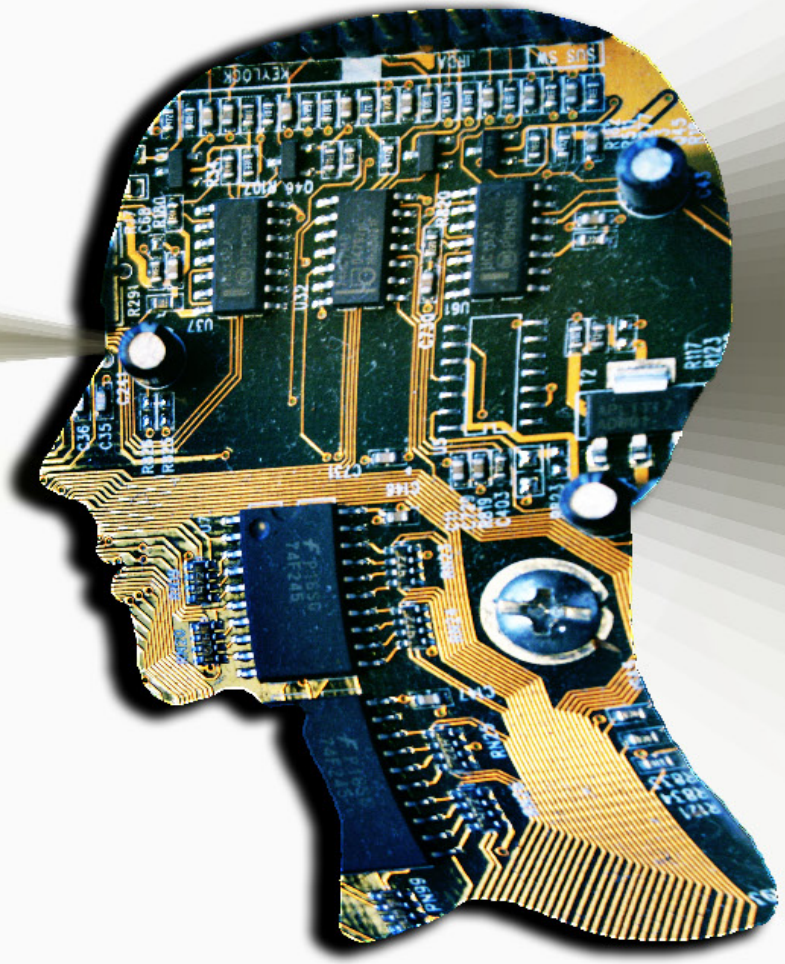
ISSN 1869-6139

ZEITSCHRIFT FÜR NACHWUCHSWISSENSCHAFTLER

German Journal for Young Researchers

Peer Reviewed - Open Access



Volume 4/5

5.Jahrgang | Ausgabe 1 | 2012/2013

Impressum

Herausgeber

Dipl.-Volksw. Ivonne Honekamp, MSc, Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Bamberg
Prof. Dr. Wilfried Honekamp, Hochschule Zittau/Görlitz

Verantwortlich im Sinne des Presserechts

Prof. Dr. Wilfried Honekamp
Fakultät Elektrotechnik und Informatik
Hochschule Zittau Görlitz
Bismarckstr. 14
02826 Görlitz
Deutschland

ISSN 1869-6139
Internet: www.nachwuchswissenschaftler.org
E-Mail: editor@nachwuchswissenschaftler.org
Tel.: 0049/03581-3222022
Fax: 0911/30844-03398

Art Director

Lisa Ratering

Lektorat

Nicoletta Wojtera, M.A.; Nikola Wiegeler, M.A.
& Holger Lange, M.A.

Textsatz & Layout

David Labonte (mit LaTeX 2_ε)

Fachredaktion

Agrarwissenschaften	Dr. agr. Inga Schmalenbach
Architekturwissenschaft und Bauökologie	Dipl.-Ing. Murat Doymaz
Automatisierung und Informatik	Dr.-Ing. Knut Meißner
Biologie und Ökologie	Dr. rer.nat. Irene Fischer
E-Health & Qualitätsmanagement im Gesundheitswesen	Mag. Alexander Ströher
Germanistik, Literaturwissenschaft & Geschichte	Nicoletta Wojtera, MA
Gesundheitsökonomie, Gesundheitspolitik & Systemgestaltung	Dr. sc. hum. Gordon Heringshausen, MA
Humanmedizin und Musikwissenschaft	Dr. med. univ. Alexander Tolios
Politikwissenschaft	Sara Kraft
Rechtswissenschaften	RA Dr. Marcus Bauckmann
Religionswissenschaft, Ethnologie & Gesundheitswissenschaft	Florian Jeserich, MA
Soziologie	Dipl.-Soz.-Wiss. Severin Frenzel
Theologie, Philosophie, Ethik & Betriebswirtschaftslehre	Dr. Joachim Fischer
Wirtschaftsinformatik	Dipl.-Wi.Inf.(FH) Christian Reinboth

Scientific Board

Dr. rer. pol. Dipl.-Pol. Holger Bentz	Akademie Deutscher Genossenschaften ADG
Professor Dr. Oliver Braun	Fakultät Informatik, Fachhochschule Schmalkalden
Dr. phil. Dominik Faust	Agentur DFKOM
Professor Dr. Michael Gente	Leitender Oberarzt an der Philipps-Universität Marburg
Professor Dr.-Ing. Andreas Karcher	Institut für ang. Informatik, Universität der Bundeswehr München
Dr. Dipl.-Psych. Harald Meyer	Lehrstuhl für Psychologie, Universität Bamberg
Yumi Michalski, MSc	Tias Nimbas Business School Utrecht
Daniel Possenriede, MSc	Utrecht School of Economics
Dr. med. Annette Schmidt-Taube, MSc	Fachärztin für Allgemeinmedizin
Dipl.-Wi.Ing. Randolph Schütte	Airbus CIMPA GmbH
Dr. Dipl.-Chem. Uwe Trebbe	Henkel Fragrance Center

Die interdisziplinäre Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler ist *peer reviewed* und kostenlos online verfügbar. Sie ist in der Elektronischen Zeitschriftenbibliothek und in JournalSeek gelistet. Unsere Artikel sind im Directory of Open Access Journals, in der Bielefeld Academic Search Engine, in Scientific Commons, in Ulrichsweb, in Google Scholar, in Omega, in Socolar, Scirus und in Publish or Perish verfügbar. Für ihre Bereitschaft, die Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler als Gutachter zu unterstützen, danken wir Thomas Draxler, Jana Dörnchen-Neumann, Sven Friedl, Jörg Müssig, Stefan Veigel, Peter Will.

Inhalt

Impressum 2

Editorial 4

Fachartikel 5

Thiers et al.
Sportanalyse mittels Shimmer^{TM}-Sensoren 5

Taudt et al.
Charakterisierung von Meerrettichfasern für die potentielle Nutzung in naturfaserverstärkten Kunststoffen 12

Arbeitsberichte 18

Schwarz et al.
Anwendung drahtloser Kommunikationstechnologien zum Aufbau eines Sensornetzwerkes für verteilte Messaufgaben 18

Punk O & Heuert U
Synchronisiertes Messen mittels DCF77 und GPS 23

EDITORIAL

Nachwuchswissenschaftlerkonferenz in Görlitz

Wilfried Honekamp

In Görlitz trafen sich 130 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am 19. April 2012 zur 13. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz, um ihre Forschungsergebnisse einem breiten Publikum zu präsentieren. Die Konferenz stand unter der Schirmherrschaft der Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst Prof. Dr. Sabine von Schorlemer. Die Teilnehmer kamen aus zwölf Hochschulen für angewandte Wissenschaften der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Der Rektor der Hochschule Zittau/Görlitz, Prof. Dr. phil. Friedrich Albrecht, und der Oberbürgermeister der Stadt Görlitz, Joachim Paulick, ließen es sich nicht nehmen, die Teilnehmer persönlich zu begrüßen.

In 15 Sessions stellten sich die Nachwuchswissenschaftler auf den Gebieten Ingenieur-, Natur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften mit insgesamt 90 Beiträgen in Form von Vorträgen und Postern vor. Die präsentierten Forschungsergebnisse unterstrichen eindrucksvoll das Niveau der Teilnehmer und stellten die Leistungsfähigkeit der Hochschulen für angewandte Wissenschaften deutlich heraus.

Nach einer Publikumswahl wurden die besten Arbeiten prämiert. Der «Best Paper Award» ging in diesem Jahr an Martin Reuter von der Fachhochschule Jena für seinen Vortrag zum Thema «Bildung eines mechatronischen Zweitors zur Bestimmung mechanischer Materialparameter». Für sein Poster zum Thema «Bestimmung von Abtragsschwellwerten und Tiefenabtrag von optischen Gläsern mittels UKP-Laserstrahlung» erhielt Christian Schindler, ebenfalls Fachhochschule Jena, den «Best Poster Award». [1]

In dieser Ausgabe der Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler werden die prämierten besten Beiträge der Konferenz, die uns zur Verfügung gestellt wurden, veröffentlicht. Der erste begutachtete Beitrag befasst sich mit der Nutzung drahtloser Sensoren der Firma Shimmer Research™ zur Technikanalyse in der Kampfsportart Judo. Der zweite Beitrag geht auf den Einsatz von Fasern aus der Sprossachse der Meerrettichpflanze bei der Herstellung von Fahrzeugteilen ein. Im ersten Arbeitsbericht wird die Entwicklung und der Aufbau eines auf Funktechnologie basierenden Sensornetzwerkes beschrieben, das verschiedene physikalische Messgrößen determiniert erfassen, speichern und darstellen kann. Der zweite Arbeitsbericht befasst sich mit der Notwendigkeit, Laufzeitunterschiede in der Messtechnik mit Hilfe der Ortsinformationen von Sender und Empfänger zu kompensieren und in der Datenauswertung zu berücksichtigen.

Alle Beiträge wurden im Vorfeld der Konferenz begutachtet, die ersten beiden haben zusätzlich das Peer Review der Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler durchlaufen. Die 14. Nachwuchsforscherkonferenz findet am 18.04.2013 an der Hochschule Brandenburg in Brandenburg an der Havel statt.

IN EIGENER SACHE

Die Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler basiert auf der ehrenamtlichen Arbeit engagierter Wissenschaftler. Für unser Team suchen wir dringend eine Chefredakteurin/einen Chefredakteur, die/der die Prozesse der Zeitschrift steuert.

Wilfried Honekamp
Herausgeber der Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler

Zu zitieren als: **Honekamp W (2013):** Nachwuchswissenschaftlerkonferenz in Görlitz. Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler 2013/1(5): S. 4

Please cite as: **Honekamp W (2013):** Early stage researcher's conference in Görlitz. German Journal for Young Researchers 2013/1(5): p. 4

[1] siehe www.hszg.de/pl/aktuelles/neuigkeiten/news/article/13-nachwuchswissenschaftlerkonferenz-2.html (12.04.2013).

URL: http://www.nachwuchswissenschaftler.org/2013/1/10
URN: urn:nbn:de:0253-2013-1-101

Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler
German Journal for Young Researchers

Ausgabe 1(4): 5 – 11
2012

SPORTWISSENSCHAFTEN

SPORTANALYSE MITTELS SHIMMER™-SENSOREN

Sport analysis using Shimmer™-sensors

Angelina Thiers, Thomas Schrader, & Katja Orlowski*

Fachhochschule Brandenburg | Magdeburger Str. 50 | D-14770 Brandenburg

Eingegangen am 01.06.2012 ; Überarbeitet eingereicht am 07.09.2012

Reviewer: Thomas Draxler & Sven Friedl | Verantwortlicher Redakteur: Wilfried Honekamp | Lektorat: Holger Lange

Zusammenfassung

Die Leistungskontrolle im Sport erfolgt zunehmend durch technische Unterstützung. Für eine realistische Bewertung ist es einerseits wichtig, dass der Sportler während der Analyse nicht durch die Messeinheit behindert wird, und andererseits, dass die Kontrolle in einer der Sportart entsprechenden Umgebung stattfindet. Diese Anforderungen können mit den drahtlosen Sensoren der Firma Shimmer Research™ erfüllt werden. Aktuell ist das Haupteinsatzgebiet der Sensoren die Ganganalyse. Auf Grund ihrer kleinen Bauweise und der kabellosen Übertragung der Daten eignen sich die Messeinheiten auch für Sportanalysen. Im Rahmen eines Versuchs wurden diese Sensoren zur Technikanalyse in der Kampfsportart Judo eingesetzt. Während der mehrmaligen Wiederholung einer Wurftechnik werden bei sechs Probanden sowohl Elektromyogramm (EMG)-Daten als auch Beschleunigungsdaten an verschiedenen Messpunkten aufgenommen. Der Versuch sollte zeigen, ob sich die Erfahrung und Versiertheit der Sportler bei der Ausführung eines Wurfes aus den physiologischen Messwerten der EMGs und der Beschleunigung ableiten lassen. Das Ergebnis der Versuchsdurchführung zeigt, dass dieser Zusammenhang mit dem entwickelten Versuchsaufbau teilweise bestätigt werden konnte.

Schlüsselwörter: *Beschleunigungsdaten | Biosignalverarbeitung | drahtlose Sensoren | Elektromyogramm-Daten | Judo*

Abstract

Performance assessment in sports is more and more supported by technical tools. To ensure realistic results, it is crucial that the athlete is not limited by the measurement unit when performing his exercise. Another key aspect is that the test is performed in a suitable environment. Both requirements are fulfilled with the wireless sensors of Shimmer Research™. Currently, the sensors are mainly used for stride analysis. Due to their small size, the sensors are very suitable for sports as they do not impede the athlete. In this test series, the wireless sensors are used for analyzing judo techniques. During the repeated execution of a special technique, the equipment is acquiring electromyography and acceleration data of six test persons. The aim of the test series is to find whether a correlation exists between the measured data and the quality of the performed technique. This paper shows that the aim is reached in part.

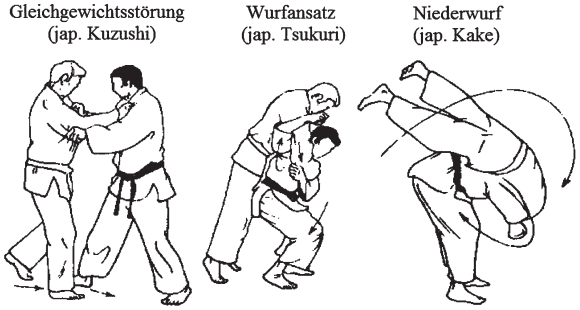
*Kontakt: thiers@fh-brandenburg.de

keywords: *Acceleration Data | Biosignal Analysis | Wireless Sensors | Electromyogram-Data | Judo*

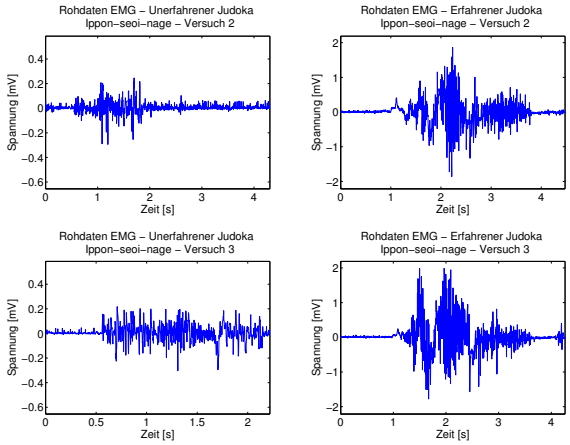
Im Jahr 2007 veröffentlichte das ‹British Journal of Sports Medicine› einen Artikel (Armstrong, 2007), der sich mit dem Einsatz von drahtlosen Übertragungstechnologien im Bereich der Gesundheits- und Sportüberwachung befasste. Die Autorin Siân Armstrong kam zu dem Ergebnis, dass die Nutzung der entsprechenden Technik in den bereits realisierten Forschungsprojekten zwei große Vorteile bringt. Zum einen ist es möglich die Daten in Echtzeit zu analysieren und zum anderen besteht die Möglichkeit die Daten verschiedener Sportler miteinander zu vergleichen. Ein Beispiel für dieses Anwendungsfeld ist der Einsatz von Sensornetzwerken im Golf zur Optimierung des Schwungtrainings (Ghasemzadeh et al., 2009).

Der Fortschritt und die Spezialisierung der drahtlosen Netzwerke brachte den Bereich der Body Sensor Networks (BSN) hervor. Dieses Gebiet befasst sich mit Messungen der Gesundheits- und Sportüberwachung. Die verschiedenen Messsysteme finden sowohl im Profi- als auch im Breitensport ihren Einsatz. Im Gegensatz zu den Wireless Sensor Networks zeichnen sich die Sensorknoten in den BSNs durch ihre kleine und energiesparende Konstruktion aus. Neben der Filterung und Digitalisierung der Messwerte ist eine weitere Anforderung an die Messeinheiten, dass eine erste Vorverarbeitung der Daten stattfindet. Zur Realisierung dieser Anforderung sind die Sensorknoten mit Betriebssystemen, wie beispielsweise Tiny Microthreading Operating System (TinyOS), ausgestattet (Dünkler, 2002; Yang & Yacoub, 2006).

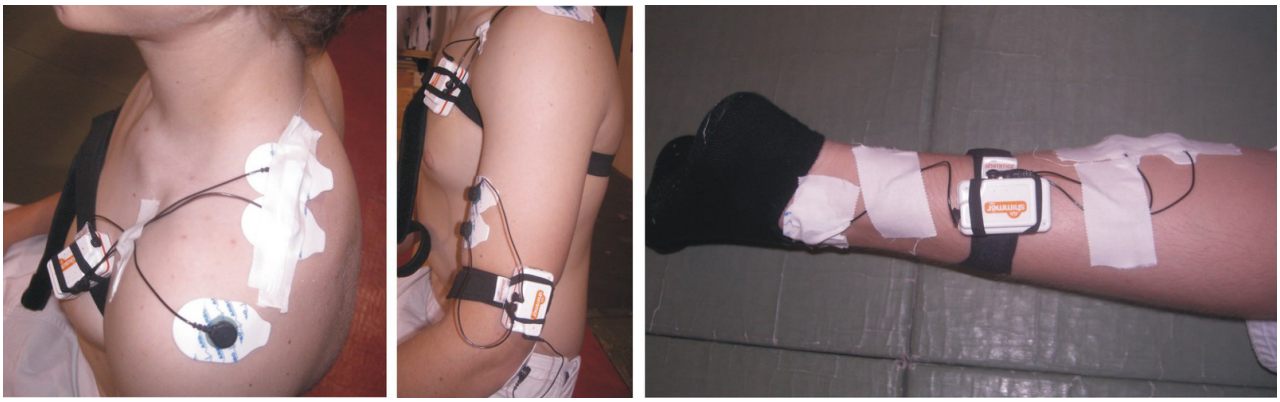
In der Kampfsportart Judo wird eine Technikausführung durch eine bestimmte Abfolge von Bewegungsabläufen definiert. Die Technik ist die Art und Weise der Lösung einer bestimmten Bewegungsaufgabe für eine spezielle Wurftechnik. Die gute Ausführung bedarf der richtigen Reihenfolge im Zusammenwirken bestimmter Teile des Bewegungsapparates. Besonders im Wettkampf sind diese in hohem Maße für gute Leistungen erforderlich. Das bedeutet, dass für eine qualitativ hochwertige Technikausführung der kontrollierte Einsatz des Körpers notwendig ist. Dieser wird durch gleichzeitige bzw. aufeinanderfolgende Muskelkontraktionen gesteuert. Auf Grund der Sportbekleidung im Judo ist oftmals die Beurteilung des richtigen Körpereinsatzes schwer.



(a)



(b)



(c)

Abb 1: (a) Ausführung der Technik Ippon-seoi-nage (nach Gimnasio-Judo-Tao, 2007). **(b)** Rohdaten der EMG-Messung. **(c)** Sensorplatzierung am *M. trapezius pars descendens*, *M. biceps brachii*, *M. gastrocnemius caput mediale*

Dies hat wiederum einen negativen Einfluss auf die Korrektur feiner Fehler. Mit Hilfe der Aufzeichnung der Muskel- und Bewegungsaktivtät des Oberarms kann beispielsweise die konsequente Durchführung des Kuzushi, dem Vorgang der Gleichgewichtsbrechung über den Verlauf der Technik, kontrolliert werden. Diese Gleichgewichtsbrechung spielt eine prägnante Rolle bei der Ausführung einer Technik. Die Korrektur oder Optimierung des zeitlichen Einsatzes des Oberarms in der Technikausführung kann die Qualität der Wurfausführung verbessern. Mit Hilfe der drahtlosen Sensoren ist es möglich, Analysen zu tätigen, die über die bloße Beobachtung der Wurfausführung hinausgehen. Die Wurfausführungen können nachträglich analysiert und verglichen werden. Es können Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu anderen Sportlern oder vorgegebenen Aktivitätsverläufen ermittelt werden, die bei der visuellen Betrachtung nicht erkannt werden können.

MATERIAL UND METHODEN

Es wurden Daten von drei erfahrenen und drei unerfahrenen Sportlern während der mehrmaligen Durchführung einer Wurftechnik aufgezeichnet. Der Durchführung der Datenaufzeichnung liegt ein weiterentwickelter Versuchsaufbau zu Grunde (Thiers & Schrader, 2011). Dieser beschreibt die Anbringung der Sensoren an dem rechten Bein, dem linken Arm sowie dem Rücken. Der Ablauf legt die Technikausführung, die Anzahl der Wiederholungen sowie die Einteilung in die zwei Versuchsgruppen fest. Die Analyse der aufgezeichneten EMG- und Beschleunigungsdaten sollte prüfen, ob eine Korrelation zwischen den Messdaten und der Erfahrung und der Versiertheit eines Sportlers besteht.

Signalerfassung

Die Messungen erfolgten mit drahtlosen Sensoren der Firma Shimmer Research™. Die verwendeten Sensoreinheiten setzen sich jeweils aus einem Base- und Daughterboard

Tab. 1: Demografische Beschreibung der Probanden

Proband	Alter	Vereinszugehörigkeit	Graduierung	Leistungseinschätzung	Einteilung
1	19 Jahre	12 Jahre	1. Kyu	zahl- und erfolgreiche Wettkampfbeteiligung, sicher in der korrekten Technikausführung	Erfahren
2	17 Jahre	10 Jahre	1. Kyu	erfolgreiche Wettkampfbeteiligungen, sicher in der korrekten Technikausführung	Erfahren
3	15 Jahre	9 Jahre	3. Kyu	häufige und erfolgreiche Wettkampfbeteiligung, sicher in der korrekten Technikausführung	Erfahren
4	12 Jahre	2 Jahre	7. Kyu	Wettkampferfahrung vorhanden, beherrscht technische Grundlagen	Unerfahren
5	12 Jahre	1 Jahr	9. Kyu	Keine Wettkampferfahrung, beherrscht technische Grundlagen	Unerfahren
6	6 Jahre	1,5 Jahre	8. Kyu	Geringe Wettkampferfahrung, beherrscht technische Grundlagen mit kleinen Schwächen	Unerfahren

zusammen. Der im Baseboard integrierte Beschleunigungssensor ermöglicht die Messung der Geschwindigkeitsänderung in X-, Y-, und Z- Richtung. Der Messbereich des Sensors liegt entweder im Bereich von $\pm 1{,}5\,g$ oder $\pm 6\,g$. Durch Nutzung des Betriebssystems TinyOS und der Bluetooth-Technik wird die drahtlose Übertragung der Daten realisiert (Shimmer-Research™, n.d.).

Für die Aufzeichnung der elektrischen Aktivität der Skelettmuskulatur wird die Kombination von dem Baseboard mit dem EMG-Daughterboard eingesetzt. Dieses verfügt über drei Anschlusskontakte für Oberflächenelektroden, wodurch eine bipolare Ableitung des stochastischen Signals (der elektrischen Aktivität des Muskels) gebildet werden kann. Bereits bei der Datengewinnung durch den Sensorknoten erfolgt eine Bandpassfilterung der Daten im Bereich von 5 Hz bis 482 Hz. (Shimmer-Research™, n.d.; Kramme, 2011).

Die Anbindung der Sensorik erfolgte über die Bildung eines BSNs. Dieses wird durch eine sternförmige, strukturierte Netztopologie mit Hilfe eines Bluetooth-Netzwerkes realisiert. Der Bluetooth-Koordinator sammelt alle Sensorinformationen und leitet diese an den Laptop weiter.

Signalanalyse

Für die Beseitigung von Störquellen, wie beispielsweise Netzbrummen oder Bewegungsartefakte im EMG-Signal, werden verschiedene Filter eingesetzt. Zum einen Notch-Filter bei 50 Hz und 224 Hz sowie ein Hochpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 15 Hz (Merletti & Parker, 1999). Im Gegensatz zur Filterspezifikation für die EMG-Signale, werden die Bewegungssignale sowohl Hoch- (1 Hz) als auch Tiefpass (15 Hz) gefiltert (Standaert & Speybrouck, 2011).

Auf Grund des bipolaren Charakters des EMG-Signals ist für eine statistische Analyse die Gleichrichtung der Signale erforderlich. Diese erfolgt über die Methode der Vollweggleichrichtung, bei der für Werte im negativen Bereich der Betrag gebildet wird (Latash, 2008).

Basierend auf den gleichgerichteten Signalen folgt die Ermittlung der Hüllkurve. Unter der Bedingung einer kinesiologischen EMG-Untersuchung mit schnellen Bewegungen wird eine Dauer von 20 ms pro Zeitfenster für die Berechnung der Hüllkurve gewählt. Zur Ermittlung der Werte wird die Methode des Root Mean Square verwendet (Grimshaw, 2006).

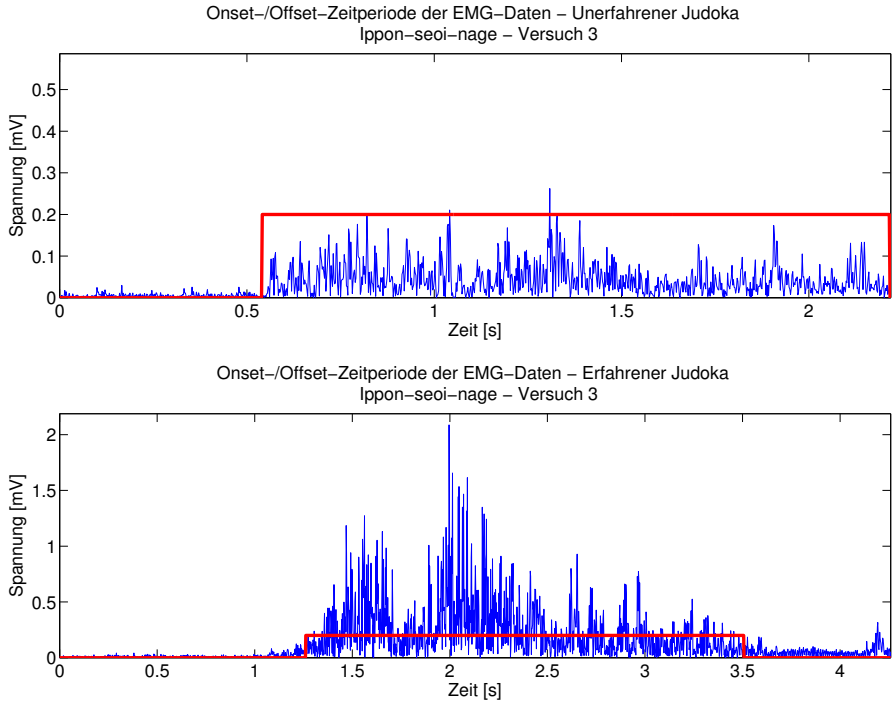
Für die Extraktion der Phase der Muskelbeteiligung innerhalb des analysierten EMG-Signals erfolgt die Detektion der Onset-/Offset-Perioden. Die Definition der Schwellwerte ist bei 5 % der lokalen maximalen Amplitude festgelegt (Konrad, 2005).

Weitere Analysen im Zeit- und Frequenzbereich werden auf der vorangegangenen Detektion durchgeführt. Für die Untersuchung der Veränderungen der Frequenzparameter in Abhängigkeit von der Zeit wird die Short Time Fourier Transformation (STFT) verwendet. Für einen optimalen Kompromiss zwischen Zeit- und Frequenzauflösung wird eine Fenstergröße von 256 Samples gewählt (Lehmann, 2005; Grimshaw, 2006).

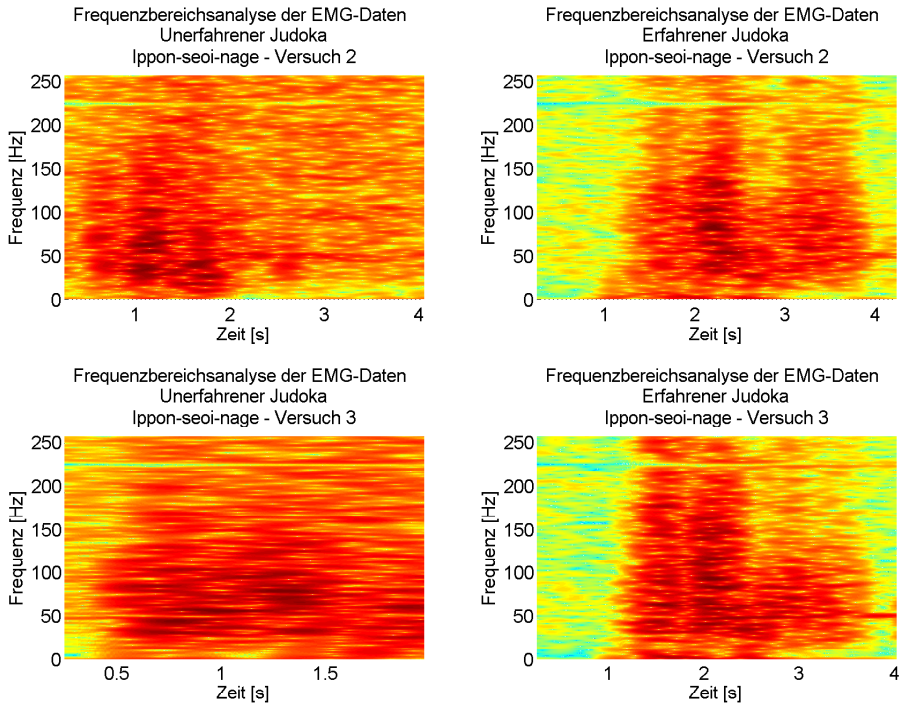
Versuchsaufbau

Alle Sportler führten den Punktschulterwurf, Ippon-seoi-nage, in der Rechtsausführung durch. Der Wurfablauf der Technik ist in der Abb. 1 schematisch dargestellt. Für eine gute Reproduzierbarkeit der Durchführungen wurde neben der Beschreibung der Wurfausführung auch eine Definition der Fassart und der Ausgangsposition der Probanden festgelegt.

Auf Grund des charakteristischen Bewegungsablaufes der Technik konnten drei Messpunkte für die Analyse lokalisiert werden. Zur Kontrolle des Kuzushis wurde eine Messeinheit am linken *Musculus biceps brachii* angebracht. Der linke *Musculus biceps brachii* dient bei der Rechtsausführung der Technik als Zugarm. Neben der Gleichgewichtsbrechung hat er auch Einfluss auf die Dynamik des Wurfes. Zusätzlich zu dem Kuzushi ist die korrekte Beinstellung wichtig. Bei dem Ippon-seoi-nage haben die Beine ebenfalls Einfluss auf die Dynamik des Wurfes. Durch eine schnelle und impulsive Streckung wird der Niederwurf unterstützt. Für diese Form der Bewegung sind neben den EMG- auch die Beschleunigungsdaten von Interesse. Daraus ergibt sich, dass die zweite Sensoreinheit an einer der unteren Extremität, dem *Musculus gastrocnemius caput mediale* angelegt wurde. Die dritte Messeinheit wurde an der Rückenmuskulatur, die einen Großteil der Bewegung der Arme mitsteuert, angelegt. Interessant ist diese Region unter den

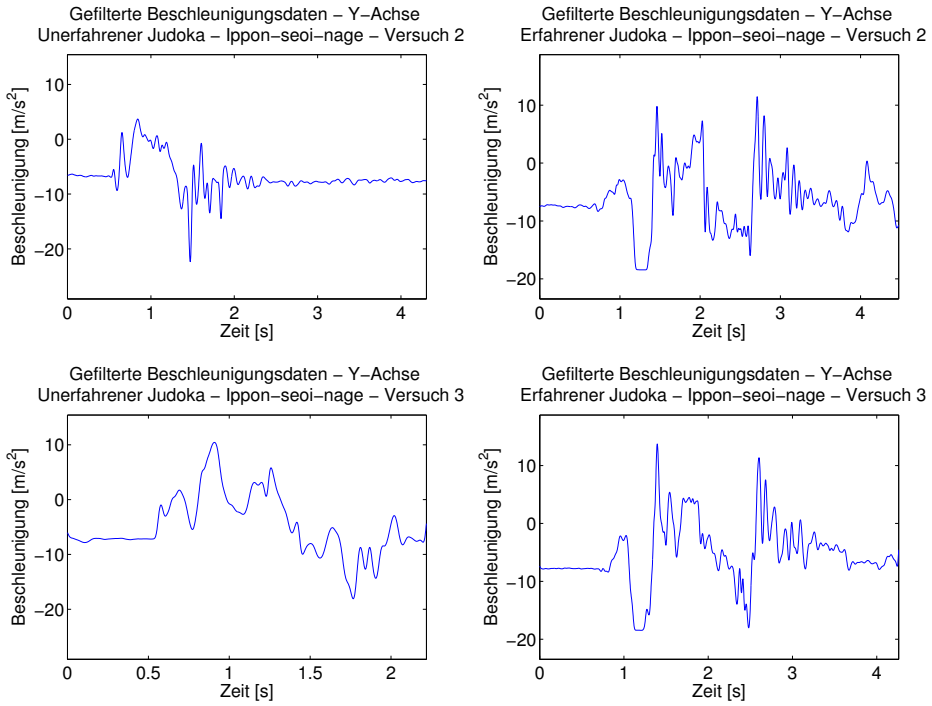


(a)

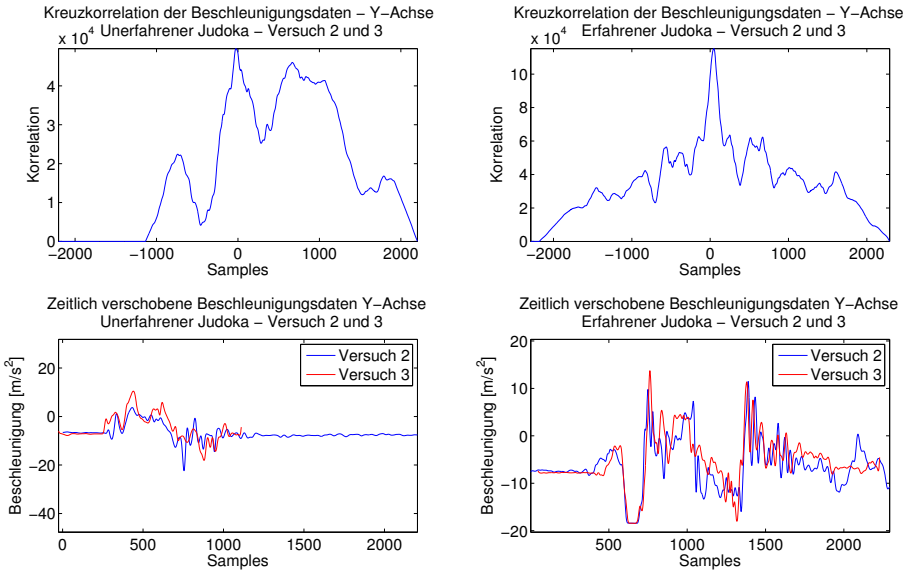


(b)

Abb 2: (a) Onset-/Offset-Zeitperiode der EMG-Daten (nach Gimnasio-Judo-Tao, 2007). **(b)** Frequenzbereichsanalyse der EMG-Daten



(a)



(b)

Abb 3: (a) Gefilterte Beschleunigungsdaten der Y-Achse. **(b)** Kreuzkorrelation und zeitlich verschobene Beschleunigungsdaten

Gesichtspunkten des Abneigens und Drehens des Oberkörpers. Für den Niederwurf wird Kraft aufgebracht, die mit Hilfe der Messeinheit am linken *Musculus trapezius pars descendens* aufgezeichnet werden sollte. Alle angebrachten Messeinheiten zeichneten mit einer Abtastrate von 1024 Hz auf.

Der vorgegebene Ablauf wurde jeweils mit drei erfahrenen und drei unerfahrenen männlichen Judoka durchgeführt. Die Klassifizierung der beiden Gruppen erfolgte nach den Kriterien Gürtelfarbe, aktive Zeit im Vereinssport und der persönlichen Einschätzung des Trainers auf Grund von Trainings- und Wettkampfleistung. Die genaue Beschreibung der Probanden ist Tab. 1 zu entnehmen.

Die Hautvorbereitung sowie die Anbringung der Elektroden orientierten sich an den vorgegebenen Richtlinien von SENIAM (SENIAM, n.d.). Für alle drei Muskeln wurden selbst definierte Übungen zur Messung der Maximalkraft durchgeführt. Die Durchführung der Wurftechnik umfasste eine viermalige Wiederholung des Ippon-seoi-nage. Die Begrenzung der Wiederholungen beruht auf Beobachtungen im Trainingsbetrieb, welche zeigten, dass vor allem bei den jungen Sportlern der geworfene Partner seine körperliche Haltung verändert. Die Kinder und Jugendlichen neigen dazu eine Haltung einzunehmen, die es dem Partner erschwert ihn zu werfen und somit die Ausführung der Technik beeinflussen.

ERGEBNISSE

Beispielhaft werden einige Auswertungen mit dem Datensatz der zweiten und dritten Wiederholung vollzogen. Abbildung 3 visualisiert die Rohdaten der EMG-Messungen. Auf der linken Seite sind die Werte des Musculus biceps brachii des unerfahrenen Judoka abgebildet. Analog dazu entsprechen die Grafiken auf der rechten Seite den Messwerten des erfahrenen Judoka. Die Betrachtung der Maximalwerte zeigt, dass der erfahrene Judoka mit 2 mV eine fast fünffach höhere maximale Amplitude im Vergleich zu dem unerfahrenen Judoka erreicht. Weiterhin ist zu erkennen, dass die beiden Wiederholungen des erfahrenen Judoka im Gegensatz zu dem unerfahrenen Sportler eine zeitliche Konstanz aufweisen.

Die in Abb. 4 dargestellten Detektionen der Onset-/Offset-Zeitperioden der EMG-Daten stellen den in den folgenden Analysen berücksichtigten Signalausschnitt dar.

Neben der Untersuchung der Daten im Zeitbereich bringt die Auswertung der Daten im Frequenzbereich ebenfalls Aufschluss über die Ähnlichkeit der einzelnen Wurfwiederholungen der Probanden. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Abb. 5 dargestellt. Die beiden Grafiken der rechten Seite lassen ein Muster in Form von drei Säulen erkennen. Diese treten zum einen zu gleichen Zeitpunkten und zum anderen in ähnlicher Intensität auf. Gleiche Ergebnisse sind bei dem Vergleich der zwei Wiederholungen des unerfahrenen Sportlers (linke Grafiken) nicht zu finden.

Wie auch bei den EMG-Daten muss bei den Beschleunigungsdaten eine Beseitigung von Artefakten erfolgen. Der Vergleich der ermittelten Messdaten der Y-Achse zeigt, dass die Messdaten des erfahrenen Judoka eine höhere Dynamik aufweisen als die des unerfahrenen Judoka (vgl. Abb. 3a).

Die Darstellung der Kreuzkorrelation in Abb. 3b zeigt in der rechten Grafik einen symmetrischen Verlauf. Dies impliziert, dass der erfahrene Sportler seinen Arm in beiden Wurfwiederholungen ähnlich eingesetzt hat. Verdeutlicht wird dies in der rechten unteren Grafik, welches die zeitlich verschobenen Beschleunigungsdaten der Wiederholungen abbildet. Es ist zu sehen, dass die Richtung der Beschleunigung gleich ist, aber zu einigen Zeitpunkten die Intensität abweicht. Die Betrachtung der Korrelationskurve des unerfahrenen Judoka (linke obere Grafik) weist keinerlei Symmetrie auf. Dies spricht dafür, dass der Sportler seinen Arm in den beiden Ausführungen unter gleichen Bedingungen unterschiedlich eingesetzt hat und noch unsicher in der Wurfausführung ist.

DISKUSSION

Mit Hilfe des konzipierten Versuchsaufbaus ist es möglich, die Erfahrung und Versiertheit der Sportler bei der Ausführung eines Wurfes aus den physiologischen Messwerten des Elektromyogramms und der Beschleunigung abzuleiten.

Der Einsatz von drahtlosen Sensoren erwies sich in den Versuchen als praktikabel. Die Probanden wurden bei der Wurfausführung durch die Messtechnik weder behindert noch in der Bewegungsfreiheit eingeschränkt.

Neben der Analyse der einzelnen Muskeln stellt die ganzheitliche Betrachtung der EMGs der verschiedenen Muskeln einen weiteren Analyseansatz dar. Mit Hilfe der verschiedenen EMGs kann eine Rekonstruktion des Wurfablaufs in Abhängigkeit des jeweiligen Muskeleinsatzes erfolgen. Der Vergleich, der tatsächlichen Muskelaktivierung im Verlauf der Technik mit dem erwarteten Einsatz der Muskeln, kann der Korrektur und Effektivitätssteigerung der Technikausführung dienen.

Jedoch müssen weitere Qualitätsattribute für die unterschiedlichen Wurftechniken identifiziert und evaluiert werden. Dazu sind eine größere Probandenzahl, eine höhere Anzahl von Wurfwiederholungen und die Anbringung weiterer Sensoren notwendig.

Außerdem sollte in weiteren Versuchen der Einfluss der Filterparameter, wie z. B. die jeweilige Grenzfrequenz auf die Aussagekraft der Signale, untersucht werden. Bei einer Kampfsportart, wie Judo, werden schnelle und explosive Bewegungen ausgeführt. Die Anwendung des Tiefpassfilters auf die Beschleunigungsdaten entfernt hochfrequente Bewegungen, was einen Verlust an Information bedeutet.

REFERENZEN

Armstrong S (2007): *Wireless connectivity for health and sports monitoring: a review*. British journal of sports medicine **41**(5): 285–289.

Dünkler R (2002): *Die Zukunft in der Medizin ist kabelfrei.* Deutsches Ärzteblatt/PraxisComputer **3**: 25–27.

Ghasemzadeh H, Loseu V, Guenterberg E & Jafari R (2009): *Sport training using body sensor networks: a statistical approach to measure wrist rotation for golf swing*. Proceedings of the Fourth International Conference on Body Area Networks, –.

Gimnasio-Judo-Tao (2007): *IPPON-SEOI-NAGE.* http://www.judo-tao.com/gokyo/NAGE-WAZA/Ippon-seoi-nage.gif, http://www.webcitation.org/685285Mh2 (31.05.2012).

Grimshaw P (2006): Instant notes in sport and exercise biomechanics. BIOS Scientific Publ.

Konrad P (2005): The abc of emg. Noraxon. http://www.webcitation.org/6AVVQvKck (07.09.2012).

Kramme R (2011): Medizintechnik: Verfahren-Systeme-Informationsverarbeitung. Springer.

Latash M (2008): Neurophysiological basis of movement. Human Kinetics Publishers.

Lehmann T (2005): Handbuch der medizinischen Informatik. Hanser Verlag.

Merletti R & Parker P. A (1999): Electromyography. Wiley Online Library.

SENIAM (n.d.): *Sensor Locations* www.seniam.org (31.05.2012).

Shimmer-Research™ (n.d.): *14. Wireless EMG Sensor* www.shimmer-research.com, http://www.webcitation.org/686BL0rw1 (01.06.2012).

Standaert J & Speybrouck W (2011): Implementing real-time step detection algorithm in EyesWeb environment. Diplomarbeit, Blekinge Tekniska Högskola Karlskrona.

Thiers A & Schrader T (2011): *Technikanalyse im Judo mit Hilfe drahtloser Sensoren*. 11. 56. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie (gmds), 6. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi), 927–928.

Yang G & Yacoub M (2006): Body sensor networks, Bd. 6. Springer Berlin, Germany:.

Zu zitieren als: **Thiers A, Schrader T & Orlowski K (2012):** Sportanalyse mittels Shimmer™-Sensoren. *Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler* 2012/1(4): S.5 – 11

Please cite as: **Thiers A, Schrader T & Orlowski K (2012):** Sport analysis using Shimmer™-sensors. *German Journal for Young Researchers* 2012/1(4): pp. 5 – 11

URL: http://www.nachwuchswissenschaftler.org/2012/1/20/

URN: urn:nbn:de:0253-2012-1-207

Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler
German Journal for Young Researchers

Ausgabe 1(5): 12–17
2013

MASCHINENBAU

CHARAKTERISIERUNG VON MEERRETTICHFASERN FÜR DIE POTENTIELLE NUTZUNG IN NATURFASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN

Characterization of horseradish fibers for the potential use in natural fiber-reinforced polymers

Christopher Taudt,* Uwe Gieland, David Meyer, Holger Klose

Westsächsische Hochschule Zwickau | Institut für Produktionstechnik | Dr.-Friedrichs-Ring 2a | D-08056 Zwickau

Eingegangen am 01.06.2012 ; Überarbeitet eingereicht am 27.01.2013

Reviewer: Jana Dörnchen-Neumann & Stefan Veigel | Verantwortlicher Redakteur: Wilfried Honekamp | Lektorat: Nikola Wiegeler

Zusammenfassung

Der Einsatz von naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK) bei der Herstellung von Fahrzeugteilen, insbesondere im Bereich des Fahrzeugexterieurs und -interieurs, hat in den letzten Jahren beständig zugenommen.

In der vorgestellten Arbeit wird die Suche nach Alternativen zu bekannten Naturfaserarten vorgeschlagen und mit Fasern aus der Sprossachse der Meerrettichpflanze (*Armoracia rusticana*) eine ausgewählte Faserart untersucht. Durch einen entsprechenden Faseraufschluss konnten Faserbündel mit einem Anteil von ca. 10 % extrahiert werden. Diese bestehen aus einer Ansammlung vielzahliger Einzelfasern. Diese Einzelfasern weisen ein ausgeprägtes Faserlumen (Durchmesser ca. 20 µm) bei einer vergleichsweise geringen Wandstärke von ca. 2 µm auf. Die Feinheit von aufgeschlossenen Faserbündeln beträgt 22,6 tex, während die Dichte der Faserbündel (inklusive Lumen) 0,6 g cm^{-3} beträgt. Durch Zugversuche an derartigen Faserbündeln konnte eine Zugfestigkeit von 26,9 cN tex^{-1} und eine maximale Dehnung von 1,89 % ermittelt werden.

In einer abschließenden Diskussion wird anhand dieser charakteristischen (mechanischen) Eigenschaften eine Einschätzung zur potentiellen Nutzung der Meerrettichfasern für den Einsatz als Verstärkungskomponente in Verbundkunststoffen getroffen. Es wird auf mögliche weitere Untersuchungs- sowie Anwendungsfelder dieser Faser eingegangen.

Schlüsselwörter: *Armoracia rusticana | Faserscharakterisierung | regionale Naturfasern | alternative Naturfaserarten*

Abstract

The application of natural fiber-reinforced polymers (NFRP) as in the design of automotive exterior and interior parts has made significant progress in recent years.

In preparation of this work alternatives to known natural fibers have been sought. In consequence fibers from the stem of the horseradish plant (*Armoracia rusticana*) were choosen and investigated. It could be found, that usable fiber bundles exist in nearly 10 % of the stem which also accomondate numerous single fibers. These single fibers persist of a distinct lumen (approx. diameter 20 µm) and a wall thickness of about 2 µm. The fineness of pulped fiber bundles is 22,6 tex while the density (including the lumen) calculates to 0,6 g cm^{-3}. Through tensile tests the mechanical properties could be measured as 26,92 cN tex^{-1} for the tensile strength and 1,89 % for the elongation at break.

During a final discussion, the fibers are judged in consideration of their potential use for fiber-reinforced composites, posssible steps of further fiber characterization and some fields of application.

Keywords: *Armoracia rusticana | fiber characterization | regional natural fibers | alternative fibers*

Im Vergleich zu klassischen Konstruktionswerkstoffen gewinnen faserverstärkte Kunststoffe (FVK) vor allem im Fahrzeugbau sowie in der Luft- und Raumfahrtindustrie an Bedeutung (Ehrenstein, 2006). Dies ist vorrangig auf ihre guten, gewichtsbezogenen mechanischen Eigenschaften sowie die Möglichkeiten einer anwendungsgerechten Konstruktion und Werkstoffmodifikation zurückzuführen. Neben diesen Vorteilen existieren jedoch bei Herstellung und Recycling von Bauteilen aus FVK verschiedene Nachteile. Im Besonderen sind dies der teils hohe Energiebedarf bei der Herstellung von synthetischen Fasern (bspw. Kohlenstofffasern, siehe Suzuki T, 2005), die Gesundheitsschädlichkeit einiger eingesetzter Werkstoffe (z. B. Epoxidharze, siehe Lithner et al., 2011) sowie die schwierige Trennung von Faser- und Matrixwerkstoffen zur Wiederverwertung (Yang et al., 2012).

Eine Alternative zur Vermeidung der genannten Nachteile ist der Einsatz von FVKs auf Basis nachwachsender Rohstoffe (naturfaserverstärkte Kunststoffe(NFK)) und speziell die Nutzung von Pflanzenfasern als Verstärkungskomponente (Cristaldi et al., 2010). Diese sind einerseits nachwachsend und ermöglichen andererseits, je nach verwendetem Kunststoff, die Herstellung von teilweise oder vollständig biologisch abbaubaren Verbundwerkstoffen (Endres & Siebert-Raths, 2009). Durch verschiedene Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die für Verbundwerkstoffe relevanten Kennwerte von Naturfasern wie Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul oder Dichte technischen Anforderungen genügen und teilweise zur Substitution

*Kontakt: +49 375 536 1972, christopher.taudt@fh-zwickau.de

anderer Werkstoffe, wie zum Beispiel glasfaserverstärkter Kunststoffe, geeignet sind (Sedlacik, 2003).

Um möglichst viele technische Anforderungen mit Hilfe dieser Werkstoffgruppe zu erfüllen, wird die Untersuchung bisher technisch ungenutzter Naturfasern bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften notwendig. Dementsprechend wird im Rahmen dieser Arbeit die Untersuchung der Fasern aus der Meerrettichpflanze (*Armoracia rusticana*) durchgeführt. Nach dem Aufschluss von Faserbündeln aus der Sprossachse der Pflanze werden die Dimensionen der Faserbündel sowie der darin enthaltenen Einzelfasern bestimmt. Außerdem erfolgt die Ermittlung der Dichte, der Faserfeinheit sowie der Bruchdehnung und Zugfestigkeit. In einer abschließenden Betrachtung werden die Ergebnisse in Hinblick auf die potentielle Nutzung der Fasern in NFKs diskutiert.

HINTERGRUND

Naturfasern werden im Bereich NFK sowohl als Kurz-/Lang- oder Endlosfasern als auch in Form von textilen Halbzeugen (z.B. Gewebe, Gelege, Vliese) eingesetzt. Aufgrund ihrer Eigenschaften, der Verfügbarkeit und des Preises werden vorrangig Bastfasern wie Hanf- und Flachsfasern, teilweise auch Sisal-, Ramie- oder Kenaffasern genutzt (Herrmann et al., 1998). Im Sinne der anwendungsorientierten Konstruktion und nachhaltigen Ressourcennutzung gibt es vermehrt Bestrebungen, die Zahl der nutzbaren Naturfaserarten zu erweitern und damit möglichst die diversen Anforderungen des modernen Leichtbaus zu erfüllen (Mohanty et al., 2005). Bei der Suche nach alternativen Faserarten können neben den gewünschten Eigenschaften verschiedene andere Faktoren ausschlaggebend sein. So ist die Suche im regionalen Umfeld (Deutschland) sinnvoll, da somit sowohl eine Stärkung des jeweiligen Wirtschaftsraums erfolgen kann, als auch kurze Wege bei der Verarbeitung entstehen. Somit sind Zeit- und Energieeinsparungen in hohem Maße möglich. Darüber hinaus birgt die Verwendung bisher ungenutzter Pflanzenteile als Quelle zur Fasergewinnung ein großes Nachhaltigkeitspotential, da beispielsweise bei der Nahrungsmittelproduktion entstehender Abfall einer Nutzung zugeführt werden kann beziehungsweise ein Anbau von Pflanzen für technische Zwecke nicht anderen Zwecken (z.B. Ernährung) vorgezogen werden muss (Mohanty et al., 2005).

Eine Pflanze, welche die genannten Aspekte erfüllt, ist die Meerrettichpflanze. Zum einen ist die Pflanze mit einer Anbaufläche von circa 300 ha zum Beispiel in Bayern, Brandenburg und Baden regional verfügbar.[1] Zum anderen wird bisher im Wesentlichen die Wurzel der Pflanze in der Lebensmittelindustrie sowie in der pharmazeutischen Industrie genutzt (Dalmazzo & Santana-Lemos, 2011). Die Sprossachse der Pflanze, welche Fasern beinhaltet, verbleibt hingegen nach der Ernte auf dem Feld (Helmholz, 2006). Diese Sprossachse ist zum Erntezeitpunkt pro Wurzel jeweils mehrzahlig (5-8 Stk.) vorhanden und beherbergt auf einer Länge von 60 bis 150 cm Fasern.

Die Anzahl und Eigenschaften dieser Fasern müssen ermittelt werden, da sie bisher nicht bekannt sind.

[1] Mich, R. – persönliche Mitteilung, 2011

MATERIAL UND METHODEN

Die Sprossachsen zur Gewinnung der Meerrettichfasern wurden im November 2011 im Bereich Ragow/Spreewald (Brandenburg, Deutschland) geerntet. Die Gewinnung der Fasern erfolgte durch die Kombination einer mehrtägigen Wasserröste mit anschließendem mechanischen Aufschluss. Hierbei wurden die Sprossachsen halbiert und sieben Tage in einem Wasserbad (Temperatur 23° C) gelagert. Nach Ablauf der Röstzeit wurden die Faserbündel zunächst gespült, um lose Bestandteile abzulösen und danach mittels eines eigens hergestellten Aufbaus aus gegenläufig rotierenden Bürsten von den noch vorhandenen Pflanzenteilen separiert. Anschließend erfolgte eine Trocknung bei Raumtemperatur (3 Tage). Die Faserbündel wurden nach dem Aufschluss dauerhaft bei 23 °C und einer Luftfeuchte von ca. 60 % gelagert. Die Durchführung aller Versuche erfolgte bei vergleichbaren Bedingungen.

Die Faserfeinheit der derartig aufgeschlossenen Faserbündel wurde mit Hilfe der gravimetrischen Feinheitsbestimmung durchgeführt. Bei dieser Methode wird eine konkrete Anzahl Faserbündel N mit definierter Länge l ausgewogen. Anhand der bestimmten Masse m kann anschließend die gravimetrische Feinheit gf in tex errechnet werden (Müssig, 2001):

$$gf = \frac{m}{N \cdot l} \tag{I}$$

Bei den durchgeführten Versuchen betrug die Länge der Faserbündel durchweg 20 mm, wobei 1000 Proben ausgezählt und mit einer Feinwaage (Kern EW620-3 NM, Kern & Sohn GmbH, Balingen, Deutschland) gewogen wurden.

Außerdem erfolgte ein Einbetten von Sprossachsen und Faserbündeln in kreisrunden Probenträgern durch eine kalthärtende Epoxidharzvergussmasse. Die Probenpräparation für die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen (JEOL JSM-840A, Jeol Ltd., Tokyo, Japan) erfolgte anschließend durch einen mehrstufigen Nassschleifprozess (Körnungen 400, 600 und 1000 jeweils für 3 min. mit anschließender Reinigung) an motorisierten Schleiftellern. Abgeschlossen wurde die Präparation durch einen 5-minütigen Polierprozess (3 µm Polierlösung; Buehler Automet, Lake Bluff, USA) und die Abscheidung von Gold auf der polierten Oberfläche.

Anhand der mikroskopischen Aufnahmen wurden mit Hilfe einer Bildanalysesoftware (*fiji*, Schindelin et al., 2012)) in mehreren Schritten (Kontraststeigerung, Entrauschen, Schwellwertbildung, Flächenbestimmung durch *Analyze Particles*-Algorithmus) die morphologischen Kennwerte von 10 Faserbündeln und jeweils circa 100 Einzelfasern im Querschnitt bestimmt.

Aus den derart ermittelten Daten, im Speziellen aus der Fläche des Faserlumens A_{FLm} und der Wandstärke b_{Wm}, lässt sich der äquivalente Einzelfaserdurchmesser d_{EF} wie folgt bestimmen:

$$d_{EF} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{FLm}}{\pi}} + 2 \cdot b_{Wm} \tag{II}$$

Zur Berechnung der Dichte wurden die Mittelwerte der gemessenen Faserbündelflächen, die Länge der Faserbündel (aus der Feinheitsbestimmung) sowie deren Masse herangezogen.

Daraus ergibt sich im Kontrast zur Rohdichte des Zellmaterials die Reindichte des Faserbündels (Rohdichte inkl. Lumen, Verunreinigungen oder möglichen Einschlüssen) zu:

$$\rho_{FB} = \frac{m}{A \cdot l} \qquad \text{(III)}$$

Die Bestimmung einiger zur Auslegung von FVKs relevanter Kennwerte wie Zugfestigkeit und Bruchdehnung wurden durch Zugversuche an Faserbündeln in Faserlängsrichtung mit einer Einspannlänge von 20 mm bei einer Verfahrgeschwindigkeit von 1 mm min^{-1} mittels Universalprüfmaschine (Zwick-Roell Z 100, Ulm, Deutschland; Kraftaufnehmer 100 N; Vorkraft 0,5 N; Traversenwegaufnehmer) durchgeführt. Hierzu wurden 50 Proben untersucht. Außerdem wurde die gravimetrische Feinheit jeder Probe vor dem Versuch bestimmt und durch die Zuordnung der jeweils im Zugversuch erreichten Höchstzugkraft (bei Probenbruch) wurde die Zugfestigkeit in cN tex^{-1} ermittelt. Die Methoden zur Feinheits-, Zugfestigkeits- und Bruchdehnungsbestimmung und die Ergebnisse für andere Faserarten sind Carus (2008) entnommen.

ERGEBNISSE

Fasermorphologie

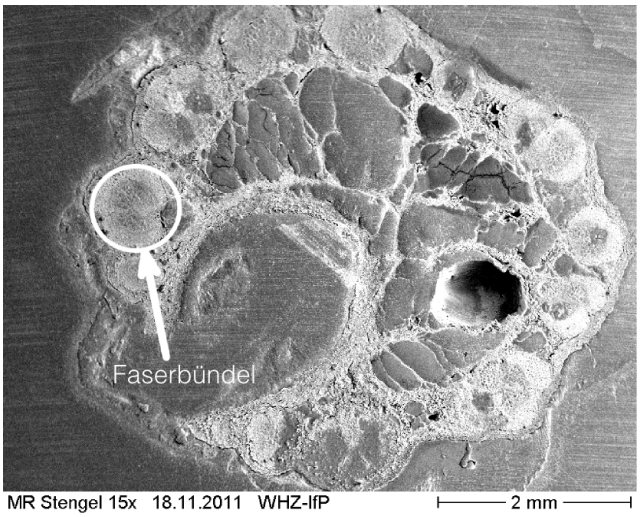
In Abb. 1a ist der Querschnitt einer eingebetteten Meerrettichsprossachse dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Faserbündel im Außenbereich mehrzahlig vorhanden und sichelförmig verteilt sind. Der Anteil der Faserbündel beträgt etwa 10 % im Verhältnis zur gesamten Querschnittsfläche.

Mit entsprechender Vergrößerung (hier 1000-fach) von eingebetteten Faserbündeln ist zu erkennen, dass diese aus einer Vielzahl der Einzelfasern mit einem ausgeprägten Faserlumen bestehen, Abb. 1b, und eine polygonale Kontur aufweisen (Schnegelsberg, 1999). Durch die Nutzung der Bildanalysesoftware konnten folgende morphologische Kennwerte von aufgeschlossenen Faserbündeln beziehungsweise Einzelfasern innerhalb der Faserbündel ermittelt werden, Tab. 1.

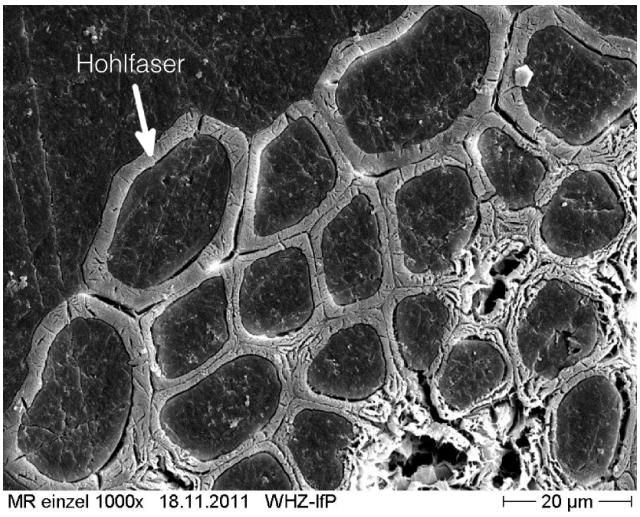
Tab. 1: Wesentliche, durch Bildanalyse bestimmte morphologische Kennwerte von Meerrettichfasern/-faserbündeln.

Eigenschaft	Wert
mittlere Faserbündelfläche A_{FBm}	0,047 ± 0,005 mm^2
Einzelfaserlumenfläche A_{FLm}	50 - 350 µm ^{2}
mittlere Einzelfaserwandstärke b_{Wm}	2,15 ± 0,5 µm

Als wesentliche Größen wurden hierbei die Querschnittsfläche der aufgeschlossenen Faserbündel, die Querschnittsfläche des Lumens einzelner Fasern sowie die durchschnittliche Wandstärke einzelner Fasern herangezogen. Während die Wandstärke bei allen untersuchten Fasern in einem engen Wertebereich liegt, tritt bei der Größe des Faserlumens eine deutliche Streuung auf. Diese Streuung übt folglich auch bei der Berechnung des äquivalenten Einzelfaserdurchmessers aus Wandstärke b_{Wm} und Faserlumen A_{FLm} einen deutlichen Einfluss aus. Es ergibt sich der Wertebereich d_{EF} = 10 - 24 µm.



(a)



(b)

Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Querschnitts **(a)** einer Meerrettichsprossachse und **(b)** eines Meerrettichfaserbündelausschnittes

Faserfeinheit und Dichte

Als Basisparameter zur späteren Ermittlung anderer Eigenschaften (z. B. Zugfestigkeit) wurde die Feinheit der aufgeschlossenen Faserbündel nach der gravimetrischen Methode bestimmt. Sie beträgt im Mittel 22,6 tex bei einer Standardabweichung von 9,5 tex, Abb. 2a.

Die Berechnung der Dichte basiert, entsprechend der in Abschnitt *Fasermorphologie* ermittelten Werte, auf einer mittleren Masse pro Faserbündel von 0,57 mg, einer Länge von 20 mm und einer mittleren Querschnittsfläche von 0,047 mm^2. Es ergibt sich folglich die Dichte zu 0,6 ± 0,15 g cm^{-3}, Abb. 2b.

Zugfestigkeit und Bruchdehnung

Zur Einschätzung der potentiellen Eignung der Meerrettichfasern als Bestandteil von NFKs dienten Zugversuche an

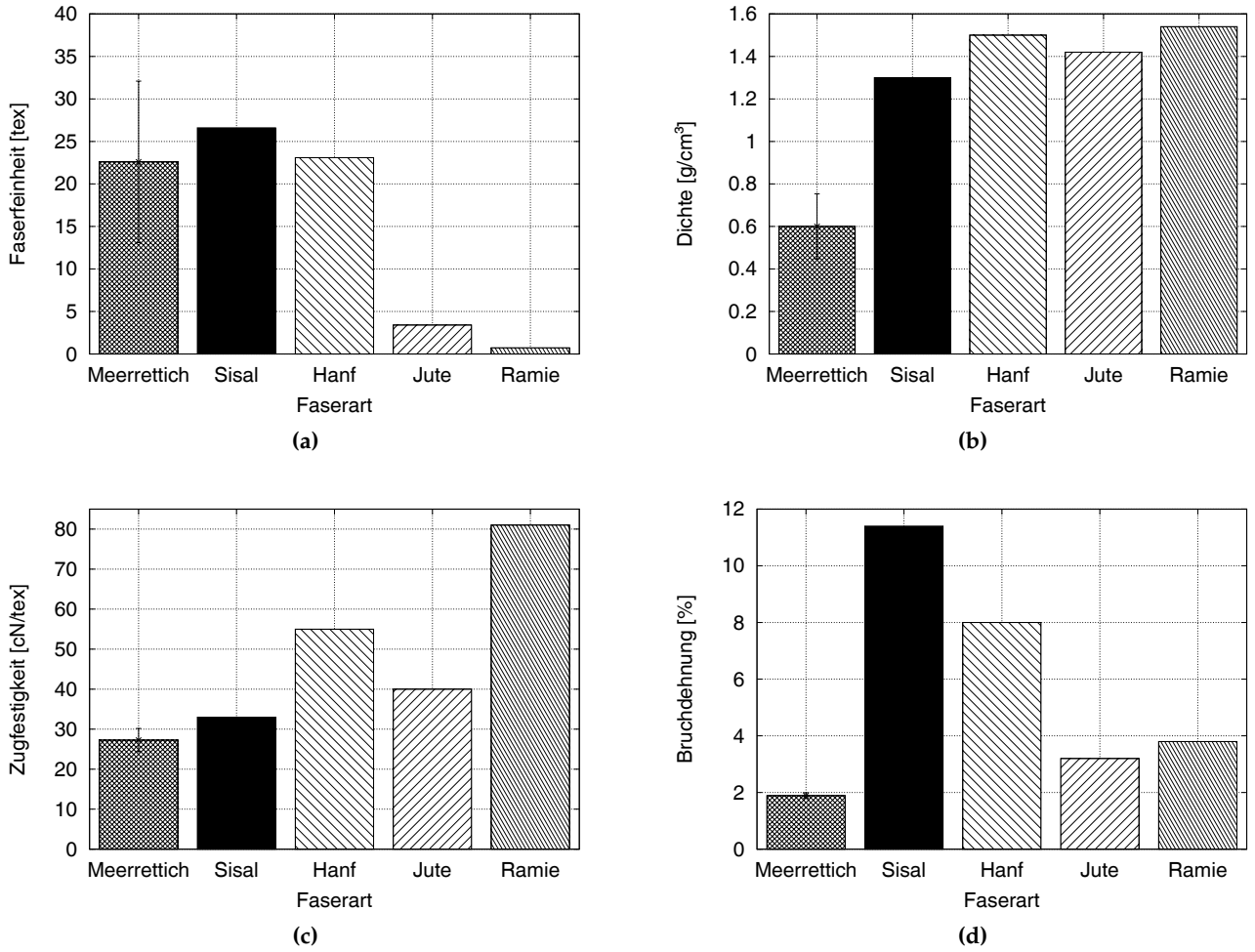


Abb. 2: **(a)** Mittlere Faserfeinheit, **(b)** mittlere Rohdichte, **(c)** mittlere Festigkeit (n=50) und **(d)** mittlere Bruchdehnung (n=50) von Meerrettichfasern im Vergleich zu anderen Naturfasern (Carus, 2008).

Faserbündeln. Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass die Zugfestigkeit 26,92 cN tex^{-1} bei einer Standardabweichung von 3,7 cN tex^{-1} beträgt, Abb. 2c.

Die Bruchdehnung der untersuchten Proben lag im Mittel bei 1.89 % ± 0,1 %, Abb. 2d.

DISKUSSION

Mit Hilfe mikroskopischer Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass nur etwa 10 % einer Meerrettichsprossachse Fasern enthält. Die Berücksichtigung dieser Tatsache limitiert unter Umständen die Nutzung der Fasern, da unter Berücksichtigung der Anbaufläche von Meerrettich nur geringe Fasermengen zur Verfügung stehen. Im Vergleich zu Hanf ist die Anbaufläche mit 300 ha circa dreimal geringer (Nova-Institut-GmbH, 2009). Eine Möglichkeit, zusätzliche Faserressourcen zu erschließen, ist die Suche nach mit dem Meerrettich verwandten Fasern in der Gattung *Armoracia*. Auch eine Kombination mit anderen, bisher bekannten Faserarten ist vorstellbar.

Die Feinheit der untersuchten Faserbündel zeigte eine sehr große Streubreite, wobei der Wert auf dem Niveau von Faserarten wie Sisal und Hanf liegt. Da die Feinheit eine im Wesentlichen vom Faseraufschluss bestimmte Größe darstellt, ist die Optimierung des Aufschlussprozesses zur Verringerung der Feinheit zielführend. Dies ist sowohl für eine textile Weiterverarbeitung, als auch für die zu erwartenden mechanischen Eigenschaften erstrebenswert, da diese nachweislich mit größerer Feinheit zunehmen (Müssig et al., 2006).

Die Morphologie der Einzelfasern in den Faserbündeln unterscheidet sich von anderen Naturfasern. So ist der Durchmesser der Fasern zwar auf einem ähnlichen Niveau mit anderen Naturfasern (Baley, 2002), unterliegt allerdings einer sehr großen Streuung. Bei der Analyse der Mikroskopaufnahmen, bspw. Abb. 1, wird der Grund hierfür deutlich. Es ist zu erkennen, dass sich eine große Anzahl an Fasern mit kleinem Durchmesser im Zentrum der Faserbündel befindet. Einzelfasern mit einem vergleichsweise großen Durchmesser sind eher im Außenbereich der Faserbündel angeordnet. Diese Tatsache liegt im Vorhandensein unterschiedlicher Zelltypen innerhalb

des Faserbündels begründet (Evert, 2009). Charakteristisch für die Meerrettichfasern ist allerdings das relativ zu anderen Fasern große Faserlumen (Baley, 2002). Es bestimmt maßgeblich den Durchmesser der Fasern, während die Wandstärke der einzelnen Fasern nahezu konstant bei 2,15 µm bleibt.

Das große Lumen der Einzelfasern eines Faserbündels führt im Vergleich zu anderen Naturfasern zu einer sehr geringen Dichte von 0,6 g cm^{-3}, vgl. Abb. 2 (b). Diese Dichte ist deutlich geringer, als die in Carus (2008) angegebenen Werte vergleichbarer Faserarten, da dieser Wert statt der Reindichte des Zellmaterials die Dichte des Faserbündels inklusive des Lumens berücksichtigt (Rohdichte). Um die geringere Dichte technisch, beispielsweise in einem Verbundwerkstoff, nutzen zu können, muss gewährleistet sein, dass der Lumenbereich während der Verarbeitung weder kolabiert noch mit anderen Stoffen gefüllt wird.

Weitere Eigenschaften zur technischen Nutzung von Meerrettichfasern wurden im Zugversuch ermittelt. In Relation zu bisher technisch genutzten Naturfasern zeigen die analysierten Meerrettichfasern mit 1,89 % eine teils deutlich geringere Bruchdehnung, Abb. 2d. Allerdings ist die ermittelte Zugfestigkeit von 26,92 cN tex^{-1} nahezu auf dem Niveau von Sisal, während die Werte anderer Fasern teils deutlich höher sind, Abb. 2c.

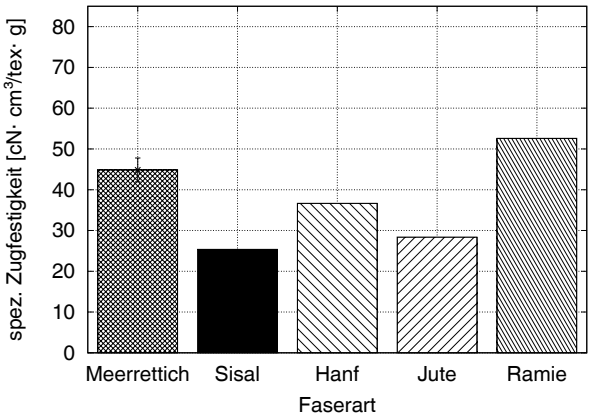


Abb. 3: Errechnete spezifische Zugfestigkeit (Rohdichte-bezogen) von Meerrettichfasern im Vergleich zu anderen Faserarten (Reindichte-bezogen; Carus, 2008).

Die geringe Dichte der Meerrettichfasern führt bei einer spezifischen Betrachtung der Festigkeitswerte zu einem Vorteil gegenüber anderen Fasern, vgl. Abb. 3. Außerdem ist, wie vorher beschrieben, zu erwarten, dass eine Verbesserung der Feinheit zu einer Steigerung der Festigkeit führen kann.

Insgesamt deuten die ermittelten Kennwerte darauf hin, dass die untersuchten Fasern für Anwendungsfälle mit leichtbaulichen Anforderungen geeignet sind. Allerdings ist aufgrund einiger ermittelter Eigenschaften, zum Beispiel der geringen Zugfestigkeit, eine Kombination mit anderen Faserarten gewinnbringend. Außerdem sind weitere Eigenschaften, wie die Reindichte, noch zu ermitteln, was zu einer Neubewertung im Vergleich zu anderen Naturfasern führen wird.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

In der vorliegenden Arbeit konnten einige grundlegende Eigenschaften der Meerrettichfaser in Hinblick auf eine Nutzung als Verstärkungskomponente in NFK bestimmt werden.

Die Ergebnisse, im speziellen die Zugfestigkeit in Verbindung mit der geringen Dichte, stellen eine potentielle Nutzung im Bereich Verbundwerkstoffe in Aussicht. Hierbei bleibt allerdings die Art der Nutzung (Kurz- oder Langfasern bzw. Einsatz als textiles Halbzeug) zunächst offen. So sind Möglichkeiten der Weiterverarbeitung von Meerrettichfasern (z. B. Fadenspinnerei, Verwebung, Gelegeherstellung) zukünftig zu untersuchen. Außerdem sind wichtige Kennwerte für die Verarbeitung als Kurz- oder Langfasern, zum Beispiel für Spritzgussanwendungen wie die Rheologie und thermische Eigenschaften der Fasern, noch zu ermitteln.

Abschließend lässt sich sagen, dass einerseits die untersuchten Meerrettichfasern aus ökologischer und ökonomischer Sicht eine sinnvolle Alternative zu bisher bekannten Naturfasern bilden können, da sie sowohl regional verfügbar sind, als auch aus bisher ungenutzten Pflanzenteilen extrahiert werden können. Andererseits legen die mechanischen Eigenschaften eine Nutzung in Verbundwerkstoffen nahe. Dies kann sowohl in der Automobilindustrie, aber auch in anderen leichtbaurelevanten Anwendungsgebieten, wie der Architektur, der Fall sein. Die relativ geringe Verfügbarkeit der Pflanzen deutet auf eine Kombination mit anderen Naturfasern statt einer Substitution dieser hin.

Danksagung: Die Autoren danken dem Sächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) für die finanzielle Unterstützung des Projektes „Entwicklung gewichtsoptimierter Karosseriebauteile auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen - Bio-NFK" (Fkz. 4-7531. 60-02-5160-11/2) sowie den Mitarbeiterinnen des Instituts für Textil- und Ledertechnik der WHZ (Reichenbach) und Herrn R. Mich (Lübbenau) für die technische beziehungsweise materielle Unterstützung.

REFERENZEN

Baley C (2002): *Analysis Of the Flax Fibres Tensile Behaviour and Analysis of the Tensile Stiffness Increase*. Composites Part A **33**: 939–948, composites Part A 33.

Carus M. e. a, Hg. **(2008)**: Gülzower Fachgespräche Band 26. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow.

Cristaldi G, Latteri A, Recca G & Cicala G (2010): Woven Fabric Engineering., Kap. Composites Based on Natural Fibre Fabrics. InTech.

Dalmazzo L. F. F & Santana-Lemos B. A (2011): *Antibody-targeted Horseradish Peroxidase Associated with Indole-3-acetic Acid Induces Apoptosis in Vitro in Hematological Malignancies*. Leukemia Research **35**: 657–662.

Ehrenstein G. W (2006): Faserverbundkunststoffe – Werkstoffe, Verarbeitung, Eigenschaften. Hanser, München.

Endres H. J & Siebert-Raths A (2009): Technische Biopolymere. Hanser, München.

Evert R. F (2009): Esaus Pflanzenanatomie: Meristeme, Zellen Und Gewebe Der Pflanzen – Ihre Struktur, Funktion Und Entwicklung. Walter de Gruyter, Berlin.

Helmholz F. K (**2006**): *Noch Viel Handarbeit Erforderlich - Meerrettich-Anbau Im Spreewald*. Monatsschrift **2**: 90–92, monatsschrift 2;.

Herrmann A. S, Nickel J & Riedel U (**1998**): *: Construction Materials Based Upon Biologically Renewable Resources - from Components to Finished Parts*. Polymer Degradation and Stability **59**: 251–261.

Lithner D, Larsson A & Dave G (**2011**): *Environmental And Health Hazard Ranking and Assessment of Plastic Polymers Based on Chemical Composition*. Science of The Total Environment **409**(18): 3309–3324.

Mohanty A. K, Misra M & Drzal L. T, Hg. (**2005**): Natural Fibers, Biopolymers, And Biocomposites. CRC Press, Boca Raton, USA.

Müssig J (**2001**): Untersuchung der Eignung heimischer Pflanzenfasern für die Herstellung von naturfaserverstärkten Duroplasten – vom Anbau zum Verbundwerkstoff. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.

Müssig J, Cescutti G & Fischer H (**2006**): Le chanvre industriel production et utilisations., Kap. Le management de la qualité appliqué à l'emploi des fibres naturelles dans l'industrie. Groupe France Agricole, Paris.

Nova-Institut-GmbH (**2009**): *Naturfasern aktuell: Preise und Anbauflächen*. http://www.nachwachsende-rohstoffe.info/nachricht.php?id= (16.02.2009).

Schindelin J, Arganda-Carreras I, Frise E, Kaynig V, Longair M, Pietzsch T, Preibisch S, Rueden C, Saalfeld S, Schmid B, Tinevez J.-Y, White D. J, Hartenstein V, Eliceiri K, Tomancak P & Cardona A (**2012**): *Fiji: An Open-source Platform for Biological-image Analysis*. Nature Methods **9**(7): 676–682.

Schnegelsberg G (**1999**): Handbuch Der Faser – Theorie und Systematik der Faser. Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main.

Sedlacik G (**2003**): Beitrag zum Einsatz von unidirektional naturfaserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen als Werkstoff für großflächige Strukturbauteile. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Chemnitz.

Suzuki T T. J (**2005**): *Prediction Of Energy Intensity of Carbon Fiber Reinforced Plastics for Mass - Produced Passenger Cars*. Produced Passenger Cars. Proc. of the Ninth Japan International SAMPE Symposium, 14–19.

Yang Y, Boom R, van Heerden B. I. D.-J, Kuiper P & de Wit H (**2012**): *Recycling Of Composite Materials*. Chem Eng Process **51**: 53–68.

Zu zitieren als: **Taudt C, Gieland U, Meyer D & Klose H (2012):** Charakterisierung von Meerrettichfasern für die potentielle Nutzung in naturfaserverstärkten Kunststoffen. *Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler* 2013/1(5): S. 12–17

Please cite as: **Taudt C, Gieland U, Meyer D & Klose H (2012):** Characterization of horseradish fibers for the potential use in natural fiber-reinforced polymers. *German Journal for Young Researchers* 2013/1(5): pp. 12–17

URL: http://www.nachwuchswissenschaftler.org/2012/1/30/
URN: urn:nbn:de:0253-2012-1-305

Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler
German Journal for Young Researchers

Ausgabe 1(4): 18–22
2012

ARBEITSBERICHT

ANWENDUNG DRAHTLOSER KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIEN ZUM AUFBAU EINES SENSORNETZWERKES FÜR VERTEILTE MESSAUFGABEN

Application of wireless communication technologies to build a sensor network for distributed measurement

Henri Schwarz, Hannes Heimbach genannt Göthe & Uwe Heuert*

Hochschule Merseburg | Geusaer Str. 88 | D-06217 Merseburg

Eingegangen am 13.03.2012; Überarbeitet eingereicht am 02.06.2012; nicht peer-reviewed

Lektorat: Nikola Wiegeler

Zusammenfassung

Ziel der Arbeit sind Entwicklung und Aufbau eines auf Funktechnologie basierenden Sensornetzwerkes, das verschiedene physikalische Messgrößen determiniert erfassen, speichern und darstellen kann. Die zugrunde liegende Sensormodulhardware wird dabei so ausgelegt, dass sie möglichst klein, robust und energiesparend ist. Die Kommunikation zwischen einzelnen Knoten des Sensornetzwerkes wird über einen Protokollstapel nach dem TCP/IP-Referenzmodell gewährleistet, dessen physikalische Schicht auf die verwendete Hardware angepasst ist. In einer zukünftigen Evolutionsstufe des Projektes ist geplant, weitere TCP/IP basierende Protokolle (z.B. Universal Protocol, siehe z. B. Punk & Heuert (2011), LXI) in den Protokollstapel zu integrieren, damit die gewonnenen Messdaten von Endnutzeranwendungen wie MATLAB oder LabVIEW entgegengenommen und verarbeitet werden können.

Schlüsselwörter: *eingebettete Systeme | drahtlose Kommunikation | Measurement Cloud*

Abstract

Modern sciences have a high demand for precise quantitaive measurement techniques to analyse natural phenomena. Therefore, the projects main task is the developement of a sensor network based on wireless communication technologies to measure, store and display physical variables. The sensor nodes' hardware should feature a small form factor, robustness and low energy consumption. The nodes' communication within the wireless network should be handled by a TCP/IP similar protocol stack with adaptions to the devices' physical layer. This requirement comes due to intentional future use of other TCP/IP based high level protocols like the Universal Protocol [Punk & Heuert (2011) or the Lan Extansions for Instrumentation (LXI) protocol. These protocols enable software like MATLAB and LabVIEW to retrieve data directly from the measurement cloud.

keywords: *Embedded System | Wireless Communication | Measurement Cloud*

*Kontakt: henri.schwarz@googlemail.com

Die modernen Ingenieur- und Naturwissenschaften sind neben theoretischen Modellen zur Beschreibung von physikalischen Phänomenen immer stärker auf präzise Messungen angewiesen, die eine möglichst genaue Quantifizierung der Messdaten erlauben. Eine große Herausforderung für die Messtechnik sind dabei verteilte Messaufgaben, die notwendig werden, sobald z. B. Daten an großen Objekten erhoben oder weite Flächen mit Sensoren überwacht werden sollen. Funkbasierte Sensornetze, deren Sensorknoten auf niedrigen Energieverbrauch, Robustheit und kompakte Bauweise ausgelegt sind, können in diesen und ähnlichen Szenarien ihre Stärken ausspielen.

Neben den bereits genannten Randbedingungen spielt der Kommunikationsablauf zwischen den Sensorknoten eine entscheidende Rolle. Da Funkübertragungen störanfällig sind, müssen Codierungs- und Prüfverfahren implementiert werden, mit denen die Datenintegrität sichergestellt werden kann.

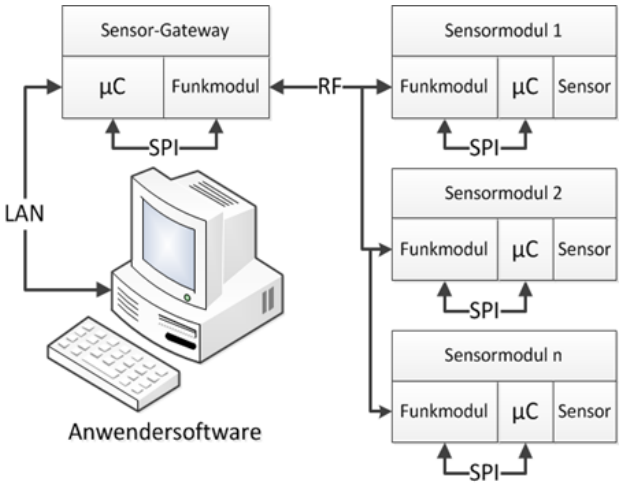
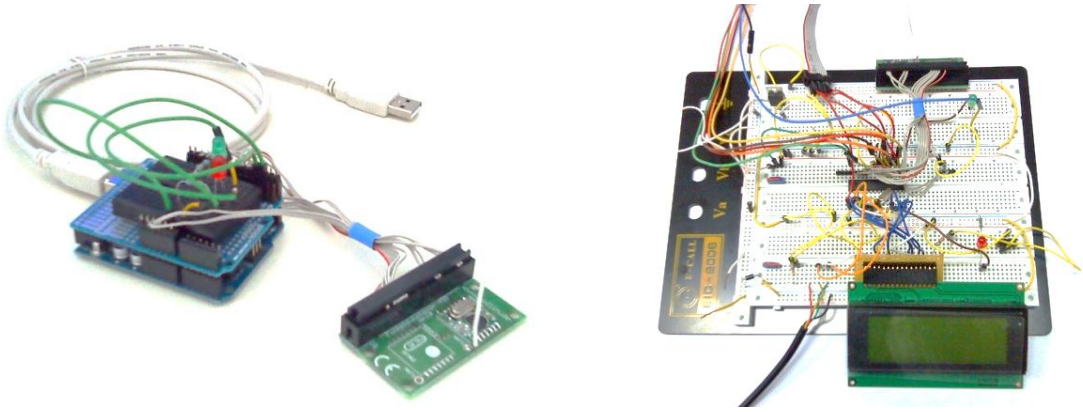


Abb. 1: Infrastruktur eines Sensornetwerkes



(a) **(b)**

Abb. 2: Aufbau der **(a)** Sende - und **(b)** Empfangsschaltung

Darüber hinaus sollten standardisierte Kommunikationsprotokolle, wie z.B. das Transmission Control Protocol (TCP) und das Internet Protokoll (IP), zur Übertragung der gewonnenen Messdaten genutzt werden. Die Zuverlässigkeit und Übertragungssicherheit des Systems können z.B. durch die Verbindungsorientiertheit des TCP-Protokolls noch zusätzlich gesteigert werden (3-Way-Handshake). Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines derartigen Systems.

MATERIAL UND METHODEN

Allgemeines

Ein Sensornetzwerk lässt sich grundlegend als Netzwerk aus Rechnern oder Mikrorechnern, den so genannten Sensorknoten, beschreiben (siehe Abb. 1). Die einzelnen Knoten besitzen in der Regel Schnittstellen für terrestrische Funknetzwerke und gliedern sich in deren Infrastruktur ein. Im Gegensatz dazu stehen sich selbst organisierende Ad-hoc-Netzwerke. Im Rahmen dieses Projektes wird der Ansatz infrastrukturbasierter Drahtlosnetzwerke verfolgt, bei dem die Daten mithilfe eines Gateways (Router) vom Funknetz in Ethernet basierte Netzwerke umgesetzt werden können. Das motiviert den Einsatz des TCP/IP Protokollstapels auf der Funkseite zusätzlich.

Das Herzstück eines jeden Sensorknotens ist ein Mikroprozessor, dessen Eigenschaften den Anforderungen an Energieverbrauch, Robust- sowie Kompaktheit gerecht werden sollen. Die Hardwareplattform soll daher mit Einhausung einen möglichst kleinen Formfaktor aufweisen und für den Batteriebetrieb geeignet sein. Die Entscheidung für einen bestimmten Mikroprozessor als Basis des Systems hängt neben den elektrischen Eigenschaften und anderen Parametern, wie dem verfügbaren Speicher, der möglichen Taktrate und der internen Busbreite, maßgeblich von den zur Programmierung benötigten Werkzeugen ab. Viele Mikroprozessoren sind meist über einfache serielle Schnittstellen, wie dem Serial Peripheral Interface (SPI), direkt im Einsatzsystem programmierbar. In der Regel erfordert die In-System-Programmierung (ISP) jedoch einen speziellen Programmieradapter, dessen Anschaffung einen erheblichen Teil der Hardwarekosten ausmachen kann. Der ISP-Adapter verbindet Entwicklungs- mit Zielplattform und ermöglicht das Laden des Programmcodes in den Speicher des Controllers. Die wesentlichen Programmteile der Sensorknotensoftware aggregieren und verarbeiten Sensordaten, steuern die Schnittstellen des Mikrocontrollers und organisieren die Netzwerkkommunikation nach den Vorgaben des Protokollstapels.

Hardware

Im Rahmen dieses Projektes werden Funkmodule eingesetzt, die mit einer Basisfrequenz von 868 MHz arbeiten und als Sender und Empfänger agieren können. Die Basisfrequenz wird den Industrial, Scientific and Medical (ISM) Frequenzbändern zugeordnet, weshalb unter Beachtung der Allgemeinzuteilungsregulierungen (siehe Bundesnetzangentur, 2003) keine weiteren Lizenzkosten für deren Nutzung anfallen. In den

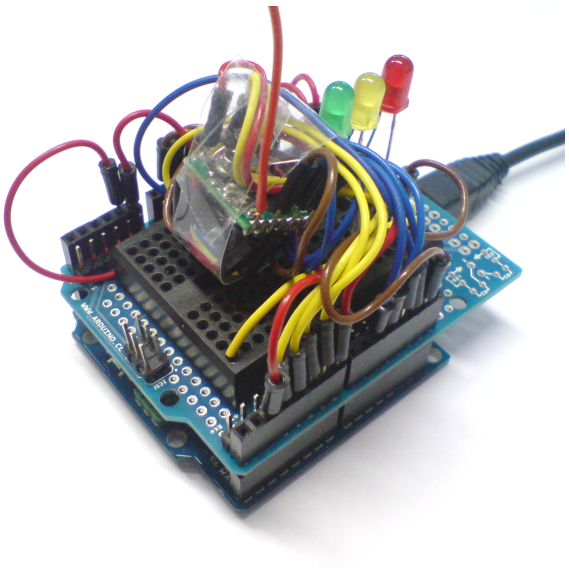


Abb. 3: Hardwareplattform Arduino Pro

bisherigen Evolutionsstufen des Projektes hat sich die Mikroprozessorplattform mehrfach geändert, wie in den folgenden Abschnitten beschrieben wird.

Sensorknoten v1 Um erste Erfahrungen mit den Funkmodulen (Produktübersicht, 2011) zu sammeln, sind diese auf speziellen Evaluationsboards getestet worden. Die Datenübertragung erfolgte hier unidirektional zwischen einem Sender und Empfänger. Der Programmcode ist in der Programmiersprache C geschrieben. Die Datenübertragung erfolgt gepuffert, d. h. zu sendende Zeichen werden vor der Übertragung in einen Sendespeicher auf dem Funkmodul geladen. Der Mikroprozessor sendet die Zeichen über eine durch Software emulierte SPI Schnittstelle. Die maximale Zeichenlänge je Übertragung ist durch diesen Puffer auf acht Bit limitiert. Kommen auf dieser Ebene keine zusätzlichen Steuerzeichen zum Einsatz, kann mit jedem Sendevorgang ein acht Bit langes Zeichen z.B. aus dem American Standard for Information Interchange (ASCII) Blockcode übertragen werden. Auf Empfängerseite ist es so jedoch nicht möglich, Übertragungsfehler zu erkennen oder zu korrigieren. Da beim Feldeinsatz eines solchen Systems nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Übertragung störungsfrei abläuft, muss für Sicherungsmaßnahmen gesorgt werden.

Sensorknoten v2 Durch das vorgegebene Layout der Evaluationsboards fehlt die Möglichkeit, die Hardware an unterschiedliche Einsatzbedingungen im Sensornetzwerk anzupassen. Dies begründet den Wechsel zu modularisierten Prototyping Plattformen, wie Arduino Arduino (2011), und die Entwicklung prototypischer Schaltungen (siehe Abb. 2b).

Beide Plattformen verwenden einen Atmel Atmega168 Mikrocontroller im Dual-in-Line (DIL) Package. In diesem Stadium besteht das Netzwerk ebenfalls aus einem Sender und einem Empfänger (siehe Abb. 2), wobei der Sender eine durch Analog-Digital-Wandlung gemessene Spannung an den Empfänger übermittelt. Dieser liest die empfangenen Daten und stellt den Spannungswert über das angeschlossene LCD Display grafisch dar. Weiterhin wird eine am Empfänger angeschlossene LED in Abhängigkeit des übertragenen Spannungswertes durch Pulsweitenmodulation zum Leuchten angeregt. Der Aufbau zeigt die Eignung des Systems für Mess- und Steueraufgaben, wobei die Datenübertragung auch hier noch ungesichert erfolgt.

Der Programmcode in diesem Entwicklungsstadium befindet sich sowohl für Sender als auch Empfänger in einer einzigen C-Quelldatei, was für Testzwecke ausreicht, aber nicht den Maßstäben moderner Softwareentwicklung gerecht wird. Aus diesem Grund wird die Software im weiteren Verlauf modularisiert.

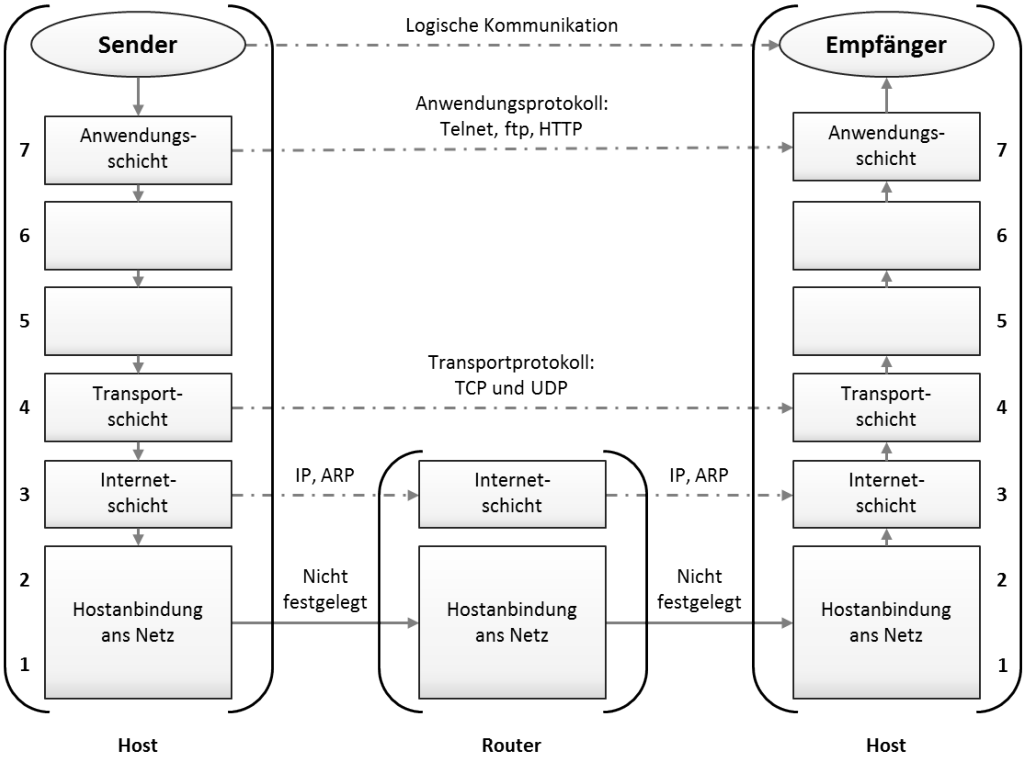


Abb. 4: TCP/IP Referenzmodell

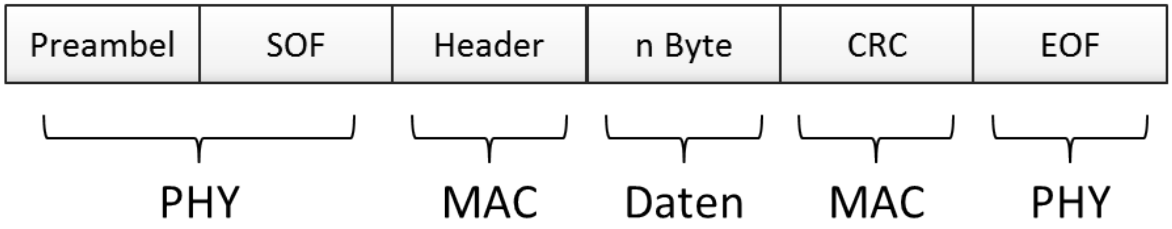


Abb. 5: Struktur von Datenpaketen im physikalischen Netz

Sensorknoten v3 In der aktuellen Entwicklungsstufe wird die Prototyping Plattform Arduino Pro (Abb. 3) und das AVR Net-IO Board (Pollin-Electronic, 2011) verwendet. Die Arduino Pro Plattformen, bestückt mit einem Low-Power Atmel Atmega328P, werden als Sensorknoten eingesetzt. Dadurch können diese batteriebetrieben werden. Das AVR Net-IO Board ist mit einem Atmel Atmega644 bestückt, der mehr Speicher zur Pufferung der Datenpakete bereitstellt. Das Net-IO Board verfügt dazu neben einer nachgerüsteten Drahtlosschnittstelle über einen Anschluss für Ethernet basierte Netzwerke. Der Netzwerkcontroller ist ein ENC28J60 von Microchip, der den 10Base-T Standard mit 10 MBit/s unterstützt.

Die aktuellen Entwicklungen konzentrieren sich auf die Implementierung des Programmcodes für die hardwarenahen Schichten des TCP/IP Protokollstapels im Drahtlosnetzwerk. Ihre Aufgabe ist es, Mechanismen zur Absicherung gegen Störsignale zu implementieren (Kanalcodierung). Im Besonderen handelt es sich dabei um die Bitübertragungsschicht (PHY) und die Sicherungsschicht (MAC) (Gessler & Krause, 2009), die speziell auf die verwendete Hardware angepasst werden müssen. Im TCP/IP Referenzmodell werden beide Schichten unter „Hostbindung ans Netz“ zusammengefasst (Abb. 4).

Werkzeugkette

Die Entwicklung des Programmcodes erfolgt in einer integrierten Entwicklungsumgebung, die einen für ATMEL Mikroprozessoren entwickelten Compiler, Assembler sowie einen Simulator mitbringt. Die verfügbaren Programmiersprachen sind Assembler und C/C++. Der geschriebene Programmcode wird in Projekten angelegt und zusätzlich im Versionskontrollsystem der Forschergruppe um Prof. Heuert verwaltet. Dadurch lassen sich Softwarefehler in neuen Programmversionen schneller verfolgen und beseitigen. Beim Erstellen des Programms wird eine sog. hex-Datei erzeugt, die mithilfe von Programmieradaptern in den Speicher des Mikroprozessors geladen wird. Um während der Laufzeit nach Fehlern im Programm zu suchen, werden fortgeschrittene Programmieradapter benötigt, andernfalls kann sich der Entwickler das korrekte Programmverhalten durch z. B. aufleuchtende LEDs oder durch Ausgaben auf seriellen Schnittstellen wie Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) anzeigen lassen. Die mittels UART übertragenen Daten können auf Rechnerseite auch per Software entgegengenommen und protokolliert werden. Die Kommunikation zwischen Mikroprozessor und Funkmodul kann durch die Überwachung der Signalpegel auf den Leitungen des eingesetzten Datenbusses mithilfe eines Logikanalysators sichtbar gemacht werden.

ERGEBNISSE

Die sichtbaren Veränderungen innerhalb der einzelnen Entwicklungsstufen beziehen sich auf die eingesetzten Hardwareplattformen. Hier sind die gesteigerte Kompaktheit durch kleinere Formfaktoren und möglicher Batteriebetrieb der Sensorknoten durch geringeren Energieverbrauch zu nennen. Ein kleiner Nachteil, der durch die auf 3 V reduzierte Versorgungsspannung der AVR ATmega328P Mikroprozessoren auf den Arduino Pro Plattformen entsteht, ist der verringerte maximale Prozessortakt von 8 MHz gegenüber den bei 5 V Versorgungsspannung möglichen 20 MHz. Auf Softwareseite konnten die Protokollschichten, die den Host ans physikalische Netz anschließen (PHY, MAC) mit entsprechenden Verfahren zur Sicherstellung der Datenintegrität implementiert werden. Zu diesen Mechanismen gehören zyklische Redundanzprüfungen mittels Prüfsumme sowie die Hamming-Codierung und Decodierung der übertragenen Datenbytes. Abbildung 5 zeigt den Aufbau eines Datenpaketes im physikalischen Netz. An Stelle der Daten treten im weiteren Verlauf protokollspezifische Informationen höherer Schichten, die ihre eigenen Nutzdaten verwalten.

REFERENZEN

Arduino (**2011**): *Arduino-Homepage.* http://www.arduino.cc/.

Bundesnetzangentur (**2003**): http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Telekommunikation/Regulierung/Frequenzordnung/Allgemeinzuteilung/FundstelleId298pdf.pdf.

Gessler R & Krause T (**2009**): Wireless-Netzwerke für den Nahbereich. Eingebettete Funksysteme: Vergleich von standardisierten und proprietären Verfahren: Grundlagen, Verfahren, Vergleich, Entwicklung. Vieweg + Teubner.

Pollin-Electronic (**2011**): *AVR Net-IO Board.* http://www.pollin.de/shop/downloads/D810049S.ZIP.

Produktübersicht (**2011**): *RF-Funkmodul: Rfm12 Produktübersicht.*http://www.hoperf.de/rf_fsk/fsk/21.htm.

Punk O & Heuert U (**2011**): *Universal Protocol: Cross Code Generation.* 12. Nachwuchswissenschaftlerkonferenz, Tagungsband, 103–108, Wernigerode, April 2011.

Zu zitieren als: **Schwarz H, Heimbach H & Heuert U (2012):** Anwendung drahtloser Kommunikationstechnologien zum Aufbau eines Sensornetzwerkes für verteilte Messaufgaben. *Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler* 2012/1(4): S. 18–22

Please cite as: **Schwarz H, Heimbach H & Heuert U (2012):** Application of wireless communication technologies to build a sensor network for distributed measurement. *German Journal for Young Researchers* 2012/1(4): pp. 18–22

URL: http://www.nachwuchswissenschaftler.org/2012/1/80/

URN: urn:nbn:de:0253-2012-1-805

Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler
German Journal for Young Researchers

Ausgabe 1(4): 23–25
2012

ARBEITSBERICHT

SYNCHRONISIERTES MESSEN MITTELS DCF77 UND GPS

Synchronized measurements using DFC77 and GPS

Oliver Punk & Uwe Heuert*

Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften Hochschule Merseburg (FH) Geusaer Straße 88 D-06217 Merseburg

Eingegangen am 10.07.2012; Überarbeitet eingereicht am 11.07.2012; nicht *peer-reviewed*

Lektorat: Nikola Wiegeler

Abstract

In modern measurement technology now very high sampling rates are required. The synchronization of the recorded signals have to be guaranteed for evaluation, to thereby make a statement about, for example, the phase position of two signals. Conventional this will be implemented by using a common trigger line. In many application scenarios is a wired synchronization of different measuring points impractical or impossible. To ensure a temporal lower bound within the meaning of the real time of a measurement, a combination of different wireless techniques are used. Real-time measurements generally require a well-defined trigger signal which triggers synchronously in different areas of a measurement. The postponement of the runtime of such a signal, this restriction for longer distances of the different measuring points can not be met. Thus it is necessary to compensate the propagation time differences using the location information of the sender and the receiver or to be taken into account in data analysis. The DCF77 and GPS technologies used are explained in the article. Furthermore a possible measurement setup and an implementation is presented. The procedure is outlined on the basis of a measurement sequence and explained.

keywords: *DCF77* | *GPS* | *Realtime-Measurement* | *Webservices*

Zusammenfassung

In der modernen Messtechnik werden heutzutage sehr hohe Abtastraten vorausgesetzt. Dabei muss die Synchronisation der aufgenommenen Signale zur Auswertung gewährleistet werden, um somit eine Aussage über zum Beispiel die Phasenlage zweier Signale treffen zu können. Durch die Verwendung einer gemeinsamen Trigger-Leitung wird dies im Üblichen umgesetzt. In vielen Anwendungsszenarien ist eine drahtgebundene Synchronisation von verschiedenen Messstellen nicht praktikabel bzw. unmöglich. Um dennoch eine zeitliche untere Schranke im Sinne der Echtzeit einer Messung zu gewährleisten, kann eine Kombination von verschiedenen Drahtlostechniken verwendet werden. Echtzeitmessungen bedürfen in der Regel eines wohldefinierten Trigger-Signals, welches synchron an verschiedenen Messpunkten eine Messung auslöst. Durch die Verschiebung der Laufzeit eines solchen Signales kann jedoch diese Restriktion bei größeren Entfernungen der verschiedenen Messstellen nicht eingehalten werden. Dadurch ist es notwendig, die Laufzeitunterschiede mit Hilfe der Ortsinformationen von Sender und Empfänger zu kompensieren bzw. in der Datenauswertung zu berücksichtigen. Die benutzten Technologien DCF77 und GPS werden im Verlauf des Artikels erläutert. Des Weiteren wird ein möglicher Messaufbau gezeigt und bereits erfolgte Implementierungen vorgestellt. Der Ablauf einer Messung wird anhand einer Sequenz skizziert und erläutert.

Schlüsselwörter: *DCF77* | *GPS* | *Echtzeitmessung* | *Webservices*

In der modernen Messtechnik werden heutzutage sehr hohe Abtastraten vorausgesetzt. Dabei muss die Synchronisation der aufgenommenen Signale zur Auswertung, beispielsweise der Phasenlage zweier Signale, gewährleistet werden. Durch die Verwendung einer gemeinsamen Trigger-Leitung wird dies im Üblichen umgesetzt. In vielen Anwendungsszenarien ist eine drahtgebundene Synchronisation von verschiedenen Messstellen nicht praktikabel bzw. unmöglich. Um dennoch eine zeitliche untere Schranke im Sinne der Echtzeit einer Messung zu gewährleisten, kann eine Kombination von verschiedenen Drahtlostechniken verwendet werden. Echtzeitmessungen bedürfen in der Regel eines wohldefinierten Trigger-Signals, welches synchron an verschiedenen Messpunkten eine Messung auslöst. Durch die Verschiebung der Laufzeit eines solchen Signales kann jedoch diese Restriktion bei größeren Entfernungen der verschiedenen Messstellen nicht eingehalten werden. Dadurch ist es notwendig, die Laufzeitunterschiede mit Hilfe der Ortsinformationen von Sender und Empfänger zu kompensieren bzw. in der Datenauswertung zu berücksichtigen (Felderhoff et al., 2006). Die Synchronisation kann auf kürzeren Distanzen durch eine eigene Signalquelle erfolgen. Auf großen bis sehr großen Entfernungen ist jedoch die Nutzung vorhandener Signalquellen die bessere Wahl. Als Möglichkeiten sind hier das Zeitsignal des DCF77 Senders bzw. die Nutzung des Zeitstempels in GPS Satellitendaten zu nennen.

AUFBAU

Der systematische Aufbau einer Messanordnung ist in Abbildung 1 gezeigt. Auf der linken Seite ist der DCF77 Langwellen Sender in Mainflingen mit den Geokoordinaten 50° 0′ 56″ Nord, 9° 0′ 39″ Ost dargestellt. Das mit einer Frequenz von 77.5 kHz generierte Signal beinhaltet die Zeitinformation in

*Kontakt: oliver.punkhs-merseburg.de

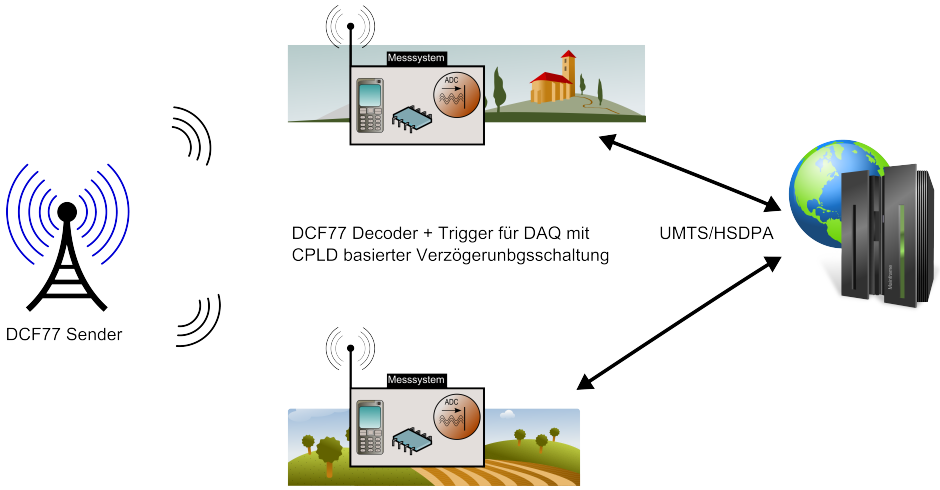


Abb. 1: System Aufbau

digitaler Form und wird von einer bzw. mehreren Atomuhren der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt synchronisiert (Bundesanstalt, 1978). Die Kodierung erfolgt mittels einer Absenkung des Signalpegels auf 15%. Die Empfängersynchronisierung erfolgt mit einer Auslassung der Absenkung innerhalb der 59. Sekunde eines Zyklus.

Im mittleren Bildteil sind zwei Messstellen dargestellt. Jede Messstelle besteht aus einem DCF77 Empfängerchip, einer CPLD basierten Verzögerungsschaltung, einer Messanordnung zur Aufnahme des Messsignals, einer GPS Karte, einem UMTS/HSDPA Modem zur Verbindung zum zentralen Server und einer Rechnergestützten Kontrolleinheit. Diese kann im einfachsten Fall ein vollwertiger PC bzw. ein Laptop sein, Szenarien mit eingebetteten Systemen sind jedoch denkbar und wurden im Vorfeld der Arbeit bereits implementiert. Ebenso kann eine Kombination des GPS Empfängers mit dem UMTS/HSDPA Modem in Form eines üblichen Smartphones genutzt werden. Im rechten Teil der Abbildung ist der zentrale Server dargestellt, der sowohl die Steuerung respektive Vor-Synchronisation als auch das Sammeln der Messdaten implementiert und diese Dienste in Form von XML-Webservices zur Verfügung stellt. Durch die Information über den Ort der Messstelle und des Ortes des DCF77 Langwellensenders kann die Laufzeit des DCF77 Signales bestimmt werden. Abbildung 2 zeigt eine prototypische PC Applikation, die aus den Geokoordinaten eines GPS Empfängers die Laufzeit des DCF77 Signales errechnet. Die Geokoordinaten werden im National Marine Electronics Association (NMEA 0183) Format mit 4800 Baud zur Verfügung gestellt (Kresse & Danko, 2011). Da während der Messung von einem statischen Ort ausgegangen wird, ist die Ortsinformation in der Regel nicht als zeitkritisch zu bewerten, sofern eine genaue Bestimmung erfolgte. Die Qualität der Ortsinformation kann ebenfalls aus dem NMEA Code entnommen werden und in die Bewertung der Messung einfließen. In der derzeitigen Implementierung wird die Entfernung nur planar geometrisch betrachtet, wobei ebenfalls die Höheninformation geliefert wird und zu einer exakteren Laufzeit des Signals beitragen kann. Die Server/Client Architektur wurde mit Hilfe des Microsoft .NET Frameworks realisiert und Client-seitig auf verschiedenen Plattformen, so zum Beispiel als x86 Applikation oder als MONO basierte Android App, getestet (Künneth, 2011). Durch die Verwendung von XML-Webservices ist eine Plattform-unabhängigkeit der zugrunde liegenden Server und Client Architektur erreicht worden. Im Sinne der Webservice-Security kann hier auch von einer sicheren Verbindung ausgegangen werden (Melzer, 2010).

MESSABLAUF

Im Nachfolgenden soll ein Messablauf am Beispiel einer PC-basierten Lösung beschrieben werden. Als Hardware kommen ein Laptop, eine National Instruments USB DAQ Karte und eine Mikrocontroller-Lösung zum Einsatz, wobei letztere die Auswertung des DCF77 Signals vornimmt und in Zusammenspiel mit einem CPLD harte Echtzeit garantiert. Die eigentliche Messung unterteilt sich dabei in 3 Phasen:
In der ersten Phase wird der DCF77 Empfänger mit dem Signal synchronisiert. Weiterhin wird per GPS die Ortsinformation abgerufen und die Laufzeit zum Langwellensender bestimmt. Die Messapplikation meldet sich am Server per UMTS an und übermittelt seine Ortskoordinaten bzw. signalisiert Messbereitschaft. Die Trigger-Leitung der Messkarte, welche die Datenaufnahme steuert, ist dabei mit dem Mikrocontroller verbunden. Nachdem sich alle Messstationen am Server angemeldet und ihre Messbereitschaft signalisiert haben, errechnet der Server den genauen Messzeitpunkt und teilt diesen den Messstellen per Webservices mit. Dabei werden die unterschiedlichen Signallaufzeiten berücksichtigt, so dass die längste Laufzeit das bestimmende Glied ist. Die Messstellen übertragen den Startpunkt zum Mikrocontroller, welcher sich in den Messmodus begibt. Dieser gesamte Prozess ist nicht zeitkritisch, da die Herstellung der Aktivierung der Messung bidirektional mit dem Server erfolgt und erst bei Bereitschaft aller Module der Server die Messung freigibt. In der zweiten Phase aktiviert der Mikrocontroller den Trigger zur Messdatenaufnahme in der 59. Sekunde des DCF77 Signals. Durch die entsprechenden Vorlaufstrecken ist der Laufzeitunterschied

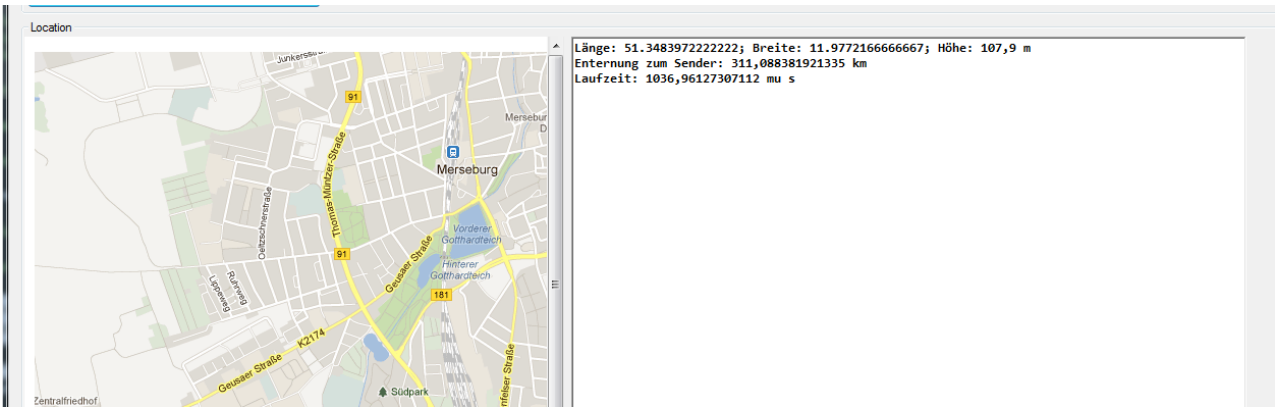


Abb. 2: Prototypische PC Applikation

berücksichtigt. Durch die geringe Laufzeitdivergenz der baugleichen Microcontroller der verschiedenen Messknoten kann von einer geringen unteren zeitlichen Schranke ausgegangen werden. In der dritten Phase überträgt der Messknoten die aufgenommenen Werte an den Server. Diese Phase ist ebenfalls nicht zeitkritisch. Auf dem Server erfolgt die Weiterverarbeitung der Daten bzw. die Vorbereitung zur nächsten Messsequenz.

AUSBLICK

Das hier vorgestellte Konzept ist in weitesten Teilen bereits umgesetzt worden. Die Implementierung des Clients bzw. der Signalabnahme des DCF77 Zeitsignals erfolgte dabei sowohl auf Basis eines ARM7 Microcontroller Boards als auch mithilfe einer PCIe Messkarte. Im letzteren Fall konnte ein Jitter der Synchronisation der einzelnen Knoten von < 100 ns gemessen werden. Die serverseitige Anbindung erfolgt auf Basis eines Microsoft-Serverbetriebssystems, welches die entsprechenden Webservices als Active Server Page bereitstellt. In nachfolgenden Schritten wird das System im Feld getestet, wobei in erster Linie eine Schallemissionsmessung Verwendung finden wird.

REFERENZEN

Bundesanstalt P.-T (**1978**): PTB Mitteilungen. Bd. 88, Die Anstalt.

Felderhoff R, Mettke M & Freyer U (**2006**): Elektrische und elektronische Messtechnik: Grundlagen, Verfahren, Geräte und Systeme. Lernbücher der Technik, Hanser.

Kresse W & Danko D (**2011**): Springer Handbook of Geographic Information. Springer Verlag.

Künneth T (**2011**): Android 3 – Apps entwickeln mit dem Android SDK. Galileo Press.

Melzer I (**2010**): Service-orientierte Architekturen mit Web Services: Konzepte- Standards- Praxis. Spektrum Akademischer Verlag.

Zu zitieren als: **Punk O & Heuert U (2012):** Synchronisiertes Messen mittels DCF77 und GPS. *Zeitschrift für Nachwuchswissenschaftler* 2012/1(4): S 23–25

Please cite as: **Punk O & Heuert U (2012):** Synchronized measurements using DFC77 and GPS. *German Journal for Young Researchers* 2012/1(4): pp 23–25

URL: http://www.nachwuchswissenschaftler.org/2012/1/90
URN: urn:nbn:de:0253-2012-1-905