

Anforderungen an Sensoren für die chemische Verfahrenstechnik

Michael Maiwald

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Richard-Willstätter-Str. 11, 12489 Berlin

Zusammenfassung

Eine stets optimale Nutzung von Anlagen, Rohstoffen und Energie in Verbindung mit einer guten Prozessführung sind die wichtigsten Voraussetzungen für globale Wettbewerbsvorteile der Chemisch Pharmazeutischen Industrie und für die Branchen Energieerzeugung, Petrochemie, Nahrungsmittel, Papier- und Zellstoff oder Wasserversorgung. Überlegene Verfahren erfordern die fortwährende Kontrolle der geforderten Produktqualität, ihre präventive Sicherstellung und eine ständige Verbesserung des Wissens über den Prozess. Sensoren helfen dabei, alle wichtigen Messgrößen an kritischen Stellen transparent zu machen. Sie sind die „Sinnesorgane der Prozessleittechnik“ für automatisierte Verfahren.

Allein aufgrund stetig wachsender Anforderungen an Sensoren ergibt sich für viele Messaufgaben die Notwendigkeit einer ständigen Verbesserung der Sensoren. Für völlig neue Aufgaben müssen jedoch neue Messprinzipien gefunden werden, weil heute noch keine Sensor-Technologie existiert oder die wachsenden Anforderungen nicht mehr allein durch Weiterentwicklung bestehender Technologien erfüllt werden können.

Ende 2009 wurden Anforderungen und Wege für die konsequente Weiterentwicklung und Verbesserung von Prozess-Sensoren aus Anwendersicht aufgeschrieben. Das Projekt wurde von NAMUR und GMA initiiert und gemeinsam mit Industrieanwendern und Geräteherstellern als Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2015+“ veröffentlicht [1–2].

Was ist aus den Wünschen seither geworden? Wie kann die Umsetzung dieser Entwicklungsziele von den Geräteherstellern wirtschaftlich und marktgängig erfolgen? Wie werden neuartige Forschungsziele mit der angemessenen Forschungsförderung am besten vorangebracht?

1 Wissensbasierte Produktion

Prozess-Sensorik wird heute im wesentlichen zur Registrierung und Überwachung eingesetzt. In zunehmendem Maße wird jedoch erkannt, dass ein Endprodukt als Resultat der gesamten Prozesskette betrachtet werden muss und seine Eigenschaften und seine Qualität folglich auch mit den Schlüsselparametern aus der gesamten Prozesskette verknüpft sind – bis hin zu den dafür eingesetzten Rohstoffen. Stehen hierfür online erhaltene analytischen Daten zur Verfügung, kann der Verlauf eines Prozesses oder einer Reaktion ausreichend widergegeben und augenblicklich optimal gesteuert werden. Die Informationen geben ferner ein besseres Bild über die Qualität eines Produktes oder Zwischenproduktes als das Zertifikat des Endproduktes, wie wir es heute allgemein als Qualitätsmaß akzeptieren..

Klassische Messgrößen, wie z. B. Temperatur oder Druck, sind oft nicht spezifisch genug für diese Messansprüche. Instrumentell analytische Techniken der Prozessanalytik erweitern das Spektrum zur optimalen Steuerung anspruchsvoller Produktionsprozesse aber zunehmend [3–5]. In der chemischen und pharmazeutischen Reaktionstechnik werden sie eingesetzt, um Informationen über Konzentrationen und Eigenschaften interessanter Komponenten des betrachteten Reaktionsschritts oder deren zeitlichen Verlauf zu liefern.

Auch wenn die Erkenntnis immer mehr Unterstützer findet, so ist sie noch längst nicht in allen Unternehmen und Betrieben angekommen. Es besteht weiterhin großes Innovationspotenzial für Prozessanalysetechnik.

2 Technologie-Roadmaps als F&E-Navigationssysteme

2.1 Orientierungskarte für morgen

Technologie-Roadmaps sind nützliche Werkzeuge zur Navigation von technologischen, ökonomischen, politischen und gesellschaftlichen Entwicklungswegen. Sie vereinen technologische und kommerzielle Erkenntnisse und liefern eine Orientierungskarte mit sinnvollen und lohnenden Wegen in die Zukunft. Neue Technologie hat die beste Chance, wenn die Wünsche der Anwender mit technologischen Möglichkeiten zusammengebracht werden. Da Forschungs- und Entwicklungsstrategien einen nicht unbeträchtlichen Vorlauf haben, muß rechtzeitig vorausgedacht werden. Die vielversprechenden Wege der Technologie-Roadmaps weisen zu jenen Entwicklungsprojekten, an die wegen der laufenden Projekte noch niemand denkt.

Die „tiefhängenden Früchte“ der Technologiewünsche sind verfahrenstechnische Anpassungen oder geräte-technische Weiterentwicklungen. Diese werden typischerweise innerhalb bilateraler Projekte zwischen Anwendern und Sensorherstellern vorangebracht. Mühe macht vor allem die aufgrund des großen Neuigkeitsgrads grundlegend anzusetzende Vorentwicklung und Forschung, die eine rechtzeitig angesetzte, strategische Entwicklung nötig macht.

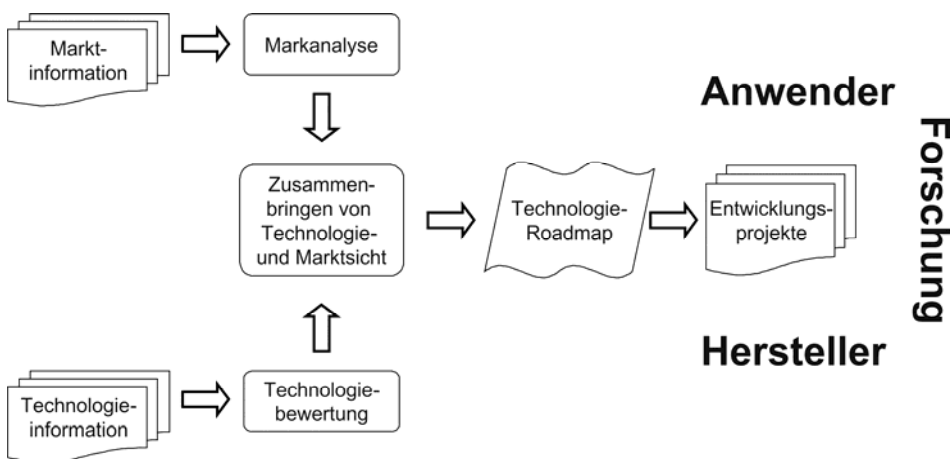


Bild 1 Technologie-Roadmaps vereinen technologische und kommerzielle Erkenntnisse

2.2 Der passende Maßstab

Sensoren werden für recht unterschiedlichste Zwecke in der Automatisierung eingesetzt. Ferner herrscht im chemischen und chemisch-pharmazeutischen Umfeld eine große Heterogenität bezüglich der Anlagen und Verfahren, die entsprechend spezielle Sensorik erfordern. Es ist also eine schwierige Aufgabe, aus dieser Vielfalt ein zusammenfassendes Abbild des Bedarfs für Neues herauszuarbeiten. Der Maßstab der Roadmap muß eine Detailsicht ermöglichen, darf aber nicht zu grob für eine technologische Beschreibung werden.

Aus den möglichen Teilanlagen einer verfahrenstechnischen Anlage wurden in der Roadmap die wichtigsten Verfahrensschritte und Subprozesse mit höchster Bedeutung für die Entwicklung von Prozess-Sensoren ausgewählt, wie zum Beispiel Reaktion, Polymerisation, Fermentation, Fällung, Kristallisation, Rektifikation, Filterung, Trocknung und Formulierung. Die Schwerpunkte konnten aus einer Umfrage heraus validiert werden.

Im nächsten Schritt wurden diese Verfahren in Anforderungsbögen zusammengefasst, ihre Applikationen charakterisiert und in ihren typischen Einsatzbedingungen dargestellt. Neben typischen Temperatur- und

Druckbereichen wurden die erforderlichen Messgrößen, Messunsicherheiten sowie die erforderliche zeitliche Auflösung für die Sensoren genannt. Zusätzlich zur Darstellung der Ist-Ausprägung wurden auch Visionen für zukünftige Messaufgaben aufgezeichnet. Die Anforderungsblätter schließen mit möglichen technischen Lösungswegen zur zukünftigen Umsetzung der Messaufgabe inklusive einer Einschätzung der zeitlichen Realisierbarkeit aus Sicht der Hersteller. [1]

Zeit für Lösungswege zu einer Anwendungsreife		
*	**	***
bis 2013	von 2014 bis 2020	nach 2020

Anwendungshäufigkeit		
*	**	***
jeder hundertste Betrieb	jeder zehnte Betrieb	jeder Betrieb

Innovationsgrad		
*	**	***
verf. Anpassung, Weiterentwicklung	Produktentwicklung	Forschungsbedarf

Bild 2 Bewertung von Lösungsansätzen. [1] Die am häufigsten genannten Technologien werden bewertet. Es kann somit ein Eindruck über die marktbezogene Bedeutung eines Verfahrens gewonnen werden.

3 Welche Technologiewünsche bestehen?

3.1 Ständige Verbesserung

Eine Reihe von Anforderungen bestehen seit langem, und man könnte sie unter der Rubrik „Ständige Verbesserung“ zusammenfassen. Neben der Forderung nach einer höheren Robustheit und Langzeitstabilität bei niedrigem Instandhaltungsbedarf ist die Erhöhung der Genauigkeit von Prozess-Sensoren als Konsequenz aus Richtigkeit und Präzision gewünscht – auch der von klassischen Messgrößen wie Temperatur oder pH-Wert. Mit einer präziseren Temperaturmessung ließen sich beispielsweise Rektifikationen auf gezielte Produktspezifikationen steuern. Richtige Messungen sind nicht nur zunehmend bedeutend für die Freigabe sondern auch, wenn in zunehmendem Maße verfahrenstechnische Modelle für die Prozesskontrolle zum Einsatz kommen. Hinter diesem Wettbewerb steht die Vision des „idealen Prozess-Sensors“ [6], der u. a. rückwirkungsfrei arbeitet, eine hohe Verfügbarkeit aufweist und die Messgröße in Echtzeit aufnimmt. Zusätzlich wird technologische Weitsichtigkeit für neue Prozess-Sensoren hinsichtlich ihrer Kompatibilität beim Bau von Neuanlagen (und zunehmend auch zur Optimierung bestehender Anlagen) gefordert.

Neue Prozess-Sensoren können auf bestehende oder neue Technologien aus anderen Anwendungen und Industrien zurückgreifen, wo hohe Stückzahlen die Entwicklung dieser Technologien gerechtfertigt haben. In den Branchen Automobil, Telekommunikation, Multimedia sowie Medizintechnik entstehen eine Fülle neuer Produkte und Technologien, die auch für marktgängige Lösungen herangezogen werden könnten. Der Einsatz modularer Technologie und die Schaffung geeigneter Standards können ebenfalls dazu beitragen, neue Prozess-Sensorik wirtschaftlich und damit attraktiv für Hersteller und Markt zu machen. Dieses sind auch Ansätze für die Normungsarbeit. Die Aufgaben werden am schnellsten erfüllt, wenn Anwender, Hersteller und Forschung gemeinsam voranschreiten.

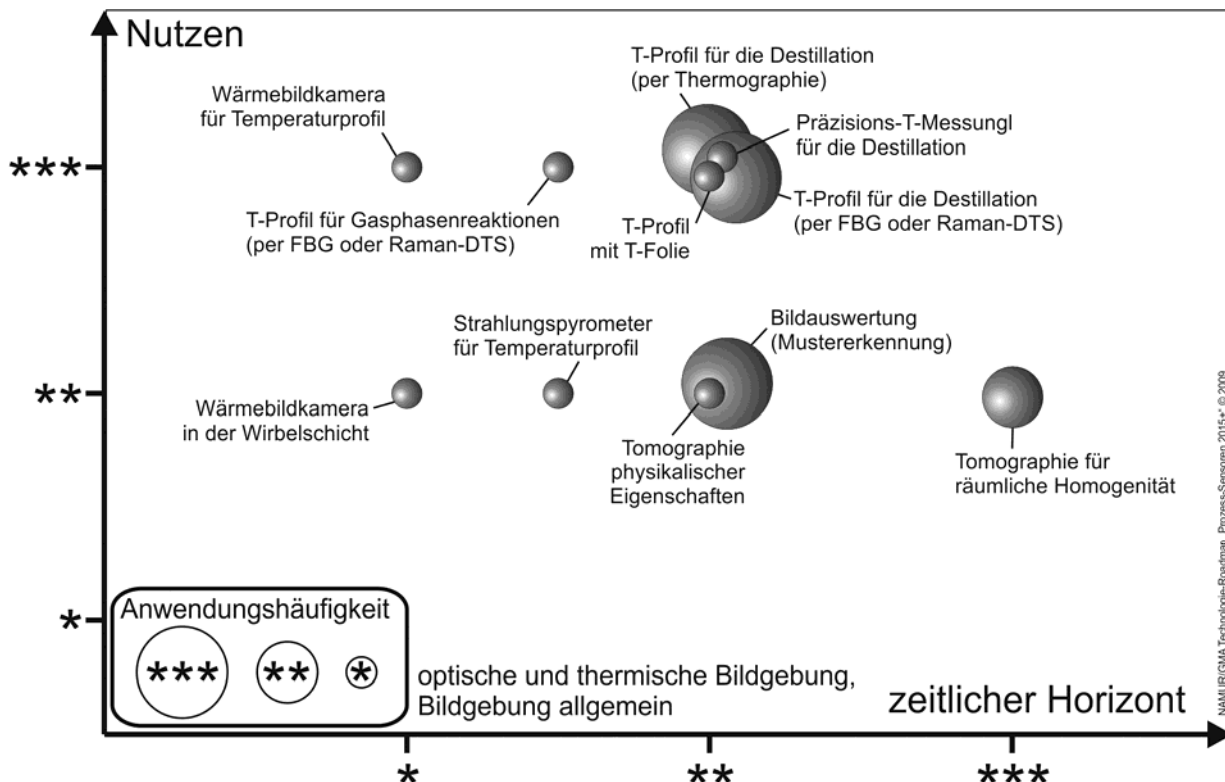


Bild 3 Lösungspotential wichtiger Technologien am Beispiel optische und thermische Bildgebung und Bildgebung allgemein. [1] Neben der Einordnung mittels der Achsen „Nutzen“ und „zeitlicher Horizont“ unterscheidet die Symbolgröße die erwartete Anwendungshäufigkeit. Verfahren mit dem größten Nutzen und dem kürzesten zeitlichen Entwicklungshorizont finden sich im Diagramm links oben.

3.2 Neue Anforderungen und Aufgabenfelder

Es wurden bereits die Technologiewünsche angesprochen, für die völlig neuartige Ansätze erforderlich sind, weil eine verfahrenstechnische Anpassung oder gerätetechnische Weiterentwicklung nicht weiterführt, sondern der Neuigkeitsgrad so groß ist, dass eine Vorentwicklung oder sogar grundlegend ansetzende Forschung notwendig wird. Drei wesentliche Aussagen werden von der Roadmap genannt:

Bestimmung räumlich verteilter Prozessinformationen

In letzte Konsequenz führen die meisten Wünsche zur Inline-Messung von Stoffeigenschaften zur Abbildung der räumlichen Verteilung fast aller Prozessgrößen, die heute noch punktuell gemessen werden. Die Messverfahren müssen dazu in Verfahren umgewandelt werden, mit denen die räumliche Struktur eines Objektes ermittelt werden kann, indem volumetrische, tiefen aufgelöste Information gewonnen wird. Sind hier eines Tages technologische Lösungen greifbar, lassen diese gleichzeitig neue Fragen zur System-integration und Informationsverarbeitung entstehen, z. B. nach Entscheidungskriterien oder der Art der Visualisierung für den Anlagensteuerer (etwa als Abweichung von einem definierten Referenzzustand). Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der über die Entwicklung der Sensortechnologie selbst hin-ausgeht, ist hier bereits abzusehen.

Online-Erfassung völlig neuer Messgrößen

Besonders deutlich wurde bei der Überarbeitung, dass der Trend zu Bioprozessen auch für bisher konventionell chemisch hergestellte Produkte Sensoren verlangt, die heute noch nicht angeboten werden. Ein leuchtendes Beispiel hierfür ist der Bedarf nach einer prozessstauglichen Zielproteinanalyse. Darüber hinaus ergibt sich ein Bedarf nach Prozessanalytik mit Einweg-Sensoren im Bioverfahrenstechnischen Umfeld: Zur Reduktion der Reinigungszeiten von Bioprozessanlagen wird ein Trend zu „disposable“ Fermentern beobachtet. Ebenso wie die Fermenter müssen dann auch die integrierten Prozess-Sensoren als Einwegsyste me ausgelegt werden. Dieses fordert entweder eine drastische Verbilligung der Prozess-Sensoren, die Austauschbarkeit der medienberührenden Sensorteile oder ganz neue, nichtinvasive Sensortechnologien.

Online-Spurenanalytik (Stichwort: Online-ppb)

Der wachsende Bedarf ist im Bereich der Gasanalytik besonders deutlich zu beobachten, wo die Überwachung von Komponenten in Gasen mit immer niedrigeren Erfassungsgrenzen erforderlich ist. Die Messaufgabe stellt sich für Komponenten in der Raum- oder Betriebsluft oder Spuren von Sauerstoff in Inert-Prozessen sowie für technische Gase als Einsatzstoffe (z. B. Biogase, Gase für Brennstoffzellen), wo Katalysatorgifte in kleinen Konzentrationen nachgewiesen werden müssen. Daraus resultieren Forderungen nach Messbereichen bis in den niedrigen ppm- oder ppb-Bereich für einzelne Komponenten. Die heute markt gängigen Technologien wie z. B. elektrochemische Sensoren werden diesbezüglich an ihre Grenzen stoßen. Einige aktuelle Verfahren, wie z. B. Quantenkaskadenlaser für laserbasierte Analysatoren, Miniaturisierungen, die das Überführen von Laborspektrometern in Prozess-Spektrometer erlauben, müssen weiter vorangebracht werden.

4 Eine Zwischenbilanz

Die Thesen und Anforderungsblätter der Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2015+“ bilden die Basis für neue Sensorsysteme und demonstrieren das große Innovationspotenzial in der Prozessindustrie und ihrer Zulieferer. Seit der Erstveröffentlichung bis Ende 2010 sind mehr als 70 Fachveröffentlichungen und Präsentationen erschienen. [7] Die Technologie-Roadmap hat einen Innovationswettbewerb gezündet. Nach Aussagen der beteiligten Gerätehersteller wurden im gleichen Zeitraum mehr als 15 Markteinführungen mit konkretem Bezug zur Roadmap sowie weitere Forschungs- und Entwicklungsprojekte in einem vergleichbaren Umfang initiiert. Dieses ist erfreulich, da eine Geräteentwicklung im Mittel 5–7 Jahre dauert. Der konkrete Bezug auf die Roadmap in der Forschungslandschaft, z. B. bei Fördereinrichtungen oder die Integration der Thematik in Forschung und Lehre sind derzeit nur schwer recherchierbar und konkret zu belegen – sie sind aber enorm wichtig.

4.1 Wie wird die Vision zur Mission?

Damit aus der Vision der Roadmap eine echte Mission für nutzbringende Forschungs- und Entwicklungsprojekte wird, muß man die Interessen von Anwendern, Geräteherstellern und der Forschung an dieser nur gemeinsam zu bewältigenden Aufgabe herausarbeiten und zusammenbringen.

Die Gerätehersteller haben wirtschaftliche Perspektiven zu berücksichtigen und sind auf markt gängige Produkte angewiesen. Sie haben heute weniger Zeit, um Entwicklungen gemeinsam mit Anwendern voranzutreiben. Sie müssen den enormen globalen Wettbewerb ernst nehmen und Marktperspektiven und Kundenbedürfnisse zielsicher einschätzen. Fernliegende Entwicklungen fallen da besonders schwer. Schnelle Hersteller haben die Nase vorn, und so schaffen sie immer wieder neue Standards, um den Markt zu beeinflussen. Leider wurde die Energie zur Innovation vielfach unnötig eingesetzt. Von den Anwendern wird eher eine nachhaltige Perspektive bevorzugt, und es wird gefordert, auf bestehende Technologien aufzu-

setzen oder modulare Gerätekonzepte und Basisplattformen zu schaffen um sich auf die technologische Weiterentwicklung zu konzentrieren.

Schaut man auf die Forschung, so ist ein enormes Wissens- und Technologiepotenzial an Universitäten und Forschungseinrichtungen heute schon verfügbar, beispielsweise auf den Gebieten chemische Analytik, Mikrosystemtechnik, Biotechnologie oder Prozessmodellierung. Es könnte viel konsequenter in die Entwicklung von Prozess-Sensoren einfließen. Hier leuchten viele, exzellente Leuchttürme – jedoch leider zu oft für sich allein. Forschungsperspektive und Forschungsbedarf müssen in anwendungsbezogenen Förderprojekten aussichtsreich und auf Augenhöhe zusammengebracht werden. Der Erfolg solcher Kooperationen stellt sich immer dann ein, wenn Verwertungs- und Veröffentlichungsfragen sowie Regeln zur wissenschaftlichen Ethik von Beginn an deutlich formuliert werden und alle Partner dazu stehen.

Von den Anwendern, von denen die Vision zur Bereitstellung neuer Prozess-Sensoren ausgeht, wird natürlich eine hohe Bereitschaft zur Initiierung und Beteiligung an Entwicklungsprojekten erwartet. Besonders für Nischenanbieter von Prozessanalytik mit innovativen Produkten ist das schnell wachsende Vertrauen der Anwender wichtig, besonders in der Konsolidierungsphase eines jungen Unternehmens. Die Anwender können dieses durch Vorantreiben zu mehr Prozessanalytik für Prozessführung und Prozessoptimierung begünstigen. Wie wichtig die daraus resultierenden Standortvorteile durch effiziente Anlagen und Verfahren sind, hat die zurückliegende Wirtschaftskrise bestätigt: Die Zeit wurde von den Unternehmen durch innere Restrukturierung, Intensivierung von Forschung und Entwicklung und einen Wettbewerbsvorsprung durch Beschäftigung mit Themen wie Umweltschutz oder Energieeffizienz sinnvoll genutzt.

4.2 Fazit

Wenn sich die Exzellenz der Forschung und das lang akkumulierte Knowhow der Gerätehersteller und Anwender zu Forschungskonsortien auf Augenhöhe zusammentun und das gemeinsam vorangebrachte Wissen deutlich umrissen wird, kommen faire und gut durchdachte Technologietransferprojekte mit Sicherheit zum Erfolg. Neben der technologischen Weiterentwicklung der Prozess-Sensoren darf auch die Erhöhung des Vertrauens in die komplexe Technologie – vom Anwender bis ins Management – nicht vernachlässigt werden.

Literatur

- [1] Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2015+“, NAMUR Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie und VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA): <http://www.namur.de> und <http://www.vdi.de/gma/prozesssensoren2015>.
- [2] M. Maiwald: Die aktualisierte Technologie-Roadmap Prozess-Sensoren 2015+. Eine anwendungsbezogene Grundlage für Produktentwicklungen und Forschungsprojekte. atp-edition 52, (2010)(1–2), 40–45.
- [3] Intelligenter produzieren – 32 Thesen zur Forschung für die Zukunft der industriellen Produktion, Herausgegeben von Bundesverband der Deutschen Industrie e. V. (BDI), Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. (FhG), Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), 2005.
- [4] R. W. Kessler (Hrsg.): Prozessanalytik. Weinheim, Wiley-VCH, 2006.
- [5] J. Workman, Jr., M. Koch, B. Lavine, R. Chrisman: Process analytical chemistry. Anal. Chem., 2009, 81 (12), 4623–4643.
- [6] F. Sanden et al.: Anforderungen an Sensorsysteme zur Prozessführung. 66. NAMUR-Hauptsitzung, Lahnstein, 7.11.2002.
- [7] T. Abele, U. Kaiser, D. Westerkamp: Welcher Nutzen lässt sich durch Technologie-Roadmapping realisieren? In: Gausemeier, Jürgen (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung: 6. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 28.–29.10.2010 in der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften Paderborn, Heinz Nixdorf Institut (HNIVerlagsschriftenreihe Bd. 276), 2010, 405–418.