

**Dipl.-Ing. Daniel Watzenig**  
Institut für Elektrische Messtechnik  
und Messsignalverarbeitung  
E-Mail: daniel.watzenig@tugraz.at  
Tel.: 0316 873 7268



**Dipl.-Ing. Gerald Steiner**  
Institut für Elektrische Messtechnik  
und Messsignalverarbeitung  
E-Mail: gerald.steiner@tugraz.at  
Tel.: 0316 873 7272



## Online-Messung von Prozessparametern in Mehrphasenströmungen

### *Online-Measurement of Process Parameters in Multi-Phase Flow*

In vielen industriellen Prozessen treten Strömungen und Materialverteilungen auf, die gleichzeitig zwei oder mehr Phasen beinhalten. Beispiele sind Erdöl- und Erdgasförderung (Öl, Gas, Wasser), pneumatischer Transport (Feststoffe und Luft), Abscheider und Filter, Reaktoren und Mixer in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Der Materialdurchsatz und die Materialverteilung lassen sich in solchen Fällen oft nur durch Separation in Einphasenströmungen oder die Entnahme von Proben aus dem laufenden Prozess bestimmen.

Am Institut für Elektrische Messtechnik und Messsignalverarbeitung (EMT) beschäftigt sich eine Forschungsgruppe seit vier Jahren mit Prozessstomografie. Sie ermöglicht die räumliche Darstellung von inhomogenen Materialverteilungen in Rohrleitungen oder Behältern durch Messungen von außen. Somit können online, ohne in den Prozess einzugreifen, Strömungen überwacht und Parameter wie Volumanteil, Durchfluss und Homogenität gemessen werden. Im Gegensatz zur medizinischen Tomografie sind in dieser jungen Disziplin spezielle Anforderungen an Sensorik und Signalverarbeitung, wie Robustheit, Dynamik, Geschwindigkeit und geringe Kosten zu erfüllen.

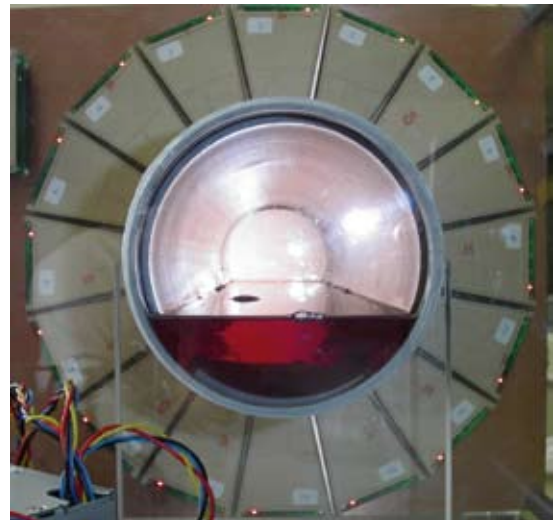
Für die Prozessstomografie kann eine Vielzahl verschiedener Sensorprinzipien ausgenutzt werden, z.B. Messung von elektrischen Größen, Ultraschall oder Gammastrahlung. Am EMT ist es gelungen, hochdynamische und robuste Sensoren für die elektrische Kapazitätstomografie (ECT, Electrical Capacitance Tomography) zu entwickeln. Einen Sensor zur Messung an Rohrleitungen zeigt die Abbildung. Eine Reihe von Elektroden ist außen über den Rohrumfang verteilt. Bei nichtleitenden Behältern kann die Messung wie im vorliegenden Fall vollkommen berührungslos durchgeführt werden. Bei Metallen müssen die Elektroden innen an der Behälterwand angebracht werden. Die elektrischen Kapazitäten zwischen den einzelnen Elektroden liegen im Bereich zwischen 1 fF und 5 pF und werden durch Verschiebungsstrommessungen bei einer Frequenz von 40 MHz gemessen. Durch Anwendung geeigneter mathematischer Rekonstruktionsverfahren kann daraus die Materialverteilung des Rohrquerschnitts berechnet werden. Der gezeigte ECT-Sensor besteht aus 16 Elektroden mit eigener Sende- und Empfangselektronik. Eine Netzwerkanbindung ermöglicht Fernmessungen, wobei die Berechnung und Darstellung der Ergebnisse am PC erfolgen kann.

Neben der Sensorelektronik hat die Wahl des Rekonstruktionsalgorithmus einen entscheidenden Einfluss auf die erzielbaren Ergebnisse, wobei ein Kompromiss zwischen Rechenaufwand und Genauigkeit gefunden werden muss. Am EMT wurde Software entwickelt, die einen breiten Bereich abdeckt. Besondere Forschungserfolge wurden bei der Rekonstruktion von Grenzflächen zwischen diskret verteilten Phasen erzielt, z.B. mit der Level-Set Methode und der Anwendung statistischer Filter. Durch Bayes'sche Ansätze wie Particle Filter und die Markov Chain Monte Carlo Methode können Informationen über den zu messenden Prozess gezielt als a priori Wissen für den Rekonstruktionsvorgang berücksichtigt werden.

Da das elektrische Feld als Informationsträger in der ECT nur eine begrenzte räumliche Auflösung ermöglicht, beschäftigt sich die aktuelle Forschung am EMT mit der Fusion von zwei Sensormodalitäten – ECT und Ultraschalltomografie. Ultraschall wird an Phasengrenzen reflektiert (wie bei der Füllstandsmessung), das Messvolumen kann aber nicht vollständig abgedeckt werden (wie bei Einparkhilfen für Autos). Durch die Kombination von ECT und Ultraschalltomografie können aber die Vorteile beider Verfahren genutzt werden. Die Entwicklung eines dualen Sensors sowie geeigneter Rekonstruktionsalgorithmen ist ein aktueller Forschungsschwerpunkt im Rahmen eines Translational

Research Projekts (TRP) des FWF. Ein weiteres Forschungsgebiet ist die Erweiterung der bestehenden Hard- und Software zur dreidimensionalen Rekonstruktion von Materialverteilungen.

Nachdem die bisher erzielten Forschungsergebnisse durch rege Publikationstätigkeit und Forschungsaufenthalte auch international Beachtung gefunden haben, ist das EMT bestrebt, Kontakte zur Wirtschaft und Forschungseinrichtungen zu knüpfen, um die Prozessstomografie unter industriellen Messbedingungen zu erproben.



Am EMT entwickelter Sensor für die Elektrische Kapazitätstomografie (ECT) zur nichtinvasiven Messung von Prozessparametern in Rohrleitungen. Die 16 Elektroden sind mit den geschirmten Sende- und Empfangseinheiten außen am Rohr angebracht. Im Rohr befindet sich ein Dreiphasengemisch von Luft, Wasser und Erdöl.

Weiterführende Links:

[www.emt.tugraz.at/research/ect](http://www.emt.tugraz.at/research/ect) (Process Tomography Group am EMT)

[www.vcipt.org](http://www.vcipt.org) (Virtual Centre for Industrial Process Tomography)

[www.imt.tugraz.at](http://www.imt.tugraz.at) (Institut für Medizintechnik der TU Graz)

### *Online-Measurement of Process Parameters in Multi-Phase Flow*

*The article addresses the current research of the Institute of Electrical Measurement and Measurement Signal Processing (EMT) in the field of tomographic sensing. Electrical Capacitance Tomography (ECT) is a non-invasive technique that aims at reconstructing the cross-sectional material distribution of a body by measuring the capacitances between electrodes mounted outside the body. Such bodies are e.g. pipelines in the oil industry and vessels in food production. ECT has motivated applications for process control due to the possibility of online-measurement and subsequent determination of process parameters which are not directly observable. Such parameters are, e.g., flow rate and volume fraction. In contrast to medical applications, industrial processes make different demands on ECT sensors in terms of high reconstruction speed, low costs and reliability. Besides well-developed capacitive sensors which are able to fulfill the requirements the signal processing plays an important role in order to achieve sufficient spatial resolution. At the EMT different methods have been developed in order to estimate distinct phase transitions (e.g. level sets and statistical approaches). Recent research treats the fusion of two different sensing modalities, namely ECT and ultrasound tomography.*