

InUse – Intelligente Unterlegscheibe zur Messung der Kräfte in Schraubverbindungen

InUse – Intelligent Ring Washer for Measurements of Forces in Screw Connections

Stephan von Daacke
Ludger Overmeyer

Institut für Transport- und Automatisierungstechnik
Leibniz Universität Hannover

Die lösbare Verbindung von mechanischen Komponenten innerhalb von Maschinen und Anlagen wird zumeist über Schraubverbindungen realisiert. Um eine ausreichende Verbindung zu erzielen werden derzeit die Klemmkräfte durch ein definiertes Anzugsmoment aufgebracht. Bei der Berechnung des Momentes entsprechend der benötigten Kraft finden Reibbeiwerte innerhalb der Schraubverbindung Berücksichtigung, welche nur bedingt ermittelt werden können. In kritischen Maschinenkomponenten wird daher eine Überdimensionierung der Schrauben zur Erhöhung der Sicherheit akzeptiert. Die direkte Kraftmessung mittels einer intelligenten Unterlegscheibe und eine transpondergestützte Datenübertragung ermöglicht es, die Kräfte genau einzustellen und somit die Sicherheit zu erhöhen.

[Schlüsselwörter: Schraubverbindung, Unterlegscheibe, piezoresistives Schichtsystem, RFID, Klemmkraft]

Reasable connections between mechanical components inside machinery are mainly accomplished with screws. The necessary clamping forces to achieve a sufficient connection are produced by an applied torque. To calculate the applied torque according to the required forces, the friction coefficient within the screw needs to be taken into account, which can only be conditionally determined. Therefore, in critical machine components the employed screws are commonly over-dimensioned to increase safety. The herein presented device comprises a force-measuring washer with an onboard RFID tag for passive and wireless data transmission. In this way, the safety of the connection can be enhanced by accurately measuring the force and adjusting the applied torque accordingly.

[Keywords: Screw Connection, Ring Washer, Piezoresistive Layer, RFID, Clamping Force]

1 EINLEITUNG

Für die Montage von Maschinen und Anlagen wird oftmals eine Vielzahl von Schrauben verwendet, wenn die Bauteile nicht dauerhaft verbunden bzw. eine wieder lösbare Verbindung realisiert werden soll. Für eine solche Verbindungsweise ist die Klemmkraft, welche die zwischen den aufeinander liegenden Werkstücken nach der Montage und im Betrieb wirkende Kraft darstellt, eine entscheidende Größe. Diese Kraft ist maßgeblich für den sicheren und dauerhaften Halt einer Schraubverbindung und steht somit auch im direkten Zusammenhang mit der Funktionsfähigkeit einer Maschine [vDa11]. Derzeit werden Klemmkräfte durch die Einleitung eines Anzugsmomentes eingestellt, welches sich nach der folgenden Gleichung 1 berechnen lässt [Pol96]:

$$M_A = F_V \cdot \left(\frac{p}{2\pi} + \frac{d_2 \cdot \mu_G}{2 \cdot \cos \frac{\beta}{2}} + \frac{d_R \cdot \mu_K}{2} \right) \quad (1)$$

Hieraus ist ersichtlich, dass eine entsprechende Klemmkraft F_V durch ein Anzugsmoment M_A bestimmt werden kann. Das Anzugsmoment wird allerdings von zwei Reibbeiwerten, der Gewindereibung μ_G und der Kopfreibung μ_K beeinflusst wird. Da diese Werkstoffeigenschaften nicht eindeutig bestimmt werden können, bzw. von der Fertigung der Schraubenkomponenten abhängig sind, kann eine Bestimmung der Klemmkraft nur bedingt erfolgen. Eine Überschreitung der maximalen Axialkraft einer Schraube durch die benötigte Klemmkraft ist nicht zulässig. Daher werden häufig sicherheitsrelevante und kritische Schraubverbindungen überdimensioniert ausgeführt um eine Erhöhung der maximal zulässigen Axialkräfte und somit auch der maximalen Klemmkräfte zu bewirken.

Ein weiterer Einflussfaktor der im Betrieb einer Maschine wirkenden Klemmkraft ist der Vorspannkraftverlust infolge des Setzens. Diese Kraft ist ebenfalls bei der Auslegung einer Verbindung zu berücksichtigen und tritt

bei der Einebnung der Rauigkeiten der Materialoberflächen auf.

Die Ermittlung der tatsächlich herrschenden Kräfte innerhalb einer Schraubverbindung mittels eines geeigneten Messsystems stellt somit unter diversen Aspekten eine Innovation in Bezug auf die Funktionssicherheit von Maschinen dar. Ein wesentlicher Punkt ist die Vermeidung der Überdimensionierung von Schraubverbindungen bei Wahrung der Sicherheit ohne die Gefahr einer Überbelastung der Schraubkomponenten durch die Erfassung der Kraft während der Montage. Hierdurch können die Kosten der Maschine durch den effizienteren Einsatz ausreichend dimensionierter Schrauben gesenkt werden.

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit einer einfachen Überprüfung der Schraubverbindungen in bestimmten Zeitintervallen. Am Beispiel einer Windkraftanlage lässt sich der erhebliche Aufwand zur Wahrung des sicheren Betriebs verdeutlichen. Innerhalb einer solchen Anlage werden eine Vielzahl von Schrauben verwendet um die Turmsegmente zu verbinden und die Rotoren anzubringen. Bei der Überprüfung der Vorspannkräfte der einzelnen Schraubverbindungen wird aufgrund des zeitlichen Aufwandes nur ein geringer Anteil von etwa 10 % geprüft, wodurch ein erhöhtes Sicherheitsrisiko entsteht. Die Überprüfung erfolgt durch ein erneutes Aufbringen eines Drehmomentes mittels eines Drehmomentenschlüssels, wobei die bereits erläuterten Reibungseinflüsse keine genaue Nachjustage erlauben. Eine Ermittlung der Kräfte mittels einer messtechnischen Komponente und einer berührungslosen Datenübertragung ermöglicht eine schnelle Überprüfung solcher relevanter Schrauben. Die exakte Nachjustage mit einem einfachen Ringschlüssel wird durch eine solche intelligente Unterlegscheibe ebenfalls ermöglicht [FM13].

Die Realisierung einer kraftmessenden Unterlegscheibe mit berührungsloser Datenübertragung wurde im Rahmen eines durch die AiF geförderten ZIM-Projektes am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) durchgeführt. Projektpartner waren das Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) zur Herstellung des Schichtsystems zur Erfassung der Kräfte, die Firma Microsensus GmbH zur Entwicklung des Transponders zur Datenübertragung sowie die Firma Eilhauer Maschinenbau GmbH zur Fertigung der mechanischen Komponenten.

2 AUFBAU DER INTELLIGENTEN UNTERLEGSCHLEIBE

Der grundlegende Aufbau der intelligenten Unterlegscheibe gliedert sich in drei verschiedene Komponenten:

- den mechanischen Grundkorpus, welcher das sensorische Mess- und Übertragungssystem integriert

- das piezoresistive Schichtsystem zur Ermittlung der wirkenden Klemmkräfte der Schraubverbindung
- der RFID-Transponder zur berührungslosen Übermittlung der erfassten Messdaten

Im Folgenden wird der Aufbau der jeweiligen Komponenten sowie die Zusammensetzung des Gesamtmesssystems erläutert.

2.1 MECHANISCHER GRUNDKORPUS

Der mechanische Grundkorpus der Unterlegscheibe besteht grundlegend aus zwei Bauteilen, welche durch die Firma Eilhauer Maschinenbau GmbH gefertigt wurden. Diese sind die untere Scheibenkomponente, auf welcher das piezoresistive Schichtsystem aufgebracht wird, und die obere Scheibenkomponente zur Aufnahme des RFID-Transponders. Die Bauteile sind in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

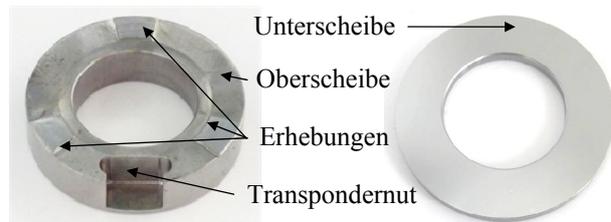


Abbildung 1. Mechanische Komponenten der intelligenten Unterlegscheibe

Als Dimension des Prototypens wurde eine M24 Unterlegscheibe realisiert. Innerhalb der 8 mm dicken oberen Scheibenkomponente wurde eine dem Transponder entsprechende Nut eingefräst. Desweiteren sind drei erhöhte Flächen auf der Ringfläche in einem 120°-Winkel zueinander angeordnet. Diese Flächen liegen unmittelbar über den Sensorflächen und dienen zur Erhöhung der Flächenpressung. Die untere Scheibenkomponente besitzt eine Stärke von 3 mm und wurde für den Sputterprozess zur Aufbringung des Schichtsystems einseitig poliert. Beide Bauteile sind aus dem Werkstoff 42CrMo4 gefertigt, wobei die untere Scheibe zusätzlich gehärtet wurde.

2.2 PIEZORESISTIVES SCHICHTSYSTEM ZUR ERMITTLUNG DER WIRKENDEN KLEMMKRÄFTE

Der Aufbau des Schichtsystems gliedert sich in vier aufeinander aufbauende Schritte, welche durch das Fraunhofer IST erfolgten. Der erste Schritt ist die Aufbringung der piezoresistiven DiaForce®-Beschichtung mittels eines PACVD-Prozesses. Die durch den Prozess aufgetragene Schichtdicke beträgt 6 µm. Im Anschluss wird durch einen PVD-Prozess eine 250 nm dicke Chrom-Beschichtung auf das Substrat aufgetragen. Diese Beschichtung dient zur Erzeugung der Elektrodenflächen, der Leiterbahnen und der Anschlusskontaktpads zum

Transponder durch einen lithographischen Strukturierungsprozess und anschließender nass-chemischer Ätzung. Für die Strukturierung erfolgt ein weiterer Beschichtungsschritt des Substrates mit einem Fotoresist. Mittels einer entsprechenden Lithographiemaske und nachfolgender Kontaktbelichtung wird die Struktur in die Chromschicht übertragen. Als abschließenden Prozessschritt wird eine 2,5 µm dicke SiCON[®]-Schicht strukturiert. Diese dient zum Verschleißschutz und zur elektrischen Isolation der Elektrodenstruktur. In der folgenden Abbildung 2 werden die einzelnen Stadien des Herstellungsprozesses der Sensorstruktur gezeigt.



Abbildung 2. Beschichtungsschritte des Schichtsystems zur Messung der Kräfte

Das abschließende Layout der Sensorstruktur umfasst drei Sensorflächen, welche in einem 120° Versatz zueinander angeordnet sind. Die Anzahl der Flächen dient zur Erfassung von ungleichen Belastungen innerhalb der Schraubverbindung um somit eine schiefe Einbaulage detektieren zu können. Das Layout wird in der folgenden Abbildung 3 gezeigt.

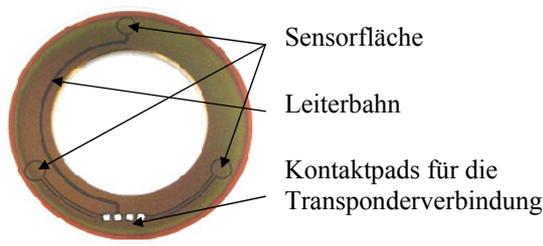


Abbildung 3. Layout des sensorischen Schichtsystems

2.3 RFID-TRANSPONDER ZUR BERÜHRUNGSLOSEN DATENÜBERTRAGUNG

Die Entwicklung eines für das System geeigneten Transponders wurde durch die Firma Microsensys durchgeführt. Die Herausforderung bestand darin eine Baugröße des Transponders mit möglichst hohem Miniaturisierungsgrad zu erzielen. Die Schaltung umfasst als wesentlichen Komponenten die RFID-Antenne, den RFID-ASIC, einen Microcontroller mit einem 10bit-Analog-Digital-Umsetzer für 4 Kanäle und einen Temperatursensor zur Kompensation der thermischen Widerstandsänderung der Sensorflächen. Der RFID-ASIC wurde als Chip in COB-Montage vorgesehen (s. Abb. 4, links). Die Ausführung des Transponders wurde durch zwei Leiterplatten mit gleicher Dimension von 10 mm x 8 mm gefertigt. Die Verbindung der beiden parallel angeordneten Leiterplatten erfolgt durch Stäbe aus Zinn zur elektrischen Anbindung. Der Gesamtbauraum des Transponders umfasst die Abmessungen 10 mm x 8 mm x 5 mm. Der Transponder wird innerhalb des Hochfrequenzbereiches mit 13,56 MHz betrieben. In der folgenden Abbildung 4 (rechts) wird der aufgebaut Transponder gezeigt.

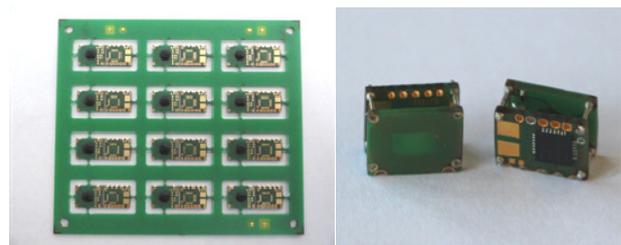


Abbildung 4. RFID-Transponder zur berührungslosen Datenübertragung der Kraftsignale

2.4 ZUSAMMENBAU DES PROTOTYPENS DER INTELLIGENTEN UNTERLEGSCHLEIBE

Für den Zusammenbau der Unterlegscheibe werden zuerst zwei Bohrungen über den Umfang der Scheibe gesetzt. Diese Bohrungen werden zeitgleich durch Ober- und Unterscheibe gefertigt und dienen der Verstiftung beider Komponenten. Eine Verstiftung ist notwendig um die im Einsatz auftretenden Torsionskräfte aufnehmen zu können. Es werden über den Umfang drei Passstifte mit einem jeweiligen Durchmesser von 3 mm verwendet. Die Dimensionierung der Stifte ist für die maximal auftretenden Kräfte ausreichend.

Im nächsten Fertigungsschritt wird der Transponder an die dafür auf der Unterscheibe vorgesehenen Kontaktstellen angebracht. Hierzu wird ein isotrop leitfähiger Klebstoff verwendet, welcher nach dem Aufbringen des Transponders innerhalb eines Heizofens bei 80 °C aushärtet. Die niedrige Aushärtungstemperatur ist notwendig, um die Komponenten und Anschlüsse des Transponders nicht zu beschädigen. Eine Lötverbindung ist aufgrund

der Chrombeschichtung nicht möglich. Um einen weiteren Beschichtungsschritt zur Veredelung, beispielsweise durch Gold oder Kupfer, der Kontaktpads zu vermeiden, wurde eine Klebverbindung zur Verbindung des Transponders und der Messstruktur realisiert. Der Aufbau des Prototypens ist in der folgenden Abbildung 5 gezeigt.

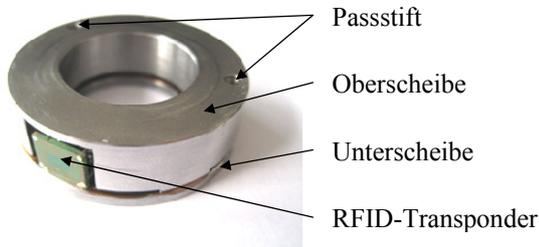


Abbildung 5. M24-Prototyp der intelligenten Unterlegscheibe

3 PRÜFSTANDSAUFBAUTEN UND KALIBRIERUNG DER SENSORSCHLEIBE

Die Sensorscheibe wurde auf drei verschiedenen Prüfständen getestet. Die erste Testreihe zur Funktionalitätsprüfung wurde am Fraunhofer IST nach der Beschichtung durchgeführt. Im nächsten Schritt wurden am ITA eine Vielzahl von Versuchen in einer servohydraulischen Prüfeinrichtung durchgeführt. Die abschließenden Untersuchungen erfolgten an einem neu entwickelten Prüfstand der Firma Eilhauer Maschinenbau. Die Prüfstände werden im Folgenden näher erläutert.

3.1 10 kN-PRÜFSTAND AM FRAUNHOFER IST

Eine erste Charakterisierung und Funktionalitätsprüfung der intelligenten Unterlegscheibe erfolgt am Fraunhofer IST unter Verwendung eines 10 kN-Prüfstandes, wie in Abbildung 6 dargestellt ist.

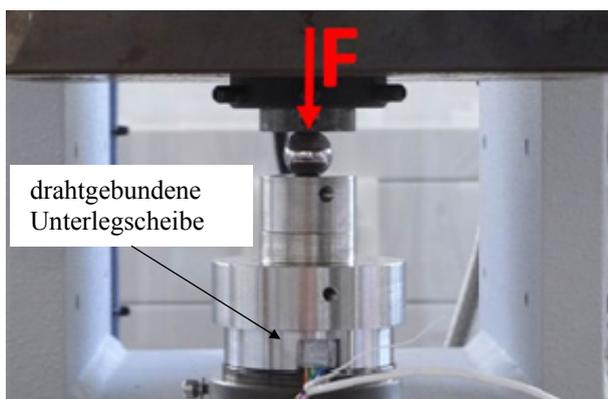


Abbildung 6. 10 kN-Prüfstand am Fraunhofer IST

Hierbei erfolgt die Messwerterfassung drahtgebunden und ohne die Verwendung eines Transponders. Innerhalb einer Spannungsteiler-Schaltung wird die Widerstandsänderung der Kraftsensoren in eine Spannungsänderung

umgewandelt und mittels eines Spannungsmessgeräts aufgezeichnet. Die Charakterisierung des temperaturabhängigen Widerstandsverhaltens des Schichtsystems erfolgt durch eine Erwärmung der Sensorscheibe auf einer Heizplatte. Als Referenzsensor für die Temperaturmessung dient ein PT100-Sensor. Die Widerstands- und Temperaturänderung werden kontinuierlich gemessen. Das Temperaturverhalten der Sensorschicht kann mittels einer Exponentialfunktion beschrieben werden. Die hierbei ermittelten Funktionen werden für die Temperaturkompensation der Widerstandsänderungen auf dem Transponder hinterlegt.

3.2 250 kN-PRÜFSTAND AM ITA

Am ITA sind umfangreiche Versuche an einer servohydraulischen Prüfmaschine zur Untersuchung der intelligenten Unterlegscheibe durchgeführt worden. Im Vordergrund stand dabei die Funktionalität der Scheibe unter hohen Druckkräften, welche ebenfalls unter Einsatzbedingungen herrschen. Der Prüfstandsaufbau ist in der folgenden Abbildung 7 dargestellt.

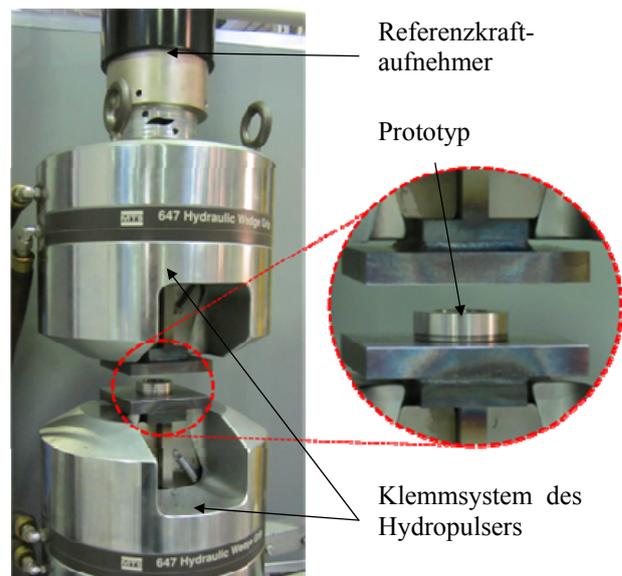


Abbildung 7. 250 kN-Prüfstand am ITA [Ov12]

Der Prüfstand kann sowohl kraft- als auch weggesteuert betrieben werden. Für die Charakterisierung der Unterlegscheibe wurde eine kraftgesteuerte Regelung mit Kräften bis zu 200 kN beaufschlagt. Hierbei wurden nur Druckkräfte in die Scheibe eingeleitet. Eine gleichzeitige Torsion der Scheibe ist mit der Prüfeinrichtung nicht vorgesehen. Die Änderung der Widerstände wurde unter Verwendung eines entsprechenden Lesegerätes direkt über den Transponder ausgelesen. Um die gemessenen Widerstandsänderung des Schichtsystems unter Belastung verifizieren zu können wurde das Kraftsignal der zur Regelung der Prüfmaschine verwendeten Kraftmessdose simultan zu den Widerstandsänderungen aufgezeichnet.

3.3 PRÜFSTAND ZUR CHARAKTERISIERUNG DER UNTERLEGSCHLEIBE UNTER EINSATZBEDINGUNGEN

Ein durch die Firma Eilhauer Maschinenbau GmbH entwickelter Prüfstand wurde für eine abschließende Überprüfung der Unterlegscheibe verwendet. Hierbei wurde die Scheibe unter realen Einsatzbedingungen mit einer Druckkraft belastet, welche durch ein aufgebrachtes Drehmoment eingeleitet wird. Der Prüfstand ist in der folgenden Abbildung 8 zu sehen.

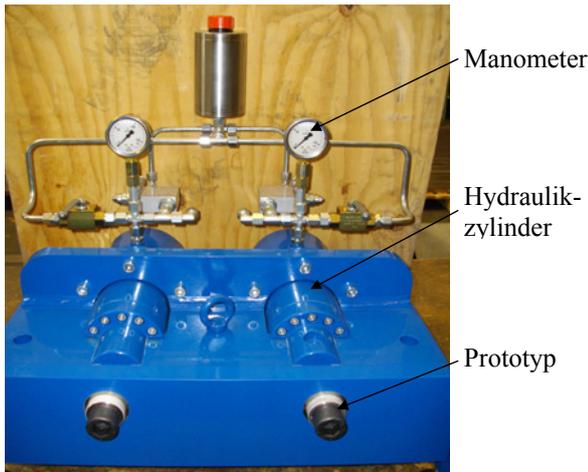


Abbildung 8. Hydraulikprüfstand für reale Testmessungen der Unterlegscheibe

Der Prüfstand ermöglicht es, die Schraube mit einem Drehmomentschlüssel anzuziehen und somit die Klemmkraft aufzubringen, welche mit Hilfe der Unterlegscheibe ermittelt werden kann. Die Schraube ist mit einem Hydraulikzylinder verbunden, wodurch mittels eines Manometers die Klemmkraft referenziert werden kann.

4 MESSERGEBNISSE

In den Prüfstandsuntersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Kraftmessung von Schraubverbindungen mit einem innerhalb der Scheibe integrierten Schichtsystems und eine berührungslose Datenübermittlung mittels RFID-Technologie möglich ist. Im Folgenden werden einige exemplarische Ergebnisse der Prüfstandsuntersuchungen vorgestellt.

4.1 STUFENWEISE BELASTUNG DER UNTERLEGSCHLEIBE

Bei der stufenweise eingeleiteten Druckbelastung wurden in 10 kN Schritten mit einer langsamen Steigungsrampe die Kräfte bis zu einer Kraft von 150 kN erhöht. Die Ermittlung der Klemmkräfte wurde mittels des in der Unterlegscheibe verbauten Transponders und einem entsprechenden Lesegerätes realisiert. Der Versuch wurde im 250 kN-Prüfstand des ITA durchgeführt. Die folgende Abbildung 9 zeigt den Kraftverlauf der Sensorscheibe und des Referenzkraftaufnehmers.

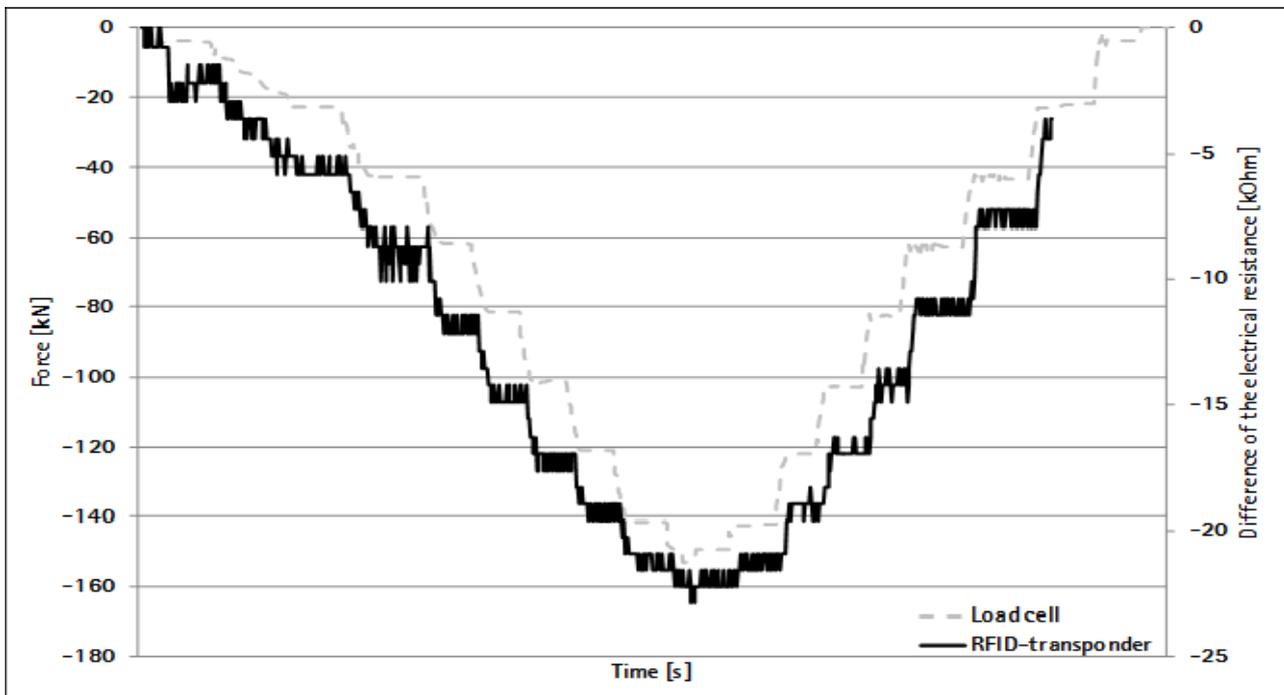


Abbildung 9. Stufenweise Belastung der Unterlegscheibe bis zu 150 kN [Ov12]

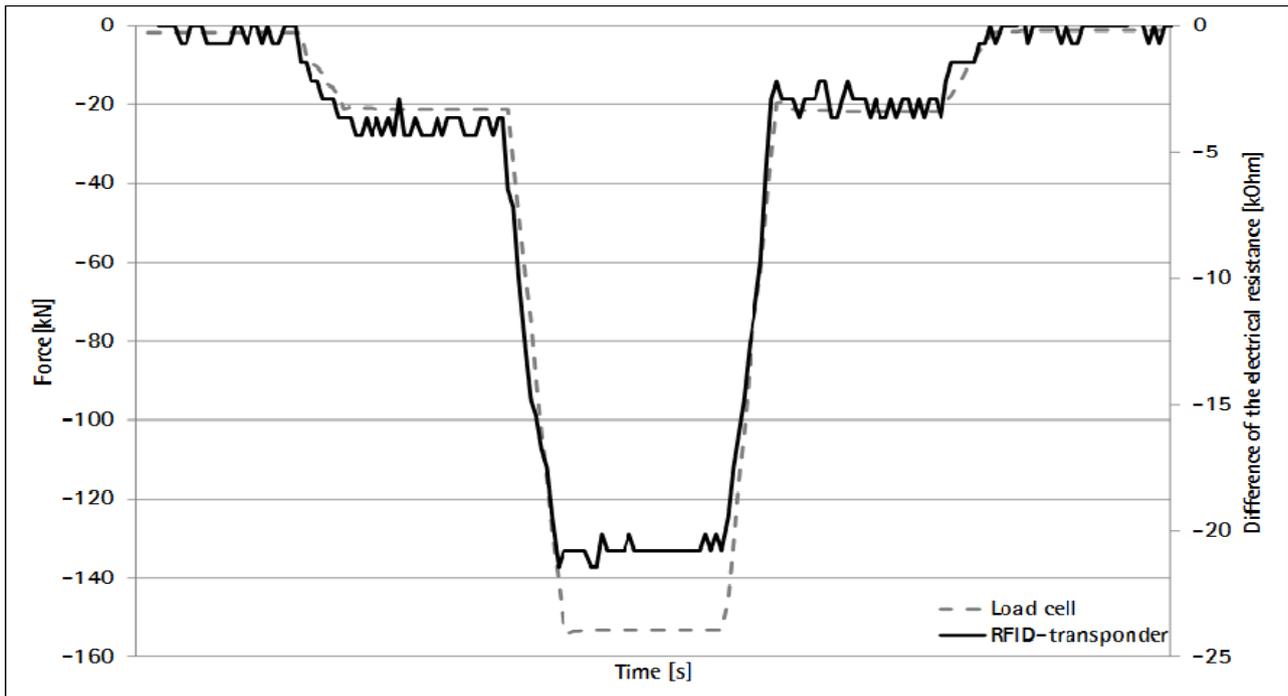


Abbildung 10. Sprunghafte Belastung der Unterlegscheibe [Ov12]

Es zeigte sich, dass bei einer stufenweise eingeleiteten Kraft mit langsamer Steigungsrampe das Messsignal der Sensorstrukturen eine gute Korrelation zum Kraftmesssignal des Referenzkraftsensors aufweist. Die Differenz der Widerstände zwischen den Belastungs- und Entlastungskräften ist durch eine bis dato fehlende Temperaturkompensation der Widerstände geschuldet.

4.2 SPRUNGHAFTE EINLEITUNG EINER BELASTUNG

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Unterlegscheibe mit einer sprunghaften Druckkrafteinleitung belastet. Diese Belastungseinleitung kommt dem im Anwendungsfall der Unterlegscheibe auftretenden Anzug durch einen Drehmomentenschlüssel nahe. Der Kraftverlauf sowohl des Messsystems der Scheibe als auch des Referenzaufnehmers ist in Abbildung 10 zu erkennen.

Bei dieser Versuchsreihe wurde die Unterlegscheibe zuerst mit einer Vorspannkraft von 25 kN belastet. Anschließend wurde mit einer steilen Rampe die Kraft auf 150 kN erhöht. Diese Kraft wurde für einen kurzen Zeitraum gehalten und anschließend wurde ebenfalls durch eine steile Rampe wieder die Vorspannkraft angefahren. Wie schon bei der stufenweise eingeleiteten Belastung zeigte sich, dass die Erfassung der Schraubenkräfte durch das Messsystem auch bei einer sprunghaften Aufbringung der Kraft zu einer Korrelation zwischen der Referenzkraft und dem Sensorsystem führt. Der Versatz des Messsignals des Schichtsystems der Vorspannkraft vor und nach der sprunghaften Belastung lässt sich erneut durch die fehlende Temperaturkompensation begründen.

4.3 KOMPENSATION DER TEMPERATURBEDINGTEN WIDERSTANDSÄNDERUNGEN

Um die Widerstandsänderung infolge der Umgebungstemperatur kompensieren zu können wurden zwei Maßnahmen zur Temperaturmessung realisiert. Zum Einen wurde auf dem Transponder ein digitaler Temperatursensor integriert. Dieser Sensor misst die Temperaturänderung unmittelbar oberhalb der sensorischen Unterscheibe. Zum Anderen zeigte sich im Verlauf des Projektes, dass eine unbelastete Sensorfläche als Kompensationswiderstand verwendet werden kann. Hierzu werden die Eingangswiderstandskennlinien der Sensorflächen, wie in der folgenden Abbildung 11 zu sehen, zugrunde gelegt.

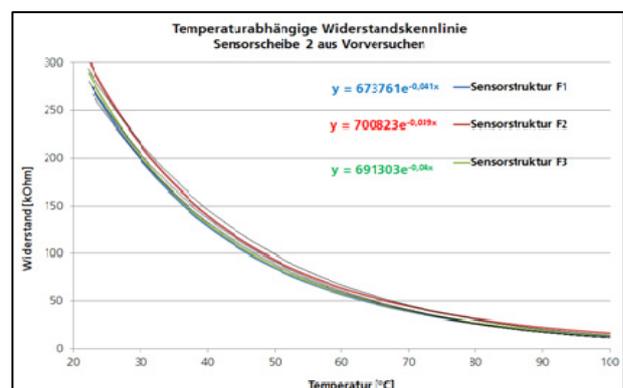


Abbildung 11. Eingangswiderstandskennlinien der Sensorflächen

Mit Hilfe der Eingangswiderstandskennlinien der einzelnen Sensorflächen lässt sich durch eine unbelastete Fläche die Temperatur berechnen und kann für die Berechnung der Widerstände infolge einer Belastung der

zwei weiteren Sensorflächen verwendet werden. Der Signalverlauf der drei Sensorflächen ist in Abbildung 12 zu sehen.

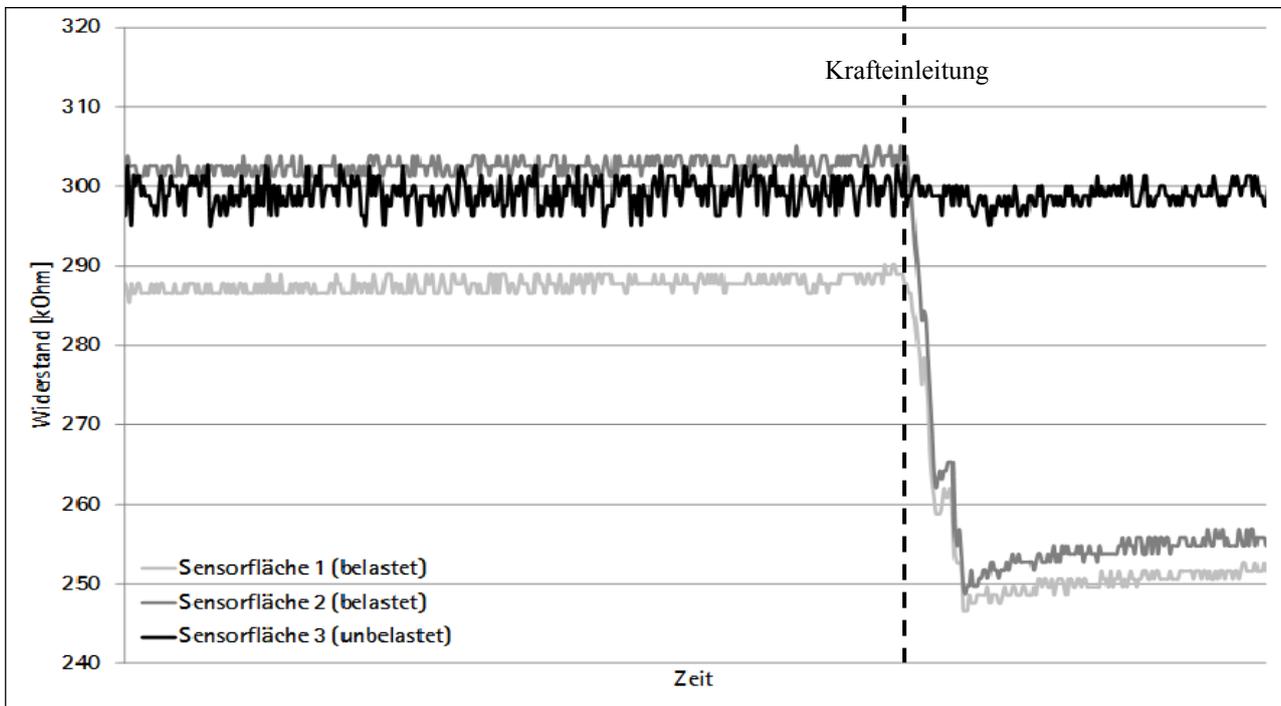


Abbildung 12. Kraftverlauf der Unterlegscheibe mit einer unbelasteten Sensorfläche zur Temperaturkompensation

4.4 SOFTWARE ZUR ERFASSUNG DER KRAFTSIGNALLE

Im Rahmen des Projektes wurde durch die Firma Microsensys GmbH eine Verarbeitungssoftware zur Messung der Klemmkraft entwickelt. Innerhalb der Software können die einzelnen Sensorflächen sowie der Temperatursensor separat ausgewählt werden. Desweiteren lässt sich die Abtastrate der Messsignale mit bis zu 5 Hz stufenlos einstellen. Die Software ist in Abbildung 13 dargestellt.

Die Softwareentwicklung soll für den späteren Anwendungsfall der Unterlegscheibe neben dem Auslesen der Klemmkraft der Schraubverbindung durch die inte-

grierte RFID-Technologie auch das Hinterlegen von Daten weiterentwickelt werden. Zu diesen Daten zählen zum Beispiel die benötigte Klemmkraft der Schraubverbindung, die zuletzt eingestellte Kraft, der letzte Überprüfungstermin oder auch der letzte Prüfer. Somit lässt sich zurückverfolgen inwieweit die Überprüfung kritischer Schraubverbindung erfolgt ist und welche Kraftänderung sich seit der letzten Überprüfung ergeben haben. Hierdurch wird es ebenfalls ermöglicht die Überprüfungsperioden durch Langzeitstudien über das Verhalten einzelner Schraubverbindungen zu optimieren und infolgedessen den Aufwand der Überprüfung sicherheitsrelevanter Verbindungen zu minimieren.

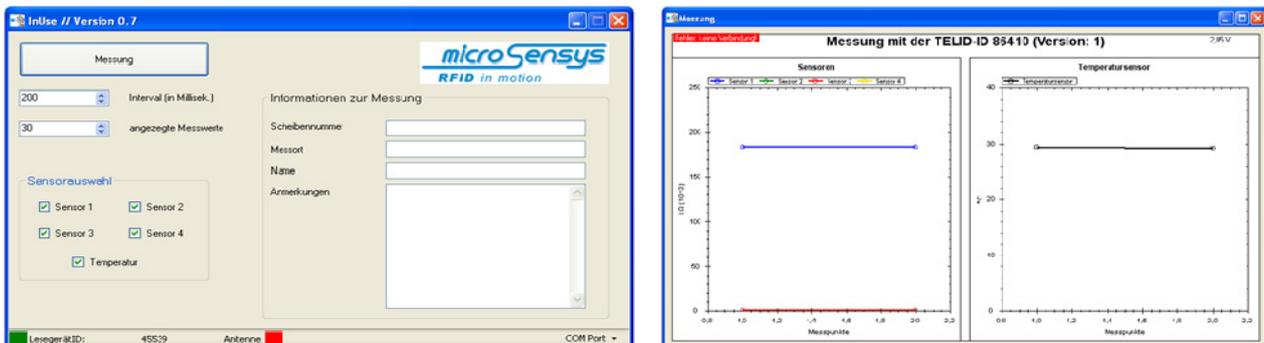


Abbildung 13. Oberfläche (links) und Ausgabediagramm (rechts) der entwickelten Verarbeitungssoftware

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen des durch die AiF geförderten Projektes „InUse – intelligente Unterlegscheibe zur Messung der Kräfte in Schraubverbindungen“ konnten mehrere funktionsfähige Prototypen aufgebaut und erfolgreich getestet werden. Der Aufbau gliedert sich in die Bauteile Ober- und Unterscheibe, das Schichtsystem, den RFID-Transponder und den leitfähigen Verbindungsklebstoff sowie die Verdrehesicherung durch Passstifte. Die entwickelten Prototypen realisieren die berührungslose Datenübermittlung der realen Klemmkräfte innerhalb von Schraubverbindungen und stellen somit eine sicherheitsrelevante Sensorik für kritische Schraubenanwendungen dar.

Um eine Marktreife für die intelligente Unterlegscheibe zu erzielen ist vor allem der Automatisierungsgrad der Fertigung zu erhöhen und zu optimieren, wodurch sich die Produktionskosten wesentlich verringern lassen. Da bislang nur prototypische Unterlegscheiben realisiert wurden sind die Herstellungskosten zum momentanen Zeitpunkt nur bedingt kalkulierbar. Desweiteren ist die Weiterentwicklung der Verarbeitungssoftware noch abzuschließen, um die erwähnte Datenhinterlegung zu realisieren. Als weiterer Optimierungspunkt ist die Datenübertragungsreichweite des RFID-Transponders zu nennen, welche durch die Verwendung von UHF-Transpondern möglicherweise deutlich verbessert werden könnte.

6 DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei der AiF für die Förderung dieses ZIM-Projektes sowie bei meinen Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit bedanken. Weiterer Dank gilt Prof. Overmeyer sowie meinen Kollegen für ihre Unterstützung.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- [Ov12] Overmeyer, L.; von Daacke, S. (2012): Vortrag: Sputtered Strain Gauges with Integrated Force Measurement and Contactless Communication, STC-E CIRP. Paris
- [vDa11] von Daacke, S. (2011): InUse – Ein Bauteil wird intelligent, Phi – Produktionstechnik Hannover informiert 12, Nr. 2, S. 16-17 - ISSN 1616-2757
- [Pol96] Poll, G. (1996): Schraubenberechnung, Institut für Maschinenelemente, Konstruktionstechnik und Tribologie der Leibniz Universität Hannover
- [FM13] Fraunhofer Magazin >weiter.vorn<: Zeitschrift für Forschung, Technik und Innovation, 3/13 (2013)

Dipl.-Ing. Stephan von Daacke, Research Assistant at the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.

Stephan von Daacke was born 1982 in Hannover., Germany. Between 2003 and 2010 he studied mechanical engineering at the Leibniz University Hannover.

Address: Institute of Transport und Automation Technology, Leibniz University Hannover, An der Universität 2, 30823 Garbsen, Germany,
Phone: +49 511 762-18161, Fax: +49 511 762-4007,
E-Mail: stephan.vondaacke@ita.uni-hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer, Head of the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.

Ludger Overmeyer was born 1964 in Recke, Germany. Between 1984 and 1991 he studied Electrical Engineering at the University Hannover. 1996 he finished his doctorate in mechanical engineering at the University Hannover. From 1997 to 2001 he worked as project manager, division manager and head of research and development at Mühlbauer AG in Roding. Since 2001 Ludger Overmeyer is Professor at the Institute of Transport and Automation Technology of Leibniz University Hannover.

Address: Institute of Transport und Automation Technology, Leibniz University Hannover, An der Universität 2, 30823 Garbsen, Germany,
Phone: +49 511 762-3524, Fax: +49 511 762-4007,
E-Mail: ludger.overmeyer@ita.uni-hannover.de