

Smart Textiles in MINT-Fächern – Elektronik mit Nadel und Faden

Andrea Ehrmann*, Guido Ehrmann⁺

* Fachhochschule Bielefeld, Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik, 33619 Bielefeld, Deutschland, ⁺ Virtual Institute of Applied Research on Advanced Materials (VIARAM)
andrea.ehrmann@fh-bielefeld.de

Kurzfassung

Smart Textiles, auch als intelligente Textilien bezeichnet, bieten in der Schule sowie im Bachelorstudium neue Möglichkeiten, motorische Fähigkeiten mit Elektronik-Kenntnissen zu verbinden. Die meisten Smart Textiles gehören zu den E-Textiles, den elektronischen Textilien, die beispielsweise leitfähige Garne als Datenleiter enthalten oder leitfähige textile Flächen als Druck- oder Dehnungssensoren. Hinzu kommen textilbasierte oder textilintegrierte Sensoren und Aktoren, eine interne oder externe Kommunikation und eine Batterie oder eine ähnliche Energiequelle. Die Datenverarbeitung geschieht normalerweise über textilintegrierte Microcontroller oder Miniatur-Computer. Solche E-Textiles bieten die Möglichkeit, „typisch weibliche“ Interessen, wie Nähen und Textilien, mit „typisch männlichen“ Wissensbereichen wie Elektronik und Programmierung zu verbinden. Sie können in Schule und Hochschule genutzt werden, um solche althergebrachten Klischees zu überwinden, und den Schüler(inne)n und Student(inn)en helfen, sich über die häufig unbewusst selbst gesetzten Grenzen hinwegzusetzen.

1. Einleitung

„Smarte“ oder intelligente Textilien können auf ihre Umgebung reagieren, indem sie beispielsweise ihre Form bei Temperaturänderungen verändern, ihre Farbe bei UV-Bestrahlung variieren oder auch Vitaldaten messen und den Nutzer beispielsweise über EKG, Puls oder Atemfrequenz informieren [1-3]. Manche dieser Reaktionen lassen sich beispielsweise durch Phasenwechselmaterialien (Phase Change Materials, PCM), stimuli-responsive Polymere oder funktionelle Beschichtungen erreichen [4-6]. Die meisten intelligenten Textilien sind heutzutage jedoch elektronische Textilien (E-Textiles), d. h. elektronische Bauteile werden in unterschiedlichem Maße integriert [7-9].

Dies bietet die Chance, Schüler(innen) und Student(inn)en mit Physik im Nebenfach spielerisch an elektronische Fragestellungen heranzuführen. E-Textiles enthalten typischerweise Sensoren und Aktoren, eine interne und externe Kommunikation, eine Batterie oder eine andere Energiequelle sowie eine Datenverarbeitung [1]. Viele dieser Bauteile wurden erst in den letzten Jahrzehnten entwickelt, manche lassen sich teilweise oder vollständig auf textile Materialien übertragen, während andere, wie z. B. ein Baustein zur Datenverarbeitung, mit zunehmender Miniaturisierung zumindest immer besser in Textilien integriert werden können [10]. Daneben lassen sich interdisziplinär auch Themen der Sensorik, Messtechnik, Programmierung etc. ansprechen.

Dieser Artikel gibt einen Überblick über häufig genutzte Bauteile und macht Vorschläge, welche Kenntnisse sich die Schüler(innen) und Student(inn)en hierdurch aneignen können.

2. Grundlegende Elektronik-Kenntnisse

Eine der Grundlagen für E-Textiles sind zumindest rudimentäre Kenntnisse über Schaltkreise. Dazu gehören beispielsweise die Erkenntnis, dass ein Strom nur fließen kann, wenn der Schaltkreis geschlossen ist, dass die meisten Bauteile entsprechend zwei oder sogar mehr Anschlüsse haben, dass Leuchtdioden (LEDs) und Batterien in der richtigen Richtung angeschlossen werden müssen, usw.

Elektrische Schaltkreise lassen sich in Smart Textiles durch Aufnähen oder Aufsticken von leitfähigen Garnen oder auch Litzen integrieren. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Leiterbahnen in Textilien mit einzustricken, wie in Abb. 1 zu sehen [7]. Diese handwerklichen Techniken sind typischerweise nicht allen Schüler(inn)en und Student(inn)en geläufig, zumindest das Nähen kann aber rasch in den Grundzügen erlernt werden. Alternativ lässt sich eine Zusammenarbeit mit einem Textilkurs vereinbaren.

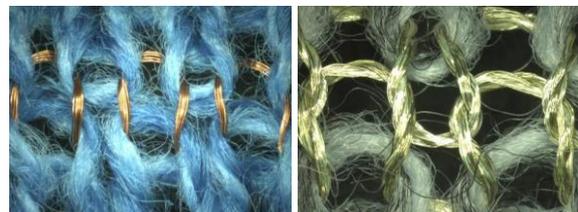


Abb. 1: Leitfähige Garne in Gestrickten. (links) Kupfer-Litze; (rechts) silberbeschichtetes Polyamid-Garn. Aus Schwarz-Pfeiffer, A.; Obermann, M.; Weber, M. O.; Ehrmann, A. (2016) Smarten up garments through knitting. IOP Conf. Series Mater. Sci. Eng. 141, 012008. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/141/1/012008>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>.

Diese einfachen Grundlagen bieten bereits die Möglichkeit, über Themen wie Leitfähigkeit zu sprechen, den elektrischen Widerstand mit einem Multimeter zu messen, den Unterschied zwischen Metallen, Halbleitern und Isolatoren zu diskutieren usw.

Einen Schritt weiter geht die Diskussion, weshalb beispielsweise an einen solchen Schaltkreis angeschlossene LEDs schwächer leuchten, wenn die Textilien (nach dem Herausnehmen der Batterien) gewaschen wurden. Für die Beantwortung dieser Frage müssen bereits materialwissenschaftliche Grundlagen mit einbezogen werden, wenn darüber gesprochen wird, in welcher Weise sich feine Silberbeschichtungen auf Chemiefaser-Garnen beim Waschen verändern und was die Oxidation der Oberfläche für die Leitfähigkeit bedeutet.

Neben dem Schaltkreis selbst sind natürlich weitere Bauelemente notwendig, um Smart Textiles zu erstellen. Im einfachsten Fall sind das beispielsweise eine Batterie, die sich in einer textilen Tasche aus leitfähigem Gewebe unterbringen lässt, und eine oder mehrere LEDs, die mit dem leitfähigen Garn bzw. der Litze kontaktiert werden. Dies kann u. a. durch Annähen mit einem leitfähigen Faden per Hand oder sogar mit einer Haushaltsnämaschine geschehen, wie in Abb. 2 zu sehen.

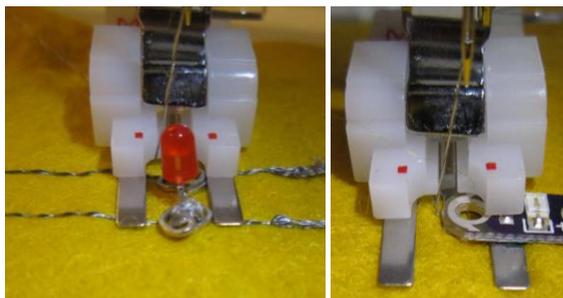


Abb. 2: Annähen herkömmlicher sowie textilspezifischer LEDs mit der Nähmaschine.

Beim Annähen mit der Nähmaschine, aber auch per Hand, werden die Anschlussdrähte bedrahteter LEDs vorher rundgebogen, um sie gut annähen zu können, wie in Abb. 3 dargestellt. Durch die Nutzung von Zangen mit verschiedenen Spitzenformen bietet sich die Möglichkeit, einen Anschlussdraht in eine runde Form zu biegen und den anderen in eine drei- oder viereckige Form, um beim Aufnähen die Polarität der LED erkennen zu können.



Abb. 3: Rundgebogene Anschlussdrähte einer bedrahteten LED.

Neben den o. g. textilspezifischen LEDs, die inzwischen von mehreren Herstellern erhältlich sind, gibt es viele weitere Bauteile, die speziell für die Integra-

tion in Smart Textiles die Möglichkeit bieten, nicht nur durch Löten, sondern vor allem durch Annähen kontaktiert zu werden (Abb. 4).

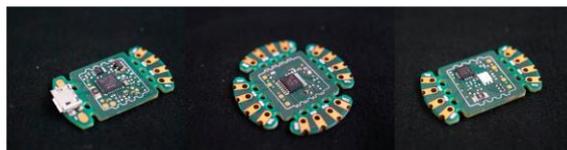


Abb. 4: Hauptplatine, Analog-digital-Wandler und LED-Modul (von links nach rechts) aus einem Toolkit für E-Textiles. Aus Garbacz, K.; Stagun, L.; Rotzler, S.; Semenec, M.; von Krshiwoblozki, M. (2021) Modular e-textile toolkit for prototyping and manufacturing. Proceedings 68, 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/proceedings2021068005>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz.

3. Weitere Beispielprojekte

In physikalischer Hinsicht deutlich komplizierter sind Messungen des Widerstands eines leitfähigen Gestricks (Abb. 5) während einer Dehnung. Hier findet bereits der Übergang von einem einzigen leitfähigen Garn oder Draht zu einem komplexen Widerstands-Netzwerk statt. In der Literatur findet man Vorschläge für Ersatzschaltbilder verschiedener Gestrückbindungen [12-14].



Abb. 5: Gestrück aus leitfähigem Edelstahl-Fasergarn. Aus Schwarz-Pfeiffer, A.; Obermann, M.; Weber, M. O.; Ehrmann, A. (2016) Smarten up garments through knitting. IOP Conf. Series Mater. Sci. Eng. 141, 012008. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/141/1/012008>, im Original veröffentlicht unter einer CC-BY-Lizenz <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>.

Dehnt man ein solches Gestrück nun, verändern sich die Übergangswiderstände zwischen sich umschlingenden Garnen an den Kontaktpunkten, und damit lässt sich das Gestrück als Dehnungssensor nutzen, um beispielsweise einen Atemsensor zu bauen.

Zudem müssen messtechnische Punkte berücksichtigt werden – so funktioniert die Kontaktierung eines nur teilweise leitfähigen Garnes mit den Prüfspitzen eines Multimeters nicht. Stattdessen können Klemmen an beiden Seiten angebracht werden, die einen großflächigen Kontakt vermitteln und so über viele leitfähige und nicht leitfähige Garne mitteln, wie in Abb. 6 zu sehen.

Hinzu kommen weitere Fragestellungen, angefangen bei der nach der richtigen Messgröße (hier: elektrischer Widerstand) bis zur Position der Messung. Auch die Auswertung der Daten ist nicht unbedingt trivial und bietet die Möglichkeit, den Umgang mit Excel oder einem anderen Programm zur graphischen Darstellung von Messdaten zu üben. Dabei können auch scheinbar simple Fragestellungen trainiert werden, wie die nach der Auswahl des richtigen Diagrammtyps, um eine äquidistante Aufteilung der x-Achse zu gewährleisten, was erfahrungsgemäß oft Probleme bereitet.

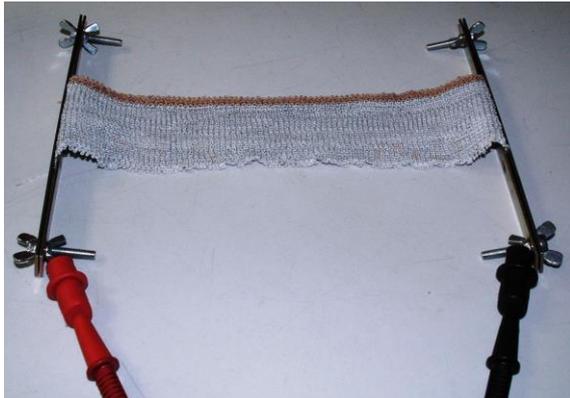


Abb. 6: Kontaktierung eines leitfähigen Gestricks aus Edelstahl-Fasergarn mit Klemmen, an die die Prüfspitzen des Multimeters angeschlossen werden.

Nutzt man entsprechende im Internet oder in Smart-Textile-Büchern zu findende Vorlagen, können auch textile Drucksensoren und viele weitere Sensoren mit einfachen Mitteln selbst hergestellt werden. Je nach benötigtem Material sind manche dieser Versuche jedoch nur mit einem größeren Budget umzusetzen, wenn beispielsweise leitfähige Reißverschlüsse, leitfähige Klettverschlüsse oder auch zahlreiche Textil-LEDs benötigt werden.

4. Erfahrungen im Bachelor-Studium

Die hier berichteten Erfahrungen wurden in verschiedenen Bachelor-Studiengängen gemacht, angefangen von textilbezogenen Ingenieursstudiengängen über Modegestaltung bis hin zu Apparativer Biotechnologie, Wirtschaftsingenieurwesen, Mechanik, Maschinenbau und regenerative Energien. Je nach Studiengang und potentieller vorheriger handwerklicher Ausbildung verfügten die Studierenden über sehr unterschiedliche Vorkenntnisse. Während manche bereits mit komplizierten elektrischen Schaltungen vertraut waren, stellten die Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik für andere Studierende absolutes Neuland dar.

Bei der Team-Bildung in den gemischt besetzten Smart-Textiles-Kursen stellten sich zwei verschiedene Strömungen heraus: Viele der ganz am Anfang des elektrotechnischen Verständnisses stehenden Studierenden blieben lieber unter sich, da ihnen vermutlich der Unterschied im Wissensstand zu den anderen Studierenden zu groß erschien. Andererseits

bildeten sich aber auch zahlreiche sehr gemischte Teams mit klar verteilten Kenntnissen – während einige Studierende bereits ein gutes Verständnis von Elektronik, Schaltkreisen, elektrischen Bauteilen u. ä. hatten, hatten andere mehr Erfahrungen mit dem Nähen bzw. allgemein mit Handarbeiten.

Interessanterweise führte dies oft dazu, dass sich gemischtgeschlechtliche Gruppen bildeten, da sich die männlichen Studenten häufig eher in der Rolle der Personen mit Elektronik-Vorkenntnissen sahen, während viele Studentinnen hier eher ihre Erfahrungen mit Handarbeiten einbrachten. Auch in diesen Gruppen konnte aber beobachtet werden, dass die Studierenden nicht die Aufgaben entsprechend ihrer vermeintlichen oder realen Stärken verteilten, sondern bereit waren, in beiden Richtungen voneinander zu lernen, und sich oft ein gewisser Ehrgeiz zeigte, ebenfalls das zu können, was die anderen bereits konnten.

Im Normalfall waren die physikalischen Grundlagen für die Studierenden nicht um ihrer selbst willen interessant, sondern als Mittel zum Zweck. Es war daher wichtig, dass alle ein klares praktisches Ziel hatten, das sie nur erreichen konnten, wenn sie sich die notwendigen physikalischen bzw. elektrotechnischen Grundlagen aneigneten. Es gab jedoch auch immer wieder Ausnahmen, wenn Studierende Dinge verstanden, die sie überraschten – angefangen von der Erkenntnis, weshalb eine LED nur leuchten kann, wenn ein Schaltkreis geschlossen ist, bis hin zu der Erfahrung, dass die Anschlussdrähte einer LED nicht nur zufällig unterschiedliche Längen haben.

5. Zusammenfassung

Smart Textiles bzw. intelligente Textilien bieten in der Schule und im Bachelor-Studium ganz neue Möglichkeiten, motorische Fähigkeiten mit Elektronik-Kenntnissen zu verbinden. Die Kombination von Handarbeiten mit physikalischen bzw. elektrotechnischen Grundlagen fördert nicht nur das Lernen dieser Grundlagen gegenüber dem trockenen Lernen von Formen. Sie erlaubt es auch, „typisch weibliche“ Interessen wie Nähen und Textilien mit „typisch männlichen“ Wissensbereichen wie Elektronik und Programmierung zu verbinden. Auf diese Weise können Smart Textiles genutzt werden, diese Klischees zu überwinden, und Schüler(innen) und Student(inn)en über die häufig unbewusst selbst gesetzten Grenzen hinüberhelfen.

6. Literatur

- [1] Schwarz, A.; van Langenhove, L.; Guermontprez, P.; Deguillemont, D. (2010) A roadmap on smart textiles. In: *Textile Progress* 42, 99-180. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405160903465220>
- [2] Cherenack, K.; van Pieteron, L. (2012) Smart textiles: Challenges and opportunities. In: J.

- Appl. Phys. 112, 091301. DOI:
<https://doi.org/10.1063/1.4742728>
- [3] Koncar, V. (2016) Introduction to smart textiles and their application. In: *Smart Textiles and Their Application*, 1st ed.; Koncar, V., Ed.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 1–8
- [4] Mondal, S. (2008) Phase change materials for smart textiles – an overview. *Appl. Thermal Eng.* 28, 1536-1550. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.08.009>
- [5] Rosenholm, J.; Tsitsilianis, C. (2019) Review of stimuli-responsive polymers in drug delivery and textile application. *Molecules* 24, 2547. DOI:
<https://doi.org/10.3390/molecules24142547>
- [6] De Falco, F.; Guarino, V.; Gentile, G.; Cocca, M.; Ambrogi, V.; Ambrosio, L.; Avella, M. (2019) Design of functional textile coatings via non-conventional electrofluidodynamic processes. *J. Coll. Interf. Sci.* 541, 367-375.
- [7] Schwarz-Pfeiffer, A.; Obermann, M.; Weber, M. O.; Ehrmann, A. (2016) Smarten up garments through knitting. *IOP Conf. Series Mater. Sci. Eng.* 141, 012008. DOI:
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/141/1/012008>
- [8] Rahemtulla, Z.; Hughes-Riley, T.; Dias, T. (2021) Vibration-sensing electronic yarns for the monitoring of hand transmitted vibrations. *Sensors* 21, 2780. DOI: 10.3390/s21082780
- [9] Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2021) Electronic textiles. *Encyclopedia* 1, 13. DOI:
<https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010013>
- [10] Ehrmann, G.; Ehrmann, A. (2020) Suitability of common single circuit boards for sensing and actuating in smart textiles. *Communications in Development and Assembling of Textile Products* 1, 170-179. DOI:
<https://doi.org/10.25367/cdatp.2020.1.p170-179>
- [11] Garbacz, K.; Stagun, L.; Rotzler, S.; Semeneč, M.; von Krshiwoblozki, M. (2021) Modular e-textile toolkit for prototyping and manufacturing. *Proceedings* 68, 5. DOI:
<https://doi.org/10.3390/proceedings2021068005>
- [12] Zhang, H.; Tao, X. M.; Yu, T. X.; Wang, S. Y. (2006) Conductive knitted fabrics as large-strain gauge under high temperature. *Sensors Actuators A Phys.* 126, 129-140. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.sna.2005.10.026>
- [13] Li, L.; Wan, K. M.; Wan, S. H.; Chung, W. Y.; Wong, K. S. (2009) A resistive network model for conductive knitting stitches. *Text. Res. J.* 80, 935-947. DOI:
<https://doi.org/10.1177/0040517509349789>
- [14] Liu, S.; Liu, Y. P.; Li, L. (2019) The impact of different properties of knitting elements on the resistive properties of conductive fabrics. *Text.*
- Res. J. 89, 881-890. DOI:
<https://doi.org/10.1177/0040517518758003>