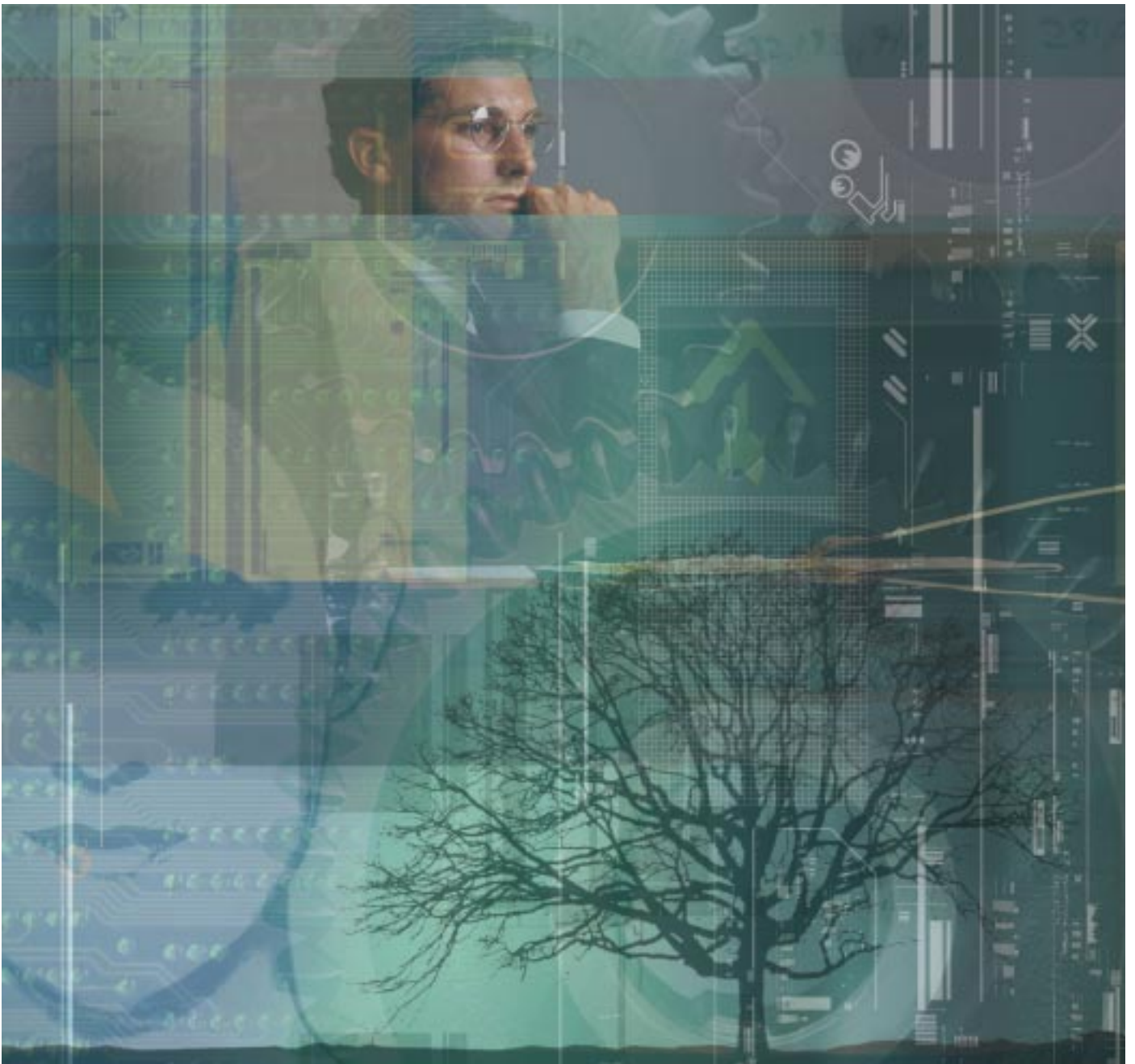




**Forschungszentrum Karlsruhe**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

# NACHRICHTEN



Jahrgang 36 • 4/2004

Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

---

**Im Inhaltsverzeichnis verwendete  
Abkürzungen:**

ITAS	Institut für Technikfolgen- abschätzung
ITC	Institut für Technische Chemie

**Herausgeber:**

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640 · 76021 Karlsruhe  
Telefon 07247 82-0

**Redaktion:**

Dr. Joachim Hoffmann

**Redaktionsbeirat:**

Prof. Dr. J. Blümer, IK-IEKP  
Dr. W. Breitung, IKET  
Prof. Dr. E. Dinjus, ITC-CPV  
Dr. K. Gompper, INE  
Dr. J. Gspann, IMT  
Dr. G. Metzlig, FTU  
Dr. W. Pfleging, IMF-I  
Prof. Dr. U. Schurath, IMK (Vorsitzender)  
Dr. K.-F. Weibezahn, IMB

**Grafik und Satz:**

Stolz Grafisches Atelier · Karlsruhe

**Layout:**

Tassilo Schnitzer

**Druck:**

Wilhelm Stober GmbH · Eggenstein

Nachdruck mit Genehmigung des  
Forschungszentrums Karlsruhe GmbH  
unter Nennung der Gesellschaft und  
des Autors gestattet. Beleg erbeten.

Die NACHRICHTEN  
können kostenlos über die  
Hauptabteilung Bibliothek und Medien  
des Forschungszentrums bezogen  
werden.

Printed in the Federal Republic of  
Germany



Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse verfolgen interdisziplinäre Ansätze, um prospektiv und systemorientiert Wissen über die (ökologischen, sozialen, ökonomischen und kulturellen) Folgen von Entwicklung und Einsatz neuer Technologien zu erhalten. Ziel ist die Verbesserung der Informationsgrundlagen für anstehende Entscheidungen und Meinungsbildungsprozesse.

---

# Inhalt / Contents

## ■ Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse als Partner von Technik und Innovation 189 Technology Assessment and Systems Analysis as Partners of Technological R&D

A. Grunwald, ITAS

Technology assessment and systems analysis are using interdisciplinary approaches to providing anticipatory and systemic knowledge about (ecological, economic, social, and cultural) impacts and consequences of the development and use of new technologies. Their objective is to contribute to an optimal knowledge basis for decision-making and opinion-forming. Close cooperation with institutions of scientific and technological R&D is essential in many fields. An interdisciplinary campus like Forschungszentrum Karlsruhe offers a lot of chances of establishing such cooperation.

## ■ Nachhaltige Entwicklung in Deutschland: 193 Bewertungskonzept, Kernprobleme und Handlungsnotwendigkeiten Sustainable Development in Germany: Evaluation Framework, Core Problems, and Strategic Requirements

J. Kopfmüller, ITAS

In this article core results of the HGF research project “Global Sustainable Development. Perspectives for Germany”, conducted by ITAS are outlined. This includes the basic ideas of the integrated sustainable development concept used as criteria framework to identify the present core sustainability problems in Germany. Based on quantitative and qualitative results regarding the future development of these problems, strategic core elements for the solution of these problems are proposed for different scenarios in 2020, which are characterized by different assumptions regarding societal framework conditions.

## ■ Nachhaltigkeitsprobleme im Bereich Wohnen und Bauen und strategische Ansätze 198 zu ihrer Bewältigung Sustainability Deficiencies in the Housing and Construction Sector and Strategic Approaches to Coping with Them

J. Jörissen, R. Coenen, V. Stelzer, ITAS

When applying the set of sustainability criteria based on the Integrative Sustainability Concept, shortcomings are noticed with respect to the housing and construction sector. These include urban sprawl and high land consumption, sealing of soils, consumption of heating energy, high material throughput, housing shortages, unequal opportunities in the housing market, and growing social segregation within cities. Many of the problems addressed can be mitigated simultaneously by applying an integrative strategy focusing on shifting investments from new building to rehabilitation and improving the living conditions within cities. The article discusses possible instruments and measures to implement such a strategy.

---

---

## ■ Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen

206

### Energy from Biogenic Residues and Waste

L. Leible, S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, P. Proplesch, D. Wintzer, B. Fürniß, ITAS

Regarding the supply of heat, electricity, and liquid transportation fuels, biogenic residues and waste could meet about 10% of the German primary energy demand. As a rule, however, economic competitiveness with fossil energy sources is not yet given. Furthermore, the results of a systems analytical approach focus on the achievable contribution to CO<sub>2</sub> reduction and low CO<sub>2</sub> mitigation costs; related employment effects may be considered a positive spin-off only. Recent R&D at the Forschungszentrum Karlsruhe regarding the production of syngas and transportation fuels from straw and wood residues is presented; first results of the systems analytical research are outlined.

## ■ Auswirkungen des Einsatzes von Abfällen bei der Zementherstellung auf die Spurenelementgehalte von Zement und Beton

213

### Impact of the Use of Secondary Input Materials for Cement Production on Trace Element Concentrations of Cement and Concrete

M. Achternbosch, K.-R. Bräutigam, N. Hartlieb, C. Kupsch, ITAS; P. Stemmermann, U. Richers, ITC

This project was aimed at investigating the impact of the use of secondary input materials (secondary fuels, secondary raw materials, and blending agents for cement production; secondary concrete additives and secondary aggregates for concrete production) on trace element concentrations in cement and concrete. Furthermore, the aim was to investigate under which conditions and to which extent the incorporated trace elements can be released into the environment. The calculations have shown that presently used secondary raw materials and fuels in some cases result in a slight increase in trace element concentrations of cement and concrete. The release of trace elements from concrete is negligibly small during the phase of use. An increased release of trace elements is possible under special assumptions after demolition. However, the present knowledge is not sufficient for a definite assessment.

## ■ Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung – eine Ökobilanz

219

### Concrete with Recycled Aggregates – a Comparative LCA

U. Jeske, J. Buchgeister, L. Schebek, M. Weil, ITC

In Germany, large fractions of construction and demolition wastes (except for excavation residues) are processed and used again as secondary construction materials. New standards and regulations allow for the use of recycled aggregates in concrete production. Recycled aggregates replace parts of the natural aggregates in the concrete composition. The processing and use of recycled and natural aggregates for concrete was subjected to a comparative Life Cycle Assessment in order to identify benefits and drawbacks.

---

---

■ **Systemtechnische Methodik zur Planung und Optimierung umweltrelevanter Prozesse – Fallbeispiel Feuerverzinken** 225

**Systems Engineering Method for Planning and Optimizing Environmentally Relevant Processes – Case Study Hot Dip Galvanizing**

R. Ackermann, J. Buchgeister, ITC

Based on general systems engineering methodologies, a method for a stepwise process development was designed. It is a core feature of a toolbox which will be established to optimize process development from very early stages (idea level) to realization. The assessment of the results includes life cycle assessment (LCA) and cost benefit analysis (CBA) with an investment appraisal. This method has been applied for optimizing different galvanizing processes, especially hot dip galvanizing. Results show that environmental impacts can be reduced significantly by the application of appropriate tools along all process development stages.

■ **Technikfolgenabschätzungen zur Nanotechnologie: Roadmapping als neues Instrument** 230  
**Technology Assessment of Nanotechnology: Roadmapping as a New Instrument**

U. Fiedeler, T. Fleischer, M. Decker, ITAS

Technology assessment has to integrate the socio-economic context of a technical product in order to be comprehensive. Most nanotechnology-related activities are in very early stages of development and, in addition, nanotechnology is to be considered an “enabling technology”. Therefore, a valid technology assessment study requires first a preparing step that provides a reliable analysis of possible applications based on present research concepts and activities. For this purpose, the “roadmapping” method known from strategic investment planning is evaluated. Its adaptation to technology assessment is proposed.

■ **Fusionsforschung als Gegenstand parlamentarischer Technikfolgenabschätzung** 235  
**Fusion Research as a Subject of Parliamentary Technology Assessment**

R. Grünwald, A. Grunwald, D. Oertel, ITAS

Fusion research is an internationally interlaced precautionary activity in the public interest and with public support. Parliamentary technology assessment serves to consult parliament in upcoming opinion- and decision-making processes. The task in this case is to give a comprehensible account of the status of development, to consider the different impacts and consequences of fusion, and to provide options for actions by parliament. The major methodological challenge consists in dealing with the uncertainty of knowledge in view of the long time scales involved.

---

---

## ■ Sozio-ökonomische Herausforderung des Grid-Computing

240

### Socio-economic Challenges of Grid Computing

C. Orwat, ITAS; C. Holtmann, Universität Karlsruhe, Institut für Informationswirtschaft und -management

Grid computing is the basic infrastructure of e-science programmes promising new approaches of cooperative scientific activities aiming to share computer-based resources such as computing power, storage capacity, but also data, information, and even expertise. Besides the technical issues, many essential socio-economic prerequisites have to be fulfilled for a widespread adoption of e-science. They include issues of financing, access regulation, resource allocation, resource evaluation, compensation for resource uses, incentives for resource provisions, security of resource quality, or intellectual property rights.

## ■ Auswirkungen der Informationstechnologien auf die Arbeitswelt

243

### Impacts of Information Technologies on Working Life

B.-J. Krings, ITAS

The introduction of technology played a crucial role in the development of the labor market. Since the beginning of industrialization in the 18<sup>th</sup> century, the spatial and temporal working conditions have been based on the use of technologies. Information and communication technologies (ICT) dramatically changed the labor force in nearly all branches and sectors. The example of temporal flexibilization shows that these changes have an impact on both the work organization and the individual shaping of work. The analysis of these changes therefore does not only cover the technological performance, but also social, political, and ethical issues.

## ■ Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

248

### The Office for Technology Assessment with the German Parliament (TAB)

A. Grunwald, T. Petermann, ITAS

TAB was created in 1990 with the aim of providing contributions to the improvement of the information base, particularly for parliamentary decision-making concerning science and technology. Among TAB's tasks are above all the conception and execution of technology assessment projects and the monitoring and analysis of important scientific and technological trends and related societal developments. TAB is managed by the Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS) of the Karlsruhe Research Center.

---

---

■ **Netzwerk Lebenszyklusdaten**  
**German Network on LCI Data**

252

L. Schebek, C. Bauer, J. Buchgeister, ITC

The German Network on LCI (Life Cycle Inventory) Data was established in 2001 based on a joint initiative of Forschungszentrum Karlsruhe and the Federal Ministry of Education and Research (BMBF). Starting point was the vision of defining the need of different application fields (economy, science, politics, society) for process related data on material flows (Life Cycle Inventory data) as an interdisciplinary scientific challenge and of developing a scientific infrastructure as element of the programme-oriented research of the HGF. This novel network combines an interdisciplinary science cooperation with relevant societal stakeholder groups.

# Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse als Partner von Technik und Innovation

A. Grunwald, ITAS

## Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse – ein Überblick

Technikfolgenabschätzung (TA) und Systemanalyse sind seit Jahrzehnten Bestandteil der Forschung im Forschungszentrum Karlsruhe. Das vorliegende Heft gibt einen Überblick über aktuelle Projekte mit dem Schwerpunkt auf Themen, die engen Bezug zu naturwissenschaftlich-technischen FuE-Arbeiten im Forschungszentrum Karlsruhe haben.

### Ziele

Technikfolgenabschätzung (TA) und Systemanalyse erarbeiten und vermitteln Wissen über die Folgen menschlichen Handelns und über ihre Bewertung in Bezug auf die Entwicklung und den Einsatz von neuen Technologien. Sie unterstützen dadurch Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und die Öffentlichkeit, Zukunftsentscheidungen auf der Basis des besten verfügbaren Wissens und rationaler und transparenter Bewertungen zu treffen. Sie stellen Methoden und wissenschaftliche Infrastruktur innerhalb und außerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft bereit und entwickeln Modelle zur aktiven Mitgestaltung der Schnittstelle zwischen naturwissenschaftlich-technischer Helmholtz-Forschung und öffentlichen Debatten. Das durch Systemanalyse und TA erarbeitete Wissen ist charakterisiert durch:

*Praxisbezug:* Systemanalyse und TA erarbeiten Wissen vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Debatten und Entscheidungsnot-

wendigkeiten über Wissenschaft, Technik und Technikfolgen.

*Zukunftsbezug:* Forschungsarbeiten in Systemanalyse und TA haben grundsätzlich einen *prospektiven* Anteil: sie dienen der Gestaltung zukünftiger Technik und ihrer Rahmenbedingungen.

*Systembezug:* Untersuchungsgegenstände sind übergreifende systemische Zusammenhänge zwischen Wissenschaft bzw. Technik, Umwelt und gesellschaftlichen Wandlungsprozessen.

*Orientierungsleistung:* Orientierungswissen als Entscheidungsunterstützung enthält auch Bewertungen. Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung spielt dabei eine hervorgehobene Rolle.

### Zur Geschichte

Systemtechnische und systemanalytische Verfahren wurden zunächst in den fünfziger und sechziger Jahren im großtechnischen Bereich entwickelt, u.a. in Kraftwerksbau, Luft- und Raumfahrt sowie im Militär. Ingenieurtechnische Verfahren der Risikoabschätzung im Kernenergiebereich reichen in diese Zeit zurück. Gesellschaftliche Belange, Akzeptanzfragen und Konfliktpotentiale, Nebenfolgen von Technik sowie die zunehmende Komplexität von Entscheidungen über Technik führten ab Ende der sechziger Jahre zur Entstehung der TA [1]. Ihr Grundgedanke ist, im Vorfeld von Entscheidungen über Technik nicht nur auf die verfolgten Ziele und die eingesetzten Mittel, sondern auch auf mögliche Nebenfolgen für Gesellschaft, Individuen und Umwelt zu

schauen, um auf diese Weise die Chancen von Technik bestmöglich nutzen und Risiken minimieren zu können.

### Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse im Zentrum

Systemanalyse und TA in Deutschland hatten früh einen Platz in der Helmholtz-Forschung (vor allem in den Zentren Jülich, Karlsruhe und im DLR). Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS, [www.itas.fzk.de](http://www.itas.fzk.de); Leitung Prof. Dr. Armin Grunwald) ging 1995 aus der Abteilung für Angewandte Systemanalyse (AFAS) hervor, die selbst 1975 gegründet worden war. ITAS betreibt seit 1990 das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB; Grunwald/Petermann in diesem Heft; als Beispiel einer TAB-Studie Grunwald et al. zur Kernfusion). Die Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme des Instituts für Technische Chemie (ITC-ZTS, [www.itc-zts.de](http://www.itc-zts.de); Leitung Prof. Dr. Liselotte Schebek) wurde 1999 gegründet. Forschungsschwerpunkte sind Analyse und Bewertung anthropogener Stoffströme im Kontext ihres Technikbezugs. ITC-ZTS betreibt die Geschäftsstelle des Netzwerks Lebenszyklusdaten (Bauer/Schebek in diesem Heft).

Die Arbeiten von ITAS und ITC-ZTS sind im Helmholtz-Programm „Nachhaltige Entwicklung und Technik“ des Forschungsbereichs „Erde und Umwelt“ konzentriert [2], S. 407 ff. Sie bilden dort – neben den technisch orientierten Themen Wasserregenerierung, Kohlenstoffmanagement,



Abfallbehandlung und Baustoffe – ein eigenes Programmthema, gemeinsam mit entsprechenden Aktivitäten des Forschungszentrums Jülich. Im Forschungszentrum Karlsruhe sind TA und Systemanalyse im Programm UMWELT, sowie, in einem kleinen Anteil, im Programm NANO integriert.

## Forschungsfelder

### *Stoffströme und Ressourcenmanagement*

Nachhaltige Entwicklung stellt für Helmholtz-Forschung eine wesentliche Herausforderung dar [2]. Wesentliches Ergebnis des vom ITAS koordinierten HGF-Verbundprojektes „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“ [3] war die Entwicklung des integrativen Konzeptes nachhaltiger Entwicklung und seine Anwendung auf Deutschland (Kopfmüller in diesem Heft; Jörissen/Stelzer zur Nachhaltigkeit im Aktivitätsfeld Wohnen/Bauen). Dies Konzept wird zurzeit auch in einer Reihe von Nachhaltigkeitsprojekten außerhalb der HGF angewendet [4].

Der Grad der Nachhaltigkeit einer Gesellschaft wird wesentlich durch den Umgang mit ihren stofflichen Grundlagen beeinflusst: anthropogene Stoffströme haben auf unterschiedlichen Ebenen und Zeitskalen wirtschaftliche, umweltrelevante und soziale Auswirkungen. Eine nachhaltigkeitsorientierte Stoffpolitik bedingt eine ganzheitliche Sichtweise von Stoffströmen unter Berücksichtigung der Zusammenhänge zwi-

schen Inputseite (Ressourceneinsatz) und Outputseite (Emissionen, Abfälle usw.) und verlangt integrierte Bewertungsmethoden. Die Forschungsziele sind

- Verbesserung des Verständnisses anthropogener Stoffströme, ihrer Ursachen und ihrer Folgewirkungen
- Entwicklung und Weiterentwicklung von Methoden der Analyse, Bewertung und Steuerung von Stoffströmen
- Erarbeitung von Vorschlägen und Strategien für eine nachhaltige Ressourcennutzung

Themenfelder sind vergleichende Untersuchungen zu der Frage, wie durch Entwicklung und Einsatz alternativer Rohstoffe, Werkstoffe, Produkte und Energieträger, durch neuartige Produktions- und Fertigungsprozesse oder durch effizientere Kreislaufführung eine nachhaltiges Wirtschaften der Industriegesellschaft zu erreichen ist. Dabei spielen sowohl der Anschluss stoffstromanalytischer Methoden und Bewertungsverfahren an Innovationsprozesse als auch Betrachtungen zu rechtlichen, wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen ein. In diesem Heft werden systemanalytische Arbeiten zur Gaserzeugung aus Biomasse (Leible et al.), zur Mitverbrennung von Abfällen bei der Zementherstellung (Achternbosch et al.), zu Stoffstromproblemen der Nutzung von Beton (Jeske) und zur Optimierung umweltrelevanter Prozesse (Ackermann) vorgestellt.

### *Innovation, Schlüsseltechnologien und Technikfolgen*

Bei vielen Schlüssel- und Querschnittstechnologien werden Technikfolgen häufig erst bei der verbreiteten Nutzung dieser Technik und bei den durch ihre Verwendung ausgelösten technischen, ökonomischen, ökologischen oder sozialen Veränderungen relevant. Sie sind in frühen Stadien der Technikentwicklung kaum oder nur mit großen Unsicherheiten prospektiv einzuschätzen (für die Nanotechnologie vgl. Fiedeler et al. in diesem Heft). Für eine prospektive TA hat deshalb das Verstehen von Innovationsprozessen sowie der fördernden oder hemmenden Faktoren eine große Bedeutung. Entsprechende Arbeiten haben für viele Adressaten als Basis von Entscheidungsfindung und Strategieentwicklung (Technikgestaltung, „nachhaltige Technikentwicklung“, politisches Innovationsmanagement) einen hohen wissenschaftlichen und informatorischen Wert. Die Forschungsziele sind

- Verständnis der gesellschaftlichen Mechanismen der Technikgenese und Technikgestaltung in frühen Phasen der Entwicklung.
- Erforschung des Zusammenhangs zwischen technischen Inventionen und ökonomischen Innovationen, insbesondere in Bezug auf außerökonomische (z.B. kulturelle und soziale) Faktoren.
- Abschätzung der Technikfolgen sowie Bewertungen unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit.

- Nutzung dieser Erkenntnisse zur Entscheidungsvorbereitung und -unterstützung.

### Wissenschaft, Technik und gesellschaftlicher Wandel

Die gegenwärtig wohl wichtigste gesellschaftliche Entwicklung besteht in der radikalen Änderung der Wissensstruktur. Davon sind betroffen die Produktionsformen, der Zugang, die Verteilung und die Nutzungsweisen des Wissens, wie sie durch das Stichwort der Wissensgesellschaft beschrieben wird. Angetrieben durch die Verbreitung der Informations- und Kommunikationstechnologien wächst die Bedeutung des Wissens in ökonomischer, sozialer und politischer Hinsicht. Wissenspolitik und Wissensmanagement werden zu neuen gesellschaftlichen Handlungsfeldern. Dies hat erhebliche Folgen, z.B. für die Wissenschaft selbst (hierzu Orwat/Holtmann im vorliegenden Heft zum Grid-Computing) oder für außerwissenschaftliche Bereiche wie die Arbeitswelt (vgl. Krings in diesem Heft). Die Forschungsziele sind

- Beobachtung von und Reflexion auf Veränderungen der Wissensordnung, der Wissensproduktion und -distribution mit ihren Folgen für gesellschaftliche Entscheidungsprozesse, für den Bedarf an wissenschaftlicher Beratung und für Anforderungen an problemorientierte Forschung.
- Analyse und Bewertung von Form und Funktion wissenschaftlicher Expertise in unterschiedlichen gesellschaftlichen Bereichen.

- Weiterentwicklung der Konzepte, Ansätze und Methoden der Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse als Forschung und Beratung.

### Methoden

Wissenschaftlichkeit, Transparenz und Zuverlässigkeit der Ergebnisse von TA und Systemanalyse hängen – wie in anderen Forschungsbereichen auch – von einem sorgfältigen und reflektierten Methodeneinsatz ab. Folgende erhebliche methodische Schwierigkeiten zeigen sich:

- die Datenerhebung und -erfassung zu anthropogenen Stoffströmen steht vor der Situation, dass Datenbestände verstreut vorliegen, nicht kompatibel sind oder nicht publik gemacht werden;
- *prospektives* Wissen ist nur unter Bedingungen der Unsicherheit und Unvollständigkeit des Wissens zu erhalten; dies führt auf Probleme der Einschätzung der Zuverlässigkeit von Zukunftswissen;
- Problemorientierung und Entscheidungsbezug erfordern interdisziplinäre Herangehensweisen, die zum großen Teil eine sehr weite Spanne zwischen Natur-, Technik- und den Gesellschaftswissenschaften abdecken müssen;
- in der Bewertung von Technikfolgen oder Stoffströmen haben die Bewertungskriterien häufig eine ethische oder politische Dimension und sind selbst umstritten;

- dies betrifft auch die Erarbeitung von politisch-gesellschaftlichen Handlungsstrategien (z.B. für Nachhaltigkeit) und dabei erforderliche Prioritätensetzungen und Bewertungsschritte [3];

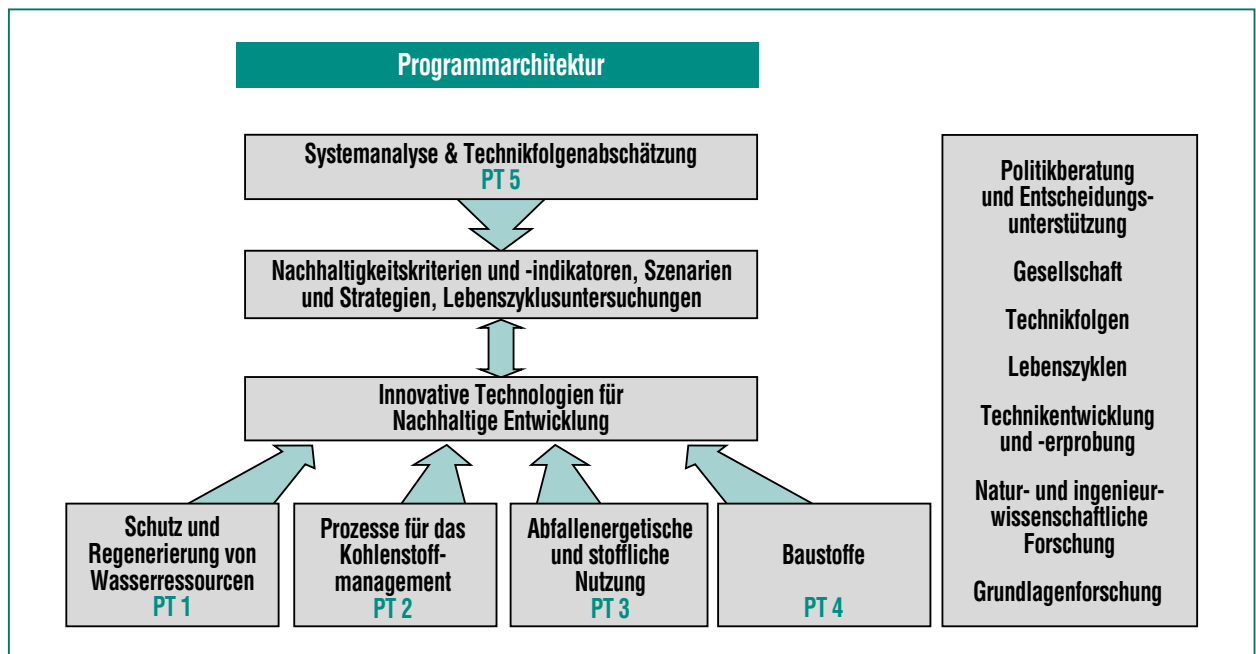
- die Notwendigkeit, gesellschaftliche Gruppen oder Stakeholder einzubeziehen, wirft die Frage auf, wie sich deren eingebrachtes Wissen zu dem wissenschaftlich erhobenen Wissen verhält;

- auch bei sorgfältigster Methoden-anwendung besteht kein Automatismus, dass sich Technikkonflikte dadurch „objektiv“ entscheiden lassen.

Methodenentwicklung und -weiterentwicklung haben von daher zentrale Bedeutung für TA und Systemanalyse. Dies gilt sowohl in Bezug auf die Adressaten, um den Status, das Zustandekommen und die Qualität der Ergebnisse transparent darstellen zu können. Es gilt aber auch in Bezug auf die Wissenschaften, da Methodenentwicklung selbst eine genuin wissenschaftliche Aufgabe darstellt.

### Perspektiven

Im Rahmen der Helmholtz-Evaluierung 2003 wurde bescheinigt, dass die Forschungsthemen relevant gewählt seien, gemessen an dem gesellschaftlichen Bedarf, die wissenschaftliche Qualität sei hoch, teils exzellent, Systemanalyse und TA seien von großer Signifikanz und Bedeutung für die gesamte HGF, und diese Bedeutung werde zukünftig weiter wachsen. Dies bedeutet einer-



**Abb. 1: Programmarchitektur.**

seits eine Aufwertung des *wissenschaftlichen* Ansehens der Systemanalyse und TA und die Verpflichtung, dieses weiter auszubauen; andererseits geraten Systemanalyse und TA stärker ins Rampenlicht der HGF, wenn sie, wie die Gutachter und dann auch der Senat empfehlen, sich stärker an der Identifikation von Zukunftsthemen beteiligen und das gesellschaftliche Umfeld für die Helmholtz-Forschung (Wirtschaftlichkeitsfragen, Akzeptanz, Hemmnisse der Implementation und Maßnahmen zu ihrer Überwindung) sowie ihre Nachhaltigkeitsrelevanz untersuchen.

Systemanalyse und TA einerseits und die naturwissenschaftlich-technischen Einrichtungen verstehen sich im Zuge der POF verstärkt als Partner, die in gemeinsame Vorhaben je verschiedene Wissensbestände einbringen, durch deren Integration ein erkennbarer Mehrwert entsteht. Etabliert ist dies bereits seit geraumer Zeit im Bereich der Biomasse, wo systemanalytische Arbeiten die technische Entwicklung begleiten und orientieren helfen (Leible et al. in diesem Heft). Andere Beispiele sind Baustoffe (Jeske in diesem Heft), die Nanotechnologie (Fiedeler et al.

in diesem Heft) oder die gerade entstehende Kooperation im Grid-Computing (Orwat/Holtmann in diesem Heft). Auf diese Weise wird der integrierte Ansatz einer Kooperation von Systemanalyse/TA und den technischen FuE-Vorhaben Realität (Abb. 1). Für die Realisierung dieses ambitionierten Ansatzes existieren im Forschungszentrum Karlsruhe gute Voraussetzungen, die es zu nutzen und weiter auszubauen gilt.

## Literatur

- [1] A. Grunwald, *Technikfolgenabschätzung – eine Einführung*, Berlin (2002)
- [2] A. Grunwald (Hg.), *Technikgestaltung für nachhaltige Entwicklung, Von der Konzeption zur Umsetzung*. Berlin (2002)
- [3] R. Coenen, A. Grunwald, *Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland, Analyse und Lösungsstrategien*, Berlin (2003)
- [4] *Schwerpunktthema „Das integrative Nachhaltigkeitskonzept der HGF im Spiegel der Praxis“*, *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 12 (2003), Heft 3/4.

# Nachhaltige Entwicklung in Deutschland: Bewertungskonzept, Kernprobleme und Handlungsnotwendigkeiten

J. Kopfmüller, ITAS

## Einleitung

Nach mehr als fünfzehn Jahren wissenschaftlicher und politischer Diskussion spielt der Begriff der „nachhaltigen Entwicklung“ zwar in fast allen gesellschaftlichen Bereichen eine Rolle und findet a priori breite Anerkennung. Teilweise erhebliche Kontroversen existieren jedoch nach wie vor darüber, wie das Leitbild zu konkretisieren, welche Ziel zu verfolgen und wie diese zu erreichen sind. Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass die breite Verwendung und die Vielschichtigkeit des Begriffs in einer inhaltlichen Konturlosigkeit, gar Beliebigkeit und damit einer entsprechend reduzierten Orientierungsfunktion münden. Ziel des federführend von ITAS bearbeiteten HGF-Verbundprojekts „Global zukunftsfähige Entwicklung. Perspektiven für Deutschland“ war es, dem mit einem wissenschaftlich fundierten und in der Debatte positionierten Beitrag entgegenzuwirken. Hierzu wurden Antworten auf die Fragen gegeben, wie nachhaltige Entwicklung konkret operationalisiert und gemessen werden soll, welches die wesentlichen aktuellen Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschlands sind, wie sich diese künftig entwickeln werden und mit welchen Maßnahmen und Instrumenten mehr Nachhaltigkeit erreicht werden kann.

## Das integrative Nachhaltigkeitskonzept

Als konzeptionelle Grundlage für den analytischen Zugang zu dem weitgehend normativen, vielfältigen Bewertungen implizierenden

Nachhaltigkeitsleitbild wurde zunächst das *integrative Nachhaltigkeitskonzept* erarbeitet (vgl. Kopfmüller et al. 2001). Dessen Kerngedanke besteht darin, nicht von den einzelnen Dimensionen gesellschaftlicher (nachhaltiger) Entwicklung – d. h. Ökologie, Ökonomie, Soziales usw. – auszugehen, sondern von konstitutiven Elementen des Leitbilds, die sich aus den Kerndokumenten der Debatte – Brundtland-Bericht, Agenda 21 und Rio-Deklaration – herausarbeiten lassen:

- Die globale Perspektive, d. h. die Notwendigkeit, Entwicklungsziele für *alle* Menschen zu formulieren und die globalen Verflechtungen und Verantwortlichkeiten hinsichtlich der Verursachung und Lösung von Problemen zu berücksichtigen.
- Das Postulat der Gerechtigkeit, umzusetzen gleichermaßen zwischen heutigen und künftigen Generationen wie auch zwischen heute lebenden Menschen.
- Der anthropozentrische Ansatz, verstanden als Fokussierung auf die Bedürfnisse der *Menschen*, in deren wohlverstandem Eigeninteresse die natürlichen Lebensgrundlagen zu erhalten sind.

Aus einer konsequenten Umsetzung dieser Elemente ergibt sich die Erfordernis eines ganzheitlichen, die verschiedenen Dimensionen reflektierenden, *integrativen* Verständnisses von Nachhaltigkeit. Mit diesem konzeptionellen Grundgerüst werden zwei Handlungsgrundsätze in den Mittelpunkt gestellt: zum einen das

*Prinzip der Verantwortung* (der Weltgesellschaft) – sowohl für vergleichbare Handlungsmöglichkeiten künftiger Generationen als auch für ein menschenwürdiges Leben aller Zeitgenossen. Damit korrespondiert unmittelbar die Notwendigkeit einer angemessenen Behandlung von *Verteilungsfragen*, bezogen auf gesellschaftliche Ressourcen (Natur, Einkommen, Bildung usw.), Zugangschancen, Risiken oder auch Nutzen und Lasten im Zusammenhang mit politischen Entscheidungen. Verteilungsrealitäten stellen vielfach Ausgangspunkte wie auch Ergebnisse von Entwicklungsprozessen dar und können als Ausdruck des Umfangs wahrgenommener Verantwortung interpretiert werden.

Zur Operationalisierung dieser Grundgedanken wurden die konstitutiven Elemente in drei *generelle Nachhaltigkeitsziele* „übersetzt“, die den dimensionenübergreifenden Charakter des Leitbilds zum Ausdruck bringen: die Sicherung der menschlichen Existenz als grundlegendste Voraussetzung für alle menschliche Entwicklung; die Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials, das die vielfältigen materiellen Komponenten von Entwicklung umfasst; schließlich die Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten der Gesellschaft, was im Wesentlichen immaterielle Entwicklungsaspekte beinhaltet. Diese generellen Ziele wurden dann durch Nachhaltigkeitsregeln bzw. -leitlinien präzisiert, die den analytischen Kern des Ansatzes bilden und sowohl den Gedanken der (Bestands)Erhaltung als auch der

Entwicklung reflektieren (siehe Tab. 1).

Die substanziellen Regeln beschreiben die Mindestanforderungen einer nachhaltigen Entwicklung, auf deren Gewährleistung alle heute und künftig lebenden Menschen einen Anspruch haben sollen. Dies impliziert Entscheidungen darüber, was relevant und was nicht rele-

vant für nachhaltige Entwicklung ist. Ergänzend dazu benennen die instrumentellen Regeln wesentliche Rahmenbedingungen zur Realisierung dieser Mindestanforderungen. Damit bilden die Regeln – weiter zu konkretisieren durch Indikatoren – einen normativen, jedoch begründeten und nachvollziehbaren Referenzrahmen aus Prüf- und Bewertungskriterien für Nachhaltigkeitsana-

lysen unterschiedlichster Art. Mit diesen Grundelementen unterscheidet sich dieses Konzept in unterschiedlichen Abstufungen von Ansätzen anderer Einrichtungen wie des Wuppertal-Instituts, des Umweltbundesamtes, der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestags „Schutz des Menschen und der Umwelt“ oder der Stuttgarter Akademie für Technikfolgenabschätzung.

<b>Substanzielle „Was-Regeln“ und ihre Zuordnung</b>		
<b>Sicherung der menschlichen Existenz</b>	<b>Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials</b>	<b>Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten</b>
Schutz der menschlichen Gesundheit	Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen	Chancengleichheit im Hinblick auf Bildung, Beruf, Information
Gewährleistung der Grundversorgung (Nahrung, Bildung, ...)	Nachhaltige Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen	Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen
Selbstständige Existenzsicherung	Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke	Erhaltung des kulturellen Erbes und der kulturellen Vielfalt
Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten	Vermeidung unvertretbarer technischer Risiken	Erhaltung der kulturellen Funktion der Natur
Ausgleich extremer Einkommens- und Vermögensunterschiede	Nachhaltige Entwicklung des Sach-, Human- und Wissenskapitals	Erhaltung der sozialen Ressourcen
<b>Instrumentelle „Wie-Regeln“</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internalisierung der externen ökologischen und sozialen Kosten</li> <li>• Angemessene Diskontierung</li> <li>• Begrenzung der Staatsverschuldung</li> <li>• Faire weltwirtschaftliche Rahmenbedingungen</li> <li>• Internationale Kooperation</li> <li>• Resonanzfähigkeit gesellschaftlicher Institutionen</li> <li>• Reflexivität gesellschaftlicher Institutionen</li> <li>• Steuerungsfähigkeit</li> <li>• Selbstorganisationsfähigkeit</li> <li>• Machtausgleich</li> </ul>		

**Tab. 1: System von Nachhaltigkeitsregeln.**

## Der Blick auf Deutschland: Nachhaltigkeitsdefizite und Lösungsansätze

Mit Hilfe dieses Referenzrahmens wurde, gestützt auf quantitative und qualitative empirische Methoden der Datenerhebung und -verarbeitung, die Nachhaltigkeitssituation in Deutschland bewertet (vgl. Coenen/Grunwald

2003). Dies geschah zum einen auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene, wo ein in einem mehrstufigen Verfahren ausgewählter Satz von auf die Regeln sowie die spezifischen Gegebenheiten Deutschlands bezogenen Kernindikatoren genauer betrachtet wurde. Auf der Basis von Vergleichen der Daten für diese Indikatoren mit aus dem politischen Raum übernommenen oder im

Projekt definierten Zielwerten wurden 15 prioritäre Nachhaltigkeitsdefizite identifiziert, die in Deutschland bestehen oder für deren Auftreten in anderen Ländern Deutschland mit verantwortlich ist (siehe Tab. 2).

Zum anderen wurden auch für einzelne Aktivitätsfelder Nachhaltigkeitsprobleme identifiziert. Im Bereich Mobilität/Verkehr sind es

Nachhaltigkeitsdefizit	Ausgewählte Indikatoren
Gesundheitsbeeinträchtigungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Häufigkeit der Überschreitung der EU-Grenzwerte für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) und bodennahe Ozon an ausgewählten Messstationen</li> <li>Anteil der Bevölkerung, der einem bestimmten Geräuschpegel ausgesetzt ist</li> </ul>
Armut	<ul style="list-style-type: none"> <li>Armutsquote</li> </ul>
Drastische globale Einkommensunterschiede	<ul style="list-style-type: none"> <li>Globale Relation zwischen oberstem und unterstem Einkommens-Quintil</li> </ul>
Arbeitslosigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anteil der Langzeitarbeitslosen an allen Arbeitslosen</li> </ul>
Bildungsdefizite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anteil der Schulabgänger ohne Hauptschulabschluss</li> </ul>
Mangelnde Chancengleichheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenhang zwischen der Lesefähigkeit von Schülern und ihrem sozio-ökonomischen Hintergrund</li> </ul>
Flächenverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Tag</li> </ul>
Rückgang der Biodiversität	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anteile gefährdeter Arten bei Säugetieren, Fischen, Vögeln und Gefäßpflanzen</li> </ul>
Belastung der Waldböden	<ul style="list-style-type: none"> <li>versauerungs- und eutrophierungsrelevante Luftschadstoffemissionen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>)</li> </ul>
Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbrauch nicht-erneuerbarer Energieressourcen</li> </ul>
Klimawandel	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> </ul>
Ungleiche globale Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf im internationalen Vergleich</li> </ul>
Gewässerverschmutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anteil der Fließgewässer mit mindestens chemischer Güteklasse II</li> </ul>
Staatsverschuldung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Defizit-Quote der öffentlichen Haushalte</li> </ul>
Mangelnde Wahrnehmung globaler Verantwortung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umfang der Agrarexport-Subventionen in der EU</li> <li>Öffentliche Mittel für Entwicklungszusammenarbeit in Prozent des BIP</li> </ul>

Tab. 2: Wesentliche Nachhaltigkeitsdefizite in Deutschland.

etwa Emissions- und Lärmbelastungen durch weiter steigende Personen- und Güterverkehrsleistungen; im Bereich Wohnen/Bauen u. a. die erhebliche Zahl Wohnungsloser und sich verstärkende soziale Ungleichgewichte bei der Wohnraumversorgung; im Bereich Ernährung/Landwirtschaft sind gravierende ökologische, ökonomische, soziale und gesundheitliche Defizite im Ernährungssystem zu nennen, verursacht vor allem durch Ernährungsverhalten und agrarpolitische Rahmenbedingungen; im Bereich Freizeit/Tourismus ist es u. a. die gefährdete Biodiversität vor allem in ökologisch wertvollen Gebieten.

Im Rahmen von explorativen Szenarien wurden für den Zeithorizont 2020 die Entwicklung dieser Defizite sowie Korrekturinstrumente für alternative gesellschaftlich-politische Entwicklungspfade analysiert. Das Szenario „Dominanter Markt“ (DOM) war vor allem durch verstärkte Globalisierungsprozesse, die Dominanz marktlicher Steuerungsprozesse, eine Fokussierung auf Kostenentlastungen bei Unternehmen (Steuern, Löhne) sowie eine no- bzw. low-regret-Umweltpolitik charakterisiert. Im Szenario „Regionalisierung und Gemeinwohlorientierung“ (REG) wurden deutlich veränderte Wertvorstellungen in Richtung Gemeinwohlorientierung und Umweltschutz, eine Rückbesinnung auf nationale und lokale Wirtschaftsprozesse sowie höhere Akzeptanz für einschneidende Maßnahmen und grundlegende Reformen unterstellt. Das dritte Szenario „Modernisierung“

(MOD) wurde als „business-as-usual“-Pfad gestaltet. Soweit möglich wurden quantitative Simulationsrechnungen mit dem erprobten und weithin anerkannten umweltökonomischen Modell PANTA RHEI durchgeführt.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass sich im Szenario DOM einige Probleme wie Flächenverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen oder Armut noch verschärfen und einige wie z. B. Arbeitslosigkeit nur geringfügig reduziert würden. Im Szenario MOD würde zwar die Eindämmung der meisten Probleme gelingen, allerdings nur in unzureichendem Maße gemessen an den gesetzten Zielen. Im Szenario REG könnten einerseits die meisten Nachhaltigkeitsziele im betrachteten Zeitraum erreicht werden; andererseits wären angesichts der problematischen Entwicklung klassischer ökonomischer Indikatoren wie Wachstum oder Kapitalrendite – verursacht insbesondere durch die exogen angenommene Reduzierung der Exportsteigerungen – spätestens nach 2020 wirtschaftliche Verwerfungen zu erwarten, die auch negative Rückwirkungen auf verschiedene Nachhaltigkeitsindikatoren zur Folge haben könnten.

Ausgehend von diesen Resultaten wurden für einzelne Problemfelder und für zwei alternative gesellschaftliche Entwicklungstrends Maßnahmenbündel erarbeitet und diskutiert. Die hieraus abgeleiteten Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: In einer erfolgversprechenden Nachhaltigkeitsstrategie müssen die zentralen Probleme möglichst simultan und integriert angegan-

gen werden. Umsetzbar ist dies in einer Strategie, bei der wesentliche nicht-nachhaltige Aktivitäten – Energie-/Flächenverbrauch, Emissionen, Arbeitsplatzabbau usw. – finanziell belastet werden, um mit den Einnahmen hieraus Umweltschutzmaßnahmen, neue Arbeitsplätze, notwendige Bildungsinvestitionen, die Armutsabsicherung der Sozialsysteme, Kompensationen für die von Maßnahmen unzumutbar Belasteten oder die Unterstützung der ärmsten Staaten finanzieren zu können. Angesichts der Größenordnung mancher Probleme kann zur Realisierung dessen nicht allein auf Deregulierung und den Markt als Steuerungsmechanismus gesetzt werden, sondern es bedarf eines tiefgreifenden, zielorientierten Umbaus des bestehenden Steuer- und Abgabensystems und Maßnahmen mit zum Teil erheblicher Eingriffstiefe, die möglichst auch in anderen Industriestaaten praktiziert werden müssten. Handlungsfähige staatliche Institutionen sind notwendig, um kontraproduktive Anreizmechanismen in den bestehenden politischen Rahmenbedingungen korrigieren und neue, problemadäquate Anreize setzen zu können.

Beispiele hierfür wären etwa eine Versiegelungsabgabe, eine kombinierte Bodenwert- und Bodenflächensteuer oder die Begrenzung der Eigenheimförderung zur hinreichenden Reduktion des Flächenverbrauchs oder die Einführung einer CO<sub>2</sub>- sowie einer Kerosinsteuer zur weiteren Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zur Eindämmung von Armut und Arbeitslosigkeit und zur Wiederher-

stellung der Funktionsfähigkeit der sozialen Sicherungssysteme werden u. a. die Einführung einer steuerfinanzierten Grundrente und die staatliche Finanzierung gesellschaftlicher Arbeit vorgeschlagen. In der globalen Perspektive steht z. B. eine maßvolle Besteuerung internationaler Finanztransaktionen (sog. Tobin-Steuer) zur Debatte, um daraus die Unterstützung der Entwicklungsländer bei der Lösung ihrer Probleme und bei der Erreichung der so genannten „Millenniumsziele“ der UN zu finanzieren.

Für die Lösung einiger der genannten Nachhaltigkeitsprobleme spielt auch der Einsatz von Technik eine wichtige Rolle. Ein Element von Nachhaltigkeitsstrategien muss daher die frühzeitige und angemessene Bewertung von Nachhaltigkeitspotenzialen

und -risiken (bezogen auf Herstellung, Einsatz und Entsorgung) solcher Technologien sein. Die Untersuchungen im Projekt zu den Querschnittstechnologien Nanotechnologie, Bio- und Gentechnologie, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie regenerativen Energietechnologien haben gezeigt, dass sich sowohl die Realisierung der vorhandenen Potenziale als auch die Minimierung von Risiken nicht von alleine einstellen, sondern zielorientierte politische und gesellschaftliche Gestaltung erfordern.

Das integrative Nachhaltigkeitskonzept bietet die konzeptionelle Basis eines fallspezifisch konkretisierbaren und adaptierbaren Kriterienrasters für derartige Untersuchungen und politische Entscheidungen in technikbezoge-

nen wie auch anderen Kontexten. Forschungspraktische Anwendung findet das Konzept bereits durch einige Projektgruppen in Deutschland und Österreich, etwa zur Nachhaltigkeitsberichterstattung für den Raum Leipzig oder zur Bewertung börsennotierter Unternehmen in Österreich. Im ITAS wurden bislang erste grundlegende Überlegungen zu den Anwendungsbereichen Abfallwirtschaft sowie Energie angestellt, geplant sind weitergehende Arbeiten zu den Themenfeldern Informations-/Wissensgesellschaft und Nachhaltigkeit sowie Unternehmen und Nachhaltigkeit.

## Literatur

R. Coenen, A. Grunwald, (Hrsg.)  
*Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland, Analyse und Lösungsstrategien, Edition sigma, Berlin (2003)*

J. Kopfmüller, J. Jörissen, V. Brandl,  
M. Paetau, G. Banse, R. Coenen,  
A. Grunwald,  
*Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet, Edition sigma, Berlin (2001)*



# Nachhaltigkeitsprobleme im Bereich Wohnen und Bauen und strategische Ansätze zu ihrer Bewältigung

J. Jörissen, R. Coenen, V. Stelzer, ITAS

## Einleitung

Dem Bereich Wohnen und Bauen kommt für die Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung zentrale Bedeutung zu. In keinem anderen Aktivitätsfeld wird das komplexe Beziehungsgeflecht zwischen ökologischen, ökonomischen, sozialen und institutionellen Aspekten so offensichtlich. Wohnen ist ein Grundbedürfnis und zugleich Bestandteil der Kultur und Tradition. In der Art des Wohnens spiegeln sich unterschiedliche Lebensformen, soziale Strukturen, Arbeits- und Konsumgewohnheiten wider. Nirgends zeigen sich aber auch die Wechselwirkungen zwischen Lebensstilen und Umweltbeeinflussung deutlicher als hier [1]. Aus diesem Grund wurde im HGF-Strategiefondsprojekt „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“ das Aktivitätsfeld Wohnen und Bauen einer vertiefenden Untersuchung unterzogen.

## Volkswirtschaftliche Bedeutung der Bauwirtschaft

Die Bauwirtschaft ist von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung. Mit ihren 2,6 Mio. Erwerbstätigen erbrachte sie im Jahr 2001 fast ein Fünftel der Wertschöpfung des produzierenden Gewerbes. Auf der Verwendungsseite entfielen 2001 ca. 230 Mrd. Euro auf den Baubereich, das sind nahezu 12 % des Bruttoinlandproduktes [2]. Innerhalb der Bauwirtschaft

kommt dem Wohnungsbau inzwischen die größte Bedeutung zu. Sein Anteil an den gesamten Bauleistungen stieg, bezogen auf die alten Bundesländer, von 48 % im Jahre 1991 auf 58 % im Jahre 2002 [3].

Allerdings hat sich die Situation für die Bauwirtschaft in den letzten Jahren erheblich verschlechtert. So betragen die Bauinvestitionen 1995 noch 259 Mrd. € gegenüber 245 Mrd. € im Jahre 2003 und die Zahl der Erwerbstätigen sank im Zeitraum 1995 bis 2002 um 25 %, von 3,2 Mio. auf 2,4 Mio. [4]. Gründe für den deutlichen Rückgang der Bauleistungen sind vor allem die Verringerung der Bautätigkeit in den neuen Bundesländern nach dem vereinigungsbedingten Bauboom, aber auch Rationalisierungseffekte, konjunkturelle Einbrüche und die Konkurrenz ausländischer Firmen.

Die künftige Entwicklung der Beschäftigung im Wohnungsbau-sektor hängt nicht zuletzt von der Prioritätensetzung in der staatlichen Wohnungspolitik ab: Mit einer Politik, die dem Um- und Ausbau im Bestand Vorrang vor dem Neubau auf der grünen Wiese einräumt, könnten positive Beschäftigungseffekte erzielt werden, da Sanierungsmaßnahmen im Bestand arbeitsintensiver sind als Neubaumaßnahmen. Während im Neubau die Tendenz zu einer verstärkten Nutzung von Systembauweisen mit vorgefertigten Bauteilen besteht, um die Kostenvorteile der industriellen

Produktion zu nutzen, bleibt Altbau-sanierung auf manuelle Arbeit angewiesen, die sich einer Rationalisierung weitgehend entzieht [5]. Im Gegensatz zum Neubau, der bereits seit 1995 rückläufig ist, weist der Bereich Modernisierung und Instandsetzung seit Jahren einen beständigen Zuwachs auf. Schon im Jahre 1999 hatten die Wohnbauleistungen an bestehenden Gebäuden in etwa die gleiche Größenordnung wie das Neubauvolumen. Seitdem hat sich die Relation von Neubau und Sanierung beständig zugunsten der Bauleistungen im Bestand verschoben, eine Entwicklung, die sich auch in den kommenden Jahren fortsetzen dürfte.

## Nachhaltigkeitsanalyse für das Aktivitätsfeld Wohnen und Bauen

Als Instrument zur Identifizierung von Nachhaltigkeitsdefiziten im Aktivitätsfeld Wohnen und Bauen wurden die im HGF-Verbundprojekt „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“ entwickelten Nachhaltigkeitsregeln herangezogen<sup>1)</sup>. Es zeigte sich, dass das Aktivitätsfeld in Deutschland zu zahlreichen Nachhaltigkeitsproblemen beiträgt, von denen im Folgenden einige herausgestellt werden<sup>2)</sup>.

## Flächenverbrauch

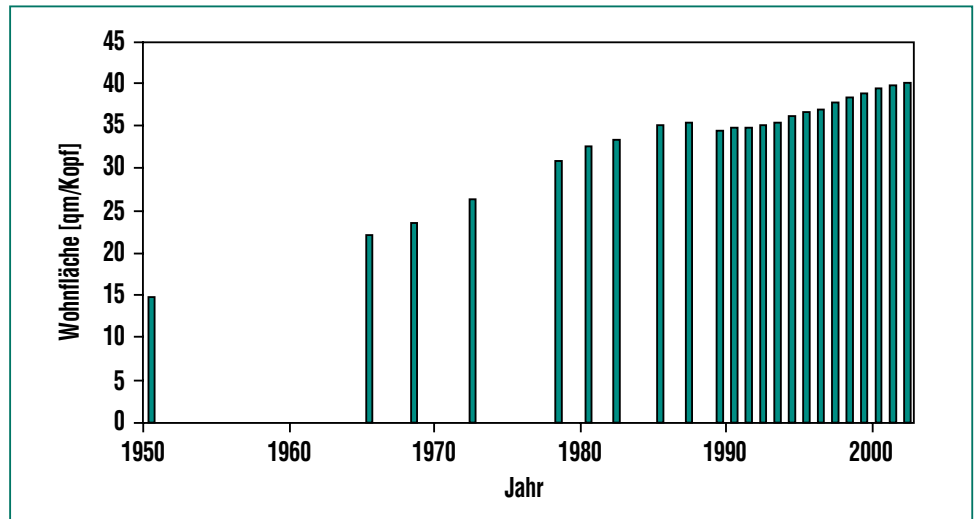
Ein zentrales Problem stellt die auf hohem Niveau verharrende Neuinanspruchnahme von Flä-

<sup>1)</sup> Siehe dazu den Beitrag von Kopfmüller in diesem Heft.

<sup>2)</sup> Eine umfassende Analyse von Nachhaltigkeitsdefiziten im Aktivitätsfeld Wohnen und Bauen auf der Basis des Integrativen Nachhaltigkeitskonzepts wird voraussichtlich Ende des Jahres in Buchform bei edition sigma Berlin erscheinen [6].

chen für Siedlungs- und Verkehrszwecke dar, wodurch die vielfältigen ökologischen, ökonomischen, sozialen und kulturellen Funktionen des Bodens stark beeinträchtigt werden. An der Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche von durchschnittlich 130 ha pro Tag im Zeitraum 1996 bis 2000<sup>3)</sup> hatte der Sektor Wohnen einen Anteil von 50 ha/Tag. Vor dem Hintergrund des in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung formulierten Ziels, den Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis 2020 auf 30 ha pro Tag zu verringern, erscheint der Flächenanteil, den die Wohnbebauung beansprucht, deutlich zu hoch. Geht man zur Illustration davon aus, dass alle Bereiche, die an der Siedlungsflächenausweitung beteiligt sind (Industrie und Gewerbe, Freizeit und Erholung, Verkehr, Wohnen) einen äquivalenten Beitrag zur Erreichung des quantitativen Reduktionsziels leisten sollten, so ergäbe dies für den Sektor Wohnen einen Wert von knapp 12 ha pro Tag, der im Jahr 2020 nicht mehr überschritten werden dürfte.

Triebfedern der Flächeninanspruchnahme für Wohnzwecke sind die stetige Zunahme der Wohnfläche pro Kopf und die Art der Wohnbebauung. Die Wohnfläche pro Einwohner hat sich in Deutschland in den letzten 50



**Abb. 1: Entwicklung der Wohnfläche pro Kopf [Datengrundlage: 8, 9].**

Jahren fast verdreifacht. Während 1950 jedem Einwohner im Durchschnitt 14 qm Wohnfläche zur Verfügung standen, ist die Wohnfläche 2002 auf über 40 qm je Einwohner angewachsen (s. Abb. 1). Wesentliche Ursachen für den steigenden Wohnflächenkonsum sind gesellschaftliche Veränderungen wie zunehmender Wohlstand, hohe Wohnansprüche, Zunahme der Anzahl der Haushalte bei abnehmender Haushaltsgröße und der sog. Remanenzeffekt<sup>4)</sup>. Trotz einer gewissen Annäherung sind die Wohnverhältnisse zwischen dem früheren Bundesgebiet und den neuen Ländern auch vierzehn Jahre nach der Wiedervereinigung noch unterschiedlich. Westdeutsche Wohnungen sind mit einer durchschnittlichen Fläche von

92,5 qm um 15,7 qm größer als ostdeutsche Wohnungen<sup>5)</sup> [7]. Langfristig ist allerdings davon auszugehen, dass sich die Wohnverhältnisse in Ost und West angleichen werden.

Die hohe Flächeninanspruchnahme ist weiterhin auf den forcierten Bau freistehender Ein- und Zweifamilienhäuser zurück zu führen, die pro qm Wohnfläche deutlich mehr Grundstücksfläche belegen als Mehrfamilienhäuser. In den letzten Jahren hat sich die Bautätigkeit zunehmend zugunsten dieser flächenaufwändigen Bauformen verschoben. Während sich 1993 von den fertig gestellten Neubauwohnungen 57 % in Mehrfamilienhäusern befanden, 14 % in Zweifamilienhäusern und 29 % in Einfamilienhäu-

<sup>3)</sup> Seitdem hat sich das Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsfläche allerdings verlangsamt, auf 117 ha/Tag im Jahre 2001 und auf 105 ha/Tag im Jahre 2002. Nach einhelliger Auffassung unter den Experten ist dies jedoch in erster Linie auf die konjunkturelle Entwicklung und den Einbruch der Bauinvestitionen zurückzuführen und nicht als eine generelle Trendwende im Landverbrauch zu interpretieren.

<sup>4)</sup> Der Remanenzeffekt bezieht sich auf das Beharrungsvermögen der Wohnbevölkerung, welches sich insbesondere darin zeigt, dass ältere Personen auch nach dem Auszug der Kinder und selbst nach dem Verlust des Partners, weiter in der angestammten, nun zu großen Familienwohnung bleiben.

<sup>5)</sup> Die Angaben beruhen auf dem im Rahmen des Mikrozensus 2002 durchgeführten wohnungsstatistischen Zusatzerhebung.

sen, haben sich die Verhältnisse im Jahre 2002 praktisch umgekehrt: 54 % der fertig gestellten Wohnungen waren in Einfamilienhäusern, 15 % in Zweifamilienhäusern und 31 % in Mehrfamilienhäusern [7]. Die höchsten Zuwachsraten der Siedlungsfläche sind im ländlichen Raum zu verzeichnen, wobei sich die Nachfrage, den abnehmenden Bodenpreisen folgend, immer weiter in den Freiraum hinein verlagert. Zur Versorgung der neu errichteten Wohnquartiere im Umland der Städte müssen zudem weitere Flächen für soziale Infrastruktur und Verkehr in Anspruch genommen werden. An diesen Trends wird sich mittelfristig wenig ändern. Schätzungen gehen davon aus, dass die Zahl der Haushalte und damit der Wohnraumbedarf bis zum Jahre 2020 weiter zunehmen wird, erst danach wird sich der demographische Wandel in einem Rückgang der Wohnflächennachfrage niederschlagen [10].

Eine Strategie zur Begrenzung der Flächeninanspruchnahme müsste auf eine verstärkte Innenentwicklung, auf eine Umlenkung der Investitionen vom Neubau in den Bestand und auf eine Anpassung der bestehenden Bausubstanz an sich wandelnde Nutzerbedürfnisse ausgerichtet sein. Das vorhandene planungsrechtliche Instrumentarium bietet im Prinzip ausreichende Ansatzpunkte für eine solche Strategie. Gleichwohl zeigt die Praxis, dass die Planungsträger von den ihnen zur Verfügung stehenden Instrumenten angesichts entgegenstehender wirtschaftlicher Interes-

sen nur unzureichend Gebrauch machen. Um die Durchsetzung der siedlungspolitischen Ziele zu erleichtern, wird daher eine Flankierung des vorwiegend ordnungsrechtlich geprägten Instrumentariums der Raumplanung durch ökonomische Anreizinstrumente gefordert, die das Eigeninteresse der Akteure an einem sparsamen Umgang mit Grund und Boden stärken. Dabei geht es sowohl um eine Korrektur gegenläufig wirkenden ökonomischer und fiskalischer Rahmenbedingungen (Umwandlung der Grundsteuer in eine Flächen- oder Bodenwertsteuer oder kombinierte Bodenwert- und Flächensteuer, Einführung einer Neuerschließungsabgabe anstelle der Grunderwerbssteuer, Abschaffung oder Reduzierung der Wohneigentumsförderung und der Entfernungspauschale) als auch um die Einführung neuer Instrumente (Bodenversiegelungsabgabe, versiegelungsabhängige Abwasserabgabe, handelbare Flächenausweiserrechte etc.)<sup>6)</sup>.

### *Verbrauch nicht erneuerbarer Energierohstoffe/ Klimawandel*

Der Verbrauch von nicht-erneuerbaren Energierohstoffen, vor allem fossiler Energieträger, stellt in zweierlei Hinsicht ein gravierendes Nachhaltigkeitsproblem dar: einerseits vor dem Hintergrund der Endlichkeit dieser Rohstoffe, andererseits wegen der durch die Nutzung fossiler Energieträger freigesetzten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die wesentliche Ursache des anthropogenen Klimawandels sind.

Der Anteil des Aktivitätsfeldes Wohnen und Bauen am deutschen Primärenergieverbrauch beträgt unter Einbeziehung des Energieverbrauchs in der Vorleistungskette 38% [12]. Allein der Wohnungsneubau (Baustoffherstellung und Baugewerbe) nimmt pro Jahr rund 5 % des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland in Anspruch. Noch deutlich höher ist der Energieverbrauch während der Nutzungsphase der Gebäude, vor allem für die Erzeugung von Raumwärme. Aber auch der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung und der Stromverbrauch für Kühlung, Kochen, Unterhaltungselektronik etc. ist nicht zu vernachlässigen. Der Energieverbrauch durch die Wohnungsnutzung ist zwar pro qm Wohnfläche zurückgegangen, absolut aber, infolge der Zunahme an Wohn- und Nutzfläche, nahezu gleich geblieben. Vor allem der Präferenz für das freistehende Einfamilienhaus ist es zuzuschreiben, dass der Energieverbrauch der privaten Haushalte, trotz besserer Heiz- und Dämmtechniken, in den letzten 20 Jahren nicht gesunken ist.

Durch den hohen Verbrauch fossiler Energieträger hat das Aktivitätsfeld unter Berücksichtigung der Vorleistungskette auch einen Anteil von 37 % an den inländischen CO<sub>2</sub>-Emissionen [12]. Infolge von Effizienzverbesserung in der Vorleistungskette, aber auch beim privaten Verbraucher hatte es bis zum Fall der Mauer eine deutliche Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegeben. Mit dem Beitritt der neuen Länder

<sup>6)</sup> Zu den einzelnen Instrumenten und ihren Vor- und Nachteilen aus der Sicht unterschiedlicher gesellschaftlicher Akteure siehe [11]

stiegen die Emissionen erheblich und sanken in den letzten Jahren wieder allmählich ab. Der neuerliche Rückgang findet jedoch fast ausschließlich im Bereich der Vorleistungen des Aktivitätsfeldes statt. Die direkten Emissionen der privaten Haushalte verharrten auf dem höheren Niveau nach der Wiedervereinigung, was hauptsächlich daran liegt, dass der Rückgang des Energieverbrauchs pro qm Wohnfläche durch die Zunahme der Wohnfläche pro Kopf kompensiert wird.

Eine effektive Strategie zur Reduktion des Verbrauchs fossiler Energieträger und der CO<sub>2</sub>-Emissionen müsste drei Ansätze kombinieren: erstens die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien, zweitens die Umstellung von kohlenstoffreichen auf kohlenstoffarme fossile Energieträger und drittens die Förderung der rationellen Energienutzung. Mit dem „Erneuerbaren Energiengesetz“, der neuen Energieeinsparverordnung und den Förderprogrammen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind schon wichtige Schritte in diese Richtung unternommen worden. Um aber einen durchschlagenden Erfolg zu erzielen, sind weitere Maßnahmen und Instrumente in Erwägung zu ziehen, z. B. eine Weiterentwicklung der Ökosteuern mit einer stärkeren Orientierung an den CO<sub>2</sub>-Emissionen als Bemessungsgrundlage, die verstärkte Förderung der regenerativen Wärmezeugung und weitere Fördermaß-

nahmen für die energetische Sanierung des Gebäudebestandes (Energie-Contracting, Einrichtung von Fonds zur energetischen Altbauanierung), mit denen auch das Vermieter-Mieter-Dilemma überwunden werden könnte<sup>7)</sup>.

### Stoffdurchsatz der Bauwirtschaft

Neben fossilen Energieträgern werden durch das Aktivitätsfeld auch andere nicht erneuerbare Ressourcen, insbesondere mineralische Rohstoffe, in großem Umfang in Anspruch genommen. Im Jahr 2000 wurden allein für Wohngebäude 150 Mio. t mineralische Rohstoffe eingesetzt [13]. Ursache für den hohen Verbrauch mineralischer Rohstoffe sind vor allem die Neubautätigkeit sowie die sinkende Lebenserwartung von neuen Baukonstruktionen, die zu einer Beschleunigung der Sanierungszyklen führt.

Spiegelbildlich zu seinem hohen Rohstoffverbrauch spielt der Bausektor auch in der Abfallsorgung eine dominierende Rolle. Jährlich fallen ungefähr 50 bis 60 Mio. t Bauschutt an, von denen ca. 70 % recycelt werden. Dabei handelt es sich überwiegend um mineralische Bestandteile aus dem Abriss alter Gebäude. Obwohl der Bauschutt im Wesentlichen aus mineralischen Stoffen wie Mauerwerk, Ziegelbruch und Beton besteht und somit prinzipiell einem hochwertigen Recycling zugeführt werden könnte, wird der größte Teil heute für niederwertige Nutzungen wie Lärmschutzwände, Hinterfüllungen

und ungebundene Tragschichten im Straßen- und Wegebau eingesetzt (*Downcycling*). Gründe dafür, dass kein größerer Teil des Bauschutts eine Wiederverwendung im Hochbau findet, sind die Irreversibilität der Phasenbildung bei mineralischen Baustoffen (z. B. beim Ziegel), die Begrenzung der Recyclingzuschläge in neuen Bauprodukten aus technischen und rechtlichen Gründen (z. B. Normen für die Betonherstellung), die konstruktionsbedingte Kombination von Baustoffen und die hohen Kosten einer sortenreinen Rückgewinnung der verwendeten Materialien, die auf die Kontamination großer Mengen ursprünglich unbelasteter Stoffe durch kleine Mengen von Problemstoffen (Asbest, Teer, Bauchemikalien) zurückzuführen sind. Außerdem sind die heutigen Recyclingverfahren häufig energieintensiver als die Primärproduktion. Eine Erhöhung der Recyclingraten nach dem gegenwärtigen Stand der Technik führt daher unter Umständen zu einer negativen ökologischen Gesamtbilanz.

Zur Schonung der Vorkommen an mineralischen Primärrohstoffen und zur Verringerung der Abfallströme im Bausektor bietet sich eine Strategie der Kreislauf-führung von Baumaterialien (Wiederverwertung von Bauteilen, Erhöhung der Recyclingrate, Gewinnung von Sekundärrohstoffen) sowie der Substitution besonders umwelt- und ressourcenintensiver Baustoffe an. Zur Unterstützung einer solchen Strategie kommen in erster Linie finan-

<sup>7)</sup> Das Vermieter-Mieter-Dilemma besteht kurz gefasst darin, dass für Vermieter wenig Anreize bestehen, energetische Sanierungsmaßnahmen durchzuführen, da sie die Sanierungskosten nur begrenzt über Mieterhöhungen auf den Mieter überwälzen können.

zielle Instrumente wie eine Erhöhung der Deponiepreise für Baurestmassen, verbesserte Abschreibungsmöglichkeiten für Investitionen in Aufbereitungstechniken für Bauschutt, Steuererleichterungen für Anbieter von Sekundärbaumaterialien sowie die Förderung der Verwendung von nachwachsenden Baustoffen in Betracht. Alternativ wären auch Instrumente denkbar, die auf eine Verteuerung der Primärbaustoffe zielen, wie z.B. eine Abgabe auf die Gewinnung mineralischer Rohstoffe („Kiessteuer“) oder die Einführung einer Lizenzpflicht für das Inverkehrbringen von mineralischen Primärbaustoffe.

### *Verschärfung regionaler Disparitäten*

Die regionalen Disparitäten zwischen Stadt und Land sowie zwischen verschiedenen Teilräumen der Bundesrepublik Deutschland haben sich in den letzten Jahren verschärft. Eine räumlich ungleiche Verteilung der materiellen Lebenschancen besteht sowohl im Hinblick auf die privaten Haushalte als auch im Hinblick auf die Gemeinden und Kreise, die aufgrund der zum Teil prekären Finanzlage kaum noch in der Lage sind, ihre öffentlichen Aufgaben wahrzunehmen. In den neuen Bundesländern hängen zudem viele Städte und Gemeinden von Finanzausweisungen der jeweiligen Landesregierungen ab, da es ihnen aufgrund fehlender Wirtschaftskraft an eigenen Einnahmen aus der Gewerbe- und Einkommenssteuer mangelt.

Gleichzeitig sind in den neuen Ländern überdurchschnittlich viele Menschen auf staatliche

Transferleistungen angewiesen, rund dreimal so viele wie in den alten Ländern. Im bundesrepublikanischen Durchschnitt ist die Quote der Sozialhilfeempfänger in den Kernstädten mehr als doppelt so hoch wie im Umland der Städte und im ländlichen Raum, wobei prosperierende Städte wie Frankfurt, Stuttgart und München davon weniger stark betroffen sind als Städte mit geringer Wirtschaftskraft, schrumpfender Bevölkerung und einem sinkenden Anteil an Erwerbsfähigen wie Essen, Duisburg, Bremen, Saarbrücken, Halle oder Chemnitz [14].

Obwohl der Wohnungsmarkt in Deutschland quantitativ relativ ausgeglichen ist, sind regional große Unterschiede in der Wohnungsversorgung festzustellen. Während in einigen der süd- und westdeutschen Ballungsgebiete eine ungebrochen hohe Nachfrage nach Wohnraum besteht, die sich in steigenden Bauland-, Immobilien- und Mietpreisen niederschlägt, existiert in den alt industrialisierten Regionen (Rhein-Ruhr, Aachener Raum, Saarland) und in den ostdeutschen Bundesländern ein Überangebot an Wohnungen, was sinkende Immobilienpreise und zunehmende Leerstände zur Folge hat. Vor allem in den neuen Bundesländern hat sich die Leerstandsquote in den letzten Jahren trotz der zwischenzeitlich erfolgten Rückbaumaßnahmen beständig erhöht und stieg bei einigen ostdeutschen Wohnungsunternehmen auf über 20 % im Jahre 2002 [15].

Die räumlichen Disparitäten werden sich im Zuge des demographischen Wandels weiter ver-

schärfen. Daraus folgt, dass eine erfolgreiche Strategie zur Steuerung der Siedlungsentwicklung unter Nachhaltigkeitsaspekten, ihre Instrumente in regional differenzierter Weise einsetzen muss. Die Bundesregierung hat dieser Forderung Rechnung getragen, indem sie als Reaktion auf das Schrumpfen der Städte in den neuen Ländern bereits vor einigen Jahren das Programm „Stadtumbau Ost“ aufgelegt hat, dem in diesem Jahr das Programm „Stadtumbau West“ gefolgt ist.

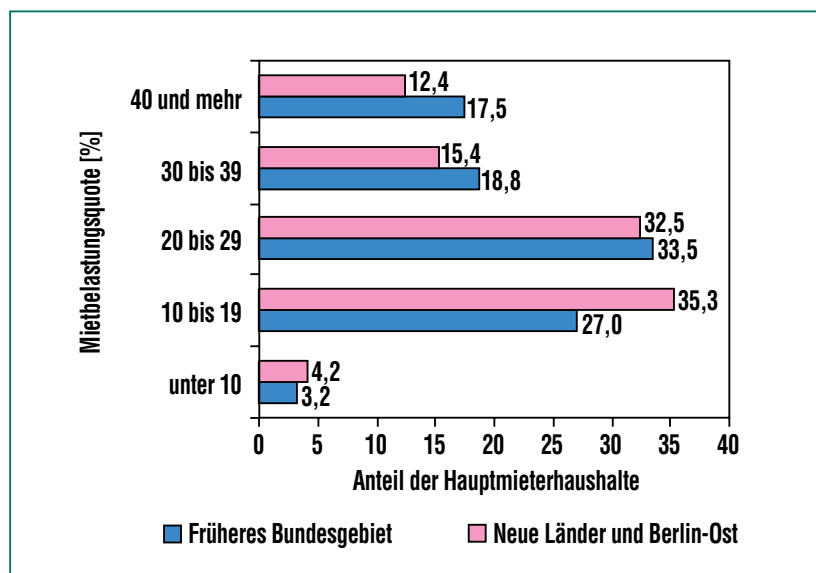
### *Unzureichende Wohnungsversorgung / Mangelnde Chancengleichheit auf dem Wohnungsmarkt / Soziale Segregation*

Nach Schätzungen der „Bundesarbeitsgemeinschaft Wohnungslosenhilfe“ sind bundesweit mindestens 550.000 Personen ohne Wohnung. Besonders schwer wiegt dabei, dass 70 % der Betroffenen jünger als 20 Jahre sind. Zunehmend betroffen sind Frauen, oft mit Kindern, die in verdeckter Wohnungslosigkeit bei Freunden oder Angehörigen Unterkunft finden (ihr Anteil liegt bei 23 %) und junge Erwachsene, die sich nach Verlassen des Elternhauses in ungesicherten Wohnverhältnissen befinden. 26.000 Menschen lebten 1999 obdachlos auf der Straße, davon 3.000 Frauen [16]. Obdachlosigkeit stellt ohne Zweifel die krasseste Form von Wohnungsnot dar. Unzureichende Wohnungsversorgung manifestiert sich aber auch darin, dass Haushalte gezwungen sind, in beengten oder konfliktbeladenen Wohnverhältnis-

sen oder in Wohnungen mit unzumutbarer Ausstattung zu leben. Ein weiteres Indiz ist, dass ein überproportional hoher Anteil des Haushaltseinkommens für die Miete aufgewendet werden muss.

Im Jahre 2002 musste fast jeder 6. Haushalt in Deutschland 40 % seines Einkommens und mehr für die Miete ausgeben. Im Zuge der Angleichung der Mieten zwischen Ost und West sind die Mieten in den neuen Bundesländern und Berlin-Ost sehr viel stärker gestiegen als im früheren Bundesgebiet. Dennoch liegt das durchschnittliche Mietniveau im Osten deutlich unter dem westdeutschen. Wegen der günstigeren Mieten ist auch die Mietbelastung in den neuen Ländern, trotz des nach wie vor niedrigeren Einkommensniveaus, geringer. Der Anteil der Miete am Haushaltseinkommen belief sich 2002 im Durchschnitt auf 21 % gegenüber 23,1 % in den alten Bundesländern. Während im Westen gut ein Viertel der Haushalte 35% ihres Einkommens und mehr für die Miete aufwenden mussten, traf dies im Osten nur auf 18,7 % zu (s. Abb. 2).

Unstrittig ist, dass in Deutschland bestimmte Bevölkerungsgruppen einen deutlich erschwerten Zugang zum Wohnungsmarkt haben. Hierzu zählen vor allem Alleinerziehende, Familien mit mehreren Kindern, Ausländer, Langzeitarbeitslose, ältere und behinderte Menschen. Die intensive Förderung des Wohneigentums, der Rückgang der Fertigstellungen und Bewilligungen im sozialen Wohnungsbau, das Auslaufen der Belegungsbindung bei älteren



**Abb. 2: Anteil der Bruttokaltmiete am Haushaltsnettoeinkommen. Vergleich neue und alte Bundesländer [Datengrundlage: 17].**

ren Sozialwohnungen und die sich für viele Kommunen ergebende Notwendigkeit, angesichts der angespannten Haushaltslage ihre Wohnungsbestände zu veräußern, schränken die Alternativen in der Wohnraumbeschaffung für sozial benachteiligte Bevölkerungsgruppen immer weiter ein [18].

Suburbanisierungs- und Reurbanisierungstendenzen führen zu einer sozialen Entmischung von Wohnquartieren. Vornehmlich junge, besser verdienende Familien mit Kindern verlassen die Städte und ziehen ins Umland; Gewerbe, Handel und Freizeiteinrichtungen folgen. Gleichzeitig werden bestimmte städtebaulich attraktive und gut sanierte Innenstadtviertel von oberen Einkommensklassen wieder zunehmend als Wohnstandort geschätzt, wodurch einkommensschwache Haushalte nach und nach verdrängt werden (*gentrification*). Das Angebot an preisgünstigem

Wohnraum beschränkt sich meist auf sanierungsbedürftige Altbauquartiere und ehemalige Arbeiterviertel sowie auf die randstädtischen Großsiedlungen des sozialen Wohnungsbaus aus den 60er und 70er Jahren. In diesen Gebieten kommt es zu einer räumlichen Konzentration sozial benachteiligter Bevölkerungsgruppen, wodurch sich die soziale Segregation verschärft und Quartiere „urbaner Marginalisierung“ entstehen [19].

Um die Lebensbedingungen in solchen Quartieren zu verbessern, reicht die klassische Städtebauförderung mit ihrem primär baulichen Ansatz nicht aus. Gefordert sind vielmehr „maßgeschneiderte“ Erneuerungskonzepte, die sich an den jeweiligen Bedürfnissen der Bewohner orientieren und wohnungswirtschaftliche, städtebauliche, sozial-, beschäftigungs-, bildungs-, umwelt- und kulturpolitische Belange integrieren [20].

## Schlussbemerkungen

Bei strategischen Ansätzen zur Minderung der angesprochenen Nachhaltigkeitsdefizite im Aktivitätsfeld Wohnen und Bauen geht es darum, Instrumenten- bzw. Maßnahmenbündel zu entwerfen, mit denen mehrere Probleme simultan angegangen werden können und die „Win-win-Lösungen“ versprechen. So wären z.B. von einem Maßnahmenbündel, das sich auf die Aufwertung der vorhandenen Bausubstanz bezieht, in mehrfacher Hinsicht positive Effekte zu erwarten: Eine

Umlenkung der Investitionen vom Neubau in den Bestand könnte dazu beitragen, die Attraktivität der Kernstädte zu erhöhen, die Abwanderung der Bewohner an die Peripherie zu bremsen und so den flächenzehrenden Neubau einzudämmen. Sie würde die energetische Sanierung des Bestands vorantreiben und damit gleichzeitig der Reduzierung von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen wie auch der Schaffung von Arbeitsplätzen dienen. Durch eine Minderung des Neubaus volumens würde zudem der Stoffumsatz mineralischer Rohstoffe ein-

geschränkt. Schließlich könnte eine solche Strategie dazu beitragen, die sozialen Entmischungstendenzen zu mildern und die Wohnungsversorgung benachteiligter Bevölkerungsgruppen qualitativ zu verbessern. In Anbetracht der unterschiedlichen Ausgangsbedingungen in den verschiedenen Teilräumen der Bundesrepublik Deutschland müssten die Instrumente zur Umsetzung einer solchen Strategie in regional differenzierter Form eingesetzt werden.

## Literatur

- [1] *Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages (1998): Konzept Nachhaltigkeit: Vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlussbericht. BT-Drs., 13/11200 vom 26.06.1998, S.126*
- [2] *Initiative Wohneigentum (2002): Argumentationspapier zur Wohneigentumsförderung, April 2002, Berlin*
- [3] B. Bartholmai, *Baukonjunktur 2003/2004: Partielle Aufhellung, aber kein wirklicher Lichtblick, DIW-Wochenbericht 45/03 (2003)*
- [4] *Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2003, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Wiesbaden, S. 664 (2003)*
- [5] *Nachhaltigkeit und Zementindustrie Dokumentation von Beiträgen und Handlungsoptionen, Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Zementindustrie, Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt, Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (Hrsg.), Verlag Bau + Technik, Düsseldorf (2002)*
- [6] J. Jörissen, R. Coenen, V. Stelzer, *Zukunftsfähiges Bauen und Wohnen. Probleme, Defizite, Optionen, Edition sigma, Reihe: Global zukunftsfähige Entwicklung, Bd. 7, Berlin, im Erscheinen*
- [7] *Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Datenreport 2004. Bonn, S. 146 ff. (2004)*
- [8] *Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 50 Jahre Wohnen in Deutschland. Ergebnisse aus Gebäude- und Wohnungszählungen, -stichproben, Mikrozensus-Ergänzungserhebungen und Bautätigkeitsstatistiken, Wiesbaden (2000)*
- [9] *Institut für Städtebau, Wohnungswirtschaft und Bausparwesen e.V. (isf), Pro-Kopf-Wohnfläche in Deutschland jetzt bei 40 Quadratmetern – Ostdeutschland holt erneut auf. In: HausbauInformationen Folge 2/2003, Berlin (2003), <http://ifs-staedtebauinstitut.de/Hi2003/hi02.htm>*
- [10] *Deutsche Bank Research, Aktuelle Themen, Demographie Spezial: Demographie lässt Immobilien wackeln, Frankfurt a. Main, Nr. 283 vom 18.9.2003 (2003)*
- [11] J. Jörissen, R. Coenen, *Instrumente zur Steuerung der Flächennutzung, Auswertung einer Befragung der interessierten und betroffenen Akteure, TAB-Hintergrundpapier Nr. 10, Berlin (2004)*
- [12] R. Coenen, A. Grunwald, *Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland, Analyse und Lösungsstrategien, Edition sigma, Reihe: Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland, Bd. 5., Berlin (2003)*
- [13] M. Buchert, U. Fritsche, W. Jenseit, L. Rausch, C. Deilmann, G. Schiller, S. Siedentop, A. Lipkow, *Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Verknüpfung des Bereichs Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich „Öffentliche Infrastruktur“, Berlin (2003)*
- [14] H.P. Gatzweiler, A. Milbert, *Regionale Einkommensunterschiede in Deutschland In: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 3 / 4 2003, S. 125-145 (2003)*

- 
- [15] GdW (Bundesverband deutscher Wohnungsunternehmen e.V.) (Hrsg.), *Wohnungswirtschaftliche Daten und Trends 2003/ 2004*, Harmonia Verlag, Hamburg (2003)
- [16] Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung NRW, Programmgeschäftsstelle „Wohnraumversorgung für Wohnungsnotfälle“ (2002): *Wohnungslosigkeit vermeiden - dauerhaftes Wohnen sichern -*. <http://iis.nrw.de/netz/pgs/stelle.htm>
- [17] Statistisches Bundesamt *Mikrozensus, Zusatzerhebung 2002 „Wohnsituation der Haushalte“*, Wiesbaden (2003)
- [18] W. Hinrichs, *Wohnen in Deutschland – wie reaktionsfähig ist der Sozialstaat?* *Gegenwartskunde* 04/2001. S. 521-546 (2001)
- [19] H. Häußermann, M. Kronauer, W Siebel, *Stadt am Rand: Armut und Ausgrenzung*. In: H. Häußermann, M. Kronauer, W. Siebel, (Hg.) *An den Rändern der Städte*, Frankfurt a. Main, S. 7-40 (2004)
- [20] Deutsches Institut für Urbanistik, *Strategien für die Soziale Stadt, Erfahrungen und Perspektiven – Umsetzung des Bund-Länder-Programms „Stadtteile mit besonderem Entwicklungsbedarf – die Soziale Stadt“*, Berlin (2003)



# Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen

L. Leible, S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, P. Proplesch, D. Wintzer, B. Fürniß, ITAS

## Einleitung

Aktuelle politische Ziele und Vorgaben auf nationaler und EU-Ebene, wie z.B. die Gemeinschaftsstrategie und der Aktionsplan der EU zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger oder das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in Deutschland, zielen darauf ab, den Anteil erneuerbarer Energieträger an der Energieversorgung deutlich zu erhöhen. Hohe Erwartungen werden v.a. an die energetische Nutzung von Biomasse und hier insbesondere an biogene Reststoffe und Abfälle geknüpft. Beiträge zur Verringerung der Emission treibhausrelevanter Gase sind hierbei von besonderem Interesse. Darüber hinaus werden alternative Verwertungswege für bisher stofflich genutzte (z.B. Kompost, teilweise Klärschlamm) oder gar deponierte biogene Abfälle gesucht.

Vor diesem Hintergrund wurde von ITAS eine Studie mit der Zielsetzung durchgeführt, die Chancen einer energetischen Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen zu analysieren und einer Bewertung zuzuführen [1]. Hierzu wurden unter technischen, ökonomischen und umweltrelevanten Aspekten mehr als 50 Logistikketten (Erfassung, Konditionierung, Lagerung, Transport) der Bereitstellung biogener Rest- und Abfallstoffe untersucht. Daran schloss sich die Analyse von rd. 40 Bioenergie-technologien zur Bereitstellung von Wärme und Strom an, von der Biogas-/Klärgasproduktion über Verbrennungs- bis hin zu Vergasungstechnologien. Die nachfolgend

vorgestellten Ergebnisse konzentrieren sich auf folgende Aspekte: Aufkommen an biogenen Rest- und Abfallstoffen, Stromgestehungskosten, erzielbare Beschäftigungseffekte, CO<sub>2</sub>-Minderung und CO<sub>2</sub>-Minderungskosten.

Darüber hinaus wird auf aktuelle Untersuchungen zur Bereitstellung von Synthesegas und Kraftstoff aus Stroh und Waldrestholz eingegangen, an denen die Institute IKET, ITC-CPV, ITC-TAB und ITAS beteiligt sind; hierüber wurde in den FZK-Nachrichten bereits berichtet [2].

## Aufkommen

In Deutschland beträgt das jährlich verfügbare Aufkommen an biogenen Reststoffen und Abfällen (Basis: 2002), das energetisch genutzt werden könnte, rd. 70

Mio. Mg an organischer Trockensubstanz (oTS). Davon kommen rd. 60% aus der Land- und Forstwirtschaft (vgl. Abb. 1). Wie ersichtlich ist, sind Waldrestholz (inkl. Schwachholz), Stroh (Überschussstroh), Gülle und Restmüll (Hausmüll) mengenmäßig die dominanten Reststoffe und Abfälle.

Werden bei diesen Potenzialabschätzungen weitere biogene Rest- und Abfallstoffe berücksichtigt, z.B. Pflegegut (von Landschaftspflegeflächen und stillgelegten bzw. brachgefallenen Flächen in der Landwirtschaft), Festmist aus der Landwirtschaft, Rest- und Abfallstoffe aus dem produzierenden Gewerbe, dann kann das Aufkommen um ca. 5-15 Mio. Mg oTS erhöht und somit von insgesamt 75-85 Mio. Mg oTS ausgegangen werden. Dies entspricht 9 bis 11% des gegenwärtigen deut-

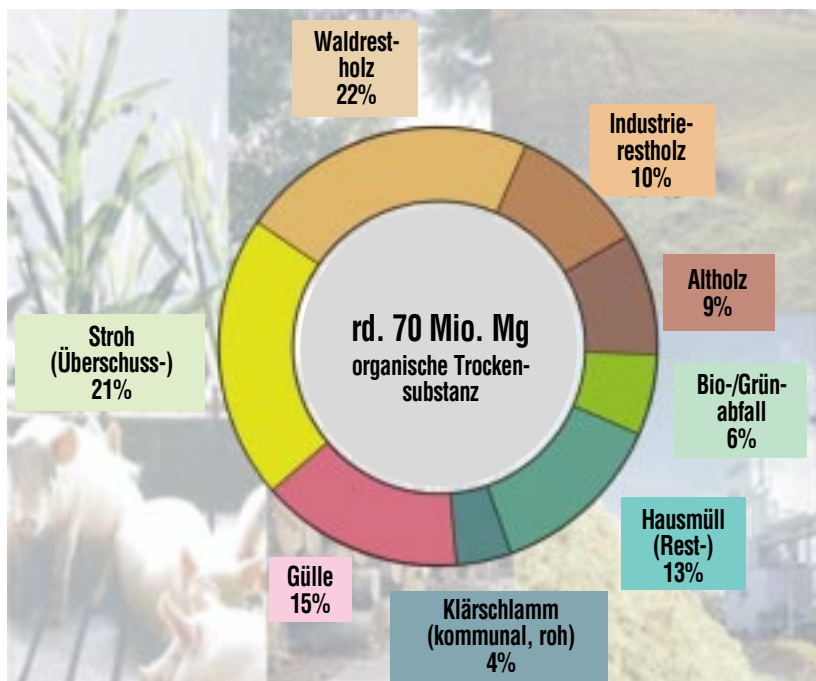


Abb. 1: Aufkommen und Herkunft biogener Rest- und Abfallstoffe in Deutschland im Jahr 2002.

schen Primärenergiebedarfs. Zur Einordnung: Nach Abschätzungen für das Jahr 2003 decken biogene Rest- und Abfallstoffe in Deutschland rund 1,8% des Primärenergiebedarfs. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie dieses Aufkommen in größerem Maße und effizienter als bisher für eine energetische Nutzung erschlossen werden könnte.

### Kosten der Stromerzeugung

Mit Blick auf eine energetische Nutzung der biogenen Rest- und Abfallstoffe wurde eine Vielzahl höchst heterogener Technologien zur Wärme- und Stromerzeugung

untersucht. In Abb. 2 werden die Stromgestehungskosten für die betrachteten Technologien in Abhängigkeit von der elektrischen Anlagenleistung dargestellt. Als Vergleich dienen die Stromgestehungskosten in einem mit Importkohle betriebenen Steinkohlekraftwerk, die bei rd. 45 €/MWh<sub>el</sub> liegen, und der Bereich für die Stromvergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) [3,4] für die Einspeisung von Strom aus Biomasse. Durch die aktuelle Novellierung des EEG – gültig ab 08/2004 – hat sich die Vergütung für Strom insbesondere aus Biogasanlagen aber auch bei Anlagen zur Verbrennung und Vergasung von Waldrestholz und

Stroh deutlich verbessert (vgl. Abb. 2).

Ergänzend ist an dieser Stelle anzuführen, dass die Stromgestehungskosten bei inländischer Steinkohle – nicht subventioniert – bei rd. 80 €/MWh<sub>el</sub> liegen. Andererseits kann in einem nahezu abgeschriebenen Steinkohlekraftwerk mit Importkohle Strom zu rd. 25 €/MWh<sub>el</sub> bereitgestellt werden.

Trotz der oben erwähnten Einspeisevergütungen sind nach der alten Regelung des EEG nur die größten Biogas- und Klärgasanlagen wettbewerbsfähig; die neue Regelung des EEG hat diese Situation deutlich verbessert. Mit der Strombereitstellung über

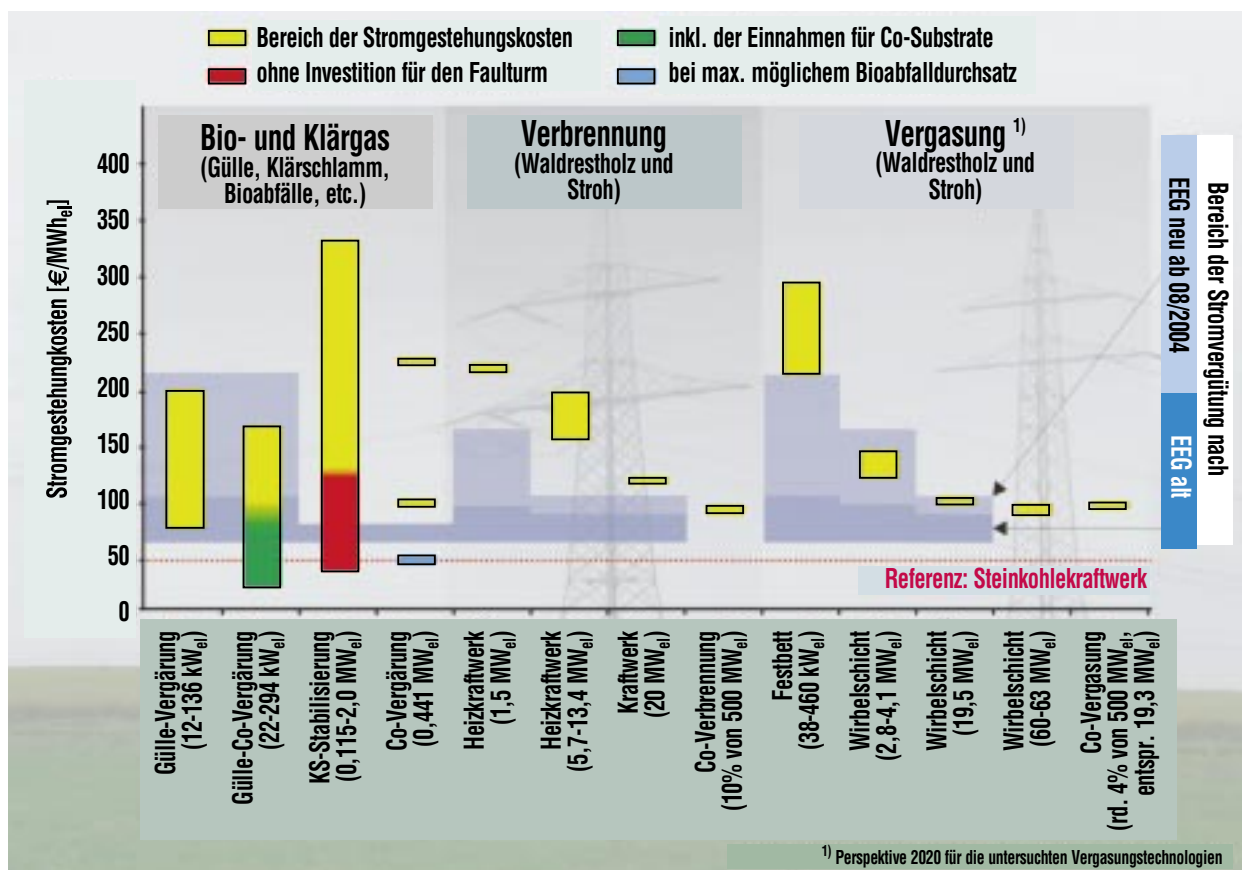


Abb. 2: Stromgestehungskosten bei der energetischen Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe.

Steinkohlekraftwerke können aber nur große Co-Vergärungsanlagen konkurrieren. Die Verbrennung und Vergasung von Waldrestholz und Stroh zur Stromgewinnung sind gegenwärtig i.d.R. nicht wettbewerbsfähig. Eine wesentliche Ursache hierfür ist darin zu sehen, dass die Bereitstellung von Stroh und Waldrestholz mit zusätzlichen Kosten verbunden ist, während Gülle oder Klärschlamm kostenfrei auf der Anlage zur Verfügung stehen. Die Co-Verbrennung von Waldrestholz und Stroh im Steinkohlekraftwerk stellt eine vergleichsweise kostengünstige Möglichkeit dar, den fossilen Brennstoff Steinkohle teilweise zu substituieren. Die Stromgestehungskosten liegen hier bei rd. 90 bzw. 95 €/MWh<sub>el</sub> (vgl. Abb. 2). Obwohl die Datenbasis und die darauf aufbauende Bewertung der Vergasungstechnologien mit einer hohen Unsicherheit behaftet sind, lassen sich mit Vorbehalten einige Schlussfolgerungen ziehen. So sind z.B. für Vergasungsanlagen ab etwa 3 MW<sub>el</sub> Vorteile bei den Stromgestehungskosten gegenüber den Verbrennungstechnologien erkennbar.

### Beschäftigungseffekte

Mit der Bereitstellung biogener Reststoffe und Abfälle und deren energetischer Nutzung gehen zusätzliche Beschäftigungseffekte einher, wobei auf die bestehenden Unsicherheiten in der Abschätzung, besonders aber hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Gesamtwirkung, hinzuweisen ist. Eine Abschätzung soll die Größenordnung der insgesamt möglichen Beschäftigungseffekte

illustrieren: Wird unterstellt, dass die Hälfte des technischen Aufkommenspotenzials in Deutschland von 70 Mio. Mg oTS der biogenen Rest- und Abfallstoffe energetisch genutzt wird, errechnen sich rund 40.000 zusätzliche Beschäftigte. Zum Vergleich: In der Land- und Forstwirtschaft in Deutschland sind gegenwärtig rd. 1 Mio. Personen erwerbstätig.

### CO<sub>2</sub>-Minderung und CO<sub>2</sub>-Minderungskosten

Durch die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare kann die bisherige CO<sub>2</sub>-Emission reduziert und die Verstärkung des Treibhauseffekts reduziert werden. Bei den durchgeführten Analysen sind neben CO<sub>2</sub> auch CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O mit einbezogen und in der Summe als CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>-Äq.) dargestellt. Bei Biogas und Klärgas liegt die erzielbare CO<sub>2</sub>-Minderung zwischen 0,8 und 1,2 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./MWh<sub>el</sub>. Bei einer Stromerzeugung – ohne Kraft-Wärme-Kopplung – aus Waldrestholz und Stroh liegt die CO<sub>2</sub>-Minderung bei rd. 0,9 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./MWh<sub>el</sub> (Referenz: 500 MW<sub>el</sub> Steinkohlekraftwerk); durch Kraft-Wärme-Kopplung können 1-2 Mg CO<sub>2</sub>-Äq./MWh<sub>el</sub> realisiert werden.

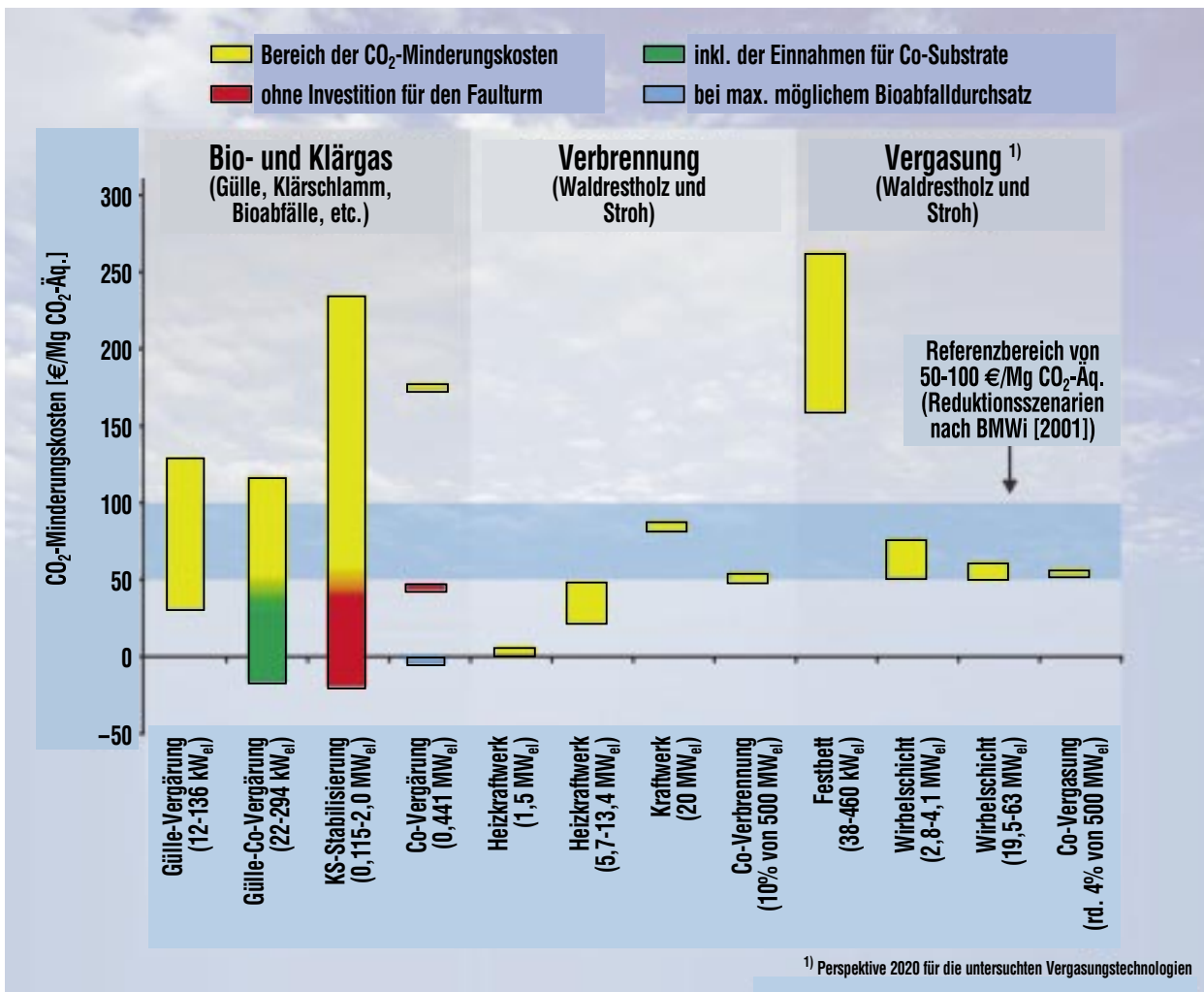
In Abb. 3 sind die Bereiche der CO<sub>2</sub>-Minderungskosten der verschiedenen betrachteten Technologien aufgezeigt. Die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten ergeben sich aus den Mehrkosten auf der einen Seite und der erzielten CO<sub>2</sub>-Minderung gegenüber der fossilen Referenz auf der anderen Seite. Mit ihrer Hilfe kann dargestellt werden, wie teuer die jeweilige

Technologie bei der Verfolgung einer CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategie ist. Die CO<sub>2</sub>-Minderungskosten sind folglich für die Beurteilung der Förderwürdigkeit der verschiedenen betrachteten Technologien von zentralem Interesse.

Zur vergleichenden Bewertung wurden CO<sub>2</sub>-Minderungskosten aus Studien mit CO<sub>2</sub>-Minderungsszenarien bei der Verfolgung der Minderungsziele der Bundesregierung herangezogen [5]. Aussagen aus diesen Studien ergeben, dass bei einem CO<sub>2</sub>-Minderungsziel von 25 % oder gar 40 % CO<sub>2</sub>-Minderungskosten zwischen 50 und 100 € pro Mg CO<sub>2</sub>-Äq. angesichts teurerer Alternativen durchaus zu akzeptieren sind. Vor diesem Hintergrund stellen sich die erzielbaren CO<sub>2</sub>-Minderungskosten bei der Bio- und Klärgasnutzung wie auch bei der Verbrennung und Vergasung von biogenen Reststoffen und Abfällen als sehr interessant dar.

### Gaserzeugung aus Biomasse – systemanalytische Begleitforschung

Im Gegensatz zu den Verbrennungstechnologien eröffnen einige Vergasungs- aber auch Pyrolyseverfahren die Möglichkeit, energiereiche, vorzugsweise flüssige Sekundärenergieträger (Kraftstoffe) oder chemische Rohstoffe zu erzeugen. Dahinter steht die Erwartungshaltung, das große, aber dezentrale Biomasepotenzial an Stroh und Waldrestholz für eine effiziente energetische/chemische Nutzung zu erschließen, bei möglicherweise höherer Wertschöpfung.



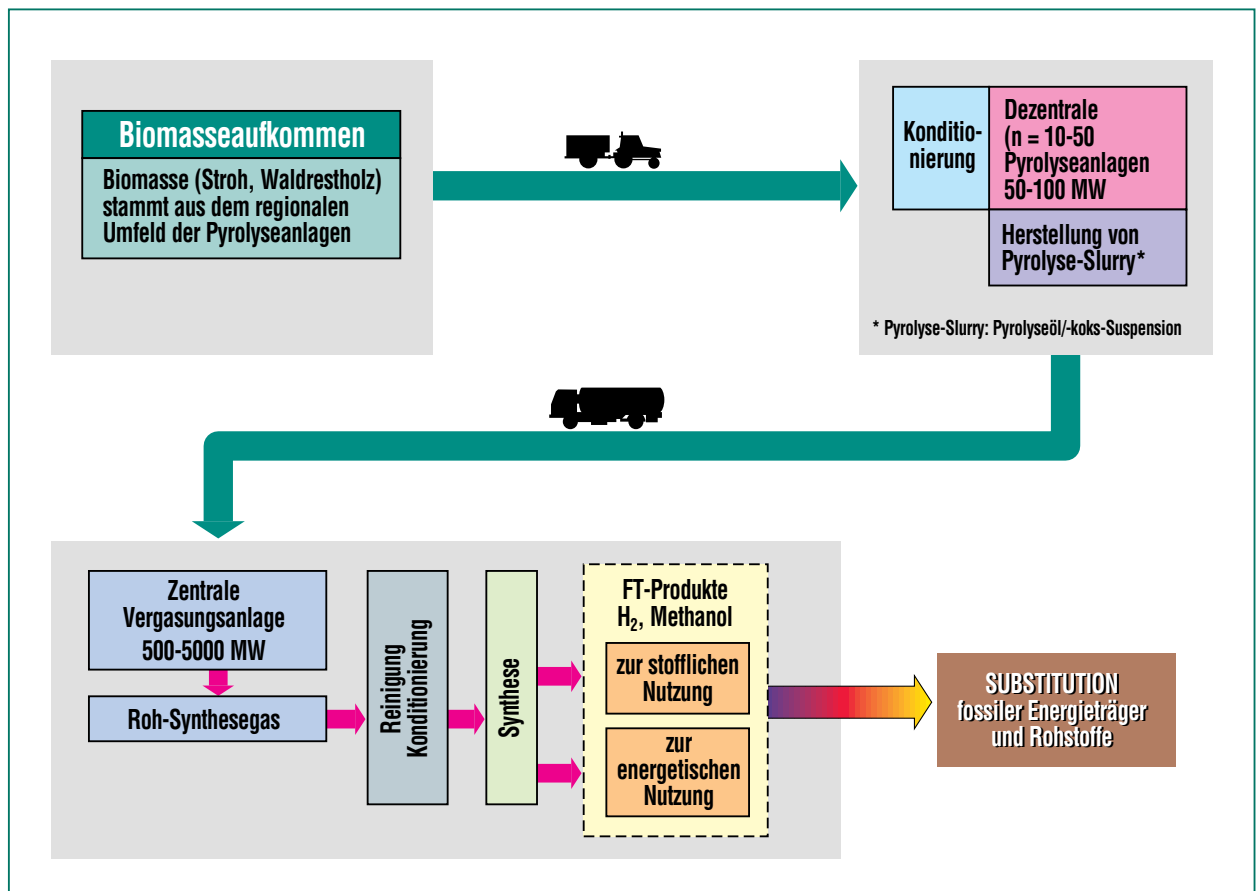
**Abb. 3: Kosten der CO<sub>2</sub>-Minderung bei der energetischen Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe.**

Das Forschungszentrum Karlsruhe hat hierzu ein zweistufiges Verfahren konzipiert, das einen Lösungsansatz für den niedrigen Ascheerweichungspunkt der Biomasse – insbesondere bei Stroh – liefert und dem dezentralen Biomasseaufkommen und der wirtschaftlicheren Verwertung in Großanlagen Rechnung trägt [6]. Nach der Bereitstellung wird die Biomasse in der ersten Stufe (s. Abb. 4) in dezentralen Pyrolyseanlagen (50-100 MW<sub>in</sub>) über eine Schnellpyrolyse in Pyrolyseöl und -koks sowie eine Restmenge

an Pyrolysegas umgesetzt. Aus dem Pyrolyseöl und -koks wird eine Suspension („Pyrolyse-Slurry“) hergestellt, die pump- und lagerfähig ist. Mit einer Dichte von rd. 1,2 Mg/m<sup>3</sup> weist sie eine um den Faktor 10 höhere Energiedichte auf als beispielsweise Getreidestroh in Form von Quaderballen. Der Transport dieser Slurries zu einer zentralen Vergasungsanlage dürfte deshalb beim Einsatz von Lkw-Tankfahrzeugen bzw. Kesselwagen der Bahn auch über eine Entfernung von mehr als 100 km ökonomisch vertret-

bar sein. In der zentralen Großanlage werden die Slurries in einem Flugstrom-Druckvergaser zu einem nahezu teerfreien Synthesegas umgesetzt und können nach der Gasreinigung und Synthese einer kombinierten stofflichen (Chemikalien) und energetischen Nutzung (Kraftstoffe, Strom) zugeführt werden. Hierbei scheint der Betrieb auch als Annex im Verbund mit einer Raffinerie möglich.

Zielsetzung der Arbeiten von ITAS ist es, dieses Konzept in



**Abb. 4: Zweistufiges Konzept zur Bereitstellung von Synthesegas und Kraftstoff (Synfuel) aus Biomasse.**

sein technisches und ökonomisches Umfeld einzuordnen. Hierzu ist die Analyse der gesamten Prozesskette des zweistufigen Konzepts für unterschiedliche Anlagengrößen und verschiedene Rahmenbedingungen erforderlich. Dabei müssen sowohl alternative Wege der Biomassenutzung zur Strom- und Wärmegegewinnung in den Vergleich einbezogen als auch fossile Energieträger gegenübergestellt werden.

Bei den systemanalytischen Untersuchungen interessiert insbesondere die Frage, inwieweit durch die Kombination dezentraler Pyrolyseanlagen mit anschlie-

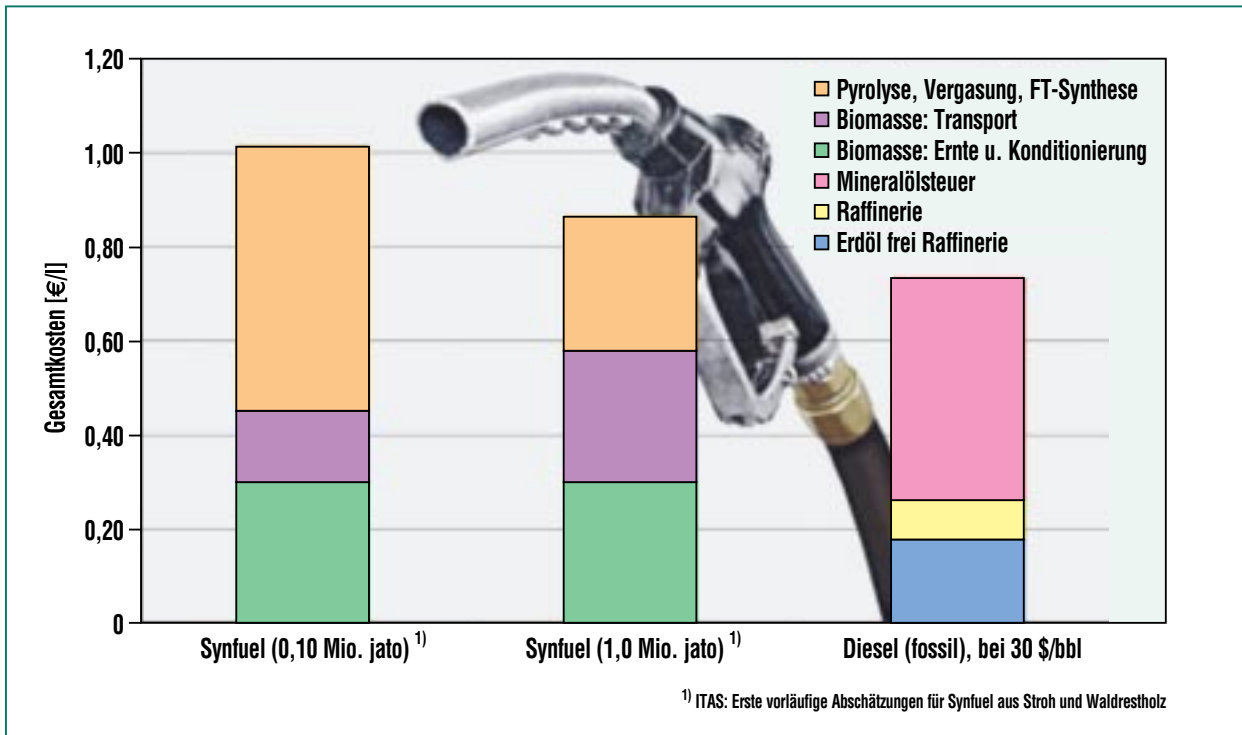
ßender zentraler Vergasung Kostenvorteile gegenüber der zentralen Vergasung – mit integrierter Pyrolyse – erschlossen werden können. Hierbei ist davon auszugehen, dass beim integrierten Verfahren Größendegressionseffekte stärker genutzt und höhere Wirkungsgrade erzielt werden können, als dies beim zweistufigen Verfahrenskonzept der dezentralen Pyrolyse mit anschließender zentraler Vergasung (und Synthese) der Fall sein dürfte.

ITAS hat hierzu bereits eine Vielzahl von Verfahrensvergleichen durchgeführt, wobei die Arbeiten zu den Alternativen der energeti-

schon Nutzung von Stroh und Waldrestholz als auch zu den fossilen Referenzen nahezu abgeschlossen sind. Nachfolgend wird anhand der Bereitstellungskosten für Synfuel aus Stroh und Waldrestholz ein kleiner Einblick in aktuelle Ergebnisse der systemanalytischen Begleitforschung gegeben.

### Kosten für Synfuel

In Abb. 5 sind die Bereitstellungskosten von Synfuel aus Stroh und Waldrestholz den Gestehungskosten von Diesel in einer Raffinerie gegenübergestellt. Hierbei wurde von einer für Deutschland für eine



**Abb. 5: Kosten von Synfuel aus Stroh und Waldrestholz in einer zentralen Vergasungsanlage mit integrierter Pyrolyse**

energetische Nutzung verfügbarer durchschnittlicher Aufkommensdichte von Stroh und Waldrestholz von 90 Mg Trockensubstanz pro km<sup>2</sup> ausgegangen. Als Anlagenkonzept liegt die zentrale Vergasungsanlage mit integrierter Pyrolyse zugrunde, einschließlich Fischer-Tropsch-Synthese (FT-Produkte) und Aufarbeitung zum Synfuel. Die Biomasse muss folglich direkt zur Vergasungsanlage transportiert werden; dabei wurde nach zwei Anlagengrößen mit einer Produktion von 0,1 bzw. 1,0 Mio. Jahrestonnen (jato) unterschieden. Zum Vergleich: Bei herkömmlichen Erdöl-Raffinerien kann eher von 10 Mio. jato an Kraftstoffproduktion ausgegangen werden.

Wie die ersten Abschätzungen zeigen, könnte Synfuel, je nach

Anlagengröße, zu rd. 1,0 € bzw. 0,85 € pro Liter frei Vergasungsanlage bereitgestellt werden; bei Diesel liegen die Bereitstellungskosten frei Raffinerie – einschließlich Mineralölsteuer – bei rd. 0,75 € (vgl. Abb. 5). Zur Illustration: Die der Abschätzung zugrunde liegende große Synfuel-Anlage (1 Mio. jato) hat eine Leistung von rd. 5 GW<sub>in</sub>, einen Biomassebedarf von rd. 8,3 Mio. Mg (Heizwert = 4,0 MWh/Mg) pro Jahr, einen Erfassungsradius für die Biomasse von rd. 160 km und kostet rd. 2,1 Mrd. €.

Weitere Abschätzungen zu den Präferenzen der dezentralen bzw. räumlich integrierten Verfahren bei der Herstellung von Synfuel sind in Bearbeitung; dabei wird u.a. Bezug auf regionale Gegebenheiten von Baden-Württemberg genommen.

heiten von Baden-Württemberg genommen.

### Zusammenfassung

Das Aufkommen an biogenen Rest- und Abfallstoffen von 70-85 Mio. Mg oTS könnte in Deutschland 9-11 % des derzeitigen Primärenergiebedarfs decken. Die Untersuchungen von ITAS zeigen jedoch, dass unter den derzeitigen Rahmenbedingungen die Gestehungskosten für Wärme und Strom gegenüber den fossilen Alternativen i.d.R. nicht wettbewerbsfähig sind. Im Vergleich zu anderen Maßnahmen der CO<sub>2</sub>-Minderung stellen sich dagegen die erzielbaren CO<sub>2</sub>-Minderungskosten als sehr interessant dar. Realisierbare Beschäftigungseffekte sind hierbei

eher von nachrangiger Bedeutung. Wie erste Abschätzungen der systemanalytischen Untersuchungen zu aktuellen FuE-Arbeiten des Forschungszentrums Karlsruhe andeuten, kann Synfuel aus Stroh und Waldrestholz – auch bei Verzicht auf die Mineralölsteuer – bei einem Rohöl-

preis von 30 \$/bbl noch nicht mit Diesel konkurrieren.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Ministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und beim Minis-

terium für Ernährung und Ländlichen Raum (MLR) des Landes Baden-Württemberg für die finanzielle Unterstützung bei diesen systemanalytischen Untersuchungen.

### Literatur

- [1] L. Leible, A. Arlt, B. Fürniß, S. Kälber, G. Kappler, S. Lange, E. Nieke, Chr. Rösch, D. Wintzer, *Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6882, 278 S. (2003)* [<http://www.itas.fzk.de/deu/news/2003/18.htm>]
- [2] E. Henrich, E. Dinjus, K. Raffelt, R. Stahl, F. Weirich, *Nachrichten 35 (3), 92-98 (2003)*
- [3] *EEG (2000), BGBl 13, 305-309*
- [4] *EEG (2004), Deutscher Bundestag, 15. Wahlperiode, Drucksache 15/2845, 31.03.2004*
- [5] *BMWi (Hrsg.) (2001), BMWi, Dokumentation Nr. 492, Berlin, 79 S. + Anhang*
- [6] E. Henrich, E. Dinjus, *Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 24, 298-337 (2004)*

# Auswirkungen des Einsatzes von Abfällen bei der Zementherstellung auf die Spurenelementgehalte von Zement und Beton

M. Achternbosch, K.-R. Bräutigam, N. Hartlieb, C. Kupsch, ITAS; P. Stemmermann, U. Richers, ITC

## Einführung

Um Produktionskosten zu senken, werden schon seit Beginn der 80er Jahre Abfälle als Sekundärbrennstoffe gemeinsam mit primären Energieträgern (Kohle, Öl und Gas) in deutschen Zementwerken eingesetzt. Der Gesamtenergiebedarf der deutschen Zementindustrie wurde 2002 zu etwa 35% durch Abfälle abgedeckt. Verwendet werden vor allem Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen, Altreifen, aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen, Tiermehl und -fette sowie Altöl. Daneben werden auch primäre Rohstoffe wie Kalkstein, Mergel und Ton durch sekundäre Rohstoffe wie beispielsweise Gießereialsand, Flugasche, Kalkschlämme oder Stoffe aus der Eisen- und Stahlindustrie substituiert. Auch zur Herstellung von Beton kommen Sekundärstoffe wie Steinkohlenflugasche und technische Schlacken zum Einsatz.

Damit ist die Zementindustrie im Prinzip in der Lage, eine breite Palette von Abfällen zu verwenden. Einschränkend wirkt hier allerdings das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, das in Deutschland im Jahr 1996 in Kraft trat. Danach ist bei der Verwertung von Abfällen sicherzustellen, dass diese ordnungsgemäß und schadlos erfolgt. Abfälle können im Vergleich zu herkömmlichen Roh- und Regelbrennstoffen abweichende Spurenelementgehalte aufweisen. Dies kann Auswirkungen sowohl auf die Emissionen der Anlage als auch auf den Eintrag von Spurenelementen aus den Einsatzstoffen in das

Produkt Zement bzw. Beton und damit auf die Umwelt haben. Diese Fragestellung wurde vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Technische Chemie, Bereich Wasser- und Geotechnologie (ITC-WGT) und der Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme (ITC-ZTS) im Auftrag des Umweltbundesamtes untersucht.

In dem Forschungsprojekt wurden zunächst die Eintragspfade von Spurenelementen in Zement und Beton identifiziert und quantifiziert. Anschließend wurde ermittelt, in welchem Maße sich der Spurenelementgehalt von Zement und Beton durch den Abfalleinsatz ändert. Weiterhin wurde der derzeitige Kenntnisstand zum Bindungsverhalten von Spurenelementen in Zementklinker, Zement und Beton und deren Freisetzungverhalten dargestellt [1].

## Herstellung von Zement

Wie in Abb. 1 schematisch dargestellt, erfolgt die Herstellung von Zement in zwei Stufen: In einem ersten Schritt wird Zementklinker aus einem Rohstoffgemisch aus Kalkstein, Mergel und Ton, eventuell unter Zugabe von für eine exakte Zusammensetzung von Zementklinker notwendigen Korrekturstoffen (z. B. Sand und Eisenerz), in einem Drehrohrföfen bei Temperaturen von 1250-1500 °C gebrannt. Durch Zumahlen von Gips und anderen Zumahlstoffen (Kalkstein, Hütensand, Steinkohlenflugasche, Trass, etc.) erfolgt dann die Herstellung der verschiedenen Normalzemente [2].

## Vorgehensweise

Die mit dem Einsatz von Abfällen verbundenen Änderungen der Spurenelementgehalte von Klinker, Zement und Beton wurden mit Hilfe von Modellrechnungen abgeschätzt. Da bei den derzeit in Europa angewandten Produktionsverfahren zur Herstellung von Zement keine Abfälle anfallen – alle Filterstäube und Bypassstäube werden in den Produktionsprozess zurückgeführt bzw. als Zumahlstoff zur Zementherstellung genutzt – und die emittierte Menge an Spurenelementen im Vergleich zur eingetragenen Spurenelementmenge vernachlässigbar gering ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Gesamtmenge der eingetragenen Spurenelemente in das Produkt Zement gelangt (mit Ausnahme von Quecksilber).

Um belastbare Ergebnisse zu erhalten, müssen zunächst repräsentative Werte für die Spurenelementgehalte der Einsatzstoffe vorliegen. Da dies zu Beginn der Studie nicht der Fall war, bestand ein wesentlicher Teil der Arbeit im Forschungsprojekt darin, eine Datenbasis zu den Spurenelementgehalten der einzelnen Einsatzstoffe zu erstellen. Zusätzlich zu den Mittelwerten liegen in vielen Fällen auch Angaben zu möglichen Bandbreiten der Spurenelementgehalte der Einsatzstoffe vor. Eine ausführliche Beschreibung der Datenbasis ist in [1] gegeben.

Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Modellrechnungen zur Bestimmung des Beitrags einzel-



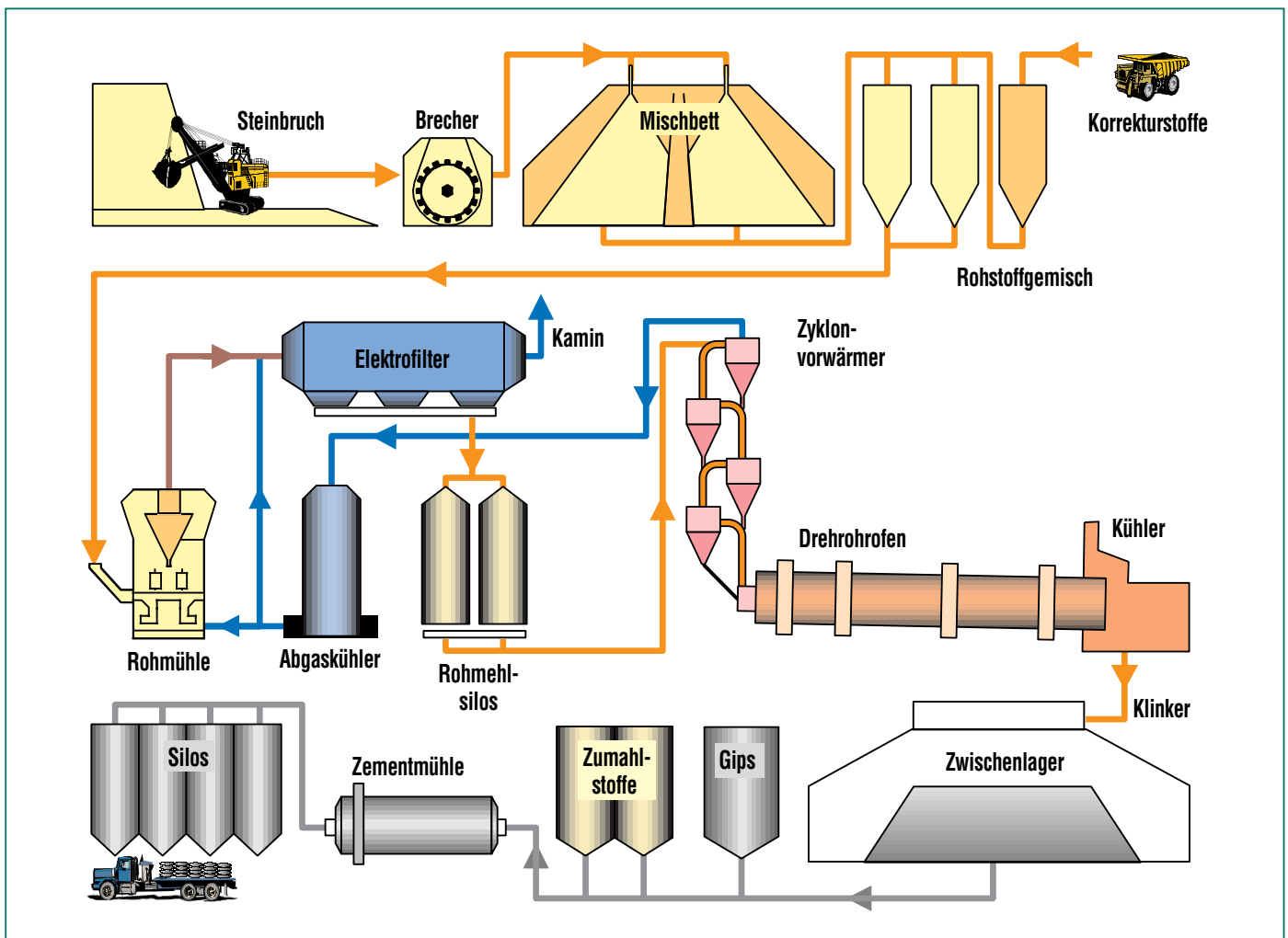


Abb. 1: Schematische Darstellung der Zementherstellung.

ner Einsatzstoffe zum Spurenelementgehalt im Portlandzement (Mittelwerte). Grundlage für diese Rechnungen sind die in Deutschland im Jahr 1999 verwendeten Einsatzstoffe nach Art und Menge sowie deren mittlere Spurenelementgehalte.

- Rechnungen für Modellanlagen auf der Basis realitätsnaher Szenarien für den Einsatz unterschiedlicher primärer und sekundärer Roh- und Brennstoffe. Ziel dieser Rechnungen

war es, die Bandbreite der Spurenelementkonzentrationen im Zement abzuschätzen und Aussagen zu treffen, ob der Einsatz von Sekundärstoffen zu einer Erhöhung der Konzentration bei bestimmten Spurenelementen im Zement führt.

- Modellrechnungen zur Bestimmung des Beitrags einzelner Einsatzstoffe zur Spurenelementkonzentration im Beton. Auch hier wurden unterschiedliche Szenarien be-

trachtet, um die Bandbreite der Spurenelementkonzentrationen im Beton abschätzen zu können.

- Untersuchungen zum Freisetzungverhalten von Spurenelementen im Beton zur Abschätzung möglicher Umweltauswirkungen.

Berücksichtigt wurden die Spurenelemente Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel, Thallium, Zinn, Vanadium und Zink.

## Ergebnisse

### Beitrag einzelner Einsatzstoffe zu den Spurenelementkonzentrationen im Portlandzement

Die Ergebnisse der Rechnungen zeigen, dass primäre Rohstoffe, die zu ca. 85% den Massenstrom der Zementherstellung bestimmen, den wichtigsten Eintragspfad für Spurenelemente darstellen (Abb. 2, Antimon und Blei). Von Bedeutung sind aber auch sekundäre Brennstoffe und Rohstoffe, die jeweils einen Anteil von lediglich 1,5% am Massenstrom haben. Im Falle von Antimon tragen sekundäre Brennstoffe mit ca. 30% zum Spurenelementeintrag in den Zement bei. Bei den sekundären Rohstoffen liefern für alle betrachteten Spurenelemente insbesondere die Ersatzstoffe aus der Eisen- und Stahlindustrie sowie Steinkohlenflugaschen nennenswerte Beiträge zur Spurenelementkonzentration im Zement. Regelbrennstoffe und Zuschlagstoffe mit einem Anteil von jeweils ca. 6% am Massenstrom liefern nur einen geringen Beitrag.

### Szenarienrechnungen zur Abschätzung der Änderung des Spurenelementgehalts von Portlandzement aufgrund des Einsatzes von Sekundärstoffen

Bei diesen für eine Modellanlage durchgeführten Rechnungen wurden verschiedene Szenarien unterschiedlicher Rohmehl- sowie unterschiedlicher Brennstoffzusammensetzungen betrachtet. Neben den Mittelwerten der Spurenelementkonzentrationen in den Einsatzstoffen wurden auch deren Bandbreiten berücksichtigt. Dies ermöglicht eine Aussage darüber, ob eine Änderung der Spurenelementkonzentration im Zement eindeutig auf den Einsatz von Sekundärstoffen oder aber lediglich auf die Bandbreite der Spurenelementkonzentrationen in den Einsatzstoffen zurückzuführen ist. Die folgenden Szenarien wurden untersucht:

**Szenario 1:** nur primäre Einsatzstoffe unter Verzicht auf Korrekturstoffe. Die Einsatzstoffe sind so gewählt, dass der Spurenelementgehalt im Zement möglichst gering ist.

**Szenario 2:** nur primäre Einsatzstoffe und Korrekturstoffe; die Verwendung von Korrekturstoffen ist eine für Deutschland typische Situation.

**Szenario 3:** „worst-case“-Szenario. Kombination von primären und sekundären Roh- und Brennstoffen so, dass die höchsten Spurenelementkonzentrationen auftreten.

Abb. 3 zeigt ausgewählte Ergebnisse dieser Berechnungen. Ein Anstieg der Konzentration im Zement aufgrund des Abfalleinsatzes lässt sich für Antimon, Cadmium und Zink eindeutig nachweisen. Für Blei und Kobalt ist der Anstieg weniger deutlich. Für alle anderen untersuchten Spurenelemente (s. Beispiel Chrom in Abb. 3) weisen die Rechnungen nicht auf signifikante Effekte durch den Abfalleinsatz hin.

Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen sind durch Messwerte in einem Zementwerk, in dem über Jahre bei steigendem Sekundärstoffeinsatz die Konzentrationen der Spurenelemente im Klinker und in Zementen verfolgt wurden, bestätigt worden [3].

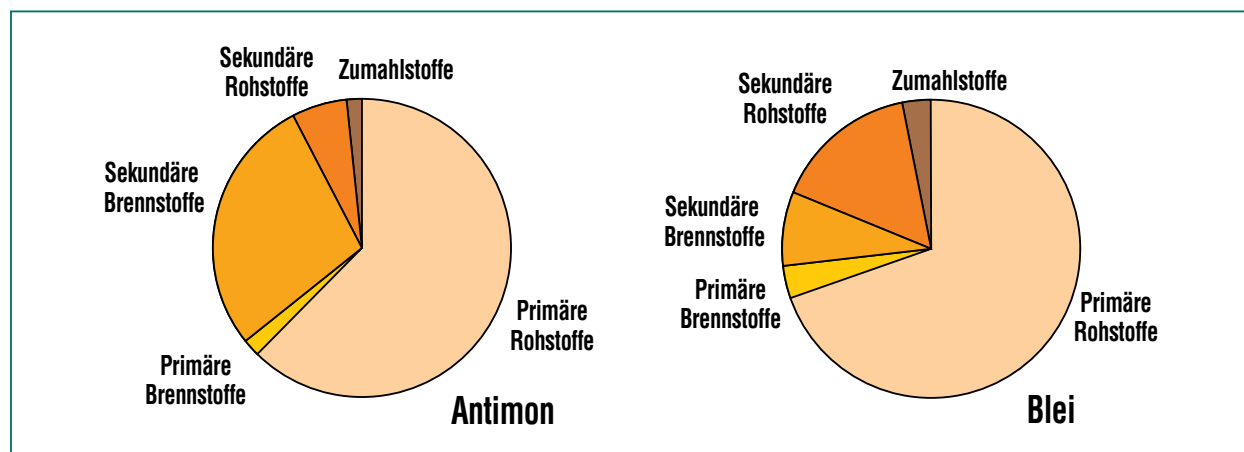


Abb. 2: Anteil einzelner Eintragspfade am Gesamtgehalt von Antimon und Blei im Portlandzement.

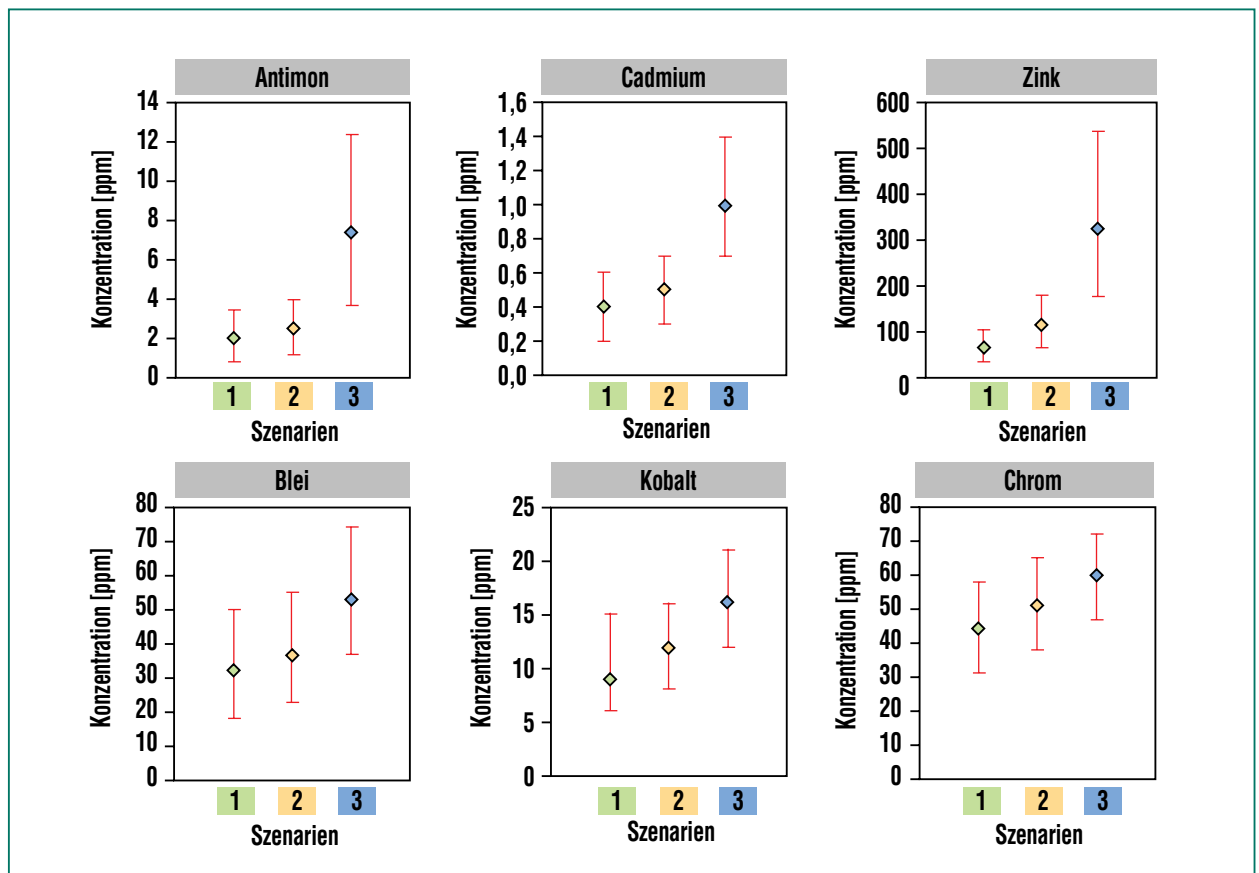


Abb. 3: Mittelwerte der Spurenelementkonzentration und deren Bandbreiten im Portlandzement in den Szenarien 1, 2 und 3.

### Beitrag einzelner Einsatzstoffe zu den Spurenelementkonzentrationen im Beton

Um eine möglichst große Bandbreite der Spurenelementkonzentrationen im Beton abzudecken, wurden vier unterschiedliche Betonzusammensetzungen untersucht: als Zement wurde Hochofenzement bzw. Portlandzement gewählt – beide unterscheiden sich deutlich in ihren Spurenelementgehalten – als Zuschläge wurde Sand/Kies (spurenelementarm) bzw. Basalt/Schlacke (spurenelementreich) verwendet. Als weiterer Bestandteil von Beton wurde Steinkoh-

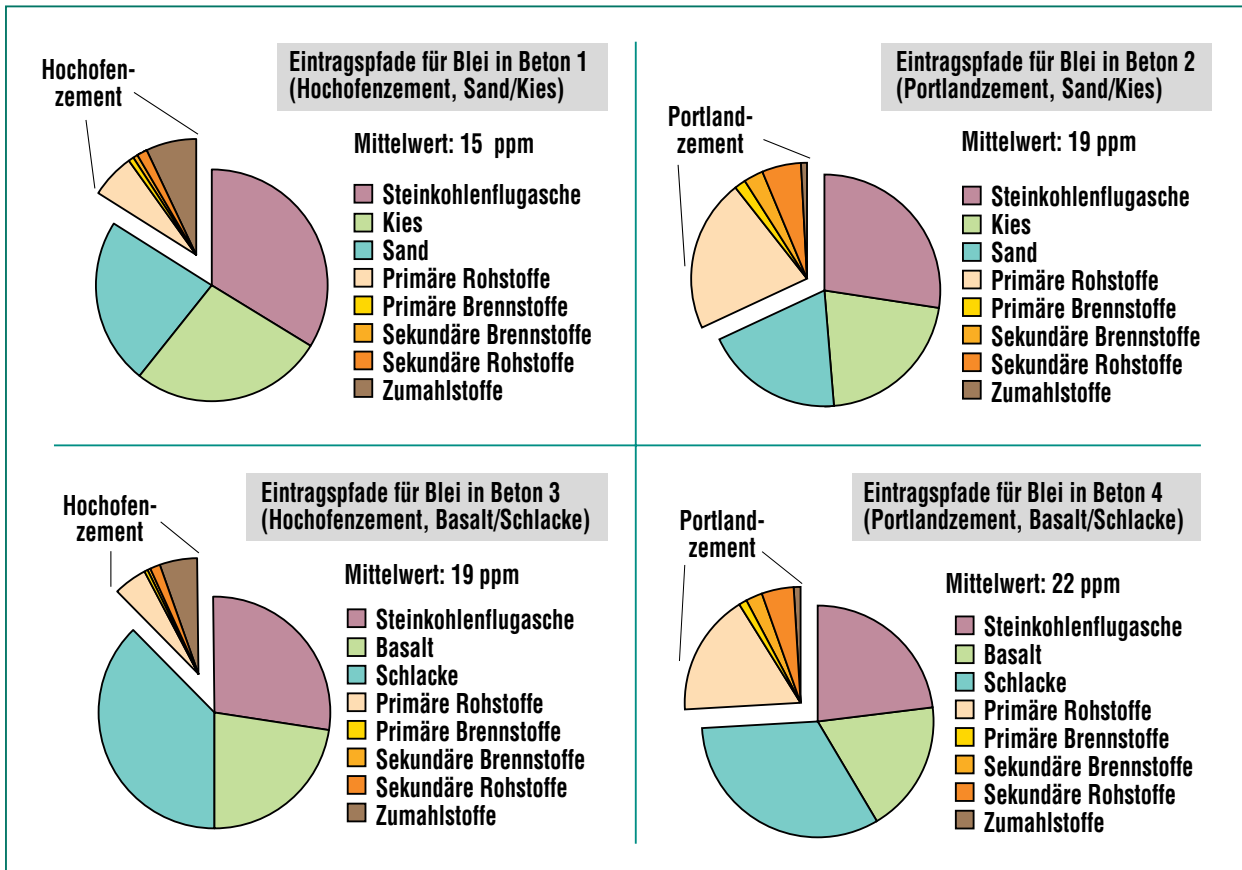
lenflugasche (2 Massen-%) festgelegt. Die Berechnungen zeigen, dass Zement, Steinkohlenflugasche und die Zuschlagstoffe Basalt und Schlacke wichtige Eintragspfade für Spurenelemente in den Beton darstellen. Hierbei spielt die Steinkohlenflugasche trotz der geringen anteiligen Einsatzmenge eine wichtige Rolle, da sie vergleichsweise für viele Spurenelemente hohe Gehalte aufweist (siehe Blei, Abb. 4). Dagegen tragen bei der Zementherstellung eingesetzte sekundäre Einsatzstoffe zum Spurenelementgehalt des Betons nur im geringen Maße bei; eine Ausnahme ist Zink. In diesem Fall wirkt

sich der Einsatz von sekundären Brennstoffen wie Altreifen und Altöl und von sekundären Rohstoffen aus der Eisen- und Stahlindustrie bei der Zementherstellung deutlich aus.

### Freisetzungsverhalten von Spurenelementen in Beton

Für das Freisetzungsverhalten von in Beton enthaltenen Spurenelementen ist nicht der absolute Spurenelementgehalt entscheidend, sondern der potenziell mobilisierbare Anteil.

Die Basis für die Spurenelementfreisetzung aus Beton wird zum Teil bereits bei der Zementher-



**Abb. 4: Mittlere Bleikonzentrationen in vier modellierten Betonen. Anteil der einzelnen Einsatzstoffe am Bleigehalt des Betons.**

stellung gelegt. In Zement werden Spurenelemente aus dem eigentlichen Brennprozess und über prozessfremde Zumahlstoffe (Haupt- und Nebenbestandteile, Gips, Zementzusätze) eingetragen. Der aus dem Brennprozess stammende Anteil nichtflüchtiger Spurenelemente wie z. B. Chrom, Kupfer und Nickel, wird vorwiegend über die Klinkerminerale an die Zementhydrate weitergegeben. Ihre Freisetzung hängt daher in erster Näherung von der Stabilität dieser Zementhydrate gegen Verwitterung ab. Die leichter flüchtigen Spurenelemente wie z. B. Cadmium, Blei und Thallium werden bei

der Zementherstellung vorwiegend in leicht löslichen Anteilen von Filterstäuben bzw. Bypassstäuben fixiert, die dem Zement zugemahlen werden. Sie sind nach der Hydratation im Bereich des  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  angereichert. Für ihre Freisetzung ist daher die Stabilität der Hydroxide gegen Verwitterung entscheidend.

Steinkohlenflugasche als Zusatzstoff für Beton reagiert in gleicher Weise wie die Zementbestandteile und geht letztlich mit dem gesamten Spurenelementinventar im Zementstein auf. Zuschläge und Pigmente haben ebenfalls einen großen Anteil am gesamten Spurenelementgehalt von Beton,

sie zeichnen sich jedoch durch eine niedrige Löslichkeit der Spurenelemente und/oder eine kleine spezifische Oberfläche aus. Damit tragen sie nur im geringen Maße zur mobilen Spurenelementfracht bei.

Bereits wenige Stunden nach dem Anmachen von Frischbeton werden Spurenelemente nahezu vollständig im hoch alkalischen Bindemittel Zementstein fixiert. Das Bindemittel ist im Bereich pH 12-12,5 stark gepuffert. Solange der Puffer wirksam bleibt, bildet er für Spurenelemente eine stabile Senke. Dies gilt im Allgemeinen über den gesamten Nutzungszeitraum.

Nach dem Abriss eines Bauwerks ist die Art der Verwertung für das Gefährdungspotenzial durch Spurenelemente entscheidend. Liegen Zementstein bzw. Beton in gebrochener Form vor, so verwittert der Betonbruch wegen der vergrößerten Oberfläche unter normalen Umweltbedingungen beschleunigt, die Pufferwirkung von Zementstein bricht dann schnell zusammen. Die primär gebildeten Hydratphasen werden langsam umgewandelt, wobei die Mobilität von Spurenelementen verändert wird. Die zugrunde liegenden Reaktionen sind nur zum Teil bekannt und werden durch herkömmliche Testverfahren nicht abgebildet. Zur Vermeidung potenzieller Mobilisierungsmechanismen sollte eine Verwertung von Betonbruch räumlich konzentriert erfolgen, um das Pufferpotenzial des Zementsteins möglichst langfristig aufrecht zu erhalten. Im Idealfall sollte gebrochener Altbeton als Betonzuschlag und nicht im ungebundenen Straßenbau verwertet werden. Der Einfluss von Biota (z. B. Pilze,

Algen, etc.) auf die Verwitterung nach der Nutzungsphase ist weitgehend unbekannt.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Modellrechnungen ergaben, dass die für die Zementherstellung derzeit genutzten sekundären Einsatzstoffe einen geringen Anstieg der Konzentration einzelner Spurenelemente im Zement und Beton zur Folge haben. Das Langzeitverhalten von Spurenelementen in Beton und die mit möglichen Auswascheffekten verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt können derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden; hier liegt also weiterer Forschungsbedarf vor.

Nach der Abfallablagerungsverordnung, die im Jahre 2001 in Kraft trat, ist spätestens ab 1. Juni 2005 die Ablagerung von Abfällen nur nach einer Vorbehandlung zulässig. Hierfür müssen bis zu diesem Termin Behandlungsanlagen in ausreichender Kapa-

zität zur Verfügung stehen. Neben Abfallverbrennungsanlagen und mechanisch-biologischen Vorbehandlungsanlagen kommt hierfür insbesondere die Mitverbrennung von Abfällen in Industrie- und Feuerungsanlagen, wie z.B. Zementwerken und Kohlekraftwerken in Frage. Daher ist in Zukunft mit einem weiter zunehmenden Einsatz von Sekundärstoffen in der Zementindustrie zu rechnen. Da die damit verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt noch nicht endgültig geklärt sind, sollte darauf geachtet werden, dass durch die Verwendung dieser Stoffe zur Herstellung von Zement und Beton keine nennenswerte Erhöhung der Konzentrationen in den Produkten gegenüber der Verwendung von natürlichen Einsatzstoffen stattfindet.

### Literatur

- [1] M. Achternbosch, K.-R. Bräutigam, M. Gleis, N. Hartlieb, C. Kupsch, U. Richers, P. Stemmermann, (2003) *Heavy Metals in Cement and Concrete Resulting from the Co-Incineration of Wastes in Cement Kilns with Regard to the Legitimacy of Waste Utilisation*; FZKA 6923; Forschungszentrum Karlsruhe; Oktober 2003
- [2] DIN EN 197-1, „Zement Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement“, Deutsche Fassung EN 197-1:2000, Februar 2001
- [3] F. Wanzura, B. Wendt, (2003) *Einfluss des Sekundärstoff-Einsatzes auf die Schwermetall-Gehalte in PZ-Klinkern und Zementen*; ZKG International, No. 10, Vol. 56, S. 53-60

# Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung – eine Ökobilanz

U. Jeske, J. Buchgeister, L. Schebek, M. Weil, ITC

## Einleitung

Der Verbrauch natürlicher Gesteinskörnung Kies- und Sand für den Bausektor beträgt in den letzten Jahren zwischen 370 und 400 Mio. t [Steine & Erden 2000]. Über den Abbruch von Bauwerken gelangen derzeit jährlich 70-80 Mio. t mineralische Abfälle zur Verwertung oder auf die Deponie [KWTB 2001]. Zur Eröffnung eines neuen Recyclingpfades wurde im Projekt „Baustoffkreislauf im Massivbau“ [BIM] die Verwendung betonreicher rezyklierter Gesteinskörnung anstelle von Kies oder Splitt im Hochbau erprobt und in den letzten Jahren normiert [DIN 4226-100]. Rezyklierte Gesteinskörnung aus aufbereitetem mineralischem Bauschutt kann bei der Betonherstellung nach Richtlinie [DAfStb-Richtl. 1998] einen Anteil der natürlichen Gesteinskörnungen Kies oder Splitt ersetzen. Dies ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Die Richtlinie befindet sich derzeit in Überarbeitung [DAfStb Richtl 6.Entw. 2002].

## Fragestellungen

Der vorliegende Beitrag will die folgenden Fragestellungen beantworten: Wird die Schonung natürlicher Gesteinskörnung durch die Verwendung rezyklierter Gesteinskörnung innerhalb des gewählten Systemrahmens durch gegenläufige Effekte, d.h. erhöhten Materialeinsatz an anderer Stelle der Herstellung von Recyclingbeton, vermindert? Tritt bei der Herstellung von Recyclingbeton ein erhöhter Energieverbrauch auf, und wenn ja, durch welche Einzelprozesse?

Wo liegen möglicherweise Optimierungspotentiale bei der Betonherstellung unter Verwendung rezyklierter Gesteinskörnung?

## Vorgehensweise

Zur Beantwortung der Fragestellungen wird eine vergleichende Ökobilanz der Betonherstellung mit und ohne rezyklierte Gesteinskörnung unter Berücksichtigung der in Normen, Richtlinien und Zulassungen niedergelegten Beschränkungen nach Norm [DIN EN ISO 14040 ff] durchgeführt. Unter Einschluss eigener Datenerhebungen zu Bauschuttaufbereitungsanlagen werden die tatsächlich resultierenden Einsparungen mineralischer Ressourcen sowie die im Herstellungsprozess auftretenden Treibhausgas-Emissionen bilanziert. Die eigenen Datenerhebungen zu Bauschuttaufbereitungsanlagen waren deshalb notwendig, weil in der Literatur für die Herstellung rezyklierter Gesteinskörnung zum einen nur Energieaufwendungen zu finden sind [Herbschleb, E. 1999], [Müller, Ch. 2001], die dazu noch stark differieren und die Werte zum anderen im Vergleich zu denen der Kies- und Splitt-Gewinnung um eine Größenordnung höher liegen. Die bekannten Verfahrensunterschiede rechtfertigen dies nicht, weshalb die Daten weder verlässlich noch plausibel erschienen.

Adressaten dieser Untersuchung sind die Akteure der Bau- und Baustoffrecyclingbranche. Darüber hinaus sind es die Entwickler neuartiger Recycling-Technologien [FRANKA 2000]. Ihnen können die Untersuchungsergebnisse Si-



**Abb. 1: Verwendung eines Anteils rezyklierter Gesteinskörnung für Beton (schematisch).**

cherheit bei wichtigen zu berücksichtigenden Vergleichsparametern wie dem Energieverbrauch der herkömmlichen Aufbereitungsanlagen vermitteln.

## Systemrahmen der Ökobilanz

Die zu vergleichenden Systeme unterscheiden sich nur in der Aufbereitung und Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen. Bei der Aufbereitung fallen zusätzlich geringe Mengen Eisenschrott an. Die Systemgrenzen für die Herstellung von Beton mit einem Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen sind in Abb. 2 dargestellt. Sie umfassen: Herstellung von natürlichen Gesteinskörnungen (V1.1 und V1.2), Herstellung von Betonverflüssiger (BV) und Fließmittel (FM) (V3), Bereitstellung von Flugasche (V4), Herstellung von Zement (V5) Transport der Betonkomponenten zum Transportbetonwerk (Prozess), Mischung der Betonkomponenten (Herstellprozess), Herstellung rezyklierter Gesteinskörnungen (V2).

Diesen Hauptprozessen sind weitere Prozesse vorgelagert: Gewinnung von Rohstoffen (z.B.

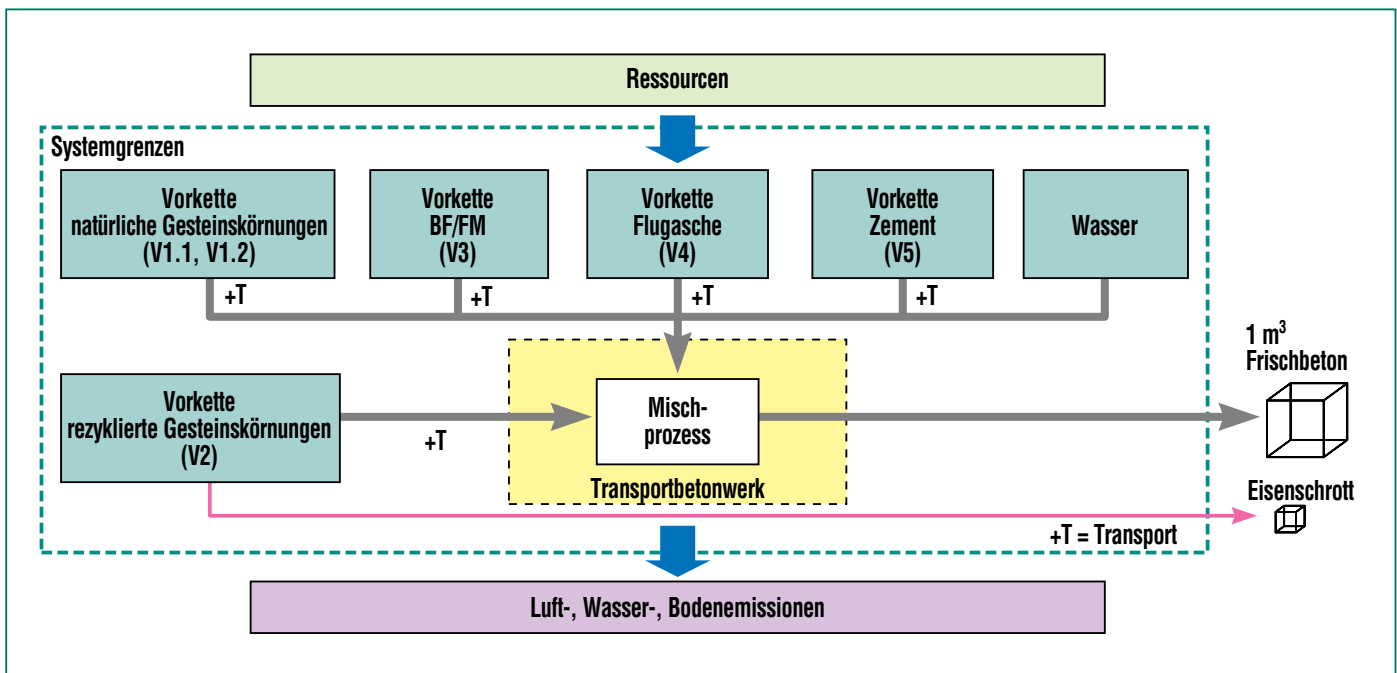


Abb. 2: Systemgrenzen der Beton-Herstellung mit einem Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen.

Kalkstein), Bereitstellung von elektrischer Energie oder Energieträgern, Herstellung von Zwischenprodukten (z.B. Melamin für BV), Herstellung von Hilfs- und Betriebsstoffe (z.B. Schmieröl, Stahl, PU-Schaum).

Bei der Ökobilanz erfolgt die Bilanzierung mit der entscheidenden Bedingung der Nutzengleichheit der zu vergleichenden Systeme. Dabei wird der Nutzen auch als funktionelle Einheit bezeichnet. Für die weitere Untersuchung wurde die funktionelle Einheit auf 1 m<sup>3</sup> Frischbeton für den konstruktiven Bereich festgelegt. Berücksichtigt wurden hierbei: Festigkeitsklasse: B25 (Nennfestigkeit 25 N/mm<sup>2</sup>, an einem Würfel zu messen), Konsistenz: KR (weich, Ausbreitmaß: 42 bis 48 cm), Verwendung als Innenbauteil. Die zusätzlich anfallenden Mengen Eisenschrott konnten bei

der Festlegung der funktionellen Einheit vernachlässigt werden.

Für die Wirkungsabschätzung müssen Umweltindikatoren ausgewählt werden, die die wesentlichen Ressourcenverbräuche und Umweltbelastungen abbilden.

Ein Screening ergab folgendes Bild: Als Ressourcenverbrauch hat der mineralische Stoffstrom eine besondere Bedeutung und für die Umweltbelastung ist der Energieeinsatz die Hauptquelle. Dessen Höhe wird im Wesentlichen durch die Zementherstellung bestimmt.

Als Ergebnis wurden die folgenden Indikatoren festgelegt:

1. Verbrauch primärer mineralischer Rohstoffe (VMR) Der Verbrauch primärer mineralischer Rohstoffe (VMR) umfasst hier neben der natürlichen Gesteinskörnung auch die zur

Zementherstellung benötigten mineralischen Rohstoffe.

2. Kumulierter Energieaufwand (KEA). Der KEA gibt die Gesamtheit der primärenergetisch bewerteten Energieaufwendungen an [VDI 4600].
3. Zusätzlich wurde das Treibhauspotential (GWP) ausgewählt, da bei der Zementherstellung Treibhausgas-Emissionen nicht nur aus dem Energieverbrauch stammen, was durch den KEA abgedeckt wäre, sondern auch aus der Entsäuerungsreaktion des Kalksteins ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ), was im KEA nicht berücksichtigt werden kann.

Beim GWP werden die Treibhauspotentiale der emittierten Gase ermittelt. Über Äquivalenzfaktoren werden die Potentiale der verschiedenen Gase auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente (kg) umgerechnet.

## Sachbilanz: Vorkette rezyklierte Gesteinskörnungen (V2)

Untersucht wurden insgesamt 12 verschiedene Aufbereitungsanlagen für Bau- und Abbruchabfälle zur Erzeugung rezyklierter Gesteinskörnung. Sie unterscheiden sich hinsichtlich Größe, eingesetzten Brechereinheiten (Anzahl, Typ), Reinigungseinheiten (trocken, nass), internem Transport bzw. Verladung (z.B. Radlader, Förderband, Verladestation) und Art der Produkte. Aus der eigenen Erhebung wurden am Ende zwei stationäre Bauschutt aufbereitungsanlagen mit trockener und nasser Aufbereitungstechnik bilanziert (RC-Anlage B und D), die technisch in der Lage sind,

hochwertige, gut gereinigte rezyklierte Gesteinskörnungen zu erzeugen. Für diese Anlagen sind detaillierte Anlagendaten mittels eines Fragebogens erhoben worden. Hergestellt werden Körnungen der Klassen 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm. Werk B hat eine Produktionskapazität von über 200.000 t/Jahr, Werk D von ca. 100.000 t/Jahr.

Darüber hinaus wurden 7 Datensätze aus einer Befragung der Universität Stuttgart [Kümmel, J. 2001] zur Ergänzung der eigenen Untersuchungen aufbereitet und bilanziert.

Die Systemgrenzen der Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen sind in Abb. 3 dargestellt.

Bei der Modellierung der Werke wurden berücksichtigt: die Vorzerkleinerung und Beschickung, die Zerkleinerung (Brechen), das Entfernen von Störstoffen sowie die Klassierung (Siebung) und Verladung der Produkte. Wasser wird in beiden Anlagen für Maßnahmen der Staubminderung insbesondere im Sommer eingesetzt, bei der nass betriebenen Aufbereitungsanlagen auch für die Entfernung von Feinst- und Leichtstoffen.

In Tab. 1 sind die Sachbilanzdaten der RC-Anlagen B und D ausgewiesen. Dargestellt sind der KEA, die durch den Energieverbrauch verursachten Treibhausgase, soweit sie einen Beitrag zum GWP leisten und der Wasserverbrauch pro t rezyklierter

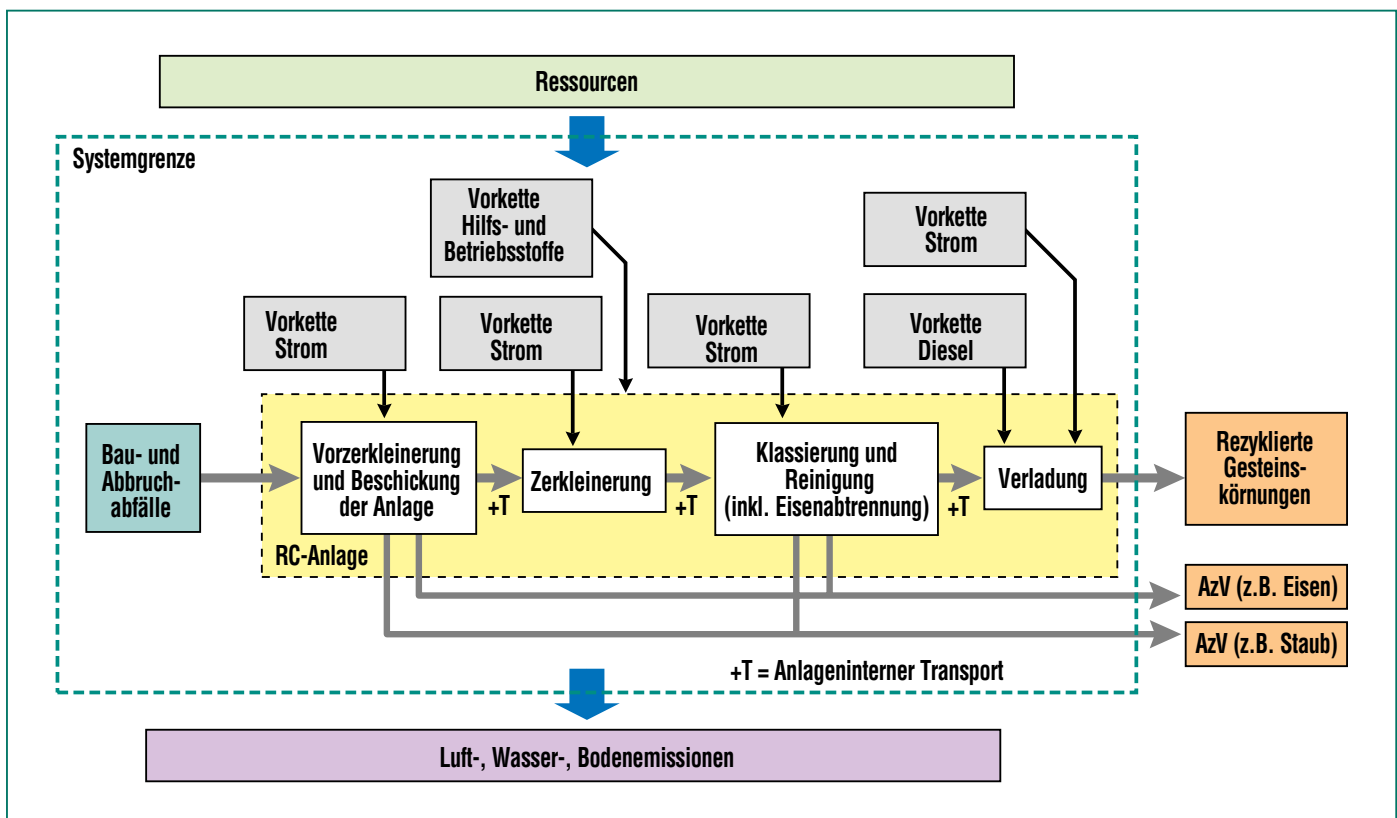


Abb. 3: Systemgrenzen der Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen (V2).



Alle Angaben auf eine t Produkt bezogen	RC-Anlage B	RC~Anlage D	Datensatz Uni. Stuttgart [Kümmel, J. 2001]	[Müller, Ch. 2001]	[Herbschleb 1999] <sup>*)</sup>
CO <sub>2</sub> (g)	2910,0	3520,0	3220,0		
CH <sub>4</sub> (g)	4,7	5,7	4,9		
N <sub>2</sub> O (g)	0,1	0,1	0,1		
Eisenschrott – AZV – (kg)	4,5	0,8	2,4		
Wasser Verbrauch (kg)	33,9	283,0	19,0		
KEA (MJ)	43,1	55,0	47,4	200,0	500,0

\*) 500 MJ/t wird alleine für die Zerkleinerung angegeben

**Tab. 1: Kumulierter Energieaufwand (KEA) und Luftemissionen bei der Herstellung von 1 t rezyklierter Gesteinskörnung für die Betonproduktion.**

Gesteinskörnung. Gegenübergestellt sind zwei Literaturangaben über den KEA für rezyklierte Gesteinskörnungen und das mittlere Sachbilanzergebnis für die 7 stationären Anlagen auf Basis der Daten der Uni Stuttgart.

Die Unterschiede der in Tab. 1 ausgewiesenen Sachbilanzwerte der Luftemissionen erklären sich durch unterschiedliche Strom- und Dieselanteile am Gesamtenergieverbrauch der Anlagen. Die eigenen 3 KEA-Werte zwischen 43,1 MJ/t und 55 MJ/t basieren auf zwei von einander unabhängigen Datenerhebungen und können dadurch als gesichert gelten. Sie lassen die bisher schon nicht nachvollziehbaren um einen Faktor 5-10 höheren Werte aus Literaturangaben [Herbschleb, E. 1999], [Müller, Ch. 2001] als unhaltbar erscheinen. Dies gilt insbesondere für den KEA-Wert von 500 MJ/t [Herbschleb, E. 1999], den auch [Müller, Ch. 2001] herangezogen hat [Weil 2002].

In gleicher Weise ist der zitierte Wert von 200 MJ [Müller, Ch. 2001] kritisch zu sehen, zumal der Autor sich auf die Angabe von [Herbschleb, E. 1999] bezieht.

Für die weitere Bilanzierung der Betonherstellung werden die Vorkettendaten der Anlage D verwendet, Tab. 2. Diese Anlage erzeugt kontinuierlich Gesteinskörnung, die den hohen Anforderungen für Beton genügen, sodass die ermittelten Durchschnittsdaten zutreffend sind.

Benötigt werden noch Vorkettendaten für die natürlichen Gesteinskörnungen Kies und Splitt, die in den Tabellen 3 und 4 zum Vergleich angegeben sind. Für Splitt wurde hilfsweise das Modul Kalksplitt verwendet. Die weiteren verwendeten Vorkettendaten zu Flugasche, Betonverflüssiger und Transporten finden sich in [Weil 2004].

Die KEA- und GWP-Werte der RC-Anlage D sind als gegenläufi-

Alle Angaben auf eine t Produkt bezogen	RC-Anlage D
KEA (MJ)	55,0
GWP (kg)	3,7
VMR (kg)	–

**Tab. 2: Indikatorenwerte des Moduls V2 für rezyklierte Gesteinskörnungen.**

Alle Angaben auf eine t Produkt bezogen	Kieswerk A
KEA (MJ)	34,5
GWP (kg)	2,2
VMR (kg)	1001,0

**Tab. 3: Indikatorenwerte des Moduls V1.1 für Kies und Sand.**

Alle Angaben auf eine t Produkt bezogen	Kalksplitt (ohne Sprengstoffeinsatz)
KEA (MJ)	44,6
GWP (kg)	3,1
VMR (kg)	1000,0

**Tab. 4: Indikatorenwerte des Moduls V1.2 für Kalksplitt.**

ger Effekt um einen Faktor 1,6 bzw. 1,4 größer als die des Kieswerkes A. Dies erklärt sich durch die höhere Aufwendung (Zerkleinerung, Reinigung) bei der Aufbereitung der Bau- und Abbruchabfällen.

### Sachbilanz: Betonherstellung

Für jeden Beton einer bestimmten Klasse gibt es eine vorgeschriebene Mindestzementmenge, die aber nicht automatisch schon die zur Verarbeitung des Betons notwendige Konsistenz garantiert. In der Praxis wird häufig mehr Zement zugegeben, um die gewünschten Verarbeitungseigenschaften einzustellen.

Für die Bilanzierung wurden drei in der Baupraxis erprobte RC-Betonrezepturen und zwei entsprechende Rezepturen mit natürlichen Gesteinskörnungen (Kies, Splitt) ausgewählt. Die Rezepturen

der RC-Betone unterscheiden sich sowohl im Zementgehalt als auch im Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen. Für Kies-Beton wurde eine Rezeptur gewählt, die mit der Mindestzementmenge von 240 kg auskommt. Ergänzend wurde ein Splitt-Beton bilanziert, dessen Zementgehalt um 30 kg über der Mindestzementmenge liegt.

Die Ergebnisse in Abb. 4 zeigen: Auch wenn bei RC-Beton mit einem erhöhten Zementeinsatz ein entsprechend höherer Einsatz an Rohstoffen verbunden ist (Faktor 1,6 beim Durchschnittszement), so bleibt dieser Anteil als gegenläufiger Effekt im Verhältnis zum Rezyklatanteil klein.

So hat RC-Beton immer einen geringeren Verbrauch primärer mineralischer Rohstoffe (VMR) zur Folge, als ein Beton mit natürlichen Gesteinskörnungen. Die Einsparung an primären minerali-

schen Rohstoffen variiert bei RC-Beton je nach Anteilen an Gesteinskörnung und Zementgehalt zwischen 24-44 M-% gegenüber dem Kies-Beton.

Im gewählten Systemrahmen haben die RC-Betone leicht bis deutlich höhere KEA- und GWP-Werte als der Kies-Beton. Ursächlich dafür ist der erhöhte Zementgehalt, der auch die höheren Werte des Splitt-Betons gegenüber dem Kies-Beton erklärt. Demgegenüber von untergeordneter Bedeutung sind die übrigen Vorkettenprozesse. Nennenswerte Anteile (ca.-Werte) der einzelnen Prozesse an den Treibhausgas-Emissionen (GWP) für den Kies-Beton in Abb. 4 sind: 95% durch Zementherstellung, 2 % durch Erzeugung der RC-Körnung, 1% durch Erzeugung von Kies/Sand, je 1% durch Transporte der RC-Körnung (20 km), Kies/Sand (20 km) und Flugasche (120 km).

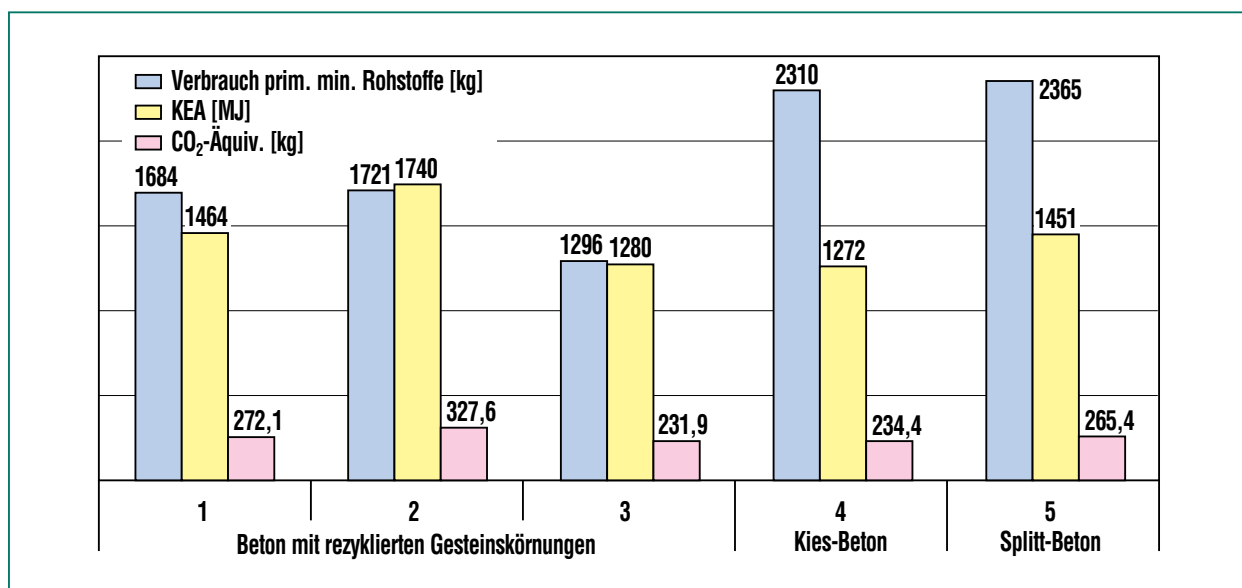


Abb. 4: Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs von Betonen mit und ohne rezyklierte Gesteinskörnungen (pro m<sup>3</sup> Beton) sowie gleichen Transportentfernungen der natürlichen und rezyklierten Gesteinskörnungen.

Ein lohnender Ansatzpunkt zur Optimierung der RC-Betonherstellung liegt damit in der Verringerung des Zementgehaltes in Richtung Mindestzementgehalt. Durch Zugabe von Flugasche bzw. Betonverflüssiger kann betontechnologisch ein ähnlicher Effekt erreicht werden wie durch den Mehrzement, ohne dass dies ökobilanziell bei den hier zugrundeliegenden Indikatoren zu Buche schlägt.

## Zusammenfassung

Es wurde eine vergleichende Ökobilanz der Betonherstellung mit und ohne rezyklierte Ge-

steinskörnung unter Einschluss eigener Datenerhebungen zu Bauschutttaufbereitungsanlagen durchgeführt

Entgegen den Erwartungen aufgrund bisheriger Literaturwerte zeigen die Ergebnisse, dass es durch die Verwendung rezyklierter Gesteinskörnung nur geringfügige gegenläufige Effekte zur Ressourcenschonung gibt.

So hat die RC-Anlage gegenüber dem Kieswerk einen 1,6-fach erhöhten Energieverbrauch.

Auch durch erhöhten Zementeinsatz bei nach Richtlinie hergestellten RC-Betonen gibt es bei Treibhausgas-Emissionen und

Verbrauch mineralischer Ressourcen gegenläufige Effekte. Sie können durch Optimierung der Betonrezeptur vermieden werden. Dies zeigt der bilanzierte Kies-Beton, der über den Weg einer Einzelzulassung hergestellt und unter ökonomischen Aspekten optimiert wurde.

Zukünftige Forschungsarbeiten für die Optimierung der Herstellung von Recycling-Beton sollten sich daher vor allem auf die Einflussfaktoren konzentrieren, die für den Zementbedarf der RC-Betone ausschlaggebend sind.

## Literatur

- [BIM]  
*Baustoffkreislauf im Massivbau (BIM).*  
<http://www.b-i-m.de>
- [FRANKA 2000]  
H. Bluhm, W. Frey, H. Giese,  
P. Hoppe, C. Schultheiss,  
R. Strässner,  
*Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling.*  
*IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 7(2000)  
S.625-636
- [DIN EN ISO 14040]  
*Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen.* Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.). Beuth, Berlin August 1997
- [DIN 4226-100]  
*Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen.* Deutsches Institut für Normung DIN e.V. (Hrsg.), Beuth, Berlin Februar 2002
- [DAfStb-Richtl.1998]  
*DAfStb-Richtlinie „Beton mit rezyklisiertem Zuschlag“.*  
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Beuth, Berlin, August 1998
- [DAfStb Richtl 6.Entw. 2002]  
*Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach 4226-100. Teil 1: Anforderungen an die Betonzusammensetzung für die Bemessung nach DIN 1045-1. 6. Entwurf,* Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb). Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Beuth, Berlin, Oktober 2002.
- [Herbschleb, E. 1999]  
Herbschleb, E.: *Die Energie-Kennzahl: Standardisiertes Verfahren zur Ermittlung des Gesamtenergieaufwandes für die Herstellung von Baustoffen.* In *Tagungshandbuch: Unipor-Fachtagung, München, 1999*
- [KWTB 2001]  
Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (2001): *Monitoring-Bericht Bauabfälle., Folgebericht, Teil 2 – Erhebung: 1998.* Berlin, November 2001.
- [Kümmel, J. 2001]  
Persönliche Mitteilung von Herrn J. Kümmel. Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 01/2001. Datensätze entstammen einer mitbetreuten Diplomarbeit von Stephan Raichle (1998).
- [Müller, Ch. 2001]  
Müller, Ch. (2001): *Beton als kreislaufgerechter Baustoff.* Dissertation  
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.), Heft 513. Beuth, Berlin 2001
- [Steine & Erden 2000]  
*Der Bedarf an mineralischen Baustoffen – Gutachten über den künftigen Bedarf an mineralischen Rohstoffen unter der Berücksichtigung des Einsatzes von Recycling-Baustoffen.* Bundesverband Baustoffe- Steine und Erden e.V. (Hrsg.). Frankfurt/Main 2000
- [VDI 4600]  
Verein Deutscher Ingenieure: *Kumulierter Energieaufwand Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden.* VDI-Richtlinie 1995
- [Weil 2002]  
persönliche Auskunft durch Ch. Müller
- [Weil 2004]  
Weil, M.: *Ressourcenschonung und Umweltentlastung bei der Betonherstellung durch Nutzung von Bau- und Abbruchabfällen,* Dissertation, Darmstadt 2004

# Systemtechnische Methodik zur Planung und Optimierung umweltrelevanter Prozesse – Fallbeispiel Feuerverzinken

R. Ackermann, J. Buchgeister, ITC

## Einleitung

Systemtechnische Methoden haben eine große Tradition in der Bearbeitung komplexer technisch/technologischer Probleme im industriellen Umfeld [1, 2]. Hier werden wesentliche Einflussfaktoren bestimmt und Optimierungskriterien abgeleitet.

In der Produkt- oder Verfahrensentwicklung bzw. -optimierung stehen die Unternehmen vor einer Vielfalt von Analysemöglichkeiten, Prinzipien und Bewertungsmethoden, mit denen der Entscheidungsprozeß unterstützt werden kann. Die rein ökonomische Entscheidungsdimension bildet die Basis, jedoch ranken sich eine Vielzahl von weiteren Entscheidungsdimensionen wie zum Beispiel ökologische, soziologische, technische, design- oder materialbezogene Dimensionen um sie herum. Gleichzeitig wird die Zeit für die Entscheidungsfindung immer kürzer, da sich die Zyklen für die Produktions- oder Produktentwicklung deutlich verkürzen. Dies führt dazu, dass eine sichere und gleichzeitig transparente und nachvollziehbare Entscheidungsfindung immer schwieriger zu realisieren ist. Damit werden aber die Entscheidungsprozesse behindert und das Risiko von Fehlentscheidungen mit den entsprechenden Verlusten steigt.

Im Rahmen von zwei BMBF-Vorhaben [3, 4] wurde die Einführung einer stoffverlustminimierten Prozesstechnik in einer Feuerverzinkerei und anderen galvanotechnischen Betrieben mit systemanalytischen Methoden begleitet. Dabei wurden die geplanten Ver-

änderungen der Prozesstechnik mit dem vorher identifizierten Ist-Zustand unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten verglichen. Das Ziel war es, u.a. für den bestehenden Feuerverzinkungsprozess die ökonomisch und ökologisch vorteilhaftesten Varianten zur Realisierung vorzuschlagen und den Projekterfolg nach der Realisierung zu beurteilen. In dieser Darstellung liegt der Schwerpunkt auf dem Vorgehen und der ökologischen und ökonomischen Beurteilung. Dieses Vorgehen ist in die Erarbeitung der VDI-Richtlinie 4090 „Systemtechnische Methodik zur Planung und Steuerung umweltrelevanter Prozesse im betrieblichen Bereich“ eingeflossen, welche momentan als Gründruck vorliegt [5].

## Vorgehen

Entsprechend der Vorgehenslogik der VDI-Richtlinie 4090 wird das Vorgehen zur Planung und Optimierung umweltrelevanter Prozesse in 7 Schritte unterteilt (siehe Abb. 1).

Innerhalb der einzelnen Schritte des Vorgehensmodells werden die umweltrelevanten Prozesse schrittweise analysiert und alternative Konzepte erarbeitet und umgesetzt.

Fallbeispiel Feuerverzinken: Das Feuerverzinken ist ein weitverbreitetes Verfahren zum Korrosionsschutz von Stahlbauteilen. In der Bundesrepublik Deutschland wurden 1995 in 200 Betriebsstätten ca. 1,6 Millionen Tonnen Stahl mit ca. 130.000 Tonnen Zink beschichtet. Für die einwandfreie Feuerverzinkung ist

eine metallisch blanke und fettfreie Oberfläche erforderlich. Diese Qualität wird in den Vorbehandlungsbädern erzeugt. Den dort eingesetzten Stoffen und anfallenden Abfällen wird aus Sicht des Umweltschutzes eine große Bedeutung beigemessen, da deren Produktion sowie deren Verwertung und Beseitigung sehr umweltrelevante Prozesse darstellen (Anstoß und Situationsanalyse – Bedarf einer Analyse).

Der zentrale Untersuchungsgegenstand – das zu behebende „Problem“ – ist zunächst die bestehende Prozesskette, die als Ist-Zustand („Referenzsystem“) definiert wird. Das Kernsystem selbst besteht aus einer diskreten Anzahl miteinander vernetzter Prozesse. Durch die Festlegung der Systemgrenzen werden die zu analysierenden Prozesse und Prozessketten im Hinblick auf die ursprüngliche Fragestellung determiniert. Die anschließende Modellierung gibt basierend auf Formeln und Parametern die qualitativen Aspekte einer Prozesskette als kausale Wirkzusammenhänge wieder.

Fallbeispiel Feuerverzinken: Es wird die bestehende Prozesskette des Feuerverzinkens zugrunde gelegt. Diese besteht aus 5 Prozessschritten: Vorarbeit, Vorbehandlung, Trocknung, Verzinkung und Nacharbeit. Die Schritte Vorarbeit und Nacharbeit sind bei der weiteren Untersuchung ausgeblendet worden, da diese hier auf der einen Seite wenig Handlungsspielräume haben und zum anderen die Umweltrelevanz gemeinsam mit dem Unternehmen als gering zu den anderen Prozessen eingeschätzt wurde.

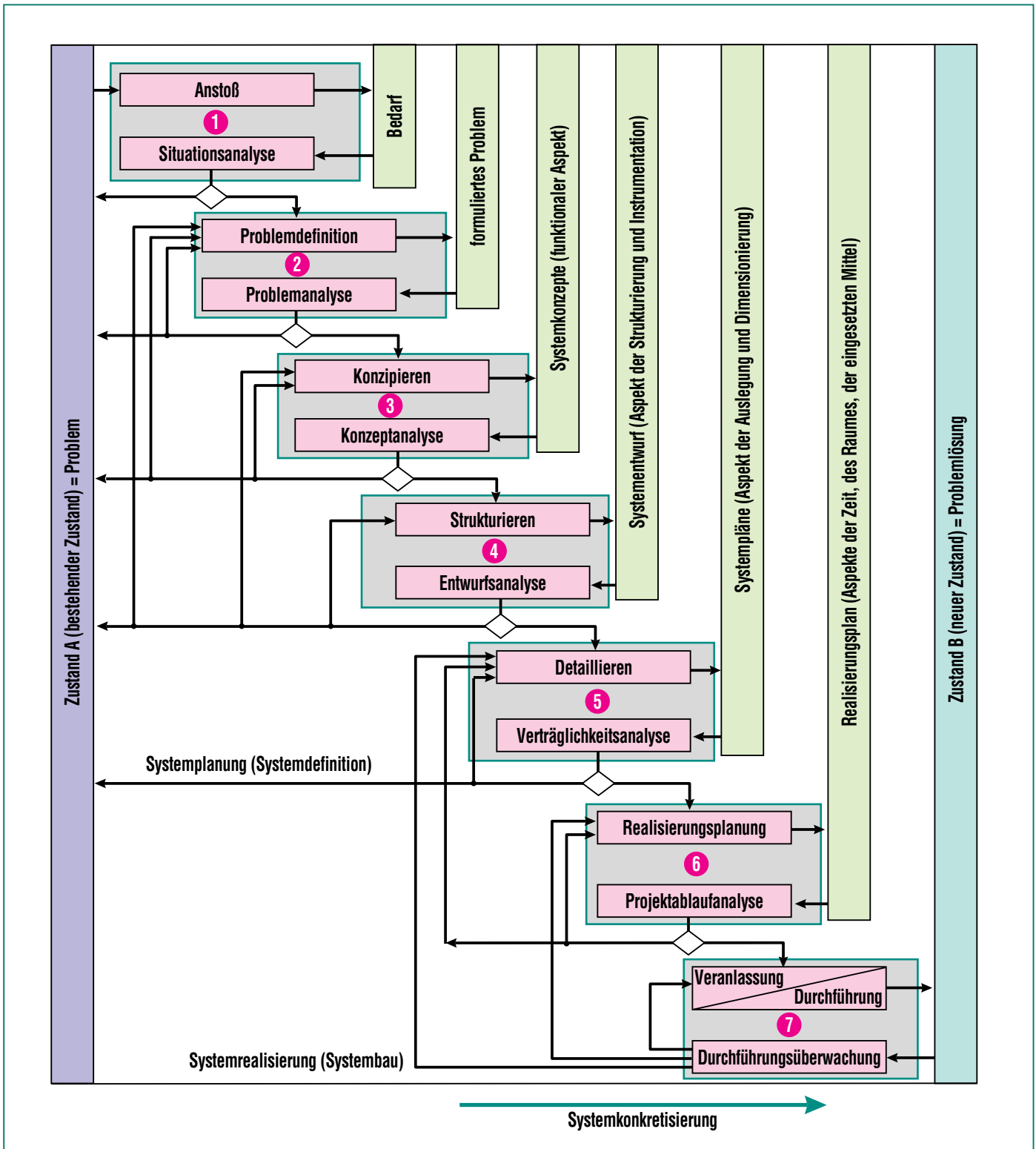


Abb. 1: Vorgehenslogik zur Verfahrensverbesserung von einem bestehenden Zustand (Problem) zu einem veränderten Zustand (Problemlösung) nach VDI 4090 [5].

Ausgehend vom Ist-Zustand werden die optionalen Anlagenzustände entwickelt (Soll-Modelle). Wesentliche Grundlage des Vergleichs des Ist-Zustands mit den möglichen Soll-Zuständen bildet die Nutzengleichheit der Zustände des betrachteten Systems. Innerhalb der Modellierung werden dabei die vernetzten, partiell unterbestimmten und rückgekoppelten Kernsystemmodelle mit Hilfe sequentieller Berechnungsroutinen unter Berücksichtigung der Massenerhaltung bilanziert. Durch unterschiedliche Parameterbelegungen der Modelle können verschiedene Szenarien erzeugt werden. Die von den modellierten Prozessketten generierten Ergebnisse sind im Zuge der Modellvalidierung auf formale und inhaltliche Plausibilität sowie Richtigkeit zu überprüfen.

**Fallbeispiel Feuerverzinken:** Als Soll-Zustände sind verschiedene Varianten der Kreislaufführung von Prozesswässern untersucht worden. Beispielsweise wurde die Abtrennung von verbrauchter Prozesslösung aus der Entfettung durch thermische Spaltung der Entfettungslösung erprobt. Dieser Regenerierungsprozess der Entfettungslösung ist als Soll-Modell in die Untersuchung der gesamten Feuerverzinkung einbezogen worden. Er stellt einen komplexen, optionalen Zustand des Prozesses der Vorbehandlung mit Aufbereitung der Entfettungslösung dar.

Die Ergebnismengen eines Soll- und des Ist-Modells liefern die Datengrundlage für die ökologische und ökonomische Beurteilung der einzelnen Optimierungs-

maßnahmen, die als Soll-Ist-Vergleich erfolgt. D.h. für die Modellierungsergebnisse werden die Differenzen von „SOLL – IST“ gebildet.

**Fallbeispiel Feuerverzinken:** Nach Rücksprache mit den beteiligten Unternehmen wurden 4 Konzeptvariationen in die engere Wahl einbezogen, wobei besonderer Wert auf die Wasserkreislaufführung gelegt wurde. Dabei sind auch Aspekte wie berufliche Qualifikation und optimale Personalausnutzung einbezogen worden, die jedoch nicht quantifiziert wurden. Auf Grund der Tatsache, dass vorrangig ungelernete Arbeiter die Anlagen betreuen, stellt sich die Einführung anspruchsvoller Regelungssysteme als fast unmöglich dar. Diese „nichttechnischen“ Einflüsse sind neben im Voraus schwer quantifizierbaren Einflüssen wie die Prozessqualität und -sicherheit Basis der unternehmerischen Entscheidung.

### Ökologische Beurteilung

Die ökologische Beurteilung basiert auf der Methodik der Ökobilanzierung, deren methodische Elemente der Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung für die ökologische Analyse genutzt werden [6, 7, 8, 9]. Der Untersuchungsrahmen wird somit über den eigentlichen Bereich der zu untersuchenden Kernsystemprozesse ausgedehnt (siehe Abb. 2), und stellt das Kern- und Mantelsystem dar.

Innerhalb der Sachbilanz werden die mit den Kernsystem- und Mantelsystemmodellen verbundenen Stoff- und Energieflüsse

ermittelt. Dadurch werden die Stoff- und Energieflüsse des Kernsystems lebenswegbezogen auf Emissionen in die Umwelt und die Inanspruchnahme von Ressourcen zurückgeführt. Eine Problemverlagerung in das Mantelsystem kann somit identifiziert und vermieden werden. Die anschließende Wirkungsabschätzung verdichtet diese Sachbilanzdaten und aggregiert sie zu Wirkungskategorien der anthropogenen Umweltbeeinflussung. Zur Bewertung der Wirkungskategorien untereinander wurde ein Verfahren entwickelt, welches auf einem Vorschlag des Umweltbundesamtes beruht und eine objektive, gegenseitige Abwägung der Ergebnisse für die einzelnen Wirkungsindikatoren ermöglicht [8]. Eine eindeutige Rangfolge der analysierten Optimierungsansätze bzgl. ihrer ökologischen Vorteilhaftigkeit ist jedoch nicht für jeden Anwendungsfall zu erwarten.

**Fallbeispiel Feuerverzinken:** Für das Mantelsystem der Feuerverzinkung ergaben sich 9 vorkettenbasierte und 8 nachkettenbasierte Lebenswegabschnitte. Die ökologische Beurteilung ergab nicht für alle berücksichtigten Wirkungskategorien Entlastungen. Der Grund hierfür ist eine in der Optimierung verursachte Verschiebung von stofflich vorherrschenden Emissionen (Abwasser, Abfall, Abgas) zu energetischem Mehrbedarf [10]. Dieser energetische Mehrbedarf ist zwangsläufig mit Umweltbelastungen verbunden.

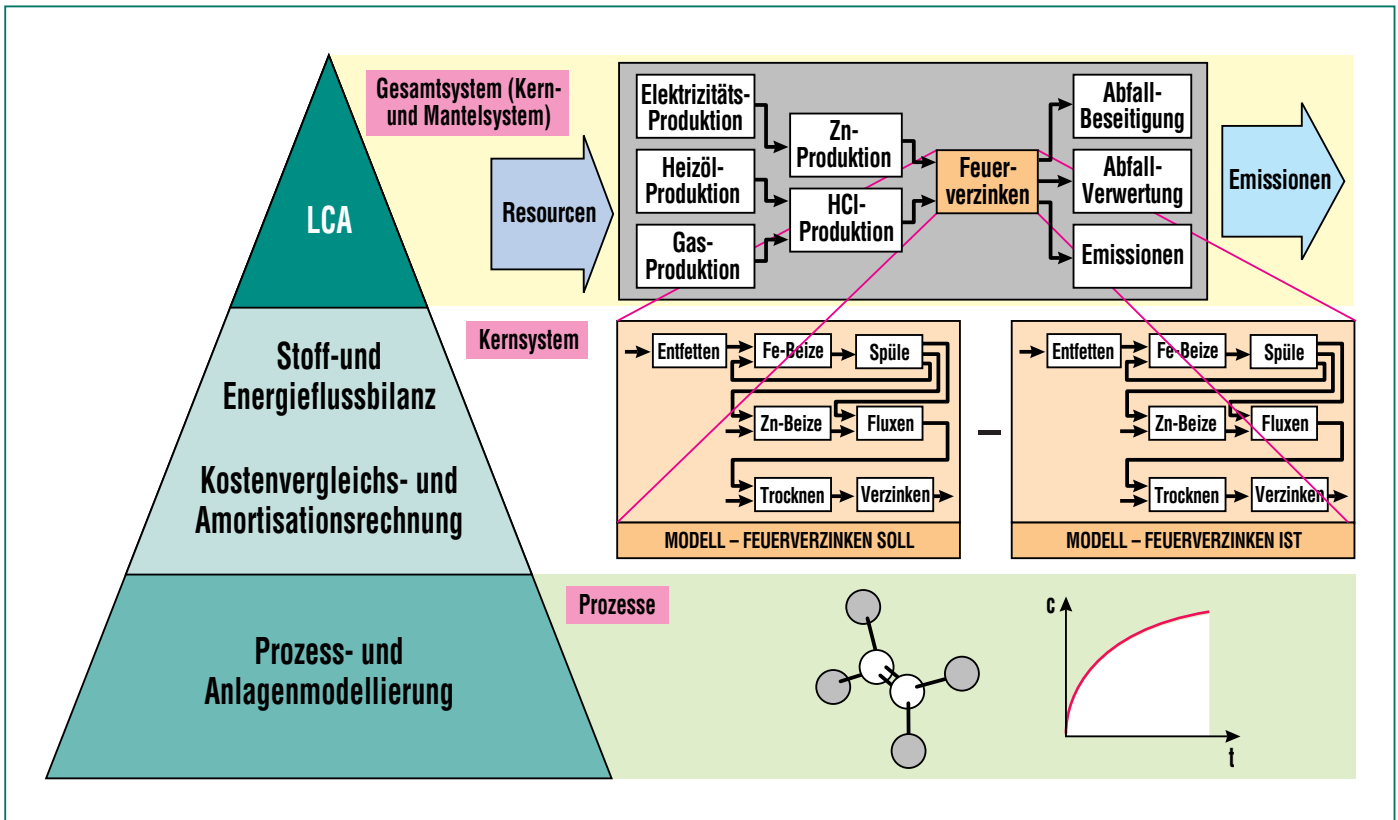


Abb. 2: Ebenen der ökologischen und ökonomischen Beurteilung [3, 4] (der Begriff der LCA steht für Life Cycle Assessment und wird als englische Entsprechung des deutschen Wortes Ökobilanz verwendet).

### Ökonomische Beurteilung

Die ökonomische Beurteilung und Optimierung basiert auf einer prozessorientierten Kostenvergleichs- und Amortisationsrechnung. Das bedeutet, im Rahmen der betrieblichen Stoff- und Energieflussanalyse wird jedem Prozess des Kernsystems genau eine Kostenstelle zugeordnet. Die Kostenvergleichsrechnung stellt den Gesamtkosten des Ist-Zustands die Gesamtkosten der jeweiligen Soll-Zustände gegenüber. Der vorteilhafteste Zustand ist gekennzeichnet durch die geringsten Gesamtkosten bzw. die geringsten spezifischen Kosten.

Fallbeispiel Feuerverzinken: Im realisierten Zustand werden deutliche Einsparungen ausgewiesen. Den gestiegenen Kapitalkosten und Instandhaltungskosten für die Installation und Betrieb der Regenerierungsprozesse stehen deutliche Kosteneinsparungen beim Einkauf der Einsatzstoffe sowie bei der Entsorgung der Abfälle gegenüber. Diese Einsparungen sind auf die Stoffkreislaufschließung in der Vorbehandlung zurückzuführen. Bei den Personalkosten wurden keine Veränderungen zwischen realisiertem Zustand und Ist-Zustand erzielt. Insgesamt werden durch Optimierungsmaßnahmen Kosteneinsparungen in Höhe von ca. 52.000 €/10.000 t Zink errechnet.

### Zusammenfassung

Fallbeispiel Feuerverzinken: Die konkrete Umsetzung der als konzeptionelle Möglichkeiten untersuchten Varianten orientiert sich sowohl nach der ökologischen und ökonomischen Beurteilung als auch an der unternehmerischen Entscheidung. Das bedeutet, es werden weitere technische Aspekte wie z.B. die Reproduzierbarkeit berücksichtigt. Ebenfalls änderte sich während der analytischen Arbeit das Aufgabenportfolio der Feuerverzinker. Daraus resultierten sich ändernde Umsätze, die wiederum Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben. Hier zeigte sich, dass die Rechenmodelle eine gute Anpassung

sungsfähigkeit erfordern, damit die neuen Bedingungen schnell und mit geringem Aufwand Berücksichtigung finden konnten. Schwierig wurde es in Bezug auf die Nutzengleichheit. Eine formelle Nutzengleichheit hätte gewährleistet werden können, jedoch wären die Ergebnisse nicht mehr praxisrelevant. Der Grund hierfür ist, dass sich Anwendungsgrenzen aufzeigen, die die Aufgabenstellung „Entscheidungshilfen mit möglichst objektiven Kriterien zu geben“ in der Umsetzung erschwert.

Das Vorgehensmodell als Basis für die systemtechnische Methodik zur Planung und Optimierung umweltrelevanter Prozesse er-

weist sich als anwendbar und nützlich für die Beurteilung und Optimierung insbesondere komplexer Fragestellungen. Eine ausschließliche Beschränkung auf ökologische und ökonomische Kriterien für die Beurteilung und Optimierung eines Prozesses erscheint nicht sinnvoll, da die unternehmerische Entscheidung im Vordergrund steht.

Die Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Beurteilung sind vor der Formulierung einer Handlungsempfehlung auf weitere Verbesserungspotentiale zu prüfen. Im Sinne eines kontinuierlichen und iterativen Verbesserungsprozesses können die bereits vorhandenen Modelle ent-

sprechend angepasst oder neue Modelle daraus abgeleitet werden. Dafür sollte auf das vorhandene Wissen betrieblicher und externer Experten zurückgegriffen werden.

## Literatur

- [1] G. Patzak, *Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken*; Berlin u.a.; Springer-Verlag, 1982
- [2] R. Haberfellner, P. Nagel, M. Becker, A. Büchel, H. von Massow, *Systems Engineering – Methodik und Praxis*, W.F. Daenzer, F. Huber, (Hrsg.), Verlag Industrielle Organisation Zürich (1999)
- [3] *BMBF-Verbundvorhaben Stoffkreislaufschließung bei abtragenden Verfahren in Prozesslösungen Teilvorhaben 14: Ökologische und ökonomische Beurteilung und Optimierung Förderkennzeichen 01ZH9507/2*
- [4] *BMBF-Verbundvorhaben Umstellung bestehender galvanotechnischer Anlagen auf eine stoffverlustminimierte Prozesstechnik: Teilvorhaben 1: Ökologische und ökonomische Beurteilung und Optimierung Förderkennzeichen 01RK9719/3*
- [5] *VDI 4090 – Systemtechnische Methodik zur Planung und Steuerung umweltrelevanter Prozesse in der betrieblichen Praxis – Grundlagen und Allgemeines*; 2003, Düsseldorf; Richtlinienentwurf VDI Koordinierungsstelle Umwelttechnik (Weißdruck in Vorbereitung)
- [6] *DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: ISO 14040 – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen, Deutsche Fassung, Berlin 1999*
- [7] G. Fleischer, R. Ackermann, R. Schilling, *AbfallwirtschaftsJournal 5 (1993), Nr.5 S. 379-396*
- [8] J. Hildenbrand, *Vergleichende Darstellung von Auswertungsmethoden in Ökobilanzen, Diplomarbeit; TU Berlin, Fachgebiet Systemumwelttechnik; Berlin 1999*
- [9] J. Buchgeister, A. Fritzsche, G. Horvath, A. Wittkowsky, *Härtereitechnische Mitteilungen (2001), Nr. 1 S. 30-35, Carl-Hanser-Verlag*
- [10] M. Huckshold, J. Hildenbrandt, R. Ackermann, G. Fleischer, H. Külker, *Metalloberfläche (2000) 6, Carl-Hanser-Verlag*



# Technikfolgenabschätzungen zur Nanotechnologie: Roadmapping als neues Instrument

U. Fiedeler, T. Fleischer, M. Decker, ITAS

## Nanotechnologie als Gegenstand von Technikfolgenabschätzung

Zukünftigen technischen Entwicklungen, die auf Nanotechnologie basieren, wird ein bedeutender Einfluss auf viele, wenn nicht gar auf alle wesentlichen gesellschaftlichen Bereiche zugeschrieben. Einige Wissenschaftler gehen davon aus, dass er mit dem Einfluss der Mikroelektronik – basierend auf der Halbleitertechnik und der Erfindung des Transistors – verglichen werden kann. [1]. Dem entsprechend wird der Nanotechnologie auch von politischer und ökonomischer Seite eine große Bedeutung zugesprochen, was sich in den beachtlichen Summen, die bereits in Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet investiert werden, zeigt. Die Nanotechnologie wird aber nicht nur in Fachkreisen diskutiert. Die Medien haben sich bereits seit einiger Zeit dieses Themas angenommen [2-4] und tragen erheblich dazu bei, die Bilder und Visionen der Nanotechnologie zu gestalten. Dabei neigen sie dazu, vor allem Extrempositionen aufzugreifen. Zugleich lassen sich im Rahmen der Wissenschaftskommunikation selbst besonnene Forscher zu manchen Superlativen hinreißen. Aus all dem hat sich eine bunte Gemengelage aus Visionen, Erwartungen, Hoffnungen und Befürchtungen ergeben, die im öffentlichen und politischen Raum viele Fragen provoziert.

Da oftmals lediglich eine Größenangabe, das Nanometer, als wesentliches charakterisierendes

Element der Nanotechnologie angesehen wird [5, 6], findet sich hinter dem Begriff der Nanotechnologie eine Vielzahl höchst unterschiedlicher Konzepte, Forschungsvorhaben und Anwendungsideen. Die daraus resultierende Heterogenität und Diversität der Nanotechnologie haben aber Konsequenzen für Analyse und Diskussion der ökonomischen, ökologischen und sozialen Implikationen der Nanotechnologie und sind letztlich wichtige Gründe für die Wahl des unten vorgestellten Ansatzes [7, 8]. So sind beispielsweise die ökonomische Bedeutung oder die ökologischen Folgen der Nanotechnologie wohl kaum sinnvoll abzuschätzen [9]. Eine aussagefähige wissenschaftliche Folgenforschung kann nur für eine konkrete Nanotechnik in deren Anwendungszusammenhang erfolgen.

Ein zweiter Aspekt der Nanotechnologie, der für die Technikfolgenabschätzung eine Herausforderung darstellt, ist die Tatsache, dass sich die verschiedenen Nanotechniken auf einem sehr unterschiedlichen Entwicklungsstand befinden [10]. Neben einigen konkreten Anwendungen, die sich bereits in der Phase der Markteinführung befinden, sind viele Konzepte noch weit von der Realisierung entfernt. Dieses frühe Stadium der Entwicklung birgt methodische Herausforderungen, macht andererseits die Nanotechniken auch für die Technikfolgenabschätzung interessant. Es bietet die Chance, ein noch junges Technikgebiet entwicklungsbegleitend zu erforschen. Es gilt, frühzeitig sowohl die Chancen der Nanotechnolo-

gie zu erkennen, um ihr Anwendungspotential ausschöpfen zu können, als auch Entwicklungshemmnisse und unerwünschte (Spät-)Folgen zu identifizieren.

Seitens des Forschungszentrums Karlsruhe wird dieser Aufgabe seit einigen Jahren nachgekommen. Im Rahmen des Programms NANO soll dies intensiviert und die Aktivitäten der verschiedenen Institute stärker miteinander verzahnt werden. Die im letzten Jahr ins Leben gerufene Veranstaltungsreihe „NanoVision“ widmete sich zunächst Fragen der Toxizität von Nanopartikeln [11] und wird in diesem Jahr um die Diskussion von Risikowahrnehmung und Risikokommunikation zur Nanotechnologie erweitert.

## Motivation des Roadmapping-Ansatzes für die Technikfolgenabschätzung

Nanotechniken werden häufig als „enabling technologies“ charakterisiert. Dies bedeutet, dass nicht die Nanotechniken selbst einen unmittelbaren Produktbezug haben, sondern dass durch Nutzung dieser oder jener Nanotechnik eine Vielzahl von ganz unterschiedlichen Produkten mit unterschiedlichen Handlungszusammenhängen realisiert werden kann. Die Potenziale von neuen Technologien – wie auch ihre Folgen – können aber erst dann analysiert werden, wenn konkrete Produkte und Dienstleistungen sowie deren Anwendungskontexte bekannt sind. Für „enabling technologies“ ist ein solcher Zusammenhang deshalb zunächst in strukturierter und in seinen Er-

gebissen belastbarer Form herzustellen. Es müssen erst Voruntersuchungen bezüglich möglicher Anwendungen und der daraus resultierenden Produkte durchgeführt werden. Da zudem weite Teile der Nanotechniken bisher nur als Visionen und Forschungsvorhaben existieren, sind Wege zu finden, die Verknüpfung von heutiger Forschung mit visionären Anwendungsmöglichkeiten bereits in der Frühphase der Technikentwicklung, also noch vor der konkreten Ausgestaltung vermarktbarer Produkte und Verfahren, herzustellen. Diese Verknüpfung ist eine essenzielle Voraussetzung für eine daran anschließende umfassende Technikfolgenabschätzung.

Eine Möglichkeit, diese oben beschriebene Verknüpfung herzustellen, könnte aus unserer Sicht daraus erwachsen, sogenannte Roadmapping-Verfahren zu nutzen und für diese Zwecke zu adaptieren.

Dabei existiert keine Standarddefinition von „roadmap“ oder „roadmapping“. Nach Kostoff und Schaller [12] ist eine roadmap „generically (...) a layout of paths or routes that exists (or could exist) in some particular geographical space. ... (It) serves as a traveler's tool that provides essential understanding, proximity, direction, and some degree of certainty in travel planning.“ Robert Galvin [13] beschreibt eine „roadmap“ als „an extended look at the future of a chosen field of inquiry composed from the collective knowledge and imagination of the brightest drivers of change in that field. Roadmaps

*can comprise statements of theories and trends, the formulation of models, identification of linkages among and within sciences, identification of discontinuities and knowledge voids, and interpretations of investigations and experiments. ... Roadmaps communicate visions, attract resources from business and government, stimulate investigations and monitor progress. They become the inventory of possibilities for a particular field ...“.*

Für unsere Zwecke kann „roadmapping“ als Dachbegriff für eine Gruppe von Verfahren verstanden werden, die die Strukturierung von komplexen interdependenten Prozessen unterstützen und als Entscheidungshilfe für Strategiefindung und Planung in Wissenschaft und technischer Entwicklung tätigen oder davon abhängigen Organisationen dienen soll.

Unter der großen Zahl von Roadmapping-Verfahren [14] sind die des Technology Roadmappings die mit der längsten Geschichte. Sie wurden Mitte der achtziger Jahre für die strategische Investitionsplanung für die Industrie entwickelt [15]. Ihr wesentliches Charakteristikum ist, dass neben der technischen Expertise des Unternehmens verstärkt die Marktbedingungen in den Entwicklungsprozess integriert und innerbetriebliche Kompetenzverflechtungen verdeutlicht und ggf. visualisiert werden. Dies wird unter anderem dadurch erreicht, dass an der Entwicklungsplanung bereits zu Beginn Mitarbeiter der verschiedenen Abteilungen beteiligt werden [16].

### Eine mögliche Umsetzung im Kontext von Forschungsorganisationen

Unter einer Roadmap kann man sich in erster Näherung eine Art Karte vorstellen, auf der technische „Wege“ eingezeichnet sind, die bei der Entwicklung eines neuen Produktes beschriftet werden können. Zusätzlich sind auch die Hindernisse – etwa derzeit noch nicht erreichte technische Parameter – vermerkt, die entlang der Entwicklungspfade zu überwinden sind.

Im Grundsatz sind zwei verschiedenen Vorgehensweisen möglich. Einerseits kann man von den in einem Bereich derzeit bestehenden Forschungsergebnissen ausgehen und daraus ein anwendungsnahe Eigenschaftsprofil – z.B. für ein neues Material – zusammenzustellen. Als Beispiel seien Nanocoatings auf der Basis von Carbiden genannt. Bei geschickter Prozeßführung ist es möglich, die Eigenschaften extremer Härte bei guter Haftung und einem niedrigen Reibungskoeffizienten mit guter Biokompatibilität und Transparenz im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums zu vereinen und das auch noch bei moderaten Prozesstemperaturen. Im zweiten Schritt gilt es nun zu ermitteln, welche Anwendungen mit diesem Material realisiert werden könnten (vgl. Abb. 1). Die andere Vorgehensweise besteht darin, eine bereits existierende Vision oder eine noch zu entwickelnde Vision einer Anwendung aufzugreifen und zu untersuchen, welche technischen

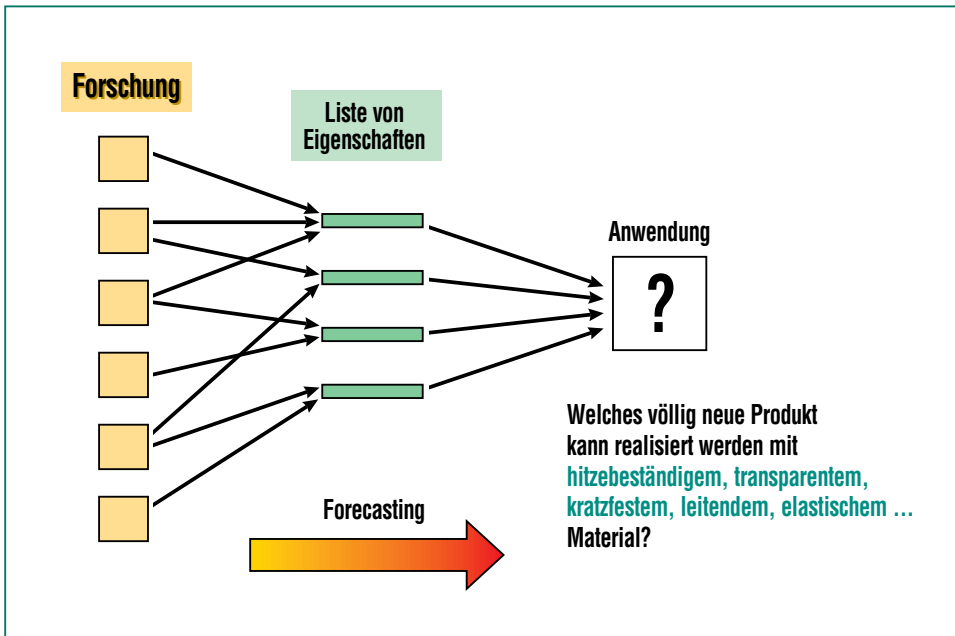


Abb. 1: Eine Herangehensweise, die im Rahmen des Roadmapping-Prozesses verfolgt wird, ist, von den derzeitigen Forschungsaktivitäten auszugehen und zu fragen, welche Eigenschaften mit diesem Wissen gezielt eingestellt und welche Anwendungen mit diesen Eigenschaften realisiert werden können.

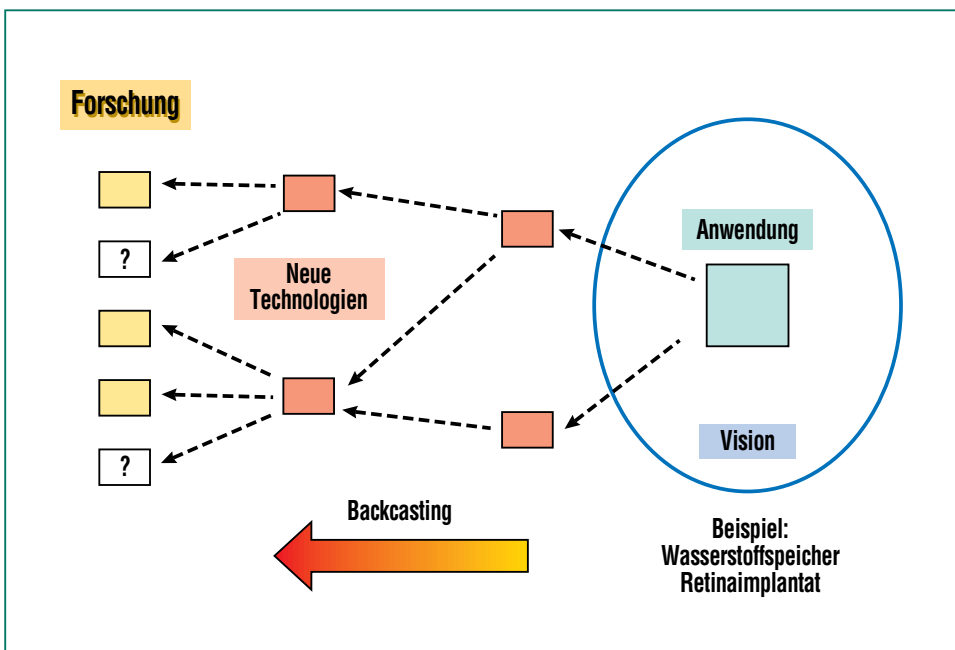


Abb. 2: Eine zweite Herangehensweise des Roadmapping-Prozesses ist es, von einer ausgewählten Anwendung auszugehen und zu fragen, welche technologischen Voraussetzungen diese verlangt und welche Forschungsergebnisse für die Realisierung dieser Technologie noch fehlen.

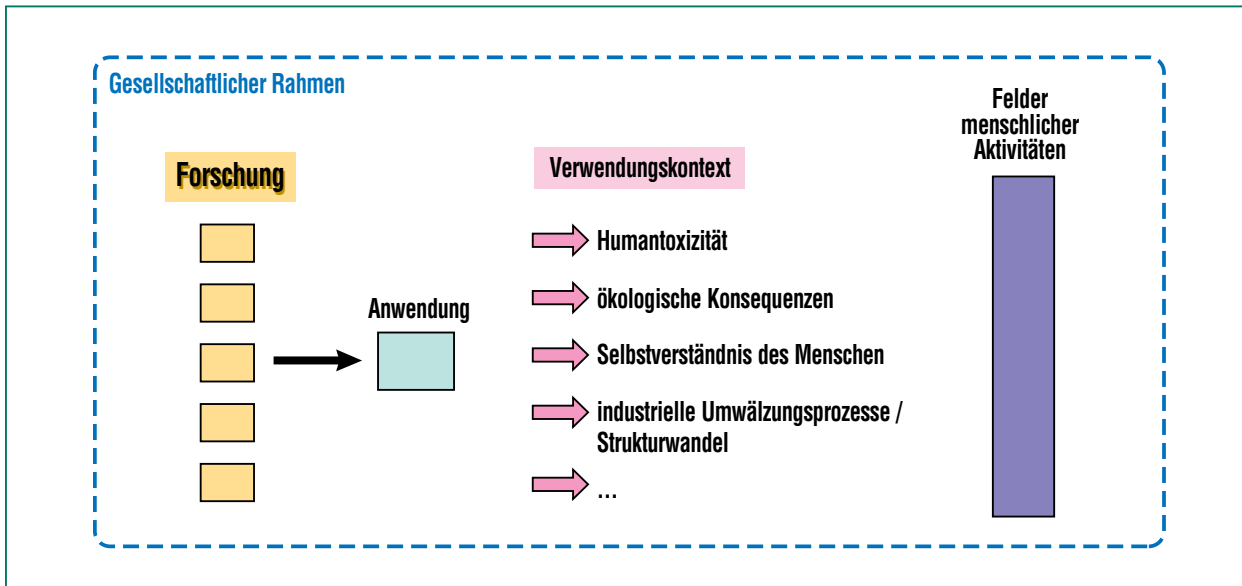
Schwierigkeiten und welche noch zu erbringenden Forschungsergebnisse der Realisierung dieser Vision im Wege stehen (vgl. Abb. 2.).

Das Team zur Erstellung der Roadmap wird entsprechend der zu untersuchenden Nanotechniken ausgewählt. Dabei wird es im Allgemeinen für beide Vorgehensweisen notwendig sein, ein interdisziplinäres Expertenteam aus Forschern verschiedener Institute zusammenzustellen. Darüber hinaus könnten – wenn erwünscht – auch potentielle Anwender beteiligt werden. Denkbar ist es z.B., wenn es um die Ausarbeitung einer Anwendungsvision im medizinischen Bereich geht, auch die Perspektive möglicherweise betroffener Patienten zu integrieren.

Ein konkreter Roadmapping-Prozess kann sich vieler etablierter Methoden bedienen, die die Kommunikation aller wissenschaftlicher Disziplinen beziehungsweise aller Beteiligten ermöglichen, wie Expertenworkshops oder Experteninterviews, SWOT-Analyse<sup>1)</sup>, Zukunftswerkstätten oder Szenariobuilding. Auf diese Weise können viele verschiedene Perspektiven in den Prozess integriert werden. „Nebenbei“ wird dadurch der Wissensaustausch der Forscher untereinander, sowohl über die Grenzen der Disziplinen, als auch über die Grenzen der Forschung selbst, unterstützt.

Als Ergebnis dieses Roadmapping-Prozesses erhält man eine wissenschaftlich fundiertere Aus-

<sup>1)</sup> SWOT steht für Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats



**Abb. 3: Erst die Identifizierung der Anwendungen von Forschung in Form von Produkten, Dienstleistungen und Verfahren mit Hilfe des Roadmapping-Prozesses, erlaubt es, den Anwendungskontext zu analysieren und Potenziale und mögliche Folgen der Anwendung zu identifizieren.**

sage über das Anwendungspotential und die Realisierungsmöglichkeit einer speziellen Anwendung von Nanotechnik. Diese kann dann – unter anderem – als Voruntersuchung für eine Technikfolgenabschätzung dienen. Die eigentliche Folgenanalyse wird erst nach Beendigung des Roadmappings durchgeführt (Abb. 3). Anhand der begründeten Identifikation von Anwendungen bestimmter Forschungsaktivitäten kann über die gesellschaftliche Bedeutung dieser Anwendungen reflektiert werden. Erst dann können Fragen nach Problemlösungspotenzialen, nach Chancen und damit verbundenen Problemen und Risiken sinnvoll beantwortet werden.

Derzeit arbeitet die Arbeitsgruppe Nano des ITAS daran, den hier vorgestellten Ansatz in der Praxis zu erproben. Resultate, die für die

Technikfolgenabschätzung erwartet werden, sind:

- die Verknüpfung von Themen der nanotechnologiebezogenen Forschung und Entwicklung mit konkreten Ideen für Anwendungen und Produkte. Auf diese Weise kann ein Bezug zwischen „Nano“, „Technik“ und „Folgenabschätzung“ hergestellt und die Nanotechniken somit der Technikfolgenabschätzung zugänglich gemacht werden.
- die Strukturierung des breiten Untersuchungsfeldes der Nanotechniken (sowohl thematisch als auch was den Zeithorizont der Entwicklungen angeht).

Für die beteiligten Wissenschaftler werden folgende Vorteile durch das Roadmapping-Projekt erwartet:

- die Erkenntnis von relevanten Forschungsfragen im eigenen Bereich, sowie anders herum die Entdeckung neuer Anwendungsfelder für die eigenen Forschungsergebnisse und
- einen effektiveren Einsatz der vorhandenen Ressourcen auf Grund der Analyse des eigenen Portfolios und seinem Zuschnitt auf die angestrebten Forschungsaktivitäten.

## Literatur

- [1] „The impact of nanotechnology on health, wealth, and the standard of living for people will be at least the equivalent of the combined influences of microelectronics, medical imaging, computer-aided engineering, and man made polymers in this century“ Nobelpreisträger Richard Smalley am 22. Juni 1999 vor dem amerikanischen Kongress ([http://www.house.gov/science/smalley\\_062299.htm](http://www.house.gov/science/smalley_062299.htm), zuletzt abgerufen am 6.9.2004)
- [2] B. Joy,  
*Wired*, April 2000, S. 238-262
- [3] T. Vasek,  
*Die Zeit*, 23. November 2000, S. 17
- [4] F. Schirmacher (Hrsg.),  
*Die Darwin AG, Wie Nanotechnologie, Biotechnologie und Computer den neuen Menschen träumen*, Kiepenheuer & Witsch, Köln, (2001)
- [5] G. Schmidt, M. Decker, H. Ernst, H. Fuchs, W. Grünwald, A. Grunwald, H. Hofmann, M. Mayor, W. Rathgeber, U. Simon, D. Wyrwa, *Small Dimensions and Material Properties, A Definition of Nanotechnology*, Graue Reihe Nr. 35, Europäische Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH (2003)
- [6] M. Decker, U. Fiedeler, T. Fleischer, *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Heft 2, S. 10, (2004).
- [7] U. Fiedeler, T. Fleischer, M. Decker, *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Heft 2, S. 65, (2004).
- [8] T. Fleischer, M. Decker, U. Fiedeler, *Technological Forecasting and Social Change* 72(2005), in press
- [9] T. Fleischer,  
*In: R. Coenen, A. Grunwald, (Hrsg.), Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland. Analyse und Lösungsstrategien*, edition sigma, Berlin: 2003, S. 356-373
- [10] H. Paschen, C. Coenen, T. Fleischer, R. Grünwald, D. Oertel, C. Revermann, *Nanotechnologie in Forschung, Entwicklung, Anwendung. Stand und Perspektiven*. Springer Verlag, Berlin (2004)
- [11] U. Fiedeler, T. Fleischer, M. Decker, *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Heft 1, S. 121, (2004).
- [12] R.N. Kostoff, R.R. Schaller, *IEEE Transactions on Engineering Mgmt.* 48, S.132, (2001)
- [13] R. Galvin,  
*Science* 280, S. 803, (1998)
- [14] J. D. Linton, S. T. Walsh,  
*Technological Forecasting and Social Change* 71 S.1 (2004)
- [15] P. Groenveld,  
*Research Technology Management*, 40, S.48, (1997).
- [16] O. Bray, M. L. Garcia,  
*Technology Roadmapping: The Integration of Strategic and Technology Planning for Competitiveness*, Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), 27-31st July (1997)

# Fusionsforschung als Gegenstand parlamentarischer Technikfolgenabschätzung

R. Grünwald, A. Grunwald, D. Oertel, ITAS

## Fusionsforschung im gesellschaftlichen Kontext

Die Forschung zur Kernfusion stellt die Möglichkeit der Erschließung einer nahezu unerschöpflichen Energiequelle bis zur Mitte dieses Jahrhunderts in Aussicht. Angesichts der erheblichen Nachhaltigkeitsprobleme der Energieversorgung insgesamt (Endlichkeit fossiler Energieträger, Klimaschutz, Emissionsprobleme, Versorgungssicherheit, Unfallrisiken) stellt sich die Fusionsforschung in den Kontext einer langfristig angelegten Vorsorgestrategie zur Sicherung der zukünftigen Energieversorgung der Menschheit. Hierbei ist selbstverständlich eine ganze Reihe von gesellschaftlichen Implikationen enthalten:

- Finanzierung der Fusionsforschung angesichts bekanntermaßen knapper öffentlicher Mittel und der nicht garantierten Erfolgsaussichten
- Standortfragen wichtiger Forschungseinrichtungen wie in der Vergangenheit JET und Wendelstein oder ITER und DEMO in der Zukunft
- Einpassung möglicher Beiträge der Fusion in ein Energieportfolio und in Versorgungssysteme der Zukunft
- Folgen einer zukünftigen Einführung der Fusionstechnologie in großem Umfang in ökologischer, ökonomischer, sozialer und politischer Hinsicht.

Einige dieser Fragen werden im Rahmen des SERF-Projekts (Socio-Economic Research on

Fusion) als Bestandteil des Europäischen Fusionsforschungsprogramms bearbeitet. Ein übergreifender gesellschaftlicher Diskurs zur Fusion jenseits dieser Arbeiten existiert jedoch bislang nicht.

## Die TAB-Studie zur Fusionsforschung

Vor diesem Hintergrund hat der Bundestag das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB, vgl. Grunwald/Petermann in diesem Heft) 2001 damit beauftragt, den Stand der Entwicklung, die Wirtschaftlichkeit, die Sicherheit, die Umwelteigenschaften sowie forschungs- und industriepolitische Aspekte der Kernfusion unter Hinzuziehung externer Gutachter zu untersuchen. Ein wichtiges Motiv hierfür war, dass zu diesem Zeitpunkt die Standortfrage für das internationale Großexperiment ITER sowie dessen Finanzierung zur Entscheidung anstanden. Zu diesen Fragen bestehen im politischen Raum klare Fronten: CDU/CSU und FDP befürworten die Fusionsforschung uneingeschränkt, SPD und Bündnis 90/Die Grünen stehen ihr kritisch gegenüber [1].

## Methodische Probleme und Herausforderungen

Das Forschungsfeld wurde zunächst nach „einfachen“ Leitfragen gegliedert (s.u.). In der Beantwortung waren vor allem zwei Herausforderungen zu bewältigen. Zum einen sind auf Grund des sehr langen Zeithorizontes von 50 Jahren Extrapolationen erforderlich, die erheblich über

den gesicherten gegenwärtigen Stand der Erkenntnis hinausgehen. Auf die damit verbundenen Unsicherheiten wurde jeweils hingewiesen, um nicht eine falsche Verlässlichkeit zu suggerieren [2].

Zum anderen sind in der Fusionsforschung Sachverstand und Expertentum auf der einen Seite und Interesse an der Fortführung auf der anderen eng miteinander gekoppelt [3]. Daher wurde – im Rahmen eines Gutachtens [4] – ein breites Spektrum von Befürwortern und Kritikern interviewt, damit jeweils die zentralen Argumente mit einbezogen werden konnten. Zusätzlich wurde auch die parlamentarische Anhörung „Kernfusion“ vom 28.03.2001 intensiv ausgewertet.

Die in der Technikfolgenabschätzung geläufige Problematik, dass Wissen und Bewertungen häufig nicht sauber getrennt werden können, trifft angesichts der beiden genannten Schwierigkeiten auf ein Assessment der Fusion besonders zu. Auch unter Wissensaspekten scheinbar einfache Angelegenheiten wie Kostenvergleiche können sensible Bewertungsprobleme beinhalten. Die Aufwendungen für Fusion könnten, als Beispiel, einerseits mit denen für erneuerbare Energien, andererseits mit denen der experimentellen Elementarteilchenphysik (die Großanlagen wie DESY benötigt) verglichen werden. Je nach Vergleichsmaßstab könnten sie als hoch oder als weniger hoch bewertet werden. Es kommt also immer darauf an, in welche Kontexte man bestimmte Daten stellt.

## Ergebnisse

### Was kostet die Fusionsforschung?

In den letzten 30 Jahren wurden erhebliche öffentliche Mittel in die Förderung der Fusionsforschung investiert. In der Europäischen Union wurden bis Ende der neunziger Jahre nahezu 10 Milliarden Euro für die Fusionsforschung aufgewendet. In Deutschland wurden in den letzten Jahren im Mittel etwa jährlich 100 Millionen Euro aus Bundesmitteln in die Fusionsforschung investiert. Bis zur möglichen Realisierung der Stromerzeugung durch Kernfusion müsste nach heutiger Schätzung die Forschung und Entwick-

lung noch einmal über 50 Jahre in einem Umfang von insgesamt etwa 60-80 Milliarden Euro – davon innerhalb der EU 20 bis 30 Milliarden Euro – gefördert werden.

ITER wurde von zunächst 7 auf 3,5 Milliarden Euro redimensioniert, die sich voraussichtlich über zehn Jahre verteilen werden. Die internationalen Verhandlungen zu Budgetfragen hängen eng mit der Standortdiskussion zusammen und erwiesen sich bis zum heutigen Tage als außerordentlich komplex. Der gegenwärtige Stand ist, dass die EU sich auf einen gemeinsamen Vorschlag für einen Standort geeinigt hat (Cadarache / Frankreich), der in Konkurrenz zum von Japan

vorgeschlagenen Standort Rokkasho steht. Eine endgültige Entscheidung zwischen diesen beiden Vorschlägen steht noch aus. Da ein Standortvorschlag Kanadas nicht zum Zuge kam, hat sich Kanada inzwischen aus dem ITER-Projekt zurückgezogen [5].

### Wozu brauchen wir Kernfusion?

Die Argumente für die Fusionsenergie sind im Wesentlichen von Vorsorgeüberlegungen bestimmt. Alle globalen Energieszenarien gehen von einem weiter steigenden Energiebedarf aus (siehe Abb. 1). In einigen Szenarien nimmt der weltweite Bedarf an Primärenergie bis zum Jahr 2050

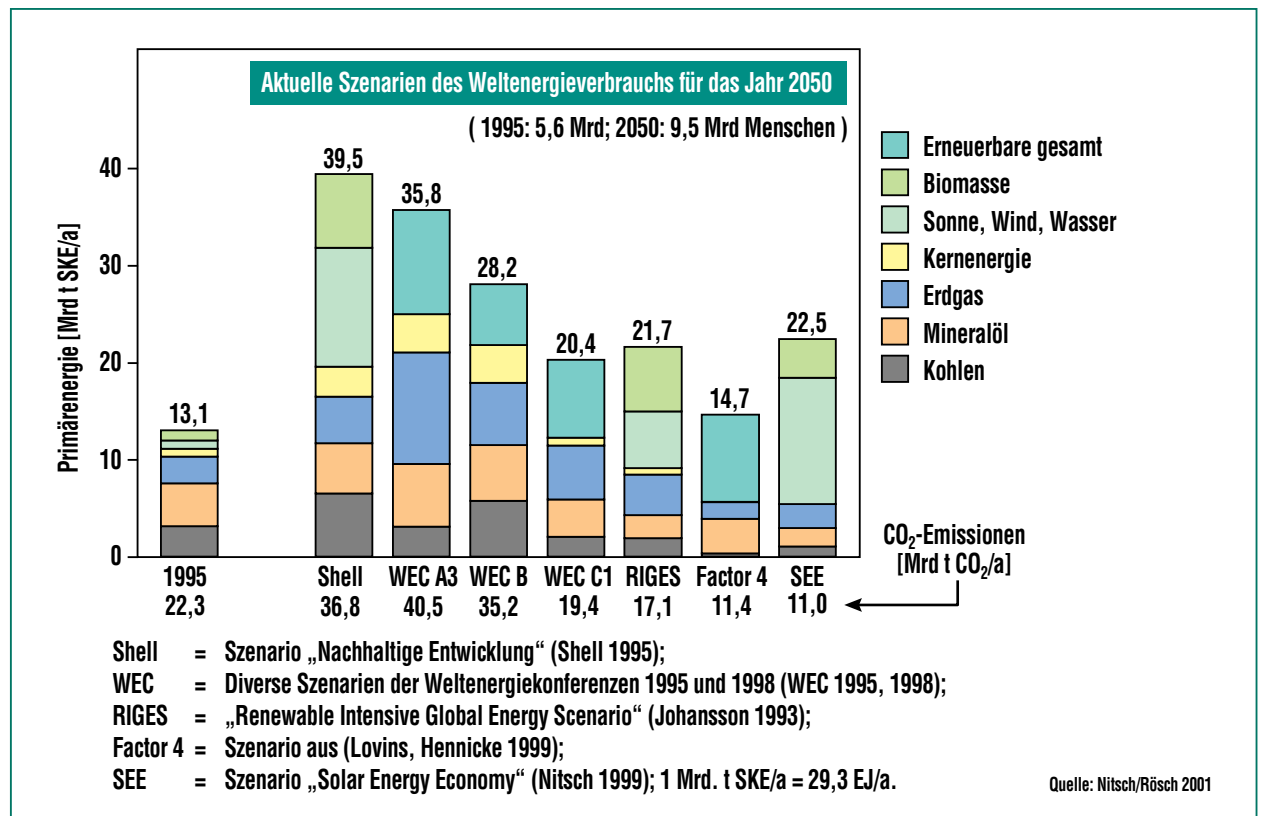


Abb. 1: Alle globalen Energieszenarien gehen von einem weiter steigenden Energiebedarf aus. In einigen Szenarien nimmt der weltweite Bedarf an Primärenergie bis zum Jahr 2050 auf das Zwei- bis Dreifache des Wertes von 1990 zu.

auf das Zwei- bis Dreifache des Wertes von 1990 zu. Mit Energie-sparmaßnahmen kann diese Entwicklung höchstens gebremst werden. Klimaschutzaspekte erfordern langfristig einen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger. Dies ist auch sinnvoll aus der Nachhaltigkeitsperspektive, weil die begrenzten fossilen Ressourcen dann für andere Nutzungen erhalten bleiben.

Die durch die Verknappung der fossilen Energieträger und den steigenden Weltenergiebedarf entstehende Lücke in der Energieversorgung wird in vielen Energieszenarien im Wesentlichen durch regenerative Energieträger geschlossen. Regenerative Energieträger und Kernfusion werden für 2050 daher oft in einer gewissen Konkurrenz zueinander diskutiert. Es ist jedoch durchaus eine Koexistenz beider Optionen der Energiebereitstellung denkbar, denn im Hinblick auf die Art der Anlagen liegt vielfach eine Komplementarität vor: Fusionskraftwerke wären als zentrale großtechnische Anlagen vor allem zur Sicherung der Grundlast in urbanen Regionen geeignet. Regenerative Energieträger hingegen werden eher in dezentralen kleineren Einheiten realisiert.

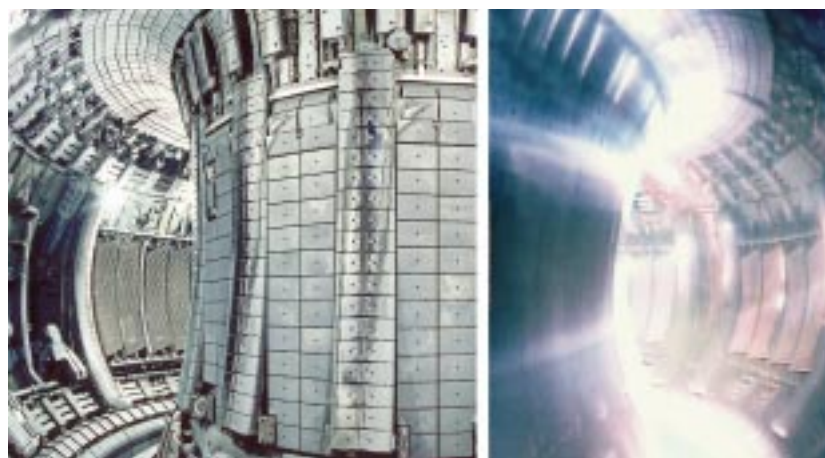
### Wie sicher ist Kernfusion?

Ein wesentlicher Unterschied zu Kernspaltungs-Kraftwerken besteht darin, dass unkontrollierte nukleare Kettenreaktionen in Fusionsreaktoren naturgesetzlich ausgeschlossen sind. Katastrophale Unfallszenarien sind dennoch vorstellbar. Welche Typen

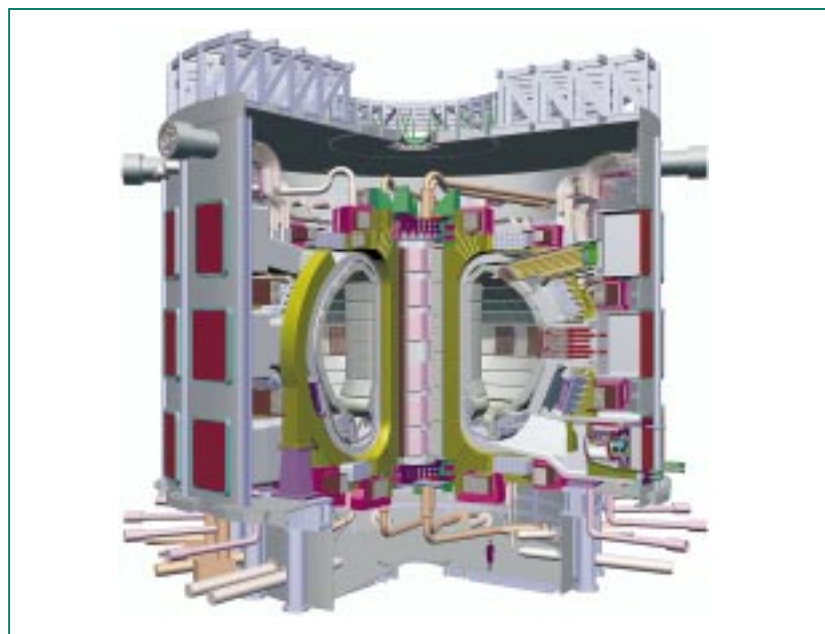
von Unfällen mit welcher Wahrscheinlichkeit eintreten könnten und in welchem Umfang das radioaktive Inventar in diesem Fall freigesetzt werden könnte, hängt vom Reaktordesign ab. Ob das Ziel der inhärenten Sicherheit er-

reicht werden kann, hängt daher von den Ergebnissen einer noch über Jahrzehnte zu leistenden Forschungs- und Entwicklungsarbeit ab.

Der Fusionsbrennstoff Tritium wird in verschiedenen fortge-



**Abb. 2:** Blick in das Innere von JET (Joint European Torus), der zur Zeit weltweit größten Versuchsanlage für die Fusionsforschung (Bildquelle: EFDA-JET).



**Abb. 3:** Der in weltweiter Zusammenarbeit geplante Experimentalkernreaktor ITER (ITER: lat. „der Weg“) ist der nächste technologische Schritt auf dem Weg zum Fusionskraftwerk (Bildquelle: ITER – International Team).



schrittenen Kernwaffendesigns eingesetzt und hat Bedeutung für die Weiterverbreitung von Kernwaffen. Tritium stellt daher ein Proliferationsrisiko beim Betrieb von Fusionsreaktoren dar. Das Risiko der Erbrütung waffenfähiger spaltbarer Materialien (z.B. Plutonium) ist jedoch bei einem Fusionsreaktor wesentlich niedriger.

### **Wie wirtschaftlich ist Strom aus Kernfusion?**

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Fusionsstrom gegenüber konkurrierenden Energieträgern ist höchst spekulativ. Allein die Geschwindigkeit des technologischen Fortschrittes und die Kostenentwicklung bei konkurrierenden, z.B. regenerativen Energiesystemen, die von immenser Bedeutung für deren Konkurrenzfähigkeit ist, entziehen sich der langfristigen Vorhersagbarkeit. Als sicher gilt, dass die Investitionen gegenüber den Betriebskosten die Stromgestehungskosten dominieren werden. Für eine Anlage mit 1.000 MW<sub>e</sub> werden fünf bis sechs Mrd. Euro angegeben. Fusionskraftwerke werden sich daher hauptsächlich für die zentralisierte Stromerzeugung in der Grundlast eignen. Selbst die Befürworter der Kernfusion gehen davon aus, dass die Stromgestehungskosten aus heutiger Sicht eher höher als bei konkurrierenden Technologien liegen werden.

Wenn der gegenwärtige weltweite Trend zur Liberalisierung der Energiemärkte anhält, wäre die hohe Kapitalintensität ein gewichtiger Nachteil für Fusionskraftwerke. Dazu kommt, dass Fusionskraft-

werke am Anfang mit zumindest teilweise bereits abgeschriebenen Kraftwerken konkurrieren müssten, die zu Grenzkosten produzieren können. Möglicherweise würden Anfangsschwierigkeiten beim Markteintritt eine staatliche Unterstützung erforderlich machen (wie dies gegenwärtig für erneuerbare Energien der Fall ist).

### **Wie umweltfreundlich ist Strom aus Kernfusion?**

Beim Fusionsprozess entstehen keine klimaschädigenden Treibhausgase. Eine funktionierende Fusionstechnologie wäre daher geeignet, ab der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts einen Beitrag zur Vermeidung von Klimaveränderungen zu leisten. Werden Umwelt- und Klimaschutzziele in den nächsten Jahrzehnten vergleichsweise hoch gewichtet, würden die ersten Fusionskraftwerke ein Umfeld vorfinden, welches wahrscheinlich durch die intensive Nutzung erneuerbarer Energieträger und einen – im Vergleich zu einer Situation ohne derartige Maßnahmen – geringer ausfallenden Energiebedarf gekennzeichnet wäre.

Die in den Reaktoren erzeugten radioaktiven Abfälle (im Wesentlichen aktivierte Strukturmaterialien und Reststoffe aus der Tritium-Gewinnung) stellen das radiologische Hauptproblem bei der Kernfusion dar. Wie diese zu bewerten sein werden, hängt von der Weiterentwicklung der Technologie und der verwendeten Materialien in den nächsten Jahrzehnten ab. Ein weiteres radiologisches Risiko ist der Brennstoff Tritium. Tritium ist sehr mobil und

daher im Fall einer Freisetzung schwer beherrschbar.

Die Ressourcensituation ist im Wesentlichen unproblematisch. Die heute bevorzugten Fusionsbrennstoffe, Deuterium und Tritium, das aus Lithium gewonnen wird, sind weltweit in großen Mengen vorhanden. Da die Fusionsenergie im Brennstoff in hoher Dichte gespeichert ist, sind kaum Transporte erforderlich. Die Mengen an Deuterium und Lithium, die jährlich für ein 1.000 MW<sub>e</sub>-Fusionskraftwerk benötigt würden, könnten in einem einzigen Lastwagen angeliefert werden. Dabei werden keine radioaktiven Substanzen transportiert.

### *Die Beratung des TAB-Berichts im Bundestag*

Die Behandlung der TAB-Studie im Bundestag hat deutlich die unterschiedlichen Positionen der Fraktionen erkennen lassen. Bereits bei der Abnahme des Berichts im Forschungsausschuss kam es zu heftigen Diskussionen (was jedoch die einstimmige Abnahme nicht behinderte).

Die Kontroverse setzte sich auch in der Plenardebatte am 8. Mai 2003 anlässlich zweier Anträge der CDU/CSU [6] und der FDP [7] zum Thema fort. Die Opposition forderte übereinstimmend eine Stärkung der Fusionsforschung, die CDU/CSU setzte sich sogar dafür ein, dass sich die Bundesrepublik um den Standort für ITER bewerben solle. Auf der anderen Seite standen SPD und Bündnis 90/Die Grünen, die die Forschungsförderung der Fusion zugunsten der Förderung erneuerbarer Energien reduzieren wollten.

Welche Wirkungen der TAB-Bericht im Bundestag entfaltet hat, ist schwierig zu sagen. Zum einen ist es generell diffizil, diese Wirkungen konkret aufzuzeigen. Auch wenn sich die Position von Fraktionen oder einzelnen Abgeordneten auf Grund eines TAB-Berichts verändert hätte, ist der Nachweis dieses Zusammenhangs ohne explizite diesbezügliche Äußerungen kaum möglich. Zum anderen zeigt die Erfahrung, dass es in Feldern mit festgefahrenen konträren Positionen wie der Kernfusion (oder beispielsweise der Kohlepolitik) nicht einfach ist, diese durch reine Sachargumente aufzuweichen. Dennoch besteht die Hoffnung, dass der TAB-Bericht zu einer rationaleren Debattenkultur beitragen kann. Dies lässt sich nach der abschließenden Beratung des Berichts im Forschungsausschuss, die noch aussteht, möglicherweise besser beantworten.

## Ausblick

Entscheidend für eine weitere Verfolgung der Option Kernfusion ist die langfristige Strategie zur Energieversorgung. Kernfusion kommt vor allem als Vorsorgeoption für eine fernere Zu-

kunft, in der Reserven und Ressourcen fossiler Energieträger weitgehend erschöpft sind, in Betracht. Sie könnte zu einem Energiemix beitragen, der robust gegenüber unterschiedlichen politischen und wirtschaftlichen Entwicklungen ist. Zwar ist in vielen Fragen heute nicht verlässlich zu beurteilen, ob und inwieweit die Fusionsenergie den vielen Facetten des Nachhaltigkeitspostulates entspricht. Es ist aber möglich, bereits gegenwärtig entsprechende Anforderungen zu formulieren und die weitere Entwicklung der Fusionstechnologie an diesen Anforderungen zu orientieren.

Durch Erschließung einer praktisch unerschöpflichen Energiequelle und die universelle Verfügbarkeit ihrer Brennstoffe ist Kernfusion geeignet, soziale Konflikte um Ressourcen zu vermeiden. Zudem trägt die ausgeprägte grenzüberschreitende Kooperation bei der Fusionsforschung zur internationalen Verständigung bei. Fusionskraftwerke könnten jedoch auf Akzeptanzprobleme stoßen, weil sie Großprojekte darstellen, ein wesentliches radioaktives Inventar enthalten und Endlager für radioaktive Abfälle

erforderlich machen. Die Fusions-Community ist bemüht, die Unterschiede zur Spaltungstechnologie zu betonen. Ob das in einer massenmedial geprägten Gesellschaft dauerhaft gelingt, bleibt abzuwarten.

Die Energiegewinnung durch Kernfusion wird nur dann Akzeptanz in der Bevölkerung erlangen, wenn sie den Bedürfnissen und Anliegen der Gesellschaft entspricht. Reine Informations- oder Werbemaßnahmen für Zwecke der Akzeptanzbeschaffung haben sich als ungeeignet erwiesen. Zur Vermeidung von Akzeptanz- und Vertrauenskrisen ist ein frühzeitiger intensiver und ergebnisoffener Dialog zwischen Wissenschaft, Interessengruppen und der Öffentlichkeit erforderlich, der auch die vorhandenen Unsicherheiten des Wissens, des technischen Könnens und der einschlägigen Bewertungen offen kommuniziert. Dies ist, angesichts der Schwierigkeit, dass eine direkte Betroffenheit in der Gesellschaft aufgrund der zeitlichen Ferne und der Lebensweltferne der Fusion kaum festzustellen ist, keine einfache Aufgabe.

## Literatur

- [1] *Deutscher Bundestag 15. Wahlperiode 43. Sitzung am 8. Mai 2003 Berlin*
- [2] A. Grunwald, R. Grünwald, D. Oertel, H. Paschen, *Kernfusion Sachstandsbericht. TAB-Arbeitsbericht Nr. 75, Berlin (2002), Dieser Bericht stieß auch am Europäischen Parlament auf Interesse und wurde dort ins Englische übersetzt*
- [3] H.-U. Nennen, D. Garbe, *Das Expertendilemma: zur Rolle wissenschaftlicher Gutachter in der öffentlichen Meinungsbildung. Springer, Heidelberg et al. (1996),*
- [4] *Basler & Hofmann Kernfusion. Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages, Zürich (2001)*
- [5] [http://www.iter.org/ITERPublic/ITER/new\\_text.html](http://www.iter.org/ITERPublic/ITER/new_text.html), abgerufen am 08.09.04
- [6] *Deutscher Bundestag Drucksache 15/929 Antrag von CDU/CSU vom 06.05.2003 „Unterstützung für eine Bewerbung des Standortes Greifswald/Lubmin für den ITER (Internationaler Thermonuklearer Experimenteller Reaktor).“*
- [7] *Deutscher Bundestag Drucksache 15/685 Antrag der FDP vom 19.03.2003 „Zukunftsorientierte Energieforschung – Fusionsforschung in Deutschland und Europa vorantreiben.“*

# Sozio-ökonomische Herausforderung des Grid-Computing

C. Orwat, ITAS; C. Holtmann, Universität Karlsruhe, Institut für Informationswirtschaft und -management

## Einleitung: Grid-Computing und e-Science

In vielen Fachdisziplinen beruht heute die Erkenntnisgewinnung und -verbreitung auf der digitalen Datenerfassung, Systemmodellierung und Datenauswertung. Diese Tätigkeiten erfolgen oft in multidisziplinären Kooperationsformen, die elektronische Netzwerke benutzen. Grid-Computing bildet dabei in immer größerem Umfang die elektronische Netzinfrastruktur und die konzeptionelle Grundlage der Organisationsform von Forschung und Entwicklung sowohl in der öffentlich-geförderten Wissenschaft als auch in der privaten F&E [z.B. 1, 2]. Oft haben die zu verarbeitenden Datenmengen ein bisher nicht gekanntes Ausmaß erreicht, das die Verarbeitungskapazitäten einzelner Organisationen überschreitet. Dazu ermöglichen Anwendungen des Grid-Computing unter anderem, dass die bei verschiedenen Organisationen vorhandenen Ressourcen, wie z.B. Rechnerleistung, in koordinierter Weise gemeinsam und in flexiblen Kombinationen integrativ genutzt und ausgetauscht werden können (bzw. Zugriff gewährt wird). Neben der Rechnerleistung handelt es sich bei den computer-basierten Ressourcen auch um Speicherplatz, wissenschaftliche Instrumente, Datenbestände, Modelle, Software oder Informationen [3].

Grids bilden die Basis-Infrastruktur für die Umsetzung der so genannten e-Science („digitally enhanced science“). Der Begriff „e-Science“ bezieht sich auf neue

wissenschaftliche Arbeitsweisen in globalen Kooperationen und auf die Realisierung der dazu dienenden fortschrittlichen technischen Infrastruktur [4, 5]. Neben den vielfältigen Förderungen zur Cyberinfrastructure (USA), Grid-Computing (EU) oder e-Science (UK) wurde auch jüngst in Deutschland das e-Science Programm ausgerufen. Die D-Grid Initiative, an der das Forschungszentrum Karlsruhe beteiligt ist [6], hat das deutsche e-Science Programm vorbereitet, das ab 2005 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird [7]. Das Programm hat sich zum Ziel gesetzt, Voraussetzungen der e-Science zu schaffen, d.h. eine Grid-Computing Infrastruktur aufzubauen, und sie in Pilot-Projekten zu realisieren. Das Programm zielt auf eine Arbeitsweise in der Wissenschaft, die durch gemeinsame, kooperative Entwicklung, gegenseitigen Öffnung und Nutzung der Ressourcen gekennzeichnet ist [7].

## Herausforderungen des Grid-Computings

Der Vorteil des Grid-Computing (etwa gegenüber einzelnen Höchstleistungsrechnern) beruht auf der effizienteren Ausschöpfung der dezentral vorliegenden computer-basierten Ressourcen. Aus Nutzersicht sollen weltweit verstreute Ressourcen zugänglich werden, die in idealer Weise rasch und flexibel zur Verfügung stehen und zu neuen Leistungsbündeln integriert werden können. Die Besonderheit des Grid-Computing besteht unter anderem darin, dass die Res-

sourcen von unterschiedlichen Organisationen stammen und von ihnen administriert werden können. Mit technischen Mitteln, insbesondere durch Middleware, wird versucht, heterogene Ressourcen zu integrieren, so dass die Heterogenität und die unterschiedlichen Ursprünge an der Nutzerschnittstelle nicht mehr wahrnehmbar sein sollen.

Um diese Vision der Ressourcenintegration zu realisieren, sind neben den technischen aber auch eine Vielzahl sozio-ökonomischer bzw. juristischer Herausforderungen zu begegnen. Solche im Folgenden skizzierten Fragen sind politisch zu bewerten und zu beantworten sowie gesetzlich oder zumindest vertraglich zu regeln. Aus sozio-ökonomischer Perspektive geht es hierbei um die Anpassung oder Entwicklung geeigneter Institutionen.

## Institutionelle Herausforderungen

Im vorliegenden Kontext werden Institutionen als formale und informelle Regeln und Normen zur Lenkung individuellen Verhaltens verstanden, einschließlich der Vorkehrungen zu ihrer Durchsetzung. Da sie strukturgebend und handlungskanalierend wirken, reduzieren sie die Unsicherheiten in Handlungen und Interaktionen von Individuen [z.B. 8, 9]. Die Ergebnisse des eigenen Handelns oder des Handelns in Austauschprozessen mit anderen Individuen werden besser vorhersehbar und planbar, wodurch Friktionen und Koordinationsaufwand vermindert und mehr Anreize zum Austausch gegeben werden. Bei-

spielsweise ist anzunehmen, dass mehr Ressourcen in Austauschprozesse eingebracht werden, wenn Regeln genau definieren, was man für die Bereitstellung erhält und diese Entlohnung ausreichend ist.

Beim Aufbau von Grid Infrastrukturen sind grundlegend Regeln des netzbasierten Austauschs für die oben genannten Ressourcen zu entwickeln und zu etablieren bzw. fortzuentwickeln. Es muss definiert werden, wer wann zu welchen Konditionen auf welche Ressourcen zugreifen darf. Die Institutionengestaltung des Grid-Computings bezieht sich dabei unter anderem auf Finanzierung, Zugang und Ressourcenallokation, Bewertung und Kompensation der Ressourcennutzung, Anreize zur Bereitstellung, Interoperabilität und Ressourcenbeschreibung, Sicherung der Qualität, oder die Wahrung intellektueller Eigentumsrechte.

Beispielsweise ergeben sich hinsichtlich der Zugangsfragen zu Grid-Computing Infrastrukturen und grid-basierten Ressourcen politische und juristische Fragestellungen, die aus der föderalen Förderungsstruktur sowie der Mittelbindung an Forschungsorganisationen rühren. Ebenso sind Organisationsformen (Gremien) der Erteilung von Zugang an neue Dimensionen der e-Science anzupassen oder neu zu gestalten.

Bezüglich der Motivation zur Verfügungsstellung von Ressourcen ist es beispielsweise noch offen, inwieweit und unter welchen Bedingungen Wissenschaftler motiviert werden können, wissen-

schaftliche Datensätze in gemeinsame grid-basierte Datenbanken einzuspeisen. Aus der Gesamtsicht der Wissenschaft wäre eine derartige Ressourcenteilung angesichts begrenzter finanzieller Mittel in bestimmten Situationen sinnvoll, allerdings sind auf individueller Ebene Motivationsfragen noch weitgehend ungeklärt [10]. Es ist z.B. abzusehen, dass sich die Situation für verschiedene Wissenschaftsbereiche dahin gehend unterscheidet, ob ihre Ergebnisse eher in Patenten oder Publikationen verwertet werden. In allen Fällen sind Institutionen, die geeignete Anreize stiften, anzupassen oder einzurichten.

Hinsichtlich der Kompensation für Ressourcennutzungen, insbesondere zwischen verschiedenen Organisationen, sind zunächst Fragen der Bewertung der Ressourcen und ihrer Nutzung zu lösen, die aus ökonomischer Perspektive insbesondere für Daten und diverse Arten von Information noch nicht vollständig geklärt sind. Zudem sind geeignete Geschäftsmodelle und Formen der Verrechnung mit oder ohne Geldeinheiten zu entwickeln. Dabei bietet sich etwa der Gebrauch von Geldeinheiten insbesondere dann an, wenn Geldeinheiten bereits die Basis der Kalkulation des Ressourcenanbieters bilden. Geldeinheiten bedürfen keiner (schwierigen) Umrechnungen mehr und senken dadurch die Koordinationsaufwendungen des organisations-übergreifenden Ressourcenaustausches.

Insgesamt kann erwartet werden, dass derartige institutionelle Fragestellungen noch schwieriger zu

beantwortet sind, wenn es nicht nur um den grid-basierten Austausch von Rechnerleistung, sondern wenn es – wie anvisiert – um Datensätze, Modelle, verschiedene Informationsarten oder sogar Expertise geht.

Institutionelle Vorkehrungen der e-Science lassen sich teilweise in Software codieren, wie z.B. bei Zugangsregelungen. Zum einen muss dabei sichergestellt werden, dass die durch Software-Codierung faktisch entstehenden Regelungen, den Gegebenheiten und Erwartungen entsprechen, die aus herkömmlichem Recht, Normen und Gewohnheiten im Wissenschaftssystem resultieren. Das Verhältnis zwischen der Entwicklung und Etablierung von institutionellen Vorkehrungen in legitimierten politischen Entscheidungs- und Beteiligungsprozessen einerseits und der Softwareentwicklung und -implementierung andererseits bedarf Aufmerksamkeit und Klärung. Zum anderen kann erwartet werden, dass die Codierung in Software unvollständig alle institutionellen Fragestellungen abbildet, da z.B. Ausnahmen berücksichtigt werden müssen oder da eine Softwarecodierung zu komplex würde.

## Fazit

Wissenschaftliche Aktivitäten sind immer soziale Prozesse, auch wenn sie in elektronischen Umgebungen stattfinden. Institutionelle und organisatorische Vorkehrungen, die diese sozialen Prozesse lenken, sind auf die neuen e-Science Infrastrukturen anzupassen oder die Infrastruk-

turtechniken kommen den institutionellen und organisatorischen Anforderungen des Wissenschaftssystems nach. Es kann allerdings erwartet werden, dass ohne die grundlegende Beantwortung derartiger Fragestellungen nicht die angestrebte breite Nutzung der Potentiale des Grid-Computing realisiert wird.

Derartige „people-centric“ Herausforderungen, die vor allem mit interdisziplinären wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen An-

sätzen angegangen werden können, werden auch von der Fachdisziplin des Grid-Computing selbst erkannt [1, 10, 11, 12]. So fordern etwa Foster et al. [13]: „The social, economic, and political aspects of Grids are going to become increasingly important. ... The large number of users, cultures, and usage modalities will demand not only new policy specification, monitoring, and enforcement mechanisms but also an improved understanding of the social and economic issues

that influence stability and productivity. Social scientists also have much to contribute to our understanding of issues of trust and usability.“

## Literatur

- [1] K. Baxevanidis, H. Davies, I. Foster, F. Gagliardi, *Grids and research networks as drivers and enablers of future Internet architectures*, *Computer Networks* 40(1), 2002, 5-17
- [2] W.E. Johnston, *Computational and data Grids in large-scale science and engineering*, *Future Generation Computer Systems* 18(8), 2002, 1085-1100
- [3] I. Foster, C. Kesselman, *The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure, 2nd Edition*, Morgan Kaufmann 2003
- [4] J. Taylor *e-Science definition:* <http://www.e-science.clrc.ac.uk>
- [5] M. Kunze, H. Marten, *Grid-Computing und e-Science*, *Nachrichten – Forschungszentrum Karlsruhe* 34(4), 2002, 280-283
- [6] *D-Grid Initiative:* <http://www.d-grid.de>
- [7] *D-Grid Initiative, e-Science in Deutschland: F&E Rahmenprogramm 2005 bis 2009*, 6.7.2004: <http://www.d-grid.de>
- [8] C. North, *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press 1990
- [9] O.E. Williamson, *The Economic Institution of Capitalism*, The Free Press 1985
- [10] T. Hey, A.E. Trefethen, *The UK e-Science Core Programme and the Grid*, *Future Generation Computer Systems* 18(8), 2002, 1017-1031
- [11] D.E. Atkins, K.K. Droegemeier, S.I. Feldman, H. Garcia-Molina, M.L. Klein, D.G. Messerschmitt, P. Messina, J.P. Ostriker, M.H. Wright, *Revolutionizing Science and Engineering Through Cyberinfrastructure. Report of the National Science Foundation Blue-Ribbon Advisory Panel on Cyberinfrastructure, 2003*, <http://www.cise.nsf.gov/sci/reports/atkins.pdf>
- [12] D. De Roure, J.A. Hendler, *E-Science: The Grid and the Semantic Web*, *IEEE Intelligent Systems* 19(1), 2004, 65-71
- [13] I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke, *The Anatomy of the Grid, Enabling Scalable Virtual Organizations*, *International Journal of High Performance Computing Applications* 15(3), 2001, 200-222, 62

# Auswirkungen der Informationstechnologien auf die Arbeitswelt

B.-J. Krings, ITAS

## Einleitung

Die Frage nach dem Verhältnis von technologischer Entwicklung und Arbeitswelt ist so alt wie die Industriegesellschaft selbst. Die technischen Neuerungen des 18. Jahrhunderts riefen Aufregung und Neugier in der gebildeten Schicht hervor, die Idee des technologischen Fortschritts wurde als zentrales Instrument der Aufklärung begriffen. Seit Beginn des 19. Jahrhunderts erschien die Industrialisierung jedoch zunehmend mehr in Gestalt bedrohlicher Übergriffe für die Handwerker und Fabrikarbeiter, da die Handarbeit unter dem Konkurrenzdruck der maschinellen Massenfabrikation sowie der voranschreitenden Arbeitsteilung und Rationalisierung in der fabrikindustriellen Produktion stand. „Selbst der engagierteste Verfechter von Technik und Gewerbe in Preußen, der Geheime Staatsrat Gottlob J.C. Kunth, musste sich 1824 in einer Betrachtung über den „Nutzen oder Schaden der Maschinen“ [1] für die Menschen mit diesem Problem auseinandersetzen. Nahezu zwei Jahrhunderte später bestreitet niemand ernsthaft, dass sich dieser rasante technologische Wandel in den westlichen Industrieländern kontinuierlich fortgesetzt hat. Mit dem Einsatz der Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) in nahezu allen Branchen wird der Wandel von der Industrie- zur Informationsgesellschaft analysiert und diskutiert. Die Frage nach dem Nutzen und dem Schaden für die arbeitenden Menschen oder moderner gesprochen, den Auswirkungen der IuK auf die Arbeits-

welt hat an Aktualität kaum eingebüßt. Im Gegensatz zum ausgehenden 18. Jahrhundert sind die Antworten jedoch wesentlich komplexer und vielschichtiger geworden. Die folgenden Ausführungen geben einen Einblick in die Themenbereiche, die im Zusammenhang mit diesen Technologien diskutiert werden. Hierbei wird der Akzent auf die Diskussion um die Flexibilisierung der Arbeitszeit gelegt [2].

## Ein neues technologisches Konzept

Kennzeichnend für die rasante Entwicklung der IuK-Industrie ist das Zusammenspiel der Informationstechnik (Computer) mit der Telekommunikation. Als die zentralen technologischen Innovationen werden einerseits der Personal Computer (PC) sowie das Internet genannt, die Anfang der 90er Jahre zu einem neuen „technologischen Grundkonzept“ [3] zusammengeführt wurden. Diese Zusammenführung hat eine bahnbrechende Entwicklungsphase der IuK-Industrie eingeleitet. Auf der Basis dieses technologischen Grundkonzepts wurde ein neues Leitbild der Computernutzung entworfen, das einen großen Einfluss auf die weltweiten Vernetzungsprozesse sowie Produktionsformen hatte. Nicht nur im Rahmen der privaten Nutzung konnten aufgrund der Funktionalität des Internets breiten Schichten der Gesellschaft neue Formen der Kommunikation eröffnet werden. Der Siegeszug dieses technologischen Konzepts wurde seit Mitte der 90er Jahre in Deutschland vor allem durch das Bestreben der Unter-



nehmen vorangetrieben, diese Kommunikationsstruktur für die „Koordination weltweiter Wirtschaftsaktivitäten von Netzwerkunternehmen und für eine neuartige Gestaltung der Schnittstelle zum Kunden zu nutzen“ [3]. Diese Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen und vollzieht sich weitgehend unabhängig vom Branchentypus. Zentral ist jedoch, dass das Organisationsprinzip von Netzwerken in den Unternehmen eingeführt wurde, was eine neue Qualität der Produktionsprozesse eingeleitet hat. Diese Veränderung hatte einen sehr starken Einfluss auf neue Organisationsformen innerhalb der Unternehmen wie beispielsweise zunehmende Dezentralisierung anstelle von hierarchischen Strukturen, Flexibilisierung der Arbeitszeit sowie steigende Bedeutung von Wissen für die Leistungserstellung.

In diesem Sinne haben die IuK in der letzten Dekade nicht nur einen Wandel von ganzen Tätig-

keitsfeldern und Berufsprofilen, sondern auch enorme Veränderungen der Arbeitswelt hervorgehoben [4]. Besonders prägend ist hierbei die Angleichung der Arbeitsvollzüge in unterschiedlichen Branchen. So werden die Personal Computer als ein zentrales Arbeitsinstrument in nahezu allen Sektoren eingesetzt, wobei ihre Programme bei einer standardisierten Bedienung und Benutzeroberfläche auf höchst unterschiedliche Gebiete angewendet werden können. An die Beschäftigten werden durch die Einführung dieser Technologie neue qualitative Anforderungen herangetragen, die aufgrund der *Veränderung organisatorischer Strukturen* weit über das technische Know How hinaus reichen. In diesem Zusammenhang werden in der Literatur häufig soziale Kompetenzen, die Fähigkeit zur Teamarbeit, intrinsische Motivation, individuelle Agilität und Flexibilität genannt [5].

Exemplarisch wird im Folgenden die Flexibilisierung der Arbeitszeit betrachtet, da diese momentan

einen prominenten Stellenwert in der öffentlichen Diskussion einnimmt. Die Unternehmenseite fordert im Zuge fortschreitender Unternehmenskonzentration, des sich verschärfenden Wettbewerbs sowie als logische Fortsetzung neuer technisch-organisatorischer Konzepte die weitgehend freie Handhabung der Organisation der Arbeitszeit. Ihre Argumente richten sich hierbei auf die bessere Auslastung der Produktionsfaktoren, die Erhöhung der Produktivität und eine Senkung der Personalkosten. Je nach Branche und Sektor kann diese Flexibilisierung über oder unter den tariflich vereinbarten Zeitkonzepten liegen. Zentral ist jedoch an dieser öffentlichen Debatte, dass langfristig das Paradigma der „Normalarbeitszeit“ bzw. der „Normalarbeitsverhältnisse“ ausgehöhlt wird.

### Flexibilisierung der Arbeitszeit

Die Diskussion um die Flexibilisierung der Arbeitszeit ist nicht neu, es gab schon immer typi-

sche Branchen wie beispielsweise das Hotel- und Gaststättengewerbe, den Einzelhandel oder Pflegedienstleistungen, in denen die Arbeitszeiten außerhalb der „Normalarbeitszeit“ lagen. Auch die vielfältigen Diskussionen von Arbeitszeitmodellen, angefangen bei den Modellen der Schichtarbeit über die Verkürzung der Wochenarbeitszeiten bis zu den unterschiedlichen Formen der Teilzeitbeschäftigung fallen unter den Begriff der „Flexibilisierung“.

Insgesamt ist das Spektrum der Arbeitszeitmodelle seit Beginn der 90er Jahre vielfältiger geworden. Im Hinblick auf die Verteilung von Arbeitszeit werden in der arbeitssoziologischen und politischen Diskussion inzwischen unterschiedliche Zeithorizonte unterschieden: die Reichweite eines Erwerbslebens, der Zeitraum eines Jahres, der Zeitraum von Monaten, Wochen und Tagen [6]. Diese Zeiträume erlauben es zumindest normativ, unterschiedliche vitale Phasen des Lebens von Erwerbstätigen wie beispielsweise Mutterschaft, Kindererziehung oder auch Auszeiten in die Gestaltung der Erwerbsarbeit mit einzubeziehen, was sich auf die individuelle Gestaltung der Lebensführung auswirken kann [7].

Eine zentrale Funktion der Abgrenzung von Erwerbsarbeitszeit liegt in der Strukturierung der Alltagszeit in Erwerbsarbeitszeit und Freizeit. Die strikte Trennung zwischen beiden Bereichen wird vor allem durch den Einsatz von IuK obsolet, da die Gestaltung der Erwerbsarbeit einerseits geographisch aufgehoben werden kann, d.h. die Arbeit kann an be-



liebigen Orten bewältigt werden. Andererseits entspricht ein standardisiertes Arbeitsmuster nicht mehr den aktuellen Produktionsbedingungen, in denen aufgrund der „Gleichzeitigkeit der Arbeitsvorgänge“ [5, 6] ein deutlicher Rationalisierungsschub stattfindet.

Die Integration der IuK ermöglicht neue Anwendungen auf der Basis der simultanen Übertragung großer Datenmengen. Der schnelle Transfer und Austausch von Texten, Sprache, Bildern und Videos treibt die Gleichzeitigkeit von Arbeitsprozessen voran, was die Arbeitsvorgänge intensiviert und enorm beschleunigt. Beispielsweise sind global organisierte Unternehmen in der Lage, Tätigkeiten simultan und über verschiedene Zeitzonen hinweg auszuführen. So kann die Arbeitszeit in die kulturell bislang als Ruhephasen und Sozialzeiten ausgewiesenen Nacht- und Wochenendzeiten ausgeweitet und diese dadurch aufgehoben werden [6, 7, 8].

Die ausgeprägte Form der Rund-um-die-Uhr-Präsenz setzt sich als Leitidee, als Zeitmodell in verschiedenen Arbeitsbereichen durch. Beispielsweise gewinnt im Bereich der Warenbestellung oder bei den Call-Centern die Rund-um-die-Uhr-Betreuung eine wichtige Bedeutung. Vor allem im Dienstleistungsbereich ist die permanente Ansprechbereitschaft für Kunden einer der wichtigsten Wettbewerbsparameter geworden [9].

Beschleunigung und Intensivierung von Arbeitsprozessen können als die zentralen Auswirkungen der IuK beobachtet werden

[10,11]. Diese Tendenzen führten vor allem in dienstleistungsorientierten Branchen zu einem Wandel der Arbeitswelt. On-line-Kommunikation, Work-flow-Management, digitale Vernetzung und Wissensmanagement lassen sich nicht mehr in standardisierten Arbeitsstrukturen bewältigen, sondern verlangen ihrerseits nach einer individuellen Ausdifferenzierung der Arbeitsformen und -zeiten [9,10,11,12]. Die Dauer der wöchentlichen Arbeitszeit ist in der IuK-intensiven Branche sehr unterschiedlich ausgeprägt und kann nicht generalisiert werden [2,18].

Wie verschiedene Studien anschaulich zeigen, liegt *ein zentrales* Veränderungsmoment der Arbeitszeitstrukturen in dem „Formwandel des Kontrollregimes“ [2], d.h. die Kontrolle erfolgt nicht mehr über die geleistete Arbeitszeit, sondern über die zu erreichenden Arbeitsziele. Die Steuerung der formalen Kontrolle der geleisteten Arbeitszeit fällt weg, es wird ein fließender Übergang zu den immer üblicheren Modellen der „Vertrauensarbeitszeit“ [7] beobachtet. Hierbei wird die Kontrolle über Arbeitszeit und Anwesenheit zugunsten von konkreten Leistungsvereinbarungen aufgegeben. Die Beschäftigten sind auf diese Weise aufgefordert, ihre Arbeitszeiten individuell den Arbeitsanforderungen anzupassen.

Traditionell gibt es „klassische“ Sektoren, in denen eine Kultur der „Vertrauensarbeitszeit“ praktiziert wird. Der Journalismus (und der künstlerische Bereich), die Forschung sowie das mittlere und hohe Management gelten als prototypisch für den individuellen



Umgang mit der Arbeitszeit. Der Umgang mit der Arbeitszeit wird hierbei von der Norm geleitet, dass eine formale Begrenzung der Arbeitszeit den Anforderungen der zu leistende Arbeit kaum Genüge tun kann, was sich bei ansteigendem Wettbewerbsdruck sowie Kürzungen der Ressourcen verstärkt. Diese normative Erwartung wird an hohe Motivationsbereitschaft geknüpft und hat sich im Rahmen der o.g. Entwicklungen vor allem in qualifizierten und dienstleistungsorientierten Branchen durchgesetzt. In weniger qualifizierten Branchen werden die Arbeitsziele mehr und mehr an die Erfordernisse des Marktes angepasst, was – und dies zeigt die öffentliche Diskussion um neue Arbeitszeitmodelle – ebenfalls zu einer hohen Flexibilisierung der Arbeitszeit führen kann.



## Erosion der Erwerbsarbeit

Ohne Zweifel hat die Einführung der IuK die Arbeitsprozesse vor allem im Dienstleistungsbereich verändert, beschleunigt und intensiviert. Informationen sowie der Umgang mit Informationen werden zum entscheidenden Produktionsfaktor. Das moderne „Wissensmanagement“ (Stehr) als eine neue Form interaktiver und kommunikativer Prozesse ist nur als Folge neuer IuK vorstellbar. Die Nutzung der IuK verlangt von den Beschäftigten ein hohes Maß an abstrakten, theoretischen und systematischen Denkleistungen, das Verstehen von Systemketten sowie komplexen Zusammenhängen und Interdependenzen [5].

Für das Beispiel der zeitlichen Organisation der Arbeitsstrukturen kann vor diesen Tendenzen festgehalten werden, dass diese neuen Formen der Arbeitsprozesse nur noch wenig standardisierten Zeitstrukturen entsprechen (müssen). Das Zeitregime wird an die Beschäftigten delegiert, d.h. diese sollen in Eigenverantwortung darauf achten, dass die verein-

barten Arbeitsziele in Abstimmung mit den betrieblichen Parametern erreicht werden. Durch diesen Wandlungsprozess werden die Arbeitsinhalte bzw. die Arbeitszeit sehr viel stärker an die Wettbewerbsbedingungen des Marktes geknüpft. So wird es weitgehend den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen überlassen, ein individuelles Arbeitsmanagement gemäß den Anforderungen zu entwickeln.

Insgesamt werden diese Tendenzen in der industriesoziologischen Diskussion kritisch bewertet. Obgleich verschiedene Studien darauf hinweisen, dass vor allem in hochqualifizierten Bereichen die Stärkung der Eigenverantwortung im Rahmen beruflicher Aktivitäten von den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen begrüßt wird, wird eine „Entgrenzung der Arbeit“ [10,11,12] beobachtet. Dieser Begriff beschreibt einen kontinuierlichen Prozess, der seit Beginn der 90er Jahre zunimmt und die Arbeitsbedingungen langfristig aus sozialen Standards wie festen Arbeitszeitregelungen und Sozialansprüchen herauslöst.

Zum anderen wird die „Individualisierung der Arbeit“ [13] diskutiert, deren Ausdrucksformen sich sehr stark mit Hilfe der IuK entwickelt haben. Telearbeit, mobile Arbeitsplätze, virtuelle Büros deuten vor dem Hintergrund eines verschärften Wettbewerbs auf die Durchsetzung von Formen individualisierter „Kontrakt-Arbeit“ [12,14] hin. So wirken die Formen selbstorganisierter Arbeit in der Regel weit in die persönlichen Lebensbereiche hinein und prägen sehr stark die Möglichkeiten der individuellen Lebensplanung. Die berufliche Planung muss zukunfts offen gestaltet werden, was große Auswirkungen auf die Lebenswelt wie Familien- oder Lebensplanung u.a. hat.

Diese knappen Ausführungen geben einen Einblick in die These, dass mit Hilfe der IuK neue kommunikative und organisatorische Strukturen entstanden sind, die vor allem im Dienstleistungsbereich einen großen Einfluss auf die innere und äußere Gestaltung der Arbeitsaktivitäten hatten und immer noch haben. Das Beispiel der zeitlichen Veränderungen der Erwerbsarbeit zeigt, dass Veränderungen sowohl in die Arbeitswelt als auch in die kulturellen und lebensweltlichen Bereiche hineinwirken. Die Bewertung dieser Technologien für die Arbeitswelt ist vielschichtig und komplex und fällt je nach Branche und Sektor unterschiedlich aus. Dennoch kann insgesamt beobachtet werden, dass auf Grund dieser Entwicklungen die „Normalarbeitsverhältnisse“ wie sie in der Nachkriegszeit entstanden sind, erodieren und neue kulturelle und



soziale Arbeitsmodelle entstehen. Für die Diskussion um den Einfluss neuer Technologien in diesem Prozess gilt jedoch auch hier, dass diese nicht im gesellschaftsleeren Raum entstehen und ihre Anwendung finden. Sie werden immer vor dem Hintergrund kultureller Modelle und Vi-

sionen der sozialen Akteure eingesetzt. So hat die kulturelle Aufwertung der Arbeit in den bürgerlichen Gesellschaften eine Technikauffassung gefördert, die sich primär an der Steigerung der Produktivität orientiert und sich von Bindungen an überkommene Normen und Moral freimacht [15].

Die Frage, ob die IuK zum Nutzen oder Schaden der Beschäftigten werden, sollte vor diesem Hintergrund beantwortet werden.

## Literatur

- [1] M. Spehr, *Maschinensturm. Protest und Widerstand gegen technische Neuerungen am Anfang der Industrialisierung, Westfälisches Dampfboot 2000.*
- [2] *Die Ausführungen stützen sich im Wesentlichen auf die Ergebnisse von zwei Projekten, die im ITAS durchgeführt wurden: das EU-Projekt „Information Society, Work and the Generation of New Forms of Social Exclusion“ (SOWING) [16,17] sowie das Projekt „Wandel der Lebensbedingungen im Multimediabereich aus der Genderperspektive“ [18].*
- [3] A. Boes, A. Baukowitz, *Arbeitsbeziehungen in der IT-Industrie. Erosion oder Innovation der Mitbestimmung?, Edition Sigma 2002.*
- [4] *Diese These ist vergleichsweise gut erforscht und in einer Reihe von Studien dokumentiert: vgl. etwa Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Berichterstattung: Schwerpunkt: Arbeitsmarkt 1998/99. Hrsg. von IAB – Nürnberg, IfS – Frankfurt/M., INIFES – Stadtbergen, ISF – München, SOFI – Göttingen; K.v. Haaren, D. Hensche (Hg.), Arbeit im Multimedia-Zeitalter. Die Trends der Informationsgesellschaft. VSA-Verlag Hamburg 1998.*
- [5] G. Willke, *Die Zukunft unserer Arbeit, Campus 1999.*
- [6] M. Garhammer, *Balanceakt Zeit. Auswirkungen flexibler Arbeitszeiten auf Alltag, Freizeit und Familie, Edition Sigma 1994.*
- [7] V. Hielscher, E. Hildebrandt, *Zeit für Lebensqualität, Auswirkungen verkürzter und flexibler Arbeitszeiten auf die Lebensführung, Edition Sigma 1999*
- [8] A. Büssing, H. Seifert, *Die Stechuhr hat ausgedient. Flexiblere Arbeitszeiten durch technische Entwicklungen, Edition Sigma 1999.*
- [9] R. Wieland, K. Scherrer, *Arbeitswelten von morgen. Neue Technologien und Organisationsformen, Gesundheit und Arbeitsgestaltung, flexible Arbeitszeit- und Beschäftigungsmodelle, Westdeutscher Verlag 2000.*
- [10] R. Sennett, *Der flexible Mensch. Die Kultur des neuen Kapitalismus. Berlin Verlag 1998.*
- [11] V. Hielscher, *Entgrenzung von Arbeit und Leben. – Die Flexibilisierung von Arbeitszeiten und ihre Folgewirkungen für die Beschäftigten. Diskussionspapier des Wissenschaftszentrums Berlin, FS II 00–201/ 2000.*
- [12] G. Voß, *Die Entgrenzung von Arbeit und Arbeitskraft. Eine subjektorientierte Interpretation des Wandels der Arbeit, in: Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, 31 Jg., Nr.3, 1998, S. 473–487.*
- [13] U. Beck, *Die Risikogesellschaft, Suhrkamp 1986.*
- [14] G. Schmidt, *Kein Ende der Arbeitsgesellschaft. Arbeit, Gesellschaft und Subjekt im Globalisierungsprozess, Edition Sigma 1999.*
- [15] W. Rammert, *Technik aus soziologischer Perspektive, Westdeutscher Verlag 1993.*
- [16] G. Bechmann, G. Frederichs, B.-J. Krings, *Information Society, Work and the Generation of New Forms of Social Exclusion (SOWING). Regional Report for Germany. Karlsruhe 1999.*
- [17] G. Bechmann, G. Frederichs, B.-J. Krings, *Information Society, Work and the Generation of New Forms of Social Exclusion (SOWING). Final National Report: Germany. Karlsruhe 2001.*
- [18] B.-J. Krings, *Wandel der Arbeits- und Lebensbedingungen im Multimediabereich aus der Genderperspektive. Karlsruhe 2003.*

# Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

A. Grunwald, T. Petermann, ITAS

## Einleitung

Das TAB wurde 1990 eingerichtet mit dem Ziel, Beiträge zur Verbesserung der Informationsgrundlagen insbesondere forschungs- und technologiebezogener parlamentarischer Beratungsprozesse zu leisten. Zu den Aufgaben des TAB gehören vor allem die Konzeption und Durchführung von Projekten der Technikfolgen-Abschätzung und die Beobachtung und Analyse wichtiger wissenschaftlich-technischer Trends und relevanter gesellschaftlicher Entwicklungen (Monitoring). Das TAB wird vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe betrieben.

## Der parlamentarische Bedarf

Der Deutsche Bundestag hat bedeutsame Aufgaben im Bereich von Wissenschaft und Technik. Dazu gehören nicht nur die Beurteilung und Kontrolle der vielfältigen komplizierten und kostspieligen Forschungs- und Entwicklungsprogramme der Regierung. Vielmehr trägt er auch – angesichts der wachsenden Eingriffstiefe von Wissenschaft und Technik in Natur und Gesellschaft – Mitverantwortung für die Gestaltung der Rahmenbedingungen des technischen Wandels und nimmt aktiv teil am gesellschaftlichen Dialog über die Chancen und Risiken von Wissenschaft und Technik. Der Deutsche Bundestag verfügt von sich aus nicht über ausreichende unabhängige Möglichkeiten, die erforderlichen Informationen zu be-

schaffen, aufzubereiten und zu bewerten.

Technikfolgen-Abschätzung (TA) soll dieses Defizit abbauen helfen und mit dem TAB als wissenschaftliche Beratungseinrichtung soll ein gewisses Gegengewicht zum gut ausgestatteten Apparat der Exekutive bzw. den interessen geprägten Informationen aus Interessengruppen und Verbänden geschaffen werden. Damit sollen die Möglichkeiten des Parlaments verbessert werden, in den gesellschaftlichen Debatten um Wissenschaft, Technik und Technikfolgen eine aktivere Rolle zu spielen, seiner verfassungsrechtlichen Verpflichtung zur (Mit-)Gestaltung der Rahmenbedingungen der wissenschaftlich-technischen Entwicklung und zur Bewältigung von daraus resultierenden Konflikten nachzukommen und schließlich auch die Regierungsarbeit effektiver zu kontrollieren.

Einrichtungen der parlamentarischen TA gibt es mittlerweile in vielen europäischen Ländern (z.B. Frankreich, Großbritannien, Dänemark, Italien). Diese sind im European Parliamentary Technology Assessment Network (EPTA, [www.eptanetwork.org](http://www.eptanetwork.org)) organisiert, in dem auch das TAB mitarbeitet.

## Auftrag des TAB

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB, [www.tab.fzk.de](http://www.tab.fzk.de)) wurde 1990 eingerichtet. Ziel des TAB ist es, Beiträge zur Verbesserung der Informationsgrundlagen insbesondere forschungs- und technologiebezogener parlamen-

tarischer Beratungsprozesse zu leisten. Zu den Aufgaben des TAB gehören

- die Konzeption und Durchführung von Projekten der Technikfolgen-Abschätzung
- die Beobachtung und Analyse wichtiger wissenschaftlich-technischer Trends und damit zusammenhängender gesellschaftlicher Entwicklungen (z.B. Monitoring, Zukunfts- und Innovationsanalysen),
- die Beteiligung am öffentlichen Diskurs über Wissenschaft und Technik.

Das TAB ist nach einer Probephase 1990–1993 zu einer ständigen Einrichtung des Deutschen Bundestages geworden. Sein Betrieb wird auf der Basis einer Ausschreibung jeweils für fünf Jahre an eine unabhängige Forschungseinrichtung vergeben. Seit 1990 wird das TAB vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS; damals Abteilung für Angewandte Systemanalyse AFAS) des Forschungszentrums Karlsruhe, auf der Basis eines Vertrages mit dem Deutschen Bundestag betrieben. Der gegenwärtige Vertrag – der eine Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut ISI beinhaltet – läuft bis 2008.

## Arbeitsweise

Das TAB ist strikt am Informationsbedarf des Deutschen Bundestages und seiner Ausschüsse orientiert. Vorschläge für Themen kommen von den Bundestagsausschüssen und den Fraktionen. Direkter Auftraggeber des TAB ist der Ausschuss für Bil-

derung, Forschung und Technikfolgenabschätzung, der die Themenliste verabschiedet und die Studien abnimmt. Die Themenfindung für TA-Projekte ist also Sache des Parlamentes, da sie ein politischer und kein wissenschaftlicher Akt ist. Entscheidungen über die Dringlichkeit von Problemen und gewünschte wissenschaftliche Beratung gehören auf die politische Agenda.

Die Bearbeitung der beschlossenen Themen durch das TAB erfolgt in wissenschaftlicher Unabhängigkeit und Neutralität. Die Vielfalt und Komplexität der Themen wird mit Unterstützung von externem Sachverstand bearbeitet, indem jeweils eine Reihe von Gutachten von wissenschaftlichen Einrichtungen eingeholt wird. Durch diese vernetzte Ar-

beitsweise kann fall- und themenbezogen die fachliche Kompetenz und das Wissen des Wissenschaftssystems für Meinungsbildung und Entscheidungen des Parlamentes mobilisiert werden. Die Gutachten werden vom TAB-Team ausgewertet, auf den parlamentarischen Beratungsbedarf fokussiert und zusammen mit eigenen Analysen in Form eines Berichtes zusammengeführt und dem Parlament vorgelegt. Diese Berichte werden im Forschungsausschuss vorgestellt und diskutiert. Mit dem Ziel einer verbesserten Realisierung des TAB-Auftrags, zum öffentlichen Diskurs über Wissenschaft und Technik beizutragen, erfolgten die jüngsten Präsentationen im Rahmen von öffentlichen Ausschusssitzungen.

Eine große Zahl von TAB-Berichten werden als Bundestagsdrucksache veröffentlicht. Als solche finden sie Eingang in die Arbeit der Ausschüsse und werden dort ausführlich beraten (Abb. 1).

Die Ergebnisse von TAB-Studien führen teils zu Bundestagsbeschlüssen, teils wirken sie sich – als Hintergrundinformation und Orientierungswissen – eher indirekt auf parlamentarische Meinungsbildungs- und Entscheidungsprozesse aus.

### Themenfelder und Projekte

Die Themen von TA-Studien kommen aus allen Bereichen von Wissenschaft und Technik. Einen Schwerpunkt bilden die „klassi-

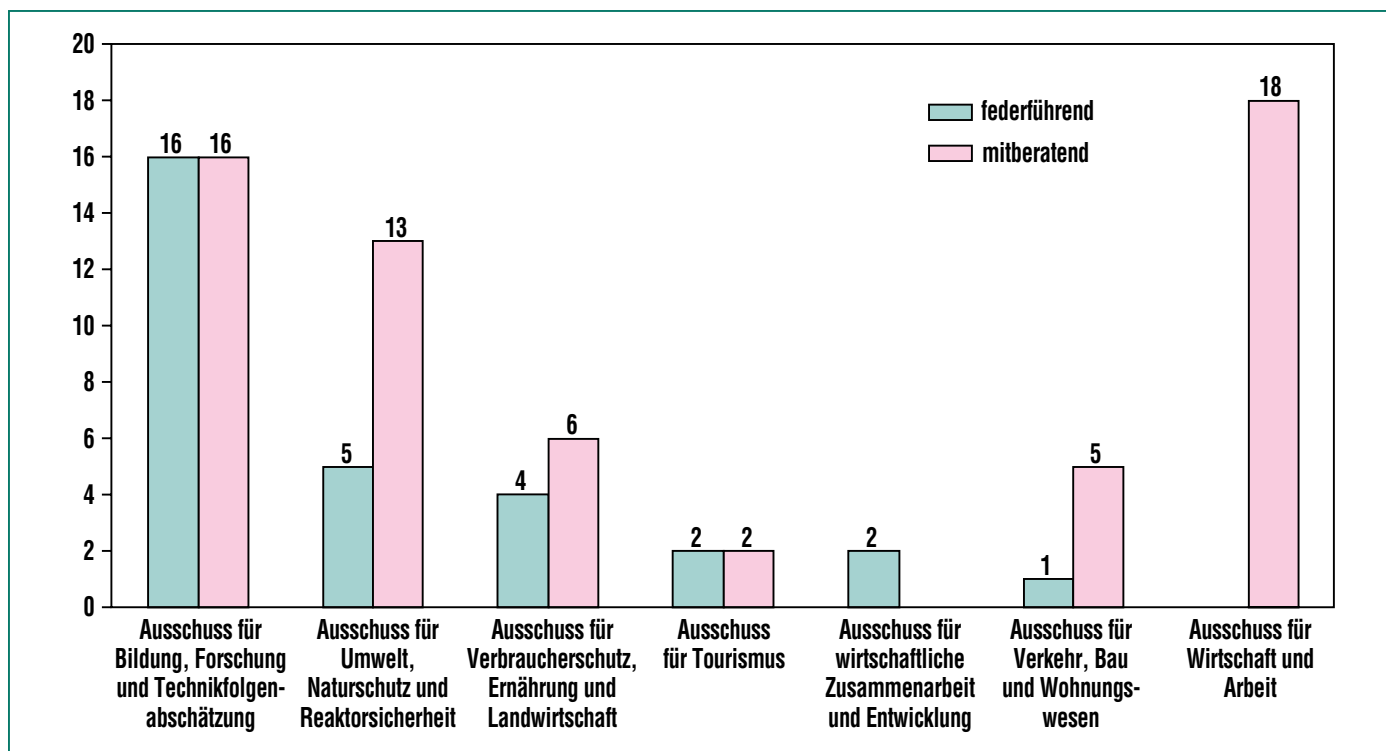


Abb. 1: Übersicht der Bundestags-Ausschüsse, in denen TAB-Berichte am häufigsten beraten wurden (bis 2003).

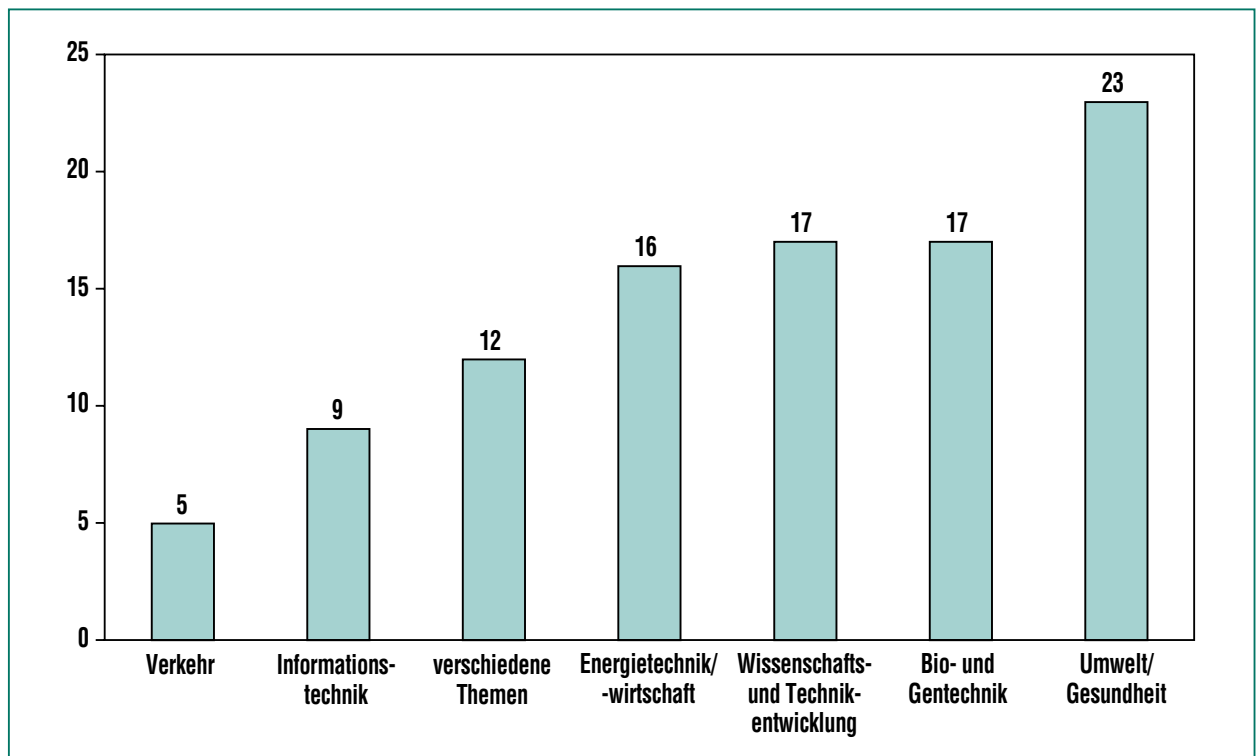


Abb. 2: TAB-Berichte nach thematischen Schwerpunkten (1991-2003).

- Reduzierung der Flächeninanspruchnahme – Ziele, Maßnahmen, Wirkungen
- Analyse netzbasierter Kommunikation unter kulturellen Aspekten
- Zukunftstrends im Tourismus
- Grüne Gentechnik – transgene Pflanzen der 2. und 3. Generation
- Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale
- Leichter als Luft-Technologie: Innovations- und Anwendungspotenziale
- elearning
- Nachfrageorientierte Innovationspolitik
- Zukunft der Erwerbsarbeit – Arbeiten in der Zukunft

Tab. 1: Aktuelle Projekte des TAB.

schen“ Themen der TA wie Technik und Umwelt, Energie sowie die Bio- und Gentechnik (Abb. 2) Daneben gibt es Studien zu ausgewählten Wissenschafts- und Technikfeldern, wie z.B. zu Neuen Materialien, zu Nanotechnologie oder zur Fusionsforschung (zu letzterer vgl. den Beitrag von Grünwald et al.) und zu spezifischen technischen Projekten (z.B. zum Raumtransportsystem „Sänger“). Relativ wenige Studien gibt es bislang aus dem Bereich der Medizintechnik (Health Care Technology Assessment). Die Informationsgesellschaft bzw. die Folgen der Informations- und Kommunikationstechnologien sind als Thema in den letzten Jahren wichtiger geworden. Die aktuellen Projekte können der Tab. 1 entnommen werden.

### Das TAB als Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Gesellschaft und Parlament

Oft wird der Graben zwischen Wissenschaft und Politik oder das schwindende Vertrauen der Gesellschaft in die Experten beklagt. Die Arbeit des TAB besteht genau darin, diese – unzweifelhaft vorhandenen – Spannungen themenspezifisch abzubauen. Herausforderungen gibt es z.B. zu den Fragen:

- Verhältnis von Wissen und Werten: Das traditionelle Verständnis, Wissenschaft liefere die Fakten und Politik die Bewertungen, lässt sich nicht aufrechterhalten. Wissen und Bewertungen sind häufig untrennbar miteinander verwo-

---

---

ben. Wie lässt sich hier größtmögliche Transparenz erreichen?

- Verhärtete gesellschaftliche Konflikte um Technik (wie z.B. im Energiebereich oder um die Gentechnik): Was kann hier eine unabhängige und neutrale Politikberatung leisten? Können Fronten aufgebrochen oder kann Beratungsoffenheit geschaffen werden?

- Zeit- und Aufmerksamkeitsmanagement des Parlamentes: Während dieses oft durch aktuelle tagespolitische Dringlichkeiten bestimmt wird, bedarf wirkungsvolle wissenschaftliche Politikberatung der Bereitschaft, über tagespolitische Aktualitäten hinaus zu denken.

Wissenschaftliche Politikberatung am Deutschen Bundestag

ist vor diesem Hintergrund ein ständiges Abenteuer. Langweilig wird es nie. Mit der Erfahrung von 14 Jahren sind wir optimistisch, auch in Zukunft diese Abenteuer erfolgreich zu bestehen.

# Netzwerk Lebenszyklusdaten

L. Schebek, C. Bauer, J. Buchgeister, ITC

## Einleitung

Zunehmend greifen umweltpolitische Steuerungsinstrumente auf prozessbezogene Daten zu Stoffflüssen zurück; aktuelle Beispiele hierfür sind der Zertifikathandel, bei dem Zertifikate auf Basis der CO<sub>2</sub>-Emissionen industriellen Prozesse zugeteilt werden, oder die Vergabe von Umweltkennzeichen auf Basis von Informationen über Emissionen aus Prozessen der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten. Im Bereich der Industrie werden auf freiwilliger Basis zunehmend Ökobilanzen („Lebenszyklusuntersuchungen“) eingesetzt, um Umweltauswirkungen von Produkten bereits in der Entwicklung zu identifizieren. Auch hierfür sind Daten zu Stoffflüssen aus einer Vielzahl industrieller Prozesse erforderlich.

Die Bereitstellung und Qualitätssicherung von Daten zu „wichtigen“ industriellen Prozessen für eine Vielzahl von Nutzergruppen ist eine anspruchsvolle wissen-

schaftliche Querschnittsaufgabe, die nur durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wissenschaftsdisziplinen (Umweltwissenschaften bis Verfahrenstechnik) im Dialog mit Anwendern erfolgreich bearbeitet werden kann. Dieser Dialogprozess erfordert gleichzeitig eine tragfähige und dauerhafte Infrastruktur, um technologische Entwicklung und Innovation angemessen in der Anwendung zu spiegeln.

Als Element der programmorientierten Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft wird für die dauerhafte Bereitstellung und Qualitätssicherung von Lebenszyklusdaten eine wissenschaftliche Infrastruktur gemeinsam mit externen Partnern entwickelt. Kernelemente dieses neuartigen Netzwerks mit Helmholtz-Trägerschaft sind eine interdisziplinäre Wissenschaftskooperation sowie die transdisziplinäre Anbindung an relevante Anspruchsgruppen aus Industrie, Gesellschaft und Politik. Seit Juni 2004 unterstützt das BMBF die Wissenschaftsko-

operation zum Aufbau des deutschen Netzwerks Lebenszyklusdaten mit einem dreijährigen Forschungsprojekt.

## Konzeption und Aufbau

Das Netzwerk Lebenszyklusdaten umfasst derzeit über 30 externe Partner. Die Trägerschaft liegt beim Forschungszentrum Karlsruhe; hierfür wurde die wissenschaftliche Geschäftsführung in der Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme des Instituts für Technische Chemie des Forschungszentrums Karlsruhe etabliert.

Strukturell beruht das Konzept des Netzwerks auf drei Bausteinen mit individuellen Aufgabebereichen (siehe Abb. 1):

### ● Wissenschaftskooperation

Bearbeitung des wissenschaftlichen Arbeitsprogramms; Identifikation von Forschungsthemen; Durchführung regelmäßiger wissenschaftlicher Veranstaltungen;

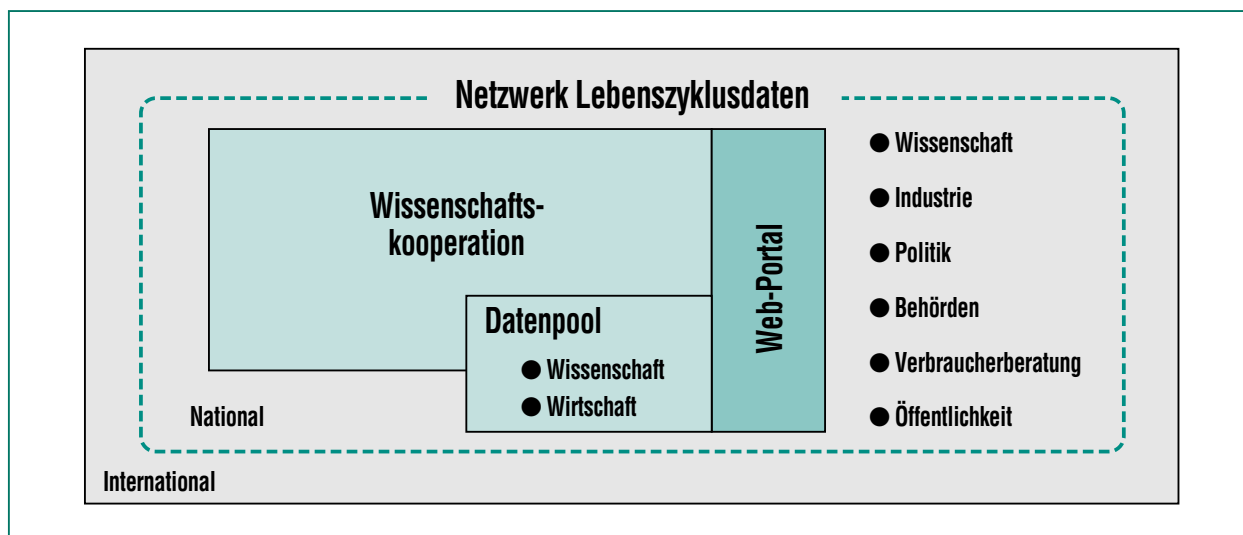


Abb. 1: Struktureller Aufbau des deutschen Netzwerks Lebenszyklusdaten.

● **Datenpool**

Dauerhafte Bereitstellung harmonisierter Lebenszyklusdaten für Grundbereiche (Energie, Transport, Materialien) aus gemeinsamen Projektarbeiten;

● **Web-Portal**

Informations- und Kommunikationsmittel für alle beteiligten und interessierten Kreise; Realisierung des Datenzugriffs auf unterschiedliche Datenbestände.

Insbesondere die Entwicklung des Datenpools sowie Aufbau und Betrieb des Web-Portals erfolgen in enger Kooperation mit dem Institut für Angewandte Informatik des Forschungszentrums Karlsruhe.

Zielsetzung der BMBF-Projektförderung ist der Aufbau dauerhafter Strukturen unter Einbeziehung der relevanten Interessensgruppen. Dies wird durch die Bündelung von Expertenwissen in konkreten Themenfeldern erreicht. Dazu wurden die drei Be-

reiche „Basisdaten“, „Anwendungsfelder“ und „Methodische Grundlagen“ definiert. Diese sind in Themenfelder strukturiert, die in der Gesamtschau die existierenden Unterschiede hinsichtlich des Forschungsstandes sowie hinsichtlich technischer, ökonomischer oder gesellschaftlicher Randbedingungen wider spiegeln (Abb. 2).

Jedes Thema wird von interdisziplinär zusammengesetzten Arbeitskreisen behandelt, in den Entwicklungsfeldern befinden sich diese noch im Aufbau.

Die Themen im Bereich „Basisdaten“ decken das Spektrum von industriellen Grundprozessen sowie Infrastrukturleistungen ab. Zielsetzung ist hier die Bereitstellung harmonisierter Prozessdaten im Datenpool sowie die Ausarbeitung von Verfahrensweisen für die regelmäßige Aktualisierung dieser Daten zur Anbindung an die technischen Entwicklungen in den einzelnen Sektoren. Im Bereich „Anwendungsfelder“ werden Rahmenbedingungen und Anforderungsprofile für die Datenbereitstellung aus spezifischen Nutzer-sichten, beispielsweise Architekten und Bauingenieure oder Produktentwickler in der Industrie, heraus erarbeitet. Gleichzeitig werden hier neue Anwendungsmöglichkeiten antizipiert, um an Innovationen innerhalb der Industrie oder an zukünftige umweltpolitische Entwicklungen anzuschließen. Durch die themengebundene Einbindung von Anspruchsgruppen in die inhaltliche und konzeptionelle Ausgestaltung dieser Arbeitsgruppen wird ein hohes Maß an Transdisziplinarität erreicht.

Aufbauend auf dem Detailwissen in den einzelnen Themen werden im Bereich Methodische Grundlagen die unterschiedlichen Ausgangslagen analysiert und zusammengeführt. Zielsetzung ist es, die wissenschaftliche Basis für Kompatibilität bzw. – soweit möglich und sinnvoll – Harmonisierung der unterschiedlichen Vorgehensweisen innerhalb und zwischen den einzelnen Themen

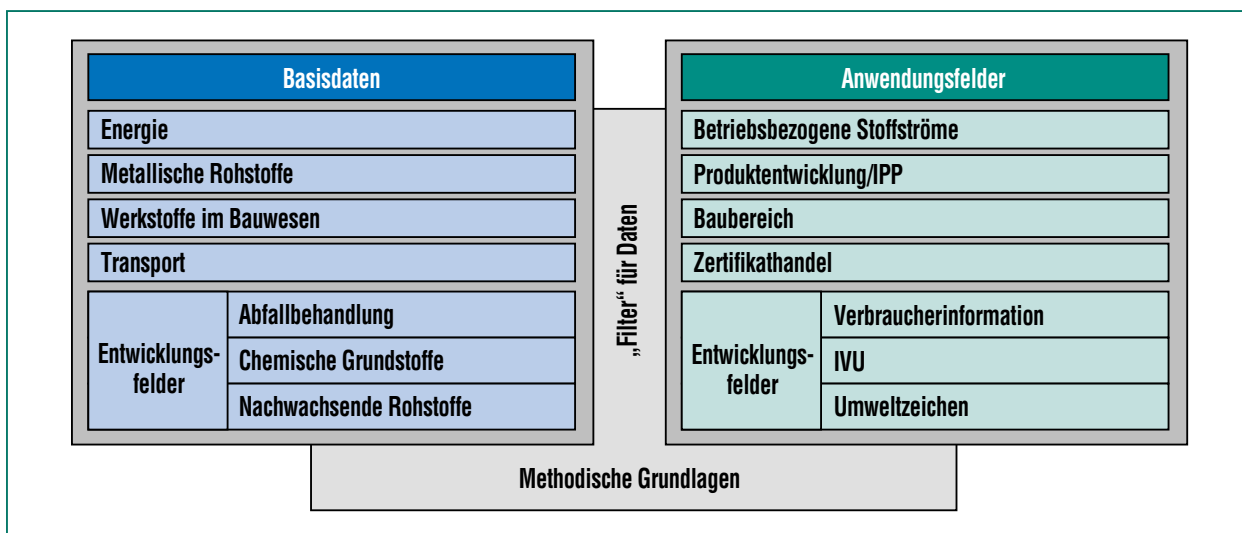


Abb. 2: Bereichsgliederung und Themenfelder des Netzwerks.



---

---

zu erarbeiten. Es gilt insbesondere, themenübergreifende Qualitätskriterien zu vereinbaren und die Anforderungen an die informationstechnische Umsetzung im Datenpool auszuformulieren.

### Internationale Einbettung

Die internationale Einbettung des Netzwerkes ist nicht nur inhaltlich durch die starke Vernetzung von Produktions- und Konsumtionsprozessen erforderlich, sie bedarf auch konzeptionell und methodisch einer Einbettung in internationale Entwicklungsprozesse. Dazu ist die Geschäftsstelle des Netzwerkes in folgenden Feldern aktiv:

Auf europäischer Ebene nimmt das Netzwerk am EU Cost Programm teil. Die Cost Action 530 befasst sich seit 2003 mit der Vereinheitlichung eines Austauschformats für Lebenszyklusdaten. International ist das Netzwerk gemeinsam mit dem BMBF, dem BMU und dem UBA im Leitungsgremium der UNEP/SETAC Life Cycle Initiative vertreten und unterstützt gezielt einzelne Arbeitsgruppen. Wesentliches Ziel dieser Initiative ist die praxisnahe Förderung des „*life cycle thinking*“. Ein erster internationaler Workshop zur Datenqualität von LCI-Daten wurde gemeinsam mit der UNEP/SETAC Life Cycle Initiative am 20./21. Oktober 2003 im Forschungszentrum Karlsruhe

durchgeführt. Ein Folgeworkshop ist für 2005 in Planung.

Darüber hinaus ist das Forschungszentrum Karlsruhe gemeinsam mit anderen wissenschaftlichen Zentren am Aufbau einer internationalen Allianz von Forschungseinrichtungen (GALAC – Global Alliance of Life Cycle Assessment Centers) mit dem Ziel beteiligt, neue Aufgabenfelder und Kooperationsformen zu identifizieren.