

Integrierte drahtlose Sensorsysteme für Flurförderzeugreifen

Integrated Wireless Sensor Systems for Industrial Truck Tires

Steffen Kleinert
Ludger Overmeyer

Institut für Transport- und Automatisierungstechnik,
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

In diesem Artikel werden zwei unterschiedliche Integrations- und Sensorkonzepte zur drahtlosen Erfassung der Belastung und Temperatur innerhalb eines Vollgummireifens für Flurförderzeuge beschrieben. Anhand der während des Fahrzeugbetriebs gesammelten Messdaten sollen Reifenschäden durch thermische Überlastung und Unfälle durch kippende Fahrzeuge vermieden werden.

[Schlüsselwörter: drahtlose Sensoren, Flurförderzeuge, Reifen, Unfallschutz, Systemüberwachung]

Abstract: In this paper two different integration and sensor concepts for wireless force and temperature measurement inside of industrial truck tires are described. By monitoring the current system parameters of industrial truck tires, accidents and tire damages due to overheating and overloading can be avoided.

[Keywords: wireless sensors, industrial trucks, tires, safety, system monitoring]

1 EINLEITUNG

Als Fahrbereifung für Flurförderzeuge (FFZ) werden überwiegend Vollgummireifen des Typs Superelastik, so genannte SE-Reifen verwendet. Gegenüber einer Bereifung mit Luftreifen wie im PKW-Bereich zeichnen sich Vollgummireifen durch eine geringere Einfederung und somit eine stabilere Fahrzeuglage aus, was besonders bei der Ladungshandhabung von Vorteil ist. Zudem sind Vollgummireifen wartungsfrei und besonders tragfähig.

Um die praktisch fehlende Federung bei klassischen Vollgummireifen zu kompensieren werden Superelastikreifen, wie in Abbildung 1 dargestellt, in mehreren Lagen aus verschiedenen Gummimischungen mit jeweils angepassten Materialeigenschaften aufgebaut.

Die Bodenschicht, als innerste Lage, gewährleistet den festen Sitz des Reifens auf der Felge und besteht aus dem

härtesten im Reifen verwendeten Material. Zusätzlich können je nach Ausstattung Armierungen aus Stahldraht eingebracht sein, um diese Lage zusätzlich zu verstärken.

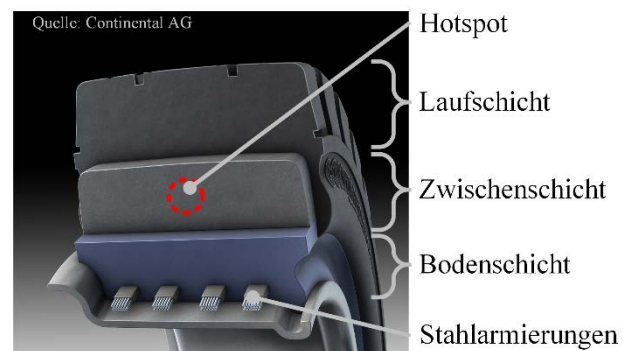


Abbildung 1. Innerer Aufbau eines SE-Reifens

Die mittlere Schicht, auch als Zwischen- oder Komfortschicht bezeichnet, ist elastischer als der übrige Reifen und sorgt für die Abfederung von Stößen und Schwingungen. Sie ist somit namensgebend für diese Art des Reifenaufbaus und bildet den Kern des Reifenquerschnitts.

Für einen direkten Kontakt mit der Fahrbahn ist die Zwischenschicht nicht geeignet, so dass die äußere Laufschrift sie als schützende und Kraft übertragende Lage umschließt. Die Laufschrift ist auf Verschleiß- und Schnittfestigkeit sowie eine gute Bodenhaftung optimiert und kann über die Lebensdauer des Reifens nahezu vollständig abgefahren werden.

Während des Fahrbetriebs wird durch die periodischen Verformungen des Reifens kontinuierlich Energie eingebracht. Diese Energie wird größtenteils in der elastischen Zwischenschicht durch Walkarbeit in Wärme umgewandelt und idealerweise nach außen abgegeben. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Reifenmaterials ist dieser Transmissionsvorgang jedoch deutlich begrenzt. Wird beispielsweise durch zu schnelles Fahren oder Überladung mehr Energie in den Reifen eingebracht, als nach außen abgeleitet werden kann, überhitzt der Reifen und wird ab Temperaturen oberhalb von etwa 140°C irreparabel geschwächt. Diese Schädigung beginnt üblicherweise im

Zentrum der Zwischenschicht, am so genannten „Hotspot“. Wobei der Temperatureinfluss so weit gehen kann, dass das Reifenmaterial sich verflüssigt und aus dem Reifen austritt. Eine erfolgte Schädigung beziehungsweise die vorausgehende Temperaturerhöhung ist von außen in der Regel nicht ersichtlich, da sich die Reifenaußenseite aufgrund der erwähnten geringen Wärmeleitfähigkeit des Gummis nicht gleichermaßen wie der Hotspot erwärmt. Um die Reifentemperatur im Inneren korrekt erfassen und geeignete Vorkehrungen zur Erhalt des Reifens treffen zu können, ist ein integrierter Temperatursensor in der Mitte der Zwischenschicht erforderlich [Kle14].

Die Integration elektronischer Komponenten in das Innere eines SE-Reifens stellt eine große Herausforderung dar. Die rauen Umgebungsbedingungen im Fahrbetrieb erfordern den Schutz der integrierten Komponenten gegen die auftretenden hohen Biegewechselbelastungen und komplexen Zug- und Druckkräfte. Gleichzeitig dürfen die als Fremdkörper im Reifen wirkenden Komponenten die Haltbarkeit und Tragfähigkeit des Reifens nicht beeinträchtigen.

Neben der mechanischen Belastung müssen die integrierten Sensorsysteme und elektronischen Komponenten auch die Temperaturen während des Betriebs und der Vulkani-sation überstehen. Hierbei sind Temperaturen von 130°C während der Fahrt und annähernd 150°C bei der Vulkani-sation als typische Werte anzusehen.

2 DRAHTLOSE MESSDATENERFASSUNG MIT RFID

Für die Erfassung des inneren Reifenzustands ist die Verwendung drahtgebundener Sensoren nicht zielführend, da die betriebssichere Anbindung derartiger Reifensensoren an das FFZ je nach Fahrzeugtyp und Reifen nicht oder nur mit einem erheblichen Aufwand möglich ist. Drahtlose Systeme auf Basis von RFID (Radio Frequency Identification) bieten dagegen die Möglichkeit sowohl Daten als auch Energie kontaktlos zwischen Fahrzeug bzw. Reader und Transponder mit Sensoren im Reifen auszutauschen.

RFID-Systeme werden nach ihrer Betriebsfrequenz in LF (30 – 500 kHz), HF (3 – 30 MHz), UHF (850 – 950 MHz) und SHF (2,4 – 2,5 GHz) sowie nach ihrer Energieversorgung in aktiv, passiv und semi-passiv unterteilt [Fin06]. Für die Integration in SE-Reifen sind insbesondere passive UHF-Systeme interessant. Gegenüber HF und LF zeichnet sich dieser Standard durch eine ausreichend große Reichweite und eine höhere Energieübertragung aus, so dass auch Transponder mit zusätzlich angeschlossenen Sensoren passiv versorgt werden können. Eine aktive Energieversorgung des im Reifen integrierten RFID-Systems scheidet aufgrund der hohen Temperaturen und Belastungen aus.

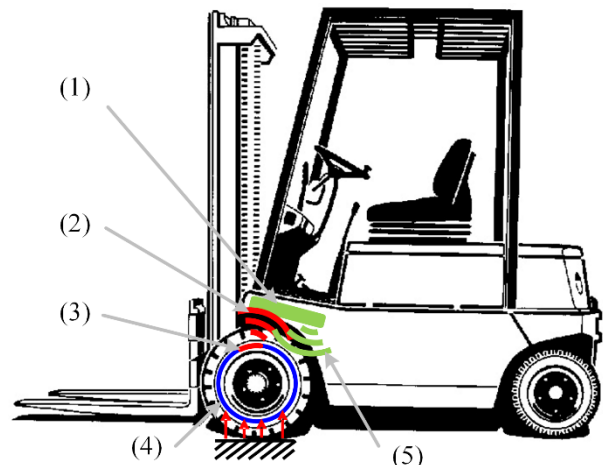


Abbildung 2. Integrationskonzept für die drahtlose Überwachung des Reifenzustands an einem FFZ [vgl. BLB12]

Zur Messung und Datenübertragung der Zustandsinformationen wird wie in Abbildung 2 dargestellt ein Transponder (3) mit Sensoren (4) in den Reifen integriert. Ein RFID-Reader (1) versorgt den Transponder mit Energie (5) und stellt einen Datenaustausch (2) her.

Für die Realisierung des Transponders wird ein SL900A von ams verwendet. Dieser UHF-Chip verfügt über einen integrierten Temperatursensor der bis 125°C ausgelegt ist und bietet zudem zwei Anschlussmöglichkeiten für externe Sensoren. Erste Laborversuche mit einem Entwicklungstransponder des Herstellers haben, wie in Abbildung 3 dargestellt, die grundsätzliche Eignung des Chips für die angestrebte Anwendung bei Temperaturen bis 150°C bestätigt.

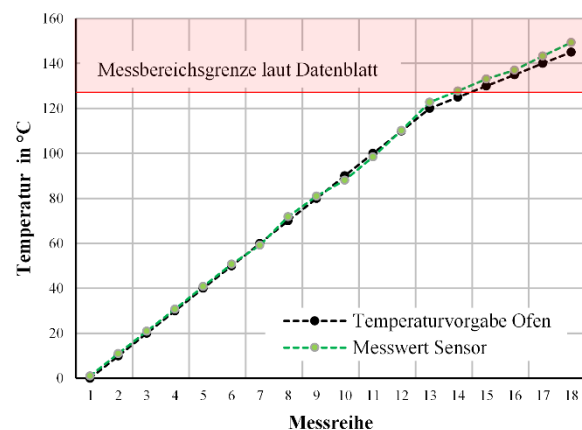


Abbildung 3. Messreihe zur Validierung des Messbereichs und der Messgenauigkeit des integrierten Temperatursensors des SL900A [vgl. Swi15]

Ein zusätzlicher Sensor für die Temperaturerfassung ist somit nicht zwingend erforderlich, da der Messbereich und die Messauflösung des integrierten Sensors für eine kontinuierliche Messung ausreichend sind.

2.1 SENSORSYSTEME FÜR DIE BELASTUNGS- ÜBERWACHUNG VON SE-REIFEN

Ebenso wie der RFID-Chip müssen auch die verwendeten Sensoren den Belastungen während des Fahrbetriebs und der Reifenherstellung standhalten.

Folienbasierte Systeme mit kapazitiven oder piezoelektrischen Messprinzipien bieten die Möglichkeit auf einer beliebig großen, flexiblen Fläche Druck bzw. Belastung zu messen. Allerdings sind die untersuchten Systeme überwiegend für deutlich geringere Belastungen ausgelegt und somit mechanisch nicht in der Lage die anhand von Finite-Elemente-Simulationen ermittelten und in Abbildung 4 dargestellten Belastungen zu erfassen.

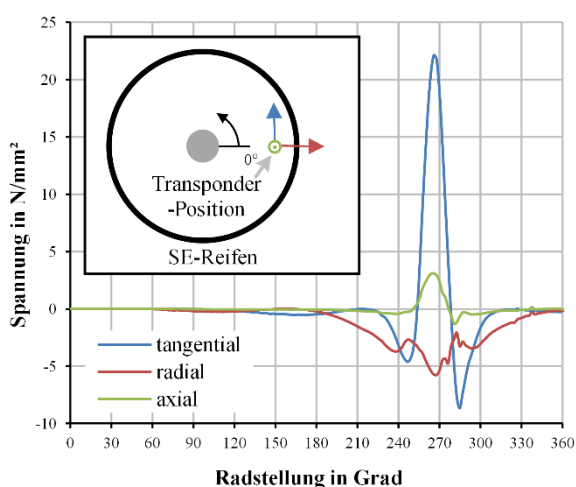


Abbildung 4. Mittels FE-Simulation ermittelte Belastungen auf einen integrierten Transponder [vgl. Mis14]

Die vorherrschenden Temperaturen stellen zudem ein erhebliches Hindernis dar, weil die meisten am Markt verfügbaren Folienlösungen für Maximaltemperaturen von 85°C ausgelegt sind. Eine der wenigen verfügbaren Ausnahmen stellen piezoresistive Sensoren des Anbieters TecScan dar. Der verwendete Sensorwerkstoff verändert seinen Widerstand in Abhängigkeit des darauf wirkenden Drucks und ist hitzebeständig bis über 200°C. Der Messbereich der Sensoren ist für individuell angefertigte Systeme durch die Zusammensetzung des piezoresistiven Materials konfigurierbar und liegt bei Standard-Ausführungen in Bereichen von wahlweise 1,8 bis 8,7 N/mm². Eine Verwendung der Standardausführung für hohe Belastungen ist demnach für die Anwendung als Reifensensor möglich, da wie in Abbildung 4 anhand der rot dargestellten Hauptspannung in radialer Richtung maximal 6 N/mm² zu erwarten sind.

Eine Alternative zur piezoelektrischen bzw. piezoresistiven Messung stellt die Verwendung von Dehnungsmessstreifen (DMS) dar. Mit den DMS wird nicht direkt die Kraft sondern indirekt die Verformung des Transponders gemessen. Dessen Aufbau und Ausrichtung innerhalb des Reifens müssen daher derart gestaltet werden, dass die

Hauptspannung in tangentialer Richtung (Abbildung 4, blau dargestellt) optimal erfasst werden kann. Für die Messung der Verformung eines eingebetteten Sensortransponders bietet sich üblicherweise die Verwendung einer Messbrücke bestehend aus bis zu vier DMS und einem optionalen Operationsverstärker (OPV) an. Nachteilig bei diesem Messaufbau sind der vergleichsweise hohe Energiebedarf einer derartigen Messschaltung, welcher vollständig über den passiv betriebenen RFID-Chip bereitgestellt werden muss, sowie die deutlich höhere Anzahl an erforderlichen elektronischen Komponenten, die zu integrieren sind.

3 SCHUTZMAßNAHMEN FÜR IN SE-REIFEN INTEGRIERTE ELEKTRONISCHE SYSTEME

In umfassenden Voruntersuchungen haben Bär, Lotz und Bouzakis [BLB12] unterschiedliche Transponderbauformen und Schutzmaßnahmen gegen mechanische Beschädigungen für eine Integration der Transponder in SE-Reifen untersucht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass eine Kapselung der elektronischen Komponenten im Inneren einer Platine, wie in Abbildung 5, Nummer (2) dargestellt, einen ausreichend guten Schutz vor Beschädigungen bietet und gleichzeitig keine nachweisbaren negativen Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der Reifen zu erwarten sind.

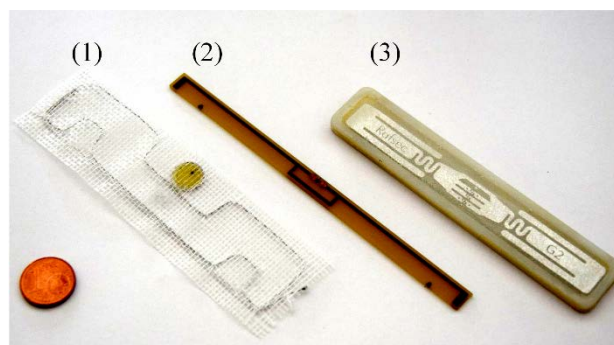


Abbildung 5. Bauformen und Schutzstrategien für Transponder zur Reifenintegration: (1), T. mit Gewebeantenne, (2), Platintransponder, (3), gekapselter Folientransponder

Die Kapselung eines Folientransponders im Inneren einer mit Gießharz ausgefüllten Kunststoffummantelung wie in Abbildung 5, Nummer (3) dargestellt und vergleichbare mechanische Konstruktionen führten dagegen zu Beschädigungen des Transponders, bis hin zur vollständigen Zerstörung der Konstruktion sowie in Folge zu einer Beschädigung des Reifens.

Eine dritte Variante basiert auf der Verwendung eines kleinen Chipmoduls, bei dem die elektronischen Komponenten wie bei Variante (2) im Inneren einer Platine integriert sind. Auf dem Chipmodul ist eine Spulenantenne für die Nahfeldkommunikation integriert, über die eine auf Glasfasergewebe aufgestickte Fernfeldantenne angebunden wird. Dieses in Abbildung 5, Nummer (1) dargestellte Konzept ermöglicht eine nahezu beliebig groß gestaltete

Fernfeldantenne, da das Gewebematerial den Reifen nicht beeinträchtigt. Weil keine feste mechanische Verbindung zwischen der Antennenstruktur und dem Chipmodul besteht ist die Gefahr, dass die Antenne sich vom RFID-Chip löst, nicht gegeben und das Chipmodul stellt lediglich eine minimale Störstelle im Reifeninneren dar. Allerdings kann sich durch das Fließverhalten des Gummis und die Bewegungen des Reifens die Ausrichtung zwischen gewebter Antenne und Chipmodul derart verschieben, dass keine sichere Kommunikation mehr möglich ist. Um dies zu verhindern werden zusätzliche Kapselungen aus festeren Gummimischungen oder flexiblen Kunststoffen zwischen Chipmodul und Antennenkoppelung verwendet [Swi15]. Diese wurden wie in Abbildung 6 dargestellt, in die Zwischenschicht eines SE-Reifenrohlings (1) integriert und anschließend auf ihre Verwendbarkeit untersucht.

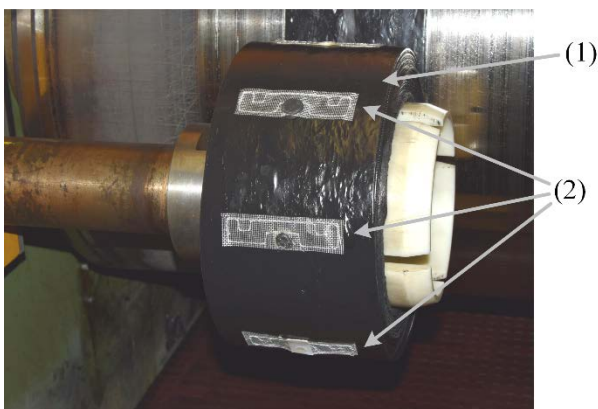


Abbildung 6. Integration von Transpondern mit Fernfeldantenne auf Glasfasergewebe mit unterschiedlichen Schutzstrategien zur Antennenausrichtung (2) bei der Integration in einen Reifen-Rohling (1).

4 KONZEPTION UND AUFBAU DER SENSOR-TRANSPONDER

Basierend auf den ausgearbeiteten Sensorkonzepten und den untersuchten Schutzmaßnahmen werden zwei unterschiedliche Lösungsansätze für die Integration von Sensortranspondern in SE-Reifen verfolgt:

Der erste Ansatz sieht die Verwendung einer mehrlagigen Platine mit innenliegend gekapselten elektronischen Bauteilen vor. Da für die Antennenstruktur bereits eine ausreichend große Platinenoberfläche vorhanden sein muss, bietet sich die Kombination dieses Transponderkonzepts mit der Belastungserfassung durch DMS an.

Der zweite verfolgte Ansatz verwendet ein kompaktes mehrlagig aufgebautes Chipmodul, bei dem die Fernfeldantenne auf ein Glasfasergewebe aufgesteckt ist. Aufgrund der geringen Oberfläche des Chipmoduls wird für dieses Konzept ein piezoresistiver Drucksensor verwendet, der auf die Oberseite der runden Platine laminiert wird.

4.1 TRANSPONDER AUF BASIS EINER MEHRLAGEN PLATINE MIT DMS

Für die Herstellung des Sensortransponders auf Platinenbasis – im Nachfolgenden Platinentransponder genannt – wird ein Aufbau aus drei Ebenen benötigt (wie in Abbildung 7 dargestellt). Die mittlere Ebene (Nutzebene) beinhaltet die gefaltete Dipol-Antenne sowie den RFID-Chip und weitere elektronische Komponenten zur Belastungsmessung und Energieversorgung (Operationsverstärker, Kondensatoren, Widerstände). Bei der Auswahl der Komponenten wird besonderer Wert auf einen möglichst geringen Energiebedarf und eine Bauhöhe von unter einem Millimeter gelegt. Zudem müssen alle verwendeten Bauteile den Temperaturanforderungen von bis zu 150°C bei der Reifenvulkanisation genügen.

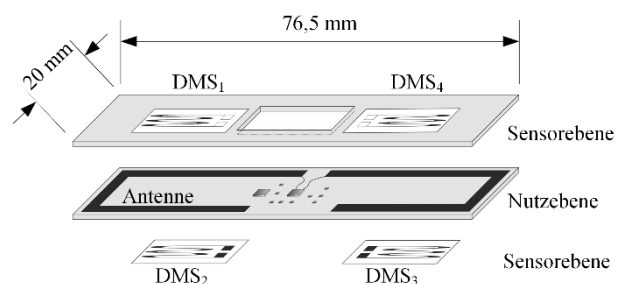


Abbildung 7. Aufbau des Platinentransponders mit vier symmetrisch angeordneten DMS

Die Nutzebene befindet sich zwischen zwei jeweils einen Millimeter starken FR4-Platten, auf deren Außenseiten (Sensorebenen) die DMS appliziert werden. Durch diesen Aufbau befinden sich die Verbindungsstellen zwischen den Anschlüssen der elektronischen Komponenten und den Leiterbahnen auf der biegeutralen Ebene des Transponders, so dass die Relativbewegungen zwischen Chip und Substrat minimiert werden.

Für die Umsetzung der Belastungssensoren wird eine Vollbrücke bestehend aus vier DMS vorgesehen, welche an eine Operationsverstärker-Schaltung angeschlossen ist. Durch die symmetrische Platzierung der Messgitter auf den gegenüberliegenden Ober- und Unterseiten des Transponders werden bei einer Biegebelastung die oben liegenden DMS 1 und 4 gestaucht und die unten liegenden DMS 2 und 3 gedehnt. Somit wird die messbare Differenzspannung maximiert.

Aus einer Abschätzung der für die Schaltung erforderlichen Energie und der durch den Transponder maximal verfügbaren Stromstärke von 200 µA, abzüglich Bedarfs der Operationsverstärkerschaltung von ca. 100 µA, ergibt sich ein erforderlicher Nennwiderstand der DMS im abgeglichenen Zustand von 3,4 kΩ. Der Nennwiderstand von am Markt angebotenen DMS liegt in der Regel bei maximal 1 kΩ. Um die erforderlichen 3,4 kΩ zu erreichen werden die DMS daher individuell auf der Platine gefertigt, indem die Sensorebenen galvanisch mit einer 9 µm dicken

Kupferlage beschichtet und anschließend in einem Laser-
 verfahren am Laserzentrum Hannover – LZH [DSK12]
 strukturiert werden.

Nach dem Vergießen der Montageöffnung in der
 Transponderoberseite und dem Auftrag einer Schutz-
 schicht sowie einer Haftgrundierung für das Reifenmaterial
 kann der Sensortransponder in Längsrichtung in den
 SE-Reifen integriert werden.

4.2 TRANSPONDER MIT GEKOPPELTER GEWEBE- ANTENNE UND PIEZORESISTIVEM SENSOR

Die Platine für den Transponder mit Gewebeantenne
 (siehe Abbildung 8) ist mit einem Radius von ca. 7 mm er-
 heblich kleiner als die Platine des ersten Lösungskonzepts.
 Der schichtweise Aufbau ist allerdings vergleichbar: Auch
 bei diesem Konzept befinden sich die elektronischen Bau-
 teile in der mittig gelegenen biegeneutralen Ebene um Be-
 schädigungen der Verbindungsstellen zu vermeiden. Es
 wird allerdings nur eine unten liegende Sensorebene benö-
 tigt, so dass die dritte Platinebene ausschließlich zum
 Schutz der elektronischen Bauteile erforderlich ist. Zudem
 wird kein zusätzlicher OPV für die Auswertung der Mess-
 daten benötigt, so dass außer dem RFID-Chip und einem
 optionalen Kondensator keine weiteren elektronischen
 Komponenten verwendet werden müssen.

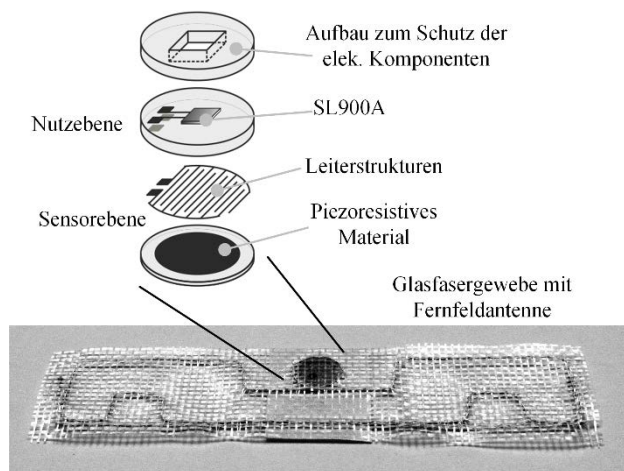


Abbildung 8. Aufbau des Gewebetransponders mit piezoresistivem Sensor

Der vorgesehene piezoresistive Sensor wird in der
 Standardausführung mit Kontaktflächen auf beiden Seiten
 des piezoresistiven Materials versehen und besteht aus
 zwei aufeinander liegenden Folien mit Leiterbahnen und
 Sensormaterial. Für die Applikation auf dem Chipmodul
 des Transponders ist eine einseitige Anbindung des Sen-
 sors besonders sinnvoll, da für diesen Fall keine zusätzliche
 Kontaktierung durch das piezoresistive Material erfolgen
 muss. Hierzu werden ineinander greifende Strukturen aus
 parallelen Leitern auf der Sensorebene verwendet, die über
 die piezoresistive Fläche eines aufgetrennten Standard-
 sensors überbrückt werden. Bei einer Druckbelastung der

Platine sinkt dementsprechend der Nennwiderstand der
 Verbindung zwischen den Leiterbahnen.

Das mit dem Sensor versehene Chipmodul wird auf
 einer Glasfaser-Gewebelage mit einer aufgestickten Fern-
 feldantenne integriert, die sich am Referenzdesign des
 textag von deister electronic orientiert und für die Anfor-
 derungen dieser Anwendung angepasst ist. Um die funktions-
 fähige Ausrichtung des Chipmoduls gegenüber der Gewe-
 beantenne sicher zu stellen wird die Platine vor der
 Integration in den SE-Reifen mit einer zusätzlichen Mate-
 rialschicht aus einer härteren Gummimischung, die einen
 festeren Sitz gewährleistet, ummantelt.

4.3 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Artikel beschreibt zwei unterschied-
 liche Konzepte zum Aufbau eines drahtlosen Sensorsys-
 tems zur Erfassung der Innentemperatur und der Belastung
 eines SE-Reifens für Flurförderzeuge. Beide Konzepte ba-
 sieren auf der Verwendung von passiver UHF-Transpon-
 dertechnik und unterscheiden sich hinsichtlich der verwen-
 deten Sensorsysteme für die Belastungserfassung sowie
 des konstruktiven Aufbaus der Transponder. Die besondere
 Herausforderung dieser Anwendung liegt in den erforder-
 lichen Betriebstemperaturen von 130°C bis 150°C und der
 hohen mechanischen Druck- und Biegebelastung im Rei-
 feninneren. Zudem muss eine vollständig passive Energie-
 versorgung der Transponder und der angeschlossenen Sen-
 soren erfolgen.

Welches der beiden vorgestellten Konzepte für die
 Anwendung in einem Flurförderzeugreifen besser geeignet
 ist, wird anhand weiterführender praktischer Untersuchen-
 gen zur Übertragungsleistung und mechanischen Stabilität
 sowie anhand der erreichbaren Messgenauigkeit der Tran-
 sponder bewertet.

5 FÖRDERHINWEIS

Das IGF-Vorhaben 18066 n/1 der Forschungsgemein-
 schaft Intralogistik/Fördertechnik und Logistiksysteme
 e.V. (IFL) wird über die AiF im Rahmen des Programms
 zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung
 (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
 gefördert.

6 LITERATUR

- [Kle14] Kleinert, Steffen; Overmeyer, Ludger: *Sensorintegration in Flurförderzeugreifen, Temperatur- und Belastungsüberwachung in SE-Reifen*. 10. Hamburger Staplertagung, 2014, Forschungskatalog Flurförderzeuge. Hamburg: Helmut Schmidt Universität, S. 29, ISBN 978-3-86818-056-5
- [Fin06] Finkenzeller, Klaus: *RFID-Handbuch, Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten*. Hanser Verlag München, 2006, 4. Auflage, ISBN 3-446-40398-1
- [Swi15] Swientek, Patrik: *Aufbau eines drahtlosen Sensornetzwerks auf Basis von flexiblen UHF-Transpondern zur Überwachung von SE-Reifen*. Stud. Arbeit, Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, 2015
- [Mis14] Missal, Thomas: *Finite-Elemente-Analyse der dynamischen Spannungszustände in Super-Elastik-Reifen*. Stud. Arbeit, Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, 2014
- [BLB12] Bär, Florian; Lotz, Christoph; Bouzakis, Antonios, et al: *Sensorintegration in Flurförderzeugreifen*. Konferenzbeitrag, 9. Hamburger Staplertagung, 2012, Forschungskatalog Flurförderzeuge, S. 43-50. Hamburg, ISBN 978-3-86818-037-4
- [DSK12] Düsing, Jan; Suttman, Oliver; Koch, Jürgen et al: *Ultrafast Laser Patterning of Thin Films on 3-D Shaped Surfaces for Strain Sensor Applications*. JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering 3 (7), 311–315 (2012), DOI: 10.2961/jlmn.2012.03.0014

Dipl.-Ing. Steffen Kleinert, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer, Leiter des Instituts für Transport- und Automatisierungstechnik an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

Adresse: Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA), An der Universität 2, 30823 Garbsen
Phone: +49 511 762-18159, Fax: +49 511 762-4007,
E-Mail: steffen.kleinert@ita.uni-hannover.de