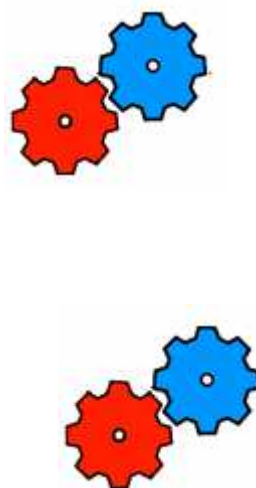
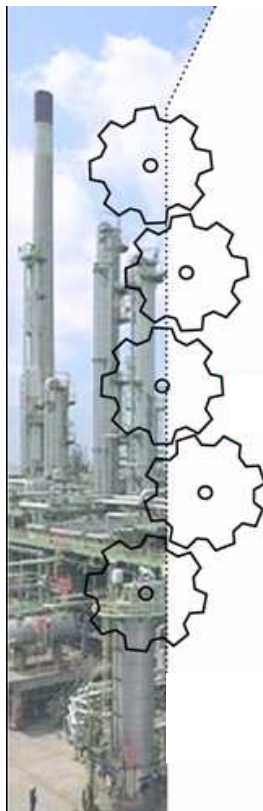


## Abschlussbericht Technologie-Roadmap Prozess-Sensoren 2005 – 2015

### Final Report Technology-Roadmap Process-Sensors 2005 - 2015



#### Inhalt

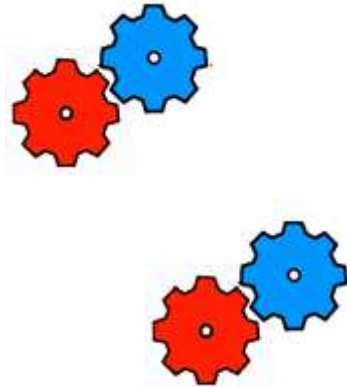
- 1 Kurzfassung
- 2 Einführung
- 3 Projektorganisation
- 4 Was ist eine Technologie-Roadmap?
- 5 Zielsetzung des Projektes
- 6 Vision
- 7 Allgemeine Anforderungen an Prozess-Sensorik
- 8 Vorgehen zur Erarbeitung der Technologie-Roadmap
- 9 Ergebnisse
- 10 Zusammenfassung und Ausblick
- 11 Anhang
- 12 Quellen

#### Contents

- 1 Overview
- 2 Introduction
- 3 Project organisation
- 4 What is a Technology Roadmap?
- 5 Target of the project
- 6 Vision
- 7 General requirements to the process-sensor technology
- 8 Procedure of the compiling of the Technology Roadmap
- 9 Results
- 10 Summary and overview
- 11 Appendix
- 12 List of references

Zusammenarbeit/Collaboration:

ABB, BASF, Bayer Technology Services,  
Degussa, Endress+Hauser, Sanofi Aventis,  
Siemens



Projektleitung/Project Management:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung

Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe wird für ihre Mitarbeit zur Entstehung der Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2005-2015“ gedankt.

Thanks to the Members of the Working Group for their Cooperation in the Creation of the Technology-Roadmap “Process-Sensors 2005 – 2015”.

Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Abele  
Dipl.-Ing. (FH) Winfried Demmerle  
Dr. Hasso Drathen  
Dipl.-Ing. Helmut Dyckmanns  
Dr. Armin Gasch  
Dr. Martin Gerlach  
Dr. Michael Gote  
Dr. Friedrich Harbach  
Dr. Ulrich Kaiser  
Dr. Michael Kloska  
Dipl.-Ing. Thorsten Laube  
Dr. Stefan Ochs  
Dr. Michael Markus  
Dipl.-Ing. Rolf Panzke  
Dipl.-Ing. Wilfried Schmieder  
Dipl.-Ing. Dieter Westerkamp

FhG-IPA  
Siemens  
Bayer Technology Services  
Degussa  
ABB  
Bayer Technology Services  
BASF  
ABB  
Endress+Hauser  
BASF  
FhG-IPA  
Bayer Technology Services  
Siemens  
Siemens  
Sanofi Aventis  
VDI/VDE-GMA

Diese Roadmap ist Eigentum der NAMUR und der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA). Nachdruck (auch auszugsweise) nur mit vorheriger Genehmigung.

This roadmap is owned by NAMUR and VDI/VDE Society for Measurement and Automatic Control (GMA). Copies after permission only.

<b>Inhalt</b>	<b>Contents</b>
<b>1 Kurzfassung ..... 4</b>	<b>1 Overview .....4</b>
<b>2 Einführung ..... 6</b>	<b>2 Introduction .....6</b>
2.1 Die chemische Industrie ..... 6	2.1 The chemical industry .....6
2.2 Die Bedeutung von Prozess-Sensoren ..6 für die chemische Industrie	2.2 The importance of the process sensors... 6 for the chemical Industry
2.3 Anlass und Motivation des Projektes .... 7 Technologie-Roadmap	2.3 Cause and motivation of the .....7 Technology-Roadmap Project
<b>3 Projektorganisation ..... 9</b>	<b>3 Project organisation .....9</b>
3.1 Projektpartner ..... 9	3.1 Project partner ..... 9
3.2 Organisation .....10	3.2 Organisation .....10
3.2.1 Steuerungskreis ..... 10	3.2.1 Control circle .....10
3.2.2 Projektlenkungsteam ..... 11	3.2.2 Project management team .....11
3.2.3 Arbeitsgruppe ..... 11	3.2.3 Working group .....11
3.3 Spielregeln ..... 11	3.3 Working rules ..... 11
<b>4 Was ist eine Technologie Roadmap?12</b>	<b>4 What is a Technology-Roadmap? .....12</b>
4.1 Bedeutung von Technologien .....12	4.1 Meaning of the Technologies ..... 12
4.2 Die Technologie-Roadmap als .....12 Methode des Technologie-Managements	4.2 The Technology-Roadmap as ..... 12 Method of the Technology management
4.3 Branchenspezifische ..... 13 Technologie-Roadmaps	4.3 Branch specific ..... 13 Technology-Roadmaps
<b>5 Zielsetzung des Projektes ..... 15</b>	<b>5 Target of the project .....15</b>
5.1 Aufzeigen von zukünftigem ..... 15 Handlungsbedarf in der Prozess-Sensorik	5.1 Indication of the future need for ..... 15 Action in the process-sensor technology
5.2 Beschleunigung der Lösung von ..... 15 Messaufgaben für verfahrens- technische Anlagen (Anwender)	5.2 Acceleration of the solution of ..... 15 Measuring tasks for procedure-technical Equipments (user)
5.3 Zielgerichtete Entwicklung (Hersteller) .15	5.3 Purposeful development (Manufacturers15
5.4 Ausgangspunkt für ..... 16 Forschungsaktivitäten	5.4 Starting point for research activities .....16
5.5 Standardisierung ..... 16	5.5 Standardization ..... 16
<b>6 Vision ..... 17</b>	<b>6 Vision .....17</b>
<b>7 Allgemeine Anforderungen an Prozess-Sensorik ..... 18</b>	<b>7 General requirements of the process-sensor technology .....18</b>
7.1 Anforderungen aus der Chemie ..... 18	7.1 Requirements from chemistry ..... 18
7.2 Kalibrierung und Justierung ..... 18	7.2 Calibration and adjustment ..... 18
7.3 Inspektion ..... 19	7.3 Inspection and maintenance ..... 19
7.4 Kommunikation ..... 19	7.4 Communication ..... 19
7.5 Bedienung .....20	7.5 Use .....20
<b>8 Vorgehen zur Erarbeitung der Technologie-Roadmap .....21</b>	<b>8 Procedure of the compiling of the Technology-Roadmap .....21</b>
<b>9 Ergebnisse .....25</b>	<b>9 Results .....25</b>
9.1 Zusammenfassung ..... 25	9.1 Summary .....25
9.2 Übersicht über die untersuchten ..... 33 Verfahrensschritte	9.2 Overview about the analysed ..... 33 Procedural steps
9.3 Auswertungen ..... 38	9.3 Evaluations ..... 38
9.4 Technologie-Roadmap ..... 46	9.4 Technology-Roadmap ..... 46
9.5 Das technologische Umfeld ..... 50	9.5 The technological environment ..... 50
<b>10 Zusammenfassung und Ausblick ....52</b>	<b>10 Summary and overview52.....52</b>
<b>11 Anhang .....54</b>	<b>11 List of references .....54</b>
<b>12 Quellen .....55</b>	<b>12 Requirement lists .....55</b>

## 1 Kurzfassung

Die vorliegende Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2005 – 2015“ wurde in einem gemeinsam Projekt der Organisationen NAMUR und VDI/VDE-GMA unter Mitwirkung der Unternehmen ABB, Bayer Technology Services, Degussa, Endress+Hauser, Sanofi Aventis und Siemens sowie dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) erarbeitet.

Die Technologie-Roadmap verfolgt folgende Ziele:

- Zusammenbringen von Technologie- und Marktsicht,
- Aufzeigen des Bedarfes an neuer Sensorik,
- Einfluss auf die Lenkung von Fördermitteln sowie
- Vorbereitung auf zu erwartende Entwicklungen, Rahmenbedingungen und Richtlinien

im Themengebiet Prozess-Sensoren für die chemische Industrie.

Sensoren werden für unterschiedlichste Zwecke in der Prozessautomatisierung eingesetzt. Von den Experten der beteiligten Unternehmen wurden daher in einem mehrstufigen Auswahlprozess besonders wichtige Verfahrensschritte mit den zugehörigen Messaufgaben ausgewählt. Für diese wurden die Anforderungen aus Anwendersicht detailliert beschrieben. Darauf aufbauend wurden Möglichkeiten für die technische Lösungen inklusive einer Einschätzung der zugehörigen zeitlichen Einordnung aus Sicht der Hersteller erarbeitet.

Die Ergebnisse der Roadmap lassen sich in folgenden Kernthesen zusammenfassen, welche in Kap. 9 detailliert beschrieben werden.

- 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.

## 1 Overview

The present Technology-Roadmap “Processor-Sensors 2005 – 2015” was compiled in a joint project of the organisations NAMUR and VDI/VDE-GMA under the collaboration of the enterprises ABB, Bayer Technology Services, Degussa, Endress+Hauser, Sanofi Aventis and Siemens as well as Fraunhofer-Institute for manufacturing engineering and automation (IPA) .

The Technology-Roadmap pursues the following targets:

- Bringing together of the technological and market view,
- Indicating the demands of the new sensor technology,
- Influence on the subsidies management as well as
- Preparing to the expected developments, generalconditions and guidelines

in the topic process sensors for the chemical industry.

Sensors are used for the different purposes in the process automation. Hence, especially important procedure steps with the accompanying measuring tasks were selected in a multistage choice process by the experts of the involved companies. The requirements from user's view were described for them in detail. On this basis, possibilities for the technical solutions including an evaluation of the accompanying temporal classification from manufacturers' point of view were compiled.

The results of the roadmap can be summarized in the following main theses, which are described in detail in Chap. 9

- I. New process sensor technology is used not only while investing into the new equipments but also increasingly used for the further optimization of existing equipments.
- II. The new requirements on the process sensor technology contains of the ascertainment of the inter- and trend information about product characteristics like material composition for control purposes and not only the ascertainment of process information.
- III. There are higher exactness demands for specific applications in the process data.

- 
- |  |   |
|--|---|
| IV. Es sind Informationen über die räumliche Verteilung von Prozessdaten gewünscht.                    | IV. The information about local distribution of process data is desired.                                  |
| V. Die Ermittlung von Grenzflächen oder -phasen ist eine lange bestehende Forderung.                   | V. The evaluation of the interfaces or interphases is a long existing requirement.                        |
| VI. Es gibt einen Trend zu Bioprozessen, auch für bisher konventionell chemisch hergestellte Produkte. | VI. There is a trend to the bioprocesses, also for the up to now conventionally chemically made products. |
| VII. Eine prozesstaugliche Zielproteinanalyse für Bioprozesse wäre revolutionär.                       | VII. A process suitable target protein analysis for bioprocesses would be revolutionary.                  |
| VIII. Es besteht die Notwendigkeit, Sensoren für die Mikroverfahrenstechnik zur Verfügung zu stellen.  | VIII. There is a demand to have sensors for micro-process technology in the future.                       |

Im Laufe des ca. einjährigen Projektes wurden von Juni 2004 bis Mai 2005 25 repräsentative Messaufgaben detailliert betrachtet. Die Ergebnisse können von Unternehmen für die zielgerichtete Entwicklung von Prozess-Sensoren verwendet werden.

During an approximately one-year project, the representative measuring tasks could be analyzed in detail from June 2004 till May 2005. The results can be used by the enterprises for the target-oriented process sensor development.

Auf Basis der vorliegenden Technologie-Roadmap können Forschungsprogramme mit der Zielsetzung der Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Industrien in Deutschland und in Europa initiiert werden.

On the basis of the present Technology-Roadmap the research programs with the objective of the strengthening of the competitiveness of the involved industries in Germany and in Europe can be initiated.

## 2 Einführung

### 2.1 Die chemische Industrie

Die chemische einschließlich der pharmazeutischen Industrie trägt mit mehr als 460.000 Beschäftigten, welche einen Umsatz von mehr als 135 Mrd. Euro (2003, Quelle BMWA) erwirtschaften, maßgeblich zur Beschäftigung in Deutschland bei.

Mit den jährlich über 7 Milliarden Euro Ausgaben für Forschung und Entwicklung gehört die chemische Industrie zu den drei innovativsten und forschungsintensivsten Branchen des verarbeitenden Gewerbes. Gemessen am Umsatz steht die deutsche Chemieindustrie weltweit an dritter Stelle hinter den USA und Japan. Nur rund ein Fünftel der Produkte der chemischen Industrie gehen direkt an den Endverbraucher, wie zum Beispiel Life Science Produkte oder Wasch- und Körperpflegemittel. Der Großteil der Produktion wird an die weiterverarbeitende Industrie geliefert, vor allem in den Maschinenbau, die Textilwirtschaft, die Bauwirtschaft, die Verpackungsindustrie und in den Fahrzeugbau. Rund 20 Prozent der gesamten Chemieproduktion entfallen auf pharmazeutische Erzeugnisse, womit die pharmazeutische Industrie einen der bedeutendsten Zweige der chemischen Industrie darstellt. Sie trägt darüber hinaus einen überproportional hohen Beitrag zur Forschung bei. In der chemischen Industrie führen steigender Wettbewerbsdruck, Umweltschutzauflagen und Energie-/Rohstoffkosten zu großen Anstrengungen, die Produktionsanlagen noch effizienter zu betreiben.

### 2.2 Die Bedeutung von Prozess-Sensoren für die chemische Industrie

Prozess-Sensorik ist ein wichtiges Element zur Optimierung der Produktionsanlagen.

Die Forderung nach einer hohen Verfügbarkeit der Anlagen wird heute nicht allein durch robuste Komponenten und zuverlässige Wartung erfüllt. Die Forderung nach einer reproduzierbaren Produktqualität kann nicht mehr allein durch eine gute Laboranalytik realisiert werden und die Forderung nach der Senkung der Produktionskosten kann auch nicht nur durch Personalabbau erfolgen. Wenn die Unternehmen langfristig am Markt überleben wollen, dann muss in erster Linie der Produktionsprozess rentabler, präziser, flexibler und näher am Optimum gesteuert werden. Dies gelingt insbesondere durch Verfahren der Mess- und Automa-

## 2 Introduction

### 2.1 The chemical industry

The Chemical Industry including the pharmaceutical Industry decisively contributes with more than 460,000 employees, who gain a turnover of more than 135 Bn. euros (2003, Source BMWA), to the employment in Germany

With yearly more than 7 billion euros expenditures for research and development, the chemical industry is one of the three most innovative and most research-intensive branches of the processing industries. Measured in the turnover the German chemical industry stands worldwide at the third place behind the USA and Japan. Only around one fifth of the products of the chemical industry like, for example, Life Science products or detergents and personal care products go directly to the end user. The large part of the production is delivered to the processing industry, first of all to the mechanical engineering, the textile industry, the building industry, the packaging industry and in the vehicle construction. About 20 percent of the whole chemical production account for pharmaceutical products, making the pharmaceutical industry one of the most significant branches of the chemical industry. In addition, it contributes disproportionately a lot to the research development. In the chemical industry rising competitive pressure, environmental protection requirements and energy and raw material costs lead to great efforts to use the production plants more efficiently.

### 2.2 The importance of the process sensors for the chemical industry

Process Sensor technology is an important element for the optimization of the production equipment.

Today the demand for a high availability of the equipment is fulfilled by robust components and reliable maintenance. The demand for a reproducible product quality cannot only be realized by good labor analytics alone and the demand for the production costs decrease also cannot be fulfilled only through the staff reduction. If enterprises wish to survive in the market for a long term, then, first of all, the production process must be managed more profitably, more exactly, more flexibly and closer to the optimum. This succeeds in particular when using the measuring- and automation methods.

tisierungstechnik.

Sensoren und Mess-Systeme liefern Informationen für

- die Führung von Prozessen,
- den sicheren Ablauf von Prozessen,
- die Überwachung von Emissionen,
- die Anlagenüberwachung.

Ohne Sensorik ist eine Automatisierung von Prozessen und das Betreiben von Anlagen in der chemischen Industrie nicht möglich. Darum kommt der Prozess-Sensorik eine besondere Bedeutung zu. Die Messtechnik hat einen hohen Reifegrad erreicht – allerdings gibt es Messaufgaben, die heute noch nicht oder noch nicht ausreichend gelöst sind.

### 2.3. Anlass und Motivation des Projektes Technologie-Roadmap

„Prozess-Sensoren 2005-2015“

Auf Basis verschiedener Vorüberlegungen wurden im Rahmen von gemeinsamen Arbeitssitzungen der NAMUR und GMA beschlossen, eine gemeinsame Technologie-Roadmap für „Prozess-Sensoren“ zu erarbeiten, an der sich führende Unternehmen der chemischen Industrie und der Automatisierungstechnik beteiligen.

Bereits im Jahr 2002 gab es erste konkrete Ansätze, die in den Sensorsystemen beinhalteten Potenziale systematisch auszuschöpfen. Auf der NAMUR-Hauptsitzung 2002 wurde von Gerlach u. a. [1] die Bedeutung der Online-Analytik für die Prozessführung dargestellt. Auf der Sitzung 2003 betrachteten dann Sanden u. a. [2] und Gote u. a. [3] beispielhaft die Anforderungen an die Sensorsysteme. Zur gleichen Zeit entstand der Gedanke, die Technologie-Roadmap-Methode als Gemeinschaftsinitiative auf das Themenfeld „Prozess-Sensoren“ anzuwenden (Schaudel, Dieter [4]).

Auf Basis dieser Vorüberlegungen wurden im Rahmen von gemeinsamen Arbeitssitzungen der Verbände NAMUR (Interessengemeinschaft Prozessleittechnik in der chemischen und pharmazeutischen Industrie) und GMA (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik) beschlossen, eine gemeinsame Technologie-Roadmap für „Prozess-Sensoren“ zu erarbeiten, an der sich führende Unternehmen der chemischen Industrie und namhafte Unternehmen der Automatisierungstechnik in Deutschland beteiligen.

Mit Hilfe der Technologie-Roadmap sollen Technologie- und Marktsicht im Themengebiet

Sensors and measuring systems provide information for

- process management,
- secure process sequence,
- emission control,
- equipment control.

In the chemical industry the process automatization and the equipment running are impossible without sensor technology. That is why the process sensor technology has a special meaning. The measuring technique has reached a high degree of development – but there are the measuring tasks which are not solved even today or not enough yet.

### 2.3. Cause and motivation of the Technology-Roadmap project

“Process-Sensors 2005-2015”

On the basis of the different preliminary considerations within the scope of general Working Meetings of the NAMUR and GMA, it was decided to compile a common Technology-Roadmap for "Process-Sensors" which would involve the leading chemical Industry and the automation technology enterprises.

Already in 2002 there were the first concrete attempts to exhaust systematically the potentials, contained in the sensor systems. During the NAMUR main meeting in 2002 Gerlach et a. [1] presented the meaning of the online analytics for the process management. Then in the meeting held in 2003, Sanden et a. [2] and Dr. Gote et a. [3] considered exemplarily the requirements on the sensor systems. At the same time the idea appeared to apply the Technology-Roadmap method as a collaborative initiative to the subject field "Process sensors" (Schaudel, Dieter [4]).

On the basis of these preliminary consideration in the scope of the general working meetings of the associations NAMUR (Association of the Process Technique Users in the Chemical and Pharmaceutical Industry) and GMA (VDI/VDE-Society for Measurement and Automatic Control) it was decided to compile a common Technology-Roadmap for the "process sensors", which would involve the German leading chemical enterprises and the famous enterprises of the automation technology.

With the help of the technology the roadmap and market view should be analyzed and adjusted in

---

Prozess-Sensoren für die chemische Industrie betrachtet und abgestimmt, der Bedarf an neuer Sensorik aufgezeigt sowie Einfluss auf die Lenkung von Fördermitteln genommen werden. Sie soll zusätzlich als Basis für die Vorbereitung auf zu erwartende Entwicklungen grundlegender Anforderungen und Richtlinien dienen.

the branch of process sensors for the chemical industry, the necessity in the new sensor technology must be displayed and the influence on subsidies distribution must be exerted. In addition, it should serve as a basis for the preparation of the expected developments, basic conditions and guidelines.

### 3 Projektorganisation

#### 3.1 Projektpartner

Die vorliegende Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2005 – 2015“ wurde in einem gemeinsamen Projekt der Organisationen NAMUR und VDI/VDE-GMA unter Mitwirkung der Unternehmen ABB, Bayer Technology Services, Degussa, Endress+Hauser, Sanofi Aventis und Siemens sowie dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) erarbeitet.

Die NAMUR ist die Interessengemeinschaft Prozessleittechnik der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Von zurzeit 94 Mitgliedsfirmen stammen 3/4 aus Deutschland. Weitere Mitglieder sind in Spanien, Österreich, Ungarn, Schweiz, Belgien und den Niederlanden ansässig. Die NAMUR verfolgt insbesondere die Zielsetzung, neben dem Erfahrungsaustausch und der Realisierung von firmenübergreifenden Synergiepotenzialen eine Abstimmung der Anforderungen bei der technischen Weiterentwicklung von Geräten und Methoden zur Beratung der Hersteller vorzunehmen. Es existieren hierfür Kooperationen mit anderen Verbänden zur Effizienzsteigerung, Vermeidung von Doppelarbeiten und Abstimmung der Interessen, u. a. auch mit der GMA.

Die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) ist eine gemeinsame Fachgesellschaft des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) und des technischen Wissenschaftlichen Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE), in der alle gemeinsamen Aktivitäten der beiden Organisationen im Bereich der Mess- und Automatisierungstechnik konzentriert sind. Die GMA fördert u. a. den Informationsaustausch zwischen Industrie, Hochschulen, wissenschaftlichen Institutionen und Behörden und erarbeitet technische Richtlinien, Empfehlungen und technisch-wissenschaftliche Publikationen, auch im Vorfeld der Normung. Dabei arbeiten rund 1000 Ingenieure ehrenamtlich in den sieben Fachbereichen mit ca. 75 Fachausschüssen.

An der Erstellung der Technologie-Roadmap haben Experten aus repräsentativen Unternehmen der Organisationen GMA und NAMUR mitgewirkt: ABB, BASF, Bayer Technology Services, Degussa, Endress+Hauser, Sanofi Aventis, Siemens. Die Projektleitung wurde dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart, übertragen, welches durch zahlreiche Industrie- und Projekterfahrungen über einschlägiges Know-how

### 3 Project organization

#### 3.1 Project partner

The present Technology-Roadmap “Processor-Sensors 2005 – 2015” was compiled in a joint project of the organisations NAMUR and VDI/VDE-GMA under the collaboration of the enterprises ABB, Bayer Technology Services, Degussa, Endress+Hauser, Sanofi Aventis and Siemens as well as Fraunhofer-Institute for manufacturing engineering and automation (IPA).

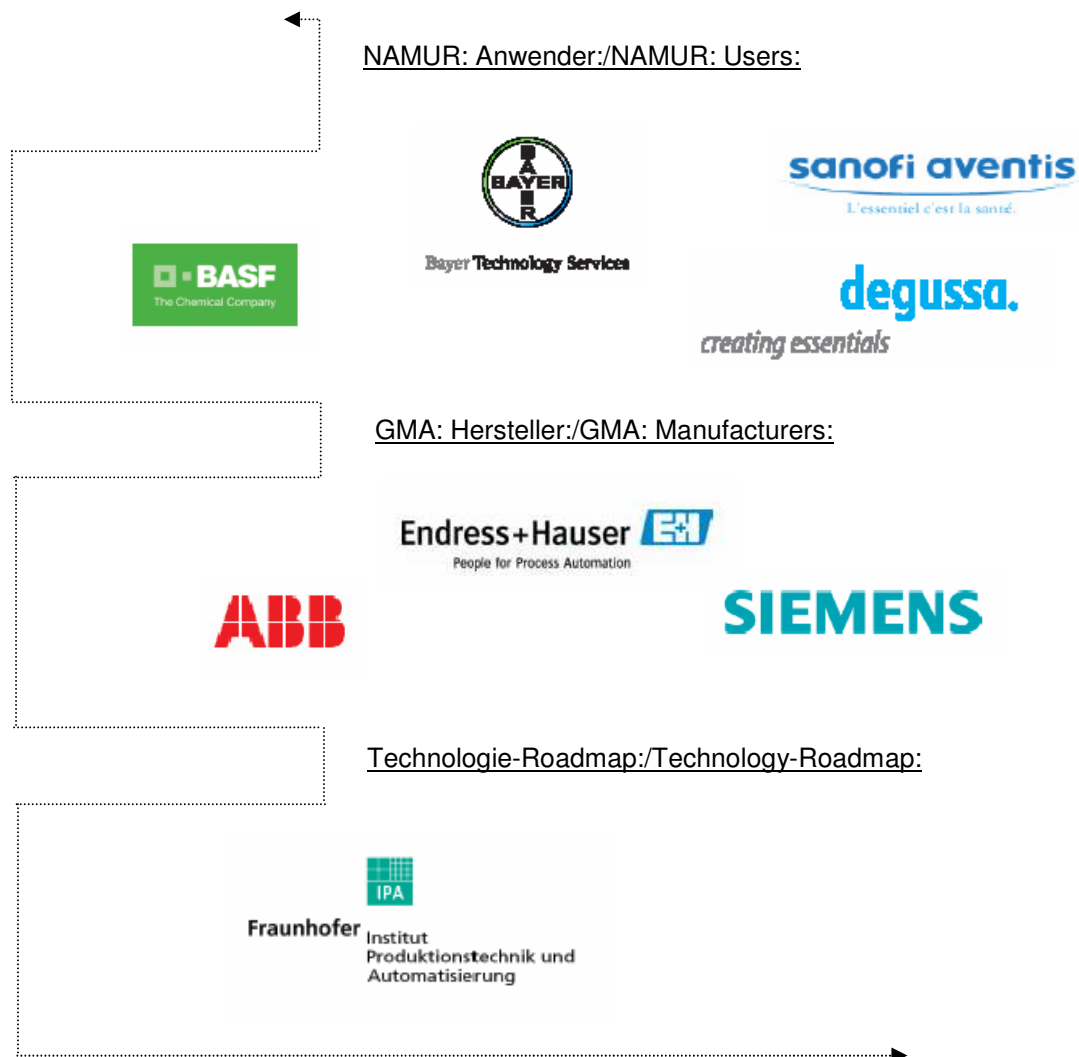
The NAMUR is the community of interests of the process leading technology of the chemical and pharmaceutical industry. At the moment from 94 member companies from the German-speaking area  $\frac{3}{4}$  originate from Germany. Other members have their residence in Spain, Austria, Hungary, Switzerland, Belgium and the Netherlands. In addition to the experience exchange and the realization of the company covering synergy potentials, the NAMUR pursues in particular the objective to match the requirements with the technical advancement of devices and methods of the consultation of the manufacturers. For this there is cooperation with other societies to increase the efficiency, to avoid double work and to match the interests, and et.al. with the GMA.

The VDI/VDE Association for Measurement and Automatic Control (GMA) is a joint professional society of the Association of German engineers (VDI) and the technical-scientific Association for Electrical, Electronic and Information Technologies (VDE), where all common activities of both organizations in the area of the measuring technology and automation technology are concentrated. The GMA promotes the information exchange between industry, universities, scientific institutions and authorities and compiles technical guidelines, recommendations and technical-scientific publications, also in the fore-front of the standardization. Besides, about 1000 engineers work as volunteers in seven departments with approx. 75 technical committees.

Experts from representative enterprises of organizations GMA and NAMUR have cooperated in the creation of the Technology-Roadmap: ABB, BASF, Bayer Technology Services, Degussa, Endress+Hauser, Sanofi Aventis, Siemens. The project management was transferred to the Fraunhofer Institute for manufacturing Engineering and Automation, Stuttgart, which possesses about appropriate know-how in the area of the technology management and in

im Bereich des Technologiemanagements und dabei insbesondere dem Technologie-Roadmapping verfügt.

particular in the technology roadmapping thanks to numerous experiences in industry and projects.



### 3.2 Organisation

Die Projektorganisation zur Erstellung der Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2005-2015“ bestand aus 3 Ebenen:

#### 3.2.1 Steuerungskreis

Der Steuerungskreis setzte sich aus Mitgliedern der Organisationen VDI/VDE-GMA und NAMUR zusammen. Er definierte die Ziele des Projektes, überwachte den Projektfortschritt und war für die Zusammensetzung der am Projekt beteiligten Unternehmen zuständig.

### 3.2 Organisation

The project organisation to the creation of the Technology-Roadmap “Process-Sensors 2005-2015” consisted of three levels:

#### 3.2.1 Control circle

The control circle consisted of members of organizations VDI/VDE-GMA and NAMUR. The control circle defined the purposes of the project, supervised the project progress and was responsible for the cooperation of the enterprises involved in the project.

### 3.2.2 Projektlenkungsteam

Das Projektlenkungsteam bestand aus einem Vertreter der GMA, NAMUR und des Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart. Es führte das Projekt operativ durch und berichtete dem Projektsteuerkreis. Die Projektleitung wurde dabei dem Fraunhofer-IPA übertragen.

### 3.2.3 Arbeitsgruppe

Die Arbeitsgruppe, welche sich aus den Fachexperten der beteiligten Unternehmen zusammensetzte, erarbeitete die fachlichen Inhalte der Technologie-Roadmap.

### 3.3 Spielregeln

Für die gemeinsame Arbeit der Partner wurden Spielregeln vereinbart:

- Gemeinsam erarbeitete Ergebnisse werden gemeinsam verwertet bzw. patentiert (Erfindungen).
- Es ist ausgeschlossen, dass Einzelne Rechte an den Ergebnissen geltend machen.
- Eigentümer der Roadmap sind GMA und NAMUR. Jeder Partner hat einen vergleichbaren Input bzgl. Qualität und Quantität zu liefern (Projektteam eskaliert an Steuerkreis).
- Klassifizierung der Ergebnisse als „vertraulich“ und nicht zur Veröffentlichung.
- Veröffentlichung nach Abstimmung im Steuerkreis.
- Betrachteter Zeithorizont der Roadmap ist bis 10 Jahre in die Zukunft.
- Steuerkreis beschließt allein die Erweiterung der Teilnehmer der Mitgliedsorganisationen.
- Teilnehmende Firmen sollten das breite Spektrum der Sensoren überwiegend abdecken.
- Beschlüsse durch den Steuerkreis sollen im gegenseitigem Einvernehmen erfolgen.

### 3.2.2 Project management team

The project management team consisted of a representative of the GMA, NAMUR and the Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation (IPA), Stuttgart. The project management team carried out the project functionally and informed the project control circle. Besides, the project management was transferred to the Fraunhofer-IPA.

### 3.2.3 Working group

The working group, which consisted of the experts in the involved enterprises, compiled the technical contents of the Technology-Roadmap.

### 3.3 Working rules

For the cooperative Partner work the play rules were arranged.

- Compiled results are used cooperatively or patented (invention).
- It is impossible, that some individuals assert their rights on the results.
- Owners of the roadmap are GMA and NAMUR. Each partner has to deliver a comparable input concerning quality and quantity (project team escalates a management circle).
- Classification of the results are "confidential" and not for publication.
- Publication is possible after a poll in the control circle.
- The considered time horizon of the roadmap is set to 10 years in the future.
- Only control circle decides about the extension of the participants of the members' organizations
- Involved enterprises should cover predominantly the wide spectrum of the sensors.
- Decisions of the control circles should occur in the mutual agreement.

#### 4. Was ist eine Technologie-Roadmap?

Technologie-Roadmaps sind Grundlage für die strategische Entwicklung und Anwendung von neuen Technologien.

##### 4.1 Bedeutung von Technologien

Unter Technologie (griech.: technologia – die Lehre / das System der Technik) versteht man die Gesamtheit der Verfahren zur Produktion von Gütern und Dienstleistungen, die einer Gesellschaft zur Verfügung stehen. Sie beinhaltet die Komponenten der Technik (Werkzeuge, Geräte, Apparate), die materiellen und organisatorischen Voraussetzungen und deren Anwendung.

Damit sind Technologien Basis für die Entwicklung und den Einsatz von innovativen Produkten und Dienstleistungen und sind deshalb Grundlage für eine entsprechende wirtschaftliche Entwicklung. Gerade für den durch hohe Löhne und Lohnnebenkosten gekennzeichneten Standort Deutschland besitzen Technologien und ihre Weiterentwicklung eine besondere Bedeutung. Diese gesamtwirtschaftliche Betrachtung setzt sich auf der Unternehmensebene fort. Im Wettlauf mit der Zeit werden nur diejenigen Unternehmen erfolgreich sein, welche neue Technologien am Schnellsten nutzen und mit Innovationen konsequent Positionen am Markt besetzen. Technische Innovationen bieten dabei die Möglichkeit, neue Produkt-Markt-Felder zu eröffnen oder auf vorhandenen Märkten Differenzierungs- und Kostenvorteile gegenüber Konkurrenten zu erzielen. Der Aufbau und das Halten erfolgreicher Wettbewerbspositionen ist damit maßgeblich eine Frage des erfolgreichen Technologiemanagements, also des Handhabens von Potenzialen an verfügbaren Technologien und des adäquaten Technologieeinsatzes. Die langfristige Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen hängt infolgedessen von der Fähigkeit ab, technologische Anforderungen an Produkte und an die Produktion frühzeitig zu erkennen, diese zu formulieren und in ihre Entwicklungsplanung einzubringen.

##### 4.2 Die Technologie-Roadmap als Methode des Technologie-Managements

Eine wichtige Methode des Technologiemanagements zur Vorbereitung von Technologien für zukünftige Produkte stellt die Technologie-Roadmap bzw. der Technologiekalender dar. Der englische Begriff Roadmap (deutsch: Straßenkarte) verdeutlicht bereits den Anspruch der Methode, Organisationen und Unternehmen Unterstützung bei der Navigation auf dem vor einem liegenden Weg zu bieten.

#### 4. What is a Technology-Roadmap?

Technology-Roadmaps are the basis for the strategical development and application of new technologies.

##### 4.1 Meaning of the Technologies

Under technology (Greek: technologia – the apprenticeship / the system of the technology) one understands the number of procedures for the production of goods and services which are available to a society. They contain the components of the techniques (tools, devices, and machines), the material and organizational conditions and their application.

With this, technologies are a base for the development and the application of innovative products and services and are therefore a basis for a suitable economic development. Just for the location Germany marked by high wages and non-wage labor costs, technologies and their development have a special meaning. This macroeconomic consideration continues at the enterprise level. In the time race, only those enterprises will be successful which use new technologies as soon as possible and with innovations consequently occupy positions in the market. Besides, technical innovations offer the possibility to open new product market fields or to achieve differentiation and cost advantages towards competitors in the available markets. The construction and the maintenance of successful competitive positions is decisively a question of the successful technology management, i.e., of the administration of the potentials of available technologies and the adequate technology application. The long-term competitiveness of enterprise depends consequently on the ability to recognize early technological requirements on products and production, to formulate them and to introduce them in development planning.

##### 4.2 The Technology-Roadmap as a Method of the Technology Management

An important method of the technology management for the preparation of technologies for future products is the Technology-Roadmap or the technology calendar. The English concept Roadmap as a streetmap already points up the claim of the method to offer organizations and enterprises support with the navigation through a way one has before him.

Erste Ansätze von Technologie-Roadmaps lassen sich im englischsprachigen Raum u. a. bei Motorola [5] finden, in Deutschland kann der Einsatz von Technologie-Roadmaps in der Flugzeugindustrie durch Westkämper [6] aufgeführt werden. Als weitere prominente Ansätze lassen sich Schuh/Eversheim [7, 8], Wildemann [9] oder auch die von der European Industrial Research Management Association [10] entwickelte Methode nennen. Technologie-Roadmaps werden von Unternehmen und Organisationen in vielen unterschiedlichen Formen mit zum Teil unterschiedlichen Zielsetzungen angewendet.

Die primäre Zielsetzung für den Einsatz von Technologie-Roadmaps als Management-Instrument in Unternehmen ist die Identifizierung und Darstellung technologiebezogener Projekte, die für die Entwicklung aller produkt- und produktionsseitig für zukünftige Produkte notwendigen technologischen Kompetenzen erforderlich sind.

#### 4.3 Branchenspezifische Technologie-Roadmaps

Im Vordergrund der vorliegenden Branchen-Technologie-Roadmap liegt dagegen die Entwicklung eines konsistenten Zukunftsbildes bzw. Zukunftsszenarios aus der Sicht von und für die Entwicklung einer Branche. Dieser Ansatz wird im englisch-sprachigen und asiatischen Raum massiv durch Organisationen und Verbände sowie Regierungsinstitutionen etc. verfolgt.

So finden sich allein auf der Web-Seite Strategis der kanadischen Regierungsbehörde Industry Canada [11] u. a. folgende Roadmaps:

- Aluminum
- Bio-based Feedstocks, Fuels and Industrial Products
- Canadian Aircraft Design Manufacturing and Repair and Overhaul
- Canadian Electrical Power
- Canadian Fuel Cell Commercialization
- Canadian Metal Casting
- Forestry Operations
- Functional Foods and Nutraceuticals
- Intelligent Buildings
- Lean Logistics
- Lumber and Value-Added Wood Products etc.

Zahlreiche weitere Roadmaps finden sich beispielhaft in den USA auf den Seiten des Energieministeriums [12], z. B. die Chemical Vision 2020 sowie beim Korea Institute of Science and Technology [13] usw.

The first Technology-Roadmap approaches can be found in the English-speaking area and et.al. in Motorola [5], in Germany can be mentioned. The application of Technology-Roadmaps in the aircraft industry by Westkämper [6]. As other prominent attempts [10] one can mention methods by Schuh/ Eversheim [7.8], Wildemann [9] or another method, developed by the European Industrial Research Management Association. Technology-Roadmaps are applied by enterprise and organizations in many different forms with partly different objectives.

The primary objective for the application of Technology-Roadmaps as a management instrument in an enterprise is identification and representation of technology-related projects which are necessary for the development of the technological competences for future products on the side of products and production.

#### 4.3 Branch specific Technology-Roadmaps

On the contrary, the development of a consistent view of future or future scenario from the point of view of the development of a branch lies in the foreground of the present branch Technology-Roadmap. This approach is predominantly used in the English-speaking and Asian area by organizations and associations as well as government institutions, etc.

Thus all the following roadmaps are found only on the web-page Strategies of Canadian government authority. "Industry Canada" [11]:

- Aluminum
- Bio-based Feedstocks, Fuels and Industrial Products
- Canadian Aircraft Design Manufacturing and Repair and Overhaul
- Canadian Electrical Power
- Canadian Fuel Cell Commercialization
- Canadian Metal Casting
- Forestry Operations
- Functional Foods and Nutraceuticals
- Intelligent Buildings
- Lean Logistics
- Lumber and Value-Added Wood Products etc.

Numerous other roadmaps are found exemplarily in the USA on the sites of the energetic ministry [12], e.g., the Chemical Vision 2020 as well as of the Korean Institute of Science and Technology [13], etc.

Die vorliegende Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2005 - 2015“ stellt wohl die erste Erstellung einer derartigen Technologie-Roadmap für eine Branche im deutschsprachigen Raum dar. Im Vergleich mit den bereits aufgeführten Branchen-Technologie-Roadmaps lassen sich jedoch folgende Aspekte hervorheben:

- Die Technologie-Roadmap wurde nicht wie üblich aus der Sicht eines Verbandes erarbeitet, sondern stellt das Ergebnis der kooperativen Zusammenarbeit zweier Verbände sowie ihrer Unternehmen von sowohl Anwender- als auch Herstellerseite dar.
- Die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise geht über den Anspruch einer normalen branchenspezifischen Technologie-Roadmap hinaus, da sie neben der zeitlichen Einordnung von Anforderungen auch mögliche technische Lösungswege und potenzielle Marktpotenziale aufzeigt.

The present Technology-roadmap "Process Sensors 2005-2015" probably shows the first production of such a Technology-Roadmap for one branch in the German-speaking area. Nevertheless, in comparison to the already mentioned Branch-Technology-Roadmaps the following aspects can be emphasized:

- The Technology-Roadmap was compiled not only from the point of an association as usual, but it also presents a result of the cooperative collaboration of two associations as well as their enterprises from user's as well as manufacturer's point of view.
- The approach, described in the following, exceeds the claim of a normal Technology-Roadmap specific for branches, as it also shows possible technical solution ways and possible market potentials in addition to the temporal classification of requirements.

## 5 Zielsetzung des Projektes

Durch dieses Projekt wurde angestrebt, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen chemischen Industrie sowie ihrer Prozesstechnik-Lieferanten zu stärken.

Wettbewerbsvorteile lassen sich einerseits auf der Ausnutzung einer zielgerichteten Entwicklung sowie eines zeitlichen Vorteils bei der Anwendung erzielen. Die Wettbewerbsfähigkeit der chemischen und pharmazeutischen Industrie hängt besonders von der optimalen Nutzung der Energien, Rohstoffe und des investierten Kapitals ab. In diesem Zusammenhang kann gerade eine gute Prozessführung unter Nutzung innovativer Sensorik auch in Hochlohnländern einen wesentlichen Beitrag zu einem globalen Wettbewerbsvorteil gegenüber Niedriglohnländern führen, die mit weniger effizienter Technik produzieren. Mit der Zusammenarbeit der beiden Organisationen GMA und NAMUR sowie der beteiligten Unternehmen im Technologie-Roadmap-Projekt wurden folgende konkrete Zielsetzungen verfolgt:

### 5.1 Aufzeigen von zukünftigem Handlungsbedarf in der Prozess-Sensorik

Mit dem Zusammenbringen von Technologie- und Marktsicht durch die Verbände soll sowohl aus Anwender- als auch Herstellersicht der künftige Handlungsbedarf bzw. das Potenzial im Bereich der Prozess-Sensorik aufgezeigt werden.

### 5.2 Beschleunigung der Lösung von Messaufgaben für verfahrenstechnische Anlagen (Anwender)

Mit der Erstellung der Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2005 - 2015“ wird aus Sicht der Anwender das Ziel verfolgt, mit Hilfe von anforderungsgerechten Prozess-Sensoren die Basis für den Aufbau von Wettbewerbsvorteilen zu erhalten. Im Vordergrund stehen dabei anwenderübergreifende Lösungen. Durch die angestrebte Identifizierung und zeitliche Einordnung von technologischen Weiterentwicklungen kann zudem auf Anwenderseite das zukünftige Potenzial von Anlagen abgeschätzt und damit auch die Investitionsplanung unterstützt werden.

### 5.3 Zielgerichtete Entwicklung (Hersteller)

Die Technologie-Roadmap ermöglicht den Herstellern von Prozess-Sensoren, sich einen Überblick über heutige und zukünftige Anwenderanforderungen zu verschaffen. Dieses Wissen versetzt Unternehmen der Automatisierungstechnik in die Lage, eine

## 5 Target of the project objective

By this project, the objective was to increase the competitiveness of the German chemical Industry and its process technology-suppliers.

Competitive advantages can be achieved on one hand by the exploitation of a purposeful development and of a temporal advantage during the application. Besides, in high wage countries the competitiveness depends decisively on the quality, the availability of equipments, etc. Under the acceptance that on account of the low labor costs the application of expensive technology is not worth in the countries with lower wage level, high wage countries can reduce the gap of the production costs by the application of innovative technology.

The following concrete targets are pursued with the collaboration of both organizations GMA and NAMUR and the involved enterprises in the Technology-Roadmap project:

### 5.1 Indication of the future need for action in the process-sensor technology

By bringing together the technology and market view by the associations, the future need for action or the potential from the user's as well as manufacturer's point of view in the branch of the process sensor technology should be indicated.

### 5.2 Acceleration of the solution of measuring tasks for procedure-technical equipments (user)

Production of the Technology-Roadmap "Process Sensors 2005-2015" pursues the purpose from the user's point of view to receive the base for the creation of competitive advantages with the help of requirement-appropriate process sensors. Besides, user-covering solutions stand in the foreground. Through the intended identification and temporal classification of the technological advancements, the future potential of equipments can be estimated on users' side and this can also support the investment planning.

### 5.3 Purposeful development (Manufacturers)

The Technology-Roadmap enables the process sensor manufactures to make an overview about the present and future users' requirements. This knowledge places the automation technology enterprises into the position, to carry out a purposeful product development in view of:

---

zielgerichtete Produktentwicklung im Hinblick auf:

- Planung ihrer zukünftigen Produkt- und Produktionstechnologien
- Steuerung des Ressourceneinsatzes vorzunehmen.

- planning of their future product and production technologies
- management of the resource use

#### 5.4 Ausgangspunkt für Forschungsaktivitäten

Die Technologie-Roadmap enthält als Ergebnis das bewertete und abgestimmte Zukunftsbild aus Sicht zweier Organisationen mit ihren führenden Unternehmen. Der darin enthaltene Handlungsbedarf und die Weiterentwicklungspotenziale sollen als Kristallisationspunkte z. B. für universitäre Forschung dienen. Zugleich wird angestrebt, damit zielgerichtete, übergreifende Industrie- und Forschungsprojekte zu initiieren.

#### 5.4 Starting point for research activities

As a result, the Technology-Roadmap contains the estimated and coordinated future view from the point of view of two organizations with their leading enterprises. The need for action, contained in it, and the advancement of potential should serve as crystallization points, e.g., for academic research. At the same time it is aimed with it to initiate purposeful, general industrial and research projects

#### 5.5 Standardisierung

Die Identifizierung von technologischen Entwicklungspfaden bietet die Grundlage für eine frühzeitige Vorbereitung von Richtlinien, Standards und Rahmenbedingungen.

#### 5.5 Standardization

The identification of technological developing paths offers the basis for a preparation at an early stage of guidelines, standards and basic conditions.

## 6 Vision

Für Prozess-Sensoren besteht eine klar formulierte Vision (vgl. Sanden u. a. [2]).

- Alle physikalischen und chemischen Daten sind jederzeit von allen Anlagenteilen und Prozessen verfügbar.
- Die Messungen erfolgen ohne Eingriff in den Prozess.
- Die Messwerte sind in Echtzeit verfügbar.
- Idealerweise funktionieren die Sensorsysteme ohne Wartung, Kalibrierung und Justierung.
- Die Sensorsysteme sind störungsfrei.
- Die Sensorsystemkosten sind niedrig.

## 6 Vision

There is a clearly formulated vision for the Process-Sensors (see Sanden u. a. [2]).

- All physical and chemical data are available at any time by all equipment parts and processes
- The measurements take place without interference into the process.
- The measured values are available in real time.
- In the ideal case the sensor systems function without maintenance, calibration and adjustment.
- The sensor systems are failure-free.
- The sensor systems are inexpensive.

## **7 Allgemeine Anforderungen an Prozess-Sensorik**

Der Einsatz von Prozess-Sensoren dient der Gewinnung von Informationen aus Prozessen. Basis-Anforderungen sind Robustheit, mechanische Stabilität sowie Chemie-Tauglichkeit.

Der beobachtete Prozess soll durch Messungen weder chemisch, thermodynamisch noch strömungsmechanisch beeinflusst werden. Ideal wären Sensoren, die „wie durch ein Fenster“ durch die Behälterwand hindurch Messdaten erfassen.

### 7.1 Anforderungen aus der Chemie

Die allgemeinen Anforderungen an Prozesssensoren für die chemische Verfahrenstechnik gehen über diejenigen in anderen Branchen weit hinaus, wie im Folgenden dargestellt wird. Dazu zählen insbesondere die Explosionssicherheit, Hygieneanforderungen aber auch die Anforderung an die funktionale Sicherheit. Diese erfordern in den meisten Fällen explizite Zertifizierungen. Eine Besonderheit stellen darüber hinaus Anforderungen der regulierten Industrien wie der Pharmabereich dar, wo nicht nur der Sensor vorgeschriebene konstruktive Vorgaben einhalten muss, sondern auch die Entstehungs- und Produktionsprozesse dieses Sensors besondere Ansprüche erfüllen müssen.

Der Prozess-Sensor muss alle in Frage kommenden Betriebsbedingungen mit entsprechenden Reserven berücksichtigen, wie: Betrieb, Stillstand, Wartung, Reinigung. Für den Betreiber ist eine Interoperabilität wünschenswert, um ohne Verifikation oder sogar Validierung neue Bauarten und verbesserte Versionen von Prozess-Sensoren direkt einsetzen zu können.

Der Prozess-Sensor soll die aus Prozessführungssicht interessierende Messgröße selbst generieren. Das zur Erzeugung der Messgröße notwendige Beziehungswissen sollte im Prozess-Sensor konzentriert und nicht in höheren Steuerungsebenen verteilt sein. Dieses ist eine wichtige Voraussetzung zur weitergehenden Interoperabilität und unterstützt auf einfache Weise die Nutzung technischer Verbesserungen.

### 7.2 Kalibrierung und Justierung

Prozess-Sensoren sollen mit minimalem Aufwand an Kalibrierung und Justierung betrieben werden.

Ein idealer Sensor würde keine Kalibrierung oder Justierung benötigen. Dies ist aber auf absehbare Zeit nicht zu erreichen. Zur Aufwandsbegrenzung

## **7 General requirements to the process sensor technology**

The application of Process-Sensors serves for the provision of process information. The base requirements are robustness, mechanical stability and chemical suitability.

The observed process should not be influenced by measurements chemically, thermodynamically, stream-mechanically. The sensors would be ideal, if they could grasp measuring data through the tank wall as if "through a window".

### 7.1 Requirements from chemistry

The general requirements for the process sensors of the chemical procedure technology are higher as in other branches, as is shown in the following. In particular, it counts for the explosion security, hygiene requirements and also the requirements on the functional security. In most cases they require explicit certifications. In addition, requirements of the regulated industries, for example, of the pharmaceutical branch, shows a specific feature, where not only the sensor must follow the prescribed constructive guidelines, but also the emergence processes and production processes of this sensor must fulfill special claims.

The process sensor must take into consideration all possible operating conditions with corresponding reserves, such as company, standstill, maintenance, cleaning. For the operator interoperability is desirable to be able to use directly new designs and improved versions of process sensors without verification or even validation.

From the point of view of the process management, the process sensor should generate the measuring itself. The knowledge of dependencies, necessary for the production of the measuring categories, should be concentrated in the process sensor and not be spread in higher control levels. This is an important condition to the further interoperability, which supports the use of technical improvements in an easy way.

### 7.2 Calibration and adjustment

Process Sensors must be used with minimum expenditure in calibration and adjustment.

An ideal sensor would need no calibration or adjustment. However, this is impossible to achieve for foreseeable time. However, to the

stehen aber folgende wirksame Strategien, die ein Sensorsystem ermöglichen sollte, zur Verfügung:

- a. selbständige, explizite Ermittlung eines Justierungsbedarfes, so dass eine Kalibrierung und Justierung nur dann erfolgen muss, wenn sie wirklich notwendig ist,
- b. statt vor-Ort-Kalibrierung der Austausch von kalibrierten Sensorelementen. Diese können vorher im Labor deutlich effizienter und ökonomischer kalibriert und justiert werden,
- c. automatisierte Kalibrierungsprozedur, die im Sensor integriert ist. Diese könnte wie bei a. automatisch bei Bedarf gestartet werden und auf den Bedarf hin angepasst werden.

### 7.3 Inspektion

Prozess-Sensoren sollen möglichst ohne Inspektion und Wartung betrieben werden.

Jegliche Inspektion sollte in Zukunft vermeidbar sein. Allerdings ist das grundsätzliche Streben nach Wartungsfreiheit nicht das allein zielführende Credo. Vielmehr ist das jeweilige Optimum aus Wartungsfreiheit und Wartungsbedürftigkeit nach betriebswirtschaftlicher Sicht (Cost of ownership) die richtige Strategie. Ein wesentliches Element einer optimalen Wartung ist die Diagnosefähigkeit des Prozess-Sensors. Seine Diagnoseinformationen müssen vollständig sein, also alle relevanten Komponenten und Zustände des Sensors umfassen und sie müssen verlässlich sein, um aufwändige Inspektionen zu vermeiden. Diese Diagnoseinformation ist aber nur dann hilfreich, wenn sie auch Handlungsempfehlungen beinhaltet oder sich klare Handlungsempfehlungen daraus interpretieren lassen.

Sehr hilfreich für eine optimale Wartung ist eine möglichst inhärente Diagnose, welche in die Zukunft gerichteten Wartungsbedarf meldet und so dem Betreiber Handlungsfreiheit zur optimierten Wartungsdurchführung gibt.

### 7.4 Kommunikation

Die aus Sicht der Prozessführung interessierende Messgröße muss ohne externes Beziehungswissen interpretierbar sein.

Dabei soll den eigentlichen Messwerten immer eine Information über die Vertrauenswürdigkeit dieses Messwerts mitgegeben werden.

expenditure limitation the following effective strategies are available, which a sensor system should allow:

- a. independent, explicit evaluation of an adjustment need, so that a calibration and adjustment take place only if they are really necessary,
- b. instead of local calibration the exchange of calibrated sensor elements. These can be calibrated and adjusted beforehand in the laboratory much more efficiently and more economically,
- c. the automated calibration procedure which is integrated in the sensor. This could be activated, when required, automatically, like point a., and be adapted, if necessary.

### 7.3 Inspection and maintenance

Process-Sensors must be possibly used without inspection and maintenance.

Any inspection should be avoided in future. Indeed, the basic striving for maintenance freedom is not the only target-orientated credo. A good deal more according to the economic view (cost of ownership) the respective optimum from maintenance freedom and maintenance need is a right strategy. An essential element of an optimum maintenance is the diagnosis ability of the process sensor. Its diagnosis information must be complete, thus it must contain all relevant components and states of the sensor and they must be dependable to avoid expensive inspections. However, this diagnosis information is helpful only if it also contains action recommendations or if clear action recommendations can be read from it.

A possibly inherent diagnosis is very helpful for an optimum maintenance; it notifies in the future the directed maintenance need and thus gives the operator freedom for action in the optimized maintenance realization.

### 7.4 Communication

The measuring category, interesting for the process management, must be interpretable without external knowledge of dependancies

Besides, the information about the trustworthiness of this measuring category should be always given to the real measuring categories.

---

7.5 Bedienung

Die Bedienung muss einfach und intuitiv sein.

Die Bedienung des Prozess-Sensors – sei es vor Ort, über das Leitsystem oder über ein Asset Management System – muss einfach und intuitiv sein. Die besonderen Rahmenbedingungen durch die Bedienung (andere Sprachen, wechselndes Personal etc.) sowie der verfahrenstechnischen Anlage müssen berücksichtigt werden.

7.5 Use

The use must be easy and intuitional.

The use of the process sensors – local, through control system or through the Asset Management System – must be easy and be intuitive. The special basic conditions (other languages, varying staff, etc.) and the procedure-technical equipment (bad lighting, bad accessibility, dust, smoke, steam, etc.) must be taken into consideration by the service.

## 8 Vorgehen zur Erarbeitung der Technologie-Roadmap

Die Erarbeitung der Technologie-Roadmap erfolgte über einen Zeitraum von ca. einem Jahr und endete im Mai 2005.

Die Vorgehensweise lässt sich in folgende Schritte einteilen:

1. Erarbeitung eines Fachkonzeptes
2. Priorisierungen: Auswahl von Verfahrensschritten
3. Erarbeitung der Anforderungen an die Prozess-Sensorik
4. Diskussion möglicher Lösungen und zeitliche Einordnung
5. Auswertung der Ergebnisse

Details zu den Schritten:

1. Erarbeitung eines Fachkonzeptes

Auf Basis der zugrundeliegenden Zielsetzungen wurde zunächst das Fachkonzept für die Erarbeitung der Technologie-Roadmap entwickelt.

2. Priorisierungen: Auswahl von Verfahrensschritten

Im beschriebenen Projekt konnten nicht sämtliche Branchen der Prozesstechnik, sämtliche Anlagentypen und Messaufgaben betrachtet werden. Daher wurden durch die Beteiligten Priorisierungen vorgenommen und aus den Gebieten der verfahrenstechnischen Industrie zunächst die Chemie und Pharmazie als Schwerpunkte der NAMUR ausgewählt:

## 8 Procedure of the compiling of the Technology-Roadmap

The compiling of the Technology-Roadmap took place in the period from appr. one year and finished in May, 2005.

The sequence of actions can be divided into the following steps:

1. Compiling of the concept of the subject
2. Setting priorities: choice of procedure steps
3. Compiling of the requirements to the process sensor technology
4. Discussion about the possible solutions and time allocation
5. Evaluation of results

Details to the steps:

1. Compiling of the concept of the subject

At first, on the basis of the underlying objectives, the professional draft for the compiling of the Technology-Roadmap was developed.

2. Setting priorities: choice of the procedure steps

In the described project all branches of the process technology, all equipment types and measuring tasks could not be considered. Hence, the priorities were set by the involved enterprises and first of all, the chemistry and pharmacy were selected as main focuses of the NAMUR from the branches of the procedure-technical industry:

Chemie und Pharmazie sind die Schwerpunkte der NAMUR.

Chemistry  
 Pharmazie

Kraftwerke  
 Petrochemie  
 Papier/Pappe  
 Wasser/Abwasser  
 Nahrung und Genussmittel

Chemistry and pharmacy are the main focuses of NAMUR.

Chemistry  
 Pharmacy

Power stations  
 Petrochemistry  
 Paper/Cardboard  
 Water/Waste Water  
 Food and Beverages

Mit Blick auf die Anlagen der chemischen-pharmazeutischen Industrie wurden die verfahrenstechnischen Anlagen ausgewählt, da bei ihnen der größte Bedarf an neuer Messtechnik besteht:

Considering the equipments of the chemical-pharmaceutical industry the procedure-technical equipment were selected, because they have the biggest demand in new measuring technology:

Der größte Bedarf an neuer Messtechnik besteht bei verfahrenstechnischen Anlagen.

Abluft, Abwasser, Abfall  
 Energieversorgungsanlage  
 Kanalnetz  
 Rohrbrücken, Rohrnetze  
 Speicher, Stückgutlager, Tanklager  
 Werkstatt

Verfahrenstechnische Anlage

The highest necessity in the new measuring technology exists by the procedure-technical equipment.

Exhaust air, waste water, rubbish  
 Power supply equipment  
 Channel net  
 Pipe bridges, pipelines  
 Storehouse, packaged goods store, tank farm  
 Workshop

Procedure-technical equipment

Aus den möglichen Teilanlagen einer verfahrenstechnischen Anlage wurden schließlich durch die Fachexperten der Arbeitsgruppe aus 7 Verfahrensschritten und 54 Subprozessen 4 Verfahrensschritte und 7 Subprozesse als Betrachtungsgegenstand mit höchster Bedeutung für die Entwicklung von Prozess-Sensoren ausgewählt (Subprozesse stellen dabei eine Untergliederung von Verfahrensschritten dar):

In the end from the possible partial equipments of the procedure-technical equipment 4 procedure steps and 7 sub processes were selected as a consideration object with the highest meaning for the process sensors development from 7 procedure steps and 54 sub processes by the professional experts of the study group (sub processes represented a subdivision of procedure steps):

Weitere Teilanlagen können bei Bedarf hinzugefügt werden.

Reaktion/Polymerisation  
 Fermentation  
 Fällung/Kristallisation  
 Rektifikation  
 Filterung  
 Trocknung  
 Formulierung

If necessary, further equipment units can be added.

Reaction/Polymerisation  
 Fermentation  
 Precipitation/crystallization  
 Rectification  
 Filtering  
 Drying  
 Formulating

Zusätzlich zu den betrachteten Verfahrensschritten wurde aufgrund der hohen Bedeutung für die verfahrenstechnische Industrie auch das Thema Korrosion betrachtet.

In addition to the considered procedure steps the subject of corrosion was discussed because of its high meaning for the procedural industry.

### 3. Erarbeitung der Anforderungen an die Prozess-Sensorik

### 3. Compiling of the requirements on the process sensor technology

Für die ausgewählten Verfahrensschritte und Subprozesse wurden wichtige Kenngrößen sowie deren potenzieller Nutzen zusammengestellt:

For the selected procedural steps and sub processes the important characteristics and their potential value were compiled:

(Beispiel):

Kenngröße: Nebenproduktanteil  
Potenzieller Nutzen: Produktqualität, Effektivität, Endproduktkosten

(Example):

Characteristic: By-product share  
Potential value: Product quality, efficiency, end product costs

Aus der Kenngröße der Verfahrensschritte/Subprozesse konnten Messaufgaben und die zugehörigen Messgrößen abgeleitet werden.

The measuring tasks and the corresponding measuring categories can be derived from the characteristic of the procedural steps.

(Fortsetzung Beispiel)

Messaufgabe: Spurenanalyse  
Messgröße: Konzentration der Nebenprodukte

(Continuation Example)

Measuring task: track analysis  
Measuring characteristic: concentration of the by-products

Diese Zusammenstellung der Messaufgaben wurde anschließend mit Hilfe der Kriterien Anwendungshäufigkeit und Nutzen bzgl. ihres potenziellen Marktpotenzials bewertet, welche im Folgenden detailliert beschrieben werden.

This compiling of the measuring tasks was evaluated afterwards with the help of the criteria of the application frequency and value concerning its possible market potential which are described here in detail.

#### Anwendungshäufigkeit

#### Application frequency

Wie oft kann diese Messaufgabe angewendet werden? Als Bezugsgröße wird hier ein mittelgroßes bis großes Unternehmen in Deutschland angesehen.

How often can this measuring task be used? A German medium-sized or big enterprise will be taken as a reference value.

Wenige	x
10 und mehr	xx
100 und mehr	xxx
1000 und mehr	xxxx
Viele Tausende	xxxxx

Few	x
10 and more	xx
100 and more	xxx
1000 and more	xxxx
many thousands	xxxxx

#### Nutzen

#### Value

Relative Bewertung des Nutzens, welcher mit der erfüllten Messaufgabe erzielt werden kann. Nutzen kann z. B. erreicht werden durch Erhöhung der Prozessausbeute, Verringerung des Energieeinsatzes, Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit, ...

Relative use estimation, which can be achieved by fulfilling of the measuring task. The value can be, for example, achieved by the increase of the process exploitation, reduction of the energy consumption, increase of the equipment availability, ...

Die Bewertung von geringster \* bis höchster Nutzen \*\*\*\*\* erfolgt relativ durch Vergleich aller Messaufgaben untereinander.

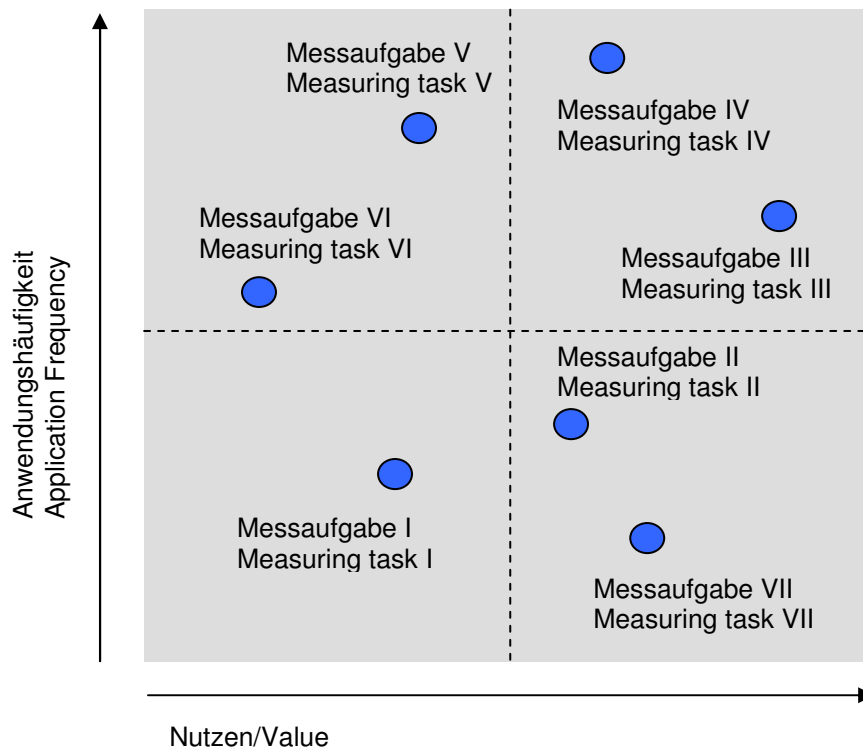
The estimation from the lowest \* to the highest use \*\*\*\*\* occurs relatively under comparison of all measuring tasks with each other.

Die Gegenüberstellung von Anwendungshäufigkeit und Nutzen in einem Portfolio verdeutlichen die Ansatzpunkte für sinnvolle Entwicklungen.

The comparison of the application frequency and the value in one portfolio illustrate the starting points for the reasonable developments.

Portfoliodarstellung zur Auswahl der Messaufgaben:

Portfolio presentation for the choice of the measuring tasks:



Mit Bezug auf die bewerteten Messaufgaben wurden anschließend technologische (Weiter-)Entwicklungen identifiziert und bezüglich ihrer potenziellen Marktreife zeitlich eingeordnet (vgl. Abbildung in Kap. 9.4.)

Afterwards with reference to the estimated measuring tasks, the technological (further) developments were identified and arranged chronologically with regard to their potential marketability (compare picture in Chap. 9.4).

## 9 Ergebnisse

### 9.1 Zusammenfassung

Die folgenden acht Thesen fassen das Ergebnis der Roadmap Prozess-Sensorik zusammen:

- 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 prozesstaugliche Zielproteinanalyse für Bioprozesse wäre revolutionär.
- VIII. Es besteht die Notwendigkeit, Sensoren für die Mikroverfahrenstechnik zur Verfügung zu stellen.

## 9 Results

### 9.1 Summary

The following eight theses summarizes the result of the Roadmap Process-Sensor technology:

- I. New process sensor technology is used not only while investing into the new equipments but also increasingly used for the further optimization of existing equipments.
- II. The new requirements on the process sensor technology contains of the ascertainment of the inter- and trend information about product characteristics like material composition for control purposes and not only the ascertainment of process information.
- III. There are higher exactness demands for specific applications in the process data.
- IV. The information about local distribution of process data is desired.
- V. The evaluation of the interfaces or inter-phases is a long existing requirement.
- VI. There is a trend to the bioprocesses, also for the up to now conventionally chemically made products.
- VII. A process suitable protein analysis for bioprocesses would be revolutionary.
- VIII. There is a demand to have sensors for micro process technology in the future..

- I. Neue Prozess-Sensorik wird nicht nur bei Neuanlageninvestition, sondern zunehmend auch zur weiteren Optimierung bestehender Anlagen eingesetzt.

Die typische Lebensdauer für Conti-Anlagen beträgt in Deutschland 30 Jahre, für Batch-Anlagen 20 Jahre. Dies sind deutlich größere Zeiträume als wir sie von der Automobil-, der Elektronik- oder von der Halbleiterindustrie kennen, in letzterer können Anlageninvestitionen bereits nach ein bis zwei Jahren obsolet werden. Die Zielrichtung neuer Prozess-Sensoren ist neben der Ausstattung von Neuanlagen ganz besonders auch die Optimierung bestehender Anlagen. Es besteht daher die Herausforderung, neue Prozess-Sensorik zu bestehender Anlagentechnik kompatibel zu halten.

Was für die chemische Anlagentechnik gilt, gilt nicht notwendigerweise für die Prozessleittechnik. Die Entwicklungszyklen in der Informations- und Automatisierungstechnik sind wesentlich kürzer. Es besteht die Herausforderung, neue Automatisierungstechnologien in bestehende verfahrenstechnische Anlagen zu integrieren.

Die Aufgabe einer Technologie-Roadmap besteht darin, zukünftige Veränderungen in dem Bedarf der Abnehmer aufzuzeigen und daraus sich ergebende geänderte Anforderungen für die eigenen Produkte und Leistungen zu identifizieren. Sie ermöglicht also ein vorausschauendes Agieren.

In diesem Falle der vorliegenden Technologie-Roadmap gibt es diese Veränderungen in der Abnehmerbranche in diesem Sinne nicht. Die Anforderungen lassen sich nicht aus besonderen Änderungen in der Branche ableiten, sondern bestehen seit langem. Vielmehr sind aktuelle technische Weiterentwicklungen entstanden, die die Lösung dieser alten Anforderungen heute wahrscheinlicher erscheinen lassen. Dieses wird am Abschluss dieses Kapitels noch weiter ausgeführt.

- I. New process sensor technology is used not only while investing into the new equipments but also increasingly used for the further optimization of existing equipments.

The typical durability for continuous lines amounts in Germany 30 years, for Batch equipment – 20 Years. These are clearly longer periods than we know from the automobile, the electronic industry or from the semiconductor industry, in latter the investments can already become obsolete after one up to two years. The purpose direction of new process sensors is in addition to the setting of new equipments particularly also the optimization of existing equipments. Hence, there is the challenge to hold new process sensor technology compatible to the existing equipment technology.

What counts to the chemical investment technology, does not count necessarily to the process management technology. The developing cycles in the information and automation technologies are substantially shorter. There is the challenge to integrate new automation technologies into existing procedural equipments.

The task of a Technology-Roadmap is to show future changes in the buyers' demand and to identify requirements, which result from them and which are changing concerning products and achievements. It enables a farsighted operating.

In this case of the present technology roadmap there are no such changes on the side of the employees. The requirements cannot be derived from special changes in the branch, but exist for a long time. More current technical advancements appeared, which more and more seem to solve the old requirements today. It will be explained further in the end of this chapter.

- 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.

In vielen identifizierten Messaufgaben wurde die stoffliche Analyse von Edukten, Zwischenphasen und Produkten einer Reaktion beschrieben. Hierbei geht es im Wesentlichen darum, die Ziele höhere Prozessausbeute, höhere Produktqualität, niedrigerer Energieverbrauch, Anlagenverfügbarkeit etc. zu erreichen.

Die für eine stoffliche Analyse einsetzbaren Verfahren sind aus der Laboranalytik weitestgehend bekannt. Die Herausforderung für den Hersteller von Prozess-Sensorik besteht darin, diese klassischen Labormessverfahren online (in Echtzeit nutzbar) und inline (direkt im Prozess) verfügbar zu machen. Dazu sind Lösungen für die Verkürzung von Messzeiten und insbesondere für die Realisierung einer Probenvorbereitung im inline-Verfahren zu schaffen.

Die Probenvorbereitung ist durch die Anforderungen des Analysators bestimmt. Entweder wird der Analyseprozess so gestaltet, dass keine Probenvorbereitung und explizite Probenahme notwendig ist oder es muss eine Lösung gefunden werden, die Probenahme und Probenvorbereitung in den inline-Prozess integriert. Dies stellt eine besondere, bis heute noch nicht grundsätzlich gelöste Herausforderung dar. Dauer verfügbare Lösungen sind zu erarbeiten, die den prozesstechnischen Anforderungen genügen und unter angemessenem Aufwand betrieben werden können.

- III. Bei den Prozessdaten bestehen für spezifische Applikationen Forderungen nach höherer Auflösung.

Auch bei der Erfassung von klassischen physikalischen Prozessdaten wie Temperatur und pH-Wert gibt es noch Wünsche. So bestehen für bestimmte Applikationen der Rektifikation sowie für eine Anwendung in Bioprocessen Anforderungen an Messwerterfassung mit höherer Auflösung und geringerer Messunsicherheit.

- II. The new requirements on the process sensor technology contains of the ascertainment of the inter- and trend information about product characteristics like material composition for control purposes and not only the ascertainment of process information.

In many identified measuring tasks the material analysis was described by reactants, inter-phases and reaction products. Here it is mainly a purpose to reach higher process production, higher product quality, lower energy consumption, higher equipment availability, etc.

The procedures, which are used for a material analysis, are well known from the laboratory analytics. The challenge for the process sensor technology manufacturer deals with making these classical laboratory measuring procedures available both on-line (used on a real-time basis) and inline (directly in the process). In addition, solutions are to be created for the shortening of the measuring time and in particular for the realization of a test preparation in the inline procedure.

The test preparation is determined by the requirements of the analyzer. Either the analysis process is so formed that no test preparation and explicit test is necessary, or a solution must be found which integrates a test and the test preparation into the inline process. This presents a special challenge, which is not principally solved till now. Long-term-available solutions are to be compiled which can be enough for the process-technical requirements and be used under adequate costs.

- III. There are higher exactness demands for specific applications in the process data.

Also during the gathering of classical physical process data like temperature and pH factor there is a lot, that leaves to be desired. Thus requirements for gathering of measuring values with higher resolution and lower measuring insecurity exist for certain applications of the rectification and for an application in bioprocesses.

- IV. Es sind Informationen über die räumliche Verteilung von Prozessdaten gewünscht.

Gewünscht sind Informationen über die räumliche Verteilung von Prozessdaten insbesondere von Temperatur, um Prozesse konstanter zu führen, besser zu verstehen und Durchsatz und Standzeit zu optimieren (z. B. Hotspots in Katalysatoren). Damit ist ein besseres Verständnis um den Prozess und den Zustand der Anlage möglich.

- V. Die Ermittlung von Grenzflächen oder -phasen ist eine lange bestehende Forderung.

Grenzflächen und Grenzphasen (Mulmphasen) sind für die Prozess-Sensorik ein noch nicht vollständig erschlossenes Gebiet. Die Forderung existiert lange, eine technische Realisierung steht noch aus.

- VI. Es gibt einen Trend zu Bioprozessen, auch für bisher konventionell chemisch hergestellte Produkte.

Bioprozesse werden wichtiger, nicht nur für pharmazeutische Produkte sondern auch für bisher konventionell chemisch hergestellte Produkte (weiße Biotechnologie). Hier ist ein Feld, in dem der Einsatz von Prozess-Sensoren erst am Anfang steht.

- IV. The information about local distribution of process data is desired.

Information about the local distribution of the process data in particular about temperature is desired to manage processes more consistently, to understand and to optimize the turnover and durability better (e.g., hotspots in catalysts). It enables a better understanding about the process and the equipment state.

- V. The evaluation of the interfaces or inter-phases is a long existing requirement.

Interfaces and inter-phases (duff phases) are incomplete fields of the process sensor technology. The demand exists since long time; a technical realization is still not carried out.

- VI. There is a trend to the bioprocesses, also for the up to now conventionally chemically made products.

Bioprocesses become more important, not only for pharmaceutical products but also for up to now conventionally chemically made products (white biotechnology). This is a field in which the application of process sensors is beginning to develop.

VII. Eine prozesstaugliche Zielproteinanalyse für Bioprozesse wäre revolutionär.

Über die inline-/online-Bestimmung des Zielproteins eines Bioprozesses hinaus wäre die inline / online stoffliche Analyse von weiteren biochemischen Stoffen sowie Organismen (z. B. Viren und Bakterien) revolutionär. Dadurch würden sich die heute sehr langen Zeiten der Qualifizierung des Endprodukts bis zur Freigabe deutlich reduzieren. Fehler und Probleme könnten bereits im Produktionsprozess identifiziert und abgestellt werden und würden das Verwerfen ganzer Produktionschargen vermeiden. Für diese Bioprozesse wurde im Rahmen dieses Projektes ein SensorikszENARIO diskutiert, welches mit vorhandenen Paradigmen bricht.

Der Prozess-Sensor ist nicht mehr in der Anlagentechnik integriert, sondern er wird zusammen mit dem Prozessgut in den Prozess eingeschleust und mit den Produkten wieder ausgeschleust. Dieses Szenario ist heute realistisch. Die neuesten Ergebnisse aus der Transpondertechnik, der Mikrosystemtechnik sowie des „energy harvesting“ (autarke Energieversorgung durch Ausnutzung von thermo-opto-, piezoelektrischer Effekte) könnten bereits heute eine tragfähige technologische Basis für diese Szenarien darstellen.

VIII. Es besteht die Notwendigkeit, Sensoren für die Mikroverfahrenstechnik zur Verfügung zu stellen.

Die Mikroverfahrenstechnik befasst sich mit chemischen Reaktionen und Grundoperationen der Verfahrenstechnik in Komponenten und Systemen, deren charakteristische Abmessungen typischerweise unter 1 mm liegen. So gibt es für alle in dieser Roadmap diskutierten prozesstechnischen Verfahren mikroverfahrenstechnische Realisierungen. Beispielsweise wird ein großtechnischer Rohrbündelreaktor mikroverfahrenstechnisch durch einen Kapillarreaktor realisiert.

Die prinzipiellen Vorteile der Mikroverfahrenstechnik liegen in der möglichen erhöhten Ausbeute wegen des effizienteren Stoff- und Wärmetransports bei kleinen Abmessungen. Aufgrund der quadratischen Abhängigkeit von Wärmeübertragung und Diffusion von den Abmessungen laufen diese in der Mikroverfahrenstechnik deutlich schneller ab, was einerseits die Ausbeute verbessern hilft und andererseits eine bessere Prozessbeherrschung insbesondere bei kritischen exothermen Reaktionen ermöglicht.

VII. A process suitable protein analysis for bioprocesses would be revolutionary.

In addition to the inline/online regulation of the target protein of a bioprocess inline / on-line material analysis of other biochemical materials and organisms (e.g., viruses and bacteria) would be revolutionary. Thereby the time of the qualification of the end product till its release, which is very long today, would definitely decrease. Mistakes and problems could be identified in the production process and be remedied which would avoid rejecting of whole production batches. For these bioprocesses a sensor technology scenario, which breaks with the available paradigms, was discussed within the scope of this project.

The process sensor is no more integrated into the equipment technology, but it is locked in conjunction with the process property into the process and with the products it will be locked out again. Today this scenario is realistic. The newest results from the transponder technology, the micro-system technology and "energy harvesting" (self-sufficient energy supply by exploitation from thermo-, opto-, piezoelectric effects) could today show a sustainable technological base for these scenarios.

VIII. There is a demand to have sensors for micro process technology in the future.

The micro-procedural technology deals with chemical reactions and basic operations of the procedural engineering in components and systems, whose characteristic dimensions lie typically less than 1 mm. Thus there is a possibility of a micro-procedural realization for all process-technical procedures, discussed in this roadmap. For instance, a big technical pipe bundle reactor is realized micro-procedurally by means of a capillary reactor.

Due to the more efficient material transport and heat transport with small dimensions, the fundamental advantages of the micro-procedural technology lies in the possible increased effect. Due to the square dependence on heat transference and diffusion of the dimensions, they run off in the micro procedural technology much faster which, on one hand, helps to improve the effect and allows, on the other hand, a better process control in particular by critical exothermal reactions.

Die Mikrosystemtechnik vermeidet das klassische Hochskalieren vom Labormaßstab über den Technikumsmaßstab zum Produktionsmaßstab. Durch Parallelisieren einer Vielzahl mikroverfahrenstechnischer Anlagen kann der Technikumsmaßstab übersprungen werden, was die Produktentwicklung beschleunigt.

The micro system engineering avoids the classical high gauging of the lab graduation from the laboratory standard through the technical laboratory standard to the production standard. The technical laboratory standard can be avoided if to draw a parallel of a huge number of micro-procedural equipments what accelerates the product development.

Für die Sensortechnologie in der Mikroverfahrenstechnik besteht die Anforderung im Wesentlichen darin, bekannte Prinzipien auf die kleineren Dimensionen zu projizieren:

For the sensor technology in the micro-procedural engineering, the requirement lies essentially in projecting known principles on smaller dimensions:

1. Auf die Modulgröße von einem cm (Messen vor und hinter den verfahrenstechnischen Modulen) und
2. Integration in die verfahrenstechnischen Modulen bei einer charakteristischen Größe im Submillimeter-Bereich (Messen im Prozess). Dabei sind insbesondere auch die von der Verfahrenstechnik bekannten Korrosions- und Werkstoffprobleme zu lösen.

1. On the module size (measuring before and after the procedure-technical modules) and
2. Integration in the procedural modules (measuring in the process). Due to this, the corrosion and material problems known by the procedural engineering are also solved particularly.

Die Sensorik in der Modulgröße stellt keine außerordentliche konstruktive Herausforderung dar. Aus diesem Grunde wird davon ausgegangen, dass mit der Lösung der werkstofftechnischen Probleme für die Verfahren im breiten Maße auch Sensormodule entwickelt und bereitgestellt werden.

Considered purely technically, approx. 10% of the whole chemical equipment engineering can be realized by the micro-procedural technology. Because of the long durability of the available equipments, one can not calculate with an appreciable quota of micro-procedural equipment in the considered period.

Eine wesentlich größere technische Herausforderung ist die Entwicklung von in die Module integrierten Sensoren im Submillimeter-Bereich. Ob hierfür im Betrachtungszeitraum der Roadmap bereits erste Entwicklungen zur Industriereife gelangen und welche wirtschaftliche Bedeutung sie haben werden, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht absehbar.

While the micro-procedural engineering shows no unusual requirements for the sensors, however, it offers big chances for new process-sensor technology. Thus, e.g., an automated test processing for inline analytics can be realized with the help of the micro-procedural engineering and the integration of spectroscopic methods with help of the microprocedural-technical equipment is certainly easier. The reactor can be immediately used as a measuring cuvette.

### Häufig genannte Technologien:

Im Rahmen der Identifizierung der Messaufgaben wurden Technologien und gerätetechnische Ausführungen zu deren Lösung diskutiert. Diese sind rein technische Konzepte, Ideen oder bekannte Verfahren, die gemäß genauerer Anforderungen weiterentwickelt werden müssen.

In der folgenden Auflistung ist eine Auswahl an technologischen Weiterentwicklungen aufgeführt, die als Lösung der diskutierten Messaufgaben am häufigsten genannt wurden:

- Inline-NIR-Spektroskopie
- Echtzeit-Prozess-Gaschromatographie
- Prozess-Bio-Chromatographie
- Prozess-Immunoassay-Analytik
- Biochip
- Bragg-Fasergitter-Anordnung für räumlich verteilte Temperaturmessung
- Tomographie mit Ultraschall und/oder Mikrowellen
- Energieautonomes- und drahtlos kommunizierendes Sensorelement

Die NIR-Spektroskopie ist, was die Einbindung in einen Verfahrensprozess betrifft, mittlerweile am weitesten fortgeschritten. Mit Hilfe moderner Glasfasertechnik kann hier der Prozess selber als Messküvette verwendet werden. Der damit einhergehende Verzicht auf eine explizite Probennahme macht dieses Verfahren attraktiv. Die heute verfügbare schnelle Rechner-technik ermöglicht schnelle Spektroskopie für die online-Analyse. Der Schwerpunkt für zukünftige Weiterentwicklungen sollte daher in der weiteren Verkürzung der Messzeiten liegen, tomographische Auswerteverfahren beinhalten und Empfindlichkeiten der Detektoren weiter verbessern. Eine weitere Preisreduktion würde sicher weitere Applikationen erschließen. Um die Gaschromatographie für Prozesse interessant zu machen, müssen die Messzeiten weiter verkürzt sowie die häufig notwendigen Proben-vorbereitungen wie Verdünnen, Filtrieren, pH-Einstellung, Extraktion, etc. umgesetzt werden. Funktionen und Methoden der Mikrosystem-technik können hier zur Anwendung kommen. Zur Messung von biologischen Analyten im Prozess ist neben dem Prozess-Bio-Chromatograph (der ebenfalls integriert Probenvorbereitung automatisiert und über eine sterile automatische Probennahme verfügt) insbesondere der Biochip denkbar; also die Integration eines Immunoassays mit integrierter Auswertung kontinuierlicher Messungen. Hier ist der Innovationsgrad noch sehr hoch.

Es gibt allenfalls Ansätze im Bereich der Forschung. Eine Vorstufe zum Biochip könnte ein

### Oft mentioned Technologies:

Technologies and device-related construction were discussed for their solution within the scope of the identification of measuring tasks. These are purely technical concepts, ideas or known procedures which must be developed according to more precise requirements.

In the following list, a choice in the technological advancements is presented, which were more frequently mentioned as a solution of the discussed measuring tasks:

- Inline-NIR-spectroscopy
- Real-time-process-gas chromatography
- Process-bio-chromatography
- Process-immunoassay-analytics
- Biochip
- Bragg-gratings for the locally distributed temperature measuring
- Tomography with ultrasound and/or microwaves
- Energetically autonomous- and communication-capable sensor element

The NIR spectroscopy is meanwhile the most developed method, concerning the integration in a procedure process. With the help of modern fiberglass engineering the process can be used here even as a measuring cuvette. The accompanying refusal of the explicit taking of a sample makes this method attractive. The fast calculator technology which is available today allows fast spectroscopy for the on-line analysis. Hence, the main focus for future innovations should lie in the other shortening of the measuring times, contain tomographic evaluation method and improve sensitivities of the detectors further. A further price decreasing would surely develop other applications. To make the gas chromatography interesting for processes, the measuring times must be shortened further and often necessary test preparations like diluting, filtering, pH setting, extraction, etc. should be carried out. Functions and methods of the micro system technology can be applied here. It is possible to use biochip for the measurement of biological analyses in the process test preparation in addition to the process-bio-chromatograph (which likewise automates test preparation in an integrated way and has a sterile automatic sampling), that is an integration of an immunoassay with an integrated evaluation of continuous measurements. The innovation degree is still very high here.

In any case there are approaches in the area of research. A preliminary stage to the biochip could

Prozess-Bioanalyser nach diagnostischem Vorbild sein, der ebenfalls über eine automatische sterile Probennahme an den Bioprozess angekoppelt ist. Für die Mehrpunkttemperaturmessung zur Ermittlung von mehrdimensionalen Temperaturprofilen ist die auf Lichtwellen basierende Bragg-Fasergittertechnik wohl die richtige Wahl. Hier gibt es bereits Produkte. Für eine Verbreitung des Einsatzes sind allerdings eine bessere Handhabbarkeit sowie deutlich geringere Preise notwendig. Die häufig genannten Anforderungen der räumlichen Erfassung von Dichte können wohl nur mit Tomographie-Methoden entweder mit Ultraschall oder Mikrowellen angegangen werden, wobei hier auch die Kombination beider Verfahren vielversprechend sein kann.

be a process-bio analyzer according to diagnostic model which is likewise connected by means of an automatic sterile sampling to the bioprocess. For the multipoint temperature measurement for the evaluation of multidimensional temperature profiles Bragg-gratings technology, which is based on the Bragg-gratings technology, is the right choice. There are products already in this branch. However, a better manageability as well as much lower prices is necessary for the increase of its application. The frequently mentioned requirements of the spatial ascertainment of density can be probably handled only either with tomography methods or with ultrasound or microwaves or a combination of both methods can be also promising here.

### Realisierungsansätze:

Einige Messaufgaben können besser mit Sensorelementen erfüllt werden, die keine externe Energieversorgung benötigen und frei sind für jegliche Art der Kommunikation. Solche Sensorelemente sind dann nicht mehr Teil der Anlage sondern werden mit dem Prozessgut ein- und -ausgeschleust. Miniaturisierung, Mikro-systemtechnik sowie Transpondertechnik bieten hierfür die erforderliche technologische Basis.

Der Realisierungsbedarf für neuartige Prozess-Sensoren entsteht weitestgehend nicht aufgrund neuer Anforderungen (s. o.), sondern weil technologische Weiterentwicklungen die Lösung dieser bereits länger bestehenden Anforderung heute und in naher Zukunft ermöglicht.

Moderne Rechentechnik und Miniaturisierung erlauben die Überführung von Laborspektrometern in Prozess-Spektrometern und den wirtschaftlichen Einsatz der tomografischen Verfahren. Die Infrarotspektroskopie profitiert von neueren Entwicklungen in den Optischen Technologien, insbesondere der Lasertechnik bezogen auf die Detektorempfindlichkeit, Frequenzen, verfügbare Baugrößen und die Wirtschaftlichkeit. Dies wird unterstützt durch neue numerische Verfahren, die jetzt für die Industrie zur Verfügung stehen. Die Mikrosystemtechnik bietet Realisierungsansätze für schnellere Chromatographiesäulen. Diese Nanobor-Säulen sind bereits in der Laboranalyse verbreitet, bedürfen aber noch der Überführung in Prozesschromatographen. Die Mikroverfahrenstechnik liefert Ansätze zur Lösung des Problems der Probenvorbereitung. Die großen Fortschritte in der drahtlosen Kommunikation sowie dem Energiemanagement können den autonomen Sensor Wirklichkeit werden lassen.

Die wegen Ihrer hohen Bedeutung hier betrachtete Korrosions-Sensorik ist auch ein seit langer Zeit bestehendes Bedürfnis. Sie bedient den Bereich der Anlageninstandhaltung. Die aktuell sehr regen Forschungsaktivitäten für Korrosions-Sensoren für die Luftfahrt lassen auch Lösungen für die chemische Anlagentechnik erwarten. Insbesondere die aktuell viel beachtete elektrochemische Impedanz-Spektroskopie ist hier vielversprechend.

### 9.2 Übersicht über die untersuchten Verfahrensschritte

Der untersuchte Themenbereich konzentrierte sich auf die vorab priorisierten Verfahrensschritte und Subprozesse (s. Tabelle und Anhang).  
Übersichtstabelle:

### Realisation approaches:

Some measuring tasks can be better fulfilled with sensor elements which need no external energy supply and are free from any kind of the communication. Such sensor elements are then no more part of the equipment, but will be locked in and locked out during the process. Miniaturization, micro system technology and transponder technology provide the necessary technological basis for this.

The realization demand for new process sensors appears to the greatest possible extent not on the account of new requirements (see above), but because today and in the next future technological advancements provide the solution for this already long existing requirement.

Modern calculating technology and miniaturization permit the transfer of labor spectrometers in process spectrometers and the economic application of the tomographic method. The infrared spectroscopy profits from newest developments in the optical technologies, in particular from the laser technology referring to the detector sensitivity, frequency, available installation sizes and the economic efficiency. This is supported by new numerical methods which are available for the industry now. The micro system technology offers realization approaches for faster chromatographical column. These Nanobor columns are already spread in the lab analysis; however, they still need the transfer in the process chromatograph. The micro procedure technology delivers attempts for the solution of the problem of the test preparation. The big progress in the wireless communication and the energy management can let the autonomous sensor come true.

The corrosion sensor technology, which is considered here because of its high meaning, is also a demand existing for a long time. It serves the area of the equipment maintenance. Very active research activities in the sphere of corrosion-sensors for the aviation allow expecting solutions for the chemical equipment technology. In particular, the electro-chemical impedance spectroscopy is very promising here.

### 9.2 Overview about the analysed procedural steps

The considered subject area concentrated upon the procedural steps and sub processes which were set as a priority at the beginning (see the table and the appendix).

	Verfahrensschritte	Subprozesse	Aggregatzustand	Anforderungsblatt Nr.	Kenngröße
1	Reaktion	Rührkessel	flüssig	01	Umsatz im Rührkessel
2	Reaktion	Rührkessel	flüssig	02	räumlich aufgelöster Umsatz
3	Reaktion	Rührkessel	flüssig	03	Umsatz
4	Reaktion	Rührkessel	flüssig	04	Nebenproduktanteil
5	Reaktion	Rührkessel	flüssig	05	Füllgrad bei rotierenden Einbauten und turbulenten Oberflächen
6	Reaktion	Rührkessel	flüssig	06	Beschaffenheit der Phasengrenzschicht nach Rührprozess im Rührkessel
7	Reaktion	Gasphasenreaktion (Rohrreaktor)	gasf.	07	Umsatz
8	Reaktion	Gasphasenreaktion (Rohrreaktor)	gasf.	08	Umsatz
9	Reaktion	Wirbelschichtreaktor	fest/gasf.	09	Umsatz
10	Reaktion	Wirbelschichtreaktor	fest/gasf.	10	Umsatz
11	Reaktion	Wirbelschichtreaktor	fest/gasf.	11	Umsatz
12	Reaktion	Wirbelschichtreaktor	fest/gasf.	12	Bestimmungsgemäßer Betrieb der Anlage
13	Trocknung	Wirbelschichtreaktor	fest/gasf.	13	Spezifikationsgerechtes Produkt, Restfeuchte
14	Rektifikation	Groß – kontinuierlich	flüssig/dampfförmig	14	Trennwirkung einer Destillationskolonne
15	Rektifikation	Groß – kontinuierlich	flüssig/dampfförmig	15	Trennwirkung einer Destillationskolonne
16	Rektifikation	Groß – kontinuierlich	flüssig/dampfförmig	16	Zustandscharakterisierung einer Rektifikationskolonne
17	Rektifikation	Groß – kontinuierlich	flüssig	17	Frühindikator f. Trennleistungsänderungen
18	Rektifikation	Groß – diskontinuierlich	flüssig	18	Prozessablauf /Zeit, Setzen der Fraktionen
19	Rektifikation	Groß – diskontinuierlich	flüssig	19	Trennwirkung einer Destillationskolonne
20	Bio-Prozesse	Fermenter (automatisierte sterile Probennahme)	flüssig	20	Produktivität, Prozessverlauf, spezifikationsgerechtes Produkt
21	Bio-Prozesse	Fermenter (automatisierte sterile Probennahme)	flüssig	21	Produktivität, Prozessverlauf, spezifikationsgerechtes Produkt
22	Bio-Prozesse	Fermenter (automatisierte sterile Probennahme)	flüssig	22	Produktivität, Prozessverlauf, spezifikationsgerechtes Produkt
23	Bio-Prozesse	Fermenter (automatisierte sterile Probennahme)	flüssig	23	Produktivität, Prozessverlauf, spezifikationsgerechtes Produkt
24	Bio-Prozesse	Fermenter (automatisierte sterile Probennahme)	flüssig	24	Zustandscharakterisierung
25	Korrosion	Prozess-Anlagen		25	Lebensdauer Anlage

	Method steps	Sub-processes	Aggregate State	Requirements List Nr.	Parameter
1	Reaction	Stirrer vessel	liquid	01	Conversion in the stirrer vessel
2	Reaction	Stirrer vessel	liquid	02	Spatially resolved conversion
3	Reaction	Stirrer vessel	liquid	03	Conversion
4	Reaction	Stirrer vessel	liquid	04	By-product part
5	Reaction	Stirrer vessel	liquid	05	Fill grade by the rotating internals and turbulent surfaces
6	Reaction	Stirrer vessel	liquid	06	Condition of the phase boundary layer after the stirring process in the stirrer vessel
7	Reaction	Gas phase reaction (pipe reactor)	gas	07	Conversion
8	Reaction	Gas phase reaction (pipe reactor)	gas	08	Conversion
9	Reaction	Fluidized-bed reactor	solid/gas	09	Conversion
10	Reaction	Fluidized-bed reactor	solid/gas	10	Conversion
11	Reaction	Fluidized-bed reactor	solid/gas	11	Conversion
12	Reaction	Fluidized-bed reactor	solid/gas	12	Conventional equipment operation
13	Drying	Fluidized-bed reactor	solid/gas	13	Specification-appropriate product, residual moisture
14	Rectification	Large - continuous	liquid/vaporous	14	Separation efficiency of a distillation column
15	Rectification	Large - continuous	liquid/vaporous	15	Separation efficiency of a distillation column
16	Rectification	Large - continuous	liquid/vaporous	16	State characteristics of a rectification column
17	Rectification	Large - continuous	liquid	17	Early indicator for separation performance differences
18	Rectification	Large - continuous	liquid	18	Process course/time, setting of fractions
19	Rectification	Large - continuous	liquid	19	Separation efficiency of a distillation column
20	Bio-Processes	Fermenter (automatic sampling) sterile	liquid	20	Productivity, process course, specification
21	Bio-Processes	Fermenter (automatic sampling) sterile	liquid	21	Productivity, process course, specification
22	Bio-Processes	Fermenter (automatic sampling) sterile	liquid	22	Productivity, process course, specification
23	Bio-Processes	Fermenter (automatic sampling) sterile	liquid	23	Productivity, process course, specification-appropriate product
24	Bio-Processes	Fermenter (automatic sampling) sterile	liquid	24	State characteristics
25	Korrosion	Process equipment		25	Durability equipment

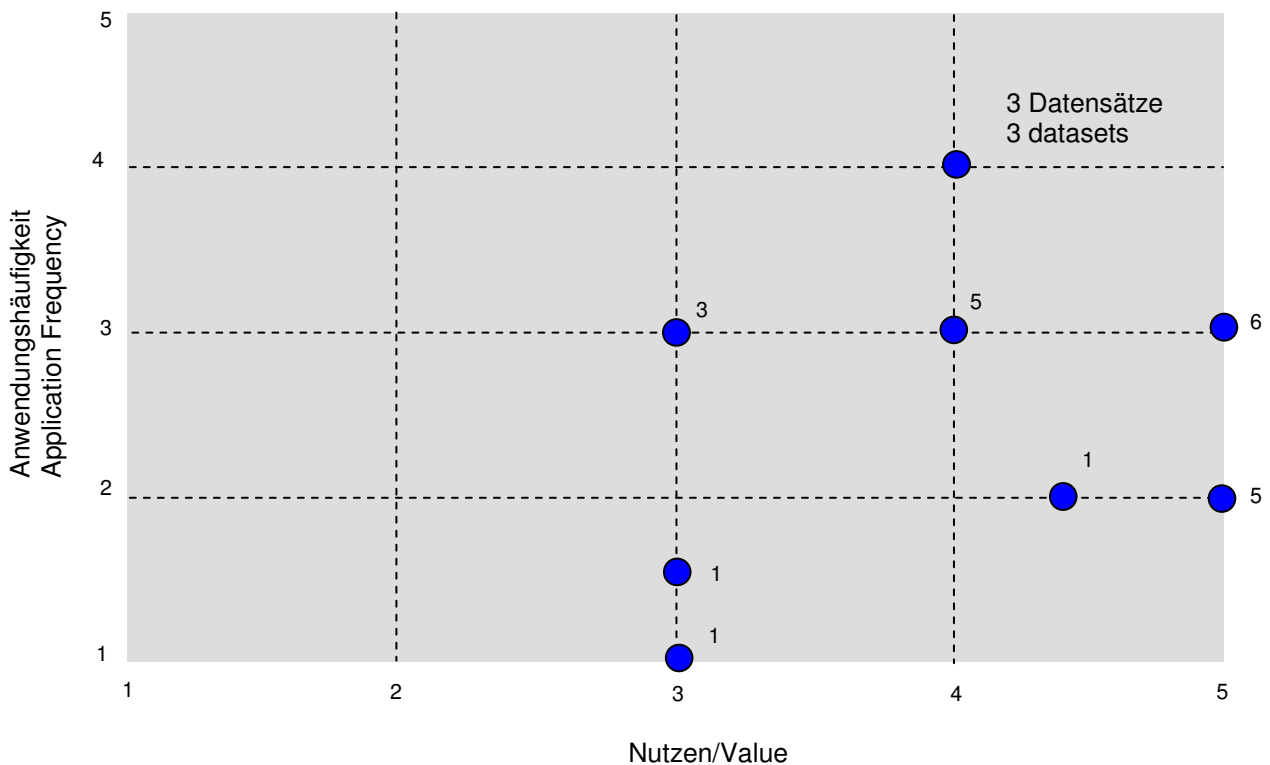
	potenzieller Nutzen	Messaufgabe	Messgrößen
1	Energieverbrauch, Produktqualität, Anlagenkapazität	stoffliche Zusammensetzung Edukte/Produkte	Konzentration Stoff X
2	Energieverbrauch, Produktqualität, Anlagenkapazität	räumliche stoffliche Zusammensetzung Edukte/Produkte	Gleichmäßigkeit der räumlichen Konzentrationsverteilung
3	spezifikationsgerechtes Produkt/Produktqualität, Anlagenkapazität	Polymerisationsgrad im Rührkessel	Molekülgrößenverteilung: Konzentration von Edukte/Produkt, stoffliche Zusammensetzung
4	Produktqualität, Effektivität, Endproduktkosten	Spurenanalyse	Konzentration der Nebenprodukte
5	Prozesssicherheit, Produktqualität	Volumen	Füllstand
6	Anlagenkapazität	räumliche Ausdehnung der Grenzschicht	repräsentative physikalische Eigenschaften (Dichte,...)
7	Energieverbrauch, Produktqualität, Anlagenkapazität, Katalysatorausnutzung, optimaler Katalysatorbetrieb	Lage/Größe der Reaktionszone-Katalysatorzustand	räumliches Temperaturprofil
8	Energieverbrauch, Produktqualität, Anlagenkapazität, Katalysatorausnutzung, optimaler Katalysatorbetrieb	stoffliche Zusammensetzung	Konzentration der Edukte/Produkte
9	Anlagenkapazität	optimale Arbeitspunktbestimmung	Dichteverteilung
10	Anlagenkapazität	optimale Arbeitspunktbestimmung	Partikelgrößenverteilung
11	Anlagenkapazität	Wärmeübergang von Wärmetauscherfläche in die Wirbelschicht	Temperaturprofil in der Wirbelschicht/Wärmeübergangskoeffizienten
12	Vermeidung von Fehlchargen	Messung, wie viel Feststoff im Gas	Feststoff im Gas
13	Qualität, Anlagenkapazität, Energieverbrauch	Feuchte im Produkt, Restfeuchte	Feuchte in %
14	Ersatz von stofflicher Analyse (durch erhöhte Auflösung der Temperaturmessung)	Temperatur	Temperatur
15	Anlagenkapazität, Produktqualität, Energieverbrauch, Anlagenverfügbarkeit, zustandsabhängige Instandhaltung	kontinuierliches Temperaturprofil	Temperaturprofil längs der Kolonne
16	Anlagenkapazität, Produktqualität, Energieverbrauch, Anlagenverfügbarkeit, zustandsabhängige Instandhaltung	RÄUML: Erfassung der Stoffströme, Fluiddynamik	Ortsaufgelöste Durchflussmessung von Flüssigphase und Dampfphase
17	Anlagenkapazität, Produktqualität, Energieverbrauch, Anlagenverfügbarkeit	regelungsgerechte zeitaufgelöste stoffliche Zustandserfassung über die Kolonne	Stoffliche Analyse (Konzentration) über die Kolonne
18	Produktwechselzeiten minimieren, Destillationszeiten minimieren, Ausbeute erhöhen, wenig Verschnitt	regelungsgerechte zeitaufgelöste stoffliche Zustandserfassung über die Kolonne (strategieorientiertes Automatisierungssystem)	Stoffliche Analyse (Konzentration) über die Kolonne
19	Anlagenkapazität, Produktqualität	inline-Prozessanalytik von wenigen Edukten/Produkten	Stoffkonzentrationen in Abzügen; Genauigkeit bis 1/10 Prozent
20	Qualität, Wirkungsausbeute, Reduzierung von Qualitätssicherungsaufwand und Chargendurchlaufzeit	Nachweis des gewünschten Biologicals (Protein, Peptid, DNA, RNA), Aktivität	Konzentration, Einheiten einer Wirkung
21	Qualität, Wirkungsausbeute, Reduzierung von Chargendurchlaufzeit	Vitalitätsmessung	Milieu-Parameter, Wachstumsverhalten, Wellness-Proteine
22	Ausfallvermeidung	Nachweis biologischer Kontamination im Wasser-Loop für den Fermenter	biologische Kontamination (unerw. Pilze, Bakterien, Viren)
23	Ausfallvermeidung	Nachweis biologischer Kontamination im Fermenter	biologische Kontamination (unerw. Pilze, Bakterien, Viren)
24	Ausbeute, Vermeidung, Fehlchargen, Produktqualität	pH-Wert	Wasserstoffionen-Konzentration
25		Korrosionsverlauf durch Reaktion von unterschiedlichen Medien/Stoffen	Abtrag mm/Zeit; Masse/Zeit; Rauigkeit – Oberflächenveränderung; korrosive Aktivität

	Potential value	Measurement task	Measurement category
1	Energy consumption, product quality, equipment capacity	Material composition educts/products	Concentration material X
2	Energy consumption, product quality, equipment capacity	Spatial material composition educts/products	Evenness of the spatial concentration dispersion
3	Specification-appropriate product/Product quality, equipment capacity	Polymerization grade in the stirrer vessel	Molecule size dispersion, concentration of educts/product, material composition
4	Product quality, efficiency, end product costs	Track analysis	Concentration of the by-products
5	Process security, product quality	Volumes	Fill level
6	Equipment capacity	Spatial extension of the boundary layer	Representative physical features (Tightness ...)
7	Energy consumption, product quality, equipment capacity, catalyser exploitation, optimal catalyser operation	Position/Size of the reaction, catalyser state	Spatial temperature profile
8	Energy consumption, product quality, equipment capacity, catalyser exploitation, optimal catalyser operation	Material composition	Concentration of educts/products
9	Equipment capacity	Optimal setting of the working point	Tightness dispersion
10	Equipment capacity	Optimal setting of the working point	Particle size dispersion
11	Equipment capacity	Heat transfer from the heat exchanger surface to the fluidized bed	Temperature profile in the fluidized bed/heat transfer coefficients
12	Avoidance of faulty lots	Measurement, how much solid is in gas	Solid in gas
13	Quality, equipment capacity, energy consumption	Moisture in the product, residual moisture	Moisture in %
14	Replacement of the material analysis (through the increased resolution of the temperature measurement)	Temperature	Temperature
15	Equipment capacity, product quality, energy consumption, equipment availability, state-dependent maintenance	Continuous temperature profile	Temperature profile along the column
16	Equipment capacity, product quality, energy consumption, equipment availability, state-dependent maintenance	Spatial; ascertainment of material streams, fluid dynamics	Locally resolved discharge measurement of a liquid phase and vaporous phase
17	Equipment capacity, proeduct quality, energy consumption, equipment availability	Control-appropriate dissolving with the time material state ascertainment about the column	Material analysis 8concentration9 about the column
18	To minimize product change time, to minimize distillation time, to increase production, little amount of waste	Control-appropriate dissolving with the timematerial state ascertainment about the column (strategy-orientated automation system)	Material analysis (concentration) about the column
19	Equipment capacity, product quality	Inline-process analytics of some educts/products	Material concentration in take-offs; exactitude till 1/10 percent
20	Quality, operation production, eduction from quality security costs and charge processing time	Certificate about the desired biologicals (protein, peptide, DNA, RNA), acitivity	Concentration, units of an operation
21	Quality, operation production, reduction of the charge processing time	Vitality measurement	Milieu-Paramters, increas performance, welln ess proteins
22	Avoidance of break-down	Certificate about the biological contamination in the water loop for the fermenters	Biological contamination (unanticipated fungi, bacteria, viruses)
23	Avoidance of break-down	Certificate about the biological contamination in the fermenters	Biological contamination 8unanticipated fungi, bacteria, viruses)
24	Production, avoidance, faulty lots, product quality	pH-value	Hydrogen ions concentration
25		Corrosion process through the reaction of the different media/materials	Attack mm/time; mass/time; roughness – surface change; corrosion activity

### 9.3 Auswertungen

Die folgende Abbildung stellt die Verteilung sämtlicher betrachteter Messaufgaben in einem Portfolio mit den Achsen Nutzen und Anwendungshäufigkeit dar. Wie sich daraus ergibt, wurden im Rahmen der Arbeitsgruppe vornehmlich Messaufgaben mit einer hohen Bedeutung für die chemische Industrie betrachtet.

Alle bewerteten Messaufgaben:



### 9.3 Evaluations

The following illustration presents the division of all considered measuring tasks in one portfolio with the axis value and Application Frequency. As it results from it, particularly measuring tasks with a high meaning were considered within the scope of the working group for the chemical industry.

All evaluated measuring tasks:

In den folgenden sieben Abbildungen werden aufgegliedert nach den einzelnen Verfahrensschritten und Subprozessen die einzelnen Messaufgaben dargestellt:

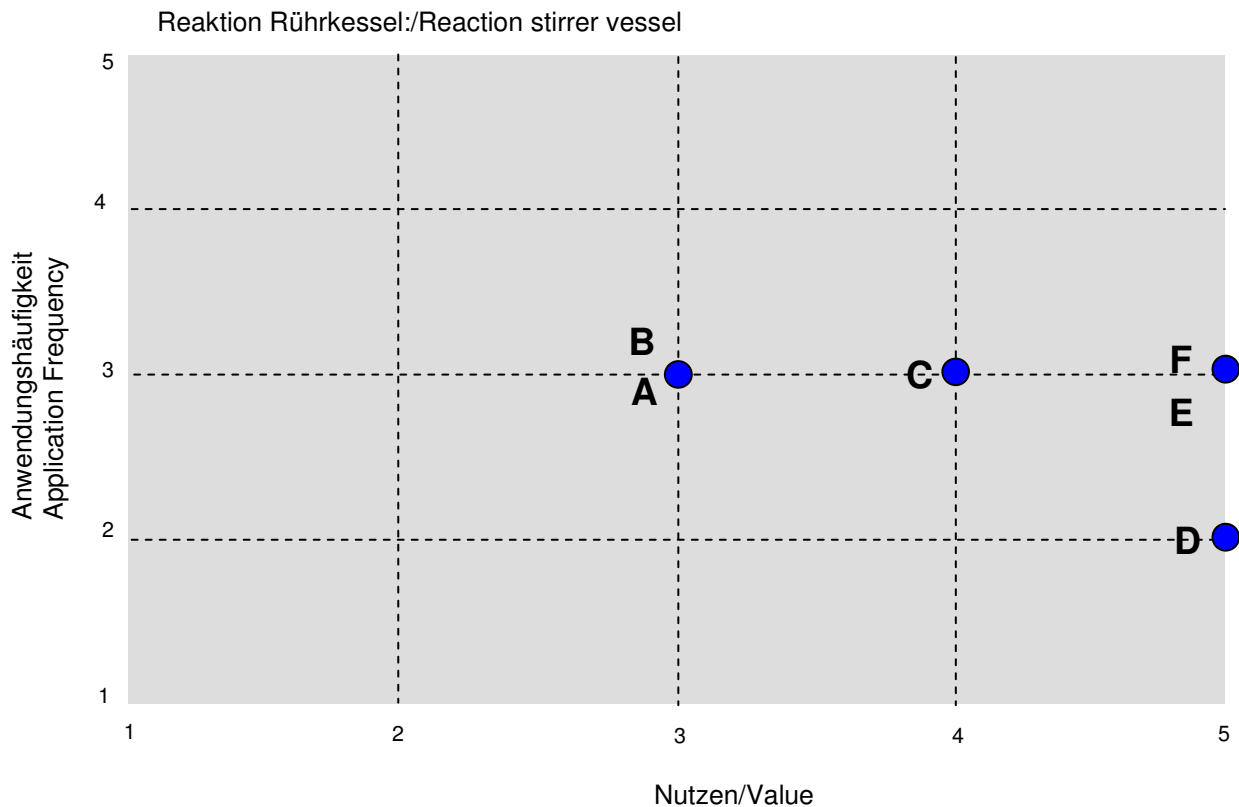
- Reaktion: Rührkessel
- Reaktion: Gasphasenreaktion
- Reaktion: Wirbelschichtreaktor
- Rektifikation: groß - kontinuierlich
- Rektifikation: groß - diskontinuierlich
- Bioprozesse: Fermenter

Bei Nennung der Messaufgabe wird dabei zusätzlich die Messgröße angegeben.

In the following seven illustrations the separate measuring tasks were presented, being divided according to the separate method steps and sub processes:

- Reaction: stirrer vessel
- Reaction: gas phase reaction
- Reaction: fluidized bed reactor
- Rectification: large - continuous
- Rectification: large - discontinuous
- Bioprocesses: fermenters

When the measuring task is mentioned, the measurement category is indicated additionally.



**A** = Volumen – Füllstand

**B** = räumliche stoffliche Zusammensetzung Edukte/Produkte – Gleichmäßigkeit der räumlichen Konzentrationsverteilung

**C** = Spurenanalyse – Konzentration der Nebenprodukte

**D** = Polymerisationsgrad im Rührkessel – Molekülgrößenverteilung; Konzentration von Edukte/Produkt, stoffl. Zusammensetzung

**E** = stoffliche Zusammensetzung Edukte/Produkte – Konzentration Stoff X

**F** = räumliche Ausdehnung der Grenzschicht – repräsentative physikalische Eigenschaften

**A** = Volume – Fill level

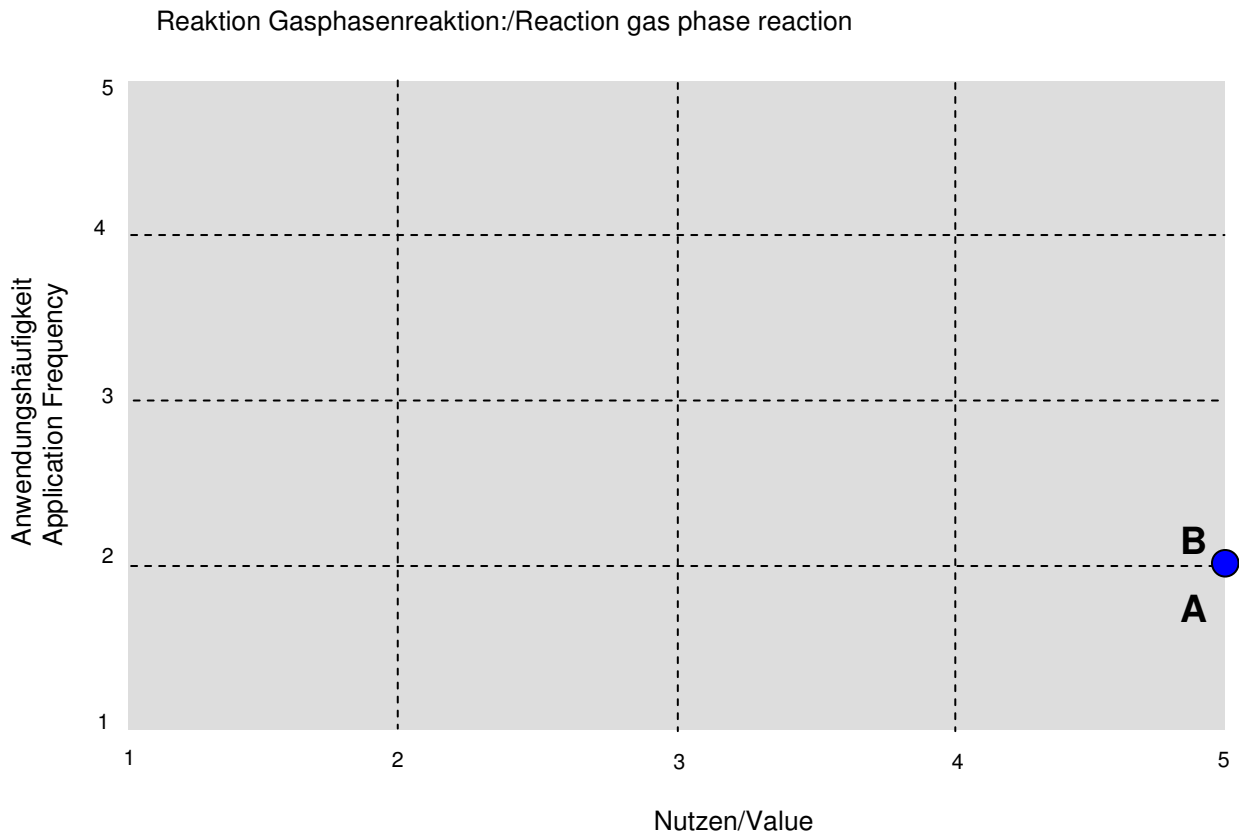
**B** = spatial material composition educts/products – evenness of the spatial concentration dispersion

**C** = Track analysis – concentration of the by-products

**D** = Polymerization grade in the stirrer vessel – Molecule size dispersion; concentration of educts/products, material composition

**E** = Molecule size dispersion: concentration of educts/products, material composition educts/products – concentration material

**F** = Spatial exentsion of the boundary layer – representative physical features



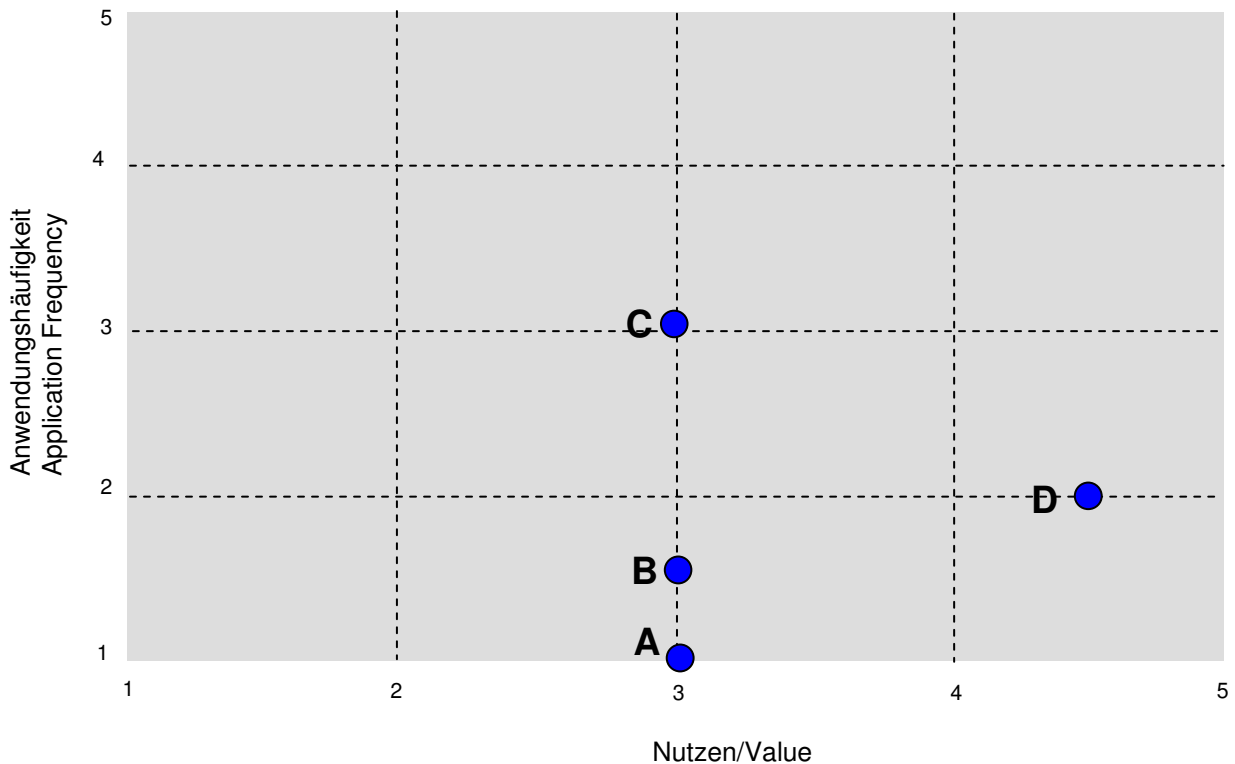
**A** = stoffliche Zusammensetzung – Konzentration der Edukte/Produkte

**B** = Lage/Größe der Reaktionszone, Katalysatorzustand – räumliches Temperaturprofil

**A** = material composition – concentration of educts/products

**B** = Position/size of the reaction zone, catalyser state – spatial temperature profile

Reaktion Wirbelschichtreaktor:/Reaction fluidized bed reactor



**A** = Wärmeübergang von Wärmetauscherfläche in die Wirbelschicht – Temperaturprofil in der Wirbelschicht, Wärmeübergangskoeffizienten

**B** = optimale Arbeitspunktbestimmung – Partikelgrößenverteilung

**C** = Messung, wie viel Feststoff im Gas – Feststoff im Gas

**D** = optimale Arbeitspunktbestimmung – Dichteverteilung

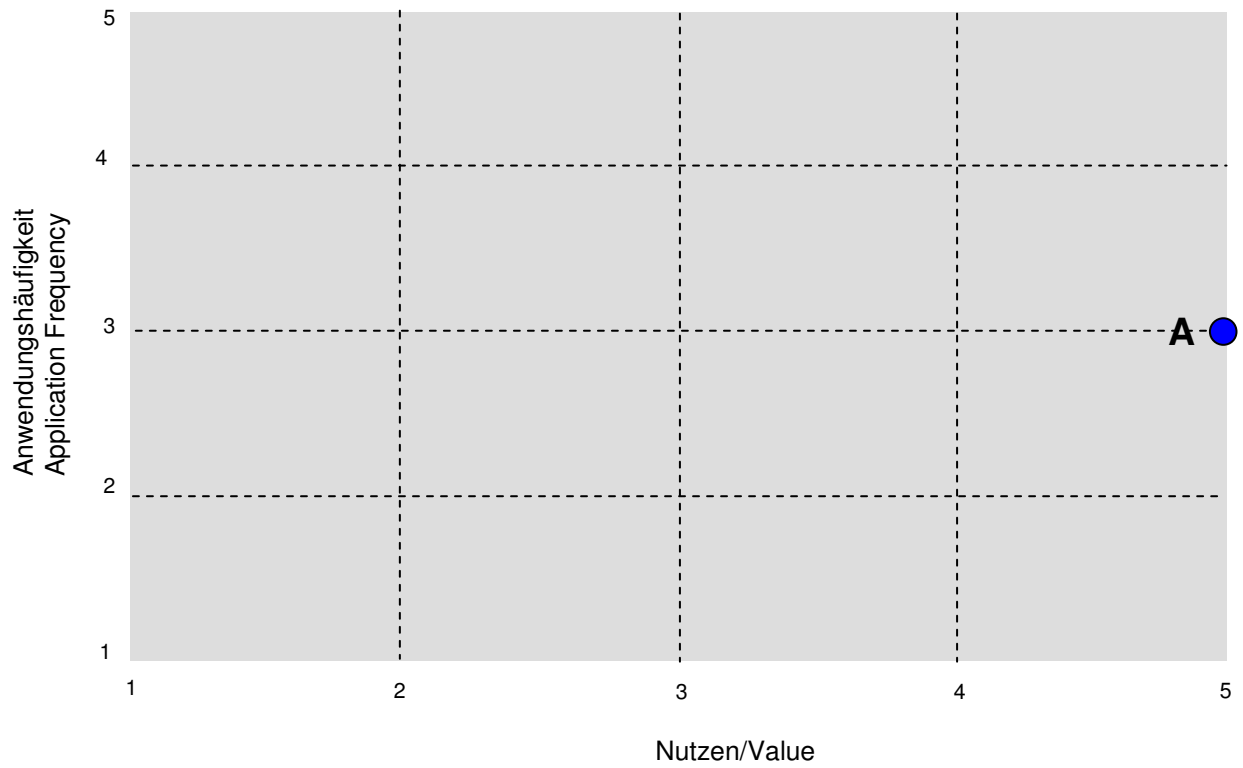
**A** = Heat transfer from the heat exchanger surface to the fluidized bed – Temperature profile in the fluidized bed/Heat transfer coefficients

**B** = Optimal setting of the working point – Particle size dispersion

**C** = Measurement, how much solid is in the gas – Solid in gas

**D** = Optimal setting of the working point – tightness dispersion

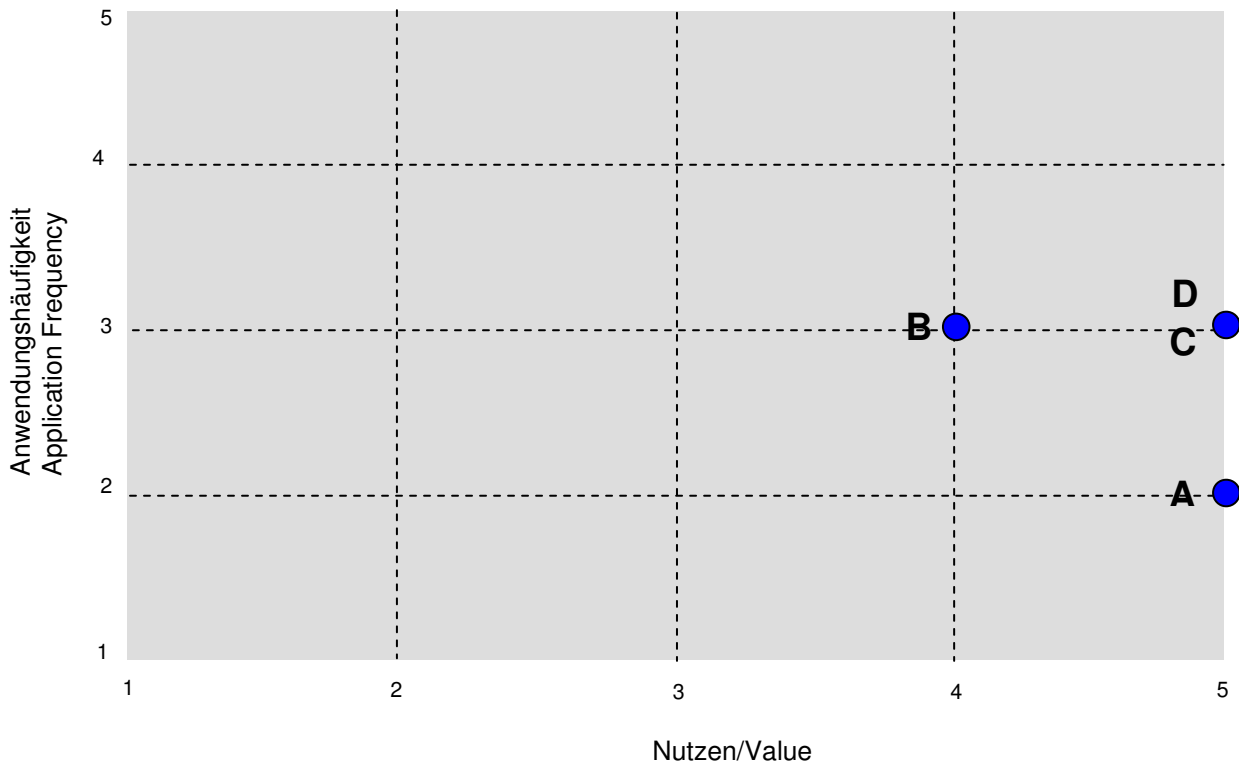
Trocknung Wirbelschichtreaktor:/Drying Fluidized bed reactor:



**A** = Feuchte im Produkt, Restfeuchte –  
Feuchte in %

**A** = Moisture in the product, residual moisture-  
moisture in %

Rektifikation gross-kontinuierlich:/Rectifikation large-continuous:



**A** = räumliche Erfassung der Stoffströme, Fluiddynamik – ortsaufgelöste Durchflussmessung von Flüss- und Dampfphasen

**A** = spatial ascertainment of material streams, fluid dynamics- locally resolved discharge measurement of a liquid phase and vaporous phase

**B** = regelungsgeeignete zeitaufgelöste, stoffliche Zustandserfassung über die Kolonne – stoffliche Analyse (Konzentration) über die Kolonne

**B** = Control-appropriate dissolving with the time material state ascertainment about the column – Material analysis (concentration) about the column

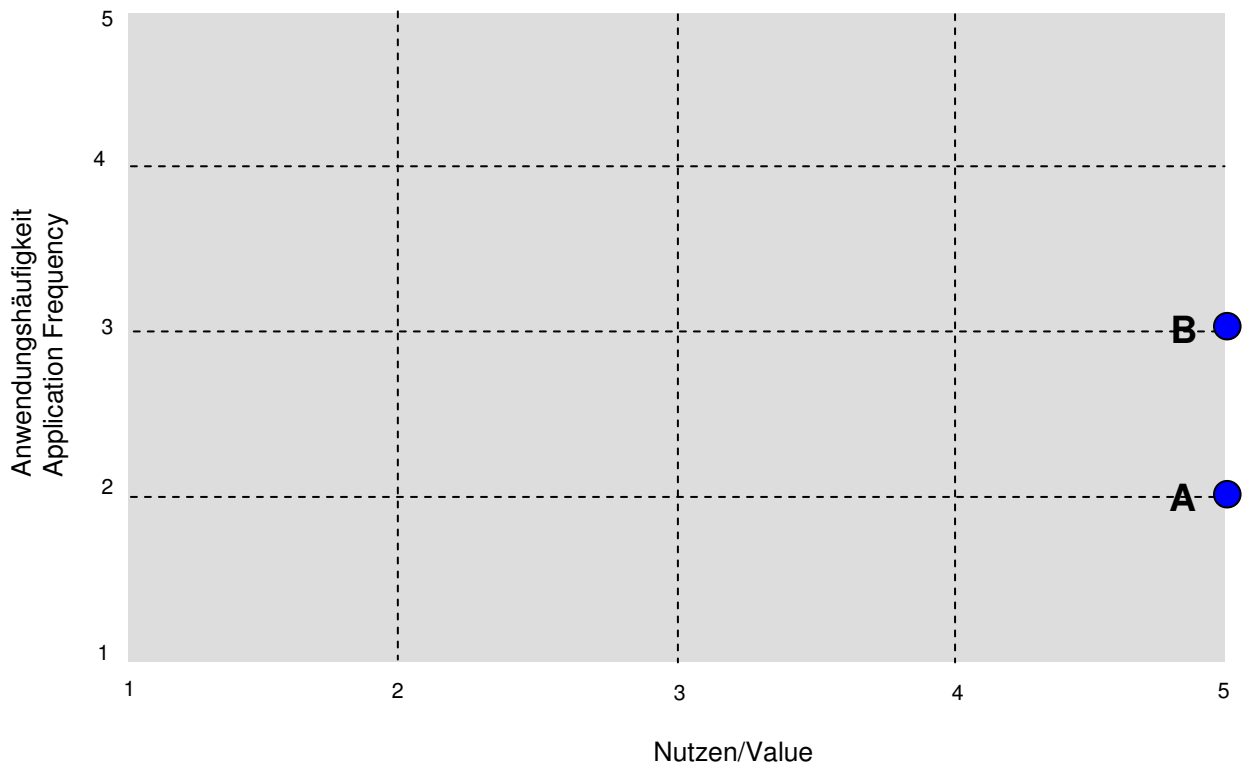
**C** = Temperatur

**C** = Temperature

**D** = kontinuierliches Temperaturprofil – Temperaturprofil längs der Kolonne

**D** = Continuous temperature profile – temperature profile along the column

Rektifikation gross-kontinuierlich:/Rectification large-continuous:



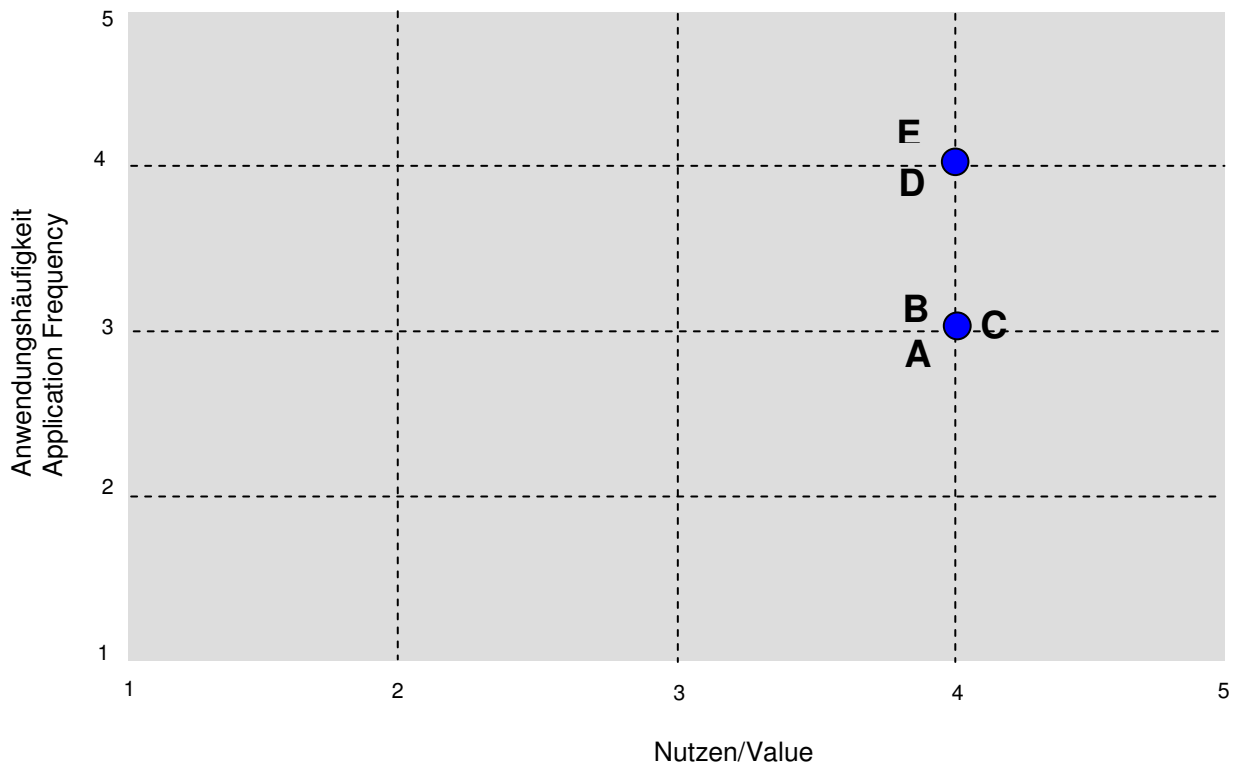
**A** = Regelungsgerechte zeitaufgelöste stoffliche Zustandserfassung über die Kolonne (strategieorientiertes Automatisierungssystem) – stoffliche

**A** = Control-appropriate dissolving with the time material state ascertainment about the column (strategy-orientated automation system) – material analysis (concentration) about the column

**B** = Inline-Prozessanalytik von wenigen Edukten/Produkten – Stoffkonzentration in Abzügen, Genauigkeit bis 1/10 Prozent

**B** = Inline-process analytics of some educts/products – Material concentration in take-offs; exactitude till 1/10 percent

Bio-Prozesse Fermenter:/Bio-processes fermenter:



**A** = Vitalitätsmessung – Milieu-Parameter, Wachstumsverhalten, Wellness-Proteine

**B** = Nachweis unerwünschter Kontamination im Fermenter – Biologische Kontamination (unerw. Pilze, Bakterien, Viren)

**C** = pH-Wert – Wasserstoff-Ionen

**D** = Nachweis unerwünschter Kontaminatin im Wasser-Loop für den Fermenter – biologische Kontamination (unerw. Pilze, Bakterien, Viren)

**E** = Nachweis des gewünschten Biologicals (Protein, Peptid, DNA, RNA), Aktivität – Konzentration, Einheiten einer Wirkung

**A** = Vitality measurement – Milieu-Parameters, increase performance, wellness proteins

**B** = Certificate about the biological contamination in the fermenters – biological contamination (unanticipated fungi, bacteria, viruses)

**C** = pH-value – hydrogen ions

**D** = Certificate about the biological contamination in the water loop for the fermenters – biological contamination (unanticipated funfi, bacteria, viruses)

**E** = Certificate about the desired biological (protein, peptide, DNA, RNA), activity – Concentration, units of an operation

#### 9.4 Technologie-Roadmap

Im folgenden Abschnitt werden diejenigen Technologien beleuchtet, welche bzgl. der bereits aufgeführten Messaufgaben über ein großes Lösungspotenzial verfügen.

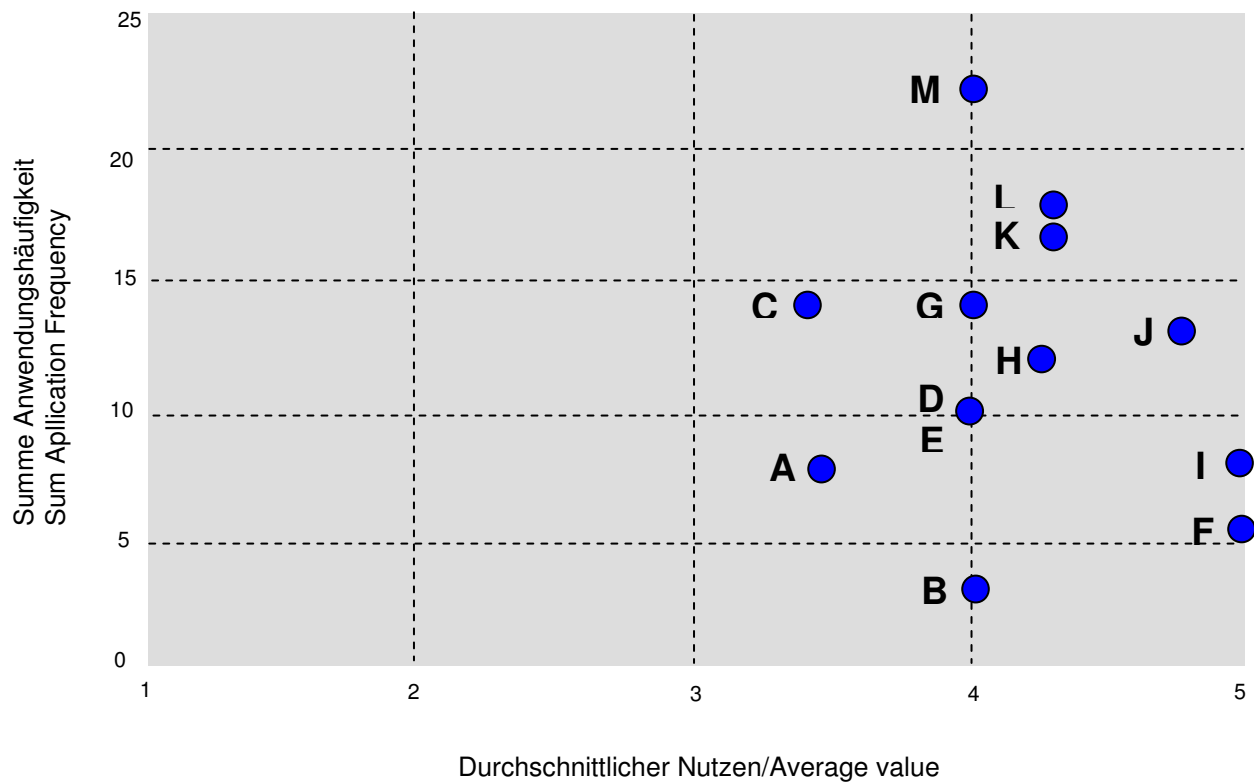
In der folgenden Abbildung findet zunächst eine Einordnung der am häufigst genannten Verfahren mittels der Achsen „Summe Anwendungshäufigkeit“ und „Durchschnittlicher Nutzen“. Die Anwendungshäufigkeit der Verfahren wird dabei über die entsprechenden Messaufgaben aufsummiert sowie der dabei zu erwartende durchschnittliche Nutzen betrachtet. Für die häufigst genannten Verfahren kann somit ein Eindruck über die marktbezogene Bedeutung gewonnen werden.

#### 9.4 Technology-Roadmap

The following illustration compiles a choice of technologies, which provide the highest solution potential concerning the already mentioned measuring tasks.

The number of entries indicates, for what number of the considered measuring tasks the methods come into question. The “sum application frequency” and “sum value” present the sum of the evaluations about the application frequency and the value of the measuring tasks, for which respective methods are suitable and provides therefore an impression about the market-related meaning of the technological method.

Bewertung technologischer Verfahren:



**A** = Massenspektroskopie

**A** = Mass Spectroscopy

**B** = Elektrochemische Impedanz-Spektroskopie

**B** = Electrochemical Impedance Spectroscopy

**C** = Laserverfahren

**C** = Laser Method

**D** = Prozess-Immunoassay-Analyzer

**D** = Process Immuno-Assay-Analysator

**E** = Prozess-Bio-Chromatograph

**E** = Bio Process-Chromatograph

**F** = Raman-Spektroskopie

**F** = Raman Spectroscopy

**G** = Bio-Chip

**G** = Bio Chip

**H** = IR Verfahren orts aufgelöst

**H** = IR Method areal dispersing

**I** = Bragg-Fasergitter für räumlich verteilte Temperaturmessung

**I** = Bragg-fiber Grids for Aral Dispersed Temperature Measurement

**J** = Process-GC

**J** = Process-GC

**K** = Tomographie mit Ultraschall und/oder Mikrowellen

**K** = Tomography with ultrasound and/or microwaves

**L** = IR Verfahren

**L** = IR Method

**M** = Energie und drahtlos kommunizierendes Sensorelement

**M** = Energy and wireless communicating sensor element

In der folgenden Tabelle werden die am häufigst genannten technologischen Verfahren bzgl. ihrer erwarteten Marktreife eingeordnet. Daneben wird mittels der Spalte Forschungsansatz/Standardisierung explizit herausgestellt, welche Verfahren sich nach Ansicht der Fachexperten für Grundlagenforschung z. B. an Universitäten (GF), gemeinsame Forschung in der Industrie (JV) bzw. für Standardisierungsinitiativen (ST) eignen.

In the column Research approach/Standardization is explicitly emphasized, what methods according to the opinion of the specialists are suitable for the basic research e.g. at the universities (GF), common research in the industry (JV) or for standardization initiatives. The considered methods are classified temporally according to their expected readiness for marketing.

Übersichtstabelle Technologie-Roadmap:

	Verfahren	Forschungsansatz/ Standardisierung	Zeitliche Einordnung (Jahr 20xx)											
			05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	
1	IR Verfahren	ST				→								
2	IR Verfahren orts aufgelöst	GF							→					
3	Prozess-GC								→					
4	Prozess-Bio-Chromatograph						→							
5	Prozess-Immunoassayanalyser	ST, JV								→				
6	Bio-Chip	GF												→
7	Bragg-Fasergitter für räumlich verteilte Temperaturmessung								→					
8	Tomographie mit Ultraschall und/oder Mikrowellen	JV									→			
9	Energie- und kommunikations-autonomes Sensorelement	JV, ST												→
10	Massenspektroskopie									→				
11	Laserverfahren	GF								→				
12	Elektrochemische Impedanz Spektroskopie	GF									→			
13	Raman Spektroskopie											→		

Der Pfeil gibt an, ab wann mit ersten industriellen Lösungen als Standardprodukte zu rechnen ist.

	Method	Research approach Standardization	Temporal classification (year 20xx)											
			05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	
1	IR method	ST				→								
2	IR method locally resolved	GF							→					
3	Process-GC								→					
4	Process-Bio-Chromatograph						→							
5	Process-Immunoassay analyzer	ST, JV								→				
6	Bio-Chip	GF												→
7	Bragg-gratins for spatially dispersed temperature measurement								→					
8	Tomography with ultrasound and/or microwaves	JV									→			
9	Energy and communication autonomous sensor element	JV, ST												→
10	Mass spectroscopy									→				
11	Laser method	GF								→				
12	Electrochemical impedance spectroscopy	GF									→			
13	Raman spectroscopy											→		

The arrow shows, when it is possible to count with the first industrial solutions as standard products.

## 9.5 Das technologische Umfeld

Getrieben aus den Branchen Automobil, Telekommunikation, Multimedia sowie Medizintechnik entstanden und entstehen eine Fülle neuer Produkte und Technologien, die auch Lösungen für die in dieser Roadmap beschriebenen Anforderungen für die Prozess-Sensorik bieten können.

Im Automobilbereich gibt es interessante Entwicklungen für vielfältige Sensoren für einfache Parameter wie Druck und Temperatur aber auch für chemische Eigenschaften, die für das Abgasmanagement eingesetzt werden. Diese Sensoren haben ihr technologisches Fundament in der Mikrosystemtechnik, dabei insbesondere die MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems). Dadurch sind sie extrem preiswert, so dass ihr vielzähliger Einsatz zur Erlangung von orts aufgelösten Informationen in einer verfahrenstechnischen Anlage zu diskutieren ist.

Die Telekommunikation mit immer noch stetig wachsenden Übertragungsbandbreiten hat fertige und erprobte Produkte und Technologien für die drahtlose Kommunikation bereit. Durch die große Verbreitung und durch die Möglichkeiten der Siliziumtechnologien, die hohen Frequenzen direkt zu verarbeiten sind auch hier extrem preiswerte Komponenten entstanden, die die Vision des energieautonomen und kommunikationsautonomen Sensors möglich machen. Mit der drahtlosen Kommunikation einhergehen Technologien zur Reduktion des individuellen Energieverbrauchs und zur Energiespeicherung durch neue Batterietechnologien.

Die explosionsartig gestiegenen Anforderungen und Lösungen für Multimedia-Applikationen im Konsumerbereich bieten heute Rechengeschwindigkeiten zu geringen Preisen, die die Integration von Chemometrie, Rechnern, sowie Bildverarbeitungssystemen in Sensoren wirtschaftlich vertretbar machen.

Der Fortschritt in der Medizintechnik wird unzweifelhaft dominiert durch die Erfolge der Computertomographie; also, anspruchsvolle Bildverarbeitung in Verbindung mit intelligenten Algorithmen. Hier sind Ansätze für tomographische Prozessgrößenerfassung denkbar.

Die Technik für medizinische Diagnose sowie Analyse und Synthese in der pharmazeutischen Forschung wird durch Miniaturisierung und Automatisierung in den nächsten fünf Jahren den Durchsatz um den Faktor 1 000 verbessern. Die dies fördernde Technologie wird die Mikrosystemtechnik sein. Es ist anzunehmen, dass hier

## 9.5 The technological environment

Plenty of new products and technologies are being produced and were produced, which can also offer solutions to the requirements for the processor sensor technology, described in this Roadmap driven by the branches of automobile, telecommunication, multimedia and medicine technology.

Thus, there are interesting developments for varied sensors for easy parameters not only in the automobile area, like pressure and temperature, but also for the chemical qualities that are used for the waste gas management. These sensors have their technological basis in the micro system technology, particularly in the MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems). Thereby, they are extremely inexpensive so that their numerous applications with the purpose of the acquisition of the local information in procedural equipment are to be discussed.

The telecommunication with still steadily increasing transference bandwidth provides ready and tested products and technologies for the wireless communication. The extremely inexpensive components, which make the vision of the energy-autonomous and communication-autonomous sensor possible, were created thanks to the large circulation and possibilities of the silicon technologies to process high frequencies. With the appearance of wireless communication technologies, reduces the individual energy consumption and improves energy storage due to the new battery technologies.

Today, the explosively risen requirements and solutions for multimedia applications in the consumer area offer calculating speeds for low prices. This makes the integration of chemometry, computers and picture processing systems in sensors economically substitutable.

The progress in the medicine technology will be doubtlessly dominated by the success of the computer tomography; thus, demanding picture processing together with intelligent algorithms. Here it is worthwhile to think about the gathering of tomographical process data.

The equipment for medical diagnosis and analysis and synthesis in the pharmaceutical research will improve the turnover by the factor 1,000, according to [14] due to miniaturization and automation during the next five years. The micro system technology will support it. Supposedly the synergies can be used here for the demanded

---

Synergien für den geforderten Prozess- process-immunoassay-analyzer.  
Immunoassay-Analyser genutzt werden können.

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt Technologie-Roadmap Prozess-Sensoren 2005 – 2015 wurde von den Organisationen NAMUR und GMA mit folgenden Zielsetzungen initiiert:

1. Aufzeigen von zukünftigem Handlungsbedarf in der Prozess-Sensorik
2. Beschleunigung der Lösung von Messaufgaben für verfahrenstechnische Anlagen (Anwender)
3. Zielgerichtete Entwicklung (Hersteller)
4. Ausgangspunkt für Forschungsaktivitäten
5. Standardisierung

Zunächst kann allein die Art und Weise der Zusammenarbeit bereits als Erfolg betrachtet werden. Mit Hilfe der VDI/VDE-GMA sowie NAMUR ist es möglich geworden, für das Gebiet der Prozess-Sensoren Technologie- und Marktsicht zusammenzubringen und damit eine Abstimmung des technologischen Bedarfs und Angebots anzustoßen.

Die Ergebnisse enthalten eine detaillierte Darstellung ausgewählter Messaufgaben sowie deren Bewertung und anschließende Visualisierung in Portfolios mittels der marktbezogenen Kriterien Nutzen und Anwendungshäufigkeit. Auf Basis dieser Messaufgaben wurden Technologien identifiziert, welche einen hohen Potenzial für die Lösung der Messaufgaben aufweisen, und bzgl. ihrer möglichen Marktreife zeitlich eingeordnet (Technologie-Roadmap, Kap. 9.4). Die fachlichen Ergebnisse wurden im Rahmen der ausführlich diskutierten acht Kernthesen interpretiert.

Die vorliegende Technologie-Roadmap versteht sich als Startpunkt weiterführender Betrachtungen. Die NAMUR und GMA betrachten die Technologie-Roadmap als lebendiges Dokument. Forschungs- und Hochschulinstitute sowie weitere Unternehmen sind eingeladen sich zu beteiligen und weitere ausgewählte Themenbereiche zu erstellen.

Darüber hinaus soll durch die ausführlich erfolgte Darstellung der Vorgehensweise angeregt werden, die Methodik auf weitere, interessante Themenfelder zu übertragen. Die Einschätzung zukünftig notwendiger Anforderungen sowie der hierfür erforderlichen technologischen Entwicklungen wird einem kontinuierlichen Wandel unterliegen.

## 10 Summary and overview

The project Technology-Roadmap Process-Sensors 2005-2015 was initiated by the organisations NAMUR and GMA with the following targets:

1. Indication of the future need for action in the process-sensor technology
2. Acceleration of the solution of measuring tasks for procedural equipments (users)
3. Target-orientated development (Manufacturers)
4. The starting point for the research activities
5. Standardization

At first, the way of the cooperation may already be considered as success on its own. With the help of the VDI/VDE-GMA and NAMUR, it became possible for the branch process sensor technology to bring together technology and market view and thus to push a coordination of technological demand and offer.

The results contain a detailed presentation of the selected measuring tasks and their evaluation and visualization in portfolios that follows by means of the market-related criteria of value and of application frequency. On the basis of these measuring tasks the technologies were identified which show a high potential for the solution of the measuring tasks and which were classified chronologically according to their possible marketability (Technology-Roadmap, Chap. 9.4). The technical results were interpreted within the scope of eight theses, which were discussed in detail.

The present Technology-Roadmap is understood as a starting point for continuing considerations. The NAMUR and GMA consider the Technology-Roadmap as a living document. Research and academic institutes and other enterprises are invited to take part and to work on other selected subject fields.

In addition, it should be inspired by the in detail presented approach representation to transfer the methodology on other interesting subject fields. The evaluation of future necessary requirements and necessary technological developments will underlie a continuous change.

Dies wird einerseits Rückschlüsse auf Verbesserungspotenziale der Methodik an sich liefern, andererseits lassen sich Trends bzgl. der Anforderungen der Anwender von Prozess-Sensorik und evtl. bereits erste Ergebnisse einer zielgerichteten Entwicklung auf Seiten der Hersteller von Prozess-Sensorik ermöglichen. Durch die Erarbeitung der vorliegenden Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2005-2015“ haben GMA und NAMUR, einen Kristallisationspunkt für zukünftige Forschungsprojekte geliefert.

Die Ergebnisse bzgl. des Bedarfs an Prozess-Sensorik und möglicher technologischer Entwicklungspfade wurden von Fachexperten in ihren Themengebieten führender Unternehmen erarbeitet. Sie bieten damit Forschungs- und Hochschulinstituten etc. damit ebenfalls Planungssicherheit zur Ausrichtung ihrer Forschungsthemen. Zugleich können die Ergebnisse als Grundlage zur Ausrichtung von Programmen entsprechender Forschungsträger dienen.

On one hand, it will deliver conclusions on improvement potentials of the methodology and on the other hand, trends concerning the requirements of the process sensor technology users and perhaps already the first results of a target-orientated development on the part of the process sensor technology manufacturers will be available. By the development of the present Technology Roadmap "Process sensors 2005-2015" GMA and NAMUR have delivered a crystallization point for future research projects.

The results concerning the demand in process sensor technology and possible technological developing paths were compiled by subject professionals of leading enterprises. They also offer a planning security for the adjustment of research subjects to research institutes and academic institutes, etc. At the same time, the results can serve as a basis for the adjustment of programs of suitable research institutions.

## 11 Anhang

### Teilnehmer/Participants

#### Steuerungskreis/Control circle

#### Hersteller/Manufactures

Dr. Ulrich Kaiser	Endress+Hauser
Dipl.-Ing. Hans-Georg Kumpfmüller	Siemens
Dipl.-Ing. Dieter Schaudel	Endress+Hauser
Dr. Peter Terwiesch	ABB

#### Anwender/User

Dr. Norbert Kuschnerus	Bayer Technology Services
Dipl.-Ing. Wilfried Schmieder	Sanofi Aventis
Prof. Dr. Hans Schuler	BASF
Dr. Thomas Tauchnitz	Sanofi Aventis

#### Organisationen/Organisations

Prof. Dr. Georg Bretthauer	VDI/VDE-GMA
Dr. Hasso Drathen	NAMUR
Dipl.-Ing. Dieter Westerkamp	VDI/VDE-GMA

#### Auftragnehmer

Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Abele	FhG-IPA
Dipl.-Ing. Thorsten Laube	FhG-IPA

#### Projektlenkungsteam/Contractors

Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Abele	FhG-IPA (Projektleitung)
Dr. Hasso Drathen	NAMUR
Dipl.-Ing. Dieter Westerkamp	VDI/VDE-GMA

#### Arbeitsgruppe/Working Group

Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Abele	FhG-IPA
Dipl.-Ing. (FH) Winfried Demmerle	Siemens
Dr. Hasso Drathen	Bayer Technology Services
Dipl.-Ing. Helmut Dyckmanns	Degussa
Dr. Armin Gasch	ABB
Dr. Martin Gerlach	Bayer Technology Services
Dr. Michael Gote	BASF
Dr. Friedrich Harbach	ABB
Dr. Ulrich Kaiser	Endress+Hauser
Dr. Michael Kloska	BASF
Dipl.-Ing. Thorsten Laube	FhG-IPA
Dr. Stefan Ochs	Bayer Technology Services
Dr. Michael Markus	Siemens
Dipl.-Ing. Rolf Panzke	Siemens
Dipl.-Ing. Wilfried Schmieder	Sanofi Aventis
Dipl.-Ing. Dieter Westerkamp	VDI/VDE-GMA

---

## 12. Quellen/List of References

- [1] Gerlach, Martin u. a.: Trends in der Online-Analytik - Bessere Daten für effizientere Prozesse, 65. NAMUR-Hauptsitzung, Lahnstein, 7. Nov. 2002.
- [2] Sanden, Josef u. a. : Anforderungen an Sensorsysteme zur Prozessführung, 66. NAMUR-Hauptsitzung, Lahnstein, 6. und 7. Nov. 2003.
- [3] Gote, Michael u. a.: Sensorsysteme für das Asset-Management, 66. NAMUR-Hauptsitzung, Lahnstein, 6. und 7. Nov. 2003.
- [4] Schaudel, Dieter: Eine Roadmap für Prozess-Sensoren: Technologien, Systeme, Märkte, GMA-Kongress, Mai 2003.
- [5] Möhrle, Martin G.; Isenmann, Ralf: Grundlagen des Technologie-Roadmapping, in: Möhrle, Martin G.; Isenmann, Ralf: Technologie-Roadmapping : Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen, Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hongkong; London; Mailand; Paris; Tokio, Springer, 2005.
- [6] Westkämper, E.: Strategische Investitionsplanung mit Hilfe eines Technologiekalenders, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Strategische Investitionsplanung für neue Technologien in der Produktion, gfmt, München, 1986, S. 143-182.
- [7] Eversheim, Walter; Böhlke, Uwe H.; Martini, Claus J.; Schmitz, Wolfgang J.: Neue Technologien erfolgreich nutzen, VDI-Z, Heft 8, S. 78-81, und Heft 9, S. 47-52, 1993.
- [8] Schuh, Günther; Martini, Claus; Böhlke, Uwe H.; Schmitz, Wolfgang J.: Planung technologischer Innovationen mit einem Technologiekalender, io Management, Zeitschrift 61, Nr. 3, 1992, S. 31-35.
- [9] Wildemann, Horst: Fertigungsstrategien, 2. neubearbeitete Auflage, Transfer-Centrum-Verlag, München, 1994.
- [10] o. V.: Technology Roadmapping – Delivering Business Vision, EIRMA, working group reports number 52, Paris, 1997.
- [11] Industry Canada: <http://strategis.ic.gc.ca>
- [12] U. S. Department of Energy: <http://www.eere.energy.gov>
- [13] Korea Institute of Science and Technology:  
<http://kric.kist.re.kr/pages/Future%20Technology/techroadmap/>
- [14] The Nexus Product Technology Roadmap for Microsystems, Sept. 2003

Impressum

Herausgeber:  
NAMUR-Geschäftsstelle  
c/o Bayer Technology Services GmbH  
Geb. K 9  
51368 Leverkusen  
Tel.: +49-214-30-71034  
Fax: +49-214-30-72774  
E-Mail: [office@namur.de](mailto:office@namur.de)  
Internet: [www.namur.de](http://www.namur.de)

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)

Postfach 10 11 39  
40002 Düsseldorf  
Telefon: (0211)6214-226/227  
Telefax: (0211)6214-161  
E-Mail: [gma@vdi.de](mailto:gma@vdi.de)  
Internet: [www.vdi.de/gma](http://www.vdi.de/gma)

Redaktion:

Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart  
Telefon: +49 (0) 7 11 / 9 70-1961  
E-Mail: [kruppa@ipa.fraunhofer.de](mailto:kruppa@ipa.fraunhofer.de)  
Internet: [www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

Autoren:

Dipl.-Wirt.-Ing. Thomas Abele  
Dr. Hasso Drathen  
Dr. Ulrich Kaiser  
Dipl.-Ing. Thorsten Laube  
Dipl.-Ing. Dieter Westerkamp