

## STRUKTURIERTE ANALYSE UND KONZEPTBEWERTUNG DER STROMERZEUGUNG IN TEXTILIEN DURCH PHYSIKALISCHE INTERAKTION MIT DEM MENSCHLICHEN KÖRPER

Tobias Lauwigi<sup>1</sup>, Sina Shari von Hagen, Robin Oberlé<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *RWTH Aachen – Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University (Germany)*

**Arbeitsgruppenleiter: Robert Boich– Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University (Germany)**

### **Abstract**

Diese Studie analysiert die Möglichkeiten der Energiegewinnung in textilen Materialien durch physikalische Prozesse, die während der Interaktion mit dem menschlichen Körper auftreten. Im Fokus stehen triboelektrische, piezoelektrische und thermoelektrische Nanogeneratoren. Ziel ist es, den Stand der Technik systematisch zu analysieren, die Leistungsfähigkeit und Alltagstauglichkeit der Technologien zu bewerten und ihre textile Integration zu beurteilen. Die Ergebnisse zeigen, dass triboelektrische Nanogeneratoren (TENGs) durch ihre hohe Leistungsdichte von bis zu 2 W/m<sup>2</sup>, Flexibilität und unsichtbare textile Integration besonders geeignet sind. Piezoelektrische und thermoelektrische Ansätze bieten spezifische Vorteile, stoßen jedoch auf Einschränkungen hinsichtlich Materialauswahl und Herstellbarkeit. Hybride Systeme zeigen Innovationspotenzial, sind jedoch zum aktuellen Stand kostenintensiv und komplex. Die Studie unterstreicht das Potenzial energieautarker Smart Textiles in Bereichen wie Wearables für die medizinische Überwachung und Sportanwendungen. Sie betont den Forschungsbedarf an kosteneffizienten, langlebigen und biokompatiblen Materialien sowie optimierten Designs für die textile Integration.

### **Einleitung**

Die voranschreitende Digitalisierung und die zunehmende Verbreitung von tragbarer Elektronik haben die Anforderungen an energieautarke Systeme erheblich gesteigert. Tragbare Elektronik, wie Smart Textiles, bietet die Möglichkeit, vielfältige Daten über den menschlichen Körper zu erfassen und gleichzeitig höchsten Tragekomfort zu gewährleisten. Mit dem Internet der Dinge und der Verknüpfung von Milliarden von Geräten wird eine nachhaltige und dezentrale Energieversorgung unverzichtbar. [All22]

Die vorliegende Studie widmet sich der Frage, inwiefern physikalische Prozesse des menschlichen Körpers, wie Bewegung, Körperwärme oder statische Elektrizität, für die Energiegewinnung genutzt werden können. Ziel ist es, bestehende Technologien zur Stromerzeugung zu analysieren, ihre Eignung für textile Anwendungen zu bewerten und die Potenziale für den Einsatz in Wearables aufzuzeigen. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf der Untersuchung von triboelektrischen, piezoelektrischen und thermoelektrischen Nanogeneratoren sowie der Bewertung ihrer Alltagstauglichkeit und Integration in textile Strukturen. Die Studie zielt darauf ab, sowohl den aktuellen Stand der Technik als auch bestehende Defizite zu identifizieren, um künftige Forschungsarbeiten zu unterstützen.

### **Material und Methoden**

Der methodische Ansatz dieser Arbeit stützt sich auf eine systematische Literaturrecherche basierend auf der Methodik „Guidance on Conducting a Systematic Literature Review“ von Yu et al. [Yu17], die eine umfassende Analyse des aktuellen Forschungsstands sicherstellt.

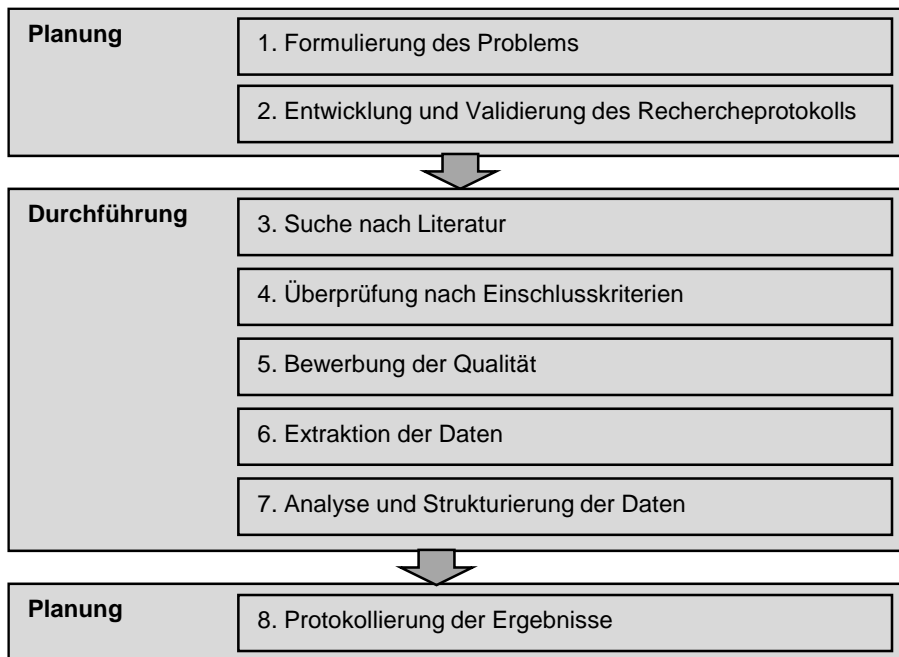


Abbildung 1: Prozess der systematischen Literaturrecherche nach [Yu 17]

Zunächst wurde eine Problemstellung formuliert, die sich mit der Nutzung körpernaher physikalischer Prozesse zur Energiegewinnung in Textilien auseinandersetzt. Diese diente als Grundlage für die Entwicklung eines Rechercheprotokolls, das die Auswahl relevanter Quellen sicherstellte. Einschlusskriterien wie unter anderem die textile Integration oder auch Energieautarkie wurden festgelegt. Datenbanken wurden systematisch durchsucht, und gefundene Quellen wurden nach definierten Kriterien überprüft, um qualitativ hochwertige Literatur zu sichern.

Die untersuchten Technologien umfassen triboelektrische Nanogeneratoren (TENGs), piezoelektrische Nanogeneratoren (PENGs) und thermoelektrische Generatoren (ThENGs). Die Bewertung erfolgte anhand der erzeugten Leistungsdichte, der Alltagstauglichkeit und des Integrationsgrads in Textilien. Die Ergebnisse dieser Analyse bilden die Grundlage für die Bewertung der Eignung dieser Technologien in tragbaren Anwendungen.

### Ergebnisse

Die Analyse zeigt, dass triboelektrische Nanogeneratoren (TENGs) aufgrund ihrer hohen Leistungsdichte und Flexibilität am besten für die textile Integration geeignet sind. Mit bis zu 2 W/m<sup>2</sup> stellen sie die effizienteste Technologie für die Energiegewinnung in textilen Strukturen dar. [TMW+18] Piezoelektrische Nanogeneratoren (PENGs) bieten ebenfalls vielversprechende Ansätze, insbesondere in Anwendungen, bei denen Druckkräfte eine Rolle spielen. [Rad16] Thermoelektrische Generatoren (ThENGs) nutzen Temperaturdifferenzen, zeigen jedoch durch die notwendige Materialauswahl und die steifen Strukturen technische Einschränkungen. [Pas22]

Für thermische Stromerzeugung am menschlichen Körper wird ein Temperaturgradient benötigt, um einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erzielen. Abbildung 2 verdeutlicht den Aufbau schematisch. Der Thermogenerator wandelt thermische in elektrische Energie um. Kombiniert mit einer Einheit für Strom- und Batteriemanagement sichert der Thermogenerator die Stromversorgung der Applikation. Sensoren, verknüpft mit einem Kommunikationsmodul, ermöglichen die Nutzung der bereitgestellten Energie.

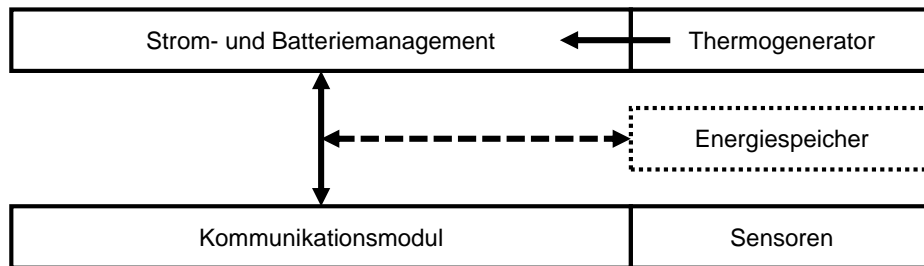


Abbildung 2: Systemüberblick der stromerzeugenden Applikation

### Diskussion

Die Untersuchung hebt hervor, dass TENGs durch ihre vielseitige Einsetzbarkeit und ihre einfache Integration in Textilien die vielversprechendste Technologie darstellen. Sie eignen sich besonders für Anwendungen, die auf Bewegungsenergie basieren. Dennoch bestehen Herausforderungen in der Effizienzsteigerung und der mechanischen Stabilität textilintegrierter Systeme. PENGs und ThENGs könnten durch die Entwicklung neuer Materialien und innovativer Fertigungsmethoden an Bedeutung gewinnen. Hybride Systeme wie Brennstoffzellen bieten zukunftsweisende Ansätze, deren praktische Umsetzung jedoch noch weitere Forschung erfordert.

### Zusammenfassung

Die Arbeit zeigt, dass Smart Textiles mit integrierten Technologien zur Stromerzeugung ein hohes Potenzial für tragbare Elektronik bieten. Triboelektrische Nanogeneratoren haben sich als besonders vielversprechend erwiesen und sollten als Ansatz für die weitere Forschung und die Entwicklung neuer Prototypen weiterverfolgt werden.

### Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und der AIF-Forschungsgemeinschaft für die Förderung des IGF-Projektes Nr. 351EN/1.

### Literaturliste

- [All22] Allianz Faserbasierter Werkstoffe Baden-Württemberg e.V:  
Zahlen, Daten, Fakten - Baden Württemberg, 2022, URL:  
<https://www.afbw.eu/smarttex-bw/infothek/zahlen-daten-fakten/>, Zugriff  
am 16.01.2025
- [Pas22] Paschotta, R.:  
Thermoelektrischer Generator - Deutschland, 2022, URL:  
[https://www.energie-lexikon.info/thermoelektrischer\\_generator.html](https://www.energie-lexikon.info/thermoelektrischer_generator.html), Zugriff  
am 21.02.2023
- [Rad16] RadioSurfVet:  
RadioSurfVet - www, 2016, URL: <https://vetsuisse.com/vetiml/lernmodule/htmls/slide.html?radiosurfvet|radgeneral|sonography|sonobasics|2>, Zugriff am 21.02.2023
- [TMW+18] Tang, X., Mones, Z., Wang, X., Gu, F.; Ball, A.:  
A Review on Energy Harvesting Supplying Wireless Sensor Nodes for Machine Condition Monitoring.  
In Ma, Xiandong. Improving productivity through automation and computing.  
Aufl. Piscataway, NJ: IEEE, 2018, S. 1–6
- [Yu17] Yu Xiao and Maria Watson:  
Guidance on Conducting a Systematic Literature Review  
Journal of Planning Education and Research 2017 (2017), S. 93–112