



Projektskizze „Mehrphasenströmungssensorik“

**für Phase II des Förderprogramms „ForMaT“
(Forschung für den Markt im Team)
als Bestandteil der BMBF-Innovationsinitiative
Neue Länder „Unternehmen Region“**

Antragsteller: **Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.**

Ausführende Stelle: **Forschungszentrum Dresden-Rossendorf e.V.**
PD Dr. Uwe Hampel
Bautzner Landstraße 400
01328 Dresden
Telefon: 0351/2602772
Email: U.Hampel@fzd.de

Inhalt

I	<i>Einführung in das Gesamtvorhaben</i>	1
	I.1 Zielsetzungen.....	1
	I.2 Struktur und Aufgaben des Innovationslabors.....	2
	I.3 Analyse und Bewertung der Sensorkonzepte (FORMAT Phase 1).....	4
II	<i>Stand von Wissenschaft und Technik</i>	7
	II.1 Allgemeiner Stand der Technik bei Prozess- und Strömungsmessverfahren	7
	II.2 Stand von Wissenschaft und Technik bei Prozesssensoren für extreme Einsatzbedingungen.....	7
	II.3 Stand von Wissenschaft und Technik bei ausgewählten Mehrphasensensoren.....	9
	II.4 Vorstellung des Technologieportfolios des FZD.....	11
	II.5 Patentschutz und Mitbewerber	17
III	<i>Bewertung des Marktpotenzials</i>	19
	III.1 Makroskopische Marktbetrachtung	19
	III.2 Mikroskopische Marktanalyse einzelner Sensorkonzepte	22
	III.2.1 Marktanalyse: Sensortechnologien für extreme Einsatzbedingungen	22
	III.2.2 Marktanalyse: Neue Messverfahren auf Basis der Gittersensortechnologie	23
	III.2.3 Marktanalyse: Elektronenstrahl-Prozessstomographie	24
IV	<i>Vorgehen zur Entwicklung von Verwertungskonzepten sowie zum Aufbau des Innovationslabors</i>	26
	IV.1 Aufbau und Organisation des Innovationslabors.....	26
	IV.2 Kompetenzentwicklung und Stärkung der Innovationskultur	27
	IV.3 Vorgehen zur Entwicklung und Umsetzung der Verwertungskonzepte.....	28
	IV.3.1 Aktuelles Stadium der Verwertungsmöglichkeiten	28
	IV.3.2 Verwertungsoptionen Gründung / Lizenzierung	29
V	<i>Zusammensetzung des Teams – Vernetzung und Transfer</i>	31
VI	<i>Beschreibung des Arbeitsplans</i>	33
VII	<i>Kosten-, Zeit- und Meilensteinplanung</i>	37
VIII	<i>Literatur</i>	40

I Einführung in das Gesamtvorhaben

I.1 Zielsetzungen

Im Ergebnis der Phase I des im Programm FORMAT geförderten Projektes „Mehrphasenströmungssensorik“ am FZD wird ein Konzept zur Etablierung eines interdisziplinären Innovationslabors vorgelegt. In diesem soll eine Technologieplattform für Speziälsensorik für mehrphasige Prozesse in der Industrie geschaffen werden.

Das wissenschaftliche Tätigkeitsfeld des Antragstellers liegt in der Sicherheitsforschung für industrielle Anlagen und Prozesse und dabei speziell in der Untersuchung von thermohydraulischen Phänomenen in Kühlkreisläufen von Kernkraftwerken und Anlagen der chemischen Industrie. Diese werden oft von sogenannten Mehrphasenströmungen bestimmt. Als solche werden Gemischströmungen verschiedener Stoffphasen und Stoffkomponenten bezeichnet, die durch eine komplexe Strömungsmechanik mit Wärme- und Stoffübergang charakterisiert sind.

Mehrphasenströmungen bestimmen im entscheidenden Maße die Effizienz und die Sicherheit von Prozessen in der Chemieindustrie, der Petrolindustrie, der Kraftwerkstechnik und in vielen anderen Industriebereichen. Design, Optimierung, Regelung, Steuerung und Überwachung industrieller Prozesse und Anlagen erfordern Sensoren und Messverfahren, die mehrphasentauglich, aber gleichzeitig robust und preiswert sind. Derzeit ist das Angebot an kommerzieller Messtechnik zur Analyse von Strömungsformen, Gemischzusammensetzung, Temperaturverteilungen und lokalen Stoffkonzentrationen in mehrphasigen Prozessen relativ gering. Zur sicheren Unterscheidung der Stoffphasen und zur Bestimmung ihrer physikalischen und chemischen Parameter muss ein Sensor im Allgemeinen über ein sehr gutes räumliches und zeitliches Auflösungsvermögen verfügen. Bestens geeignet sind bildgebende Messverfahren, die aber immer auch gleichzeitig durch hohe Komplexität gekennzeichnet sind. Viele industrielle Prozesse werden deshalb noch heute aus Mangel an geeigneter Prozesssensorik auf der Basis langjähriger Erfahrungswerte des Anlagenpersonals gefahren. Daraus resultieren Schwankungen in der Produktivität und der Qualität der Produkte, ein höherer Energieverbrauch sowie ggf. Sicherheitsrisiken für die betreffenden Anlagen. Die Notwendigkeit der messtechnischen Erfassung und Bewertung von Mehrphasenströmungen steht aus diesem Grund auf der Agenda des Verbandes für Automatisierungs- und Verfahrenstechnik und der größten Unternehmen der Chemiebranche an vorderster Stelle.

In der jüngeren Vergangenheit wurde durch die Wissenschaftler des FZD ein umfangreiches Portfolio neuartiger Sensoren für Mehrphasenströmungen, vorrangig auf Basis bildgebender Messprinzipien, entwickelt und eine umfassende Expertise zur Mehrphasensensorik vom Sensorprinzip über die Auswertesoftware bis hin zum industriellen Einsatz aufgebaut. Neben einer sehr guten Forschungsinfrastruktur am FZD sind die Verfügbarkeit und gezielte Qualifizierung wissenschaftlich-technischen Personals, die intensive Nachwuchsförderung, stabile Kooperationsbeziehungen mit Partnern der Industrie und Forschung, der Betrieb eigener Großversuchsanlagen, in denen die entwickelten Sensoren zum Einsatz kommen, sowie eine umfassende und langjährige Schutzrechtssicherung Voraussetzungen für die erfolgreiche Generierung eines beträchtlichen Know-Hows auf diesem Gebiet.

I.2 Struktur und Aufgaben des Innovationslabors

Innerhalb der Phase 1 des FORMAT-Projektes „Mehrphasenströmungssensorik“ wurde ein Portfolio ausgewählter Sensorkonzepte mit hohem wirtschaftlichen Potenzial, starken und patentgeschützten Alleinstellungsmerkmalen sowie definierten Anforderungen für die industrielle Einsetzbarkeit definiert. Die vorhandenen personellen und infrastrukturellen Ressourcen wurden in Form eines virtuellen Innovationslabors organisiert und um unterstützende, externe Expertise auf ökonomischer und wissenschaftlicher Ebene ergänzt. Das Innovationslabor hat die Aufgabe, durch koordinierte Forschung und Entwicklung Konzepte für neue Prozesssensoren zu entwickeln sowie bestehende Sensorkonzepte für industrielle Problemstellungen zu qualifizieren. Im Fokus stehen dabei innovative bildgebende Sensoren und Messverfahren, für die ein erhebliches industrielles Einsatzpotenzial besteht. Neben der Qualifizierung neuer Sensorkonzepte für spezielle industrielle Messaufgaben wie Füllstand, Mehrphasendurchfluss und Temperaturverteilung sollen Technologien zur Gewährleistung der Prozessstauglichkeit der Sensoren entwickelt werden. Für die Entwicklung eines kohärenten Methoden- und Technologieportfolios sind drei eigenständige, aber miteinander verflochtene, Teams vorgesehen.

Team 1: Sensortechnologien für extreme Einsatzbedingungen

Team 2: Neue Messverfahren auf Basis der Gittersensortechnologie

Team 3: Elektronenstrahl-Prozesstomographie

Das Projektmanagement, ausgeübt von einem Projektleiter sowie einem wirtschaftlichen Projektbetreuer, sorgt für die inhaltliche Koordinierung der Forschungstätigkeit, die Erkennung und Nutzung von Synergieeffekten sowie die Sicherstellung des Marktbezugs. Im Folgenden werden die Aufgaben der Teams kurz erläutert.

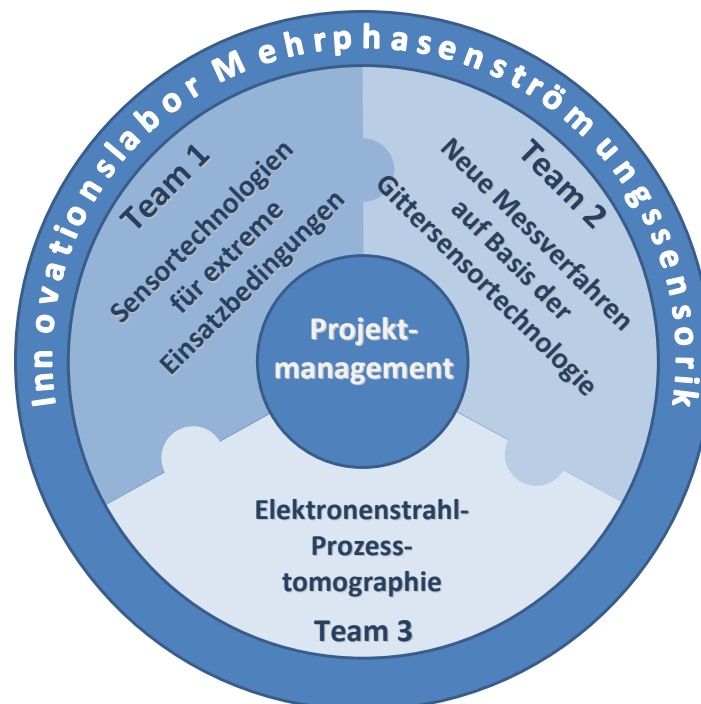


Abb. 1: Struktur des Innovationslabors „Mehrphasenströmungssensorik“.

Team 1: “Sensortechnologien für extreme Einsatzbedingungen“

Ziel von Team 1 ist die gezielte Entwicklung von bereits vorhandenen Sensorkonzepten (Nadelsonde, Gittersensor, Prozessmikroskop) für den Einsatz unter extremen industriellen Bedingungen. Typischerweise sind reale industrielle Prozesse durch hohe Drücke und Temperaturen, Temperaturwechselbelastungen sowie aggressive Medien gekennzeichnet. Von industriellen Sensoren werden ein geringer Wartungsaufwand und lange Standzeiten erwartet. Industrielle Sensoren müssen ferner in der Lage sein auch bei veränderlichen Umgebungsbedingungen (Dichte, Temperatur, Leitfähigkeit, etc.) genaue Messergebnisse zu liefern. Neben einem robusten Design bei gleichzeitig möglichst geringer Sensorgröße (Montageaufwand, Zugänglichkeit, geringe mechanische, thermische bzw. elektrische Trägheit) steht die systematische Auswahl und Erprobung spezieller Materialien (Legierungen, Keramik, Kunststoffe), Materialverbindungen (insbesondere Beschichtungen) und Fertigungstechnologien (Fügen, Kleben, Löten, Schweißen) im Vordergrund. Die Qualifizierung von Sensoren für extreme Einsatzbedingungen erfordert ein koordiniertes Vorgehen in Forschung und Entwicklung auf den Gebieten Materialwissenschaft, Fertigungstechnologien und Messtechnik.

Team 2: “Neue Messverfahren auf Basis der Gittersensortechnologie“

Dieses Team entwickelt innovative Messverfahren für Temperatur, Füllstand und Mehrphasendurchfluss auf Basis der Gittersensortechnologie. Die Grundvariante des Gittersensors wurde am FZD erfunden, zur Einsatzreife entwickelt und für den Einsatz in Versuchsanlagen bereits mehrfach verkauft. Gittersensoren sind bisher in der Lage, Phasenverteilungen in einem Strömungsquerschnitt mit hoher Geschwindigkeit durch Messung der elektrischen Eigenschaften des strömenden Mediums bildhaft zu erfassen. Ein hoher Anteil der „sensorischen Intelligenz“ liegt in der dem Gittersensor beigestellten Auswertesoftware, mit welcher Strömungsparameter wie Phasengehalte oder Phasengeschwindigkeiten berechnet werden können. Gittersensoren liefern als schnelle bildgebende Messsysteme ein Vielfaches an Informationen gegenüber Einzelgrößensensoren, was ihr sensorisches Prinzip für eine Reihe komplexer Fragestellungen in der Mehrphasenprozessen prädestiniert macht. Aufgabe von Team 2 ist die Entwicklung von Sensoren zur zweidimensionalen Temperaturmessung, Mehrphasendurchflussmessung sowie intelligenten Füllstandsmessung auf Basis des Gittersensormessprinzips. Damit wird auf Anwendungsfelder mit enormem Marktpotenzial gezielt, in denen es heute keine oder nur unzureichende kommerziell verfügbare Messtechnik gibt. Beispiele sind:

- Temperaturmessung und –überwachung an isolierten Anlagenkomponenten
- Überwachung sicherheitskritischer Reaktionen in Chemiereaktoren
- Füllstandsmessung in Polymerreaktoren
- Separationsüberwachung in Offshore-Ölseparatoren
- Mehrphasendurchfluss in der Ölindustrie und verfahrenstechnischen Anlagen
- Hochgenaue Durchflussmessung für Betankungsanlagen

Team 3: “Elektronenstrahl-Prozesstomographie“

Die Röntgentomographie ist ein nichtinvasives bildgebendes Messverfahren, welches heute ausschließlich im medizinischen Bereich oder zur zerstörungsfreien Prüfung ruhender Objekte eingesetzt wird. Am FZD ist diese Technologie erstmals für schnelle Aufnahmen von Mehrphasenströmungen weiterentwickelt worden, wodurch nun auch Stoffströme, etwa in Anlagen der Polyolefinindustrie, der Chemieverfahrenstechnik (Kolonnen, Blasensäulenreaktoren, etc.), der Erdölförderung (Gemischzusammensetzung), im Strömungsmaschinenbau und in der Kraftwerkstechnik untersucht werden können. Das Projektteam hat in den vergangenen Jahren eine erhebliche Kompetenz in Entwicklung und Betrieb dieser Technik für Strömungsuntersuchungen erworben. Die Bildrate des CT-Verfahrens konnte von 20 Bildern pro Sekunde (ehemals Stand der Technik) durch Entwicklung eines speziellen Elektronenstrahlerkonzeptes auf 10.000 Bilder pro Sekunde erhöht werden. Im Bereich dieser Technologie verfügt das FZD über vielfache Alleinstellungsmerkmale und hat in den zurückliegenden Jahren außerordentliche internationale Beachtung gefunden.

Innerhalb des FORMAT-I Projektes, aber auch bereits durch viel andere Kontakte in der Forschung und Industrie, zeigte sich ein außerordentlich hohes Interesse für diese Technologie von Seiten der Prozessindustrie (Polyolefin-Produktion, Ölindustrie, Kerntechnik), insbesondere der F&E-Abteilungen, im Bereich der Grundlagenforschung (Universitäten, Forschungsinstitute), im Bereich der Inline-Qualitätskontrolle und Fremdkörperdetektion, speziell in der Nahrungsmittelproduktion, sowie der Biomedizin (Kleintierbildgebung). Die Elektronenstrahl-Prozesstomographie verfügt über ein enormes Marktpotenzial, muss aber weiter zielgerichtet hin zur industriellen Anwendungstauglichkeit entwickelt werden. Dazu gehört eine Verringerung der technischen Komplexität bei gleichzeitigem Erhalt der Leistungsfähigkeit. Außerdem benötigt es ein aufwandsarmes Handling des Gerätes um über F&E-Anwendungen hinaus auch für den industriellen Prozesseinsatz tauglich zu sein. Dazu gehören Selbstüberwachung, eine einfache Bedienung und Kalibrierung.

I.3 Analyse und Bewertung der Sensorkonzepte (FORMAT Phase 1)

INFORMATIONSGEWINNUNG

Die Auswahl marktrelevanter Sensor- und Technologiekonzepte für die weitere Bearbeitung im Rahmen von FORMAT II erfolgte in den Teilschritten Informationsgewinnung, -analyse und -bewertung. Zur Informationsgewinnung auf Makroebene wurden ausgewählte Marktanalysen von Frost & Sullivan herangezogen. Weiterhin lieferten die NAMUR „Roadmap Prozess-Sensoren 2005-2015“ und die ZVEI Roadmap, aufgestellt von den wichtigsten Industrievertretern auf den anvisierten Zielmärkten sehr hilfreiche Informationen (siehe auch Kap. III). Diese Quellen dienen in einem ersten Schritt dem Informationszweck für die

- Quantifizierung des Marktvolumens für Sensortechnik insgesamt,
- Identifikation adäquater Marktsegmente nach technischen und regionalen Kriterien,
- Quantifizierung der Marktsegmente,
- Identifikation wichtiger Trends und Anforderungen.

Auf der Mikroebene wurde für ein solides Marktverständnis über alle relevanten Branchen hinweg der Direktkontakt zu Entscheidungsträgern von Unternehmen und Experten einschlägiger Verbände durch Besuche von Firmen, Fachtagungen und Messen gesucht.

Dabei wurden konkrete Anwendungen eruiert und die Nutzeranforderungen zu den Applikationen bestimmt. Zusammenfassend diente der Direktkontakt im Sinne einer marktorientierten Ausrichtung als Informationsquelle zur

- Feststellung konkreter Anwendungen,
- Feststellung der Nachfrage nach jeder einzelnen Technologie,
- Bestimmung von Preisgrenzen für einzelne Technologien,
- Aufnahme konkreter Kundenanforderungen ,
- Konkretisierung des Forschungsbedarfs in FORMAT II.

DAS POTENZIAL-SCREENING

Die im Vorfeld von FORMAT I bestimmten elf Sensorkonzepte mit wirtschaftlichem Verwertungspotenzial durchliefen ein mehrstufiges Potenzial-Screening. Nach der Identifizierung jeweils zugehöriger potenzieller, wirtschaftlich erschließbarer Anwendungsfelder und mit Hilfe der gewonnenen Marktinformationen erfolgte im nächsten Schritt die separate Bewertung der einzelnen Sensorkonzepte hinsichtlich der Technologie und des Marktes. Dafür wurde eine Liste mit vorab festgelegten Kriterien entwickelt, nach denen die Konzepte zu beurteilen waren.

Bei der **Technologie** wurden folgende Kriterien beurteilt:

- Anwendungs-idee und Produktkonzept, Umsetzungskonzept
- Entwicklungsstadium, Entwicklungsbedarf
- Langfristiges Weiterentwicklungspotenzial
- Entwicklungsrisiken
- Alleinstellungsmerkmale
- Patente und Technologieschutz
- mögliche Substitute, alternative Technologien

Beim **Markt** wurden folgende Kriterien beurteilt:

- Marktgröße, Marktvolumen
- Markttrends, Wachstumspotenzial
- Innovationsaktivität und Innovationsbedarf auf den Zielmärkten
- Freizügigkeit des Marktes, Markthemmnisse
- Kernwettbewerbsfaktoren
- Konkurrenzsituation
- Kundenstruktur und Kundenpotenzial
- potenzielle Produktionspartner

Durch die Objektivierung und Systematisierung in gegenseitiger Abstimmung der am Projekt beteiligten Wissenschaftler verschiedener Fachbereiche (Verfahrenstechnik, Maschinenbau Messtechnik, Elektrotechnik, Informatik, Wirtschaftswissenschaften) mit der betriebswirtschaftlichen Projektunterstützung wurde somit die Bildung einer Rangfolge möglich, wobei die folgenden sieben am besten bewerteten der ursprünglich elf betrachteten Sensorkonzepte für die weitere Forschung und Entwicklung im Rahmen von FORMAT II vorgesehen sind:

- Nadelsonde
- Gittersensor
- Prozessmikroskop
- Temperaturfeldmessung
- Mehrphasendurchflusssensor
- Bildgebender Füllstandssensor
- Elektronenstrahl-Prozesstomographie

Die ausgewählten Sensorkonzepte sind durch einen unterschiedlichen Entwicklungsstand charakterisiert. Dementsprechend ergeben sich für FORMAT II auch unterschiedliche Anforderungen an die erforderlichen F&E-Arbeiten, die in drei Projekten/Teams strukturiert werden. Projekt 1 zielt darauf, die bereits ausgereiften Sensorkonzepte Nadelsonde, Gittersensor und Prozessmikroskop für einen Einsatz bei prozesstypischen extremen Einsatzbedingungen zu qualifizieren. Projekt 2 befasst sich mit neuen, bereits schutzrechtlich abgesicherten Konzepten für eine Temperaturfeldmessung, Mehrphasendurchflussmessung und bildgebende Füllstandsmessung in Prozessen auf Basis der Gittersensortechnologie. Hierbei steht die Entwicklung und Validierung der neuen Messverfahren und der Aufbau von Funktionsmustern im Fokus. Projekt 3 befasst sich mit der Entwicklung der Elektronenstrahl-Prozesstomographie zu einem Bildgebungsverfahren für mehrphasige industrielle Prozesse. Jedes der drei Projekte wird von einem Projektteam realisiert. Nachstehende Abbildung gibt eine systematisierte Übersicht über die von den Teams zu bearbeiteten Teilprojekte.

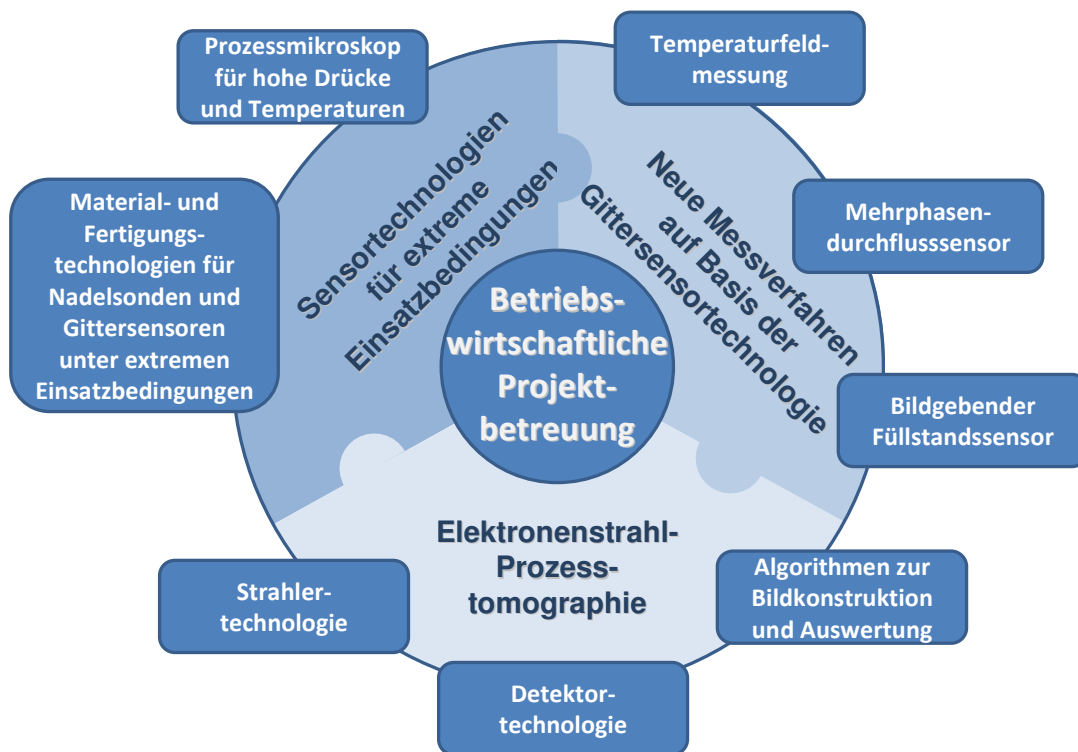


Abb. 2: Teams und Teilprojekte für das Innovationslabor „Mehrphasenströmungssensorik“.

II Stand von Wissenschaft und Technik

II.1 Allgemeiner Stand der Technik bei Prozess- und Strömungsmessverfahren

Für einphasige Strömungen gibt es heute eine breite Palette an Technologien und Messverfahren zur Bestimmung industriell wichtiger Prozessparameter, wie Druck, Temperatur, Füllstand, Massendurchfluss und Strömungsgeschwindigkeit. Im Bereich der Durchflussmesstechnik sind dafür verschiedenste Durchflussmesser kommerziell verfügbar, unter anderem Flügelradanemometer, Schwebekörperdurchflussmesser, Differenzdruck-Durchflussmesser, magnetisch-induktiver Durchflussmesser, Ultraschall-durchflussmesser und Coriolis-Massendurchflussmesser. Alle bekannten Durchflussmessverfahren können nur für einphasige Strömungen und NICHT für mehrphasige Strömungen eingesetzt werden [A1]. Füllstandssensoren werden basierend auf Schwimmkörperverfahren, Differenzdruck, elektrisch-kapazitiver und elektrisch-resistiver Messung, Radarwellen und Ultraschall angeboten. Prinzipiell haben diese Sensoren Probleme mit langsamer Separation und Mischzonen bei Emulsionen, Suspensionen und Schäumen, die eine eindeutige Identifizierung des Füllstandes erschweren. Für die Messung von Druck- und Temperatur gibt es ebenfalls diverse Prozesssensoren. Für Druck meist piezoresistive Wandler mit Membrankopplung, für Temperatur Platinwiderstandsthermometer, Halbleiterdetektoren und Pyrometer. Eine verteilte Temperaturmessung im Prozess ist unter bestimmten Bedingungen mit einer Wärmebildkamera möglich. Da diese einen freien optische Zugang zum System sowie diffus emittierende Oberflächen braucht, ist der Einsatz von Wärmebildkameras auf nichtisolierte Bauteile beschränkt. Ein Einblick in den Prozess, zum Beispiel in Chemieanlagen, ist nicht möglich.

Die Messung von Strömungsgeschwindigkeiten für einphasige Fluide erfolgt heute entweder mit Laser-Doppler-Sonden oder mit Particle-Image-Velocimetry (PIV) [A2], seltener mit Ultraschall-Sonden. Ebenfalls werden sehr oft Hochgeschwindigkeitskameras eingesetzt. Insbesondere PIV ist heute auch dreidimensional möglich. Zur Messung von Parameterverteilungen an Oberflächen werden in der Aerodynamikforschung gelegentlich Sensorarrays, wie beispielsweise Oberflächenhitzearrays zur Untersuchung von Scherströmung, eingesetzt. Weiterhin erlangen Sensorarrays auf der Basis von MEMS-Technologie zunehmend an Bedeutung [A3].

II.2 Stand von Wissenschaft und Technik bei Prozesssensoren für extreme Einsatzbedingungen

Viele der heute existierenden Sensoren für Mehrphasenströmungen sind für moderate Prozessbedingungen, das heißt Temperaturen von 0°C bis 120°C und Drücke bis maximal 20 bar verfügbar. Dies trifft insbesondere für Nadelsonden, Prozessanalytikinstrumente, optische Sensoren und kapazitive Sensoren zu. Viele Sensoren eignen sich nur für Wasser und wenig aggressive organische Lösungsmittel und haben Probleme mit starken Säuren, und elektrochemischen Prozessen, wie Korrosion. In Bioprozessen spielen weiterhin Fragen der Biokompatibilität sowie der Beeinträchtigung der Messfunktion durch Biobeschichtung eine Rolle. Für extreme Einsatzbedingungen werden oft Verkapselungstechniken eingesetzt. So werden Sensoren für Druck, Temperatur und

Füllstand gegen hohe Drücke, Temperaturen und aggressive Medien im Allgemeinen durch Barrieren (Ummantelung, Kapselung, Membranen) aus Edelstahl oder Keramik geschützt. Bei optischen Sensoren (Nadelsonden, Mikroskope, Inlinespektrometer) kommt Saphir als Barrierewerkstoff in Form von Fenstern oder Sondenspitzen zum Einsatz. Insbesondere für elektrische Sensoren (Impedanznadelsonden mit/ohne Temperaturmessfunktion, Gittersensor) sind solche Schutztechnologien kaum anwendbar. Die Messelektroden müssen in direktem Kontakt mit dem Medium stehen und gleichzeitig elektrisch vom geerdeten Sensorgrundkörper isoliert werden. Dies erfordert geeignete Materialpaarungen und Füge-technologien für metallische und nichtmetallische Werkstoffe [A4]. Neben der Funktion der elektrischen Isolation müssen diese Werkstoffe insbesondere die Dichtung des Sensors bei hohen Druckunterschieden gewährleisten und dürfen nicht durch Materialdehnungen, Temperaturwechselbelastung und Korrosion versagen.

Traditionell werden für die elektrische Isolation keramische Werkstoffe eingesetzt [A5]. Diese dienen oft aufgrund ihrer mechanischen Stabilität auch als Konstruktionswerkstoff für Teile des Sensorkörpers. Nachteile von Keramiken sind Bruchgefahr, Einschränkung in Geometrie und Bearbeitbarkeit sowie mangelnde Füge-techniken. Auch sind nur wenige Keramiken beständig gegen Lösungsmittel bei hohen Temperaturen. Isolierende keramische oder oxidische Beschichtungen metallischer Werkstoffe bieten eine Alternative, allerdings sind diese nicht immer realisierbar (Innenbeschichtung, Konstruktionselemente mit kleinen Durchmessern). Beschichtungen tendieren fernerhin zu Abriss aufgrund unterschiedlicher Dehnungskoeffizienten und zu Problemen mit Abrasion. Eine weitere Alternative zu Keramiken sind Hochleistungspolymerwerkstoffe, wie Polyimid, PEEK [A6] und VITON [A7]. Diese Werkstoffe sind in ihren Eigenschaften vielversprechend, aber auch noch nicht lange auf dem Markt und deshalb für sensorische Anwendungen noch relativ unerforscht. Zu beachten sind Maximaltemperaturen im Bereich 250°C bis 400°C sowie die Lösungsmittelbeständigkeit. Hierzu wurden am FZD bereits erste Voruntersuchungen im Rahmen einer Diplomarbeit vorgenommen, die zu dem Ergebnis kommen, dass Hochleistungspolymerwerkstoffe in Verbindung mit einem geeigneten Sondendesign die gestellten Anforderungen erfüllen können [A8].

Dichtungen, insbesondere bei Verbindungen metallischer und keramischer Werkstoffe werden traditionell mittels Hochtemperatur-Gießharzen, Stopfbuchsentechnik oder Graphitdichtungen realisiert. Während Stopfbuchsen und Graphitdichtungen große Anpressflächen benötigen, die in vielen Sonden nicht realisierbar sind, leiden Hochtemperaturgießharze an Problemen der Einlagerung von Lösungsmitteln sowie kompliziertem plastisch-elastischen Werkstoffverhalten unter erhöhter Temperatur (Verlust der Druckdichtheit teils durch sprödes Verhalten mit Abrisstendenz, teils durch plastisches Kriechen).

Besonders für Sensoren mit dünnen Elektroden (elektrische Nadelsonden, Gittersensoren) können Korrosion und Abrasion zur Beeinträchtigung und zum Ausfall der Sondenfunktion führen. Hier können Beschichtungstechnologien (Plasmainspiration, Sputtering, galvanische Beschichtung) helfen [A9]. Weiterhin ist dem Problem der Wärmedehnung bei hohen Temperaturen Rechnung zu tragen. Für den Gittersensor wurde am FZD eine spezielle Technologie entwickelt, bei der die Elektroden federnd aufgehängt sind [A10]. Diese Technologie sollte derart weiterentwickelt werden, dass durch Verwendung des Federstahlmaterials und der entsprechenden Formgebung die Elektroden mit einer Kompensationsstrecke versehen werden.

Bei optischen Sensoren (Strömungsmikroskop) bestehen zwei wesentliche Probleme, die nach dem bisherigen Stand der Technik nicht gelöst sind. Einerseits betrifft dies die Kapselung des Sensors bei hohen Drücken und Temperaturen (bis 100 bar und 250°C).

Hier ist besonders wichtig, dass ein solcher Sensor im Prozess absolut gasdicht sein muss, um Kriterien des Explosionsschutzes zu erfüllen. Gleichzeitig ist der Betrieb der elektronischen Baugruppen (Beleuchtung, Kamera) bei Temperaturen unter 75°C zu gewährleisten. In verfügbaren Prozessmikroskopen ist dies durch Anbringen dieser Komponenten außerhalb des Prozesssensoreils gelöst. Dies wird mit dem Nachteil erkaufte, dass die Kamera teils einen Meter vom Prozessort entfernt ist [A11]. Dies ergibt einen hohen Lichtverlust im optischen Strahlengang, der es teilweise unmöglich macht, mit sehr kurzen Belichtungszeiten zu arbeiten. Dies erzwingt die Verwendung von Laserlichtquellen, was wiederum zu Problemen mit Interferenzmustern führt (US 5 619 043). Bei dem von FZD patentierten Prozessmikroskop (DE 10 2008 05 87 85) wird dieser Nachteil durch Integration der Kamera in den prozesseitigen Sensoreil und das Integrieren einer Passiv- bzw. Aktivkühlung des Bauteils beseitigt.

II.3 Stand von Wissenschaft und Technik bei ausgewählten Mehrphasensensoren

LOKALE GASGEHALTSMESSUNG

Nadelsonden werden heute oft zur Messung des lokalen Gasgehaltes in Zweiphasenströmungen eingesetzt [A12]. Das Messprinzip besteht in der Erfassung einer physikalischen Größe in einem kleinen Probevolumen an der Spitze der Sonde. Zur Untersuchung von Strömungen sind hauptsächlich Leitfähigkeits-Nadelsonden (Messung der elektrischen Leitfähigkeit), Kapazitäts-Nadelsonden (Messung der elektrischen Kapazität), optische Nadelsonden (Messung des Brechungsindex) und Thermonadelsonden (Messung der Stofftemperatur) bekannt. FZD hat in den letzten Jahren insbesondere Leitfähigkeits-Nadelsonden für den Einsatz in thermohydraulischen Versuchsanlagen, vorrangig für kerntechnische Fragestellungen, entwickelt und eingesetzt. Jüngere Entwicklungen sind kombinierte Temperatur- und Leitfähigkeitsnadelsonden, bei welchen ein Mikrothermoelement in die Sondenspitze integriert ist und so der lokale Phasenanteil und die Temperatur gleichzeitig erfasst werden können [A13]. Ebenfalls wurde eine Nadelsonde zur schnellen Messung der komplexen Permittivität am FZD entwickelt, die für die Phasengehalts- und Stoffkonzentrationsmessung in Dreiphasenströmungen geeignet ist [A14]. Bisher am Markt aktive Anbieter von Nadelsonden (RBI-Instrumentation, F; Kanomax, JP) bieten ausschließlich Sonden für niedrige Drücke und Temperaturen an, die in vielen industriellen Prozessen überschritten werden. Fernerhin ist mit diesen Sonden keine phasenbezogene Temperaturmessung möglich.

FÜLLSTANDSMESSUNG MEHRPHASIGER GEMISCHE

Zur Messung des Füllstands von Flüssigkeiten und Schüttgütern in Behältern gibt es eine Reihe etablierter Messverfahren (unter anderen basiert auf Druckmessung, kapazitiver Messung, optischer Messung, Ultraschall, Mikrowellen und Radiometrie). Bei der Füllstandmessung für mehrphasige Gemische wird noch nach geeigneten Lösungen gesucht, welche sowohl die industriellen Anforderungen erfüllen können als auch die komplexe Füllstandsinformation geeignet erfassen und darstellen können. Zurzeit sind Messverfahren auf Basis von Ultraschall oder Densitometrie mittels Gammastrahlung bekannt [A15]. Die Benutzung von Gammastrahlung ist generell wegen der zum Teil aufwendigen Strahlungsschutzmaßnahmen und hohen Kosten unerwünscht. Ultraschallmessung als Alternative scheitert oft in dichten Emulsionen und Suspensionen, da diese den Ultraschall stark absorbieren.

MEHRPHASENDURCHFLUSSMESSUNG

Die Mehrphasendurchflussmessung stellt ein sehr anspruchsvolles und komplexes messtechnisches Problem dar. Derzeit bekannte Verfahren zur Mehrphasendurchflussmessung unterteilen sich prinzipiell in solche mit Separation der Gemische sowie solche zur Inline-Durchflussmessung in Strömungskanälen. Messverfahren mit Separation sind für den Einsatz in der Prozessindustrie oft ungeeignet. Gründe sind der hohe Platzbedarf für zusätzliche Separationsgefäße, die durch notwendige Absperrarmaturen und Teilstromextraktion erhöhte Komplexität der Messgeräte, sowie die eingeschränkte Echtzeitfähigkeit infolge langer Zeitkonstanten für die Gemischseparation. Derzeit bekannte Anordnungen zur Inline-Mehrphasendurchflussmessung bestehen üblicherweise aus einer Vielzahl von Messinstrumenten, die gleichzeitig verschiedene Parameter der Gemischströmung innerhalb eines Strömungskanals erfassen, sowie aus einer nachgeschalteten Datenverarbeitungseinheit, die aus den gewonnenen Messwerten der Einzelinstrumente Partialvolumenströme bzw. Partialmassenströme des Gemisches berechnet. Bei den meisten Inline-Mehrphasendurchflussmessverfahren werden die Gemischgeschwindigkeit und die Phasenzusammensetzung des Gemisches quasi gleichzeitig erfasst und verrechnet.

Für die Messung der Phasenzusammensetzung nutzen gegenwärtige Systeme sehr oft die Dualenergie-Gammadurchstrahlung oder eine Kombination von zwei der folgenden Verfahren: monoenergetische Gammadensitometrie, Widerstand-/Kapazitätsmessung oder Mikrowellenabsorption [A16]-[A18]. Die Gemischgeschwindigkeit wird in der Regel durch eine Kreuzkorrelationmethode von Signalen aus zwei hintereinander platzierten Sensoren gemessen. Alternativ dazu wird zuerst die Strömung homogenisiert um eine gute Durchmischung der Phasen zu gewährleisten. Dadurch lassen sich aus diesen Messwerten leicht die entsprechenden Gemischgeschwindigkeiten durch beispielweise herkömmliche Venturi- oder Differenzdruck-Durchflussmesser bestimmen. Mit einer zusätzlichen Dichtemessung für die Phasen ergeben sich dann auch die entsprechenden Partialmassenströme. Exemplarisch für Anordnungen zur Mehrphasendurchflussmessung nach den oben beschriebenen Schemata seien die Patentschriften US 2005/0268702, WO 2006 127 527, UK 2 289 766, US 6 993 979, WO 2005/057142, WO 2006/115931 und US 2005/0268702 genannt. Deutliche Nachteile existierender Lösungen bestehen bezüglich der Abhängigkeit der Messgenauigkeit vom Strömungsregime, aufwändiger Kalibrierung und Nutzung radioaktiver Strahlungsquellen.

PROZESSTOMOGRAPHIE

Zunächst ist der Gittersensor selbst ein konzeptionell einfacher tomographischer Strömungssensor zur Visualisierung der Phasenanteile in Mehrphasenströmungen [A29]. Dieser wurde am FZD entwickelt und bereits vielfältig in der Forschung aber auch für industrielle Problemstellungen eingesetzt [A30]-[A33]. Besonderes Leistungsmerkmal ist die hohe zeitliche (bis 10.000 Bilder/s) und räumliche Auflösung (ca. 1 mm) sowie sein einfaches und robustes Design. Ein dringender F&E-Bedarf besteht darin, diesen Sensor für hohe Drücke und Temperaturen, insbesondere im Bereich der Chemie- und Erdölindustrie verfügbar zu machen. Nachteil ist die Strömungsbeeinflussung, die für die Grundlagenforschung manchmal unerwünscht ist, sowie die Nichteignung für Strömungen mit Feststoffanteil.

Als nichtinvasive Tomographieverfahren sind Verfahren mit Röntgen- und Gammastrahlen-CT [A19]-[A21], PET, PEPT und CARPT [A22]-[A23], MRT [A24], elektrische Tomographie [A25], [A26] bekannt. Diese Messverfahren erreichen allerdings keine ausreichend hohe zeitliche Auflösung, oder im Fall der elektrischen Tomographie,

keine ausreichend hohe räumliche Auflösung. Derzeitiger Stand der Technik bei kommerziell verfügbaren schnellen Tomographiegeräten in der Medizin sind das Elektronenstrahl-CT [A27] sowie das schnelle Puls-Echo-MRT [A28]. Sie erlauben maximale Aufnahmezeiten von 50 Bildern pro Sekunde. Neben den sehr hohen Kosten und der speziellen Auslegung dieser Geräte für humanmedizinische Fragestellungen sind die Bilderzeugungsraten noch zu gering für typische strömungsphysikalische Probleme. Für industrielle Mehrphasenströmungen sind Bilderzeugungsraten zwischen 1.000 und 10.000 Bildern bei räumlicher Auflösung im Bereich von ca. 1 mm interessant. Beispiele für schnelle Tomographiescanner sind der von Johansen [A35] für die Erdölindustrie entwickelte Gammastrahlen-Scanner mit fünf ²⁴¹Am Isotopenquellen und einem feststehenden Ringdetektor mit einer Bildaufnahmezeit von bis zu 100 Bildern pro Sekunde. Durch die begrenzte Anzahl von Projektionen ist die Bildqualität der erzeugten Schnittbilder für eine quantitative Messung von Phasenanteilen unzureichend. Schnelle Röntgentomographen mit Bildaufnahmezeit von bis zu 500 pro Sekunde wurde durch Hori [A36] und Misawa [A37] vorgestellt. Die Anordnung besteht aus einer Vielzahl gepulster Röntgenröhren und einem starren ringförmigen Detektor. Neben den sehr hohen Kosten dieses Konzeptes liegen seine hauptsächlichsten Nachteile in der geometrisch kaum variierbaren Messanordnung, einer vergleichsweise hohen Ausfallwahrscheinlichkeit für die diskrete Röntgenstrahler-Anordnung, die geringe Leistung der Röntgenstrahler sowie die unmögliche Erweiterung des Konzeptes auf höhere Röntgen-Energien. Damit sind diese Scannertypen nicht für den industriellen Einsatz geeignet. Derzeit gibt es außerhalb der Medizin derzeit kein kommerziell verfügbares schnelles Tomographiegerät mit Bildaufnahmezeiten von mehr als ein Bild pro Sekunde auf dem Markt.

Seit etwa 2005 wird am FZD die ultraschnelle Elektronenstrahltomographie für Mehrphasenströmungsmessungen qualifiziert [A38]-[A40]. Dabei konnte frühzeitig die prinzipielle Machbarkeit einer CT mit 10.000 Schnittbildern pro Sekunde bei einer räumlichen Auflösung besser als 1 mm demonstriert werden. Demonstriert wurde dies unter anderem an realen Gemischströmungen in Rohrleitungen und Chemiereaktormodellen. Am FZD selbst wurde ein erster experimenteller Versuchsscanner errichtet [A40].

II.4 Vorstellung des Technologieportfolios des FZD

Die Abteilung „Experimentelle Thermofluidodynamik“ am FZD verfügt heute über eine breite Palette an selbstentwickelten Sensoren und Messgeräten zur Vermessung von Mehrphasenströmungen. Der Grund für die Eigenentwicklungen liegt in dem Mangel an geeigneten Sensortechnologien am Markt. Ohne eigene Forschungsarbeit im Bereich der Messtechnik hätte die Abteilung ihre Forschungsaufträge nicht realisieren können. Diese Aktivitäten haben zu einer Reihe hervorragender Ergebnisse bei der Entwicklung neuer Messtechnik geführt, welche international auf großes Interesse und starke Anerkennung stößt. Im Rahmen des mittlerweile im Abschluss befindlichen FORMAT I Projektes wurde eine umfassende Technologie- und Marktbeurteilung über die gesamte Palette von Sensoren und Messverfahren zur Evaluation des Nutzens eines Technologietransfers in die freie Wirtschaft durchgeführt. Die sieben für FORMAT II ausgewählten Sensortechnologien werden in Folgenden kurz beschrieben.

NADELSONDEN ZUR LOKALEN TEMPERATUR- UND PHASENMESSUNG (TEAM 1)

Die FZD-Nadelsonden dienen der lokalen Erfassung der Phasenanteile, Gemischzusammensetzung und zur simultanen lokalen Messung der Temperatur [A13], [A14]. Ihre Einsatzmöglichkeit reicht vom Nachweis bestimmter Stoffanteile, über das Monitoring von Vermischungsprozessen bis zur Detektion von sicherheitskritischen Stoffkonzentrationen und Temperaturexkursionen. Nadelsonden zeichnen sich durch einen vergleichsweise einfachen technologischen Ansatz bei hoher zeitlicher Abtastrate und einfacher Handhabbarkeit aus. Die Datenerfassung erfolgt punktartig an der Spitze der Sonde. Erste Erfahrungen über den Einsatz bei hohen Drücken und Temperaturen liegen vor und haben gezeigt, dass hier ein dringender technologischer F&E-Bedarf besteht. Die FZD-Nadelsondentechnologie ist durch fünf erteilte Patente geschützt (siehe Tab. 3).

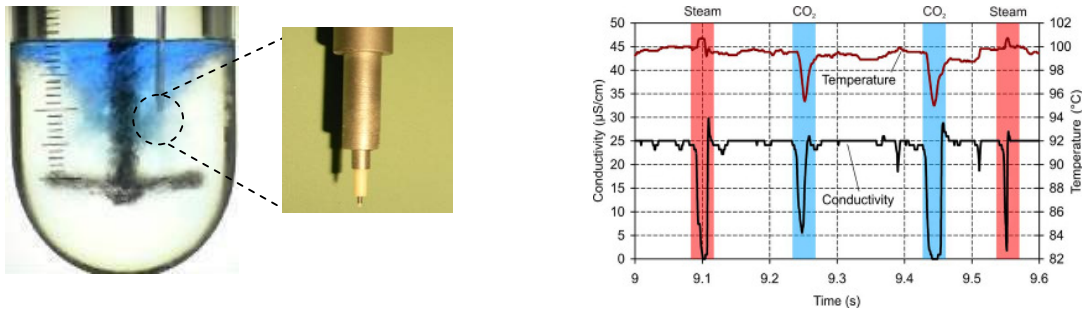


Abb. 3: FZD-Nadelsonde bei Vermischungsuntersuchungen in einem Chemiereaktor (links) und Nadelsondensignale mit Nachweis nichtkondensierbarer Gase in einer Kraftwerksanlage (rechts).

GITTERSENSOREN ZUR ZWEIDIMENSIONALEN PHASENMESSUNG (TEAM 1)

Der am FZD entwickelte Gittersensor ermöglicht die schnelle Erfassung der Gemischzusammensetzung durch eine zweidimensionale elektrische Messung in einen bestimmten Strömungsquerschnitt [A29]. Ein Gittersensor besteht aus zwei in geringfügigem axialem Abstand zueinander angeordneten Drahtebenen in deren Kreuzungspunkten die elektrische Impedanz des strömenden Fluids gemessen wird. Gittersensoren können so Gasgehaltsverteilungen und darüber hinaus Gasgeschwindigkeiten messen [A32]. Kürzlich wurde das Messprinzip durch unsere Arbeitsgruppe in Richtung Kapazitätsmessung erweitert, so dass nunmehr auch eine Messung in elektrisch nicht leitfähigen Fluiden, zum Beispiel Mineralöl, möglich ist [A33]. Die FZD-Gittersensortechnologie ist durch vier erteilte Patente geschützt (siehe Tab. 3).

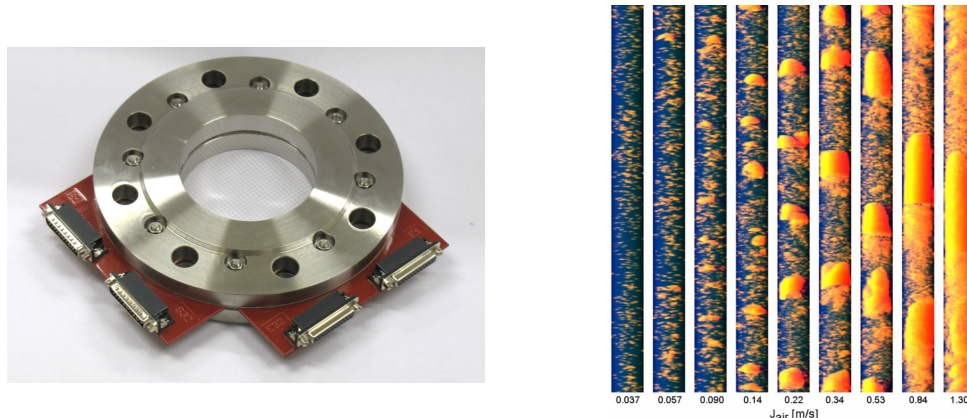


Abb. 4: Gittersensor (links) und 3D-Gittersensor-Bilddaten einer Gemischströmung (rechts).

PROZESSMIKROSKOP (TEAM 1)

Optischer Einblick in Prozesse mittels eines endoskopischen Sensors ist in vielen Bereichen der Prozessindustrie stark nachgefragt. Dazu zählen Fermentation, Elektrolyse Siedevorgänge und Kristallisationen, die Bewertung von Partikelgrößen und –morphologien, beispielsweise in der Polyolefinproduktion, der Nachweis und die Quantifizierung von Ölkolloiden in Wasser in Separationsgefäßen, oder die inline-Überwachung der Zellvitalität in Bioreaktoren. Heutige kommerzielle Industrieendoskope sind nicht für raue Prozessbedingungen geeignet oder verfügen über keine ausreichend starke Blitzbelichtung zur photographischen Aufnahme von Partikeln in schnellen Strömungen. Zur Lösung des letztgenannten Problems wurde bereits vor einigen Jahren am FZD ein optisches Prozessmikroskop mit Pulsbelichtung entwickelt. Für dieses wurde ein spezielles Design für den Einsatz bei hohen Drücken und Temperaturen erarbeitet (DE 10 2008 058785).

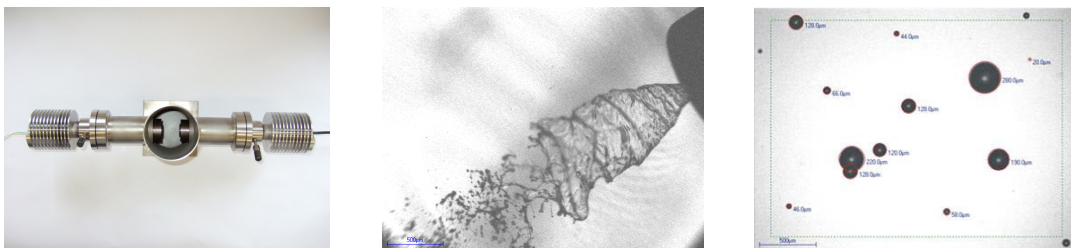


Abb. 5: Prozessmikroskop – Aufbau (links) und exemplarische Aufnahmen eines Sprays (Mitte) und von Mikrogasblasen in einem Polymerreaktor (rechts).

BILDGEBENDE FÜLLSTANDSENSOREN AUF BASIS DES GITTERSENSORS (TEAM 2)

Wird das Elektrodengitter eines Gittersensors auf einer planen Oberfläche angelegt, so lassen sich Phasenverteilungen auf dieser Oberfläche bestimmen. Kürzlich wurde am FZD ein solcher Sensor auf Basis einer Platintechnologie außerordentlich erfolgreich zur Bestimmung transienter Wandbenetzungsphänomene in einer rotierenden Strömungskupplung [A34] und zur Beobachtung von Vermischungsprozessen eingesetzt. Das mit einem solchen planaren Gittersensor realisierbare Prinzip einer schnellen „elektrischen Kamera“ zur Visualisierung von Phasenverteilungen in Gemischen und ist besonders für eine „intelligente“ Füllstandsmessung in Ölseparatoren oder Polyolefinreaktoren interessant, wo ständiger Impulseintrag für eine sich schnell und dauernd ändernde sowie durch Mischzonen geprägte Phasenverteilung sorgt. Durch geeignete Auswertung der Bildinformationen eines bildgebenden Füllstandssensors lassen sich veränderliche Füllstände, Separationsvorgänge, Mischzonen wesentlich besser erfassen und charakterisieren, was in entscheidendem Maße bei der Ableitung von Entscheidungen zur Prozessführung hilft.

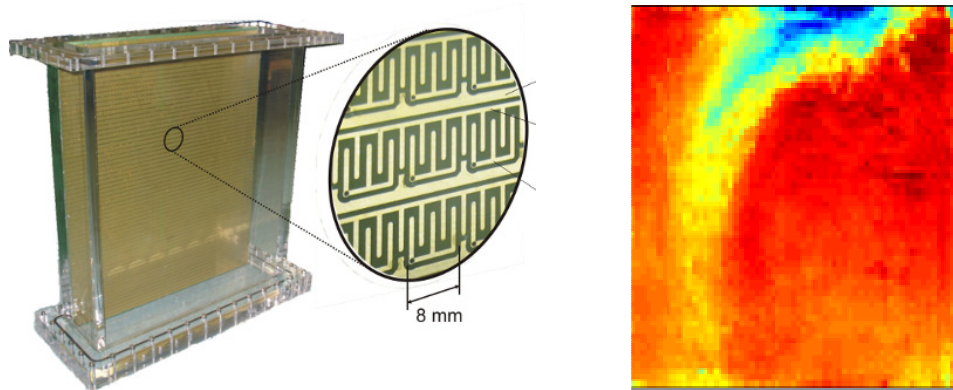


Abb. 6: Planarer Gittersensor und Visualisierung der Vermischung zweier Flüssigkeiten in einem Tank.

TEMPERATURFELDMESSUNG AUF BASIS DES GITTERSENSORPRINZIPS (TEAM 2)

Eine der Erweiterungsmöglichkeiten des Gittersensorprinzips besteht in der Ausstattung der sonst passiven Gitterkreuzungspunkte mit Temperaturwiderständen. Dadurch lässt sich eine zweidimensionale Temperaturfeldmessung realisieren. Der am FZD konzipierte Temperaturgittersensor [A41] (DE 10 2007 019925) stellt eine hochgradig innovative Möglichkeit der bildgebenden Darstellung von Temperaturverteilungen in Strömungsprofilen dar, die mit keinem anderen sensorischen System möglich ist. Einsatzmöglichkeiten bestehen überall dort, wo klassische Wärmebildkameras nicht einsetzbar sind, etwa an schwer zugänglichen Prozessorten wie in Chemiereaktoren oder thermisch isolierten Anlagenkomponenten.

GITTERSENSORBASIERTER MEHRPHASENDURCHFLUSSSENSOR (TEAM 2)

Mehrphasendurchflussmessung ist ein von hohen technologischen und methodischen Problemen gekennzeichnetes, aber industriell auch hochgradig nachgefragtes Messverfahren. In einer freien Mehrphasenströmung gibt es zwischen den Phasen einen Schlupf (Differenzgeschwindigkeit). Dieser macht es unmöglich, nur aus der Phasenverteilung im Querschnitt ohne Kenntnis der Phasengeschwindigkeiten auf volumetrische Phasengehalte zurückzurechnen. Mit dem in DE 10 2008 055032 beschriebenen und von FZD patentierten Sensor wird die Strömung durch einen Kanalkörper geleitet, in welchem ein doppelter Gittersensor eingebracht ist. Der Kanalkörper zwingt die Strömung in eine Kanalkolbenströmung mit vernachlässigbarem Schlupf. Der Doppelgittersensor misst gleichzeitig Phasengehalte und Phasengeschwindigkeiten in den einzelnen Kanälen. Damit lässt sich der Volumenstrom jeder Phase getrennt erfassen. Für diesen Sensor existieren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Industrie, die von einer Bestimmung der Gemischzusammensetzung in Prozessen von der Ölanteilmessung in der Erdölförderung bis hin zur hochgenauen Durchflussmessung in mobilen Betankungsanlagen reichen.

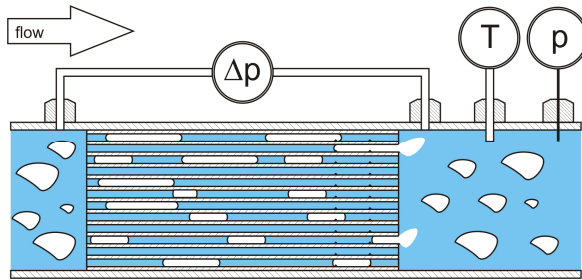


Abb. 7: Prinzip des Mehrphasendurchflusssensors.

ELEKTRONENSTRAHL-PROZESSTOMOGRAPHIE (TEAM 3)

Die Elektronenstrahl-Prozesstomographie ist ein am FZD entwickeltes bildgebendes Messverfahren [A38]-[A40] zur nichtinvasiven Visualisierung von Mehrphasenströmungen. Die Technik ist hinsichtlich der räumlichen und zeitlichen Auflösung (1 mm bei 10.000 Bildern/s) verbunden mit ihrer Nichtinvasivität weltweit einzigartig und wurde bereits von verschiedenen industriellen und akademischen Interessenten nachgefragt. Der Antragsteller hat in den vergangenen Jahren eine erhebliche Kompetenz in Entwicklung und Betrieb dieser Technik erworben und durch eine 200-fache Steigerung der Bildrate gegenüber existierenden Systemen für die Humanmedizin und zerstörungsfreien Prüfung den Einsatz der Technologie in Strömungsuntersuchungen möglich gemacht. Dies gelang durch die Kombination des Elektronenstrahl-Scanverfahrens mit einer speziell entwickelten Detektortechnologie. Das Verfahren des Elektronenstrahlscans ermöglicht eine tomographische Durchstrahlung des Untersuchungsobjektes ohne die sonst üblichen mechanisch bewegten Teile, womit die erforderlichen Abtastgeschwindigkeiten erreicht und die Maschine prinzipiell sehr kompakt für den industriellen Einsatz aufgebaut werden kann.

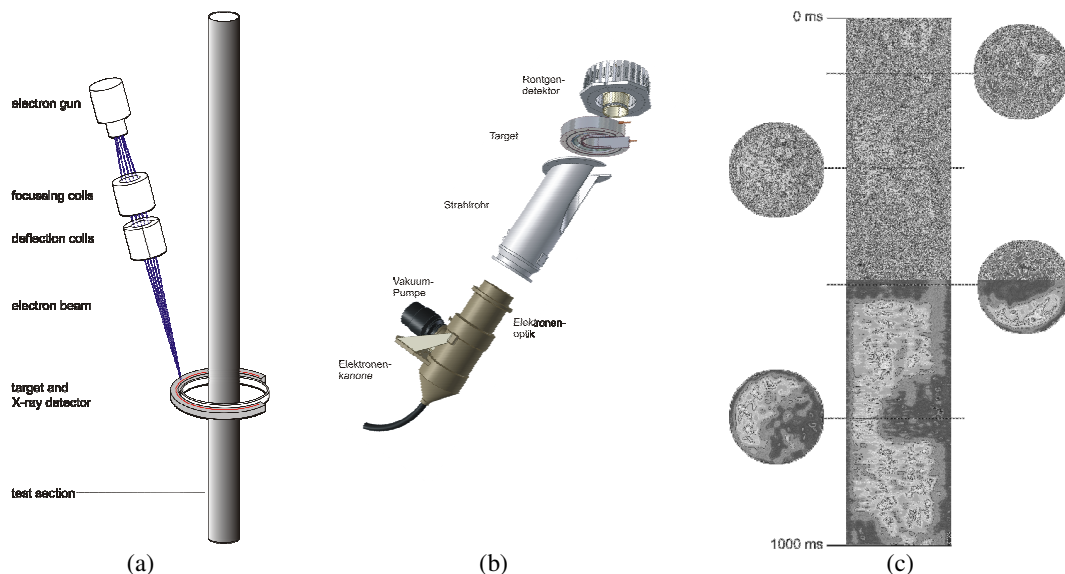


Abb. 8: Elektronenstrahl-Prozesstomographie: (a) Prinzip, (b) Scannerdesign, (c) tomographische Bilddaten einer Wirbelschicht mit Gaseinschlüssen.

WEITERE TECHNOLOGIEN

Zusätzlich zu den hier vorgestellten existieren noch eine Anzahl weiterer am FZD entwickelter Sensoren und Messverfahren, die im Rahmen von FORMAT I bewertet wurden, aber aus verschiedenen Gründen in FORMAT II keine Berücksichtigung finden. Gründe waren eine nicht sicher erkennbare Fokussierung auf bestimmte Zielprozesse, die damit verbundenen Unsicherheit bei Design und technologischer Umsetzung der Konzepte, aber auch genügend weit fortgeschrittene technische Entwicklung bzw. ein relativ begrenztes wirtschaftliches Verwertungspotenzial. Zu den nicht weiter verfolgten Sensorkonzepten zählen:

- Gittersensorbasierte Geschwindigkeitsfeldmessung
- Mehrkanalige Temperaturmessstellenerfassung
- Optische Tomographie
- Gammatomographie und -densitometrie
- Autonome Prozesssensoren

Die nachstehende Abbildung gibt eine zusammenfassende Übersicht über das Portfolio aller oben beschriebenen und für FORMAT II vorgesehenen Sensorkonzepte.

Sensor-konzepte	Visualisierung & Messung von						
	Nadelsonde	Gittersensor	Temperaturfeldmessung	Mehrphasendurchflusssensor	Bildgebender Füllstandssensor	Prozessmikroskop	Elektronenstrahl- Prozess tomographie
Phasenverteilung & Grenzflächen	X	X			X	X	X
Temperatur	X		X				
Füllstand					X		
Feuchte					X		
Phasenspezifische Geschwindigkeit				X			
Phasenspezifischer Durchfluss				X			
Mikropartikeln und -blasen						X	
Weitere Schlüsselparameter							
Invasiv	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
Dimension der Messgröße	1D	2D 3D	2D 3D	1D	2D	2D	2D
Vorraussichtlicher Systempreis in T€	5	30 bis 70				1500 - 2500	

Tab.1: Charakterisierung der ausgewählten Sensorkonzepte.

Durch das Portfolio wird die Erfassung der wichtigsten prozesstechnischen Größen für Anwendungen, für die im mehrphasigen Bereich noch keine Lösung existiert abgedeckt. Fokus wird den bildgebenden Verfahren, als den durch die Prozesssensor-Roadmap (NAMUR) [B2] ausdrücklich als notwendig und innovativ erkannten Messverfahren gegeben.

II.5 Patentschutz und Mitbewerber

Wie bereits ausführlich im Stand von Wissenschaft und Technik geschildert, gibt es im Bereich der Mehrphasen-Prozesssensorik derzeit nur wenige Anbieter von kommerzieller Messtechnik. Bei den für FORMAT II zur Weiterentwicklung vorgesehenen Messverfahren und Sensortechniken werden im Wesentlichen nur Nadelsonden und Prozessmikroskope in geringem Umfang angeboten. Für beide Sensortypen ist ein Mangel an Sonden für extreme Einsatzbedingungen, speziell hohe Drücke und Temperaturen, zu verzeichnen. Lediglich optische Nadelsonden mit Saphirspitzen werden für extreme Umgebungsbedingungen angeboten. Diese beschränken sich aber auf optisch erfassbare Prozessgrößen und sind nicht in der Lage, beispielsweise die Fluidtemperatur zu messen oder mehrere Substanzen zu diskriminieren, was mittels elektrischer Impedanzmessung möglich ist. Bei der Gittersensortechnik und bei sämtlichen in Projekt 2 geplanten Sensorentwicklungen verfügt FZD mit den vorhandenen Schutzrechten über ein Alleinstellungsmerkmal, welches Mitbewerber zurzeit ausschließt. Bei Mehrphasendurchflussmessung sind andere technische Lösungen (zum Beispiel Roxar, Schlumberger) zu nennen, welche durch hohe Kosten, Nutzung von radioaktiven Quellen und moderate Messgenauigkeit gekennzeichnet sind. Hier möchte der Antragsteller mit seinem sensorischen Konzept zu einer deutlichen Verbesserung der Messtechnik beitragen. Von Seiten der Firma Roxar (Norwegen) wurde hierzu Kooperationsinteresse bekundet. Bei mehrphasentauglichen Füllstandsensoren gibt es derzeit keine vergleichbare technische Lösung, ebenso nicht für die Elektronenstrahl-Prozessstomographie. Bei letzterer verfügt FZD wieder über international anerkannte Alleinstellungsmerkmale. Die folgende Tabelle gibt in Ergänzung zu den obigen Aussagen noch einen Überblick über wichtige Anbieter von allgemeiner Strömungs- und Prozessmesstechnik, die mittelbar zu den vom Antragsteller vorgeschlagenen Sensorkonzepten in Verbindung stehen.

Technologie	Anwendungsgebiete	Anbieter	Bemerkungen
Standard-Prozessmesstechnik (Druck, Temperatur, Füllstand, Durchfluss)	Chemieverfahrenstechnik im Allgemeinen Umwelttechnik Kraftwerkstechnik	Endress & Hauser (DE), Siemens (DE), AkerSolutions (NO) Nivus (DE), Aalborg Instruments (US), Flexim (DE), Yokogawa (JP)	Ausschließlich einphasige Messung möglich
Mehrphasendurchflussmessung	Verfahrenstechnik Öl- und Erdgas (Förderung und Verarbeitung)	Roxar (NO), Cameron (US), Schlumberger (UK)	Nutzung von radioaktiven Quellen; starker Einfluss des Strömungsregimes, hoher Preis
Elektrische Tomographie	Verfahrenstechnik Öl- und Erdgas Umwelttechnik Pharmaindustrie	ITS (UK), PTL (UK)	Bildgebende tomographische Messverfahren, ungenügende Ortsauflösung
Optische Strömungsvermessung (PIV, LDA)	Akademische und industrielle Forschung und Entwicklung,	TSI (US), Dantec (DN), LaVision (D)	komplexe Messverfahren; daher vorrangig Nutzung im wissenschaftlichen Bereich (Strömungslabors), nicht für hohe Drücke und Temperaturen geeignet
Nadelsonden	Akademische und industrielle Forschung und Entwicklung	rbi-instrumentation (FR), Kanomax (JP)	Optische Nadelsonden, nicht prozesstauglich
Prozessmikroskop	Verfahrenstechnik Umwelttechnik Pharmaindustrie	Mettler Toledo (US), Aello (DE)	Nicht für hohe Drücke und Temperaturen geeignet

Tab. 2: Übersicht über mögliche Mitbewerber und deren Sensorportfolio.

Weiterhin wurde mittels einer umfangreichen Patentrecherche analysiert, inwiefern sich vergleichbare Ansätze zur Messung in Mehrphasenströmungen in der Entwicklung befinden. Auch hier bestätigte sich die Alleinstellung des Antragstellers. Da die Entwicklungen des FZD selbst durch zahlreiche Patente geschützt sind, sind somit der „freedom to operate“ und die Alleinstellung auf dem potenziellen Markt klar gegeben.

Patent-Cluster	Patentnummer	Länder der Anmeldung	Tag der Anmeldung
Gittersensor	EP000000941472B1	DE, EP, JP, US, WO	27.11.1996
	DE102007019926B4	DE, WO	27.04.2005
	WO002006114081A3	DE, EP, US, WO	28.04.2005
	WO002007121708A1	DE, EP, WO	18.04.2007
Temperatur-Gittersensor	DE102007019925A1	DE	27.04.2007
Nadelsonde	DE000004493861C1	DE, CZ, RU, WO	09.06.1994
	DE000019704494C2	DE	07.02.1997
	DE000019704609C2	DE	07.02.1997
	DE000010012938C2	DE, WO	16.03.2000
	EP000001929262B1	DE, AT, EP, WO	12.09.2006
Prozessmikroskop	DE 102008058785.0	DE	24.11.2008
Mehrphasen-durchflussmesser	DE 102008055032.9	DE	19.12.2008
Elektronenstrahl-Prozestomographie	DE000010356601A1	DE	04.12.2003
	WO002008101470A1	DE, WO	12.02.2008
	DE 102009002114.0	DE	01.04.2009

Tab. 3: Für das Innovationslabor relevantes Patentportfolio des FZD.

III Bewertung des Marktpotenzials

III.1 Makroskopische Markt Betrachtung

Für die Gewinnung globaler marktrelevanter Informationen über Prozesssensorik der anvisierten Branchen wurden in erster Linie zahlreiche weltweite und europaweite Marktstudien von Frost & Sullivan über Sensortechnik für unterschiedliche Marktsegmente wie Chemie, Petrochemie und Verfahrensindustrie herangezogen. Generelle technologische Anforderungen und Trends des Marktes konnten aus den von NAMUR und ZVEI verfassten Roadmaps gewonnen werden [B1], [B2]. Zusätzlich lieferte insbesondere die Fachzeitschrift „Chemie Technik“ in ihren vielfältigen Fachartikeln quantifizierte Aussagen über Probleme, Bedarfe und Trends dieses Marktsegmentes. Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Analyse des Marktvolumens, Marktpotenzials und der wirtschaftlichen Bedeutung neuer Sensortechnologien dargestellt.

Sensoren sind essenzielle Bestandteile in allen Arten technologischer Anlagen jeder Art und Größe. Sie sind meist wichtiger Bestandteil von Automatisierungssystemen, welche wesentliche Treiber der Arbeitsproduktivität, der industriellen Wertschöpfung und des gesellschaftlichen Wohlstandes sind. Angegeben werden 25 Mrd. USD Marktvolumen bei kontinuierlichem Wachstum von 6,3% p. a. für die Sensortechnik.

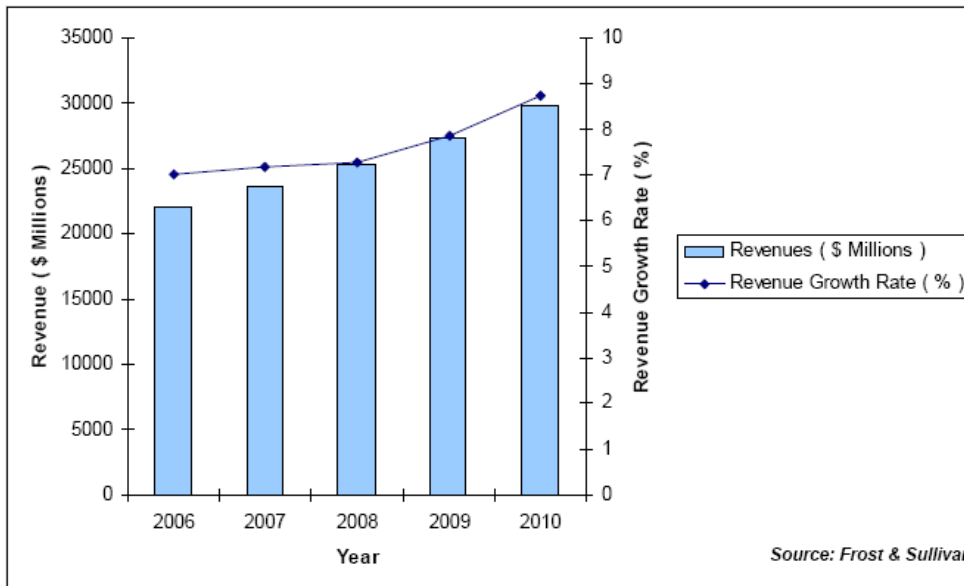


Abb. 9: Weltweites Marktvolumen der Sensortechnik 2006-2010, [B3]

Die relevanten Segmente „Temperature“ und „Flow“ machen zusammen 35% des Weltmarktes an Sensortechnologien, also derzeit 12,25 Mrd USD aus. Davon entfallen mit 24% allein auf den europäischen Sektor 2,94 Mrd USD. Diese Angaben veranschaulichen in etwa die Größe und die Bedeutung des Marktes, auf den sich der Antragsteller im Zuge der Verwertung seiner angestrebten Produkte begeben wird.

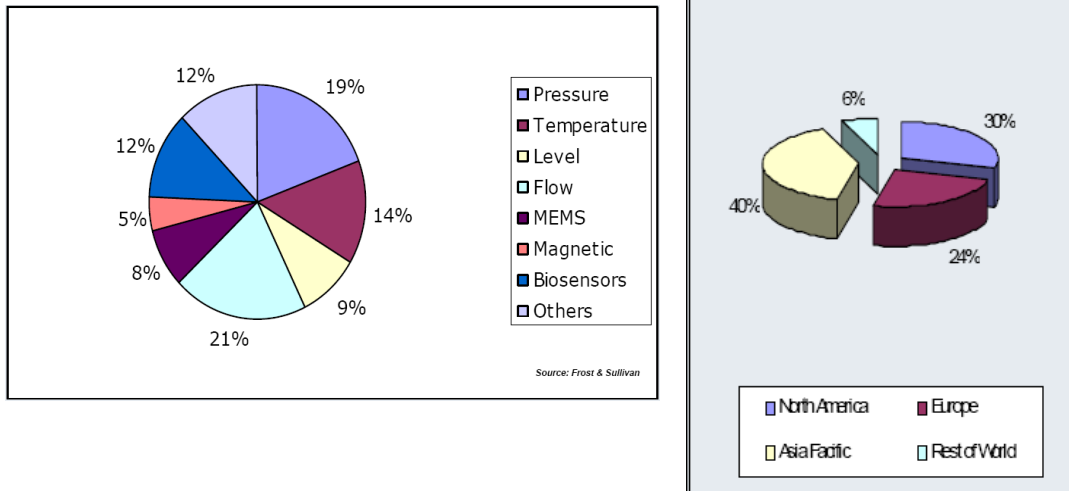


Abb. 10: Marktanteil der einzelnen Segmente und Regionen am Gesamtmarkt der Sensortechnik [B3].

Eine Quantifizierung nach Branchensegmenten der Abnehmer ist insofern schwierig, da die potenziellen Abnehmer für Strömungs- und Temperaturmesstechnik sehr breit gestreut sind. Es lassen sich jedoch zentrale Segmente identifizieren, in denen der Antragsteller besonders breite Verwertungsansätze sieht. Als Ausgangspunkt lässt sich wieder eine quantifizierte Übersicht von Frost & Sullivan über den kompletten Sensormarkt verwenden. Die für die Prozesssensoren besonders relevanten Marktsegmente sind zusätzlich vom Antragsteller hervorgehoben worden.

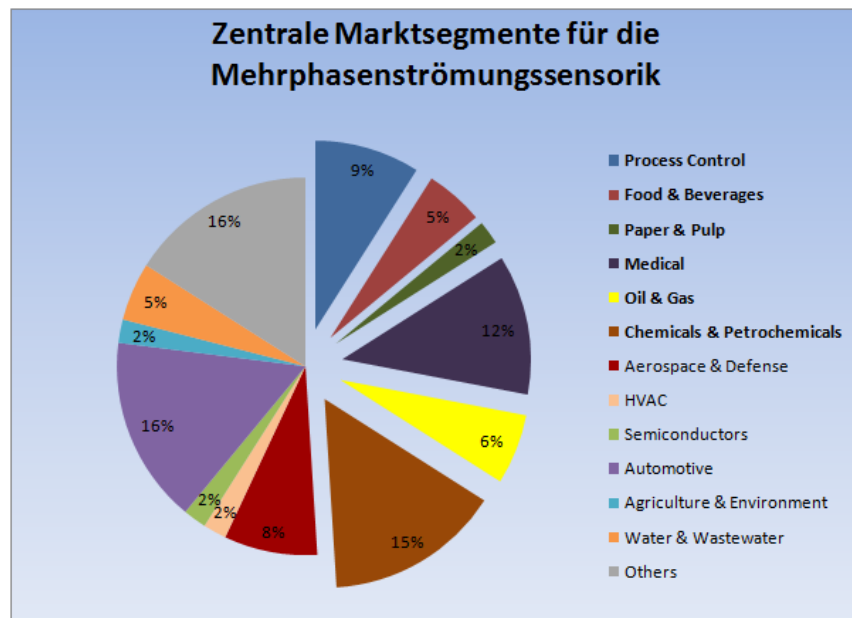



Abb. 11: Zentrale Marktsegmente für die Mehrphasenströmungssensorik [B4].

Allen Segmenten ist gemein, dass von den Endkunden hohe Genauigkeiten, robuste, verschleißfreie und wartungsarme Sensoren sowie bedienerfreundliche Geräte verlangt werden. Diese Forderungen spiegeln sich deutlich in der Zusammenstellung der Arbeitspakete des Antragstellers wider.


Um das Marktpotenzial der angestrebten Innovation einschätzen zu können, sind zusätzlich zur Basis „Marktvolumen“ Erkenntnisse über Trends und offene Forderungen seitens der Endnutzer notwendig. Mit diesem Thema hat sich die Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie - abgekürzt NAMUR – intensiv beschäftigt. Im Ergebnis der Untersuchungen entstand eine „Technologie-Roadmap Prozesssensoren 2005-2015“ [B2], welche in der Liste der acht identifizierten Hauptziele klare Forderungen nach der Erfassung der „räumlichen Verteilung von Prozessdaten“ und der Erkennung von „Grenzflächen oder Phasen“ definiert. Genau an diesen Schwerpunkten setzen die Sensorkonzepte des Antragstellers an. Eine Verwertung der Forschungsergebnisse folgt aktuellen Trends und Forderungen in der Industrie bei hoher wirtschaftlicher Bedeutung auf einem bedeutenden Markt.

Die acht Kernthesen


- I. **Neue Prozess-Sensorik wird nicht nur bei Neuanlageninvestition sondern zunehmend auch zur weiteren Optimierung bestehender Anlagen eingesetzt.**
- II. **Die neuen Anforderungen an die Prozess-Sensorik bestehen nicht mehr nur in der Erfassung von Prozessinformationen sondern in der Erfassung von Zwischen- und Trendinformationen zu Produkteigenschaften wie stoffliche Zusammensetzung zu Regelzwecken.**
- III. **Bei den Prozessdaten bestehen für spezifische Applikationen Forderungen nach höherer Genauigkeit.**
- IV. **Es sind Informationen über die räumliche Verteilung von Prozessdaten gewünscht.**
- V. **Die Ermittlung von Grenzflächen oder -phasen ist eine lange bestehende Forderung.**
- VI. **Es gibt einen Trend zu Bioprozessen, auch für bisher konventionell chemisch hergestellte Produkte.**
- VII. **Eine prozessstaugliche Zielproteinanalyse für Bioprozesse wäre revolutionär.**
- VIII. **Es besteht die Notwendigkeit, Sensoren für die Mikroverfahrenstechnik zur Verfügung zu stellen.**



VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik



NAMUR



Fraunhofer
IPT
Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung

Abb. 12: Kernthesen der NAMUR Technologie-Roadmap Prozesssensoren 2005-2015 [B2].

III.2 Mikroskopische Marktanalyse einzelner Sensorkonzepte

Im Rahmen des Potenzialscreenings des FORMAT I Projektes sind die aufgeführten Sensortechnologien einzeln auf ihr Technologie- und Marktpotenzial hin untersucht worden, um die für die zweite FORMAT-Phase geeigneten Konzepte zu identifizieren. Zu diesem Zweck hat der Antragsteller intensiven Direktkontakt mit zahlreichen Firmenvertretern verschiedenster Branchen aufgenommen. Außerdem wurden die in der Makrobewertung gewonnenen Informationen durch Kolloquienteilnahmen ([B9], [B10], [B7], [B8]) und Messe- und Firmenbesuchen untermauert und weiter vertieft. Es wurden in ausführlichen Gesprächen mit über 30 Firmen unterschiedlichster Anwendungsgebiete Fragen zur jeweiligen technologischen Eignung der Sensoren und damit verbundene Anforderungen erörtert, notwendige F&E-Bedarfe abgeleitet, Einsatzmöglichkeiten eruiert, aber auch wirtschaftliche Aspekte wie Absatzmengen und Preisspannen diskutiert. Eine vertiefte Patent- und Wettbewerbsanalyse zur Verifizierung des „freedom to operate“ runden die Informationsbeschaffung ab. Folgende Absätze geben einen kurzen Überblick über die Ergebnisse der Marktanalyse sowie ausgewählte Anwendungsbeispiele für jede Sensortechnologie.

III.2.1 Marktanalyse: Sensortechnologien für extreme Einsatzbedingungen

Prozesse der Energie-, Chemie-, Umwelt- und mechanischen Verfahrenstechnik sind häufig durch extreme Prozessbedingungen charakterisiert. Eine der Aufgaben der persönlichen Interviews des Antragstellers war die Identifikation konkreter Anforderungen an die Messtechnik durch den Markt und die Qualifizierung deren Bedeutung für die Marktattraktivität unserer Sensoren. Aus den Gesprächen ergaben sich folgende Anforderungen:

- hohe Drücke (Betriebsdruck, Spitzendrücke) bis 300 bar
- hohe Temperaturen (typischerweise bis 250° in vielen Bereichen der Chemieverfahrenstechnik, bis 600°C in der Kraftwerkstechnik)
- teils aggressive Medien (Säuren, Korrosion)
- teils schlechte Zugänglichkeit des Prozessortes (große Kolonnen, Reaktoren, ummantelte Bauteile)
- sehr häufig ist mit starken Temperaturwechselbelastungen zu rechnen

Eine hohe Standzeit und Zuverlässigkeit der Sensoren sind ein entscheidendes Kaufkriterium, welches den Kaufpreis deutlich überwiegt. So liegen aktuell die Kosten für Wartung der Messtechnik mit 83% der Total Cost of Ownership mit Abstand vor den Kosten der Anschaffung (10%) [B7]. Aus diesem Grund wird ein eigenständiges Team geeignete Materialien, Materialverbindungen, materialgerechte Designs und Fertigungstechnologien untersuchen, entwickeln und erproben.

Die Nadelsonde und das Prozessmikroskop sind durch wiederholten Einsatz in wissenschaftlichen Experimenten erprobt, so dass die Funktionalität der Sensoren bereits gegeben ist. Die **Nadelsonden** haben sich in den Gesprächen vor allem im Sektor der Chemieverfahrenstechnik ([C1], [C3], [C8]) als eine häufig geeignete Alternative zum Gittersensor erwiesen. Dies ist zum Beispiel bei sehr großen Gefäßquerschnitten (Rohrleitungen, Reaktoren), wo die Applikation eines Gittersensors schwierig wird oder an Stellen wo der Datenbedarf des Kunden gering ist. Die Vorstellungen der befragten potentiellen Kunden beliefen sich meist auf den Einsatz einer Vielzahl von Nadelsonden an

verschiedenen Punkten zur Erstellung eines räumlich verteilten Datensets. Die besonders einfache Handhabbarkeit und der relativ niedrige Preis der Nadelsonde werden den zukünftigen Verkaufsprozess offensichtlich sehr vereinfachen und einen Absatz in großen Stückzahlen ermöglichen.

Gittersensoren sind vor allem für Grundlagenuntersuchungen in industriellen F&E-Abteilungen aber vor allem in der Erdölförderung von Interesse [C1], [C17], [C18], [C22]. Ihr Einsatz ist auf Gas-Flüssigkeits-Strömungen beschränkt. Die von Gittersensoren erreichten hohen räumlichen und zeitlichen Auflösungen in der Strömungsabbildung machen sie zu unikalen Messinstrumenten mit einem angemessenen Verkaufserlös.

Das **Prozessmikroskop** eignet sich vor allem zur Bestimmung von Anzahl und Größe von Mikropartikeln. Dies ist zum Beispiel bei der Produktion von Polyolefinen relevant [C13]. Polyolefine wachsen auf sehr kleinen Katalysatorpartikeln. In Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Größe und Anzahl der Partikel müssen im Prozess bestimmte Parameter nachgeregelt werden. Derzeit beruht die Regelung noch auf Erfahrungswerten. Eine exaktere Steuerung durch den Einsatz der Sensortechnik würde die Effizienz des Prozesses erheblich steigern. Die Jahresproduktion der 15 größten Polyolefinhersteller beträgt derzeit 64,4 Mio Tonnen pro Jahr. Ein Reaktor produziert durchschnittlich 2,5 Tonnen pro Jahr. Es könnten bis zu zehn Prozessmikroskope zur Prozesssteuerung pro Reaktor zum Einsatz kommen. Bei einer Lebensdauer von ca. fünf Jahren je Prozessmikroskop ergibt sich überschlägig ein Jahresabsatz von 50 Prozessmikroskopen für diese eine Anwendung. Hinzu kommt ein zusätzlicher Bedarf im Technikum.

III.2.2 Marktanalyse: Neue Messverfahren auf Basis der Gittersensortechnologie

Das Gittersensormessprinzip soll funktionell zur bildgebenden Erfassung der Prozessgrößen Mehrphasendurchfluss, Temperatur und Füllstand erweitert werden. Damit werden unikale Prozesssensoren für Mehrphasenströmungen geschaffen.

Eine **Temperaturmessung** wird überall dort eingesetzt, wo die Temperatur entweder eine steuerungs- oder sicherheitsrelevante Größe für den Prozess darstellt. Dies ist hauptsächlich in den Anlagen der Verfahrenskemie oder der Energietechnik der Fall. Jedoch sind dies nicht die einzigen Anwendungsgebiete. Weitere Beispiele sind Verbrennungsanlagen, Hochtemperaturbrennstoffzellen, Trocknungsanlagen sowie thermisch isolierte Anlagenkomponenten, die starken Temperaturwechselbelastungen ausgesetzt sind und daher überwacht werden müssen. Hier liegt bereits eine direkte Anfrage der Fa. Vattenfall Europe zur Überwachung von Einspeisearmaturen in Kernkraftwerken vor. In Chemiereaktoren kann es zu sicherheitskritischen Prozessexkursionen (Hotspots, Runaways) kommen, welche durch einzelne lokale Temperaturmessstellen nicht sicher erfasst werden können. Ein echtes Prozessmonitoring ist ausschließlich über eine **mehrdimensionale Temperaturmessung** möglich, welche mittels konventionellen Wärmekameras aufgrund von Beschränkungen deren Prozesstauglichkeit nur selten realisiert werden kann.

Füllstandssensoren sind in vielen Bereichen der Chemie und Lebensmittelchemie vorzufinden. Trotz zahlreicher kommerzieller Lösungen zeigte das Gespräch mit Industrievertretern durchgängig Unzufriedenheit gegenüber bestehenden Lösungen im Falle mehrphasiger Stoffsysteme, insbesondere bei Emulsionen, Suspensionen und Schäumen. Das Gittersensorprinzip ist ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieser Probleme mit Absatzmöglichkeiten in sehr hohen Stückzahlen. Weiterhin ist aufgrund der technischen Überlegenheit eines intelligenten, bildgebenden Füllstandssensors eine

Marktführerschaft durchaus denkbar. Interviews mit der Fa. Roxar (Messgeräte für die Erdölförderung) und dem norwegischen Ölkonzern StatoilHydro zeigten den Bedarf sowie ein enormes Interesse am Einsatz einer solchen Technologie in Ölseparatoren [C17], [C18]. Dadurch kann schnell erkannt werden, wann der Förderpunkt zu wenig Öl liefert und daher geschlossen werden muss. Der Förderprozess ist äußerst ressourcenintensiv und kostspielig. Eine genauere Feststellung des Schließungspunktes einer Pumpe würde erhebliche Kosten einsparen. Dieses Thema wird außerdem insofern immer relevanter, da mit dem Rückgang der Ölreserven immer kleinere Quellen mit geringeren Förderzeiten erschlossen werden müssen. Weltweit liegt das Potenzial hier bei mehr als eintausend Ölseparatoren, die mit dieser Technologie instrumentiert werden können. Weiterhin ergab ein Gespräch mit der Firma LyondellBasell [C13], weltweit einer der größten Polyolefinproduzenten, ein großes Interesse an dieser Technologie zur Füllstandsüberwachung in Polyolefinreaktoren. Hier liegt der Markt bei über 300 instrumentierbaren Reaktoranlagen weltweit.

Die Quantifizierung von Phasenanteilen in Strömungen mittels **Mehrphasendurchflussmessung** ist ein bis heute ungenügend gelöstes Problem. Kommerzielle Mehrphasendurchflussmesser (Roxar [C17], Schlumberger) erfordern eine schwer zu erreichende Gemischhomogenisierung, sind von Einbaulage und Prozessparametern stark abhängig, nutzen risikoreiche radioaktive Strahlung zur Messung, sind teuer und erreichen Messgenauigkeiten von höchstens 10% im Phasenanteil. Das am FZD entwickelte Prinzip eines gittersensorbasierten Mehrphasendurchflussmessers stieß bei den besuchten Industrievertretern auf enormes Interesse. Hauptanwendungsgebiete sind die Ölindustrie (direkte Interessenbekundungen von Roxar [C17], StatoilHydro [C18], Petrobras und Shell) aber auch Betankungsfahrzeuge (Fa. Haar Hamburg) und Gasdetektion in Chemieanlagen (Choren Industries GmbH, [C3]). Bei der genauen Durchflussmessung in Betankungsanlagen, besteht ein außerordentlich hoher Bedarf, da der Kunde den Flüssigkraftstoff, nicht aber eventuell mitgerissenes Gasvolumen bezahlen möchte. Der Antragsteller sieht hier ein erhebliches Umsatzpotenzial bei guter bis sehr guter Zahlungsbereitschaft.

III.2.3 Marktanalyse: Elektronenstrahl-Prozessstomographie

Das Team 3 „Elektronenstrahl-Prozessstomographie“ soll die Grundlagen für eine industriell einsetzbare, nichtinvasive Prozess- und Strömungsvisualisierung auf Basis der Elektronenstrahl-CT schaffen. Neben dem heute bereits nachgefragten Einsatz als Visualisierungstool zur Grundlagenforschung in Laboren und Technikumsanlagen (etwa beim Design neuer Chemieraktortypen), besteht die Vision, dieses Verfahren auch für inline-Prozessanwendungen, etwa zur hochgenauen Mehrphasendurchflussmessung in ausgewählten Rohrsektionen von Ölförderanlagen oder zur Femdkörperdetektion in der Nahrungsmittelproduktion zu qualifizieren. Fernerhin besteht ein nicht zu unterschätzendes Potenzial in der Kleintierbildgebung, nach erfolgreicher Entwicklung eines universellen Prozessstomographiescanners mit Hilfe von Partnern aus der Kleintierforschung in Zukunft erschlossen werden kann.

Die Prozessstomographie ist ein hochpreisiges und leistungsstarkes Verfahren zum Monitoring mehrphasiger Stoffströme für spezielle Anwendungen. Mit dieser Technologie sollen hohe Umsätze mit wenigen Verkäufen mit besonderem Nutzenpotenzial für den Kunden realisiert werden. Interesse an einer Anwendung im industriellen Forschungslabor bzw. in Großversuchsanlagen wurden von StatoilHydro, Petrobras, AREVA GmbH, SINTEF (NO) und LyondellBasell geäußert. Tomographische Verfahren verfügen zudem

über ein enormes Einsatzpotenzial zur Fremdkörperdetektion in der Lebensmittelherstellung. Trotz intensivster Anstrengungen sind immer noch 6% aller Lebensmittelproben mit unzulässigen Stoffen und Partikeln, z. B. Metallspänen von Schneidwerkzeugen oder Glasbruch belastet [B8]. Der Einsatz dieser Technologie zur Fremdkörpererkennung in Schüttgütern in Fallrohren ist ebenfalls praktisch gefragt. So bestätigte die Firma S+S Separation and Sorting Technology GmbH [C20], dass für derartige Anlagen ein Bedarf von 500 Stück pro Jahr gegeben ist. In der Lebensmittelindustrie stieß das tomographische Verfahren besonders bei der gewichtsgenauen Produktzerlegung und der Wasseranteilbestimmung auf Interesse (Sartorius AG). Im Bereich der Kleintierbildgebung gibt es in Deutschland mehrere hundert Kleintierlabore, für die die Anschaffung eines schnelleren CTs relevant ist.

IV Vorgehen zur Entwicklung von Verwertungskonzepten sowie zum Aufbau des Innovationslabors

IV.1 Aufbau und Organisation des Innovationslabors

Ein wichtiges Ziel im Rahmen des FORMAT-Projektes ist die Schaffung geeigneter nachhaltiger Strukturen am FZD zur Förderung der Findung und Verwertung zukünftiger Technologieideen. Dafür sollen gewonnene Erkenntnisse aus dem Projektverlauf und gebildete Netzwerke und Architekturen so erhalten und fortgeführt werden, dass auch zukünftige Projekte diese aufgreifen und effizient nutzen und umsetzen können. Das Innovationslabor wird vorhandene Strukturen und Netzwerke am FZD nutzen aber auch Kontakte nach Außen, insbesondere zur Industrie und zu Verbänden, um eine markt- sowie regional orientierte Entwicklung zu stärken und deren Verwertung zu motivieren.

Während der Potenzialscreening-Phase (FORMAT I) gelang durch die Zusammenarbeit verschiedener Fachbereiche eine starke interdisziplinäre Vernetzung der beteiligten Wissenschaftler. Gleichzeitig stärkte die Einbindung des Wirtschaftsingenieurabsolventen das Projektteam bezüglich einer Ausrichtung an nachfrage- und verwertungsorientierter Konzeptentwicklung. So wurden regelmäßig durch Arbeitstreffen aller Beteiligten u. a. technologische Herausforderungen gemeinsam erörtert, um effiziente Lösungen zu erarbeiten und gleichzeitig wirtschaftliche Verwertungschancen zu identifizieren. Diese bewährte Strategie soll auch in Phase II fortgeführt und spezifisch weiter vertieft werden. So ist weiterführend vorgesehen, über Kontakte zu etablierten Firmen fortlaufend detaillierte Informationen zu Anforderungen zukünftiger Kunden an die zu entwickelnden Produkte und Prozesse zu gewinnen und so eine Kompatibilität der Entwicklungen und somit wirtschaftlichen Erfolg bei der Einführung in den Markt zu sichern.

Das Kernteam umfasst die Projektleitung, die betriebswirtschaftliche Projektbetreuung sowie die drei genannten Projektteams. Die Projektleitung wird Herr Dr. Hampel übernehmen. Herr Hauptmann ist Absolvent des Wirtschaftsingenieurwesens. Er hat das Team bereits in FORMAT I begleitet und besitzt daher sehr gute Voraussetzungen um die wirtschaftliche Projektbetreuung in FORMAT II fortzuführen.

Die Infrastruktur am FZD bietet optimale Bedingungen für die Durchführung der geplanten F&E-Arbeiten. Dies betrifft Werkstätten, Fertigungszentren, ein Netz von Auftragnehmern, Versuchsanlagen, Labors und Kalibriereinrichtungen, Büroarbeitsplätze, Entwicklungssoftware, Seminarräume und Bibliothekszugang, aber auch Unterstützung in der Projektbetreuung und -verwaltung.

Um die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit der Verwertungskonzeption zu sichern, wird ein ständiger vitaler Kontakt zu wichtigen Partnern gepflegt. Auf betriebswirtschaftlicher Ebene wird das Vorhaben durch die Initiative Dresden exists unterstützen. Dresden exists besitzen vielfältigste Kontakte zu möglichen Finanziers sowie eine langjährige und breite Erfahrung in den Bereichen Technologietransfer und Gründung. Auf der technisch wissenschaftlichen Ebene werden sich die Teammitglieder über das „Sächsische Netzwerk Messtechnik & Sensorik“ und dem Arbeitsausschuss „ProcessNet“ über neueste Erkenntnisse und Trends in der Mess- und Anlagentechnik informieren und relevante Industriekontakte knüpfen und pflegen.

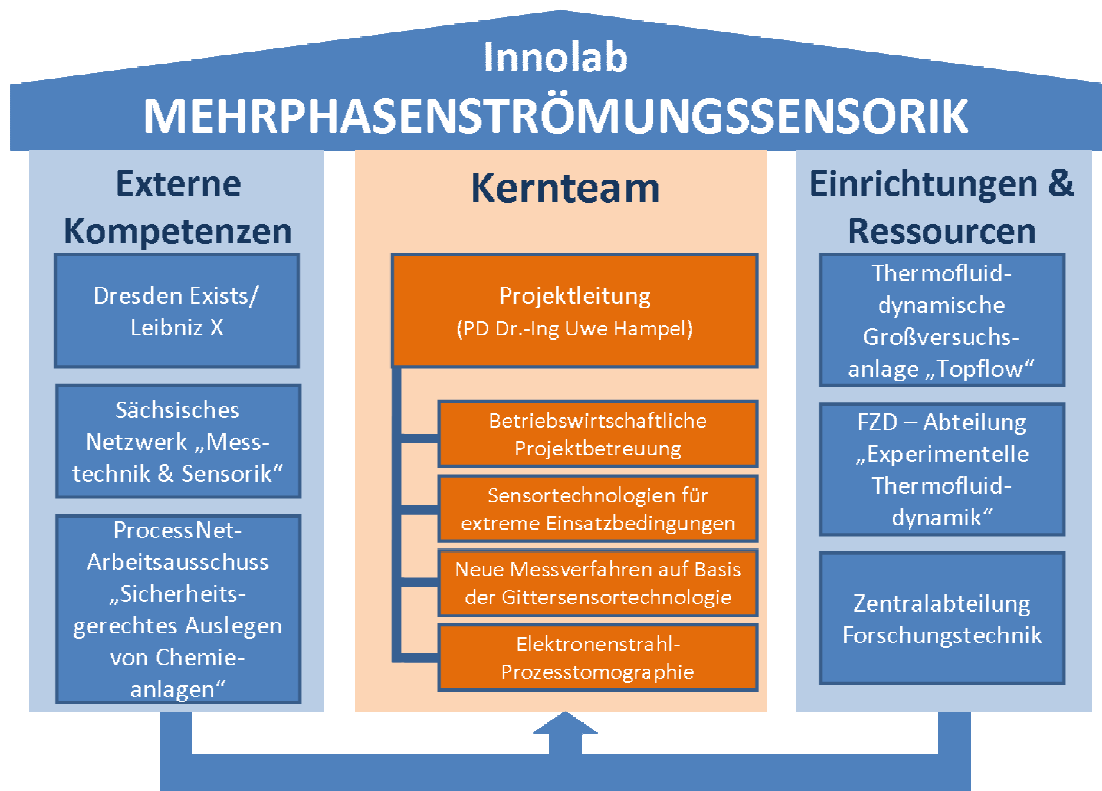


Abb. 13: Aufbau des Innovationslabors mit seinem Kern und den umrahmenden Strukturen.

IV.2 Kompetenzentwicklung und Stärkung der Innovationskultur

Wissenschaftliche Exzellenz ist der Nährboden für die Gewinnung neuer Erkenntnisse mit hohem Nutzenpotenzial. Doch macht eine Invention noch keine Innovation und ein Nutzenpotenzial noch keinen Nutzen aus. Erst die erfolgreiche Umsetzung und Diffusion der Erfindung am Markt macht sie zu einer echten Innovation.

Um den Schritt einer marktlichen Realisierung der Erfindung als Produkt erfolgreich gehen zu können sind eine Reihe betriebswirtschaftlicher Qualifikationen von deutlichem Vorteil, welche sich die Teammitglieder zueigen machen werden. Dies soll zum einen durch den Erwerb betriebswirtschaftlichen Wissens mittels verschiedener Kurse und Seminare vermittelt werden. Zum anderen legt der Antragsteller großen Wert auf den informellen Austausch von Erfahrungen mit erfolgreichen Gründern, Finanziers und Firmenvertretern aus der Branche.

Zur Umsetzung der qualifikatorischen Maßnahmen wird sich das Team in erster Linie auf die Angebote des Projektes Dresden Exists stützen. Dresden Exists ist seit mittlerweile zehn Jahren in der Betreuung von Gründungsvorhaben und der betriebswirtschaftlichen Vorbereitung der Gründer auf die unternehmerische Tätigkeit tätig. Die Veranstaltungen liegen auf erfahrungsgemäß hohem Niveau und liefern einen großen praktischen Nutzen für die Teilnehmer.

Veranstaltungen zum Erwerb betriebswirtschaftlichen Wissens sind zum Beispiel

- Kurs „Gründungsorientierte Einführung in die BWL für Natur- und Ingenieurwissenschaftler“
- Kurs „Technischer Vertrieb“
- Kurs „Gründungsorientiertes Marketing“
- Soft-Skills Seminar "Forschungskooperationen".

Zur Förderung des Erfahrungsaustausches und der informellen Kontakte werden ein Gründerfoyer, ein Gründertreff, ein Gründerforum sowie Podiumsdiskussionen angeboten. Alle genannten Veranstaltungsarten finden in regelmäßigem Turnus statt und fokussieren je Veranstaltungstermine verschiedene betriebswirtschaftlich relevante Schwerpunkte.

Über diese generellen Qualifikationsmaßnahmen hinaus wird das Team branchenspezifische Informationsveranstaltungen wahrnehmen. Dies betrifft zum Beispiel Seminars zu Produktzertifizierung, zur Einbindung von Sensoren in industrielle Prozessleitsysteme und zum Ex-Schutz sowie Veranstaltungen des Arbeitsausschusses ProcessNet und des Sächsischen Netzwerkes Messtechnik & Sensorik.

IV.3 Vorgehen zur Entwicklung und Umsetzung der Verwertungskonzepte

IV.3.1 Aktuelles Stadium der Verwertungsmöglichkeiten

Eine Verwertung der bereits funktionstauglichen Sensoren im Sinne einer Eigen- und Fremdnutzung ist in einigen Fällen bereits gegeben. So werden einige der beschriebenen Sensorsysteme im eigenen Haus für Projekte in der nuklearen Sicherheitsforschung und die Entwicklung von Strömungssimulationscodes (CFD) genutzt. Des Weiteren wurden Nadelsonden und Gittersensoren bereits an andere Forschungspartner verkauft. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt beschränkt sich der Einsatz von FZD-Sensoren jedoch auf Forschungsprojekte in und außerhalb des FZD. Für eine Vermarktung in Richtung Industrie sind, wie oben beschrieben, noch maßgebliche F&E-Aktivitäten erforderlich. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die aktuelle Nachfragesituation.

Für die Fertigung von Messelektronik für Gittersensoren und Nadelsonden konnte die ortsansässige Elektronikfirma Teletronic GmbH gewonnen werden. Langfristig hat die Teletronic GmbH, deren Kerngeschäft der Bau von Elektronikeinheiten ist, nicht die Kompetenz und die Kapazitäten, sämtliche Kundenanfragen allein zu bearbeiten und eine Vermarktungsstrategie für die Sensorik zu entwickeln und umzusetzen. Auch das FZD hat als Institut für Grundlagenforschung nicht die Kapazitäten die kommerzielle Auftragsvergabe, Marketing, Vertrieb etc. zu bewältigen. Bis dato getätigte Verkäufe sollen Ausnahmen bleiben.

Die Frage nach einem geeigneten Weg zur Fertigung und zum Vertrieb der Sensoren soll mit dem Projekt FORMAT II gelöst werden. Innerhalb des Innovationslabors werden die notwendigen Forschungsaktivitäten in Richtung Markt umgesetzt. Anschließend oder falls möglich parallel dazu wird die kommerzielle Umsetzung einer Verwertungsstrategie mittels einer Ausgründung oder Lizenzierung im regionalen Umfeld erfolgen. Unabhängig vom gewählten Weg ist der Ausbau und die Umsetzung einer Patentstrategie vorgesehen (Neuanmeldung, Internationalisierung) um eine Alleinstellung im Markt zu sichern.

Anwendungsfeld (Einsatzbereich)	Einsatzbeispiel / Nutzen	Vorliegende Kontakte / Interessenbekundung
Bioenergieerzeugung (Fermenter)	Überwachung der Biogasproduktion	Fraunhofer Institut für Umwelt und Sicherheit, EUTEC Ingenieure GbR
Erdöl/Erdgas (Förderanlagen/Pipelines)	Bestimmung der Phasenverteilung bei Förderung, u. a. für fiskalische Zwecke	PETROBRAS, Shell, TU Clausthal, StatoilHydro, Roxar, Total
Tankstellen/ Kraftstofftrans- port (Pumpensysteme)	Höhere Genauigkeit beim Feststellen der Abfüllmengen	ALFONS HAAR Maschinenbau GmbH & Co. KG Hamburg
Lebensmittelherstellung	Produktqualität (z.B. Schäume), Mengenmessung	S+S Separation and Sorting Technology GmbH
Pharmaindustrie	Mischen und Dosieren	Glaxo Smith Kline, Bayer Technologies
Chemieverfahrenstechnik	Mengenmessung, Prozessüberwachung, Erkennen von Gefahrenpotenzialen	Uhde GmbH, Akzo Nobel, Sulzer Pumpen, Bayer Technologies
Kraftwerkstechnik	Messung von Temperaturfelder, Füll- standskontrolle, Dampfdruckmessung	Electricité de France, CEA, AREVA NP, Vattenfall Europe, Eon, Siemens Kraftwerksturbinenbau
Forschung	Instrumentalisierung von Versuchständen	Chalk River Lab (CA), CRIEPI (JP), Uni Nottingham (UK), Uni Delft (NL), ETH Zürich (CH), u.v.a.m.

Tab. 4: Aktuelle Anfragen zu Mehrphasenströmungsmesstechnik an das FZD.

IV.3.2 Verwertungsoptionen Gründung / Lizenzierung

Die bereits angesprochene Problematik der unzureichenden Kapazität zur Realisierung größerer Industrieaufträge am Forschungszentrum, eine nicht marktübliche Kostenstruktur, eines fehlenden Vertriebs sowie ungelöster Fragen bezgl. Haftung und Gewährleistung führen zu der Notwendigkeit einer andersartigen Verwertung der entwickelten Technologien. Einen möglichen Weg bildet die Ausgründung, wobei die Aufgabe des Gründungsunternehmens in der Überführung der entwickelten Funktionsmuster zur Serienreife und in deren Vermarktung besteht.

Für den Aufbau des Produktionsstandortes stehen die notwendigen Räumlichkeiten in unmittelbarer Nähe zum FZD zur Verfügung. Daher stehen auch in Zukunft die Ressourcen des FZD für weitere Entwicklungen im Sinne eines effektiven Life-Cycle-Managements zur Verfügung. Entscheidende Voraussetzung ist die Erschließung ausreichender Finanzierungsquellen, wie VC oder das Einwerben von Fördergeldern (EXIST-Gründerstipendium, GA Förderung). Zu diesem Zweck ist die zeitnahe Entwicklung eines Businessplans notwendig, welche von der Projektleitung sowie der betriebswirtschaftlichen Projektbetreuung mit übernommen werden soll. Des Weiteren muss das Gründerteam und dessen commitment definiert werden und die für den

Geschäftsablauf wichtigen Partner müssen eingebunden werden. FZD-Patente können zu günstigen Konditionen vom FZD erworben werden.

Bis zum Verkauf der ersten Produkte über den Rahmen von F&E-Zwecken hinaus ist mindestens die zertifizierte Zulassung für Explosionsschutzzonen notwendig. Für allem für Zulassungsfragen ist im Anschluss an FORMAT II noch Entwicklungsarbeit zu leisten, wengleich die Anforderungen bereits in der FORMAT-Forschungsphase definiert und berücksichtigt werden können. Durch dieses Vorgehen soll der verbleibende F&E-Bedarf möglichst klein gehalten werden.

Alternativ zur Ausgründung ist eine Auslizenzierung in ein regional ansässiges Unternehmen, vorzugsweise ein KMU möglich. Diese Verwertungsform kommt v. a. dann infrage wenn interessierte Firmen bereits die Voraussetzungen zur Produktion und Vermarktung, bzw. bereits eine starke Nähe zum Sensormarkt mitbringen. Die Umsetzung einer Auslizenzierung ist auf jeden Fall weniger komplex und mit geringerem Risiko behaftet als eine Gründung. Benötigte Patente können hier ebenfalls über das FZD erworben oder gegen Zahlung von Lizenzgebühren genutzt werden.

V Zusammensetzung des Teams – Vernetzung und Transfer

Das Projektteam soll aus insgesamt 10 Personen bestehen, die in drei Gruppen mit jeweils drei Stellen und der Projektunterstützung tätig sein werden. Diese Zusammensetzung ist in der Abbildung 14 grafisch dargestellt.

Die fachliche Vernetzung und der Transfer zwischen den Arbeitsgruppen „Neue Messverfahren auf Basis der Gittersensortechnologie“ und „Elektronenstrahl-Prozesstomographie“ besteht insbesondere auf dem Gebiet des Elektronikdesigns, der Bildverarbeitung, Softwarealgorithmen, der Parameterextraktion, der Prozessanbindung und der Charakterisierung von Sensoren. Zwischen den Gruppen „Sensortechnologien für extreme Einsatzbedingungen“ und „Neue Messverfahren auf Basis der Gittersensortechnologie“ gibt es eine Vernetzung hinsichtlich Materialien, Herstellungstechnologien und Anforderungsdefinitionen für den Prozesseinsatz. „Sensortechnologien für extreme Einsatzbedingungen“ und „Elektronenstrahl-Prozesstomographie“ arbeiten speziell bei der Prozessanbindung, dem Ex-Schutz und der Bildverarbeitungssoftware (Störungsmikroskop) eng zusammen.

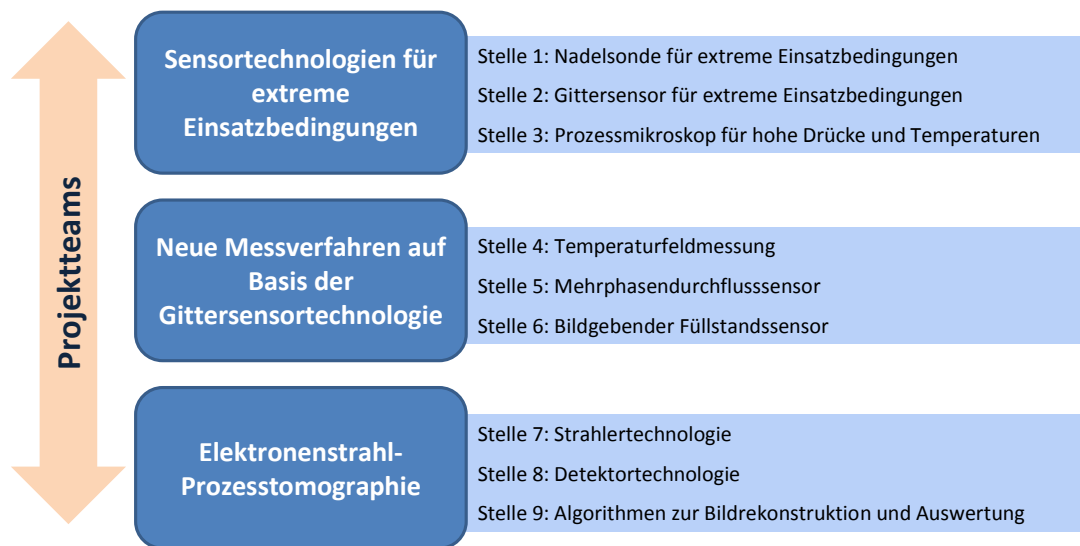


Abb. 14: Zusammensetzung des Teams.

Folgende Personen sind derzeit für die Besetzung des FORMAT-II Vorhabens vorgesehen:

PD Dr.-Ing. habil. Uwe Hampel (Projektleiter) studierte Informatik. Er promovierte und habilitierte an der Fakultät Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden. Seit 2002 ist er als Wissenschaftler am FZD tätig. 2006 übernahm er die Leitung der Abteilung Experimentelle Thermofluidodynamik am FZD. Der Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Tätigkeit liegt im Bereich der Messtechnik für Mehrphasenströmungen und Strömungsvisualisierung.

Eckhard Schleicher (Team 1, Wissenschaftler) studierte Elektrotechnik an der TU Dresden mit der Vertiefungsrichtung Feinwerktechnik und Mikrotechnik. Seit 2003 ist er

wissenschaftlicher Mitarbeiter am FZD. Er verfügt über mehrjährige Erfahrung im Bereich Sensoren für Mehrphasenströmungen.

Martin Tschofen (Team 1, Techniker) studierte Feinwerktechnik an der Fachhochschule Jena. Seit 2006 arbeitet er als technischer Angestellter am FZD und war bereits vor seinem Studienabschluss hier als Student tätig. Seine Expertise liegt im Bereich der Entwicklung und Konstruktion von Mehrphasensensoren.

Dr.-Ing. Marco Jose da Silva (Team 2, Wissenschaftler) studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden. Seit 2004 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am FZD. 2008 promovierte er in Elektrotechnik. Seine besondere Expertise liegt im Elektronikdesign der Sensoren und in der zugehörigen Softwareentwicklung.

Dr.-Ing. Markus Schubert (Team 2, Wissenschaftler) studierte und promovierte im Fach „Allgemeine Verfahrenstechnik“ an der Technischen Universität Dresden. Seit seiner Promotion Ende 2006 arbeitet er als Wissenschaftler am Institut für Sicherheitsforschung des FZD und war ein Jahr Gastwissenschaftler an der LAVAL Universität, Québec (Canada). Seine Expertise liegt in der Entwicklung und Nutzung der Gittersensortechnik für den Einsatz in Chemiereaktoren.

Martina Bieberle (Team 3, Wissenschaftlerin) studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden. Seit 2003 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am FZD und promoviert auf dem Gebiet der Bildrekonstruktion für die Elektronenstrahltomographie.

Frank Fischer (Team 3, Wissenschaftler) studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden. Seit 2005 ist er wissenschaftliche Mitarbeiter am FZD und promoviert auf dem Gebiet der Elektronenstrahltomographie. Seine Expertise liegt im Bereich Strahler- und Detektortechnologie.

Tobias Hauptmann (wirtschaftlicher Projektbetreuer) studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der TUD und beendete im Dezember 2008 seine Diplomarbeit zum Thema einer Marktanalyse für ein am FZD ansässiges Innovationsvorhaben. Im Anschluss betreute er die Förderphase I des Projektes „Mehrphasenströmungssensorik“.

VI Beschreibung des Arbeitsplans

TEAM 1: SENSORTECHNOLOGIEN FÜR EXTREME EINSATZBEDINGUNGEN

Diese Technologiegruppe adressiert den Bedarf nach einer technologischen Weiterentwicklung bereits ausgereifter Sensorkonzepte für die Mehrphasenströmungsdiagnostik in Richtung Prozesstauglichkeit und extreme Einsatzbedingungen. Prozesssensoren einschließlich bildgebender Verfahren erfordern geringen Wartungsaufwand und lange Standzeiten im Prozess. Dies wiederum erfordert den Einsatz spezieller Materialien sowie spezieller Fertigungstechnologien. Im Rahmen des Vorhabens sollen die Sensorgruppen Nadelsonde, Gittersensor und Strömungsmikroskop in diese Richtung qualifiziert werden.

Team 1 Sensortechnologien für extreme Einsatzbedingungen		
Personal	1 Ingenieur/Wissenschaftler Maschinenbau oder Materialphysik (TvL E14) - Teamleiter 2 Techniker (1 x TvL E9, 1 x TvL E11)	
<i>Material- und Fertigungstechnologien für Nadelsonden und Gittersensoren unter extremen Einsatzbedingungen</i>		
Teilprojekt 1.1	AP1.1 Entwicklung elektrischer Isolationskonzepte für Nadelsonden- und Gittersensorelektroden auf Basis oxidischer und polymerischer Beschichtungen	
	AP1.2 Entwicklung verklebungsfreier Fertigungstechnologie für Gittersensoren und Nadelsonden auf Basis temperaturbeständiger Polymere PEEK, VITON	
	AP1.3 Entwicklung kompakter keramischer und polymerischer Baugruppen für Gittersensoren	
	AP1.4 Prototypendesign einer Nadelsonde zur Phasen- und Temperaturmessung im Prozess bis 200 bar und 400°C unter Berücksichtigung von Explosionsschutznormen	
	AP1.5 Aufbau, Test und Erprobung der Nadelsonde	
	AP1.6 Fertigungsgerechtes Design eines Gittersensors für extreme Prozessbedingungen unter Berücksichtigung von Explosionsschutznormen	
	AP1.7 Aufbau, Test und Erprobung des Gittersensors	
MS1	Aufbau Funktionsmuster einer Nadelsonde	
MS2	Erprobung des Nadelsondenprototyps unter extreme Prozessbedingungen	
MS3	Aufbau Funktionsmuster eines Gittersensors	
MS4	Erprobung des Gittersensorsprototyps unter extreme Prozessbedingungen	
<i>Prozessmikroskop für hohe Drücke und Temperaturen</i>		
Teilprojekt 1.2	AP1.8 Konzepte zur druckdichten Sensorkapselung unter Berücksichtigung von Explosionsschutznormen	
	AP1.9 Sensordesign inklusive Optik und Belichtungselektronik und Konzept zu aktiven oder passiven Kühlung des Sensors für Umgebungstemperaturen bis 250°C	
	AP1.10 Entwicklung und Test von Spezialalgorithmen für die Bildauswertung	
	AP1.11 Erprobung des Sensors unter extremen Prozessbedingungen, z. B. Polymerreaktor	
	MS1.5	Aufbau eines Funktionsmusters
	MS1.6	Erprobung unter Prozessbedingungen

TEAM 2: NEUE MESSVERFAHREN AUF BASIS DER GITTERSENSORTECHNOLOGIE

Diese Technologiegruppe adressiert die Entwicklung neuer, bereits patentierter Konzepte zur Messung von Prozessparameterverteilungen nach dem Prinzip der Gittersensormessung. Bisher wurden Gittersensoren zu Messung der elektrischen Leitfähigkeit und elektrischen Permittivität entwickelt und erprobt. In diesem Projekt werden neue Sensoren auf Basis der Gittersensortechnologie für die Messung von Temperaturfeldern, Mehrphasenfüllstand und Mehrphasendurchfluss entwickelt.

Team 2 Neue Messverfahren auf Basis der Gittersensortechnologie	
Personal	1 Ingenieur/Wissenschaftler Elektrotechnik (TvL E14) - Teamleiter 1 Ingenieur/Wissenschaftler Maschinenbau (TvL E13) 1 Techniker (TvL E9)
<i>Temperaturfeldmessung</i>	
Projekt 2.1	AP2.1 Auswahl und Erprobung von prozesstauglichen Thermosensoren
	AP2.2 Elektronisches und mechanisches Design des Sensors
	AP2.3 Aufbau und Erprobung eines Funktionsmusters bestehend aus Elektronik und Flächensensor
	AP2.4 Entwicklung geeigneter Mess- und Auswertesoftware
	MS2.1 Aufbau eines Funktionsmusters
	MS2.2 Erprobung und Charakterisierung des Sensorprinzips in einem geeigneten Versuchsstand
<i>Mehrphasendurchflusssensor</i>	
Projekt 2.2	AP2.5 Sensordesign mit verschiedenen sensorischen Varianten
	AP2.6 Elektronisches und mechanisches Design des Sensors
	AP2.7 Implementierung einer Auswertesoftware
	AP2.8 Sensorerprobung, Leistungsbewertung und Optimierung
	MS2.3 Aufbau eines Funktionsmusters
	MS2.4 Evaluierung des Sensorprinzips in einem Strömungsversuchsstand
<i>Bildgebender Füllstandssensor</i>	
Projekt 2.3	AP2.9 Sensordesign und Elektronikdesign
	AP2.10 Implementierung von Auswertesoftware mit Füllstandserkennung
	AP2.11 Sensorerprobung, Leistungsbewertung und Optimierung für zwei verfahrenstechnische Probleme: I) Öl-Gas-Wasser-Separation in Tanks, II) Füllstandmessung in Polyolefinreaktoren
	MS2.5 Aufbau eines Funktionsmusters
	MS2.6 Evaluierung des Sensorsprinzips

TEAM 3: ELEKTRONENSTRAHL-PROZESSTOMOGRAPHIE

Die Elektronenstrahl-CT stellt ein unikales nichtinvasives bildgebendes Messverfahren dar, welches bisher nur in der Humanmedizin genutzt wird. Der Antragsteller hat in den vergangenen Jahren eine erhebliche Kompetenz in Entwicklung und Betrieb dieser Technik für Strömungsuntersuchungen erworben. Diese Technologie verfügt über ein enormes Marktpotenzial, muss aber weiter zielgerichtet hin zur Einsetzbarkeit und Bezahlbarkeit entwickelt werden. Dazu die Erarbeitung einer möglichst niedrig-komplexen und preiswerten Scannertechnologie durch Einsatz maßgeschneiderter Elektronenkanonen, Ablenssysteme und Detektoranordnungen sowie die Entwicklung der Technologie hin zur Einsetzbarkeit für die Prozessdiagnostik bezüglich Gerätesteuerung, Selbstüberwachung, Kalibrierung sowie Bildrekonstruktions- und Datenauswertesoftware.

Team 3 Elektronenstrahl-Prozessstomographie	
Personal	1 Ingenieur/Wissenschaftler Elektrotechnik (TvL E13) 1 Ingenieur/Wissenschaftler Elektrotechnik oder Informatik (TvL E13) 1 Techniker (TvL E9)
<i>Strahlertechnologie</i>	
Projekt 3.1	AP3.1 Entwicklung und Optimierung eines industrietauglichen Elektronenstrahlerkonzeptes
	AP3.2 Erarbeiten von Konzepten zum Strahlmonitoring
	AP3.3 Durchgängige Automatisierung des Scanbetriebs (Turn-Key-Funktionen für Strahlstellen, Autokalibrierung, Referenzmessungen)
	MS3.1 Fertigstellung des Elektronenstrahler-Designs
	MS3.2 Vollautomatisierter Scanbetrieb
<i>Detektortechnologie</i>	
Projekt 3.2	AP3.4 Vergleichende Untersuchung und Auswahl von Röntgendetektoren (neuartige schnelle Szintillationswandler wie LSO und LaBr3(Ce), Halbleiterdetektoren)
	AP3.5 Verbesserung des Detektordynamikbereichs auf 22 Bit, Entwicklung geeigneter schneller schaltungstechnischer Lösungen
	AP3.6 Konzeption eines ultraschnellen 2D-Detektors für 3D-Tomographieaufnahmen inklusive der Nutzung von FPGA und/oder ASIC-Technologie
	AP3.7 Aufbau und Erprobung eines Funktionsmusters mit reduzierter Detektoranzahl
	MS3.3 Auswahl optimaler Detektortyp, Festlegung von Detektorgeometrien
MS3.4 Fertigstellung eines Detektordesigns	
MS3.5 Aufbau eines Funktionsmusters	
<i>Algorithmen zur schnellen Bildrekonstruktion und Auswertung</i>	
Projekt 3.3	AP3.8 Entwicklung optimierter Algorithmen zur Datenvorverarbeitung
	AP3.9 Entwicklung optimierter Algorithmen zur 2D und 3D-Bildrekonstruktion
	AP3.10 Entwicklung optimierter Algorithmen zur Prozessparameterextraktion aus CT-Sequenzen
	MS3.6 Optimierte Software zur Bildrekonstruktion
	MS3.7 Optimierte Software zur Prozessparameterextraktion
MS3.8 Demonstration mit integriertem Prozessstomographiesystem	

BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE PROJEKTLEITUNG

Die betriebswirtschaftliche Projektbetreuung bearbeitet sämtliche laufend anfallende Aufgaben betriebswirtschaftlicher Art. Außerdem ist sie verantwortlich für die erfolgreiche Umsetzung der geplanten Verwertungsstrategie. Dazu gehört eine Fortführung der Marktanalyse, die Entscheidung über die Wahl der Verwertungsstrategie sowie die Erarbeitung sämtlicher für einen Geschäftsplan relevanten betriebswirtschaftlichen Konzepte in Abhängigkeit der gewählten Verwertungsform.

Betriebswirtschaftliche Projektbetreuung	
Personal	1 Wirtschaftswissenschaftler (TvL E13)
AP4.1	Markt- und Wettbewerbsanalyse
AP4.2	Ermittlung einer optimalen Verwertungsstrategie
AP4.3	Erarbeitung eines Vertriebs- und Marketingkonzeptes
AP4.4	Kapitalbedarfsermittlung und Finanzierungsplanung
MS4.1	Festlegung geeigneter Verwertungsstrategien
MS4.2	Vorlage eines Geschäftsplanes

BEGRÜNDUNGEN FÜR SACH- UND REISEMITTEL

Verbrauchsmaterialien:

Dieser Posten trägt der Beschaffung von Halbzeugen, Kleinteilen, Elektronik- und Optikkomponenten, Werkstatt- und Laborbedarf in dem jeweiligen Teilprojekt Rechnung.

Reisen:

Es sind in unterschiedlichem Umfang Dienstreisen und Dienstgänge zu folgenden Zwecken erforderlich:

- Planung und Koordinierung von Auftragsarbeiten bei externen Firmen
- Besuch von Ausstellungen und Messerveranstaltungen
- Besuch von wissenschaftlichen Tagungen, pro wissenschaftlichem Mitarbeiter wird der Besuch einer internationalen Tagung/Workshop pro Jahr angestrebt

Spezielle Begründungen für Investitionen und Aufträge:

Teilprojekt 1.1: Material- und Fertigungstechnologien für Nadelsonden und Gittersensoren unter extremen Einsatzbedingungen

Erforderlich sind die Beschaffung von 2 x Personalcomputer für CAD-Anwendungen (2 x 2.000 EUR) (Investitionen) sowie folgende Außenaufträge im angegebenen Umfang: Beschichtung von Oberflächen (15.000 EUR); Fertigung von Baugruppen aus Keramik oder Hochleistungspolymeren (40.000 EUR); Mechanische Fertigung von Modellen und Sensorkomponenten (15.000 EUR).

Teilprojekt 1.2: Prozessmikroskop für hohe Drücke und Temperaturen

Erforderlich sind die Beschaffung von 1 x Personalcomputer (1.000 EUR), 1 x hochauflösende CCD-Kamera mit Optik (4.000 EUR), 1 x Framegrabber-Karte (1.000 EUR) (Investitionen) sowie folgende Außenaufträge im angegebenen Umfang: Beschichtung von Saphirglas-Oberflächen (1.000 EUR); Fertigung von Fenstern aus Saphir (2.000 EUR); Mechanische Fertigung von Systemkomponenten (7.000 EUR).

Teilprojekt 2.1: Temperaturfeldmessung

Erforderlich sind die Beschaffung von 1 x Personalcomputer (1.000 EUR) und 1 x Infrarotkamera (40.000 EUR) mit Zubehör für Validierungszwecke (Investitionen) sowie folgende Außenaufträge im angegebenen Umfang: Mechanische Fertigung von System- und Versuchsstandkomponenten (5.000); Fertigung/Bestückung von elektronischen Schaltungen (10.000 EUR)

Teilprojekt 2.2: Mehrphasendurchflusssensor

Erforderlich sind die Beschaffung von 1 x Industrie-PC (2.000 EUR), 1 x schnelle Datenerfassungselektronik (25.000 EUR) sowie Komponenten für einen Versuchsstand, darunter diverser Druck- und Durchflusssmesstechnik (5.000 EUR), sowie Pumpen (10.000) (Investitionen) sowie folgende Außenaufträge im angegebenen Umfang: Mechanische Fertigung von Sensorkomponenten (5.000 EUR); Aufbau einer Versuchströmungsschleife (5.000 EUR); Fertigung/Bestückung von elektronischen Schaltungen (5.000 EUR).

Teilprojekt 2.3: Bildgebender Füllstandssensor

Erforderlich sind die Beschaffung von 1 x Industrie-PC (2.000 EUR) und schnelle Datenerfassungselektronik (48.000 EUR) (Investitionen) sowie folgende Außenaufträge im angegebenen Umfang: Mechanische Fertigung von Komponenten (10.000 EUR); Beschichtung von Oberflächen (5.000 EUR); Aufbau eines Versuchsstandes (Separationstank) (5.000 EUR).

Teilprojekt 3.1: Elektronenstrahl-Prozesstomographie - Strahlertechnologie

Erforderlich sind die Beschaffung eines Elektronenstrahlers aus der Elektronenstrahl-Schweißtechnik (455.000 EUR) (Investitionen) und die mechanische Fertigung diverser Strahlerkomponenten im Außenauftrag (15.000 EUR).

Gesonderte Begründung für die Beschaffung eines Industrieelektronenstrahlers:

Für die Entwicklung eines geeigneten Strahlerkonzeptes für ein industriell einsetzbares Prozesstomographiesystem ist die Beschaffung eines variabel als experimentelles Instrument einsetzbaren Strahlerzeugers erforderlich. Strahlerzeuger werden bereits industriell in der Elektronenstrahlschweißtechnik eingesetzt. Sie verfügen über die erforderlichen Komponenten zur Strahlerzeugung, Strahlfokussierung, Strahlformung und Strahlablenkung (Hochspannungserzeuger, Kathodensystem, Elektronenoptik, Leistungsregelung, Linsenstromverstärker, Vakuumsystem). Ein solches Strahlerzeugersystem soll für das Vorhaben beschafft und im Rahmen des Vorhabens modifiziert werden. Dazu liegen marktübliche Angebote vor, von denen das bisher preiswerteste ausgewählt wurde.

Teilprojekt 3.2: Elektronenstrahl-Prozesstomographie - Detektortechnologie

Erforderlich ist die Beschaffung eines Personalcomputers (1.000 EUR) (Investitionen) sowie folgende Außenaufträge im angegebenen Umfang: Mechanische Fertigung und elektronische Konfektionierung (Bonding) von Detektorkomponenten (10.000 EUR); Fertigung von Elektronikkomponenten des schnellen Detektors (30.000 EUR).

Teilprojekt 3.3: Elektronenstrahl-Prozesstomographie - Algorithmen

Es ist die Beschaffung eines Personalcomputer mit Sonderausstattung (hohe Prozessorleistung, Multiprozessorsystem) (6.000 EUR) als Investition erforderlich.

Projektleitung:

Für die Projektleitung sind Gelder für Beratungsleistungen, Workshops, Schulung- und Qualifizierungsmaßnahmen im angegebenen Umfang geplant.

VIII Literatur

TEIL A: INGENIEURWISSENSCHAFTLICH ORIENTIERTE LITERATUR

- [A1] W. Nitsche, A. Brunn: Strömungsmesstechnik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006
- [A2] The Visualization Society of Japan, Handbook of Particle Image Velocimetry, Morikita Publishing, 2002.
- [A3] U. Buder, A. Berns, R. Petz, W. Nitsche, E. Obermeier, "AeroMEMS Wall Hot-Wire Anemometer on Polyimide Substrate Featuring Top Side or Bottom Side Bondpads", IEEE Sensors, vol. 7, pp. 1095-1101, 2007.
- [A4] W. Seidel, Werkstofftechnik; Werkstoffe- Eigenschaften- Prüfung- Anwendung; Carl Hanser Verlag München Wien, 2000
- [A5] W. Bergmann, Werkstofftechnik 1 Grundlagen, Carl Hanser Verlag München Wien, 2003
- [A6] <http://www.victrex.com/de/index.php>
- [A7] <http://www.dupontelastomers.com/products/prodhome.asp>
- [A8] M. Tschofen, „Technologische Weiterentwicklung von Nadelsonden zur Messung von lokalen Gasgehalten in Zweiphasenströmungen bei hohen Temperaturen und Drücken“, Diplomarbeit (FZD), Dresden, 2006
- [A9] F. Wendler, „Untersuchungen der Fe₃O₄(001)-c₂x₂-Oberfläche und dünner Al₂O₃-Filme auf Nickelaluminium mit Oberflächenröntgenbeugung“, Dissertation, München, 2004
- [A10] H. Pietruske, H.-M. Prasser, „Wire-mesh sensors for high-resolving two-phase flow studies at high pressures and temperatures“, Flow Meas. Instrument. 18, pp. 87-94, 2007.
- [A11] Mettler-Toledo, data sheet Lasentec® V819 with PVM® technology
- [A12] A. Cartellier, J.L. Achard, "Local phase detection probes in fluid/fluid two-phase flows", Review of Scientific Instruments, vol. 62, no. 2, pp. 279-303, 1990.
- [A13] E. Schleicher, M. J. Da Silva, U. Hampel, „Enhanced local void and temperature measurements for highly transient two-phase flows“, IEEE T. Meas. Instrument. 57, pp. 401-405, 2008.
- [A14] M. J. Da Silva, E. Schleicher, U. Hampel, "A novel needle probe based on high-speed complex permittivity measurements for investigation of dynamic fluid flows", IEEE T. Meas. Instrument. 56, pp. 1249-1256, 2007.
- [A15] W. Q. Yang, "Sensors and instrumentation for monitoring and control of multi-phase separation", Measurement Control 39, pp. 178-184, 2006.
- [A16] I.M.M. Babelli, "In search of an ideal multiphase flow meter for the oil industry", Arab. J. Science Eng. 27, pp. 113-126, 2002.
- [A17] G. Falcone, G. F. Hewitt, C. Alimonti, B. Harrison, "Multiphase flow metering: Current trends and future developments", J. Petroleum Technol. 54, pp. 77-84, 2002.
- [A18] H. Yeung, "Multiphase flow measurement - the holy grail", In: SENSOR Conference 2007 Proceedings I, May 2007, Nurnberg, Germany, pp. 193-197, 2007.
- [A19] N. Reinecke, G. Petritzsch, D. Schmitz, D. Mewes, „Tomographic measurement techniques – visualization of multiphase flows“, Chem. Eng. Technol. 21, pp. 7-18, 1998.
- [A20] Toye D., Crine M., Marchot P., Imaging of liquid distribution in reactive distillation packings with a new high-energy x-ray tomograph, Meas. Sci. Technol. 16, 2213-2220, 2005.
- [A21] U. Hampel, A. Bieberle, D. Hoppe, J. Kronenberg, E. Schleicher, T. Sühnel, W. Zimmermann, C. Zippe, "High resolution gamma ray tomography scanner for flow measurement and non-destructive testing applications", Rev. Sci. Instrument. 78, pp. 103704, 2007.
- [A22] R. Khopkar, A. R. Rammohan, V. V. Ranade, M. P. Dudukovi, "Gas-liquid flow generated by a Rushton turbine in stirred vessel: CARPT/CT measurements and CFD simulations", Chem. Eng. Sci. 60, pp. 2215-2229, 2005.
- [A23] Z. Yang, X. Fan, P. J. Fryer, D. J. Parker, S. Bakalis, "Improved multiple-particle tracking for studying flows in multiphase systems", AIChE J. 53, pp. 1941-1951, 2007.
- [A24] M. D. Mantle, A. J. Sederman, L. F. Gladden, S. Raymahasay, J. M. Winterbottom, E. H. Stitt, "Dynamic MRI visualization of two-phase flow in a ceramic monolith", AIChE J. 48, pp. 909-912, 2002.
- [A25] T. A. York, "Electrical Tomography for Industrial Applications", in Electrical Impedance Tomography: Methods, History and Applications., Ed. David Holder UCL, London, IOP series in Medical Physics and Biomedical Engineering, pp. 295-347, 2004.
- [A26] R. A. Williams, M. S. Beck (Eds.), "Process Tomography: Principles, Techniques and Applications", Butterworth-Heinemann, Oxford, 1995.
- [A27] D. P. Boyd and M. J. Lipton, "Cardiac computed tomography", Proc. IEEE, 71, pp. 298-307, 1983.
- [A28] G. P. Zientara, "Fast Imaging Techniques for Interventional MRI", in Interventional MR, Eds. I. Young and F. A. Jolesz, Ch. 2, pp. 25-52, Martin Dunitz Publ., London UK 1995.
- [A29] H.-M. Prasser, A. Böttger, J. Zschau, „A new electrode-mesh tomograph for gas-liquid flows“, Flow Meas. Instrument. 9, pp. 111-119, 1998.
- [A30] H.-M. Prasser, D. Scholz, C. Zippe, „Bubble size measurement using wire-mesh sensors“, Flow Meas. Instrument. 12, pp. 299-312, 2002.
- [A31] H.-M. Prasser, G. Grunwald, T. Höhne, S. Kliem, U. Rohde, F.-P. Weiß, „Coolant mixing in a PWR – deboration transients, steam line breaks and emergency core cooling injection – experiments and analyses“, Nuclear Technol. 143, pp. 37-56, 2003.
- [A32] A. Manera, D. Lucas, H.-M. Prasser, "Experimental investigation on bubble turbulent diffusion in a vertical large-diameter pipe by wire-mesh sensors and correlation techniques", Nuclear Technol. 158, pp. 275-290, 2007.
- [A33] M. J. Da Silva, E. Schleicher, U. Hampel, "Capacitance wire-mesh sensor for fast measurement of phase fraction distributions", Meas. Sci. Technol. 18, pp. 2245-2251, 2007.

- [A34] M. J. Da Silva, Y. Lu, T. Sühnel, E. Schleicher, S. Thiele, R. Kernchen, U. Hampel, "Autonomous planar conductivity array sensor for fast liquid distribution imaging in a fluid coupling", *Sensors Actuators A* 147, pp. 508-515, 2008.
- [A35] Johansen G. A., Frøystein T., Hjertaker B. T., Olsen Ø., A dual sensor flow imaging tomographic system *Meas. Sci. Technol.* 7, 297-307, 1996.
- [A36] K. Hori, T. Fujimoto, K. Kawanishi, H. Nishikawa, "Advanced high speed X-Ray CT scanner for measurement and visualisation of multi-phase flow", in *OECD/CSNI Specialist Meeting on Advanced Instrumentation and Measurement Techniques*, Santa Barbara (USA), March 17-20, 1997.
- [A37] M. Misawa, N. Ichikawa, M. Akai, K. Hori, K. Tamura, G. Matsui, "Ultra fast X-ray CT systems for measurement of dynamic events in two-phase flow", in *Proceedings of the ASME/JSME/SFEN ICONE-6 International Conference on Nuclear Engineering*, San Diego (USA), pp. 508-522, 1998.
- [A38] U. Hampel, M. Speck, D. Koch, H.-J. Menz, H.-G. Mayer, J. Fietz, D. Hoppe, E. Schleicher, C. Zippe, H.-M. Prasser, "Ultrafast X-ray Computed Tomography with a Linearly Scanned Electron Beam Source", *Flow Meas. Instrument.* 16, pp. 65-72, 2005.
- [A39] M. Bieberle, U. Hampel, F. Fischer, E. Schleicher, D. Koch, K.S. d. C. Aktay, H.-J. Menz, H.-G. Mayer, "Ultra fast limited-angle type X-ray tomography", *Appl. Phys. Lett.* 9, 123516, 2007.
- [A40] F. Fischer, D. Hoppe, E. Schleicher, G. Mattausch, H. Flaske, R. Bartel, U. Hampel, "An ultra fast electron beam x-ray tomography scanner", *Meas. Sci. Technol.* 19, 094002, 2008.
- [A41] M.J. Da Silva, E. Schleicher, U. Hampel, "Novel wire-mesh sensor modalities for the investigation of single phase and multiphase flows", *VDI Berichte* (2011), pp. 625-634, 2008

TEIL B: WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTLICH ORIENTIERTE LITERATUR

- [B1] Siegfried Behrendt et al., Hrsg.: ZVEI - Zentralverband Elektrotechnikund Elektronikindustrie e.V Fachverband Automation, „Integrierte Technologie-Roadmap Automation 2015 +“, Frankfurt, Oktober 2006
- [B2] Thomas Abele et al., Hrsg.: Normenarbeitsgemeinschaft für Meß- und Regeltechnik in der chemischen Industrie – NAMUR & Verein Deutscher Ingenieure / Verein Deutscher Elektrotechniker - VDI/VDE, „Abschlussbericht Technologie-Roadmap Prozess-Sensoren 2005 – 2015“, 21.03.2006
- [B3] Frost & Sullivan, "Global Sensors Outlook – Review of Key Market Revenue, Trends, Technology Snapshots and Growth Perspectives", 07/2008
- [B4] Frost & Sullivan, "World Markets for Sensors in the Chemicals and Petrochemicals Industries", N304 - 42, 2008
- [B5] Frost & Sullivan, "World Process Industries Sensor Market", N40C-32", 2008
- [B6] Frost & Sullivan, "Innovations in Sensors for Industrial Applications", D105, 2008
- [B7] Dr. Michael Kloska, „Prozessanalysetechnik als Werttreiber in der Chemischen Industrie“, 649. *DECHEMA-Kolloquium Prozessanalysetechnik – aus dem Labor in die Produktion*“, Frankfurt am Main, 19. Februar 2009
- [B8] Dr. Manfred Rahe, „Trends und Lösungsansätze der Geräteindustrie“, 649. *DECHEMA-Kolloquium Prozessanalysetechnik – aus dem Labor in die Produktion*“, Frankfurt am Main, 19. Februar 2009
- [B9] *3rd International Workshop on Process Tomography*, Tokio, Japan 17.04.2009 bis 19.04.2009
- [B10] *Anwenderworkshop – praktische Lösungen der Prozessanalytik und Sensorik*, Schkopau, Deutschland, 19.03.2009
- [B11] Hrsg.: VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA), GMA-Umfrage zur Entwicklung in der Mess- und Automatisierungstechnik, 11/2006
- [B12] Armin Scheuermann, „Produktivität im Fokus“ in *Chemie Technik, Kompendium Prozessautomation/Messtechnik* 2008, S. 22-25
- [B13] Armin Scheuermann, „Renaissance des Stroms“, in *Chemie Technik, Kompendium Prozessautomation/Messtechnik* 2008, S. 46-50
- [B14] Dr. Hasso Drathen, Dr. Norbert Kuschnerus, „Anlagen veredeln“ in *Chemie Technik*, S. 11-15, 04/2007
- [B15] Dr. Etwina Gandert, „Nachwuchs für den Vorsprung“, in *Chemie Technik, Kompendium Prozessautomation/Messtechnik* 2008, S. 6-8

TEIL C: MÜNDLICHEN QUELLEN AUS DISKUSSIONSRUNDEN MIT FIRMENVERTRETEREN

- [C1] Bayer Technology Services GmbH, Dr. Martin Gerlach, Dr. Wolfgang Borchers, 12.03.2009
- [C2] Binder GmbH, Bodo Wolter, 10.02.2009
- [C3] Choren, Tobias Sühnel, 06.02.2009
- [C4] DOW, Steffen Bach, 31.03.2009
- [C5] EBZ, Dr. Oliver Posdziech, Falk Schröter, 27.01.2009
- [C6] Endress & Hauser Flowtec, Dr. Drahm, Dr. Guido Mertens, 30.03.2009
- [C7] Eon Energie AG, Benedikt Hecking, 10.02.2009
- [C8] Evonik Industries AG, Dr. Stefan Buchholz, 30.03.2009
- [C9] Gerstenberg Schröder A/S, Dänemark, Hr. Ebbe Worm, 12.03.2009
- [C10] GSK, Hr. Blum, 16.02.2009
- [C11] IST Pumpen u. Dosiertechnik GmbH, Peter Hünermund, 12.03.2009
- [C12] Lechler, Matthias Schneider, Boris Schmidt, 10.03.2009
- [C13] Lyondellbasell Industries AG, N. Finetti, Filippo Crinelli, Lisa Lamberti, 11.03.2009

- [C14] PlanET Biogastechnik GmbH, Stephan Hoffmann, 10.02.2009
- [C15] Rayonics Germany, Hans Janik, 12.03.2009
- [C16] RBZ, Katrin Grosser, Sigmar Stöhr, 18.02.2009
- [C17] Roxar, CMR, UIB, Marie Bueie Holstad, Erling Kolltveit (CMR) Eivind Dykesteen, Morten Brandt (Roxar) Bjørn Tore Hjertaker (UIB) 23.02.2009
- [C18] StatoilHydro Norway, R. Schulkes, 24.02.2009
- [C19] Ruland Engineering & Consulting GmbH, Thomas Puschner, 12.03.2009
- [C20] S+S Separation and Sorting Technology GmbH, Franz Josef Penn, 12.03.2009
- [C21] Sartorius AG, Paul Schmidt, 12.03.2009
- [C22] Sick Engineering GmbH, Dr. Andreas Ehrlich, 04.02.2009
- [C23] Statkraft Markets GmbH, Marion Mevissen, 10.02.2009
- [C24] Terracon Energy GmbH, Ernest Freyers, 28.01.2009
- [C25] Technische Universität Dresden – TUD, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, Hr. A. Langkamp, Hr. P. Kostka, 26.02.2009
- [C26] Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH, Dr. Horst Märten, 17.02.2009
- [C27] Vattenfall Europe Generation, Martina Weiß, 10.02.2009

TEIL D: FZD-PATENTE

- [D1] Gittersensor zur Bestimmung der Leitfähigkeitsverteilung in strömenden Medien sowie Verfahren zur Gewinnung der Meßsignale, EP000000941472B1, 27.11.1996.
- [D2] Gittersensor, DE102007019926B4, 27.04.2005.
- [D3] Gittersensor, WO002006114081A3, 28.04.2005.
- [D4] Gittersensor zur zweidimensionalen Messung von verschiedenen Komponenten im Querschnitt einer Mehrphasenströmung, WO002007121708A1, 18.04.2007.
- [D5] Anordnung zur zweidimensionalen Messung der Temperaturverteilung in einem Messquerschnitt, DE102007019925A1, 27.04.2007.
- [D6] Nadelsonde zur Messung der Leitfähigkeit in Flüssigkeiten und Mehrphasengemischen, DE000004493861C1, 09.06.1994.
- [D7] Anordnung zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit mittels Sonden sowie zur Sonden-Funktionskontrolle, DE000019704494C2, 07.02.1997.
- [D8] Anordnung zur Messung der lokalen elektrischen Leitfähigkeit in Fluiden, DE000019704609C2, 07.02.1997.
- [D9] Anordnung zur Messung der lokalen elektrischen Leitfähigkeit und Temperatur in Fluiden, DE000010012938C2, 16.03.2000.
- [D10] Anordnung zur Messung der lokalen elektrischen Impedanz und der Temperatur in Fluiden, EP000001929262B1, 12.09.2006.
- [D11] Prozessmikroskop, 102008058785.0, 24.11.2008.
- [D12] Anordnung und Verfahren zur Mehrphasendurchflussmessung, 102008055032.9, 04.12.2008.
- [D13] Anordnung zur Röntgentomographie mit einem elektronisch abgelenkten Elektronenstrahl, DE000010356601A1, 04.12.2003.
- [D14] Anordnung zur Röntgen-Computertomographie, WO002008101470A1, 12.02.2008.
- [D15] Anordnung zur Elektronenstrahltomographie, 102009002114.0, 01.04.2009.