

# IEEE Workshop Industrielle Messtechnik

## Grußwort

Wir freuen uns, Sie zum IEEE Workshop an der im Jahr 2009 neu gegründeten Hochschule Ruhr West begrüßen zu dürfen. Dieser Workshop wird gemeinsam vom Instrumentation and Measurement Chapter der IEEE Germany Section und der Hochschule Ruhr West organisiert. Er hat den Schwerpunkt „Industrielle Messtechnik“ und findet nun zum zweiten Mal in Mülheim an der Ruhr statt.

Wir knüpfen mit diesem Workshop an die sehr erfolgreiche Veranstaltung zum Thema „Medizinische Messsysteme“ im November 2010 an und wollen diese zu einer Reihe weiterentwickeln, die jeweils abwechselnd medizinische und industrielle Messtechnik als Schwerpunkt ausweist.

Diese Veranstaltungen bietet eine Plattform für den Wissensaustausch im Fachgebiet Mess- und Sensortechnik zwischen Industrie und Wissenschaft und deren Zusammenarbeit mit der Hochschule Ruhr West vertiefen.

Begleitend veröffentlichen wir dieses „Abstract Book“, um allen Teilnehmenden die Möglichkeit zu bieten, auch später noch Kontakt zu den Vortragenden aufzunehmen.

Wir danken allen Referentinnen und Referenten und Beteiligten für ihre Unterstützung und freuen uns auf rege Diskussionen.

Prof. Dr. Olfa Kanoun  
Chair of the IM Chapter IEEE Section Germany

Dr. Heike Wulfert  
Forschung und Transfer an der HRW

Prof. Dr.-Ing. Jörg Himmel  
Vizepräsident  
Forschung und Transfer an der HRW



| Titel der Präsentation  | Name   | Institution  | Seite |
|---|--|--|-------|
| Begrüßung durch den Präsidenten und den Institutsleiter<br>Mess- und Sensortechnik  | Prof. Dr. Eberhard Menzel<br>und Prof. Dr. Jörg Himmel | Hochschule Ruhr West,<br>Mülheim an der Ruhr                   |       |
| Entwicklung bei Dehnungsmessstreifen für den Messwert-<br>aufnehmerbau  | Dipl.-Ing. Udo Hofbauer                                | Vishay Measurements<br>Group GmbH,<br>Heilbronn                | 6     |
| Pneumatic, Noncontact distance/thickkness measurement<br>gauge  | Dr.-Ing. Vladimir Kuznetsov                            | Quality for Engineering-<br>Q4E, Utrecht                       | 7     |
| Hochfrequente Messverfahren zur Bestimmung der<br>Materialfeuchte   | Prof. Dr. Christof Hübner                              | Hochschule Mannheim  | 9     |
| Einfluss der Permeabilität bei Induktiven Näherungs-<br>schaltern   | Dr.-Ing. Markus Tahedl                                 | ifm electronic gmbh<br>Tettngang                               | 10    |
| Analytische Berechnung der absoluten Impedanz einzelner<br>Spulenwindungen in Wirbelstromsensoren.                                  | Dr.-Ing. Uwe Tröltzsch                                 | Technische Universität<br>Chemnitz                             | 12    |
| Kontinuierliche Erkennung von Längsrissen in warm-<br>gewalzten Rundstahl   | Dr.-Ing. Thomas Daube/<br>Tino Morgenstern, M.Sc.      | SMS Meer GmbH/<br>Hochschule Ruhr West,<br>Mülheim an der Ruhr | 15    |
| Laserinduzierte Plasmaspektroskopie zur schnellen,<br>berührungsfreien Elementanalyse von Oberflächen                               | Prof. Dr. Georg Ankerhold                              | RheinAhrCampus,<br>FH Koblenz                                  | 16    |
| Spektroskopische Online-Prozesskontrolle bei der<br>Mikrostrukturierung dünner ITO-Schichten  | Christian Beresko, M.Sc.                               | RheinAhrCampus,<br>FH Koblenz                                  | 17    |
| Berührungslose Temperaturmesstechnik  | Dipl.-Ing. Manfred Hayk                                | LumaSense Technologies<br>Frankfurt am Main                    | 18    |
| Multi Camera Network For People Recognition at Air-<br>ports/Multi-Kamera-Netzwerk zur Wiedererkennung von<br>Personen an Flughäfen | Matthias Grimm, M.Sc.                                  | Hochschule Ruhr West,<br>Bottrop                               | 19    |
| Fast People Recognition with High Resolute Cameras at<br>Airports   | Dipl.-Ing. Sebastian Hommel                            | Hochschule Ruhr West,<br>Bottrop                               | 20    |
| Bildgebende Systeme in der Sicherheitstechnik und Material-<br>analyse  | Dr. Sebastian Hantscher                                | Fraunhofer FHR<br>Wachtberg                                    | 21    |
| Time-Domain-Reflektometrie zur orts aufgelösten<br>Erfassung von Materialeigenschaften  | Dennis Trebbels, M.Sc.                                 | HSG-IMIT, Villingen-<br>Schwenningen                           | 22    |
| Visualisierung der Netzfrequenz zur Unterstützung im<br>Netzwiederaufbau  | Prof. Dr.-Ing. Jens Haubrock                           | Fachhochschule<br>Bielefeld                                    | 23    |

## Entwicklungen bei Dehnungsmessstreifen für den Messwertaufnehmerbau

Dipl.-Ing. Udo Hofbauer

Vishay Measurement + Group GmbH  
Vishay Precision Group  
udo.hofbauer@vishaypg.com

Der Einsatz hochohmiger Dehnungsmessstreifen beim Bau von Messwertaufnehmern ermöglicht es, bis jetzt bestehende Grenzen für bestimmte Parameter zu überschreiten und bestehende technische Möglichkeiten vielseitiger auszunutzen.

Es werden heute große Stückzahlen von Messwertaufnehmern in jeglicher Bauform und Größe gefertigt. Bei den dabei als Signalquelle hauptsächlich eingesetzten Widerstands-Dehnungsmessstreifen (DMS) wäre es häufig wünschenswert auf kleinere Messgitterlängen, als die in der Regel verfügbaren, zurückgreifen zu können. Da die Messgitterlänge die örtliche Empfindlichkeit des Aufnehmers beeinflusst, liegt es auf der Hand, Messgitter mit möglichst kurzer Länge zu wählen. Je kürzer das Messgitter, desto höher die Empfindlichkeit, also das Ausgangssignal des Messwertaufnehmers, weil damit die Spitzendehnung im Geberkörper in fast optimaler Weise erfasst wird.

Die hochohmigen Miniatur-DMS der Firma Vishay Precision Group lassen es wegen ihrer miniaturisierten Bauformen zu, den Dehnungsgradienten an seiner höchsten Stelle zu erfassen und damit die höchst mögliche Dehnung zu messen. Dies hat den Vorteil eines größeren Ausgangssignals als die bisher verwendeten üblichen DMS es zulassen. Durch die Miniatur-Bauform der DMS lassen sich bisherige bekannte Aufnehmerformen in gewissen Grenzen weiter miniaturisieren. Es ist z. B. denkbar, ringförmige Kraftaufnehmer mit einem Durchmesser von ca. 4 mm zu bauen.

Fortschrittliche Produktionsmethoden gestatten es, DMS mit sehr kleinen Gitterlängen gezielt mit besonders hohen Widerstandswerten auszustatten. Widerstandswerte in Größenordnungen von  $1\text{k}\Omega$  bis  $10\text{k}\Omega$  sind ohne weiteres realisierbar. Damit können die DMS mit wesentlich höheren Speisespannungen versorgt werden, und die Stromaufnahme bleibt trotzdem sehr gering. Damit wird günstigerweise eine weitere Erhöhung des Ausgangssignals für die gegebene Messgröße ermöglicht. Zusätzlich wird die Gefahr einer Eigenerwärmung der DMS aufgrund zu hohen Stromflusses drastisch reduziert.

Bei batteriebetriebenen Messsystemen garantieren die hohen Widerstandswerte der Miniatur-DMS wegen der extrem niedrigen Stromaufnahme außerdem eine um viele Größenordnungen verbesserte Batterielebensdauer.

Der Vortrag soll dazu beitragen die hier benannten Einflussparameter beim Bau und der Anwendung von DMS-basierten Messwertaufnehmern zu beleuchten und mit ersten Bildern aus der Praxis zu dokumentieren.

## Pneumatic non-contact distance and thickness measurement gauge

Dr. Vladimir Kuznetsov

Quality for Engineering (Q4E)  
info@q4e.eu

The measurement technology proposed in this work is based on pneumatic interaction of a gas (air) jet with the specimen surface. This interaction is sensed by electronics in the sensor box, digitized by electronics in the controller and computed into an absolute thickness- or distance value.

In a minimum configuration, a tool consists of a single sensor nozzle, a sensor box, a controller and a pressure regulator (figure 1). In the single nozzle configuration the specimen is located on the reference plate, which in turn is mounted at a specified, fixed distance from the nozzle (figure 2). Sensor nozzles measure between 100 $\mu\text{m}$  and 1500 $\mu\text{m}$  distance to the specimen. The measurement accuracy is  $\pm 2\mu\text{m}$  with a reproducibility of  $\pm 1\mu\text{m}$ . It should be noted that in this configuration the specimen can be of arbitrary size and height; as long as the measurement distance stays within the measurement range of the sensor (100 – 1500 $\mu\text{m}$ ), any specimen height can be inferred.

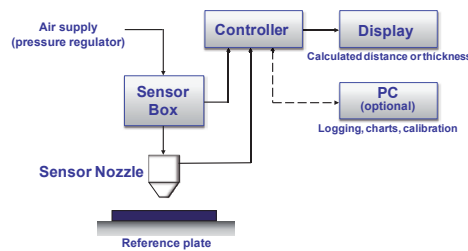


Figure 1. Schematic ThiMeas tool configuration

In another configuration, two sensors can be combined to measure the thickness of a specimen in between the sensors. This way, the specimen can pass through the gap without any contact to the measurement system. The specimen can “float” anywhere inside the gap between the two nozzles as long as it stays within the two respective measuring ranges (figure 3).

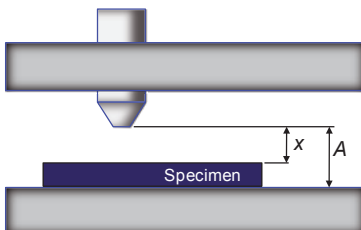


Figure 2. Single nozzle configuration.  $A$  is a specified, fixed distance and  $x$  is the measured distance. The specimen thickness is calculated as  $D=A-x$ .

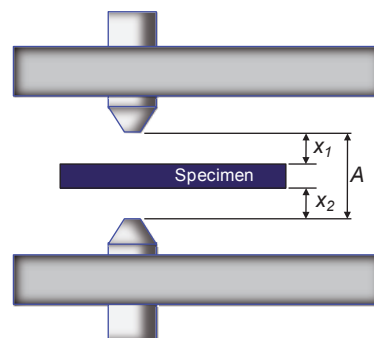


Figure 3. Dual nozzle configuration ThiMeas 2-1500.  $A$  is a specified, fixed distance,  $x_1$  and  $x_2$  are measured distances. The specimen thickness is calculated as  $D=A-x_1-x_2$ .

In contrast to capacitance, laser and other thickness/distance measurement techniques, the ThiMeas technique

does not depend on thermal, electrical or optical properties of the specimen surface or bulk. Hence, temperature of the specimen (within limits), light reflectivity and absorption, electrical conductivity, doping type or doping levels do not effect the measurement. Likewise, mechanical properties such as roughness, crystallinity, texture or softness of the specimen do not play any role either. The exerted pressure of the ThiMeas air jet on the specimen surface is ex-tremely low so that it enables measurement of soft objects and liquid levels. Viscous films on carriers can be readily assessed. Since the amount of airflow used is so low, the tool operates very quietly and at very low operational costs. The sensor can be installed in any orientation and is insensitive to vibrations and dusty or smoky environments. Measured objects can move with a speed of up to 10 m/s. Application examples are thickness measurement of sheet materials (paper, foil, metal, etc.), soft material specimens, viscous and sticky films. The solution can be also applied for liquid level control, precise positioning and alignment of equipment parts.

## Hochfrequente Messverfahren zur Bestimmung der Materialfeuchte

*Prof. Dr. Christof Hübner*

Hochschule Mannheim  
c.huebner@hs-mannheim.de

Die Bestimmung des Feuchtegehalts ist für viele industrielle Anwendungen, wie z. B. der Trocknung von Materialien oder der Lebensmittelherstellung von zentraler Bedeutung. Eine zu starke Trocknung kann die Qualität eines Produkts beeinträchtigen genauso wie eine zu hohe Restfeuchte die Haltbarkeit herabsetzen oder die weitere Verarbeitung erschweren kann.

Die Materialfeuchtemesstechnik hat sich deshalb als eigenständiges technisch-wissenschaftliches Tätigkeitsfeld entwickelt, deren Anwendungen inzwischen von der Bautechnik, Lebensmittelkunde, Landwirtschaft, Meteorologie bis hin zur Ölförderung, Papierherstellung oder Trocknungsprozessen in der chemischen Industrie reichen.

So vielfältig wie der Begriff der Materialfeuchte sind auch die anzuwendenden Messverfahren. Es gibt kein universelles Messverfahren, das zugleich alle Anforderungen abdecken kann. Hochfrequente Messverfahren sind besonders für die Online-Bestimmung der Materialfeuchte geeignet. Als physikalischen Messeffekt nutzt man dabei die starke Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Feldern und Wassermolekülen. Aufgrund der meist niedrigen Dielektrizitätszahl (DK) der Feststoffe (3-10) und Luft (1) gegenüber der hohen DK von Wasser (um 80) ist die nach außen wirkende effektive DK eines Materials überwiegend durch den Wassergehalt bestimmt. Zur Erfassung der dielektrischen Eigenschaften von Materialien gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Messverfahren, je nach Materialart, Frequenzbereich, Genauigkeitsanforderungen und weiteren Randbedingungen. Die Messung beruht auf der Wechselwirkung zwischen dem zu untersuchenden Material und einem elektromagnetischen Feld. Eine Klassifizierung der Messverfahren ergibt sich durch die Art und Weise, wie das elektromagnetische Feld erzeugt und beobachtet wird.

Dieser Vortrag konzentriert sich auf Frequenzbereichsmethoden, bei denen das elektromagnetische Feld eine sinusförmige Zeitabhängigkeit aufweist. Als Sensorelemente verwendet man bei niedrigen Frequenzen Kondensatoranordnungen wie Parallel- und Streufeldkondensatoren, deren Elektroden z. B. als Platten, Rohre, Becher, Walzen oder Kämme und Nadeln ausgeformt sind. Bei höheren Frequenzen, d.h., wenn die geometrischen Abmessungen der Elektroden nicht mehr klein gegen die Wellenlänge der angelegten Messspannung sind, erfolgt eine Beschreibung durch Wellen. Als Wellenleiter eignen sich Zweidraht- und Lecherleitungen, Koaxialleitungen oder Hohlleiter. Neben den auf Wellenleitern beruhenden Verfahren zur DK-Bestimmung gibt es Methoden, die auf der freien Ausbreitung elektromagnetischer Wellen basieren. Dabei wird das zu untersuchende Material beispielsweise in den Übertragungsweg zwischen einer Sende- und Empfangsantenne eingebracht und aus der Phasen/Amplitudenänderung auf die DK geschlossen. Aus der Vielzahl der hochfrequenten Materialfeuchtemessverfahren werden in diesem Vortrag ausgewählte Methoden, Sensorelemente und deren industrielle Anwendungen vorgestellt.

## Die Permeabilität leitfähiger Werkstoffe in der Wirbelstromsensorik

Dr.-Ing. Markus Tahedl

ifm Electronic GmbH  
markus.tahedl@ifm.com

### Kurzfassung

Wirbelstromsensoren werten den Einfluss leitfähiger Materialien auf ein magnetisches Wechselfeld aus. Dabei überlagern sich die Auswirkungen der Permeabilität eines eingebrachten Gegenstands und die Rückwirkung eines Wirbelstroms im Gegenstand. Die Auswirkungen der Effekte lassen sich in den Messdaten nicht ohne Weiteres trennen. Die Bestimmung der frequenzabhängigen Permeabilität leitfähiger Materialien stellt daher eine Herausforderung für Wirbelstromsensoren dar.

### Einleitung

Mit Wirbelstromsensoren werden leitfähige Materialien berührungslos erfasst, untersucht oder deren Eigenschaften überwacht. Dabei wird die Veränderung eines magnetischen Wechselfeldes durch einen eingebrachten Gegenstand ausgewertet. Im Bereich der Industrieautomatisierung sind hierbei induktive Näherungsschalter von Bedeutung.

Induktive Näherungsschalter werden zur berührungslosen Erfassung metallischer Gegenstände in einem definierten Abstand, dem Schaltabstand, eingesetzt. Dabei spielen in der Anwendung vor allem die Einfachheit und Zuverlässigkeit eines Näherungsschalters eine bedeutende Rolle.

Da das Material eines zu detektierenden Gegenstands in der Anwendung häufig nicht genau bekannt ist, soll der Schaltabstand in dem ein Gegenstand erfasst wird idealerweise materialunabhängig sein. Im Gegensatz hierzu gibt es auch Anwendungsfälle in denen nur ein bestimmtes Material detektiert werden soll.

### Wirkungsweise induktiver Näherungsschalter

Zur Erfassung metallischer Gegenstände wird mit Hilfe einer Spule ein magnetisches Wechselfeld erzeugt und der Einfluss des Gegenstands auf das resultierende Magnetfeld durch die Beobachtung der Spulenimpedanz betrachtet. Die relevanten Materialeigenschaften sind hierbei die Permeabilitätszahl  $\mu_r$  und die Leitfähigkeit  $\sigma$ , wobei die Materialparameter sowie deren Einfluss auf die Spulenimpedanz zusätzlich frequenzabhängig sind. Anschaulich gesprochen beeinflusst die Permeabilitätszahl direkt die magnetische Flussdichte. Die Leitfähigkeit hingegen beeinflusst das resultierende Feld indirekt. Im zu erfassenden Gegenstand hat die Leitfähigkeit einen direkten Einfluss auf den entstehenden Wirbelstrom, wodurch ein dem Erregerfeld entgegengesetztes Sekundärfeld entsteht. Messtechnisch wird der Einfluss eines metallischen Gegenstands auf das resultierende Feld als Änderung der Spulenimpedanz erfasst.

Aus feldtheoretischen Betrachtungen kann die Impedanz oder die Impedanzänderung einer Leiterschleife aus dem magnetischen Vektorpotential berechnet werden [1]. Bei der Betrachtung einer Leiterschleife mit Radius  $r_0$  im Abstand  $a$  zu einer leitfähigen Halbebene wird in [2] der auch aus [3] bekannte Zusammenhang für das magnetische Vektorpotential

$$A_{1\varphi}(r, z) = \frac{\mu_0 I_0}{2} \int_0^{\frac{ka}{r_0}} e^{-\frac{kr}{r_0}} J_1(k) J_1\left(\frac{kr}{r_0}\right) \cdot \left( e^{-\frac{k(z-a)}{r_0}} + \Gamma(k) \cdot e^{+\frac{k(z-a)}{r_0}} \right) dk$$

mit

$$\Gamma(k) = \frac{k\mu_r - \sqrt{k^2 + j\mu_0\mu_r\sigma\omega r_0^2}}{k\mu_r + \sqrt{k^2 + j\mu_0\mu_r\sigma\omega r_0^2}}$$

verwendet um die absolute Impedanz zu berechnen. Hierbei treten die Materialparameter  $\mu_r$  und  $\sigma$  lediglich im Koeffizienten  $\Gamma(k)$  auf. Auffällig ist, dass die Frequenz  $\omega$  und die Leitfähigkeit ausschließlich im Produkt mit der Permeabilität auftreten:  $\mu_0\mu_r\sigma\omega$ . Damit wirkt sich eine Leitfähigkeitsänderung wie eine Frequenzänderung aus. Die Permeabilitätszahl hingegen steht zusätzlich in den Summanden vor den Wurzeln wodurch sich ein



nicht-trivialer Zusammenhang ergibt. Die Einflüsse der einzelnen Materialparameter lassen sich nicht ohne Weiteres trennen. Außerdem ist die Permeabilitätszahl im Allgemeinen frequenzabhängig.

#### Empirischer Ansatz

In der Praxis spielen empirische Untersuchungen der Effekte eine große Rolle. Das liegt auch daran, dass die frequenzabhängige Permeabilität nicht allgemeingültig bekannt ist. Die Bestimmung der Materialparameter ist oft nur unter bestimmten Bedingungen im verwendeten Modell gültig und spiegelt nicht die tatsächlichen Materialeigenschaften wieder. Empirisch ermittelte Lösungen zeigen allerdings, dass unter bestimmten Voraussetzungen und in gewissen Grenzen durchaus induktive Näherungsschalter möglich sind deren Schaltabstand materialunabhängig oder materialselektiv ist.

Im praktischen Einsatz kann bisher auf Näherungen zurückgegriffen werden. Der Vergleich von Messungen und numerischen Simulationen zeigt, dass mit steigender Permeabilitätszahl  $\mu_r$  der Einfluss einer Permeabilitätsänderung deutlich abnimmt. Man kann für viele aktuelle Anwendungsfälle davon ausgehen, dass sich ab einer Permeabilitätszahl von  $\mu_r > 100..200$  kein wesentlicher Einfluss durch eine weiter steigende Permeabilität ergibt. Weiter zeigt sich, dass für große Frequenzen sowohl der Einfluss der Leitfähigkeit als auch der Einfluss der Permeabilität abnimmt.

Typisch verwendete Materialien lassen sich in zwei Materialgruppen einteilen. Entweder kommen ferromagnetische Stähle, die bei den verwendeten Frequenzen und im relevanten Temperaturbereiche Permeabilitätszahlen von  $\mu_r > 100$  zum Einsatz oder es werden Buntmetalle mit Permeabilitätszahlen von  $\sim 1$  verwendet. Darunter fallen Metalle wie Edelstähle, Aluminium, Messing oder Kupfer.

#### Zukünftige Anforderungen

Mit der Anforderung immer größere Erfassungsabstände zu ermöglichen, ergibt sich zwangsläufig die Anforderung nach höheren Empfindlichkeiten. Um den damit auch steigenden Stabilitätsanforderungen gerecht zu werden, müssen immer kleinere Signaländerungen sicher ausgewertet und bisher vernachlässigbare Effekte berücksichtigt werden. Zusätzlich ergibt sich die Notwendigkeit mehr Information über den Gegenstand im Erfassungsbereich zu bestimmen um universell einsetzbare Systeme zu ermöglichen. Damit wird die Kenntnis und Auswertbarkeit der Materialparameter immer wichtiger. Im Speziellen sind auch die Frequenzbereiche interessant in denen die Permeabilitätszahl Werte im Bereich von 1...100 annimmt und kleine Permeabilitätsunterschiede einen relevanten Einfluss auf die Spulenimpedanz haben. Eine Unterscheidung der beiden Materialgruppen permeabler Eisenmetalle und nicht-permeabler Buntmetalle wird nicht mehr sinnvoll sein.

Um auch zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden, und eine sichere Funktionsweise garantieren zu können, ist eine allgemeingültige Parameterbestimmung sowie ein theoretischer Ansatz zur Bestimmung des Abstandes bzw. der Materialparameter eines metallischen Gegenstands im magnetischen Wechselfeld aus dem Messdaten einer Spulenimpedanz notwendig.

[1] C. V. Dodd and W. E. Deeds: Analytical Solution to Eddy-Current Probe-Coil Problems. In: Journal of Applied Physics, vol. 39, No. 6, May 1968, p. 2829-2838

[2] U. Tröltzsch, F. Wendler, O. Kanoun: Calculation of single turn coil impedance in face of an aluminium plate from magnetic vector potential, ISBN/ISSN: 9783000293634 Fourth International Workshop on Impedance Spectroscopy (IWIS), 28-30 September 2011, Chemnitz

[3] Y. Wang: Trennung der Einflussgrößen von Wirbelstromsensoren durch Signalverarbeitung mit Hilfe von Felduntersuchungen und Modellierung, ISBN: 3183557088 Fortschritt-Berichte VDI Reihe 8 Nr. 557, 1996

## Analytische Berechnung der absoluten Impedanz einzelner Spulenwindungen in Wirbelstromsensoren

*Dr.-Ing. U. Tröltzsch, Dipl.-Ing. F. Wendler, Prof. Dr.-Ing. O. Kanoun*

Technische Universität Chemnitz  
Professur für Mess- und Sensortechnik  
uwe.troeltsch@etit.tu-chemnitz.de

Zusammenfassung – Die Berechnung der absoluten Impedanz von Wirbelstromsensoren ist bisher noch nicht zufriedenstellend gelöst. Analytische Modelle erlauben meist nur die Berechnung der Impedanzänderung aufgrund eines Target-Materials, nicht aber die Berechnung der absoluten Impedanz. Zur Berechnung der absoluten Impedanz kommen meist aufwendige Finite-Elemente-Methoden zum Einsatz. In dieser Arbeit wird ein analytisches Impedanzmodell für die Berechnung der absoluten Impedanz einer Spulenwindung vor einem permeablen, leitfähigen Material genutzt. Das verwendete Impedanzmodell erlaubt eine Reduzierung des Kalibrationsaufwandes für Wirbelstromsensoren und eine simultane Messung von Abstand und Leitfähigkeit.

### Einleitung

Wirbelstromsensoren werden häufig für die Rissprüfung, die Distanzmessung und die Messung von Materialeigenschaften wie Leitfähigkeit und die Permeabilität angewendet. Wegen ihrer Robustheit sind sie bevorzugte Sensoren für raue Umgebungen. Für das Verständnis der magnetischen Feldverteilung und der Impedanz der Sensoren wurden Feldsimulationen [2], [3] und Impedanzberechnungsmethoden [4, Seite 62] entwickelt. Die schnelle Berechnung der absoluten Impedanz von Wirbelstromsensoren ist jedoch bisher noch nicht zufriedenstellend gelöst. Die absolute Impedanz wird meist mit Hilfe numerischer Methoden bestimmt [5]. Analytische Lösungen werden nur verwendet, um Impedanzänderungen durch die Anwesenheit eines Materials zu berechnen [1]. Dieser Beitrag zeigt einen Ansatz für die analytische Berechnung der absoluten Impedanz einer Spulenwindung und vergleicht die berechnete Impedanz mit Messdaten. Dabei werden auch störende Effekte aufgrund des Spulendrahts und der Anschlussleitung berücksichtigt.

### Modell

Das Ziel der Modellierung ist die Analyse der Abhängigkeit der Spulenimpedanz vom Abstand zwischen der Spule und der Metallplatte und deren Materialeigenschaften. Die Impedanz wird aus dem magnetischen Vektorpotential  $A$  für die Geometrie in Abbildung 1 anhand von Laplace- und Poisson-Gleichung berechnet.

$$\nabla \bar{A}_1 = 0, \nabla \bar{A}_2 = \mu \sigma \frac{\partial \bar{A}_2}{\partial t} \quad (1)$$

Es ergibt sich folgende Lösung für das magnetische Vektorpotential an der Position der Spule in radialer Richtung [4, Formel 5.14, Seite 62].

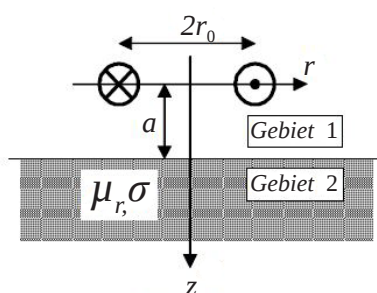


Abbildung 1. Geometrie

$$\underline{A}_{1\phi} = 1 / 2\mu_0 I_0 \int_0^{\infty} e^{-\frac{ka}{r_0}} J_1(k) J_1\left(\frac{kr}{r_0}\right) \cdot \left( e^{-\frac{k(|z|-a)}{r_0}} + \frac{k\mu_r - \sqrt{k^2 + jp^2}}{k\mu_r + \sqrt{k^2 + jp^2}} e^{+\frac{k(z-a)}{r_0}} \right) dk$$

mit  $p^2 = \mu_0 \mu_r \sigma \omega r_0^2$

(2)

Aus dem magnetischen Vektorpotential kann die Impedanz durch die Integration der magnetischen Flussdichte über den Querschnitt der Spulenwindung berechnet werden. Dazu wird das magnetische Vektorpotential auf der Leiteroberfläche des Spulendrahtes ausgewertet.

$$Z_{Modell} = j\omega \cdot 2\pi r_a \cdot \frac{1}{I_0} \underline{A}_{1\phi}(r = r_a, z = 0)$$
(3)

### Experimentelle Untersuchungen

Experimentelle Untersuchungen werden an einer Spule mit einer Windung mit einem Radius von  $r_0 = 2,5 \text{ cm}$  durchgeführt. Der Durchmesser des Spulendrahts beträgt  $d_{\text{draht}} = 1,75 \text{ mm}$ . Der Spulendraht besteht aus Kupfer mit einer Leitfähigkeit von  $\sigma_{\text{Cu}} = 56,2 \cdot 10^6 \text{ S/m}$ . Die Spule wird vor einer Aluminium-Platte mit einer Leitfähigkeit von  $\sigma_{\text{Al}} = 36,59 \cdot 10^6 \text{ S/m}$  platziert. Der Abstand zwischen Spule und Metallplatte wird variiert, die Impedanz wird für jede Distanz gemessen.

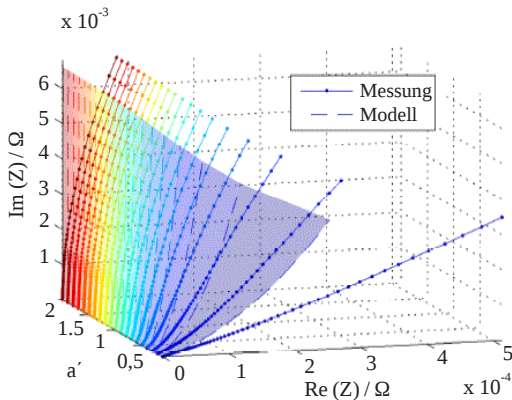


Abbildung 2. Modell und gemessene Impedanz für  $r_0 = 2,5 \text{ cm}$

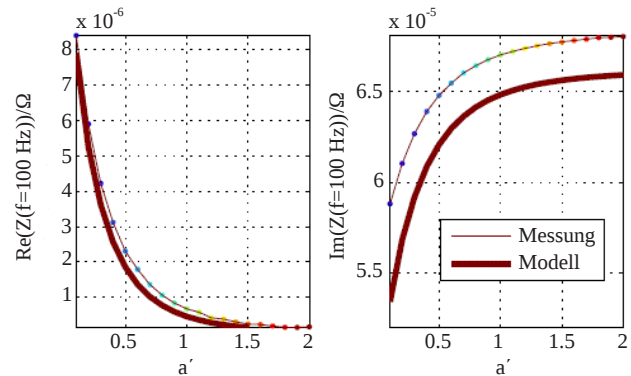


Abbildung 3. Modell und gemessene Impedanz für  $r_0 = 2,5 \text{ cm}$ -Windung bei 100Hz

Nur die äußere Impedanz der Spule durch das Magnetfeld ist für die Analyse der Materialeigenschaften und der Abstandsabhängigkeit relevant. Die gemessene Impedanz enthält zusätzlich Beiträge durch weitere Effekte wie die innere Impedanz des Spulendrahtes, die Impedanz der Anschlusskabel und einen seriellen Widerstand der Verbindung zwischen dem Kabel und dem Messgerät. Die gemessene Impedanz wird daher um diese parasitären Einflüsse korrigiert. Die korrigierte Impedanz kann nun in Abhängigkeit vom normierten Abstand  $a'$  betrachtet werden. Abbildung 2 und 3 zeigen den Vergleich zwischen Modell und Messung.

$$a' = \frac{a}{r_0}$$
(4)

Real- und Imaginärteil zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Modell. Der Realteil zeigt bei 100 Hz eine maximale relative Abweichung von etwa 5 %, der Imaginärteil zeigt eine maximale relative Abweichung von etwa 10 %. Gemessene Imaginärteile sind in der Regel zu hoch. Zu höheren Frequenzen steigt die Abweichung zwischen Modell und Messung. Die Ursache sind kapazitive Kopplungen im Messaufbau.

### Zusammenfassung

Die gezeigte Methode zur Berechnung der Impedanz einer Spulenwindung zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messungen. Die Berechnung der absoluten Impedanz ist vorteilhaft im Vergleich zu anderen analytischen Modellen, die für die Berechnung der relativen Impedanzen entwickelt wurden, da keine Messdaten benötigt werden, um die absolute Impedanz zu bestimmen. Im Vergleich zu numerischen Methoden erfordert die vorgestellte Methode deutlich weniger Rechenzeit. Das vorgestellte Modell kann für die Impedanzberechnung von Wirbelstromsensoren mit mehreren Windungen erweitert werden. In diesem Fall sind Gegeninduktivitäten und kapazitive Kopplungen zwischen mehreren Windungen zu berücksichtigen. Insgesamt kann mit dem vorgestellten Modell eine schnelle Berechnung des Verhaltens von Wirbelstromsensoren und damit die Entwicklung kalibrationsarmer Messverfahren erfolgen.

### Literatur

- [1] B.A. Auld and J.C. Moulder. Review of advances in quantitative eddy current nondestructive evaluation. *Journal of Non-destructive Evaluation*, 18(1):3–36, 1999.
- [2] David H. S. Cheng. The reflected impedance of a circular coil in the proximity of a semi-infinite medium. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 14(3):107–116, 1965.
- [3] C. V. Dodd and W. E. Deeds. Analytical solutions to eddy-current probecoil problems. *Journal of Applied Physics*, 39(6):2829–2838, 1968.
- [4] John A. Tegopoulos. *Eddy Currents in Linear Conducting Media (Studies in Electrical and Electronic Engineering)*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1985.
- [5] T. Theodoulidis. Developments in efficiently modelling eddy current testing of narrow cracks. *NDT and E International*, 43(7):591–598, 2010.

## Untersuchung des Einflusses von Längsrissen in Drähten auf die Impedanz eines Wirbelstromsensors

*Tino Morgenstern M.Sc., Dr. Thomas Daube, Dipl.-Ing. (FH) Jens Weidenmüller, Prof. Dr.-Ing. Jörg Himmel*

Hochschule Ruhr West,  
tino.morgenstern@hs-ruhrwest.de,  
SMS Meer GmbH  
Thomas.Daube@sms-meer.com

### Kurzfassung

Während des Warmwalzprozesses von runden Drähten können Längsrisse im Walzgut entstehen, welche zurzeit nur schwer zu detektieren sind. Der Grund hierfür sind die rauen Umgebungsbedingungen, wie zum Beispiel hohe Temperaturen des Walzgutes von über 900°C, Wasserdampf und Vibrationen. Wirbelstromsensoren werden in der industriellen Messtechnik in vielen Bereichen eingesetzt und sind durch ihre Einfachheit robust und zuverlässig. Somit hat dieses Sensorprinzip das Potential Längsrisse zu detektieren.

### Messprinzip

Das Messprinzip kann mit dem Transformatormodell beschrieben werden. Hierbei handelt es sich um einen Transformator mit Luftkopplung bei dem die Primärseite die Messspule und die Sekundärseite den Stab beschreibt. Die komplexe resultierende Impedanz nimmt folgende Form an.

$$Z_1 = R_1 + \frac{\omega^2 M^2 R_2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} + j\omega(L_1 - \frac{\omega^2 M^2 L_2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2})$$

Dieser Zusammenhang zeigt, dass die Impedanz  $Z_1$  von der Kopplung  $M$  und damit von der Lage des Stabes, seiner Querschnittsfläche und von der Kontur des Stabes abhängt. Die Kopplung  $M$  kann mit folgender Formel beschrieben werden.

$$M = \frac{\phi_{12}}{I_1} = \frac{\phi_{21}}{I_2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{C_2} \oint_{C_1} \frac{dl_1 dl_2}{\zeta_{12}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{C_2} dl_2 \oint_{C_1} \frac{r_1 \cos(\beta)}{\sqrt{z^2 + r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(\beta)}} d\beta$$

### Stand der Technik

Heute eingesetzte Wirbelstromsensoren sind bereits in der Lage Längsrisse zu detektieren. Die Detektion mit Umlaufspulen beschränkt sich jedoch auf Rissanfang und Rissende. Dieses Messverfahren hat den Nachteil, dass nicht zwischen zwei aufeinanderfolgenden kurzen Fehlern und einem langen Riss unterschieden werden kann. Rotierende Messsysteme sind in der Lage Längsrisse „kontinuierlich“ zu detektieren, bieten jedoch den Nachteil einer komplizierten Mechanik [2] und eignen sich dadurch nur bedingt für den Einsatz in Warmwalzanlagen.

### Lösungsansatz

An dieser Stelle soll ein Lösungsansatz vorgestellt werden, der eine kontinuierliche Risserkennung mit einer Umlaufspule ermöglicht. Bedingt durch den Skineneffekt verlaufen die Wirbelströme, in Abhängigkeit der Frequenz an der Oberfläche des Drahtes. Der Riss vergrößert, je nach Tiefe, den Weg des Stromes. Dieser Einfluss kann, mit Betrachtung des Transformatormodells, als Veränderung des ohmschen Anteils der Sekundärspule verstanden werden. Die Auswertung von Real- und Imaginärteil der Impedanz  $Z_1$  bieten somit die Möglichkeit für eine kontinuierliche Risserkennung.

Im Rahmen des Förderprojektes „Transfer NRW: FH-EXTRA“ soll die Eignung dieses Lösungsansatzes weiter untersucht werden. Des Weiteren gilt zu überprüfen, wie groß der Messeffekt ist, und ob eine Risserkennung im Prozess unter realen Bedingungen realisiert werden kann.

[1] Dipl.-Ing (FH) J. Weidenmüller: Impedance Model of Acentric Coil-Target Arrangements in Eddy Current Techniques Beitrag zum Kongress Sensor + Test 2011

[2] Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG Eddy-current method Application and basic funktion

## Laserinduzierte Plasmaspektroskopie zur schnellen, berührungsfreien Elementanalyse von Oberflächen

*Prof. Dr. Georg Ankerhold, Christian Beresko M.Sc.*

RheinAhrCampus Remagen,  
FH Koblenz  
ankerhold@rheinahrcampus.de

Die laserinduzierte Plasmaspektroskopie oder „Laser-Induced Breakdown Spectroscopy“ (LIBS) stellt eine schnelle, berührungslose, minimal zerstörende optische Messmethode zur Elementanalyse von festen, flüssigen oder gasförmigen Stoffen unter normalen Umgebungsbedingungen ohne besondere Probenvorbereitung dar. Wird ein gepulster Laser auf eine Probe fokussiert und liegt dabei die Laserintensität über einem bestimmten Grenzwert, verdampft Material – typischerweise im Nano- bis Mikrogrammbereich. Durch die weitere Lichtabsorption des energiereichen Laserpulses erhitzt sich die Mikrowolke auf über 10 000°C, und es entsteht in Folge ein Mikro-Plasma – ein gasförmiges Gemisch aus Ionen, Elektronen und angeregten neutralen Atomen – an der Probenoberfläche (Abb. 1). Die angeregten Atome und Ionen im Plasma strahlen ein charakteristisches optisches Spektrum („Fingerprint“-Emissionsspektrum) ab, das über eine schnelle spektroskopische Analyse nicht nur eine qualitative sondern auch je nach Auswerteverfahren eine quantitative Analyse der Elementzusammensetzung des untersuchten Materials erlaubt. Mit diesem Verfahren ist es im Prinzip möglich, mit einem Laserschuss alle Elemente des Periodensystems nachzuweisen, sofern das element-spezifische Emissionsspektrum bekannt ist.

Trotz dieser attraktiven Eigenschaften sind LIBS-Systeme in industriellen und medizintechnischen Bereichen bislang nur sehr begrenzt eingesetzt worden. Das liegt unter anderem daran, dass die verwendeten Kurzpulslaser großer Lichtleistung und kleiner Pulswiederholraten von einigen Hz mit der häufig notwendigen Wasserkühlung zu voluminös sind und in der Regel nur stationär betrieben werden können. Die intensiven Laserpulse lassen sich darüber hinaus nur über Spiegel und unflexible Linsensysteme auf die Probenoberfläche fokussieren, was eine mobile Anwendung beschränkt. Ein weiterer Nachteil hoher Laserpulsenergien ist das Auftreten zeitabhängiger großer elektrischer Felder im Mikro-Plasma, die zu Linienverbreiterungen und Linienverschiebungen führen können (Stark-Effekt) und damit häufig eine sichere Elementzuordnung der beobachteten Emissionslinien verhindern.

In einem von der Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation geförderten Projekt („Low-Power Fiber-LIBS“) wird ein kompaktes und transportables LIBS-System mit kleiner Laserpulsleistung entwickelt, bei dem alle optischen Signale über Lichtleitfasern sowohl vom Plasma-Anregungslaser zur Probenoberfläche als auch vom lichtemittierenden Plasma zum Analyse-Spektrometer geführt werden. Bei der Verwendung von Lichtleitfasern ist die Zerstörschwelle der Faser eine wichtige begrenzende Größe, die mit bisherigen LIBS-Systemen deutlich überschritten wird. Der in diesem Projekt eingesetzte Laser besitzt nur eine kleine Pulsspitzenleistung bei einer großen Pulswiederholrate bis zu 100 Hz, weswegen er ideal für die Verwendung von Lichtleitfasern und damit für mobile Anwendungen geeignet ist.

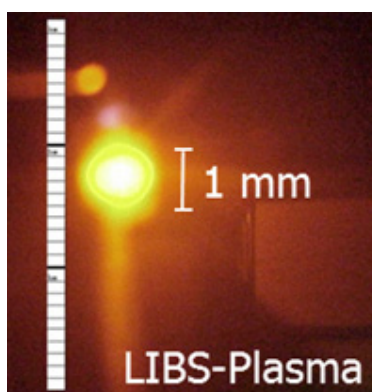


Abbildung 1. Kurzaufnahme eines Mikro-Plasmas nach Einstrahlen eines frequenzverdoppelten Nd:YAG-Laserpulses mit  $9.9 \times 10^9 \text{ W cm}^{-2}$  bei 532 nm auf Aluminium.



## Spektroskopische Online-Prozesskontrolle bei der Mikrostrukturierung dünner ITO-Schichten

*Christian Beresko M.Sc., Prof. Dr. Georg Ankerhold, Prof. Dr. Peter Kohns, Christian Silbernagel B.Sc.*

RheinAhrCampus Remagen,  
FH Koblenz  
beresko@rheinahrcampus.de

Wir zeigen erste Ergebnisse zur spektroskopisch kontrollierten Mikrostrukturierung dünner Indium-Zinn-Oxid-Schichten (ITO) in Verbindung mit einer Elementanalyse über laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIBS). Dünne, elektrisch leitfähige ITO ( $\text{In}_2\text{O}_3$ )<sub>x</sub>·( $\text{SnO}_2$ )<sub>1-x</sub>-Schichten verwendet man als optisch transparentes Elektrodenmaterial in unterschiedlichen Bereichen wie bei neuartigen organischen Solarzellen, organischen Leuchtdioden, Flüssigkristallanzeigen (LCD) aber auch als Wärmeschutz hochwertiger Bildsensoren gegen Infrarotstrahlung. Homogenität und Dicke sowie der Indium-Zinngehalt der ITO-Schicht sind dabei kritische Parameter für die elektrische Leitfähigkeit und damit für die korrekte Funktionsweise des Bauteils.

Die schnelle und berührungslose LIBS-Technologie kann dabei sowohl für die Mikrostrukturierung als auch für die zeitgleiche, semi-quantitative Analyse der Elementzusammensetzung von Oberflächen genutzt werden. LIBS ermöglicht damit unter anderem eine Echtzeitkontrolle des Mikrostrukturierungsprozesses von ITO-Schichten. Mögliche Verunreinigungen auf der ITO-Oberfläche oder eingelagert in der Schicht, können sicher detektiert werden; somit lassen sich Prozessfehler frühzeitig erkennen. Die Datenerfassung und -analyse geschieht nahezu simultan und macht Ergebnisse für die Prozesskontrolle innerhalb weniger Millisekunden verfügbar. Mit einem schnellen Echelle-Spektrometer in einem typischen LIBS-Aufbau haben wir den Abtragungsprozess analysiert, indem wir eine unterschiedliche Anzahl an Laserpulsen auf die ITO-Schicht eines Glassubstrates fokussiert haben. Zur spektroskopischen Kontrolle diente eine isolierte charakteristische spektrale Emissionslinie von Indium bei der Wellenlänge 451.13 nm (Abb. 1, links). Sämtliche Indium-Linien verschwinden, sobald die ITO-Schicht im Laserfokus komplett vom Substrat abgetragen worden ist (Abb. 1, rechts). Die nun schnell ansteigende charakteristische Natrium-Doppellinie bei 589 nm weist darauf hin, dass der Abtragungsprozess durch den Laser gestoppt werden muss, um Schäden an dem Trägersubstrat zu vermeiden. Der Ablationsprozess wurde mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) visualisiert (Abb. 1, links und rechts). Die Elementzusammensetzung der ITO-Schicht konnte dabei durch eine parallel durchgeführte EDX-Analyse bestätigt werden.

Unsere Experimente zeigen auf anschauliche Weise, dass LIBS eine elegante, industriell gut einsetzbare Möglichkeit darstellt, gezielt ITO-Schichten abzutragen, ohne das Substrat oberflächlich zu zerstören. Untersuchungen an weiteren dünnen Schichten sind in Vorbereitung.

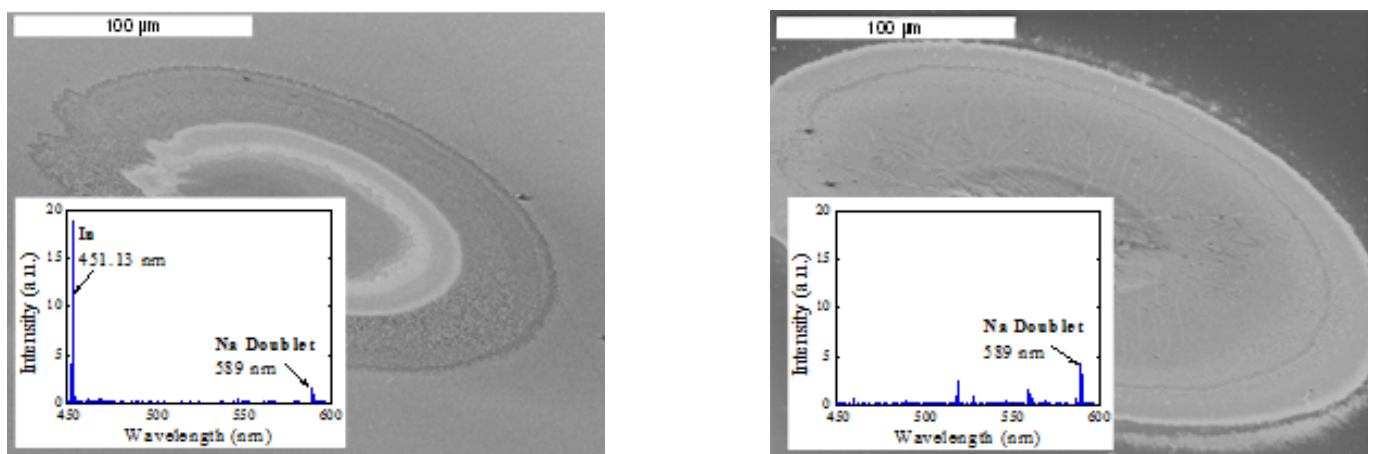


Abbildung 1. REM-Aufnahmen einer ITO-Schicht auf einem Glassubstrat nach Laserablation (links) nach Einwirken eines Laserpulses und (rechts) von 100 Laserpulsen. Die zugehörigen LIBS-Spektren zeigen mit zunehmender Zahl von Laserpulsen eine deutliche Abnahme der In-Linie bei gleichzeitiger Zunahme der Intensität der Na-Dublettlinienstruktur.

## Berührungslose Temperaturmessung und die Anwendungen

Dipl.-Ing. (FH) Manfred Hayk

LUMA Sense Technologies  
Applikationsbüro EMEA  
M.Hayk@LumasenseInc.com

In vielen Industriezweigen ist die Temperaturmessung eine der wichtigsten Messungen um Prozesse zu steuern und zu überwachen. Häufig ist die berührungslose Erfassung der Temperaturen die einzige Möglichkeit den Prozess abzubilden, zu dokumentieren oder zu regeln.

Seit über 50 Jahren entwickelt, produziert und vertreibt die LumaSense Technologies hochwertige Messgeräte für berührungslose Temperaturmessaufgaben, die unter schwierigsten Bedingungen dauerhaft funktions- und leistungsfähig sind. Das innovative Produktportfolio umfasst Pyrometer zur punktuellen Temperaturerfassung, Thermografiekameras- und Systeme zur bildgebenden Temperaturmessung und Geräte zur Gaskonzentrationsmessung in Industrie, Forschung, Medizintechnik, etc..

### Grundlagen

Die berührungslose Temperaturmessung beruht auf der Emission oder Absorption von elektromagnetischer Strahlung im Infrarot-Spektralbereich jedes Körpers, die sich mit der Temperatur und den Objekteigenschaften charakteristisch ändert. Umso höher die Objekttemperatur wird, um so mehr strahlt das Objekt auch im Nah-Infrarotbereich und im sichtbaren Bereich ab. Hat ein Körper eine Temperatur unter etwa 600°C, so fühlt man – ohne den Körper zu berühren – in seiner Umgebung die auf der Haut und auf der Kleidung absorbierte Infrarotstrahlung als Wärme (Wärmestrahlung). Hat der Körper mehr als 600°C so strahlt er bereits so stark auch im sichtbaren Bereich ab, so dass das menschliche Auge den Körper als glühend sieht. Pyrometer sind Temperaturmessgeräte, die einen bestimmten Teil dieser Strahlung (Spektralbereich) detektieren und aufgrund der (spektralen) Intensität auf die Objekttemperatur zurück schließen.

Die Abstrahlung eines Körpers in einem bestimmten Spektralbereich nennt man Emission. Die Emission beschreibt dabei das Verhältnis der Abstrahlung eines realen Messobjektes zu der eines idealen schwarzen Körpers (Schwarzstrahlers). Die Emission ist dabei von der Temperatur und den Objekteigenschaften bzw. den Oberflächeneigenschaften abhängig. Zur Charakterisierung des zu messenden Objektes gibt man den (spektralen) Emissionsgrad  $\epsilon$  in % an, der die Abstrahlung des Messobjektes im Mess- und Spektralbereich des gewählten Pyrometers angibt.

In etwa ist das Verhalten der Emission aufgrund der Objekteigenschaften mit einer blanken Metalloberfläche zu vergleichen, in der man sich spiegeln kann. Ist diese Fläche zunehmend oxidiert, so kann man sich nicht mehr darin spiegeln. Die blanke Metalloberfläche reflektiert das Licht (elektromagnetische Strahlung) in einem hohen Maße, während die oxidierte Oberfläche das Licht teilweise absorbiert. Nach Kirchhoff ist die Absorption der Emission gleich zu setzen.

### Inhalt

Der Vortrag zeigt die grundlegende Funktion (physikalische Grundlagen), derzeit verfügbarer Geräte (Pyrometer und Thermografiekameras) sowie einige Anwendungsbeispiele auf.



## **Multi-Kamera-Netzwerk zur Wiedererkennung von Personen an Flughäfen**

*Matthias A. Grimm M.Sc.*

Hochschule Ruhr West  
m.grimm@hs-ruhrwest.de

In den letzten Jahren ist das Sicherheitsbedürfnis in öffentlichen Bereichen (Bahnhöfe, Flughäfen, Stadien, etc.) aufgrund steigender organisierter Kriminalität und Gefahren durch internationalen Terrorismus enorm gestiegen. Dabei hat sich die Videoüberwachung zur Erhöhung der Sicherheit in solch kritischen Bereichen etabliert. Allerdings ist die Informationsflut durch die notwendige hohe Anzahl (zum Teil hochauflöser) Kameras enorm und erschwert die Analyse der damit verbundenen großen Menge an Bildmaterial. Dies führt zu einer Informationsüberflutung und zu Aufmerksamkeitsverlusten des Sicherheitspersonals. Verdächtige Personen über mehrere Kameras hinweg wiederzufinden, stellt somit nach wie vor ein schwieriges Problem dar. Um dieses Problem grundsätzlich lösen zu können, wird eine sinnvolle Infrastruktur benötigt, die die Vernetzung mehrerer Kameras und eine Kopplung verschiedener Bildverarbeitungsmodule berücksichtigt. In diesem Beitrag wird eine solche Infrastruktur, wie sie bereits an einem Flugplatz realisiert wurde, beschrieben.

In großflächigen Bereichen, wie z. B. Flughäfen, ist eine flächendeckende Videoüberwachung von Personenbewegungen nicht möglich. Um Personen dennoch kameraübergreifend wiedererkennen zu können, ist eine intelligente Videodatenverarbeitung notwendig. Dabei müssen die Bilddaten zunächst möglichst detailreich und rauscharm akquiriert werden, um geeignete Personenmerkmale extrahieren zu können.

Jede Kamera ist mit einem von der Hochschule Ruhr West entwickelten Videosever verbunden, der die Bilddaten komprimiert auf eine lokale Festplatte schreibt und die Daten zur weiteren Verarbeitung über das Netzwerk zur Verfügung stellt. Noch vor Aufzeichnung der Daten wird ein Beleuchtungsausgleich durchgeführt, um die stark differierenden Beleuchtungssituationen im Außenbereich geeignet verarbeiten zu können. Die entwickelte Architektur unterteilt sich in zwei Modulklassen: kamerabezogene Module zur dezentralen Analyse der Daten und ein zentrales Modul, welches durch die Analyse der extrahierten dezentralen Informationen eine kameraübergreifende Personenwiedererkennung ermöglicht. Dabei erzeugen die kamerabezogenen Module zur Live-Videostromanalyse kontinuierlich Ergebnisse in Form von Metadaten, welche zentral in einer Datenbank gespeichert werden. Während sehr schnelle Bildverarbeitungsverfahren, wie z. B. eine Vordergrund-Hintergrund-Segmentierung, videotaktschritthaltend Ergebnisse liefern, können langsamere Verfahren, z. B. Verfahren zur Personendetektion, in einer Verarbeitungskaskade auf diesen Ergebnissen aufsetzen und somit beschleunigt werden. Außerdem wird dadurch erreicht, dass Fehldetektionen reduziert werden.

Die kamerabezogenen Daten stehen somit für eine kameraübergreifende Prädiktion von zu erwartenden Personenbewegungen sowie für eine fallweise kameraübergreifende Rückwärtsanalyse direkt zur Verfügung. Für eine weitere Ausdünnung der Bilddaten werden die zentral verwalteten Daten anhand eines geometrischen Modells analysiert und erwartete bzw. mögliche Laufwege von Personen indiziert. So findet eine kameraübergreifende Suche nur in den Bereichen statt, die zeitlich und geometrisch sinnvoll sind. Durch eine Interaktion mit dem beteiligten Operator werden die angezeigten Hypothesen durch diesen bestätigt, wodurch die Robustheit des Systems zusätzlich gesteigert wird.

## Fast People Recognition with High Resolute Cameras at Airports

Dipl.-Ing. Sebastian Hommel

Hochschule Ruhr West

sebastian.hommel@hs-ruhrwest.de

### Einleitung

Heutzutage gibt es viele Anwendungen, welche ohne eine Identifikation von Personen nicht möglich wären. Eine der bekanntesten Anwendungen ist die automatisierte Zugangs- bzw. Zugriffskontrolle. Aber auch in der Service Robotik oder in Überwachungsbereichen kritischer Infrastrukturen, wie Flughäfen, wird die Wiedererkennung von Personen immer wichtiger.

### Personenerkennung

Um aufgezeichnetes Videomaterial schnell analysieren zu können, eignen sich zeitlich zweigeteilte Systeme, eine kamerabezogene Liveanalyse und eine kameraübergreifende Wiedererkennung.

### Bildverbesserung

Um eine robuste Personenerkennung zu ermöglichen ist es notwendig möglichst wenig Störungen im zu analysierenden Bild sowie eine möglichst homogen ausgeleuchtete Szene zu erhalten. Ein Ausgleich der Beleuchtungsbedingungen ist auch für die kameraübergreifende Analyse von größter Bedeutung, da ohne diese die kameraübergreifende Zuordnung von Merkmalen häufig fehlschlägt und eine Beschränkung auf ausschließlich beleuchtungsinvariante Merkmale unzureichend ist. Ein schnelles rauscharmes und effizientes Verfahren welches sensornah operiert, überführt durch spezielle Abbildungsfunktionen die kamerainterne hochaufgelöste Repräsentation der Farbpixel auf eine übliche 24bit-Repräsentation und verringert damit störende Beleuchtungseinflüsse.

### Merkmalsverfolgung

Die Detektion von Personen ist ein fundamentales Element einer automatisierten Personenerkennung, welche in dem vorliegenden Beitrag bereits während der Liveanalyse realisiert wird. Diese bildet die Grundlage für eine Merkmalsextraktion und -verfolgung im Livebetrieb. Dabei werden von jeder Person an derselben Stelle der mittlere Farbwert und die mittlere Intensität aus Bereichen des Ober- und Unterkörpers sowie die relative Menge an horizontalen und vertikalen Texturanteilen und die Häufigkeitsverteilung der Farb- und Intensitätswerte extrahiert. Weiterhin werden aufmerksamkeitsbasierte Merkmale ermittelt. Das heißt es werden Texturanteile sowie Farb- und Helligkeitswerte an den Stellen ermittelt, welche einen hohen Informationsgehalt bzw. große Abweichungen von Ihrer Umgebung aufweisen.

### Wiedererkennung

Zu Beginn einer schnellen und effektiven Wiedererkennung werden zunächst sehr schnelle Verfahren eingesetzt, um den Suchraum möglichst weit einzuschränken. Basierend auf die in der Liveanalyse extrahierten und durch die zeitliche Verfolgung verbundenen Merkmale, wird ein Merkmalsraum der gefundenen Personen erstellt. Durch einen Vergleich der kamerabezogen extrahierten Merkmale bzw. einer Sortierung dieser, kann kameraübergreifend ein Rückschluss auf zusammengehörige Personenmodelle von Personen gleicher Identität erfolgen.

## **Bildgebende Systeme in der Sicherheitstechnik und Materialanalyse**

*Dr. Sebastian Hantscher*

Fraunhofer FHR

sebastian.hantscher@fhr.fraunhofer.de

Der Vortrag gibt einen Überblick über die derzeitigen Entwicklungen und Forschungsprojekte am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR in den Bereichen der Sicherheitstechnik zum Schutz kritischer Infrastrukturen sowie der Materialanalyse; insbesondere bildgebende Verfahren zur Echtzeitanalyse.

Im ersten Teil werden für Sicherheitsanwendungen aktive sowie passive Radarsysteme vorgestellt, welche durch Erzeugung von Bildern anhand der vom menschlichen Körper reflektierten Wellen eine Bewertung des Gefahrenpotenzials ermöglichen. Je nach verwendeter Technologie sind diese für die Nah- oder Fernüberwachung einsetzbar. Neuartige Ansätze, die über die derzeit kommerziell verfügbaren sowie an Flughäfen zu findenden Personenscanner hinausgehen, werden vorgestellt.

Im zweiten Teil werden verschiedene radarbasierte Sensorlösungen für zerstörungsfreie Materialprüfung betrachtet, angefangen von medizinischen Anwendungen zur Überwachung des Heilungsprozess von Wunden bis hin zur Kontrolle von Lebensmitteln. Ist die Packung richtig befüllt? Befinden sich in der Schokolade Verunreinigungen? Sind die Plastiknähte korrekt verschweißt? Verbirgt sich in dem Päckchen ein Messer? Antworten auf all diese Fragen liefert der Materialscanner SAMMI, kurz für „Stand Alone MilliMeter wave Imager“. Der Millimeterwellensensor durchleuchtet alle optisch nicht transparenten Materialien.

## **Time-Domain-Reflektometrie zur orts aufgelösten Erfassung von Materialeigenschaften**

*Dennis Trebbels M.Sc.*

HSG-IMIT

Impedanzmesstechnik

dennis.trebbels@hsg-imit.de

Time-Domain-Reflektometrie (TDR), im Deutschen auch Zeitbereichsreflektometrie genannt, ist ein seit langem bekanntes und bewährtes hochfrequentes Messverfahren zur orts aufgelösten Untersuchung von Materialeigenschaften entlang einer Messleitung. Ein entsprechendes Messsystem besteht hierbei grundsätzlich aus einem TDR-Messgerät, auch Zeitbereichsreflektometer genannt, und einer als Wellenleiter ausgebildeten und auf den jeweiligen Anwendungsfall speziell angepassten Messleitung. Das Messgerät speist Signale mit hochfrequenten Anteilen (zum Beispiel Rechtecksignale mit steilen Flanken oder kurze Nadelimpulse) in die Messleitung ein und zeichnet den Verlauf der Spannung am Leitungseingang mit sehr hoher zeitlicher Auflösung auf. Die eingespeisten Signale durchlaufen die Messleitung und werden schließlich am offenen Ende der Messleitung reflektiert und laufen zurück zum Messgerät. Die Messleitung ist hierbei konstruktiv so ausgebildet, dass die Materialparameter des die Messleitung umgebenden Mediums den Wellenwiderstand der Messleitung maßgeblich beeinflussen. Die eingespeisten hochfrequenten Signale werden beim Durchlaufen der Leitung nun durch die resultierenden materialparameterabhängigen Unstetigkeiten charakteristisch verformt. Durch geeignete Auswertung der resultierenden Signalformen und der Laufzeiten kann somit ein Rückschluss auf den Verlauf bestimmter Materialparameter entlang der Messleitung geschlossen werden. Aufgrund der relativ großen Dielektrizitätszahl von Wasser (ca. 80) gegenüber fast allen anderen Feststoffen (ca. 2-10) wird dieses Verfahren gerne genutzt, um den Wassergehalt des die Messleitung umgebenden Mediums zu ermitteln. Im Gegensatz zu herkömmlichen Messverfahren bei denen beispielsweise nur die gesamte resultierende Kapazität zwischen zwei im Medium eingebetteten Leitern ausgewertet wird, und somit nur eine durchschnittliche Angabe des Wassergehaltes möglich ist, bietet die Zeitbereichsreflektometrie den zusätzlichen Vorteil der örtlichen Auflösung und ermöglicht das Messen und Rekonstruieren von ganzen Feuchteprofilen entlang der Leitung.

In der Praxis wurde das Verfahren bereits vielfach erfolgreich im Rahmen von Forschungsprojekten und Studien angewendet um unterschiedlichste Fragestellungen im Bereich der Geowissenschaften, der Umweltwissenschaften, der Agrartechnik, der Lebensmittelindustrie und in Trocknungsprozessen zu lösen. Die meisten der hier eingesetzten Messsysteme basieren auf verfügbarer Labormesstechnik und sind entsprechend komplex, großvolumig und teuer und eignen sich in der Regel nicht für den Einsatz in kostensensitiven industriellen Anwendungen und Produkten. Seit einiger Zeit gibt es aber erheblichen Fortschritt in der Entwicklung miniaturisierter, kostengünstiger und auf die jeweilige Anwendung spezialisierter TDR-Messgeräte und Verfahren. Dies ermöglicht zukünftig den breiten Einsatz dieses interessanten Messverfahrens in zahlreichen industriellen Anwendungen.

Im Rahmen des Vortrages werden neben den messtechnischen Grundlagen der Zeitbereichsreflektometrie einige exemplarische Anwendungen und Messsysteme dargestellt sowie der aktuelle Stand der Neuentwicklungen in diesem Gebiet aufgezeigt.

## Visualisierung der Netzfrequenz im Netzwiederaufbau

Prof. Dr.-Ing. Jens Haubrock

Fachhochschule Bielefeld  
jens.haubrock@fh-bielefeld.de

Der Netzwiederaufbau nach einem Black-Out ist eine Systemdienstleistung die vom Transportnetzbetreiber erbracht wird. Der Netzwiederaufbau kann mit Unterstützung benachbarter intakter Netzbereiche (Verbundhilfe) oder durch schwarzstartfähige Kraftwerke (Inselnetz) durchgeführt werden. Ziel des Netzwiederaufbaus ist das Netz wieder in einen sicheren Normalbetriebszustand zu führen. Wesentliche Herausforderungen der Betriebsführung im Netzwiederaufbau sind die Spannungshaltung und die Frequenzhaltung [1, 2].

In jeder Aufbauinsel muss die Erzeugung gleich dem Verbrauch sein. Abweichungen äußern sich durch Frequenzabweichungen. Hierbei gilt je kleiner (Last) der Insel und je kleiner das einspeisende Kraftwerk desto unruhiger ist die Netzfrequenz im Netzwiederaufbau. Die Frequenz muss in einem Bereich oberhalb 49,0 und unterhalb 52,0 Hz gehalten werden [1].

In Zukünftigen Netzen mit einem hohen Anteil an dezentralen Energieerzeugern kann die Aufgabe des Netzwiederaufbaus auch durch verteilte dezentrale Anlagen in einem Teilnetz übernommen werden. Dies setzt die Beobachtung der Frequenz der Aufbauinsel voraus.

Der an der FH Bielefeld entwickelte schnelle Zählwertschreiber ermöglicht das Mitschreiben des Verlaufes der Netzfrequenz. Mit einem Oszilloskop kann der Verlauf der Netzfrequenz z. B. bei Lastzuschaltung direkt sichtbar gemacht werden.



Abbildung 1. Schneller Zählwertschreiber zur Visualisierung der Netzfrequenz in einem 19` Zoll Gehäuse.

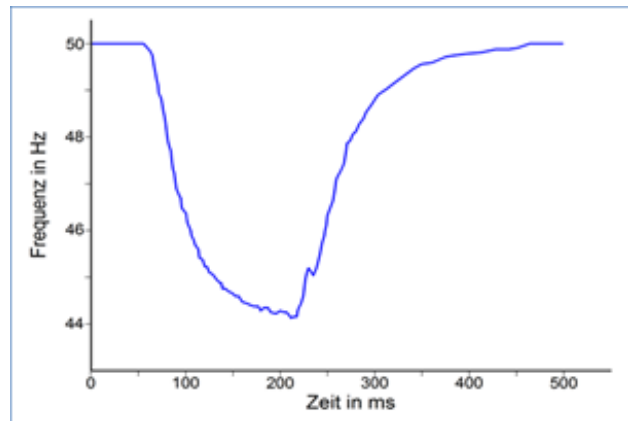


Abbildung 2: Frequenzverlauf eines Inselnetzes mit SN=900VA und einer Vorlast von 200W bei 300W Lastzuschaltung.

Potenzielle Anwendungsgebiete des Gerätes liegen in der Betriebsüberwachung, in der Ausbildung und Schulung von Personal für die Betriebsführung in Kraftwerken und Netzen.

An der FH Bielefeld wird der Zählwertschreiber zur Visualisierung der Netzfrequenz eines Inselnetzes bei Lastzuschaltung genutzt.

[1] Entso-E Operation Handbook, P5: Emergency Operation. www.entsoe.eu. 2011

[2] Haubrock, J.; Roggatz, C.; Spänel, U.: Power System Simulation with the Dustrain Simulator: Proceedings of the CRIS Workshop 2008: 16.-19. September 2008, pp. 261-265. Magdeburg 2008, MAFO ISSN 1612-2526 Bd. 27, ISBN 978-3-940961-26-6





