



The smart jacket with knitted switches and washable, energy-efficient electronics for better daily living

This desktop experimental setup with a breadboard was used to put the principles of the smart jacket to the test, particularly the control of the outside devices from the switch patches, and use of smartphone to configure. Photograph: IMMS.

Objectives and Overview

For almost everybody reading this, reaching for the remote will be obvious and automatic. But if one literally has one's hands full – or perhaps not when mobility is restricted by accident, illness, disability or the frailty of old age – even a little button can become a real barrier. If it were possible to control machines, lighting, furniture or games simply with a nudge of the arm against the back of an armchair or other solid object, those everyday barriers might fall. And in industry, for example, the control of machinery might be extended.

With these thoughts, Strick Zella GmbH & Co.KG, ITP GmbH Weimar and IMMS developed a potential solution: the prototype of smart clothing that one wears and can use as a remote control. The prototype is a jacket with three knitted switch patches in different colours. The "wool" in the two outside layers of the patch conducts electricity and there is a loosely knitted middle pad, see Fig. 1. This padding ensures the user can feel that switching is happening. It also controls the electrical contact. If the switch patch is compressed, the two conducting layers come into contact and the software



Figure 1:

Knitted switch patch made of conducting yarn and knitted spacer. Photograph: IMMS.

in the jacket

processes the signal,

which is then sent wirelessly to the intended receivers over a distance of up to 30 meters.

The choice of receivers for the knitted switches can be preset using an app in a mobile phone.

The item of clothing with all its functionality including battery can be washed at up to 60 °C and will work for up to three years without needing a battery change. There are no such systems as yet on the market.

The knitted switch patches, the wiring of the cloth, the cloth care requirements and the design of the jacket are all the responsibility of the knitwear factory, Strick Zella GmbH. Waterproof encapsulation of the electronics has been carried out by ITP GmbH. IMMS' role has been to design, create and integrate the energy-efficient electronics, selecting energy-saving components and optimising their interaction. In association with these tasks, the Institute has produced solutions for the power supply, radio link, and configuration by app as well as the provision of assured functionality. The outcome of all this work has been registered for patent as Knitty-Fi. It is the intention to work with IMMS towards mass production.

Details and TV report for this project at www.imms.de.

Details and IMMS' contribution

Solutions for the textile application

Distinguishing standby from operating under varying ambient conditions

IMMS carried out experiments on the extent to which the electrical resistance of the knitted patches would be affected by temperature and moisture both at rest and when pressed. This involved developing hardware and software to permit automatic triggering of the knitted switches during which the changes in resistance could be measured (see Fig. 2). The experimental setup enabled data to be gathered at five temperatures ranging from -20 °C to +50 °C and five levels of humidity between 0%

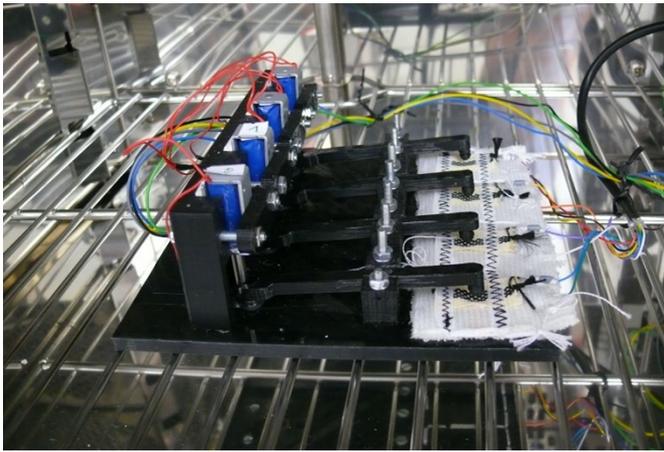


Figure 2:

This is the experimental setup in the climate chamber allowing automatic investigation of changes in resistance when cloth switch patches are activated under a variety of conditions. The photograph shows the first version of the textile switches.

Photograph: IMMS.

and 80 % in a climatic chamber, for four times 100 actuations each. It was shown that the polymer yarn had very high resistance. The mean found on pressure was 15 k Ω ; at rest, the figure was 500 M Ω . The results of the experiments produced a threshold of around 1 M Ω m at which it is possible to recognise the difference between the two states independently to climatic influences and material tolerances.

However, at around 100 % humidity, the difference in resistance was found to become insignificant, which implies that the switches will cease to function when wet.

Limiting parasitic errors in the circuit

In addition to climatic effects, the unshielded polymer yarn is directly subject to any outside electromagnetic interference. Addressing this, design strategies were found to limit the interference likely to affect the switches. They include insulating layers of material and capacitors at the input to the signal evaluation electronics which will suppress interference arising from skin contact with the wearer.

Bonding the yarn

As polymer yarn will not stand heat, it cannot be soldered or welded to the circuit board. The solution was to thread the yarn through fine holes in the board and knot it, then use conductive paint and the grout encapsulating the electronics to fixate it. The intention eventually is to use intermingling in the industrial manufacturing process to ensure contact with the board.

IMMS examined various versions of the textile switches, see Fig. 1 and Fig. 2, with varying electrical properties. In the course of the project, the electronics was being constantly adapted to the stage of development reached by Strick Zella GmbH.

IMMS has selected IEEE 802.15.4 for energy-efficient radio communications. This standard enables solutions with very low power consumption and hence long battery life. It can also be used in the ISM bands for RF devices and will operate at the same time as other users of the bands, particularly by means of WLAN and Bluetooth.

There followed experiments on the radio link so that IMMS could identify the actual differences in range and packet loss in the two possible frequency bands (868 MHz and 2.4 GHz) for the product. Here, the experiments were on transmitters worn in the clothing, a receiver on a tripod at distances of 10 m, 20 m and 30 m, and varying orientations of the wearer’s body in relation to the receiver, between 0° and 315° in 45° stages. A variety of antenna structures were tested on both transmitter and receiver. Fig. 3 shows that in certain constellations, packet loss may occur, which can however be compensated with a limited number of retransmissions, thus ensuring successful transmission of a switching command.

Each of the two bands was found to be suitable in principle to achieve a range in an unobstructed area of up to 30 m. The choice fell on the 2.4-GHz band because of the availability of radio modules with minimum standby current so that the system would be as energy-efficient as possible. The antennas for 2.4 GHz are, moreover, small. They can be easily integrated into clothing. Another advantage is that this frequency band can be used in all countries.

Figure 3:

- maximum **NUMBER** of repeats per packet for 99% of the measurements (0.99 quantile)
- arithmetic **MEANS** of the repeats per packet
- **STANDARD DEVIATION** of the repeats per packet

Distance	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
30 m	0 0,00 0,04	0 0,01 0,10	0 0,03 0,68	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,06	0 0,01 0,12
20 m	0 0,00 0,00							
10 m	0 0,00 0,00	1 0,03 0,30	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,04	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00

Only very rarely was it necessary to repeat the data packet transmission during the experimental measurements. This sample of the statistics shows the repeats for a 2.4-GHz transmitter with chip sensor worn on the side of the body. 288 configurations in all were tested in 6 combinations of transmitter and sensor, 2 transmitter positions, 3 broadcasting distances and 8 body alignments. For each of the configurations, a data packet was sent every 100 ms over 60 s from a transmitter in the jacket to a receiver. On confirmation of reception, the data packet was always changed and a note made of the number of repeats necessary before transmission had succeeded. Source: IMMS.

Electronics to transmit switch commands

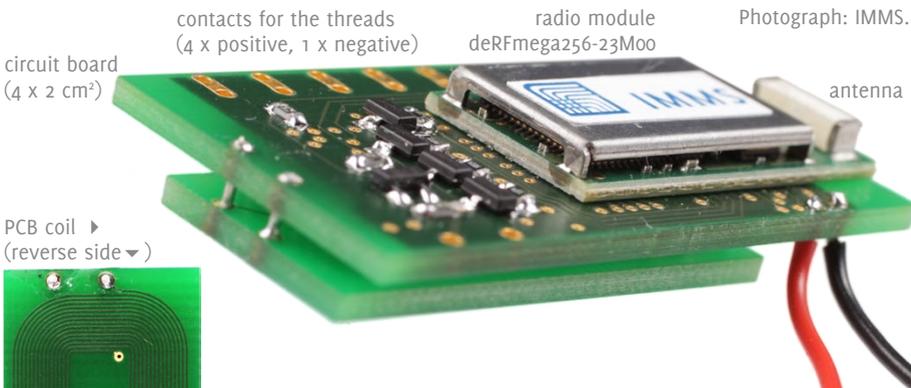
Taking into account the factors of radio protocol, energy consumption, interface and operating system, a radio module produced by Dresden Elektronik (deRFmega256-23Moo) with an integrated transceiver was selected. To house the electronics, IMMS designed and created a circuit board with minimum dimensions and contact points for the polymer threads of four switch patches, see Fig. 4. The desired range of 30 meters between knitted patch and the object to be remotely controlled was possible to achieve with the standard chip antenna on the radio module; there was no need for adaptation.

Electronics for configuration by smartphone

To determine using an NFC¹-capable smartphone which functions can be started from which switch, various PCB coils were designed for inclusion in the patch electronics. Commercially available coils were compared for inclusion on the board and a memory was selected. When measurements had been carried out to characterise the system and the range had been tested with an NFC reader, the best option for the NFC antenna in combination with the configuration electronics was put into practice and connected. The actuators were also fitted with the same type of coil to enable their assignments to switches to be configured. For wiring the knitted switch pads and connecting additional required sensors, the circuitry includes interfaces such as ADC and I²C.

¹ Near Field Communication, an international RFID transmission standard enabling data to be exchanged wirelessly across distances of a few centimetres.

Figure 4:
Hardware developed at IMMS for the knitted remote control.
Photograph: IMMS.



Washability

Both electronics and battery are specified for the temperature range from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. The encapsulation material and a polymer threads are corrosion-proof. For the washability of the entire system, this is absolutely essential. Mechanically, the system is protected by being enclosed in a pouch containing the flexible sealant and the electronics into which the polymer threads are sewn.

To ensure the washability of the garment and all of its components, project partner ITP GmbH developed a housing concept that encapsulates electronics and battery in two separate, interconnected chambers in a grouting process yielding a waterproof component. Repeated range tests carried out by IMMS using tripods at distances of 10, 20 and 30 metres with 1,000 packet transmissions each showed that the encapsulation did not cause any packet loss and that the signal quality was optimal on average.

> *Smart Jacket*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Contents*

* *Funding*

Firmware and programming

TinyOS, a sensor network operating system, was ported onto the hardware selected to facilitate the development of firmware for communication and configuration. State-of-the-art communication schemes were surveyed before a radio protocol was developed and implemented at application level. This also supports a simple repeater function to improve communication in unfavourable circumstances and contains the actual control functions at the application level. To adequately protect the communication between garment and devices, the protocol was extended by cryptographic aspects. Besides integrity protections, these also offer protection against so-called replay attacks that would otherwise allow switching commands to be recorded and played back at a later time by potential attackers.

The software was made capable of parameterisation and an Android app was developed for its configuration so that functions could be assigned to the knitted patches from a smartphone. Additionally, garments and devices can be assigned separate networks identified by keys in order to enable larger-scale or overlapping deployments by different users.

Energy Management

Energy consumption measurements

As the first stage in selecting suitable batteries, the consumption of energy in various scenarios was estimated for the system. The energy measurements accompa-

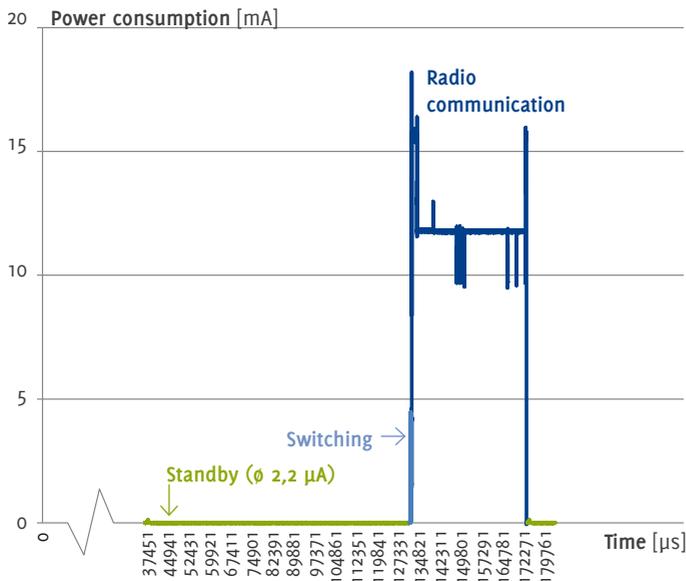


Figure 6:

One set of energy consumption measurements carried out for standby, switching and radio communication.

Power consumption was logged at 102.4 μs intervals, here plotted in milliamperes.

Diagram: IMMS.

nied the development process and were carried out for the main operating phases: assignment of switches to devices, standby and switching followed by radio communication, see Fig. 6.

Assuming 60 switching events per day as originally specified and assuming that the switches are configured far less often than they are activated, the calculations show an excess of capacity in relation to the three-year desired lifetime for the batteries currently in use. This excess can be used, for example, to fit extra sensors.

Energy-efficient interaction between hardware and software

The long life achieved for the electronics is due to the choice of particularly economical hardware. A further advantage is that the operating system has been configured in such a way that the hardware will be energy-efficient in operation. IMMS has achieved this by designing circuitry and firmware in such a way that the radio module uses its energetically optimal state for each operating phase.

Assuming 60 switching actions per day, the overall system will be in deep-sleep mode most of the time, consuming about 2.2 μA. Only when a textile switch is pressed or the electronics is configured via NFC, the latter is awakened. After processing the event, electronics and receiver exchange packets in order to perform the desired switching action. After that, the system returns to deep sleep. This process takes no more than 100 ms currently. This means that the overall system will be active for only about six seconds per day.

> *Smart Jacket*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

> *Contents*

* *Funding*

Prototypes now exist of the system as described. The intention is to proceed to mass production and perhaps to develop further applications, which will necessitate, among other things, long-term testing under a variety of mechanical loads. The testing applies particularly to the method of connecting the conducting polymer threads with the electronics, this being critical to ensure robustness and secure operation. To date, the method is knotting, with fixation by electrically conductive paint and an encapsulating material. It would make sense to redesign the PCB with greater distances between the contacts for the threads, which would mean the whole patch and system would be more robust. For different applications, it would also be necessary to expand the work already done on recognition of moisture and the garment's being worn.

Contact person: Dr.-Ing. Tino Hutschenreuther, tino.hutschenreuther@imms.de

The SmartJacket ZIM project is funded by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi) by resolution of the German Federal Parliament under the reference KF2534511CJ4 as a joint project in the ZIM scheme (a central innovation programme supporting SMEs).

Details and TV report for this project at www.imms.de.

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag



Smarte Jacke mit gestrickten Schaltflächen und energieeffizienter, waschbarer Elektronik als Alltagshelfer

Dieser Tischaufbau mit Steckbrett wurde genutzt, um die Elektronik der smarten Jacke prinzipiell zu testen, insbesondere die Ansteuerung der Gegenstellen über textile Schaltflächen und die Konfiguration via Smartphone. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

Der Griff zur Fernbedienung ist für die meisten von uns selbstverständlich. Hat man buchstäblich alle Hände voll zu tun – oder eben gerade nicht, weil man wegen eines Unfalls, einer Krankheit, einer Behinderung oder aus Altersgründen motorisch eingeschränkt ist – kann ein kleiner Knopf eine große Hürde sein. Würde jedoch eine einfache Armbewegung gegen den eigenen Körper, eine Stuhllehne oder ein anderes festes Objekt ausreichen, um Maschinen, Beleuchtung, Möbel oder Spiele zu steuern, so könnte dies den Alltag erleichtern und beispielsweise auch in der Industrie die Maschinenbedienung ergänzen.

Vor diesem Hintergrund haben die Strick Zella GmbH & Co. KG, die ITP GmbH Weimar und das IMMS den Prototyp für eine smarte Funktionskleidung entwickelt, die man als Universalfernbedienung am Körper trägt. Am Jackenärmel dieses Prototyps sitzen drei gestrickte, farbig markierte Schaltflächen aus elektrisch leitfähigem Garn. Diese Flächen werden durch ein Abstandsgewirk dreidimensional strukturiert, sind dadurch elastisch verformbar und gewährleisten damit eine haptische Rückmeldung beim Be-



Abbildung 1:

Version einer gestrickten Schaltfläche aus elektrisch leitfähigem Garn mit Abstandsgewirk. Foto: IMMS.

dienen, vgl.

Abbildung 1. Wird ein

solcher textiler Taster so stark gedrückt, dass sich die elektrisch leitfähigen Flächen berühren, verarbeitet die Elektronik in der Jacke das entstehende Signal und sendet einen Schaltbefehl per Funk über eine Distanz von bis zu 30 Metern zu Empfängern.

Per Smartphone lassen sich Schaltflächen individuell zu Funktionen verschiedenster Empfänger festlegen. Die Funktionskleidung ist inklusive Elektronik und Batterie bis zu 60°C waschbar und läuft ohne Batteriewechsel bis zu 3 Jahre. Derartige Systeme sind derzeit nicht am Markt erhältlich.

Die gestrickten Schaltflächen, die textile Verdrahtung, die Pflegeanforderungen und das Jackendesign wurden von der Strick Zella GmbH bearbeitet. Der wasserdichte Verguss der Elektronik wurde durch die ITP GmbH realisiert. Das IMMS hat die energieeffiziente Elektronik konzipiert, entwickelt und integriert, dafür sparsame Komponenten gezielt ausgewählt und deren Zusammenspiel optimiert. Damit einhergehend hat das Institut Lösungen für die Energieversorgung, die Funkstrecke und die Konfiguration entwickelt. Die Arbeitsergebnisse der Strick Zella GmbH wurden inzwischen zum Patent angemeldet. Die Lösung wird unter dem Namen Knitty-Fi beworben und soll mit dem IMMS zur Serienreife weiterentwickelt werden.

Infos und TV-

Beitrag zum

Projekt auf

www.imms.de.

Die Lösung im Detail – Beitrag des IMMS

Lösungen für die textile Anwendung

Unterscheidung von Ruhezustand und Bedienung bei variablem Klima

Das IMMS hat untersucht, inwieweit Temperatur und Feuchtigkeit den elektrischen Widerstand der gestrickten Schaltflächen beeinflussen und damit die Unterscheidung von Ruhezustand und Bedienung erschweren können. Hierzu wurde eine Hard- und Software entwickelt, mit der sich Stricktaster automatisiert betätigen und gleich-

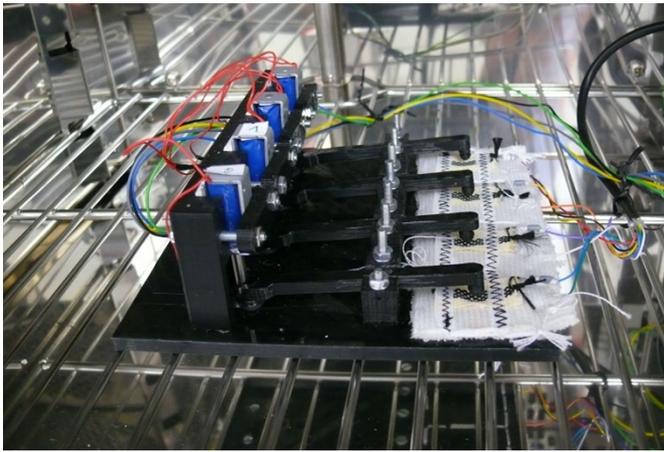


Abbildung 2:

Mit diesem Testaufbau wurden bei unterschiedlichen Bedingungen in einer Klimakammer automatisierte Untersuchungen der Widerstandsänderungen beim Betätigen textiler Schaltflächen vorgenommen. Die Abbildung zeigt die erste Version der textilen Taster.

Foto: IMMS.

- > *Smarte Jacke*
- > *ENTOMATIC*
- > *KOSERNA*
- > *HoTSens*
- > *INSPECT*
- > *AFiA*
- > *Inhalt*
- * *Förderung*

zeitig deren Widerstandsänderungen messen lassen, vgl. Abbildung 2. Mit diesem Aufbau wurden in einer Klimakammer Daten bei verschiedenen Temperatur- und Luftfeuchtekombinationen von -20°C bis 50°C und 0% bis 80% für jeweils vier mal 100 Tasterbetätigungen erfasst. Im Ergebnis zeigt sich, dass sich die Schaltzustände durch signifikant unterschiedliche Widerstandswerte über den gesamten Messbereich sicher erkennen lassen. So wurde im gedrückten Zustand ein mittlerer Wert von etwa $15\text{ k}\Omega$ ermittelt, im nicht gedrückten Zustand steigt er auf ca. $500\text{ M}\Omega$. Mit einem Schwellwert von etwa $1\text{ M}\Omega$ lassen sich die beiden Zustände trotz der Schwankungen durch Klimaeinflüsse und Materialtoleranzen separieren.

Eine Ausnahme bildet eine Luftfeuchtigkeit von 100%. Hier konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Zuständen gemessen werden. Das heißt, im durchnässten Zustand ist die Jacke nicht funktionsfähig.

Begrenzung der Störeinflüsse auf die Schaltung

Die Polymerfäden sind neben klimatischen auch elektrostatischen Störungen ausgesetzt, da diese Fäden nicht geschirmt sind. Daher wurden Maßnahmen ergriffen, um die Störeinflüsse auf die Schaltung zu begrenzen. Neben isolierendem Garn und Textil verhindern Kondensatoren am Eingang der Auswerteelektronik Störungen, die durch den Hautkontakt mit dem Träger entstehen können.

Kontaktierung der Fäden

Da die eingesetzten Polymerfäden nicht hitzebeständig sind, können sie nicht durch Löten oder Schweißen mit der Leiterplatte verbunden werden. Deshalb wurden die Fäden über Kontaktlöcher in der Platine verknotet und mit Leitlack und dem Vergussmaterial fixiert, vgl. Abbildung 4. Für spätere industrielle Weiterentwicklungen

kommen andere Möglichkeiten für die Kontaktierung der Leiterplatte, wie z.B. Intermincling-Verfahren, in Betracht.

Darüber hinaus hat das IMMS unterschiedliche Versionen der Schaltflächen, vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2, mit voneinander abweichenden elektrischen Eigenschaften untersucht. Die Elektronik wurde so im Projektverlauf auf den jeweiligen Entwicklungsstand der Strick Zella GmbH angepasst.

Testmessungen für die Funkstrecke

Für eine energieeffiziente Kommunikation hat das IMMS auf den Standard IEEE 802.15.4 gesetzt. Dieser erlaubt Lösungen mit sehr geringer Leistungsaufnahme und damit langer Batterielebensdauer. Darüber hinaus können damit lizenzfreie Bänder für Hochfrequenzgeräte genutzt werden. Ein paralleler Betrieb mit anderen Sendern auf diesen Frequenzen, insbesondere mit WLAN und Bluetooth, ist ebenso möglich.

Nach der Festlegung des Protokolls hat das IMMS Testmessungen für die Funkstrecke vorgenommen, um Unterschiede in der Reichweite und der Paketverluste bei den möglichen Frequenzbändern 868 MHz und 2,4 GHz in der konkreten Anwendung zu identifizieren. Die Versuche wurden mit in der Kleidung eingebrachten Sendern am Körper, einem Empfänger auf einem Stativ in Entfernungen von 10 m, 20 m und 30 m sowie mit unterschiedlichen Körperausrichtungen von 0° bis 315° relativ zum Empfänger in 45°-Schritten sowie verschiedenen Antennenstrukturen auf Sender- und Empfängerseite durchgeführt. Abbildung 3 zeigt, dass bei bestimmten Konfigurationen Pakete verloren gehen, dies jedoch durch eine kleine Anzahl an Sendewiederholungen kompensiert und damit die erfolgreiche Übertragung der Schaltinformation gewährleistet werden kann.

Abbildung 3:

Funk- distanz:	Körperausrichtung des Jackenträgers							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
30 m	0 0,00 0,04	0 0,01 0,10	0 0,03 0,68	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,06	0 0,01 0,12
20 m	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00
10 m	0 0,00 0,00	1 0,03 0,30	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,04	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00	0 0,00 0,00

maximale ANZAHL der Wiederholungen je Paket für 99% der Messungen (0,99-Quantil)
arithmetischer MITTELWERT der Wiederholungen je Paket
STANDARDABWEICHUNG der Wiederholungen je Paket

Bei den Testmessungen mussten nur sehr selten Funkpakete mehrfach gesendet werden. Die Beispielstatistik zeigt Sendewiederholungen für ein seitlich am Körper getragenes 2,4-GHz-Funkmodul mit Chipantenne. Insgesamt wurden 288 Konfigurationen untersucht aus 6 Kombinationen von Funkmodulen und Antennen, 2 Senderpositionen, 3 Funkdistanzen und 8 Körperausrichtungen. Für jede Konfiguration wurde binnen 60 s ca. alle 100 ms ein Paket vom Sender in der Jacke zu einem Empfänger gesandt. Nach der Empfangsbestätigung wurde das Paket jeweils geändert und die Anzahl der Wiederholungen bis zur erfolgreichen Übertragung vermerkt. Quelle: IMMS.

Beide Bänder erwiesen sich als grundsätzlich geeignet, um im Freifeld eine Reichweite von bis zu 30 m zu erreichen. Ausgewählt wurde das 2,4-GHz-Band, da die verfügbaren Funkmodule mit sehr geringem Ruhestrom mehr Energieeffizienz im System ermöglichen. Zudem sind 2,4-GHz-Antennen klein und lassen sich gut in Kleidung einarbeiten. Darüber hinaus kann dieses Frequenzband weltweit genutzt werden.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

Hardware

Elektronik für das Senden der Schaltbefehle

Mit Blick auf Funkstandard, Energieverbrauch, Schnittstellen und Betriebssystem wurde ein Funkmodul mit integriertem Transceiver der Firma Dresden Elektronik (Typ deRFmega256-23Moo) ausgewählt. Für diese Elektronik hat das IMMS eine Leiterplatte mit kleiner Grundfläche und Kontaktierungspunkten für vier textile Schaltflächen entworfen und realisiert, siehe Abbildung 4. Die gewünschte Reichweite von 30 Metern zwischen gestrickter Fernbedienung und Empfangseinheit wird bereits mit der Standard-Chip-Antenne auf dem Funkmodul erreicht, so dass keine Antennenanpassungen vorgenommen werden mussten.

> *Inhalt*

* *Förderung*

Elektronik für die Konfiguration per Smartphone

Um mit NFC¹-fähigen Smartphones festlegen zu können, mit welcher Schaltfläche welche Funktionen welches Empfängers in Gang gesetzt werden sollen, wurde die Elektronik mit einer NFC-Antenne und einem NFC-Speicherbaustein ausgerüstet. Hierfür wurden verschiedene Leiterplattenspulen entworfen und kommerziell verfügbare Spulen verglichen. Nach einer messtechnischen Charakterisierung sowie zusätzli-

¹ *Near Field Communication, Nahfeldkommunikation; internationaler Übertragungsstandard auf RFID-Basis, mit dem Daten über Strecken von wenigen Zentimetern drahtlos ausgetauscht werden.*

Abbildung 4:
Am IMMS entwickelte
Hardware für die
gestrickte Fernbedienung.
Fotos: IMMS.



chen Reichweitentests mit einem NFC-Lesegerät wurde eine geeignete Leiterplatten-spule bestimmt. Mit diesem Spulenmodell wurden ebenfalls die Empfänger ausge-rüstet, damit sie per NFC erfasst und den Stricktastern zugeordnet werden können. Zum Anschluss der gestrickten Schaltflächen und zusätzlich notwendiger Sensorik sind auf der Leiterplatte Schnittstellen wie ADC und I²C verfügbar.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFIA*

Waschbarkeit

Die Elektronik und die Batterie sind für den Bereich von -40°C bis +85°C spezifi-ziert. Die Vergussmasse und die Polymerfäden sind korrosionsbeständig. Beides ist für die Waschbarkeit des Gesamtsystems unabdingbare Voraussetzung. Mechanisch wird die Lösung durch das Vernähen der Polymerfäden mit dem Textil, elastisches Vergussmaterial und das Verstauen der Elektronik in einer geschlossenen Tasche geschützt.

> *Inhalt*

* *Förderung*

Um die Waschbarkeit der Kleidung mit allen Komponenten zu gewährleisten, ent-wickelte der Projektpartner ITP ein Gehäusekonzept, bei dem Elektronik und die Batterie in zwei flexibel miteinander verbundenen Kammern wasserdicht vergossen werden. Erneute Reichweitentests des IMMS mit Stativen in Abständen von 10 m, 20 m und 30 m mit je 1000 Paketsendungen ergaben, dass beim Senden mit dem vergossenen Prototyp keine Pakete wiederholt werden mussten und die Signalgüte im Mittel annähernd optimal war.

Firmware und Programmierung

Das Sensornetz-Betriebssystem TinyOS wurde auf die ausgewählte Hardware por-tiert, um die Entwicklung der Firmware für Kommunikation und Konfiguration zu be-schleunigen. Aufbauend auf einer Recherche zu gängigen Verfahren wurde ein Funk-protokoll auf Anwendungsebene entwickelt und implementiert. Dieses unterstützt auch eine einfache Repeater-Funktion zur Reichweitenvergrößerung. Des Weiteren beinhaltet es die eigentlichen Steuerungsfunktionen auf Anwendungsebene. Um die Kommunikation zwischen der Elektronik in der Kleidung und den Empfängern ad-äquat abzusichern, wurde das Funkprotokoll erweitert. Neben einer Integritätssiche-rung bietet es Schutz vor wiederholtem Einspielen von Schaltkommandos.

Um Schaltflächen Funktionen zuzuweisen und einen individuellen Netzwerkschlüs-sel via NFC-Schnittstelle zu übermitteln, wurde die Software parametrierbar ausge-legt und eine Smartphone-App entwickelt.

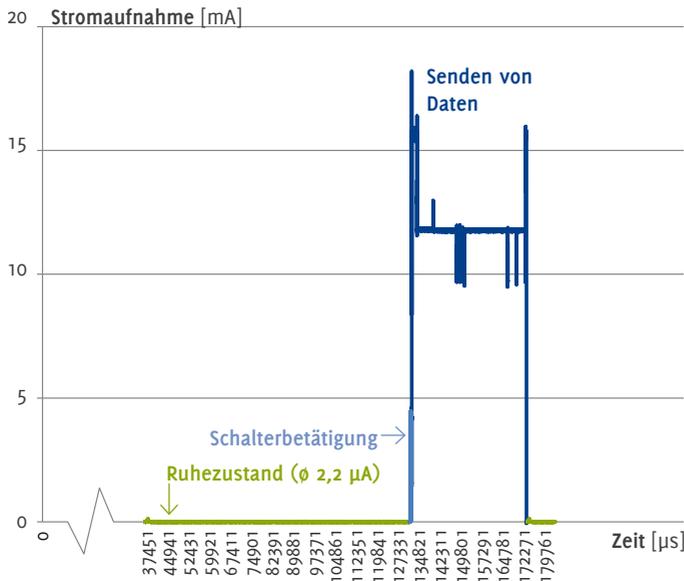


Abbildung 6:

Beispiel für eine der durchgeführten Energiebedarfsmessungen für Ruhezustand, Schaltflächenbetätigung und Funkkommunikation.

Von der Stromaufnahme wurde alle 102,4 Mikrosekunden ein Wert aufgezeichnet, hier dargestellt in Milliampere.

Grafik: IMMS.

Energiemanagement

Energiebedarfsmessungen

Um eine Auswahl für geeignete Batterien treffen zu können, wurden zunächst die Energieaufnahme des Systems für verschiedene Szenarien geschätzt. Entwicklungsbegleitend wurden Energiebedarfsmessungen durchgeführt. Diese umfassen die wesentlichen Betriebsphasen: Zuordnung von Schaltflächen zu Gegenstellen, Ruhe und Schaltflächenbetätigung mit Funkkommunikation, siehe Abbildung 6.

Geht man von vorgegebenen 60 Schalthandlungen pro Tag aus und nimmt an, dass Taster sehr viel seltener konfiguriert als betätigt werden, ergibt sich bezogen auf die angestrebte Laufzeit von bis zu 3 Jahren bei der aktuell eingesetzten Batterie ein Kapazitätsüberschuss. Dieser kann z.B. genutzt werden, um zusätzliche Sensorik nachzurüsten.

Energieeffizientes Zusammenspiel von Hard- und Software

Die lange Laufzeit der Elektronik wurde dadurch erreicht, dass zum einen besonders sparsame Hardware ausgewählt wurde. Zum anderen hat das IMMS Auswerteschaltung und Firmware darauf ausgelegt, das Funkmodul bei jeder Betriebsphase in einem energetisch günstigen Zustand zu betreiben.

So befindet sich das Gesamtsystem unter der Annahme von etwa 60 Schalthandlungen am Tag die meiste Zeit im Tiefschlaf-Modus mit einer Stromaufnahme von etwa 2,2 μA. Nur beim Drücken eines textilen Tasters oder bei Konfiguration per

NFC wird die Elektronik aufgeweckt. Nach Auswertung des Tastendrucks tauschen Elektronik und Empfänger Pakete zur Umsetzung der Schaltanforderung aus. Danach wird das System wieder in den Tiefschlaf versetzt. Die zeitliche Obergrenze für den gesamten Vorgang liegt momentan bei 100 ms. Damit ist das Gesamtsystem pro Tag nur etwa sechs Sekunden aktiv.

> *Smarte Jacke*

> *ENTOMATIC*

> *KOSERNA*

> *HoTSens*

> *INSPECT*

> *AFiA*

> *Inhalt*

* *Förderung*

Ausblick

Die beschriebene Lösung wurde prototypisch umgesetzt und soll zur Serienreife und ggf. für andere Anwendungen weiterentwickelt werden. Hierfür sind u.a. Langzeit-Tests unter verschiedenen mechanischen Belastungen notwendig. Das gilt insbesondere bei der für Robustheit und Betriebssicherheit kritischen Verbindung von Elektronik mit leitfähigen Polymerfäden, die beim Prototyp verknotet und mit Leitlack und Vergussmaterial fixiert werden. Ein Redesign der Leiterplatte mit größeren Abständen zwischen den Kontakten für die Polymerfäden ist ein weiterer Punkt, um das Gesamtsystem robuster zu gestalten. Je nach Anwendung sollten auch entsprechende Lösungen für eine Nass- und Trageerkennung über das Versuchsstadium hinaus weiterentwickelt werden.

Infos und TV-

Beitrag zum

Projekt auf

www.imms.de.

Kontakt: Dr.-Ing. Tino Hutschenreuther, tino.hutschenreuther@imms.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Das Projekt Smart Jacket wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) als Kooperationsprojekt unter dem Kennzeichen KF2534511CJ4 gefördert.