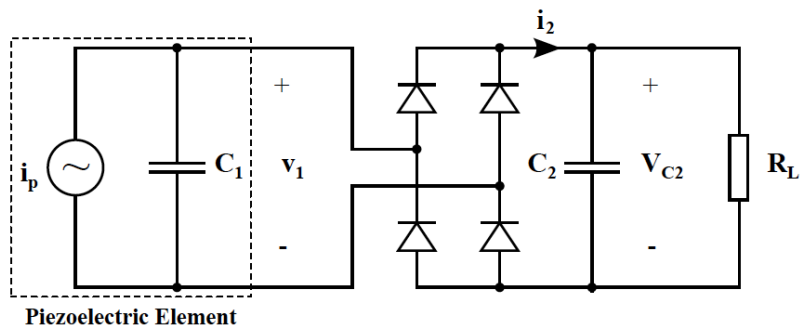


Abbildung 13: Vollbrücken-Gleichrichter (DB)

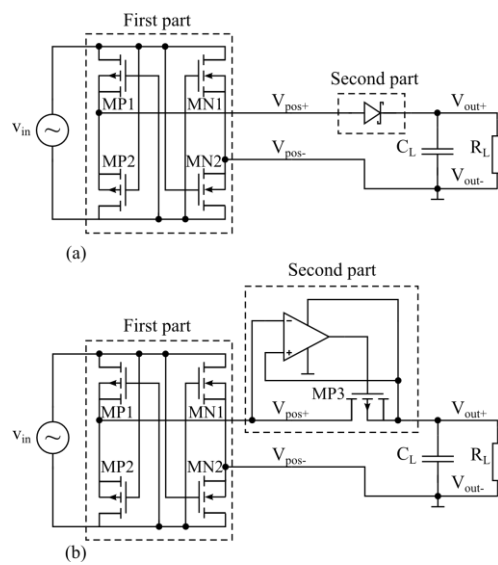


Abbildung 14: Halbbrücken-Gleichrichter mit Diode (oben, MOSB) und MOSFET (unten, ActMOSB)

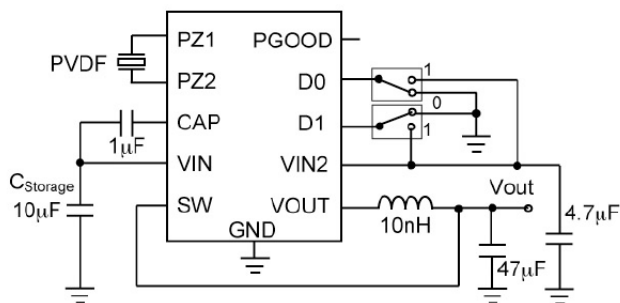


Abbildung 15: Kommerzieller Chip von Linear Technology

Die Spannungswandler wurden entsprechend der elektrischen Charakterisierung (Impedanzspektroskopie) an die Piezofasern angepasst und verbunden. Die Fasern

wurden von einem Shaker an einem Ende um 1 mm mit einer Frequenz von 4,5 Hz ausgelenkt.

Eingehende Darstellung

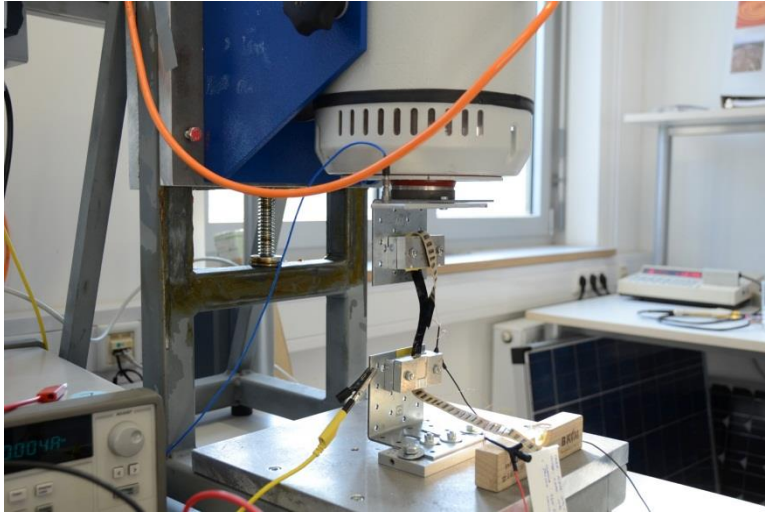


Abbildung 16: Messaufbau mit Shaker (oben) zur Auslenkung der Piezofasern

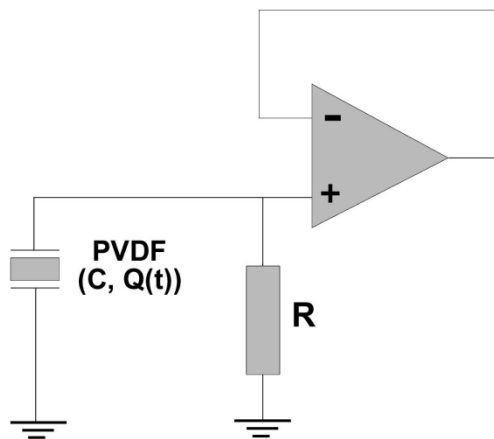


Abbildung 17: Testschaltung zur Messung der Spannung der Piezofasern

Die folgende Tabelle gibt eine Zusammenfassung der Messungen mit verschiedenen Piezofasern. P_{max} ist dabei die maximale Leistung, die von den piezoelektrischen Fasern geliefert wird, wenn am Ausgang der Lastwiderstand R_L angeschlossen ist. V_{out} ist die gelieferte Spannung an R_L .

Piezoelectric Fiber	Pmax (μ W)	RL (Ω) at Pmax	Vout (V) at Pmax
#3	20.7	4 M	9.1
#4	24	9 M	14.7
#5	25	4 M	10
#6	20.7	10 M	14.4
P1	1.52	18 M	5.23
P2	5.13	6 M	5.55
P3	0.6	8 M	2.18
P4	1.48	10 M	3.85

Eingehende Darstellung

Abbildung 18: Ausgangsleistung der unterschiedlichen Piezofasern



Abbildung 19: Muster eines Textils mit Piezofasern (#5)

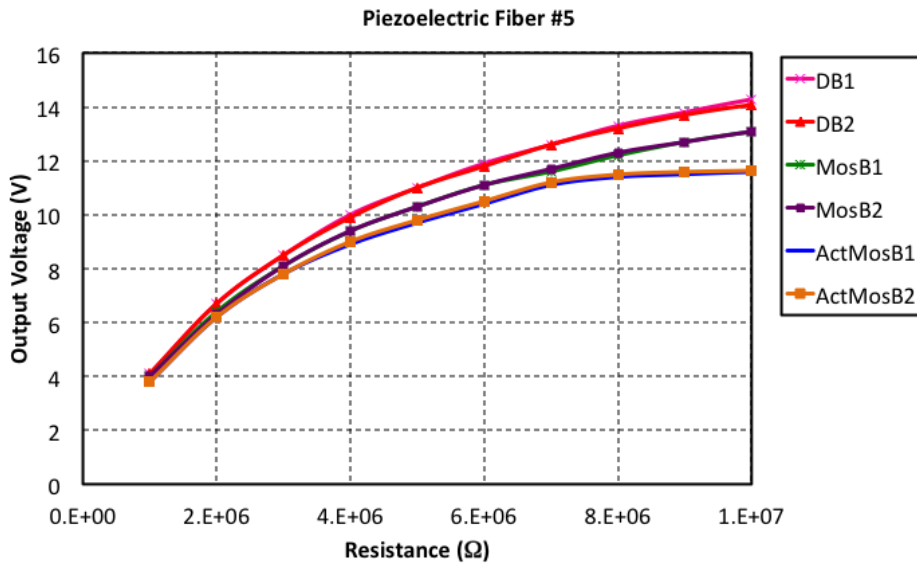


Abbildung 20: Ausgangsspannung eines Piezotextils (#5) mit verschiedenen AC-DC Wandlern

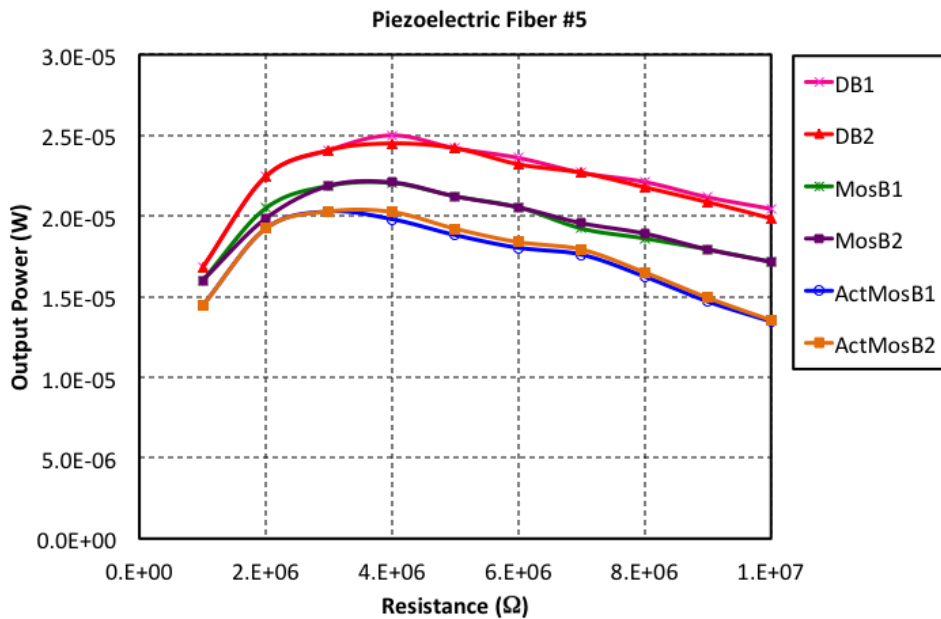


Abbildung 21: Ausgangsleistung eines Piezotextils (#5) mit verschiedenen AC-DC Wandlern

Die Spannungswandler wurden mit unterschiedlichen Mustern von Piezofasern getestet. Durch Variation des Lastwiderstands wurde die maximale elektrische Leistung des Musters ermittelt. Es zeigte sich dass die Diodenbrücke (DB) immer die größte Leistung aus den Piezofasern zur Verfügung stellt. Der kommerzielle Chip lag bei allen Messungen bei der bereitgestellt Ausgangsleistung deutlich hinter den anderen Architekturen.

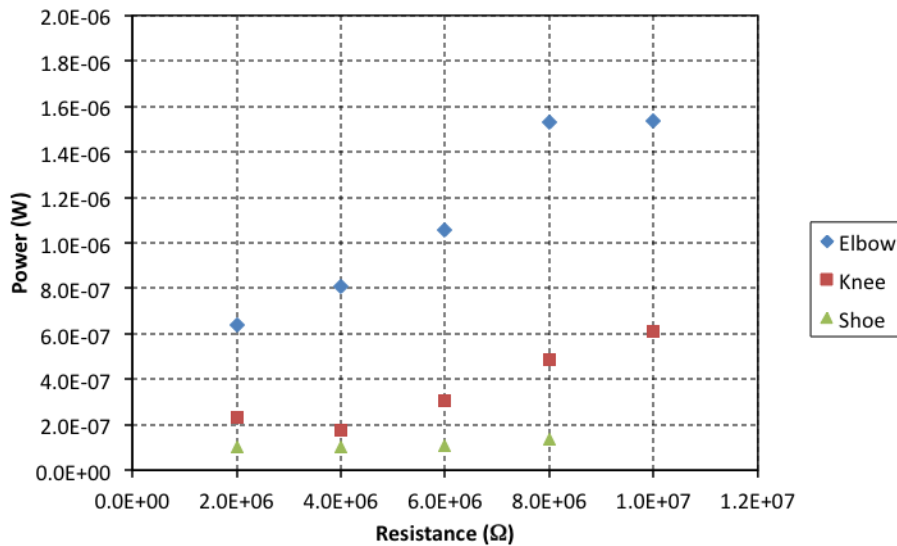
2.1.3 Charakterisierung von Piezofasern am menschlichen Körper

Eingehende Darstellung

Um mögliche Anwendungen der Piezofasern am menschlichen Körper zu bewerten, wurden die Muster in praktischen Versuchen charakterisiert. Die Piezofasern wurden in eine Arm- und eine Beinbandage als auch in einer Einlegesohle befestigt und es wurde die elektrische Energie, die die Piezofasern bei normaler körperlicher Aktivität bereitstellen, gemessen.



Abbildung 22: Charakterisierung der Piezofasern an einer Arm-, einer Beinbandage und einer Einlegesohle



Eingehende Darstellung

Abbildung 23: Leistungsausbeute der Piezofasern an einer Arm-, einer Beinbandage und einer Einlegesohle

Zum Vergleich wurden auch kommerzielle PVDF Folien am menschlichen Körper charakterisiert.

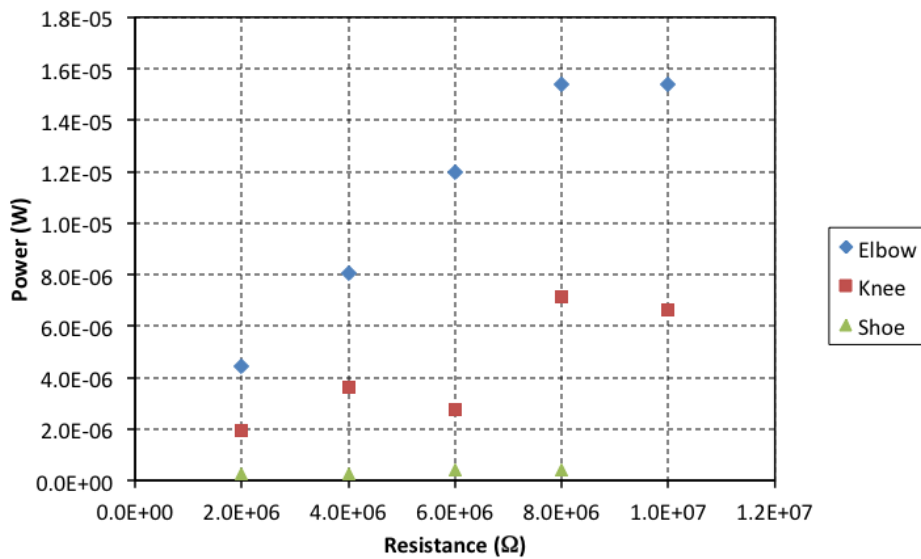


Abbildung 24: Leistungsausbeute kommerzieller Piezofolien an einer Arm-, einer Beinbandage und einer Einlegesohle

Sowohl mit den Piezofasern aus dem Projekt als auch mit kommerziellen Piezofolien wurde am Ellenbogen die größte elektrische Leistung gemessen. Die gemessenen Leistungen bewegen sich im Bereich von 2 bis 16 μ W.

2.1.4 Demonstrator Seilzugschalter

Eingehende Darstellung

Die ursprünglich geplante Anwendung der Piezofasern in medizinischen mobilen Endgeräten wurde aus zwei Gründen verworfen. Einerseits liefern die Fasern relativ geringe Mengen an elektrischer Energie. Auf Grund der niedrigen Bewegungsfrequenzen am menschlichen Körper, der geringen Auslenkungen und da eine großflächige Integration der Fasern in Textilien im Projekt von den Partnern nicht umgesetzt wurde, sind deutlich zu kleine Energiemengen zu erwarten. Andererseits sind speziell in medizinischen Geräten im Allgemeinen hohe Datenerfassungsraten sowie eine hohe Datensicherheit nötig. Beides erzeugt einen relativ hohen Energieverbrauch der Geräte und macht so die Anwendung von Energy Harvesting generell und die Verwendung der Fasern im speziellen in der Medizintechnik nur schwer möglich.

Um den Einsatz der Piezofasern als Energiewandler zu demonstrieren, wurde im Projekt ein Seilzugschalter realisiert. Piezofasern werden dabei durch Ziehen ausgelenkt und erzeugen elektrische Energie zur Versorgung eines Funksenders. Dieser Funksender kann Funktelegramme zur Steuerung beliebiger Aktionen wie das Öffnen eines elektrischen Garagentors, das Einschalten einer Lampe oder Auslösen einer Alarmierung versenden. Weitere Anwendungsgebiete dieser Technologie sind Seile, Tawe oder Planen, wo die Piezofasern zur Energieversorgung beliebiger Sensoren verwendet werden können.

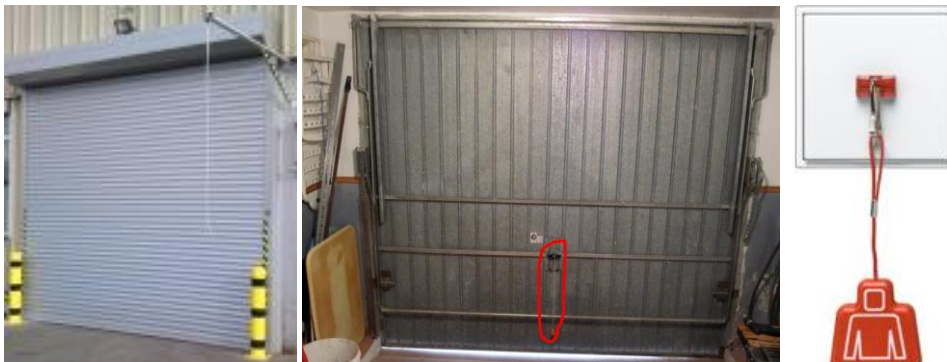


Abbildung 25: Unterschiedliche Anwendungsgebiete des Demonstrators Seilzugschalter

In ersten Versuchen wurde die typische Zugkraft an Zugseilswitchern mit etwa 50 N gemessen. Weitere Versuche an den aktuellen Piezofasermustern ergaben eine Leistungsausbeute bis zu 20 μ W. Anschließend wurden vom Partner Swerea Piezofasern gefertigt, die für diesen Anwendungszweck optimiert sind. Die Elektronik für die Funktelegrammübertragung wurde in Abstimmung mit dem Partner Esys ausgewählt. Dabei handelt es sich um ein Funkmodul der Firma EnOcean (STM312). Als Spannungswandler dient der im Projekt realisierte und untersuchte Diodenbrücken-Gleichrichter (DB).

Durch Verschaltung mehrerer Piezofasern und mehrmaliges Ziehen kann damit der Funksender versorgt werden. Trotzdem bleibt die Leistungsfähigkeit der verwendeten Piezofasern hinsichtlich Spannungs- und Leistungsausbeute deutlich hinter den Erwartungen zurück. Im Anschluss an dieses Projekt sollen nun andere kommerzielle Piezomaterialien recherchiert und eingesetzt werden, um die Ergebnisse weiter zu entwickeln und in realen Anwendungen zu nutzen.

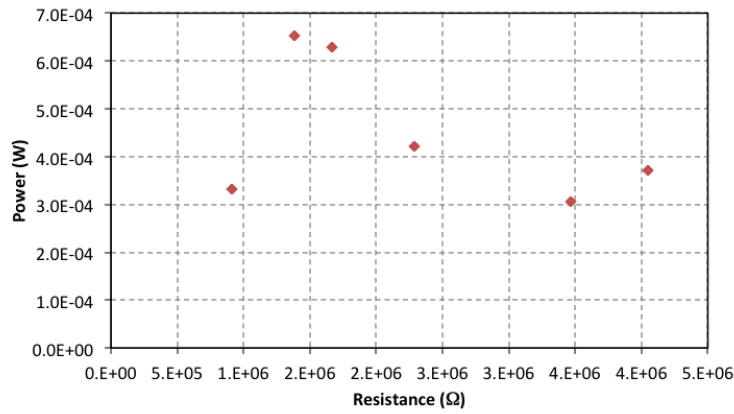


Abbildung 26: Leistungsausbeute eines Musters von Piezofasern bei Zug mit 50 N

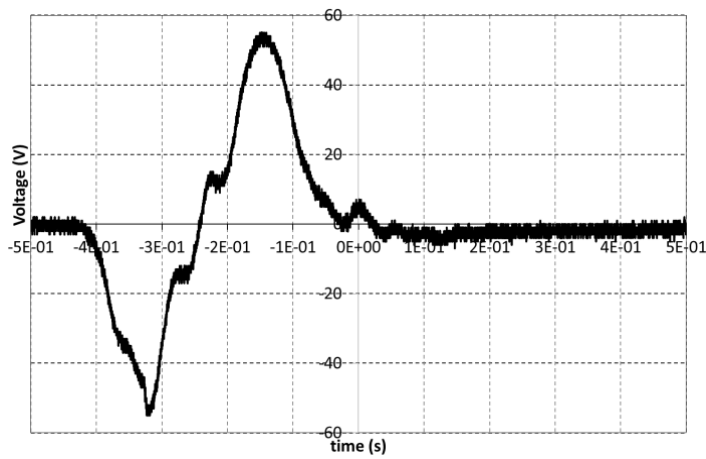


Abbildung 27: Spannung eines Musters von Piezofasern bei Zug mit 50 N

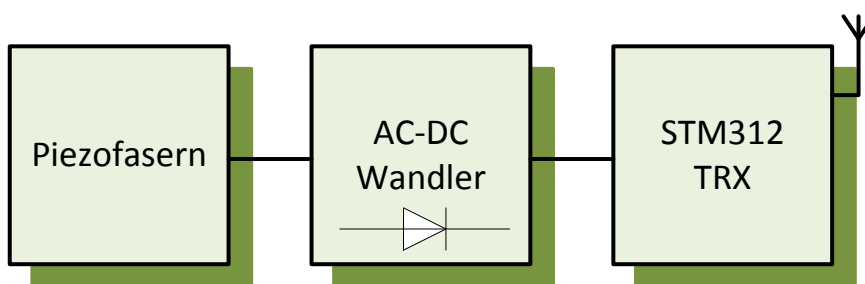


Abbildung 28: Blockschaltbild des Demonstrators Seilzugschalter

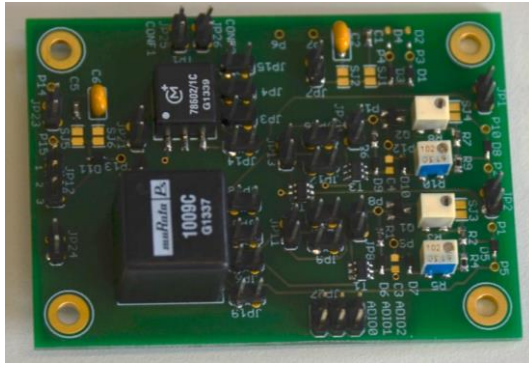


Abbildung 29: Platine des Powermanagements im Demonstrator Seilzugschalter

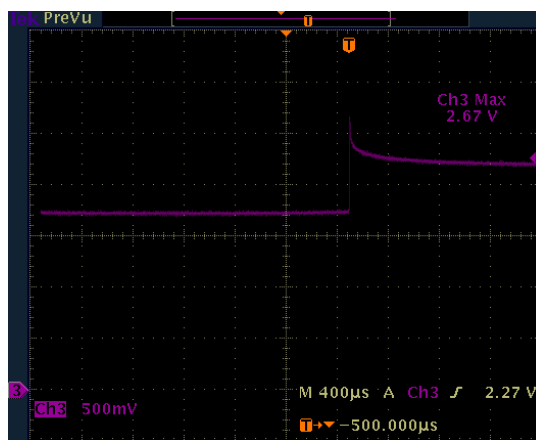


Abbildung 30: Spannungsverlauf zwischen Spannungswandler und Funkmodul

2.2 Fortschreibung des Verwertungsplanes

Die Ergebnisse des Projekts Piezotex sollen an anwendungsnahen Förderprojekten weiter entwickelt werden. Aktuell starten am Fraunhofer IIS Forschungsk Kooperationen zum Thema Sport und Fitnessanwendungen, wo piezoelektrische Materialien und damit auch die im Projekt entstandenen Spannungswandler als Energieversorgung für Sensorik und Funksender am Körper untersucht werden.

Parallel werden der Einsatz der piezoelektrischen Energieversorgung mit Industriefirmen aus dem Bereich Sport (Adidas, Sigma Sport) und mobile Endgeräte (Garmin) diskutiert.

Weiterhin läuft momentan am Fraunhofer IIS eine Industriekooperation, in der technische Textilien mit sensorischen Eigenschaften entwickelt werden. Mittelfristig soll auch hier eine textilbasierte oder zumindest flexible Energieversorgung genutzt werden, für die die Ergebnisse des Projekts verwendet werden können.

Schließlich sollen Ergebnisse des Projekts Piezotex im BMWI geförderten Projekt Daedalus (Projektträger DLR Raumfahrtmanagement, Förderkennzeichen 50NA1311) weiterentwickelt werden. Hier entstehen Technologien für energieautarke Trackingsysteme für Menschen, Tiere und kleine Güter.

2.3 Während der Laufzeit bekannt gewordenen Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens

Während der Laufzeit des Projekts sind im Bereich Spannungswandler und Powermanagement-Elektronik für Piezofasern keine Fortschritte bekannt geworden, die die Ergebnisse des Projekts betreffen.

2.4 Erfolgte Veröffentlichungen

Während der Laufzeit erfolgte eine gemeinsame Veröffentlichung mit dem schwedischen Projektpartner Swerea auf der Eurosensors 2014 in Brescia, die auch im Elsevier Journal „Sensors and Actuators A: Physical“ veröffentlicht werden soll:

- E. Nilson, L. Mateu, P. Spies, B. Hagström: Energy Harvesting from piezoelectric textile fibers, Eurosensors 2014, Brescia, Italy, September 7 -10, 2014

Daneben erfolgte ein Vortrag auf dem Netzwerktreffen des Textilnetzwerkes Smart Tex in Erfurt, wo Teile des Projekts vorgestellt wurden.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung): Schlussbericht
3. Titel BMBF-Projekt Piezotex – Abschlussbericht zum deutschen Teilvorhaben „Untersuchung und Entwicklung von elektronischen, integrierten Schaltungen für piezoelektrische Fasern	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Spies, Peter	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.04.2014
	6. Veröffentlichungsdatum 28.11.2014
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Fraunhofer IIS Nordostpark 93 90411 Nürnberg	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16SV5484K
	11. Seitenzahl 22
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben -
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 30
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) VDI/DE Innovation + Technik GmbH Projektträger für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin	
18. Kurzfassung Ziel des Projekts Piezotex war die Entwicklung von piezoelektrischen PVDF-basierten Fasern und deren Integration mit geeigneter Elektronik. Die Piezofasern sollen als Sensoren als auch als Energiewandler eingesetzt werden. Fokus des deutschen Konsortiums war dabei die Powermanagement- und Anwendungselektronik in Form von Spannungswandlern, Ladeschaltungen und Sensor- und Funkelektronik. Am Fraunhofer IIS wurden dabei unterschiedliche Versionen der Piezofasern charakterisiert. Es entstanden dabei elektrische Modelle und Ersatzschaltbilder dieser Piezofasern. Diese wurden eingesetzt, um optimierte Spannungswandler zur Gewinnung der maximalen elektrischen Energie aus den Piezomaterialien zu entwickeln. Weiterhin dienten die elektrischen Charakterisierungen als Anhaltspunkt für die Optimierung der Piezofasern.	
19. Schlagwörter Piezoelektrisch, Spannungswandler, Energy Harvesting	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title BMBF-Project Piezotex – Final report of the German project part „Investigation and design of electronic integrated circuits for piezo-electric fibers”	
4. author(s) (family name, first name(s)) Spies, Peter	5. end of project 30.04.2014
	6. publication date 28.11.2014
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) Fraunhofer IIS Nordostpark 93 90411 Nuremberg	9. originator's report no.
	10. reference no. 16SV5484K
	11. no. of pages 22
12. sponsoring agency (name, address) Federal Ministry of Education and Research (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references -
	14. no. of tables 1
	15. no. of figures 30
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Projektträger für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin	
18. abstract Aim of the project Piezotex was the development of piezo-electric PVDF-based fibers and their integration with appropriate electronics. The fibers will be used as sensors and as energy transducers. Focus of the German project consortium was the powermanagement and application electronics in form of voltage converters, charge circuits and sensor and radio circuits. Fraunhofer IIS has characterized different samples of the piezo fibers. Electrical models and equivalent circuit models of the fibers were generated. These models were used to develop optimized voltage converters to get the maximum power from the piezoelectric transducers. Furthermore, these models were used to optimize the fibers itself.	
19. keywords Piezo-electric, voltage converters, energy harvesting	
20. publisher	21. price