

# **Delphi '98 - Umfrage**

**Studie zur globalen Entwicklung  
von Wissenschaft und Technik**

**Zusammenfassung der Ergebnisse**

**Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)**

**im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und  
Technologie (BMBF)**

**Karlsruhe, Januar 1998**

## Impressum

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) vom Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) erstellt. Das BMBF war an der Abfassung der Aufgabenstellung und der wesentlichen Randbedingungen beteiligt. Das BMBF hat das Ergebnis nicht beeinflusst; die Auftragnehmer tragen allein die Verantwortung. Seitens des BMBF wurde das Projekt vom Referat 111 "Grundsätze und Strategien; Technikfolgenabschätzung" betreut.

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik  
und Innovationsforschung FhG-ISI  
<http://www.isi.fhg.de>

Projektkoordination: Dr. Kerstin Cuhls  
Dr. Knut Blind  
Dr. habil. Hariolf Grupp

Interne Berater: Dr. Harald Bradke  
Dr. Carsten Dreher  
Dr. Dirk-Michael Harmsen  
Dr. Harald Hiessl  
Dr. Bärbel Hüsing  
Gerhard Jäckel  
Dr. Ulrich Schmoch  
Peter Zoche, M.A.

Stud. Mitarbeiter: Heiko Faller  
Mirko Stolz  
Daniel Buchmann

Sekretariat: Renate Klein  
Rotraut Engel  
Brigitte Weis

Vertrieb: FhG-ISI  
Breslauer Straße 48  
D-76139 Karlsruhe  
Telefax: (0721) 68 91 52  
(Schutzgebühr)

Karlsruhe, Februar 1998

## Vorwort

*Die Zukunft fällt nicht vom Himmel, sie wird mitgestaltet – von uns allen, von denen, die heute agieren, sich engagieren, die Entscheidungen fällen. Deshalb hat das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie Fachleute gefragt – nicht selbsternannte "Experten für Zukunft", nicht professionelle "Seher" – sondern Fachleute aus Wirtschaft, Wissenschaft und Technik, die mit ihrer Arbeit und ihren Entscheidungen unsere Zukunft der nächsten 30 Jahre prägen werden.*

*Für die jetzt fertiggestellte zweistufige Delphi-Befragung wurden über 1000 Einzelthesen und Fragen zur zukünftigen Entwicklung in und durch Wissenschaft und Technik formuliert. Mehr als 2000 Experten haben die Fragen beantwortet und zu diesen Thesen Stellung genommen. Die Ergebnisse werden hiermit einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt.*

*Natürlich: Zukunft läßt sich nicht sicher vorhersagen – auch nicht mit der besten Methodik. Der Delphi-Studie geht es somit auch nicht um eine verlässliche Prognose der künftigen wissenschaftlichen und technischen Entwicklung. Ziel der Delphi-Untersuchung ist vielmehr, Wissen zur langfristigen Orientierung zu sammeln, zu prüfen und zu bewerten und so einen möglichst breiten Prozeß der Auseinandersetzung mit möglichen und begründbaren Entwicklungen in Wissenschaft, Technik und Gesellschaft anzustoßen.*

*Wie die Zukunft tatsächlich aussehen wird, weiß niemand. Es ist jedoch möglich, bereits jetzt bestimmte Entwicklungen einzuschätzen, sie gemeinsam zu überprüfen, zu diskutieren. Wir können und sollten bereits früh über Maßnahmen nachdenken, mit denen wir erwartete zukünftige Entwicklungen fördern oder gegebenenfalls auch verhindern können. Der Delphi-Bericht liefert keine Gewißheit, aber er stellt eine Fülle von Informationen als Entscheidungsgrundlagen für eine aktive Zukunftsgestaltung bereit.*

*Viele Einschätzungen der Experten sind schon an sich überraschend und wert, intensiv diskutiert zu werden. Doch in den Delphi-Ergebnissen steckt noch sehr viel mehr. Etwa die Frage nach den wissenschaftlichen und technologischen Potentialen, über die unser Land – im internationalen Vergleich – verfügt. Und was getan werden muß, um diese Potentiale zu nutzen.*

*In diese Studie wurde sehr viel Arbeit und persönliches Engagement investiert. Mein Dank gilt den Mitgliedern des Lenkungsausschusses und den Mitarbeitern des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), die die Studie gemeinsam erarbeitet und die Ergebnisse der Befragung ausgewertet haben. Er richtet sich an jene, die bei der Erstellung der Thesen und Fragebögen mitgeholfen*

*haben. Und er schließt insbesondere die über 2000 Experten mit ein, die sich der Mühe unterzogen haben, die Fragebögen zu beantworten – und dies gleich zweimal.*

*Die Publikation und Interpretation der Befragungsergebnisse schließt die Studie ab. Dieser "Abschluß" versteht sich jedoch als Beginn einer möglichst breiten und vitalen Diskussion um die Gestaltungschancen, die uns die Zukunft bietet. Die Delphi-Studie will die Beantwortung von Fragen möglicher zukünftiger Entwicklungen nicht allein Expertenkreisen überlassen, sondern öffentlich machen. Denn Zukunft geht jeden an.*

*Bonn, im Januar 1998*

*Dr. Jürgen Rüttgers*

*Der Bundesminister für Bildung, Wissenschaft,  
Forschung und Technologie*

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

### **Wie gestalten wir unsere Zukunft**

### **Wie sehen die großen Zukunftsrichtungen aus, die Wissenschaft und Technik beeinflussen?**

### **Was kommt auf uns zu?**

Was ist von übergeordneter, genereller Wichtigkeit?

Innovationen für die wirtschaftliche Entwicklung

Innovationen für Arbeit und Beschäftigung

Innovationen für die gesellschaftliche Entwicklung

Innovationen für die Lösung ökologischer Probleme

Innovationen für die Erweiterung menschlichen Wissens

## **Die Themenfelder**

Information & Kommunikation

Dienstleistung & Konsum

Management & Produktion

Chemie & Werkstoffe

Gesundheit & Lebensprozesse

Landwirtschaft & Ernährung

Umwelt & Natur

Energie & Rohstoffe

Bauen & Wohnen

Mobilität & Transport

Raumfahrt

Großexperimente

### **Für die Praxis: Wie jeder die Daten des Materialbandes für sich nutzen kann**

## **Wie gestalten wir unsere Zukunft?**

Wohin wird sich die Welt entwickeln? Was kommt auf uns zu? Welche Rolle spielen dabei Innovationen? Gefallen uns diese? Oder müssen wir eingreifen?

Das sind Fragen für unsere Zukunftsgestaltung, die man auf unterschiedliche Weise beantworten kann: durch Horoskope, Berechnungen, "aus dem Bauch" oder mit Hilfe moderner sozialwissenschaftlicher Methoden. Zu diesen gehört die systematische Mobilisierung von Erfahrungswissen der entsprechenden Experten. Wenn es - so wie in diesem Report - um die Zukunft von Wissenschaft und Technik geht, sind es die Forschenden selbst, deren Mutmaßung gefragt ist. Vielleicht liegt die persönliche Einschätzung daneben oder dient vor allem eigenen Interessen und weniger der Zukunftsfindung. Wir werden ja sehen. Denn da sind noch die anderen Forschenden: Können alle zusammen irren?

Dieser Report zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik ist ein Spagat zwischen Übersicht und Detail. Die Analysen sind eine Gratwanderung zwischen dem Abgrund des Trivialen (für den Fachkenner) und dem Gipfel des Utopischen (für den "ewig Gestrigen"). Der Grat ist schmal und mitunter geht seine Breite gegen Null. Denn Karl Popper hat recht, wenn er schreibt: "Über die Zukunft können wir nichts wissen, denn sonst wüßten wir es ja ...".

Die Einleitung im ersten Band erklärt, wie bei der Studie vorgegangen wurde. Danach folgt ein Blick auf die Megatrends und die großen Zukunftsrichtungen. Am Ende nehmen wir die "Rudelperspektive" ein: die Ergebnisse geordnet nach Sachgebieten. Beispiele, wie die Ergebnisse genutzt werden können, runden den ersten Teil (Ergebnisband) ab.

Der zweite Teil (Methoden- und Datenband) ist für diejenigen gedacht, die Methoden und Ergebnisse genauer kennenlernen wollen: Wie kommen solche Einschätzungen zustande? Und wie sehen die Details aus? In den Tabellen findet sich jede einzelne Angabe. Dieses Material könnte hilfreich sein, um aktiv in die Gestaltung unserer Zukunft einzugreifen.

### **Von welchen Schlüsselfragen geht die Untersuchung aus?**

Die deutsche Wirtschaft ist stolz auf ihre hohe Exportquote. Der deutsche Markt steht für internationale Wettbewerber offen, und Deutschland befindet sich mitten in einem umfassenden Innovationswettbewerb. Aber: Viele Problemfelder stellen große Herausforderungen dar: Die gesetzten Prioritäten, die Zuteilung von Finanzmitteln und die strategische Orientierung in Forschung und Entwicklung in Deutschland sind auf dem Prüfstand.

Ohne eine kompetente Einschätzung der wichtigsten Innovationsansätze und der Erfolgsanforderungen im weltweiten Vergleich können Forschung und Entwicklung in Deutschland die nötige Wirksamkeit nicht entfalten, um Innovationsvorsprünge zu gewinnen.

Deshalb hat das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) 1995 die Initiative ergriffen und beschlossen, eine solche *Vorausschau auf Wissenschaft und Technik* durchzuführen und zu finanzieren. Das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) wurde mit dem Projektmanagement betraut. Bundesminister Dr. Jürgen Rüttgers berief einen *Lenkungsausschuß* - besetzt mit prominenten Persönlichkeiten aus Wissenschaft, Wirtschaft und den Medien. Der Ausschuß hatte die Aufgabe, das Ministerium in allen wichtigen Rahmensetzungen zu beraten.

### **Lenkungsausschuß:**

Leitung: Prof. Dr. Gerhard Zeidler,  
DEKRA;

Stellvertreter: Prof. Dr. Hans Jürgen Quadbeck-Seeger,  
BASF;

Reiner Korbmann,  
Bild der Wissenschaft;

Dr. Wilhelm Krull,  
Volkswagen-Stiftung;

Prof. Dr. Friedhelm Neidhardt,  
Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung;

Dr. Eberhard Rauch,  
Bayerische Vereinsbank;

Dr. Tom Sommerlatte,  
Arthur D. Little;

Prof. Dr. Frank Steglich,  
TH Darmstadt, sowie

Prof. Dr. Cornelius Weiss,  
Universität Leipzig.

Es galt, die folgenden kritischen Schlüsselfragen zu beantworten - und vielleicht auch andere Fragen, die bisher noch gar nicht ausgedacht und gestellt sind.

- Welches sind die Innovationsgebiete, auf denen in den nächsten 30 Jahren markante Fortschritte zu erwarten sind?
- Welche Erfolgsvisionen sind damit verbunden?
- Welche Bedeutung können diese markanten Fortschritte für die wirtschaftliche Entwicklung haben?
- Welche Auswirkungen können sie insbesondere auf Arbeit und Beschäftigung haben?
- Welchen Beitrag kann die technologische Innovation zur Lösung ökologischer Probleme leisten?
- Wie wird die gesellschaftliche Entwicklung von Innovationsfortschritten beeinflusst?
- Durch welche Ergebnisse von Forschung und Entwicklung wird das menschliche Wissen am stärksten erweitert werden?
- In welchem Zeitraum lassen sich die Erfolgsvisionen in den einzelnen Themengebieten realisieren?
- Welche Länder weisen zur Zeit den höchsten Leistungsstand in den einzelnen Forschungs- und Entwicklungsgebieten auf?
- Welche Maßnahmen sind erforderlich, damit Deutschland in Innovationsgebieten, auf denen seine F&E als schwach gilt, mithalten oder seine führende F&E-Position ausbauen und in praktischen Erfolg umsetzen kann?
- Welche Folgeprobleme könnten auftreten, wenn die erwarteten Innovationen realisiert und genutzt werden und daraus hervorgegangene Produkte später einmal entsorgt werden müssen?
- Welche gesellschaftlichen "Megatrends" müssen in einen Bezug zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik gestellt werden? Welche großen Zukunftsrichtungen sind zu erwarten? Beeinflussen sie Innovationen?

Der Lenkungsausschuß ging den Schlüsselfragen zur Zukunft nach und definierte zunächst die wichtigsten Innovationsfelder der Zukunft, die "Rubriken" der Delphi-Befragung und die Megatrends.



## **Welches sind die wichtigen Innovationsfelder der Zukunft?**

In welchen Innovationsfeldern spielt sich die wirtschaftlich und gesellschaftlich bedeutungsvollste Innovationsdynamik ab? Was sind die Themen der Zukunft, die von Wissenschaft und Technik beeinflusst werden können? Die Entwicklungen größter Dynamik lassen sich in zwölf verschiedene Gebiete gruppieren, die sich teilweise ergänzen.

Zu diesen Themenfeldern wurden insgesamt 1.070 Zukunftsvisionen in Form von Thesen aufgestellt, eine Liste, die auch ohne Antworten schon wichtig und interessant ist. Deshalb sind die Einzelthesen im Methoden- und Datenband im Detail abgedruckt.

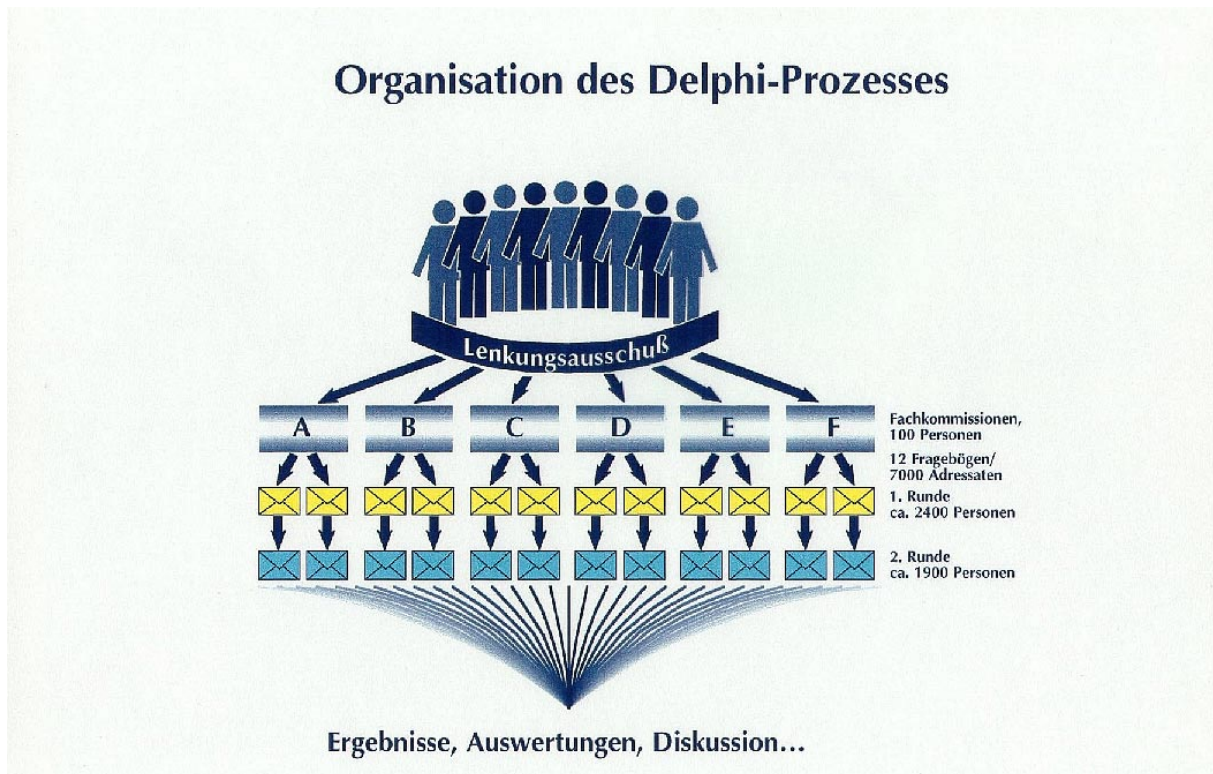
- ⇒ **Information & Kommunikation**
- ⇒ **Dienstleistung & Konsum**
- ⇒ **Management & Produktion**
- ⇒ **Chemie & Werkstoffe**
- ⇒ **Gesundheit & Lebensprozesse**
- ⇒ **Landwirtschaft & Ernährung**
- ⇒ **Umwelt & Natur**
- ⇒ **Bauen & Wohnen**
- ⇒ **Mobilität & Transport**
- ⇒ **Raumfahrt**
- ⇒ **Großexperimente**

## **Die Organisation des Delphi-Prozesses**

Der Delphi-Prozeß begann mit der Gründung des Lenkungsausschusses. Eine umfassende Zusammenstellung innovativer Ideen kann jedoch ein neunköpfiger Ausschuß nicht alleine bewältigen. Für die Beantwortung der technisch-wissenschaftlichen Schlüsselfragen wurden deshalb über 100 fachkundige Personen aus Industrie, Hochschulen und anderen Einrichtungen gewonnen. Sie bildeten Fachkommissionen und trugen die wichtigsten Thesen zu o. g. Themen aus Forschung und Entwicklung zusammen, die auf einem Workshop und in "virtuellen Sitzungen" formuliert wurden. Die Thesen wurden mehrfach überarbeitet und auf ihren Gehalt und ihre Zukunftsrelevanz hin abgeklopft. Außerdem sollten die Innovationen etwa innerhalb der nächsten 30 Jahre zu verwirklichen sein, aber nicht später.

Aufgrund früherer guter Erfahrungen wurde ein Teil der entworfenen Thesen mit dem japanischen National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP) abgestimmt, das zeitgleich die sechste japanische Studie zur Zukunft von Wissenschaft und Technik organisierte. Das ergibt internationale Vergleichsmöglichkeiten. So kann festgestellt werden, ob aus Asien doch noch Überraschungen kommen oder deutsche Scheuklappen uns an einem objektiven Blick in die Zukunft hindern. Ebenso wurde darauf geachtet, daß ein weiterer Teil der Thesen zur ersten deutschen Delphi-Umfrage paßt, damit Zeitvergleiche möglich werden. Änderte sich unsere Einschätzung in den letzten fünf Jahren?

Bild 1: Organisation des Delphi-Prozesses



Alle weiteren Beurteilungen übernahm ein wesentlich größerer Kreis von Fachleuten in den einzelnen Forschungs- und Entwicklungsgebieten. Denn: Je größer die Beteiligung an einer Delphi-Umfrage, desto fundierter sind die zu erwartenden Antworten. Für das Verfahren der Studie wurde die für solche Zukunftsbetrachtungen durch Expertengruppen vielfach erprobte Delphi-Methodik angewandt. Da die Zukunft nicht im vorhinein feststehen kann, aber viele Personen mehr wissen oder ahnen als eine einzige, wird bei der Delphi-Methode auf das Erfahrungswissen von Experten zurückgegriffen.

Der Kern des Delphi-Verfahrens besteht aus zwei sogenannten "Runden" von Befragungen. Die von den Fachkommissionen erarbeiteten Thesen werden dabei einer

größeren Anzahl an Experten in einem Fragebogen zur Bewertung vorgelegt. Ihre Antworten werden ausgewertet und demselben Personenkreis noch einmal zugeschickt. In dieser zweiten Runde sollen die Experten ihre Antworten unter dem Einfluß der Einschätzungen ihrer Fachkollegen noch einmal überdenken und Gelegenheit haben, ihre Meinung zu ändern. Anonymität ist gewährleistet, so daß bei einer Meinungsänderung niemand sein Gesicht verliert oder sich rechtfertigen muß.

Wer als Experte gilt, ist dabei sehr breit definiert. Zu den Befragten zählen sowohl Personen, die selbst auf einem bestimmten Gebiet forschen, als auch solche, die sich regelmäßig und aus erster Hand darüber informieren. Insgesamt wurden mehr als 7.000 Personen angeschrieben, von denen sich mehr als 2.400 aktiv beteiligten und fast 1.900 bis zum Ende der zweiten Runde dabei waren. Das Wissen all dieser Personen wird mobilisiert und kommuniziert.

Die befragten Experten stammen aus der Industrie, aus Hochschulen, dem öffentlichen Dienst, privaten gemeinnützigen Institutionen (z.B. Fraunhofer-Gesellschaft oder Max-Planck-Gesellschaft) und Verbänden. Außerdem sollten sie mit Forschung und Entwicklung zu tun haben. Unter diesen Personen wird es niemanden geben, der einen Bogen von vorn bis hinten "mit sehr großer Fachkenntnis" beantworten kann, was bedeuten würde, er arbeitet auf all diesen Gebieten. Deshalb werden auch die Personen einbezogen, die entsprechende wissenschaftliche Literatur lesen, im Gespräch mit dort tätigen Forschern stehen oder früher auf dem Gebiet gearbeitet haben - also pro Einzelthese "mittlere" und "geringe Fachkenntnis" besitzen. Dies relativiert die Ergebnisse, falls die Fachspezialisten zu extreme Meinungen vertreten sollten. Im Datenband können daher die Ergebnisse der Spezialisten separat eingesehen werden.

Von diesen Experten werden Antworten im Ankreuzverfahren eingeholt. Das zeigt das Dilemma einer schriftlichen Befragung vieler Personen. Meinungen zu diffizilen Sachverhalten müssen auf einfache Antwortkästchen reduziert werden. Allerdings konnten in großzügigen Kommentarspalten zusätzlich ausführliche Anmerkungen gemacht werden.

Ein erstes Ergebnis der Befragung ist eine Vielzahl von Daten, wie sie im Methoden- und Datenband präsentiert werden. Sie dienen dazu, Anhaltspunkte über zukünftige Entwicklungen zu bekommen und einen strukturierten Kommunikationsprozeß über die Zukunft in Gang zu setzen. Indem bereits heute Bereiche der Zukunft gedanklich vorweggenommen werden, wird Zeit gewonnen, evidente Fehlentwicklungen zu bremsen oder dringend benötigte Innovationen anzustoßen oder rascher voranzutreiben. Delphi-Studien liefern also kein feststehendes Bild von der Zukunft, sondern bieten eine Informationsgrundlage für die Entscheidung, was heute zu tun oder zu lassen ist. Wie die Zukunft wirklich werden wird, hängt von unseren jetzigen Entscheidungen ab. Die tatsächliche Entwicklung kann sich folglich stark von den heutigen Einschätzungen unterscheiden.

Und was passiert in den Gebieten im einzelnen? Damit Leserinnen und Leser einen Überblick bekommen, werden in den nächsten Kapiteln die Expertenmeinungen über die großen Zukunftsrichtungen (Megatrends und wichtigste Ergebnisse im Überblick) sowie die zwölf Themenfelder der Untersuchung vorgestellt. Wie werden sie von der Mehrheit der jeweiligen Experten beurteilt? Auf welchen Gebieten ist die deutsche Forschung oder Industrie "stark"? Wo liegen Chancen, wo Risiken? Und was ist nach Ansicht der befragten Fachleute zu tun?

## **Wie sehen die großen Zukunftsrichtungen aus, die Wissenschaft und Technik beeinflussen?**

Welches sind die Megatrends, die die wirtschaftlichen, gesellschaftlichen, politischen und sozialen Bedingungen auf der Erde in den nächsten Jahrzehnten bestimmen und daher einen großen Einfluß auf Wissenschaft und Technik ausüben werden? Von einigen werden Forschung und Entwicklung entscheidend beeinflusst, von anderen weniger stark. Der Lenkungsausschuß erarbeitete zusammen mit dem ISI 19 Megatrends, gleichsam als Silhouette für das Denken der Spezialisten, ihre Wünsche und Erwartungen, vielleicht sogar ihre Grundwerte.

Mehr als 2000 Fachleute aus Wissenschaft und Technik haben ihre Meinung dazu abgegeben, welche Megatrends sie für möglich halten und welche nicht - und wenn, zu welcher Zeit sie vermutlich bedeutsam werden. Die Trends betreffen gesellschaftliche, politische oder wirtschaftliche Entwicklungen. Es gibt zuversichtliche ebenso wie pessimistische Einschätzungen. Bei manchen Trends sind sich die Experten einig, bei anderen gehen die Meinungen auseinander. Die Experten sind nicht in jedem Fall Experten für Megatrends. Sie geben hier als interessierte und informierte Bürgerinnen und Bürger ihre Meinung zu Protokoll.

Die Megatrends wurden zur Diskussion gestellt, um zu überprüfen, von welchen Bildern der Zukunft sich die Experten leiten lassen. Aus den allgemeinen Denkmustern ergaben sich bestimmte "Typen": Standortoptimisten, Bevölkerungspessimisten, Umweltpessimisten und Fortschrittsskeptiker sowie "Neutrale", die kein auffälliges Antwortverhalten zeigen (zur Anwendung der Faktorenanalyse siehe den Methodenband). "Extreme" Antworten könnten so herausgefiltert werden, um zum Beispiel zu überprüfen, ob Personen, die besonders optimistisch oder besonders pessimistisch sind, die Zukunft von Wissenschaft und Technik vielleicht anders sehen als indifferent antwortende Personen. Wir kommen darauf zurück. Überraschenderweise erwies sich das Interesse der Fachleute an den allgemeinen Trends als besonders groß, so daß die Megatrends an dieser Stelle im Detail präsentiert werden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Die Megatrends (nach abnehmendem Maß an Zustimmung)

Megatrend	Zustimmung (%)	Zeitfenster	keine Zustimmung (%)
Geringe Geburtenziffern und die ständige Erhöhung der Lebenserwartung führen in den Industrieländern zu einem Anteil von mehr als einem Drittel der über 60jährigen an der Gesamtbevölkerung.	89	2008 bis 2019	7
Der technische Fortschritt und die globale Umverteilung der Arbeitsplätze steigern die durchschnittliche Arbeitslosenquote in den meisten entwickelten Industrieländern dauerhaft.	74	1999 bis 2006	22
Die Bevölkerung der Erde wird die 10-Milliarden-Grenze überschreiten.	72	2010 bis nach 2025	19
Nach Durchsetzung von Reformen wird Deutschland wieder ein international sehr attraktiver Investitionsstandort.	61	2003 bis 2009	27
Frauen werden mindestens ein Drittel aller Führungspositionen in der Wirtschaft besetzen.	57	2008 bis 2020	32
Die weltweite Verknappung an fossilen Brennstoffen erzwingt eine Rationierung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte.	54	2011 bis nach 2025	41
Wachsende Umweltprobleme beeinträchtigen die Gesundheit der meisten Menschen.	53	2003 bis 2015	42
Die Europäische Union entwickelt eine Europaregierung, die die nationalstaatlichen Souveränitäten überwindet.	52	2010 bis 2024	42
Die Tendenzen zunehmender Individualisierung und Pluralisierung beeinträchtigen zunehmend die Funktionsfähigkeit der klassischen Entscheidungsinstanzen repräsentativer Demokratien.	49	2003 bis 2012	33
In Deutschland werden mehr als die Hälfte aller Kirchen aus Mangel an Bedarf geschlossen.	42	2008 bis 2019	40
Die Globalisierung der Wirtschaft führt zum fast völligen Bedeutungsverlust nationalstaatlicher Wirtschaftspolitik.	42	2005 bis 2015	51
Massive Migrationsströme führen in Deutschland zu Unruhen.	37	2003 bis 2011	49
Die Klimaentwicklung führt zu einer Entvölkerung großer Gebiete.	37	2012 bis nach 2025	48
Die technische Entwicklung ermöglicht zwei Dritteln aller Arbeitnehmer, zu Hause zu arbeiten.	31	2010 bis 2024	62
Es kommt zu heftigen kriegerischen Konflikten zwischen armen und reichen Ländern.	30	2007 bis 2019	56
China wird im Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt die Europäische Union übertreffen.	28	2010 bis nach 2025	56
Mit dem Islam entwickelt sich politisch der stärkste Staatenblock der Welt.	17	2007 bis 2019	67
Eine Weltregierung sorgt für die wirksame Eindämmung kriegerischer Konflikte.	16	2017 bis nach 2025	76
Die meisten Menschen in Deutschland gründen keine Familie mehr.	16	2006 bis 2017	71

Was bedeuten diese Meinungsäußerungen? (Der Wortlaut der abgefragten Thesen wird im Text hervorgehoben.) Zu rechnen ist demnach, wenn auch erst mittelfristig, mit einem weiteren *Anstieg der Weltbevölkerung* und einer *alternden Gesellschaft* in den Industrieländern. Bereits in nächster Zukunft wird ein noch größerer und *dauerhafter Anstieg der durchschnittlichen Arbeitslosenquote in den meisten entwickelten Industrieländern* befürchtet, darin herrscht Einigkeit. Das politische Ziel einer Halbierung der momentanen Arbeitslosigkeit halten die Antwortenden scheinbar für nicht erreichbar. Mittelfristig aber - auch da herrscht Einigkeit - kann *Deutschland wieder ein attraktiver Investitionsstandort werden*, vorausgesetzt, *Reformen* werden durchgesetzt.

Eine gute Mehrheit der Antwortenden glaubt - wenn auch erst mittel- bis langfristig - an einen *Anteil von einem Drittel Frauen in Führungspositionen*, eine *weltweite Verknappung fossiler Brennstoffe mit der Folge einer Rationierung des Energieverbrauchs privater Haushalte* und daß die *Europäische Union eine Europaregierung entwickelt, die sich über nationalstaatliche Souveränitäten hinwegsetzt*. Kurzfristig befürchten die meisten Antwortenden, daß *wachsende Umweltprobleme die Gesundheit der meisten Menschen beeinträchtigen* werden. Viele Enthaltungen gab es bei der Frage, ob die *Tendenzen zunehmender Individualisierung und Pluralisierung die Funktionsfähigkeit der klassischen Entscheidungsinstanzen repräsentativer Demokratien beeinflussen*. Diejenigen, die diesem Megatrend zustimmen, erwarten eine solche Entwicklung in der ersten Dekade des nächsten Jahrhunderts.

Völlig geteilter Meinung sind die Experten darüber, ob *in Deutschland mehr als die Hälfte der Kirchen aus Mangel an Bedarf geschlossen werden*. Falls ja, kommt diese Entwicklung eher längerfristig. Vielleicht ist eine Umwidmung von Kirchenräumen als eine Alternative anzusehen – meinen die Befragten.

"Globalisierung" ist das Schlagwort in aller Munde. Daß sie aber auch *zum fast völligen Bedeutungsverlust nationalstaatlicher Wirtschaftspolitik führt*, glaubt weniger als die Hälfte der Befragten. Ob *massive Migrationsströme in Deutschland zu Unruhen* oder die *Klimaentwicklung zu einer Entvölkerung großer Gebiete* führen, ist ebenso umstritten. Noch weniger wahrscheinlich erscheinen *kriegerische Konflikte zwischen armen und reichen Ländern*. Auch wird es wohl keine *Weltregierung* geben, die für die *wirksame Eindämmung kriegerischer Konflikte sorgt*, nicht einmal langfristig, darüber sind sich alle sehr einig.

Skepsis herrscht bei der Frage, ob die *technische Entwicklung zwei Dritteln aller Arbeitnehmer ein Arbeiten zu Hause erlaubt*. Nur ein Drittel der Befragten glaubt daran. Sie erwarten dies jedoch erst ab der zweiten Dekade des neuen Jahrhunderts. Vermutlich ist der Anspruch "zwei Drittel" in der Frage zu hoch gegriffen, obwohl die technischen Möglichkeiten für Telearbeit zum Teil jetzt schon gegeben sind und eine Ausweitung auch zu erwarten ist (siehe unten in den Themenkapiteln).

Die Antwortenden haben aber auch keine Furcht vor einer wirtschaftlichen oder politischen Übermacht fremder Länder. *Daß China die Europäische Union im Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukt übertreffen wird* oder *sich mit dem Islam der politisch stärkste Staatenblock der Welt entwickeln könnte*, erscheint den meisten eher unwahrscheinlich.

Die Familie wird auch weiterhin im Leben der Deutschen eine bedeutende Rolle spielen, denn daß die *Menschen in Deutschland keine Familie mehr gründen*, wurde schlichtweg abgelehnt. Es wurde allerdings in Kommentaren darauf hingewiesen, daß "Familie" nicht unbedingt an einen Trauschein geknüpft sein müsse und das Verständnis des Familienbegriffs im Wandel begriffen sei.

Dies sind die Megatrends, die möglicherweise in großem Maße Entwicklungen in Forschung und Technik beeinflussen werden. Wie sehen die Experten nun aber die Zukunft von Wissenschaft und Technik?



## Was kommt auf uns zu?

Seneca (dem Älteren) wird der Aphorismus zugeschrieben: "Für den Seemann, der den Hafen nicht kennt, in den er segeln soll, ist kein Wind ein günstiger!" Dies soll besagen, daß derjenige die Dynamik und die Antriebskräfte für Vorwärtsbewegung nicht nutzen kann, der sein Ziel nicht klar vor Augen hat. Zu einer Verständigung über Ziele in Wissenschaft und Technik beizutragen, ist die Hauptaufgabe des vorliegenden Reports. Die Zukunft läßt sich nicht vorhersagen wie ein Wahlergebnis mittels Hochrechnung am Wahlabend. Es geht auch nicht um Extrapolationen derzeitiger und vergangener Entwicklungen, sondern um Erwartungen, wie sie Fachleute hegen - also jene Experten in Wissenschaft und Technik, deren Tätigkeit unsere technologische Zukunft mitbestimmt. Über solche Ziele sollte ein Austausch über die Grenzen von Fachgebieten, Branchen und Themenfeldern hinweg stattfinden. Dazu aber benötigt man Anschauungsmaterial, um nicht stilisiert zu sagen "Verhandlungsmasse". Fragen sind nicht nur dazu da, beantwortet zu werden, wie ein anderer Aphorismus anonymen Herkunft behauptet, sondern zunächst einmal dazu, gestellt zu werden. Die "richtigen" Fragen zu stellen, kann bereits viele Lösungen und Antworten beinhalten.

Der Delphi-Report stellt eine Bebilderung der Zukunft dar, weder vollständig noch umfassend und schon gar nicht alle Einzelinteressen befriedigend. In diesem Ausblick wollen wir jegliche Sortierung nach Fachgebieten unterlassen und die Thesen sowie die Einschätzungen der befragten Fachleute - quasi als Kaleidoskop - für sich sprechen lassen. Das macht die Auswahl angreifbarer, als wenn eine stringente Systematik zugrunde gelegt wird. Es ist nicht möglich, mehr als 1.000 fachwissenschaftliche Einzelthesen kurz, anschaulich, zweifelsfrei und unanfechtbar auf einen Nenner zu bringen. Doch trotz aller Vorbehalte ist es den Versuch wert.

Wir betrachten in diesem Ausblick daher einzelne Zukunftsvisionen und beschreiben, inwieweit sie uns detaillierte Antworten auf die folgenden Fragen geben können. Einige Antworten folgen erst in den späteren Kapiteln. Andere werden sich erst in nachfolgenden Diskussionen ergeben.

- Wann kommt auf uns zu, was da auf uns zukommt?
- Was von dem, das auf uns zukommt ist weshalb wichtig?
- Bei welchen Zukunftsprojekten sind wir in Deutschland dabei?
- Was müssen wir tun, wenn wir dabei sein wollen?
- Wie verändert sich die Welt unterdessen und welche Rahmenbedingungen setzt dies unserem zukünftigen Tun?

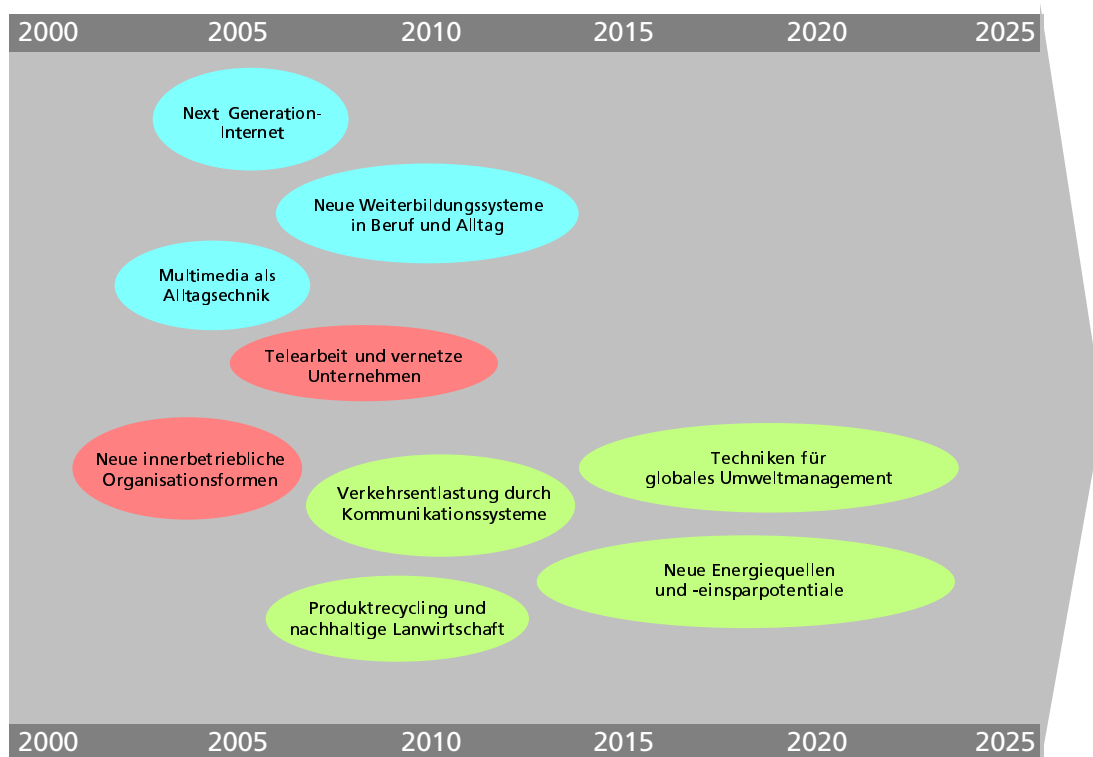
- Was ist die Konsequenz unseres Tuns - oder unseres Unterlassens - in Wissenschaft und Technik?

In den folgenden Kapiteln stellen wir die Thesen aus dem Delphi-Kaleidoskop im Überblick chronologisch zusammen. Dabei dürfen die mutmaßlichen Realisierungszeiträume nicht auf die Goldwaage gelegt werden. Zu groß ist die Ungenauigkeit der Schätzungen, manchmal auch der Dissens unter den befragten Fachleuten. Vieles von dem, was die Fachleute z.B. bis 2005 für realisierbar halten, sollte man einige Jahre vorher als Entwurf oder Prototyp erahnen bzw. besichtigen können, zum Beispiel auf der Weltausstellung EXPO in Hannover im Jahr 2000.

## Was ist von übergeordneter, genereller Wichtigkeit?

Womit müssen wir also rechnen? Die Thesen in diesem ersten Teilkapitel wurden nach ihrer generellen Wichtigkeit sowohl für Wirtschaft und Beschäftigung als auch für Gesellschaft, Umwelt und Wissenschaft und zu Delphi-Visionen gebündelt. Im Text hervorgehoben ist der Wortlaut der Thesen der Erhebung, wie sie im Fragebogen standen.

Bild 2: Die Zeitachse der wichtigsten Innovationsgebiete



### Neue innerbetriebliche Organisationsformen

Die Unternehmen werden in der nahen Zukunft verstärkt miteinander kooperieren. Dies führt auch in Forschung und Entwicklung zu *Unternehmenskooperationen unter Einbezug von Kunden und Instituten angesichts der zunehmenden Zeit- und Kostenintensität von F&E-Projekten*.

Nach allem, was uns die Experten sagen, wird die Bedeutung der Mitarbeitenden steigen, indem *selbständige, ganzheitliche Verantwortungsbereiche eingerichtet werden, um ihre Identifikation mit den sich verändernden Unternehmenszielen zu fördern*. Deshalb wird *die Verantwortungsübernahme der Mitarbeitenden für definierte Teile von Prozeßketten ein wissenschaftlich fundiertes Managementziel der Personalentwicklung sein. Die Identifikation mit einzelnen Projekten ist für die Motivation von Mitarbeitern und Projektbeteiligten wichtiger als die Identifikation mit dem Unternehmen und wird damit zum Problem des Top-Managements*. Diesen Entwicklungen entsprechend wird das Entlohnungssystem angepaßt, wobei *für den aus dem Arbeitsergebnis orientierten Lohnanteil nicht mehr nur die Individualleistung maßgeblich ist, sondern die Gruppenleistung bzw. das Betriebsergebnis insgesamt*.

In technischer Hinsicht wird die Mikrotechnik in den Unternehmen immer mehr um sich greifen. *Bauelemente, die Sensoren, Controller und Aktuatoren integrieren, finden in der Mikromaschinenteknik praktische Verwendung*. Das wird die produzierenden Betriebe, aber auch Kliniken und andere Dienstleister verändern. Die Experten schätzen, daß das Bündel der genannten Visionen zwischen 2001 und 2007 realisiert sein dürfte.

### **Multimedia als Alltagstechnik**

Die Vernetzung durch *multimediale Netzwerke eröffnet neue Kreativitätspotentiale für die Lösung zukünftiger Herausforderungen*. Denn *Kamera-Ausrüstungen für Multimedia-Anwendungen werden bald zur Standardausrüstung von PCs gehören*. Datennetze ermöglichen *die sichere Abwicklung rechtsverbindlicher Transaktionen durch technisch-organisatorische Lösungen zur eindeutigen Personenidentifikation und zur Datensicherheit*. Dies bedeutet dann auch, daß *Auswahl und Kauf vieler Waren dank virtueller Realität und Multimedia am PC möglich sind und die Lieferung oder Abholung unabhängig von Öffnungszeiten erfolgen kann*. Auch der Handel in Netzwerken wird weit verbreitet sein, indem *elektronische Abrechnungs- oder Geldsysteme genutzt werden*.

Nicht nur für Handel und Konsum eröffnen multimediale Netzwerke völlig neue Möglichkeiten, sondern sie ermöglichen mit *Hilfe von Computersimulationen eine aktive Bürgerbeteiligung in behördlichen Entscheidungsprozessen (Ämter, Gemeinderat etc.) zum Beispiel von Bebauungs-Alternativen*. Der gesamte Bauprozeß wird *in einem vernetzten (Tele-) Informationsverbund unter Einbezug von allen Beteiligten abgewickelt*. Der Wetterbericht wird immer verlässlicher, und unsere alltäglichen Entscheidungen, wie wir uns kleiden und ob wir einen Schirm mitnehmen sollen, wird multimedial unterstützt, denn *Satellitendaten werden für die Ableitung meteorologischer Basisparameter (Temperatur, Feuchte) in Wettervorhersage-Modelle integriert*. Die vernetzten Multimedia-Systeme werden für 2002 bis 2007 erwartet.

## **Next Generation Internet**

*Ein Internet der nächsten Generation wird realisiert, dessen Sicherheit hoch ist und das Informationen in Echtzeit übertragen kann, so daß Telefonservice und die Übertragung bewegter Bilder möglich sind. Die Mehrzahl aller Privathaushalte sendet und empfängt deshalb elektronische Post. Eine fortgeschrittene Breitbandverkabelung aller Haushalte in dicht besiedelten Gebieten bildet die dafür notwendige Infrastruktur (alles zusammen: 2003 bis 2009).*

## **Telearbeit und vernetzte Unternehmen**

*Durch die Entwicklung von Multimedia-Kommunikation unter Nutzung von Internet und Intranet ist allgemeine Büroarbeit zu Hause, ausgenommen Besprechungen und Verhandlungen, weit verbreitet. So arbeiten mit Hilfe von Telekommunikation 30 % aller in Büros beschäftigten Mitarbeiter an zwei von fünf Werktagen zu Hause. Die Telearbeit kommt also zwischen 2005 und 2012 - nur nicht für alle bzw. nicht jeden Tag. Ferner werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben verteilt an vielen räumlich voneinander getrennten Standorten komplementär vorangetrieben. IuK-technische Lösungen ersetzen dabei direkte Kommunikationsbeziehungen und ermöglichen die Zusammenführung der einzelnen Teillösungen.*

*Die dominante Unternehmensform ist damit generell nicht mehr durch einen festen Standort und durch feste Mitarbeiter charakterisiert. Ihre Geschäftstätigkeit besteht vielmehr aus dem Zusammenführen von vielfältigen Teilleistungen der Personen oder spezialisierter Unternehmen - auch in Form neuer Industrie-Hochschul-Forschungskooperationen - an verschiedenen Standorten, die über Netze und einen gemeinsamen Wertschöpfungsprozeß miteinander verbunden sind. Verringert diese Entwicklung auch das Verkehrsvolumen?*

## **Productrecycling und nachhaltige Landwirtschaft**

*Mittelfristig (zwischen 2006 und 2013) kommt ein "Ringeln" um ökologisches Wirtschaften und um die Eindämmung globaler Umweltprobleme auf uns zu. Dafür müssen die Funktionsmechanismen der sozialen Marktwirtschaft ertüchtigt werden. Aber auch wichtige Regulationsänderungen ("Re-Regulationen") sind angedacht. Zum Beispiel werden die Hersteller von langlebigen Gebrauchsgütern gesetzlich verpflichtet, ihre Produkte nach Nutzungsende zurückzunehmen und zu beseitigen, wodurch ein Recycling-System mit Planung, Produktion, Einsammeln und Recycling bzw. Re-Use Verbreitung findet, mit dessen Hilfe ein fast vollständiger Stoffkreislauf entsteht.*

Andererseits entstehen neue technische Möglichkeiten. So werden etwa satellitengestützte *geographische Informationssysteme operativ für die großräumige Bewirtschaftung des Landschafts-Wasserhaushalts eingesetzt. Durch ein ganzheitlicheres Verständnis der Kreisläufe der Biosphäre werden Formen der Land- und Forstwirtschaft entwickelt, die es ermöglichen, höhere Ernteerträge bei gleichzeitiger Schonung der Kreisläufe der Biosphäre zu erreichen. Die nicht monetären Leistungen der Landwirte (z.B. Landschaftspflege) werden bewertet und als produktionsabhängiges Leistungsentgelt für die Hälfte der landwirtschaftlichen Nutzfläche gewährt.*

In globaler Hinsicht ist die Bevölkerungsexplosion ein unüberschaubares Problem. Menschen wollen sich ernähren. Sie benötigen Energie. Die Fachleute der Umfrage glauben, daß sozial und ethisch akzeptierte Methoden zur Begrenzung des Bevölkerungswachstums breit eingesetzt werden. Transgene Pflanzen mit verbessertem Spektrum der Inhaltsstoffe werden für die Futtermittel- und Nahrungsmittelproduktion verwendet, also gentechnische Lösungen angestrebt. Die Auswirkungen der Rodung tropischer Regenwälder und der Ausdehnung der Wüsten auf das Klima mit ihren Wechselwirkungen werden hinreichend geklärt. Satellitengestützte Informationssysteme liefern räumlich hochauflösende Satelliten- und digitale Geobasisdaten für 70-80 % der Landoberfläche, die wissenschaftlich frei zugänglich sind.

### **Entlastung der Verkehrsströme durch Kommunikationssysteme**

*Der berufsbedingte Mobilitätsbedarf wird wahrscheinlich durch die Zunahme von Heimarbeitsplätzen um 20 % reduziert. Auch durch Teleworking und Videokonferenzen findet eine spürbare Substitution von geschäftlich bedingtem Verkehr statt. Durch die "Entmaterialisierung" einzelner Transportströme (z.B. Rationalisierung und Bündelung von Güterverkehrsströmen, Teledienstleistungen für klassische Versorgungsfunktionen privater Haushalte) gelingt die Entkopplung der Wirtschafts- und Verkehrsentwicklung, sprich, weiteres Wirtschaftswachstum kann ohne Zunahme des Verkehrs erreicht werden (2007 bis 2014).*

### **Neue Weiterbildungssysteme in Beruf und Alltag**

*Recherchen und Informationsfluß im Internet sowie in der Kommunikation mit internationalen Bibliotheken und Datenbanken für professionelle und private Zwecke machen mittelfristig bereits 50 % der Kommunikationsverbindungen aus. Virtuelle Weltuniversitäten und Volkshochschulen sind weit verbreitet, die an vielen Orten die Aus- und Weiterbildung der Bevölkerung zu Hause ermöglichen. Systeme zum Erwerb von Multimedia-Informationen on demand liegen weltweit in jeder der gängigsten Weltsprachen in Netzwerken dezentral bereit. Dasselbe gilt auch für wissenschaftliche Information. Multimedia-Wörterbücher aller Fächer werden allgemein*

*verwendet, in denen man mit Buchstabeneingabe, Stimme oder Bildern nachschlagen und Antworten erhalten kann.*

Geordnet wird dies alles von *Informationsdatenbanken, die automatisch lernen*. Aber auch die mündliche Informationsweitergabe verbessert sich, denn *ein automatisches Sprachübersetzungssystem im Taschenformat wird in der Praxis verwendet, mit dem man sich ohne Kenntnisse der Sprache des Gesprächspartners unterhalten kann*. Dieses kann insbesondere auf Reisen hilfreich sein.

*Für die Mehrheit aller Arbeitnehmer ist die Nutzung von Fort- und Weiterbildung mit Hilfe der Telekommunikation vollständig in den Ablauf der beruflichen Arbeitszeit integriert. Unternehmen verfügen über eigene Systeme des Wissens- und Erfahrungsmanagements, zu dem die Mitarbeiter nach leicht verständlichen Strukturen Zugang haben und in denen sie unterschiedliche Wissens- und Erfahrungselemente zu neuen Erkenntnissen kombinieren können. Ein Wiederauffrischungs- und Trainingssystem für die berufliche Entwicklungsplanung von Menschen mittleren und höheren Alters wird allgemein eingerichtet werden, in dessen Rahmen sie neue Fachkenntnisse und technische Qualifikationen erwerben können. Deshalb führt Bildung vermehrt zu individuellen Qualifikationsbündeln statt zu allgemeingültigen Abschlüssen, welche durch die Bildungsforschung in Inhalt und hierarchischer Zuordnung festgelegt sind. Mit diesem Bündel an Visionen wird zwischen 2006 und 2014 gerechnet.*

## **Neue Energiequellen und -einsparpotentiale**

Die Entwicklung neuer Energietechniken braucht Weile. Notwendige Strukturveränderungen bei der Energiebereitstellung vollziehen sich langsam. Die Delphi-Experten unterstreichen ihren Konsensus über die verstärkte Nutzung der Solarenergie, datieren Fortschritte aber ans Ende des zweiten Jahrzehnts im 21. Jahrhundert (2013 bis 2023). Dann erst überschreitet *der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung (ohne Wasserkraft) in Deutschland 10 % (heute ca. 0,5 %)*. Auch werden dann *Mehrschicht-Solarzellen, die einen Wirkungsgrad der Energieumwandlung von mehr als 50 % erreichen, in der Praxis verwendet. Ebenfalls findet ein Verfahren, mit dem Wasser durch Sonnenstrahlung dissoziiert wird, Anwendung. Solarthermisch angetriebene Stirlingmotoren sind in sonnenreichen Ländern zur Stromerzeugung weit verbreitet. Für netzgekoppelte photovoltaische Systeme werden Systemkosten von weniger als 4000 DM/kWp erreicht (heute: 15.000 DM/kWp)*.

*Aber auch Brennstoffzellen auf der Basis von Feststoff-Polymeren mit Kraft-Wärme-Kopplung sind dann in Wohngebäuden weit verbreitet. In Industrie- und Gewerbebetrieben werden dagegen dezentrale Hochtemperatur-Brennstoffzellen-*

*Anlagen zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Hochtemperaturwärme eingesetzt.*

Neue Technik hilft Energie zu sparen. Aber auch darauf werden wir noch fast zwei Jahrzehnte warten müssen. *Viele neue Verfahren zur Substitution heutiger energieintensiver Prozesse der Grundstoffindustrie werden dann in der Praxis angewandt, so daß der spezifische Energiebedarf der Grundstoffindustrie-Prozesse durchschnittlich um ein Drittel gegenüber heute gesunken ist. Zu erwähnen sind hier z.B. endabmessungsnahes Stahl- und Nichteisen-Metallgießen, Membrantechnik statt thermischer Trennverfahren, formstabile Anoden, Mikrowellen- und Impulstrochnung. Der Luftverkehr in der Europäischen Union wird durch hochleistungsfähige Hochgeschwindigkeits-Verkehrsmittel zu 50 % ersetzt - und zwar im Personen- und Güterverkehr. Die verkehrsbedingten Umweltbelastungen in deutschen Städten werden durch siedlungsstrukturelle Veränderungen um 30 % reduziert. Dabei wird z.B. die bisherige Trennung von Wohnen, Arbeiten und Einkaufen aufgehoben.*

### **Techniken für globales Umweltmanagement**

*Durch Ökosystemforschung im geschlossenen System (Biosphäre) wird das Verständnis für das globale Ökosystem so verbessert, daß globale Rahmenbedingungen für das Überleben der Menschheit geschaffen werden. Um die Ausbreitung der Wüsten einzudämmen, finden Techniken zur Begrünung der Wüstengebiete weltweit Verbreitung. Mit Hilfe der Biotechnologie werden trockenheitsbeständige und salzresistente landwirtschaftliche Nutzpflanzen entwickelt, die auch an sehr versalzungsgefährdeten Bewässerungsstandorten dauerhaft hohe Erträge liefern. Der Wasserverbrauch von Kulturpflanzen wird durch Züchtung von Biomasse gesenkt. Agrarlandschaften - auch neu zu entwickelnde in ehemaligen Wüsten und am Polarkreis - werden von speziellen Landschafts-Nutzungsbüros standortgerecht geplant und kontrolliert. (Insgesamt kann es bis 2014 und 2024 dauern).*

### **Welche umstrittenen Utopien werden wir nicht erleben?**

Unser Kaleidoskop bricht im Jahr 2025 ab. Einige Zukunftsprojekte lassen sich bis dahin nicht realisieren. Vielleicht wird dies sogar nie der Fall sein. So dürfen wir - sagen viele Fachleute - nicht damit rechnen, daß *in Super-Mega-Cities mit 10 bis 20 Mio. Einwohnern Wohn- bzw. Geschäfts-Gebäude von bis zu 3.000 m Höhe gebaut werden, in denen bis zu 50.000 Menschen wohnen und arbeiten.* Dies bleibt uns erspart, obschon heute bereits Gebäude mit 600 m Höhe für mehr als 5.000 Menschen realisiert sind.



*Es wird auch nicht üblich werden, zur Freizeitgestaltung die Wohnung nicht mehr zu verlassen. Ganz im Gegenteil: Starke Begrenzungen des Individualismus wird es in unserer Demokratie nicht geben. Das jährliche Mobilitätskonto, das jeder motorisierte Verkehrsteilnehmer für Fahrten in die Stadt bzw. in der Stadt erhält, bleibt eine Utopie, auch wenn vorgesehen wäre, bei Mitnahme von Personen einen Öko-Bonus steuerlich rückzuvergüten. Auch wird der Verzicht auf Autobenutzung nicht durch spezielle Bonusverfahren, z.B. bei der privaten Stromabrechnung, belohnt werden.*

Aufatmen bei Wirtschaftslenkern und Politikern! Das Rätssystem, vor nicht einmal zehn Jahren im Osten abgeschafft, wird im Westen nicht eingeführt werden. Die Vorstellung etwa, daß bei nachweisbaren gravierenden Fehlern das Management von Unternehmen durch die Belegschaften abgewählt wird, bleibt unerfüllt. Auch ein "elektronisches Parlament" (elektronischer Landtag), das in parlamentarischen Fernsehsendungen agiert und tagt, so daß Entscheidungen über Gesetzesentwürfe (Vorschriften) mit Hilfe von elektronischen Volksabstimmungen getroffen werden, bleibt wohl eine Utopie. Selbst die weitgehende Privatisierung von Staatsaufgaben kommt an ein Ende. Denn die öffentlichen Institutionen zur Gewährleistung der inneren Sicherheit, wie die Polizei oder der Strafvollzug, mit Ausnahme der Rechtsprechung, werden nicht privatisiert. Auch brauchen wir - der Umfrage zufolge - auf die Einführung einer Bundeseinheits-Krankenkasse mit einem Leistungskatalog nicht zu warten; sie wird es nicht geben.

## **Innovationen für die wirtschaftliche Entwicklung**

Der erste Gang durch die mögliche Zukunft hat bereits eine Reihe interessanter Trends erkennen lassen. In diesem zweiten Schritt wird der Fokus auf Innovationen gerichtet, die nicht in jeder Hinsicht oben auf der Liste stehen, aber unter bestimmten Fragestellungen herausragen. Beginnen wir mit Visionen, die die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland und der Welt insgesamt maßgeblich beeinflussen werden.

- Neue Organisationsstrukturen zwischen Unternehmen
- Neue Qualitätsstandards in der Nahrungsmittelproduktion
- Satelliten-unterstützte Verkehrskontrolle
- Elektronisches Geld als Zahlungsmittel in multimedialen Netzwerken
- Photonik und neue Chip-Generationen
- Satelliten-Technik
- Neue Materialien und Verfahren
- Bio- und Lebensmitteltechnologie

### **Neue Organisationsstrukturen zwischen Unternehmen**

Für die wirtschaftliche Entwicklung sind *neue Kooperationsmodelle* wichtig, die *dazu führen, daß sich die Unternehmen auf das Kerngeschäft konzentrieren und somit die Konstruktions- und Entwicklungstätigkeiten zum großen Teil auf die Zulieferindustrie verlagern*. Damit wird die *Fähigkeit, komplexe Projekte - auch in Forschung und Entwicklung - in Kooperation mit vielen Unternehmen effizient abwickeln zu können, zur neuen Kernkompetenz*. Um bei den vielen parallelen Aktivitäten die Übersicht nicht zu verlieren, werden *alle relevanten Unternehmensdaten und die wichtigsten Umfeld-Informationen der Unternehmensleitung verdichtet und tagesaktuell zur Steuerung der Unternehmen vorgelegt*. Diese Visionen zum Unternehmen der Zukunft werden nach Ansicht der Experten zwischen 2001 und 2008 verwirklicht sein.

### **Neue Qualitätsstandards in der Nahrungsmittelproduktion**

In der Nahrungsmittelproduktion werden sich neue Qualitätsstandards durchsetzen, indem *Nutztiere tierindividuell (Rinder, Schweine) bzw. bestandsindividuell (Geflü-*

gel, Aquakultur) mit Kenndaten erfaßt und systematisch ausgewertet (Fütterung, Leistung, Krankheiten, Prophylaxe, Therapie) werden (2002 bis 2006). Um die genetische Herkunft von Pflanzen und Tieren mit dem Ziel zu ermitteln, Investitionen in der Biotechnologie zu schützen, werden in der Praxis molekulare Sonden und genetische Fingerabdruck-Techniken eingesetzt (2002 bis 2008).

### **Satelliten-unterstützte Verkehrskontrolle**

Zwischen 2003 und 2008 werden *Satelliten-Navigationssysteme gesteigerter und erweiterter Leistungsfähigkeit unter internationaler ziviler Kontrolle Routine-Hilfsmittel eines effizienten Luft-, See- und Landverkehrs sein. Insbesondere ein satellitengestütztes Online-Informationssystem für die besonders wettersensiblen Verkehrsbereiche Schifffahrt und Luftfahrt mit On-board-Datenverarbeitung beim Nutzer kommt zum praktischen Einsatz.*

### **Elektronisches Geld als Zahlungsmittel in multimedialen Netzwerken**

Da sich der *Handel in* inzwischen durch *Datenverschlüsselungstechniken informationssicher gewordenen Netzwerken weiter ausdehnen wird, indem elektronische Abrechnungs- oder Geldsysteme genutzt werden* (2002 bis 2005), gewinnt auch *digitales Geld* (2002 bis 2007) gegenüber realen Zahlungsmitteln eine steigende Bedeutung.

Mittelfristig werden neue technische Ansätze wirtschaftlich wichtig. Diese werden in Alltagsprodukte eingehen, in ihnen aber nicht in jedem Fall sichtbar sein.

### **Photonik und neue Chip-Generationen**

Die Infrastruktur neuer multimedialer Systeme wird zwischen 2006 und 2013 auf optische Systeme umgestellt sein. So wird die *optische Soliton-Übertragung für Glasfaser-Übertragungen über weite Entfernungen, z.B. für interkontinentale Kabel auf dem Meeresgrund, eingesetzt. Lichtwellenleiter-Materialien größerer Längen für Übertragungsraten von 100 Gb/s werden entwickelt (derzeit 20~30 Gb/s)*. Auch in der Speicherung von Daten wird die Photonik an Bedeutung gewinnen. So werden *optische Speicher mit Aufzeichnungsdichten von mehr als 100 Gb/cm<sup>2</sup> eingesetzt werden* (2007 bis 2013). Schließlich werden *neue Displaytechnologien wie "leuchtende Kunststoffe" (beliebig formbar) reif für den praktikablen Einsatz* (2007 bis 2013).

Die dramatischen Fortschritte in der Chip-Technologie werden sich fortsetzen. Denn unter Nutzung des Entwicklungspotentials oberhalb der Chip-Ebene (Chip-

*on-Board-Technologie, Multi-Chip-Module, 3-D-Chip und Wafer-Scale-Integration) werden Sprünge bei der Packungsdichte um zwei Größenordnungen erreicht werden (2006 bis 2010). Nichtflüchtige und überschreibbare RAM von mehr als 100 Gb werden in der Praxis verwendet (2007 bis 2014). Es wird auch eine Technik entwickelt, mit der man auf Glasscheiben großflächige Verbindungshalbleiter-Einkristallschichten produzieren kann (2010 bis 2018). Schließlich werden LSI-Schaltkreise mit Schaltzeiten von unter einer ps verwendet werden (2006 bis 2013).*

## **Satelliten-Technik**

Neben den bereits geschilderten Anwendungen der Satellitentechnik, zum Beispiel zur Wettervorhersage, wird es auch Fortschritte in der Satelliten-Technik selbst geben. So wird *die Versorgungsspannung der Digitalelektronik von Satelliten von 5 V auf weniger als 1,5 V abgesenkt, so daß der Leistungsbedarf um eine Größenordnung vermindert wird (2004 bis 2009). Es wird auf Strukturelemente - soweit thermisch vertretbar - weitgehend verzichtet, so daß die Satellitenmasse um eine Größenordnung vermindert wird (2005 bis 2014). Ferner werden im Hybridbetrieb Bauteile aus Halbleitern und Hochtemperatur-Supraleitern kombiniert (2007 bis 2014). Da Satelliten-Kommunikationssysteme zur Breitbandübertragung mit mehr als 1 Gb/s je Schaltstelle entwickelt werden (2005 bis 2011), sind schnellere Anwendungen möglich. Aber auch Verbesserungen bestehender Anwendungs-Systeme sind zu erwarten, z.B. ein einheitliches, unverraushtes globales Satelliten-Navigationssystem mit Genauigkeiten unter einem halben Meter (2004 bis 2009). Diese Entwicklungen ermöglichen z.B. den Einsatz eines Systems zum Starten und Landen von Flugzeugen sowie zu deren Fortbewegung am Boden in der Allwetterkategorie in der Praxis (2005 bis 2010).*

## **Neue Materialien und Verfahren**

Die chemische Industrie treibt die Materialentwicklung weiter voran. Es werden *Polymerfasern entwickelt, die eine Reißfestigkeit von 40 % des theoretischen Wertes und einen Elastizitätsmodul von 90 % des theoretischen Wertes erreichen (2006 bis 2013). Intelligente Materialien mit der Eigenschaft, sich äußeren Einflüssen anzupassen, werden zur Steigerung der Effizienz von Maschinen in größerem Umfang verwendet (2005 bis 2011).*

Zur kostengünstigen Herstellung neuer und verbesserter Materialien werden zwischen 2004 und 2010 folgende neue Verfahren eingesetzt werden. *So wird ein Verfahren entwickelt, mit dem maßgeschneiderte Polykondensations-Werkstoffe hergestellt werden. Die Massenproduktion von Halbzeug aus Verbundwerkstoffen, z.B. mit Kohlenstoff-Fasern, wird vorangetrieben, so daß diese als preiswerte und leichte Konstruktionswerkstoffe weite Verbreitung finden. Ferner wird eine Technik*

*entwickelt, bei der nanoskalige Partikel bei Temperaturen um 800°C in einen festen Zustand gesintert werden und zu hitzebeständigen Hochleistungsmaterialien (z.B. Keramikmaterialien) auf SiC oder Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Basis führen.*

*Aber auch neue katalytische Systeme werden entwickelt, um Epoxide durch direkte Oxidation mit Sauerstoff technisch herzustellen (2006 bis 2014) und die selektive CH-Aktivierung in Methan bewerkstelligen zu können, so daß die direkte Herstellung von Methanol aus Methan möglich wird (2008 bis 2015). Außerdem wird eine neue Raffinationstechnik entwickelt, die die Gewinnung von Titan ebenso preisgünstig werden läßt wie die von Aluminium (entweder 2010 bis 2018 – oder nie, sagen die Experten). Grundsätzlich wird in technischen Synthesen die Reaktion und Stofftrennung prozeßintegriert in einem Apparat durchgeführt werden, z.B. mittels Reaktivdestillation oder Membranreaktor (2006 bis 2016).*

*Zunehmend an Bedeutung gewinnen effektive und effiziente Prüfmethode, mit welchen z.B. der Zustand bzw. die Leistungsreserve von metallischen Materialien durch zerstörungsfreie Prüfverfahren festgestellt und daraus die wahrscheinliche restliche Lebensdauer gefolgert werden kann (2005 bis 2013). Auch zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Auffindung winziger Risse von unter 10 µm in Keramik finden praktische Anwendung (2003 bis 2009). Ferner machen Software-Zertifizierungstechniken Fortschritte, so daß nahezu fehlerfreie Software in großem Umfang in kurzer Zeit entwickelt werden kann (2007 bis 2015).*

*Die neuen Verfahren erlauben produktionstechnische Lösungen, die die Fertigung nach Kundenauftrag zu annähernd denselben Produktionskosten wie die Programmfertigung möglich machen (2003 bis 2010). Dadurch wird es auch möglich, die von der Entscheidung über eine neue Produktgeneration bis zu ihrer Markteinführung notwendige Zeitspanne gegenüber dem heutigen Stand generell zu halbieren (2004 bis 2010). All dies wird einen großen Einfluß auf die wirtschaftliche Entwicklung haben.*

## **Bio- und Lebensmitteltechnologie**

*Für die Herstellung hochwertiger Substanzen (z.B. Pharmazeutika, Feinchemikalien, Proteine) werden Zellkulturen in Bioreaktoren in großtechnischem Maßstab allgemein verwendet (2005 bis 2011). Transgene Pflanzen mit verbessertem Spektrum der Inhaltsstoffe werden für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion breit eingesetzt (2006 bis 2011). Durch die Nutzung modernster Lebensmitteltechnologie können kleine und mittlere Lebensmittelhersteller eine Vielzahl innovativer Produkte erfolgreich auf dem Markt einführen (2004 bis 2010). Diese Perspektiven sind für eine soziale Marktwirtschaft - trotz weitverbreiteter Bedenken wegen der Risiken der Gentechnik - beruhigend. Denn es galt nicht von Anfang an als sicher, daß*

auch der innovative Mittelstand am Fortschritt durch die Biotechnologie teilhaben kann.

### **Welche wirtschaftlich wichtigen Innovationen werden wohl nie realisiert werden?**

In vielen Fällen stoßen bei Innovationen, die zu einer drastischen und wirtschaftlich bedeutsamen Energieeinsparung führen könnten, Forschung und Entwicklung - zumindestens aus heutiger Sicht - an ihre Grenzen: Sie lassen sich wohl nicht in absehbarer Zeit realisieren. Die Meinungen dazu gehen allerdings auseinander. Wir denken, wenn 20 % der Delphi-Experten "nie" sagen und die anderen späte Zeithorizonte nach 2025 vorsehen, sollte man die Hoffnungen auf eine Realisierung fahren lassen! Dies ist - wiederum - eine Bewertung unseres Zukunftswissens.

Es ist wahrscheinlich nicht möglich, *mit speziellen Verbrennungsmotoren aus Keramik ausgestattete 2-Liter-Autos mit niedrigen Schadstoff-Emissionen ohne Katalysator zu bauen*. Das heißt jedoch nicht, daß 2-Liter-Autos generell nicht möglich sind. Vielmehr scheint der Keramikmotor ohne Katalysator hier der Engpaß zu sein. *Eine neue Raffinationstechnik, die die Gewinnung von Titan ebenso preisgünstig werden läßt wie die von Aluminium*, wird ebenso von einigen Experten als nicht realisierbar angesehen. Dasselbe gilt für die Entwicklung *einer Technik zur Roheisenproduktion aus Erz, die mit nur 70 % des heutigen Primärenergiebedarfs auskommt*. Auch ein Wirtschaftlichkeitssprung in der Supraleitungstechnik durch Materialien, die ohne Kühlung auskommen, ist nicht zu erwarten: Daß *eine Supraleitersubstanz entwickelt wird, deren Sprungtemperatur bei Normaltemperatur liegt*, wird von den Experten bezweifelt.

Aber auch in der Informations- und Kommunikationstechnologie sind Grenzen zu erkennen, die Menschen mit ihren intellektuellen Kapazitäten, wie *Portfolio-Manager im Portfolio-Management*, weiterhin unverzichtbar erscheinen lassen. Auch das *"real time reporting" ersetzt die periodische Überprüfung durch Regierungsbehörden* wohl nicht. Es werden sich aufgrund unzureichender internationaler Koordination und technischer Möglichkeiten auch nicht *für jede eingescannte oder aus Multimedia-Systemen abgerufene Graphik auf internationaler Ebene Gebühren für die Urheberrechte abführen* lassen. Die Strukturen des politischen Systems in Deutschland erlauben es wahrscheinlich auch nicht, *daß alle Beihilfen bzw. Subventionen für den Agrarbereich gestrichen werden, so daß sich in Deutschland unter den marktwirtschaftlichen Bedingungen nur noch landwirtschaftliche Großbetriebe behaupten können*.

Während nicht in Frage steht, daß "digitales" Geld an Bedeutung gewinnt, muß die Hoffnung derer enttäuscht werden, die glauben, die Bäume der Informationsgesellschaft wachsen in den Cyberspace. Zu den vermutlich nicht zu realisierenden Visio-

nen gehört nämlich, *daß durch elektronisches Heimshopping 50 % der Lebensmittel den Verbraucher erreichen, ohne den traditionellen Handel durchlaufen zu haben.* So weit reicht digitales Geld nicht. Der Euro und der Cent werden weiterhin gebraucht, auch wenn es Mark und Pfennig längst nicht mehr gibt.

## **Innovationen für Arbeit und Beschäftigung**

Die Innovationen, die in nächster Zukunft für Arbeit und Beschäftigung wichtig sein werden, betreffen ausnahmslos das bereits skizzierte Unternehmen der Zukunft. Sie werden hier nicht noch einmal wiederholt. Aus diesem Grund wird der Fokus unmittelbar auf die mittelfristige Entwicklung gerichtet.

- Flexibilisierung der Beschäftigungszeiten
- Neue Unternehmensorganisation
- Arbeitsintensive Dienstleistungen

Bis zum Jahr 2015 gibt es voraussichtlich eine Reihe interessanter Innovationen, die Arbeit und Beschäftigung massiv beeinflussen werden. An erster Stelle ist zu nennen, daß die *öffentliche Arbeitsvermittlung schrittweise durch private Arbeitsvermittlungen ersetzt* wird (2003 bis 2009). Die Experten versprechen sich davon Effizienzgewinne bei der Arbeitsvermittlung, aber nicht unbedingt mehr Arbeitsplätze für Arbeitsplatzvermittler.

### **Flexibilisierung der Beschäftigungszeiten**

Weitere Innovationen zeichnen sich durch eine Flexibilisierung der Beschäftigungszeiten aus. *So können die Betriebszeiten von den Arbeitszeiten der Beschäftigten weitgehend entkoppelt werden, weil die Störanfälligkeit von Automatisierungslösungen sehr gering sein wird* (2005 bis 2012). *Die Betriebszeiten der immer kapitalintensiveren Produktionsmittel können deshalb in den meisten Unternehmen im Durchschnitt auf 20 Stunden pro Tag ausgeweitet werden* (2003 bis 2009). *Moderne Organisationsformen erlauben, daß sich die Belegschaften effizienter Unternehmen zu mehr als 40 % aus Mitarbeitern mit befristeten Arbeitsverträgen oder Werkverträgen zusammensetzen* (2005 bis 2013). *Trotz der Bemühungen um eine Flexibilisierung in Deutschland werden standardisierte Verwaltungs- und Büroroutinen von kompetentem Personal in Entwicklungsländern via Telearbeit vorgenommen* (2002 bis 2009). *Auf der anderen Seite droht ein Mangel an hochqualifizierten Arbeitskräften, so daß produktive Unternehmen qualifiziertes Personal durch das Gewähren familienfreundlicher Arbeitszeiten gewinnen werden* (2003 bis 2010).



## Neue Unternehmensorganisation

Auch bei der Entlohnung werden flexiblere Lösungen eingeführt, indem die *Grundlage für die Entlohnung aller Beschäftigten zu jeweils 50 % die Arbeitszeit und das Arbeitsergebnis sein werden* (2007 bis 2014). Außerdem werden *objektivierte Berechnungsschlüssel angewendet, nach denen für den aus den am Arbeitsergebnis bestimmten Lohnanteil nicht mehr quantitative, sondern qualitative Faktoren (Terminreue, Fehler etc.) maßgeblich sind* (2003 bis 2010). Die Mehrheit der Unternehmen wird schließlich mit *Unternehmens-Aktien entlohnen, weil es sich als motivations- und damit produktivitätserhöhend herausgestellt hat* (2003 bis 2010).

Auch wird die *traditionell funktionale Abteilungsgliederung der Unternehmen flächendeckend durch produktlinien- bzw. kundenorientierte Strukturen ersetzt werden* (2003 bis 2009), was wiederum das Arbeitsangebot erhöht. Die *gleichzeitige Existenz unterschiedlicher Organisationsformen und -prinzipien in einer Produktionsstätte ermöglicht übrigens die vom Markt geforderte Produktionsflexibilität und Kundennähe* (2003 bis 2009) und ist daher wachstumsträchtig. Insbesondere *kleine und mittelständische Unternehmen haben durch Modelle der zwischenbetrieblichen Kooperation ihre Beschaffungs- und Vertriebsaktivitäten gebündelt, um so auf den Märkten mit mehr Gewicht auftreten zu können* (2003 bis 2010). Schließlich werden die *Kriterien für die technische und wirtschaftliche Effektivität im Entscheidungsfeld von Baustellen-Automatisierung oder Menschenarbeit mit hocheffektiven Hilfsmitteln bestimmt* (2004 bis 2012). Die Folge: Eine Sicherung von Arbeitsplätzen.

## Arbeitsintensive Dienstleistungen

Neuartige Dienstleistungen werden entstehen, indem *ein bedeutender Teil der arbeitenden Bevölkerung Dienstleistungen beim Wohnen bis hin zum "Hotel"-Service in Anspruch nehmen wird* (2008 bis 2016). Ferner werden *Einzelhandelsgeschäfte in großem Umfang Vertriebsformen des Versandhandels mit neuen informations- und betriebswirtschaftlichen sowie organisatorischen Möglichkeiten übernehmen* und u.U. die *Laufburschen wieder einstellen* (2003 bis 2009). Die Zukunft der Arbeit liegt also zum Teil in Denkmodellen der Vergangenheit - bohrende Fragen mit neuen Vor-Zeichen. Auch mittelfristig hängen Beschäftigungsmöglichkeiten eng mit der Organisation der Wirtschaft zusammen und, nota bene, nicht mit einer Senkung der Lohnkosten. Denn mittelfristig ist *die Dezentralisierung von Entscheidungsbefugnissen auf die operative Betriebsebene für all diejenigen Entscheidungen, für die die Informationsbasis dort am besten ist, flächendeckend verwirklicht* (2003 bis 2010). Das schafft Arbeit!

## **Welche Visionen werden keinen Einzug in den Arbeitsalltag halten?**

Leider wird sich ein Produktionssystem, das die Einschränkungen älterer und (geistig und körperlich) behinderter Menschen gleichsam berücksichtigt und ausgleicht, wohl nicht allgemein etablieren lassen. Die duale Berufsausbildung in der Industrie wird auch nicht so stark an Attraktivität gewinnen, daß einzelne Fakultäten um Studenten werben müssen. Trotz einer Reihe entwickelter Kommunikationsstrategien in neuen Organisationformen werden hierarchisch motivierte Arbeitsanweisungen nicht überflüssig. Die Kreativpausen für alle Mitarbeiter in Vorreiter-Unternehmen von allgemein 5 % und für F&E-Personal 20 % der Arbeitszeit bleiben wohl ebenfalls Utopie. Für die zur Zeit stark von der Arbeitslosigkeit betroffenen Bauarbeiter mag es ein kleiner Trost sein, daß Gebäude vermutlich auch in Zukunft nicht vollautomatisch ohne Menschenhand errichtet werden.

## **Innovationen für die gesellschaftliche Entwicklung**

Nach den wichtigen Thesen für die Wirtschaft, Arbeit und Beschäftigung gilt jetzt die Aufmerksamkeit den Innovationen, die besonders die gesellschaftliche Entwicklung beeinflussen werden.

- Abrüstungskontrolle durch moderne Satellitensysteme
- Notfallmanagement durch neue Informationssysteme
- Kennzeichnung von Lebensmitteln: Ambivalenz
- Kinder- und seniorenfreundliche Bau- und Wohnstrukturen
- Innovationen für eine behindertengerechte Umwelt
- Fortschritte in der Medizin

### **Abrüstungskontrolle durch moderne Satellitensysteme**

Kurzfristig erwarten die Experten nur einen geringen Einfluß der technologischen Innovationen auf die Gesellschaft. Jedoch existieren auch in Zeiten eines abflauenden Ost-West-Konflikts immer noch immense Rüstungsarsenale. *Um die Einhaltung von Abrüstungsabkommen zu kontrollieren, werden in unmittelbarer Zukunft Satelliten und andere Weltraumtechnik eingesetzt werden (1999 bis 2005). Zum Teil werde dies bereits heute gemacht - so die Experten.*

### **Notfallmanagement durch neue Informationssysteme**

Das Notfallmanagement im zivilen Bereich steht ebenfalls kurz vor entscheidenden Durchbrüchen, die für die Versorgung der Zivilbevölkerung notwendig sein werden. Denn die medizinische Versorgung wird schon bald effektiver und effizienter, indem *ein funktionsfähiges Notfallmanagement (Ambulanz) für die schnellstmögliche Akut-Therapie von Schlaganfall-Patienten und Zentren für ambulante Operationen etabliert werden (2002 bis 2007). Mittelfristig werden Bild- und Informations-Übertragungssysteme zwischen Krankenwagen und Krankenhäusern für notärztliche Fälle verbreitet eingesetzt (2003 bis 2009).*

## **Kennzeichnung von Lebensmitteln: Ambivalenz**

Unter den Fachleuten ist umstritten, ob gentechnisch veränderte Lebensmittel zu kennzeichnen sind. Einen gesellschaftlichen Fortschritt erkennen die Delphi-Experten darin, daß *durch verbesserte Nachweismethoden für gentechnische Verfahren bzw. gentechnisch hergestellte Produkte aussichtsreiche Interventionen möglich (Listenpolitik, Boykotte) werden, welche die Handelsorganisationen veranlassen, Lebensmittelhersteller und -verarbeiter zu zwingen, keine solchen Produkte und Verfahren zu verwenden* (2002 bis 2007). Langfristig wird die *Lebensmittel-Kennzeichnungspflicht trotz verbesserter und verbilligter Nachweismethoden aber nicht dahingehend verschärft, daß auf allen verarbeiteten Lebensmitteln und Getränken sämtliche Zutaten und angewendeten lebensmitteltechnologischen Prozesse detailliert angegeben werden müssen*. Auch wird in Zukunft lediglich eine *Minderheit der Verbraucher über ausreichendes Wissen zu Gesundheit und Ernährung verfügen, um die Informationen der Lebensmittel-Kennzeichnung zu verstehen und entsprechend zu handeln, meinen die Experten*. Sie glauben auch nicht, daß die weite Verbreitung industriell verarbeiteter Nahrungsmittel und Getränke die gegenwärtige Vielfalt organoleptischer Qualitäten der Nahrung stark einschränken und es einen "Trend zum Einheitsessen mit Einheitsgeschmack" geben wird. Aber der Zusatz synthetisch hergestellter Substanzen zu Lebensmitteln und Getränken aufgrund verbesserter Herstellungstechniken für Naturstoffe wird wohl nicht verboten werden.

## **Kinder- und seniorenfreundliche Bau- und Wohnstrukturen**

Die Kinderfreundlichkeit von Siedlungs- und Baustrukturen kann mittelfristig durch objektivierte Beurteilungsverfahren und -standards gemessen und in der Planung und Umsetzung neuer Bauvorhaben berücksichtigt werden (2006 bis 2014). Die Integration von Funktionen des täglichen Lebens wie Wohnung, Arbeit, Freizeit und Versorgung in einem Gebäudekomplex wird die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Generationen oder Gesellschaftsgruppen erleichtern und bietet neue Möglichkeiten zur Identifikation mit dem eigenen Lebensraum (2008 bis 2019). Durch organisierten Wohnungstausch werden auch Wohnungsreserven z.B. alleinstehender älterer Menschen erschlossen, ohne diese aus ihrem Wohnumfeld zu verdrängen (2005 bis 2013). Kurzfristig wird bereits eine variable Bauweise im Wohnungsbau die individuelle Wohnungsgestaltung auch in mehrgeschossigen Bauten erlauben (2002 bis 2007).

## **Innovationen für eine behindertengerechte Umwelt**

Die Zunahme der Zahl älterer Menschen in unserer Gesellschaft führt zu einem erhöhten Pflegebedarf. Dieser kann u.a. aus Kostengründen nicht nur durch zusätzli-

ches Pflegepersonal befriedigt werden. Um die Kommunikation zu erleichtern, findet eine Technik zur Umschaltung von Medien, z.B. für ein System zur Übersetzung von Gebärdensprache, in der Praxis Verwendung, mit dem Gehörgeschädigte und Nichtbetroffene über weite Entfernungen kommunizieren können (2009 bis 2016). Auch ein tragbares Sprachgerät, mit dem Behinderte ihren Willen direkt in Sprache umsetzen können, findet allgemeine Verwendung (2008 bis 2016). Selbst Systeme zur Leitung und Orientierung Sehgeschädigter auf Gehwegen werden unter Einsatz von Sensoren in Deutschland genutzt werden (2009 bis 2019).

Die Selbstversorgung wird erleichtert, denn mit Robotern und Geräten ausgerüstete Wohnhäuser stehen allgemein zur Verfügung, in denen sich z.B. alte und behinderte Menschen ohne Hilfskräfte selbst versorgen können (2009 bis 2021). Falls dies nicht mehr möglich ist, kann die Technik für die häusliche Alten- und Krankenpflege auf unterschiedliche Raum- und Umgebungsbedingungen abgestellt werden (2005 bis 2011). Die Anpassung der Technik und die Gestaltung der häuslichen Umgebung entwickeln sich sogar zu einer eigenen Dienstleistung (2005 bis 2011) mit potentiellen positiven Arbeitsplatzeffekten. Alternativ werden vielleicht auch Mikro-Solidargemeinschaften entstehen, die als Verein auf Gegenseitigkeit die auf wissenschaftlich anerkannten Standards basierte Betreuung im Krankheits- und Pflegefall sowie bei sozialer Armut übernehmen (2008 bis 2015). Selbst die Raumaufteilung und die Einrichtung von Wohnhäusern können mittelfristig den Lebensphasen ihrer Bewohner oder z.B. einem Generationswechsel ohne große Umstände angepaßt werden (2007 bis 2016). Passend dazu wird ein intelligenter Rollstuhl in der Praxis eingesetzt werden, der sich Treppen, Rolltreppen und ansteigenden Wegen selbsttätig anpassen kann (2007 bis 2013).

## **Fortschritte in der Medizin**

Trotz großer Fortschritte in der Vergangenheit hat es die Medizin noch lange nicht geschafft, die Menschheit von allen körperlichen Leiden zu befreien. Mittelfristig sind dennoch einige Durchbrüche zu erwarten. Verschiedene Mikrogeräte, die sich selbständig im Körper bewegen können, werden in der klinischen Praxis (z.B. für die Blutdiagnose und Thrombose-therapie) angewendet (2010 bis 2018). Die Pathogenese der Alzheimer-Krankheit wird mittelfristig aufgeklärt (2006 bis 2013) und eine wirksame Therapie wird entwickelt werden (2011 bis 2019). Eine AIDS-Therapie wird klinisch eingesetzt werden, mit der der Verlauf der Krankheit in einem frühen Stadium wirksam gestoppt werden kann und bei der die Langzeitfolgen beherrschbar sind (2005 bis 2011). Wirksame Impfstoffe gegen das HIV, den Erreger von AIDS, werden in den betroffenen Entwicklungsländern zum Einsatz kommen (2010 bis 2019).

Auf Genanalysen basierende Methoden zur Vorhersage des individuellen Erkrankungsrisikos bei genetisch mitbedingten Krankheiten wie Krebs und Bluthochdruck

werden mittelfristig weit verbreitet sein (2006 bis 2013). Es werden sogar diejenigen Gengruppen, die in Beziehung zu Diabetes, Hypertonie und Arteriosklerose stehen (typischen Krankheiten von Erwachsenen mit Vererbungsformen), identifiziert, so daß die molekularen Ursachen der Krankheiten aufgeklärt werden können (2008 bis 2014). Morbus Parkinson und andere Basalganglienerkrankungen werden soweit geklärt sein, daß eine Therapie alle Krankheitserscheinungen (Schütteln, Gleichgewichtsprobleme, Orientierungsprobleme) wieder aufheben kann (2011 bis 2018). Ferner wird ein wirksames Insulinpräparat entwickelt, das oral verabreicht werden kann (2005 bis 2011). Sogar die neurochemischen Mechanismen des Alkoholismus und seine genetischen Komponenten werden aufgeklärt (2010 bis 2019).

Auch wenn durch Aufklärung der Bevölkerung, Schulung des medizinischen Personals sowie vertrauensbildende Maßnahmen die Zahl der Organspenden so weit ansteigen wird, daß der Bedarf an Spenderorganen gedeckt werden kann (2006 bis 2014), wird in vielen Fällen keine Heilung möglich sein. Dann liegen wahrscheinlich anerkannte Verfahren zur Prognose des Krankheitsverlaufs vor, so daß über Sterbehilfe auf Verlangen von Patienten im höheren Lebensalter und von Schwerstbehinderten entschieden werden kann (2008 bis 2017). Außerdem wird die "Pille danach" medizinisch genügend erforscht und ethisch weitgehend akzeptiert sein (2003 bis 2009): Ein gesellschaftlicher Fortschritt.

## **Innovationen für die Lösung ökologischer Probleme**

Die Lösung ökologischer Probleme zählt trotz hoher Arbeitslosigkeit und leerer öffentlicher Kassen weiterhin zu den wichtigsten Herausforderungen der Zukunft. Im folgenden werden die Thesen mit der höchsten Wichtigkeit für die Lösung der ökologischen Probleme vorgestellt.

- Innovationen zum Schutz der Atmosphäre
- Innovationen zum Schutz der Meere und des Grundwassers
- Innovationen zum Schutz der Wälder und der Böden
- Ressourcenschonung durch Recycling

Kurzfristig sind jedoch nur wenig Ansätze erfolversprechend - so die Befragten. Ausnahme sind die schon seit Jahren in der Diskussion stehenden Geschwindigkeitsbegrenzungen für PKWs, die nach umwelttechnischen und verbrauchsoptimierenden Modell-Rechnungen auf Autobahnen 120 km/h, auf Landstraßen 80 km/h und für den Stadtverkehr 30 km/h festgelegt werden sollten (2001 bis 2008).

Mittelfristige Lösungen für diverse Umweltprobleme werden jedoch in größerer Anzahl erwartet. Insbesondere werden sich mit Hilfe der Informationstechnik Quellen, Ausmaß und Intensität der Umweltverschmutzung in vielen Fällen bestimmen und verringern lassen. Denn ein weltumspannendes Netzwerk zur Überwachung von Umweltbelastungen auf der ganzen Erde, insbesondere ihrer Ausbreitung, wird allgemein genutzt werden, das 24 Stunden lang in Echtzeit Daten empfängt, diese Informationen integriert, systematisch analysiert und sie dann weltweit verbreitet (2008 bis 2015).

### **Innovationen zum Schutz der Atmosphäre**

Da die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs maßgeblich zur Luftverschmutzung beitragen, kann mittelfristig eine Reduktion der Schadstoffe erwartet werden, wenn für neue Kraftfahrzeugtypen eine Technik, z.B. Dieselmotoren, Particulate Trap, Lean-NOx-Katalysatoren oder sehr präzise Verbrennungstechnik, allgemeine Anwendung findet (2007 bis 2013), die die Konzentration von Stickoxiden im Abgas deutlich unter die EU-weit geforderten Werte für 2005 begrenzt (2006 bis 2011). Die Kraftfahrzeugtechnik wird auch eine Reduktion der Vorläufersubstanzen für die Bildung von Photochemie in einer Weise erlauben, die zu einer Reduzierung der Ozon-Spitzenwerte um 70 % gegenüber 1990 führen wird (2009 bis 2017). Die

Einführung neuer Materialien, die Fahrzeuge stärker und leichter werden lassen, wird den Benzinverbrauch noch weiter senken können (2004 bis 2010). Schließlich werden emissionsfreie Fahrzeuge entwickelt werden, weil lokale Zonen ausgewiesen sind, in denen nur solche Fahrzeuge zum Verkehr zugelassen sind (2004 bis 2011).

Aber auch die Haustechnik und die Wärmedämmung werden solche Fortschritte machen, daß gegenüber heute nur noch 20 % der Energie in der Gebäudenutzung verbraucht wird (2005 bis 2011). Unter anderem dadurch werden die weltweiten jährlichen Kohlendioxid-Emissionen um 20 % des Wertes von 1990 reduziert werden (2010 bis 2020). Das wäre mehr als 1997 auf der Konferenz von Kyoto im Kampf gegen die globale Erwärmung als Ziel festgelegt wurde. Ferner werden für FCKW und Halone weltweit (inklusive Entwicklungsländer) Ersatzstoffe eingesetzt, so daß es zu keiner weiteren Anreicherung in der Stratosphäre kommen wird (2006 bis 2013). Schließlich werden neue landwirtschaftliche Techniken einen Reisanbau erlauben, der den Methan-Ausstoß drastisch reduziert (2007 bis 2014).

### **Innovationen zum Schutz der Meere und des Grundwassers**

Der Schutz der Weltmeere kann durch Überwachungsverfahren (z.B. Fernerkundungssysteme), die so effektiv sind, daß Verklappungen ins Meer sofort registriert und die Verursacher identifiziert werden können, verbessert werden (2003 bis 2010). Ein weltweites Monitoring-System zur operationellen, zeitnahen, flächendeckenden Überwachung der Meeresverschmutzungen (im Küstenbereich und auf hoher See) sowie der Meeresströmungen wird in Betrieb sein (2011 bis 2017). Biotechnologische bzw. chemisch-physikalische Verfahren werden zur Verfügung stehen, mit denen nach einem Tankerunfall Ölverschmutzungen effektiv und umweltschonend beseitigt werden können (2006 bis 2012).

Die Grundwasserversorgung wird sich einfacher sichern lassen, weil die Trennung von Brauch- und Trinkwasser in Häusern weit verbreitet sein wird (2007 bis 2015). Es werden auch kompakte, dezentral einsetzbare biotechnologische Abwasserreinigungssysteme entwickelt, die neben Nährstoffen auch schwer abbaubare Substanzen aus dem Abwasser entfernen können (2005 bis 2011). Sollten Grundwasser-Verunreinigungen durch Schwermetalle und organische Schadstoffe eintreten, können biotechnologische und physikalische Verfahren zur in-situ Sanierung mit Kohlenwasserstoffen, halogenierten Kohlenwasserstoffen, anderen organischen Verbindungen und Schwermetallen eingesetzt werden (2004 bis 2013).



## **Innovationen zum Schutz der Wälder und der Böden**

Die Wälder der Erde werden besser geschützt, indem großflächige Waldrodungen weltweit (insbesondere der tropische Regenwald und Nadelwälder in hohen geographischen Breiten wie Kanada, GUS) zum Stillstand gebracht und durch selektive Holzbewirtschaftungs-Maßnahmen ersetzt werden (2009 bis 2018).

Die biologische Abbaubarkeit insbesondere von Herbiziden, Pestiziden und Fungiziden wird auf Basis neuer Synthesen wesentlich verbessert werden und damit zum Schutz insbesondere landwirtschaftlich genutzter Böden beitragen können (2004 bis 2010).

## **Ressourcenschonung durch Recycling**

In den Städten werden organische und brennbare Abfälle nahezu vollständig einem Recycling (Kompostierung, Kunststoff-Recycling, Papier-Recycling, Vergasung zur stofflichen Verwendung) zugeführt werden (2007 bis 2014). Neuartige Informationssysteme können auch effektiv zur Ressourcenschonung bzw. -einsparung beitragen. So werden produktbegleitende Informationssysteme allgemeine Anwendung finden, bei der die Produkte nach dem Ende ihrer Lebensdauer zerlegt und als Ressourcen gesammelt und sortiert werden können (2007 bis 2014). Standardmäßig werden z.B. im Fahrzeugbereich nur noch Konstruktionen realisiert werden, die eine automatische Demontage und ein vollständiges Recycling erlauben (2006 bis 2012).

Ins Reich der ökologischen Utopien gehören nach Meinung der Experten Visionen über ein Ansteigen der durchschnittlichen Auslastung aller Verkehrsmittel um 50 % durch die aktive Vermittlung von Fahrgemeinschaften. Auch sind aus heutiger Sicht keine Bodenbearbeitungs-Fruchtfolge-Kombinationen vorstellbar, die keinen Einsatz von Herbiziden im Getreide-, Mais- und Ölfruchtanbau mehr erfordern. Die effiziente Energienutzung wird an ihre Grenzen stoßen, wenn es darum geht, Lampentypen, die Strom zu 75 % in Licht umwandeln, zu entwickeln. Im Vergleich dazu wandelt eine einfache Glühlampe gerade 5 % des Stroms in Licht um. Auch einem sicheren ("safe and secure") Einschluß von Plutonium 239 werden große Zweifel entgegengebracht. Schließlich räumen die Experten auch einer Technik, mit der man das CO<sub>2</sub> aus Abgasen von Großdampfkesseln unter Verwendung von Wasserstoff zu flüssigem Brennstoff, z.B. Methanol, verarbeitet, keine großen Realisierungschancen ein. Es läßt sich eben doch nicht alles technisch lösen. Hier sind andere Ansätze gefragt, die zum Beispiel bei der Entstehung schädlicher Stoffe ansetzen.

## **Innovationen für die Erweiterung menschlichen Wissens**

Da sich die Delphi-Studie die Zukunft von Wissenschaft und Technik zum Inhalt gemacht hat, ist neben den für Wirtschaft und Gesellschaft wichtigen Innovationen auch zu fragen, in welchen Grundlagenbereichen elementare Durchbrüche für die Erweiterungen des menschlichen Wissens zu erwarten sind. Deshalb werden im folgenden die Thesen mit einer hohen Wichtigkeit für die Erweiterung des menschlichen Wissens vorgestellt.

- Erforschung des Alls
- Erforschung des Mikrokosmos

### **Erforschung des Alls**

Da Grundlagenforschung grundsätzlich eher langfristig orientiert ist, rechnen die Fachleute in nächster Zukunft mit wenigen Impulsen für die Erweiterung des menschlichen Wissens. Mittelfristig ist der Augenmerk zum einen auf den Weltraum zu richten. Denn die befragten Experten erwarten, daß das Problem der dunklen Materie im Universum gelöst werden wird (2007 bis 2020). Auch die aus dem Weltraum kommende elektromagnetische Strahlung wird sich lückenlos über alle Frequenzbereiche messen lassen. Insbesondere wird die Energie- und Winkelgenauigkeit im Röntgenbereich wesentlich gesteigert und die Lücke im Gamma-Strahlungsbereich von 1 bis 100 GeV geschlossen werden (2006 bis 2014). Es soll dann auch möglich sein, Untersuchungen des Merkur mit Hilfe von Satelliten durchzuführen (2011 bis 2019).

Auch langfristig wird von der Weltraumforschung ein bedeutender Erkenntnisgewinn erhofft, indem Untersuchungen der äußeren Planeten jenseits des Saturns durchgeführt werden (2011 bis 2021). Zur Untersuchung der Koronen von Sternen sowie der Aurora-Emission extrasolarer Planeten werden auf dem Mond oder im Weltraum optische und andere (Röntgen-) Interferometer installiert, mit denen ein Winkelauflösungsvermögen bis zu 1 Mikro-Bogensekunde realisiert werden kann (2022 bis nach 2025). Missionen mit Probenrückführung von vielen Körpern unseres Sonnensystems werden mittels miniaturisierter Raumfahrzeuge - wie bereits ansatzweise auf dem Mars im Einsatz (allerdings ohne Proben zurückzuführen) durchgeführt werden (2013 bis 2023).

Ein System zum Nachweis von Gravitationswellen wird entwickelt werden, das mit hochpräzisen Beschleunigungssensoren ausgerüstete Weltraumtechnik und -struk-

turen oder -konstruktionen (wie reibungs- und widerstandslose Satelliten) nutzen wird (2012 bis 2020). Das Äquivalenzprinzip und der Zusammenhang zwischen Raumzeitkrümmung und Materie werden experimentell untersucht und erforscht werden (2011 bis 2023). Die Ursache der Verletzung der Symmetrie-Prinzipien, die für das Ungleichgewicht von Materie und Antimaterie im Universum verantwortlich ist, wird aufgeklärt werden (2009 bis nach 2025). In 20 Jahren wissen wir also wesentlich mehr als heute über den Weltraum.

### **Erforschung des Mikrokosmos**

Neben der Ausschau in weit entfernte Welten ist der Blick auf die Bausteine der Materie erfolgversprechend. Denn eine allgemeine, über das Standardmodell hinausgehende Theorie der kleinsten Teilchen und der zwischen ihnen wirkenden Kräfte wird entwickelt und experimentell bestätigt werden (2008 bis 2019). Leptonen und Quarks, die heute als elementare Bausteine angesehen werden, erweisen sich als zusammengesetzt aus fundamentalen Teilen (2004 bis 2014). Der Ursprung des Eigendrehimpulses eines Protons wird mit Elektronen- und Protonenstrahlen (Strahl-Target-Experimente) im gleichen Zeitraum aufgeklärt werden. Eine neuartige Quelle ultrakalter Neutronen hoher Intensität zur Untersuchung fundamentaler Eigenschaften des Neutrons (Lebensdauer, elektrisches Dipolmoment etc.) und quantenmechanischer Prozesse wird entwickelt (2011 bis 2020). Neutrino-Detektoren zum Nachweis einzelner Neutrinos werden entworfen (2001 bis 2011). Das Quark-Gluon-Plasma, als neue Form der Materie, wird entdeckt und untersucht (2007 bis 2018). Elektron-Positron-Collider mit Schwerpunktsenergien oberhalb von 500 GeV werden in Betrieb genommen werden, um offene Fragestellungen der Teilchenphysik anzugehen (2010 bis 2019).

Die Teilchenforschung macht weitere Fortschritte, indem das Problem der Erzeugung der Massen von Elementarteilchen und Hadronen gelöst werden wird (2011 bis 2021).

Im Bereich der Biologie werden die Mechanismen der Formung von neuronalen Netzen auf molekularer Ebene aufgeklärt, ebenso Struktur und Funktion aller Moleküle, die an der Signalübertragung beteiligt sind (2017 bis nach 2025).

### **Technische Nachahmung vieler Lebensvorgänge fraglich**

Menschen versuchen, eine Reihe von Lebensvorgängen technisch nachzuahmen. Viele dieser Neuerungen würden das Wissen ungemein erweitern. Aber: Nicht alles ist machbar. So wird es technische Systeme, die sich - dem Vorbild lebender Organismen folgend - selbst reproduzieren können, und auch Verfahren zur Konservie-

rung lebender Organismen nach dem Prinzip des Winterschlafes vermutlich nie geben.

Weder läßt sich die menschliche Intelligenz künstlich reproduzieren, indem die Mechanismen der kreativen Leistung des Menschen soweit aufgeklärt werden, daß ihre Nutzung in der Informatik möglich wird, noch können mit Hilfe elektrischer und elektromagnetischer Verfahren Computer die im menschlichen Gehirn gespeicherten Informationen erfassen. Künstliche Intelligenz, die in hybrider Form ICs mit lebenden Zellen verknüpft, wird sich wohl auch nicht entwickeln lassen.

## Die Themenfelder

Die folgenden Kapitel sind nach den Themenfeldern aufgegliedert. Die Struktur der Themenfelder ist jeweils vergleichbar angelegt. Angesichts der Fülle an Material können jedoch nicht in jedem Fall sämtliche Zusammenhänge dargestellt werden. Die Auswahl der Schlaglichter mag willkürlich erscheinen, basiert aber auf besonders auffälligen Beziehungen oder von den Delphi-Experten besonders stark kommentierten Themen. Dies soll Sie dazu einladen, eigene Schlaglichter zu identifizieren und in den eigenen persönlichen Bezug zu stellen.

Die einzelnen Thesen beinhalten ein Verb, das die sogenannte Innovationsstufe des Themas beschreibt. Die Innovationsstufen reichen von der Grundlagenforschung (etwas wird aufgeklärt) über die Entwicklung (wird entwickelt) und die erste Anwendung (wird eingesetzt/ verwendet) bis hin zur weiten Verbreitung (allgemein verwendet/ ist weit verbreitet).

Je mehr Personen eine These beurteilen, desto fundierter ist das Ergebnis. Für die Auswertungen sind nur die Ergebnisse von denjenigen "Experten" berücksichtigt, die auf dem jeweiligen Gebiet arbeiten (hohe Fachkenntnis) oder sich gut auskennen (mittlere bzw. geringe Fachkenntnis), d.h. mit der Primär- oder Sekundärliteratur vertraut sind.

Wer die Auswertungen bis ins Detail erfassen oder in felderübergreifende Querauswertungen noch tiefer einsteigen will, als es auf den nächsten Seiten geschieht, sollte sich des zweiten Bandes bedienen, in dem Methoden und alle Einzelergebnisse verzeichnet sind.

## Information und Kommunikation

### Struktur des Themenfeldes

Das Themenfeld Information und Kommunikation ist besonders breit angelegt. Die Spannweite der 111 Thesen reicht von den Basistechnologien der Informations- und Kommunikationstechnik über Aspekte der Verarbeitung und Präsentation bestimmter Informationen, Sicherheitsaspekte der Techniknutzung, Anwendungen der Kommunikationstechnik zwischen Menschen bzw. zwischen Mensch und Maschine bis hin zu Fragestellungen, die die künftige "Wissensgesellschaft" betreffen.

Betrachtet man die Innovationsstufen, denen die 111 Thesen zugeordnet werden können, so sind rund 23 % der Thesen im Bereich "Aufklärung und Entwicklung" zu finden, etwa 44 % der Thesen widmen sich den ersten kommerziellen Anwendungen und 33 % der Thesen behandeln die weite Verbreitung der Innovationen.

Rund 61 % der Thesen dieses Untersuchungsgebietes stimmen mit denen der im gleichen Zeitraum durchgeführten 6. japanischen Delphi-Befragung überein - die höchste Übereinstimmungsquote aller zwölf Themenfelder.

### Wer sind die Befragten?

In der ersten Runde dieser Delphi-Befragung haben 287 Personen den Fragebogen dieses Untersuchungsgebietes ausgefüllt, in der zweiten Runde 206 Personen. Von diesen sind 34 % in Hochschulen und 27 % in Unternehmen tätig, 12% sind den privaten gemeinnützigen Institutionen und 7 % dem öffentlichen Dienst zuzurechnen, 17 % sind anderswo tätig und 2 % machten keine Angaben.

Die überwiegende Mehrzahl der Antwortenden schätzt ihre eigene Fachkenntnis - vermutlich wegen der großen Breite des im Fragebogen abgedeckten Themenspektrums - nur gering ein. Das heißt jedoch nicht, daß die Personen die Thesen nicht hinreichend fundiert beurteilen könnten. Nur bei zwei Thesen liegt der Anteil der Experten mit großer Fachkenntnis bei ungefähr 20 % und damit vergleichsweise hoch:

- *Durch die Entwicklung von Multimedia-Kommunikation unter Nutzung von Internet und Intranet (E-Mail, WWW, Telefonkonferenzen usw.) ist allgemeine Büroarbeit zu Hause, ausgenommen Besprechungen und Verhandlungen, weit verbreitet.*
- *Die Mehrzahl aller Privathaushalte sendet und empfängt elektronische Post.*

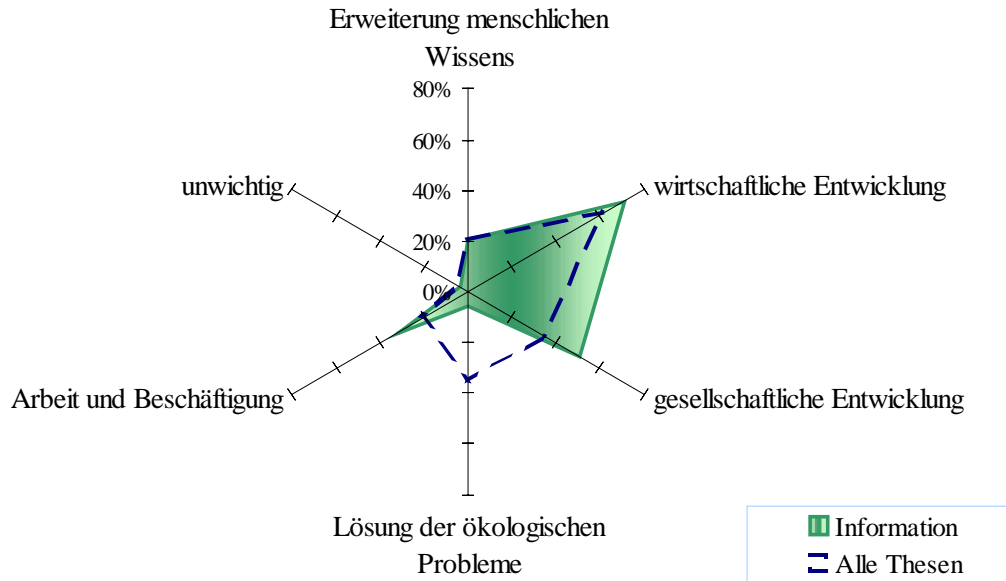
Beide Thesen sind von sehr vielen Experten (190 bzw. 196) beurteilt worden, so daß die Ergebnisse sehr "stabil" sind, denn je mehr Antworten, desto aussagekräftiger ist die statistische Grundgesamtheit.

Die zwei Thesen mit der geringsten Beantwortungsrate (Anzahl der Antwortenden: 45 bzw. 47) sind: *Kommunikationssysteme für geheime bzw. äußerst komplexe Informationen werden auf der Grundlage des Prinzips des optischen Chaos-Synchronismus entwickelt;* und *Mikromaschinen für den medizinischen Bereich werden entwickelt, die als Energiequellen das ATP im Blut nutzen.* Der Anteil der Antwortenden mit geringer Fachkenntnis liegt hier bei 82,2 % bzw. 85,1 % und der Anteil derjenigen mit großer Fachkenntnis bei 0 % bzw. 2,1 %. Diese Thesen sind so speziell, daß unter den Delphi-Experten wohl kaum jemand auf dem Gebiet arbeitet oder daß sie durch die üblichen Datenbank-Klassifikationen nicht identifiziert werden konnten, weil sie in der "Nische" eines Forschungsgebietes arbeiten. (Zur Identifikation der Experten siehe den Methodenband.) Nachzuprüfen wäre allerdings, ob daran in Deutschland überhaupt konkret geforscht wird. Dies gilt für alle Thesen, die im Vergleich mit den anderen Thesen des Feldes signifikant geringere Antwortzahlen aufweisen.

### **Wofür ist das Themenfeld "Information und Kommunikation" wichtig?**

Auf die Frage, wofür die in den Thesen genannten Innovationen benötigt werden, wird im Durchschnitt aller Antworten am häufigsten die wirtschaftliche Entwicklung genannt, gefolgt von der gesellschaftlichen Entwicklung (Bild 3). Die Schaffung oder der Erhalt von Arbeitsplätzen stehen auf Rang drei der Wichtigkeit der Innovationen im Bereich "Information und Kommunikation". Diese tragen nach Ansicht der Befragten offenbar kaum zur Lösung der ökologischen Probleme bei.

Bild 3: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Information und Kommunikation" wichtig?



### Wann werden die Thesen Realität?

Rund 11 % der Innovationen werden nach Ansicht der Experten im Zeitraum der Jahre 2001-2005 eingetreten sein, etwa 46 % im Zeitraum 2006-2010 und rund 32 % im Zeitraum 2011-2015.<sup>1</sup> Am frühesten möglich ist die *Ablösung herkömmlicher durch digitale Kameras*: Der mittlere von den Experten geschätzte Wert<sup>2</sup> liegt hier beim Jahr 2004, mit einer Schwankungsbreite von  $\pm 3$  Jahren (oberes und unteres Quartil).

Die drei Innovationen mit der geringsten Realisierungswahrscheinlichkeit sind nach Einschätzung der Experten, daß *nach der Aufklärung der physiologischen und psychischen Zusammenhänge, auf denen menschliches Fehlverhalten beruht, ein System, das den Menschen rechtzeitig vor Fehlern warnt, in der Praxis angewandt wird, daß mit Hilfe elektrischer und elektromagnetischer Verfahren Computer die im menschlichen Gehirn gespeicherten Informationen erfassen können und daß die Mustererkennungsleistung des Menschen erreicht wird (sogar Karikatur)*. Hier

<sup>1</sup> Diese Zahlenwerte stimmen übrigens sehr gut mit den über alle Thesen aller Themengebiete gemittelten Zeiträumen überein.

<sup>2</sup> Als mittlerer Wert wird der "Median" angegeben. Bis zu diesem Zeitpunkt hält die Hälfte der Experten eine Realisierung für wahrscheinlich. Die "Quartile" sind die Zeitpunkte, bis zu denen 25 % bzw. 75 % der Experten eine Verwirklichung annehmen. Genaueres findet sich im Anhang.

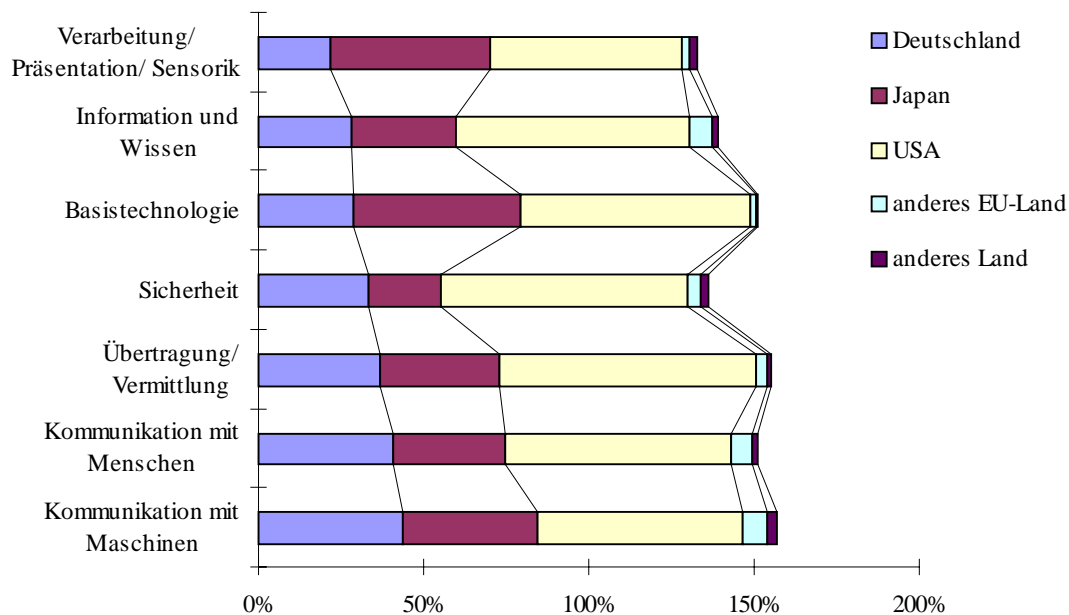


meinen 41,1 %, 37,0 % bzw. 36,4 % der Befragten, daß diese Innovationen nie realisierbar sind.

### Wo steht Deutschlands Forschung?

Die Delphi-Experten wurden danach gefragt, welches Land in der Forschung und Entwicklung führend sei, die USA, Japan, Deutschland, ein Land der Europäischen Union, ein Land außerhalb der Europäischen Union oder ein anderes Land. Die Vereinigten Staaten von Amerika nehmen heute nach Meinung der befragten Experten den ersten Platz im Themenfeld "Information und Kommunikation" ein, gefolgt von Japan und Deutschland (vgl. Bild 4). Andere Länder innerhalb oder außerhalb der Europäischen Union spielen nur in wenigen Bereichen eine führende Rolle. Ähnlich schätzten übrigens auch die japanischen Experten die Länder-Rangfolge ein.

Bild 4: F&E-Stand Deutschlands im internationalen Vergleich



Die Japaner nehmen nach Ansicht der deutschen Experten eine eindeutige Führerschaft in der Forschung und Entwicklung im Bereich der Displaytechniken ein, z.B. bei

- *hochauflösenden, großformatigen Farbflachbildschirmen von 90 Zoll, die gleichzeitig eine Wand-Dekoration darstellen,*
- *berührungssensitiven Flachbildschirmen als Schreibtisch-Oberfläche,*

- *einem Kommunikationssystem, bei dem eine ganze Wand als Monitor benutzt wird, um eine engere Verbindung zwischen Bürofilialen herzustellen und so beispielsweise das Gefühl der Anwesenheit zu vermitteln,*
- *flexiblen, robusten (faltbaren, rollbaren) Displays,*
- *der Schrifterkennungstechnik (z. B. eine, mit der über 99 % der handgeschriebenen chinesischen Schriftzeichen gelesen werden können).*

Außerdem wird Ihnen eine Führerschaft bei der

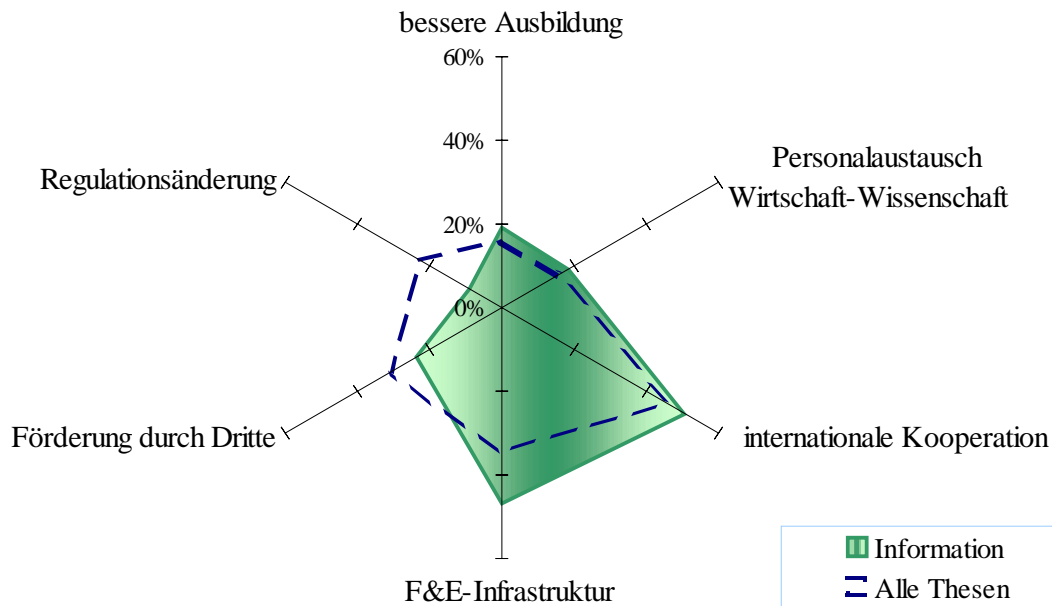
- *vollautomatischen Produktion im Bereich des Massenkonsums (bis zur Ebene des Automobils),*
- *dem Einsatz intelligenter Roboter, die über einen Gesichtssinn, einen Hörsinn und andere sensorische Funktionen verfügen, die Situation in der Außenwelt selbst beurteilen können und autonom Entscheidungen treffen und*
- *beim räumlichen Fernsehen, das ohne Brille zu sehen ist, eingeräumt.*

Eine klare Führerschaft Deutschlands in der Forschung und Entwicklung sehen die Experten lediglich bei der Mikromaschinenteknik und bei der elektronischen Gebührenerhebung im Straßenverkehr: *Bauelemente, die Sensoren, Controller und Aktuatoren integrieren, finden in der Mikromaschinenteknik praktische Verwendung, und Gebührensensoren für die Benutzung von Fernstraßen (z.B. unter Einbeziehung von GPS) werden allgemein verwendet.* Im letztgenannten Bereich wird auch anderen EU-Ländern ein hoher F&E-Stand zuerkannt.

### **Was ist zu tun?**

Es wurde danach gefragt, welche Maßnahmen für die Realisierung der in den 111 Thesen thematisierten Innovationen ergriffen werden sollten, z.B. eine bessere Ausbildung des Personals, stärkerer Personalaustausch zwischen Wirtschaft und Wissenschaft, internationale Kooperation, eine andere F&E-Infrastruktur, die Förderung durch Dritte, Regulationsänderungen oder anderes (zu Details siehe den Methodenteil). Im Themenfeld "Information und Kommunikation" nannten die Experten an erster Stelle die internationale Kooperation, danach die Verbesserung der Forschungsinfrastruktur und die Förderung durch Dritte (Bild 5). Eine bessere Ausbildung und ein schnellerer Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft stehen auf dem vierten Rang. Die Notwendigkeit einer Regulierungsänderung (stärkere Regelungsdichte oder weniger Verordnungen und Gesetze) wird als gering erachtet.

Bild 5: Welche Maßnahmen sollen ergriffen werden?



Hinsichtlich möglicher Folgeprobleme, die bei der Realisierung der Innovationen auftreten können, nennen die Experten an erster Stelle soziale und gesellschaftlich-kulturelle Probleme (56 %), an zweiter Stelle Probleme der Sicherheit wie die Sicherung der Privatsphäre oder der Mißbrauch individueller Informationen (19 %). Folgeprobleme für die Umwelt werden dagegen kaum erwartet.

### **Schlaglicht: In Deutschland wird sich eine rationalisierte Informations- und Wissensgesellschaft etablieren**

Positive Effekte zur Schaffung oder zum Erhalt von Arbeitsplätzen durch die Realisierung der anvisierten Innovationen sehen die Experten im Themenfeld "Information und Kommunikation" nur in verhaltenem Maße. Auch in der näheren Zukunft, etwa bis zum Jahr 2010, eröffnen sich durch die Informations- und Kommunikationstechnik weitere Rationalisierungsmöglichkeiten, indem beispielsweise *die Produktion im Bereich des Massenkonsums (bis zur Ebene des Automobils) praktisch vollautomatisch abläuft* oder *Fernwartungssysteme für Anlagen und Maschinen Überwachungspersonal nahezu überflüssig machen werden*.

Während in der Produktion vor allem die Potentiale zur weiteren Einsparung von Arbeitsplätzen im Mittelpunkt stehen, werden Verwaltungs- und Dienstleistungstätigkeiten durch die Informations- und Kommunikationstechnik eher qualitativ verändert. Denn *durch die Entwicklung von Multimedia-Kommunikation unter Nutzung von Internet und Intranet (E-Mail, WWW, Telefonkonferenzen usw.) ist allgemeine Büroarbeit zu Hause, ausgenommen Besprechungen und Verhandlungen, möglich*. Technische Grundlage dafür sind allgemeine *Breitbandverkabelung* und *ein Internet*

*der nächsten Generation, dessen Sicherheit hoch ist und das Informationen in Echtzeit übertragen kann, so daß Telefonservice und die Übertragung bewegter Bilder möglich sind. Die virtuelle Nähe räumlich getrennter Mitarbeiter bzw. das Gefühl der Anwesenheit wird durch ein Kommunikationssystem, bei dem eine ganze Wand als Monitor benutzt wird, hergestellt. Ein Wegfall von Arbeitsplätzen ist insbesondere für Übersetzungs- und Sekretariatskräfte zu erwarten, wenn Sprach- und Stimmerkennung als allgemeine Eingabemöglichkeiten an der Mensch-Maschine-Schnittstelle zwischen Endgeräten und Nutzern sowie automatische Übersetzungsgeräte weit verbreitet sind.*

Sichert die Informations- und Kommunikationstechnik andererseits auch alte und neue Arbeitsplätze? Chancen hierfür liegen im Bildungssystem, das durch die Informations- und Kommunikationstechnik tiefgreifende Veränderungen erfährt. Da in Zukunft für die Mehrheit der Arbeitnehmer die Nutzung von Bildungsleistungen mit Hilfe der Telekommunikation (telematisch gestützte Fort- und Weiterbildung) vollständig in den Ablauf beruflicher Arbeitszeit integriert sein soll, wird das Qualifikationsniveau der Arbeitnehmer beständig an neue Anforderungen angepaßt. Grundsätzlich wird vermutlich in nicht einmal 10 Jahren die Aus- und Weiterbildung der Bevölkerung durch Fernunterrichtssysteme von zu Hause aus möglich. Ferner kann Bildung vermehrt zu individuellen Qualifikationsbündeln statt zu Abschlüssen führen, so daß der Berufseinstieg leichter fallen sollte. Diese neuen Möglichkeiten senken Ausbildungszeiten und -kosten und führen damit zu einem größeren Angebot an jungen, hochqualifizierten Arbeitskräften, die für den Arbeitsmarkt der Zukunft gut gerüstet sind. Diese Chancen des Bildungssystems müssen jedoch auch ergriffen werden, indem die neuen Informations- und Kommunikationsmöglichkeiten genutzt und in ein effizientes Bildungssystem integriert werden.

Der Bereich "Information und Kommunikation" wird sich grundsätzlich immer stärker als ein globales Feld präsentieren, in dem ohne internationale Koordinierung und ohne die Entscheidung für oder wider eine bestimmte Forschungsstruktur nicht in die amerikanisch-japanische Domäne eingebrochen werden kann. Andererseits wird der Einfluß der Informations- und Kommunikationstechnologie auf die allgemeine wirtschaftliche Entwicklung weiter zunehmen, wodurch auch das Arbeitsleben und die Gesellschaft insgesamt massiven Veränderungen unterworfen werden.

## Dienstleistung und Konsum

### Struktur des Themenfeldes

Die Spannweite des Themenfeldes, abgedeckt durch 78 Thesen, reicht von elektronischen Finanzdienstleistungen, elektronischem Zahlungsverkehr und Tele-shopping über mobile Informations- und Kommunikations-Assistenten sowie Transportdienste, Pflege- und Hilfsdienste, das "Intelligente Haus", Freizeitaktivitäten und Lernhilfen, neue Dienstleistungen wie elektronische Wahlen bis hin zum Katastrophenschutz und Sicherheitsfragen.

Von den 78 Thesen zählen nur knapp 3 % zu der Innovationsstufe "Aufklärung und Entwicklung", etwa 28 % der Thesen widmen sich den ersten kommerziellen Anwendungen und 69 % der Thesen behandeln die "weite Verbreitung" der Innovationen.

27 % der Thesen dieses Untersuchungsgebietes stimmen mit den in Japan verwendeten Thesen der dortigen 6. Delphi-Befragung überein.

### Wer sind die Befragten?

In der ersten Runde dieser Delphi-Befragung haben 215 Personen den Fragebogen dieses Untersuchungsgebietes ausgefüllt. In der zweiten Runde waren es 163 Personen. 48 % der Teilnehmer sind in Unternehmen tätig, 16 % im öffentlichen Dienst 12 % in Hochschulen, und 4 % in den privaten gemeinnützigen Institutionen, 15 % anderswo und 4 % machten keine Angaben.

Auch in diesem Themenfeld gestehen sich die meisten Antwortenden selbst nur eine geringe Fachkenntnis hinsichtlich der Inhalte der diversen Thesen zu. Lediglich bei der These, daß sich *Finanzdienstleistungs-Unternehmen auf ein enges Spektrum in ihrem Kerngeschäftsbereich spezialisieren, indem sie die meisten Verwaltungsfunktionen an Subunternehmen mit den entsprechenden Einrichtungen vergeben*, liegt der Anteil der Experten mit großer Fachkenntnis bei mehr als 13 %.

Die beiden Thesen mit der höchsten Beantwortungsquote (Anzahl der Antwortenden 154 bzw. 153) sind *elektronische Supermärkte, in denen man zu jeder Tages- und Nachtzeit einkaufen kann (von der Bestellung bis zum Ausliefern zu vereinbarten Zeiten)* und: *Die meisten informatisierbaren Dienstleistungen stehen in einem weltweiten Wettbewerb. Die Technik ermöglicht die Kommunikation mit den Kunden und den Transfer der Leistung, während face-to-face-Kommunikation nicht mehr unbedingt für erforderlich gehalten wird.* Hier liegt

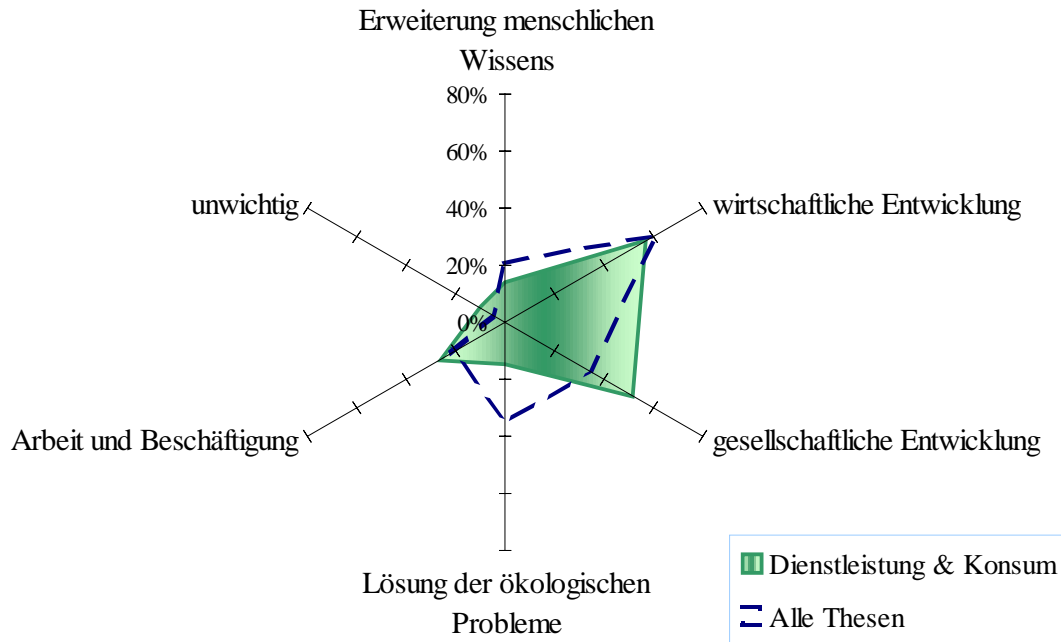
der Anteil der Antwortenden mit großer Fachkenntnis bei 6,5 % bzw. 9,2 % und der Anteil der Antwortenden mit geringer Fachkenntnis bei 66,2 % bzw. 57,5 %.

Da im Feld "Dienstleistung und Konsum" nur schwer Experten auszumachen waren, wurden die angeschriebenen Personen zu einem großen Teil aus den Dienstleistungsbereichen ausgewählt (u.a. aus Banken, Versicherungen, Verkehrsunternehmen etc.). Dadurch ist die Fachkenntnis der Personen nur bei sehr wenigen Thesen groß, als "Konsumenten" oder Anbieter der jeweiligen Technologie trauen sich diese Personen jedoch auch für andere Fragestellungen eine Einschätzung zu, kreuzten aber deshalb in größerer Zahl die "geringe Fachkenntnis" an. Daraus resultieren diese relativ hohen Anteile mittlerer oder geringer Fachkenntnis. Ein Unterschied in der Beurteilung der Thesen ist im Vergleich zu den anderen Feldern kaum zu bemerken.

### **Wofür ist das Themenfeld "Dienstleistung und Konsum" wichtig?**

Als am wichtigsten werden die Thesen des Themenfeldes "Dienstleistungen und Konsum" im Durchschnitt aller Antworten für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung gehalten. Der Einfluß auf Arbeit und Beschäftigung steht auf Rang drei der Wichtigkeit (Bild 6). Als bedeutsamste Innovation wird dabei die Substitution *der öffentlichen durch private Arbeitsvermittlungen* genannt. Zur Lösung der ökologischen Probleme oder zur Erweiterung des menschlichen Wissens tragen die in den Thesen angesprochenen Innovationen nach Ansicht der Befragten offenbar wenig bei.

Bild 6: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Dienstleistung und Konsum" wichtig?



### Wann werden die Thesen Realität?

Rund 13 % der Innovationen werden nach Ansicht der Experten im Zeitraum der Jahre 2001 bis 2005 verwirklicht sein, etwa 54 % im Zeitraum 2006 bis 2010, rund 27 % im Zeitraum 2011 bis 2015 und 6 % im Zeitraum 2016 bis 2020. Am frühesten kann *das Problem der sicheren Finanztransaktionen beim elektronischen Banking (auch im Internet) für praktische Zwecke (d. h. mit vergleichbaren Standards heutiger Systeme) mit Datenverschlüsselungstechniken gelöst werden*. Der Mittelwert der Expertenschätzungen liegt hier beim Jahr 2003, mit einer Schwankungsbreite von  $\pm 3$  Jahren. Die drei unwahrscheinlichsten Realisierungen sind nach Ansicht der Experten:

- *Nachdem die Organisationsforschung ihre Effizienz nachgewiesen hat, werden die öffentlichen Institutionen zur Gewährleistung der inneren Sicherheit, wie die Polizei oder der Strafvollzug, mit Ausnahme der Rechtsprechung privatisiert.*
- *Es ist üblich geworden, zur Freizeitgestaltung die Wohnung nicht mehr zu verlassen.*
- *Ein "elektronisches Parlament" (elektronischer Landtag) agiert und tagt in parlamentarischen Fernsehsendungen, so daß Entscheidungen über Gesetzesentwürfe (Vorschriften) mit Hilfe von elektronischen Volksabstimmungen getroffen werden.*

Hier meinen 60,6 %, 59,1 % bzw. 47,3 % der Befragten, daß diese Visionen niemals realisierbar sind.

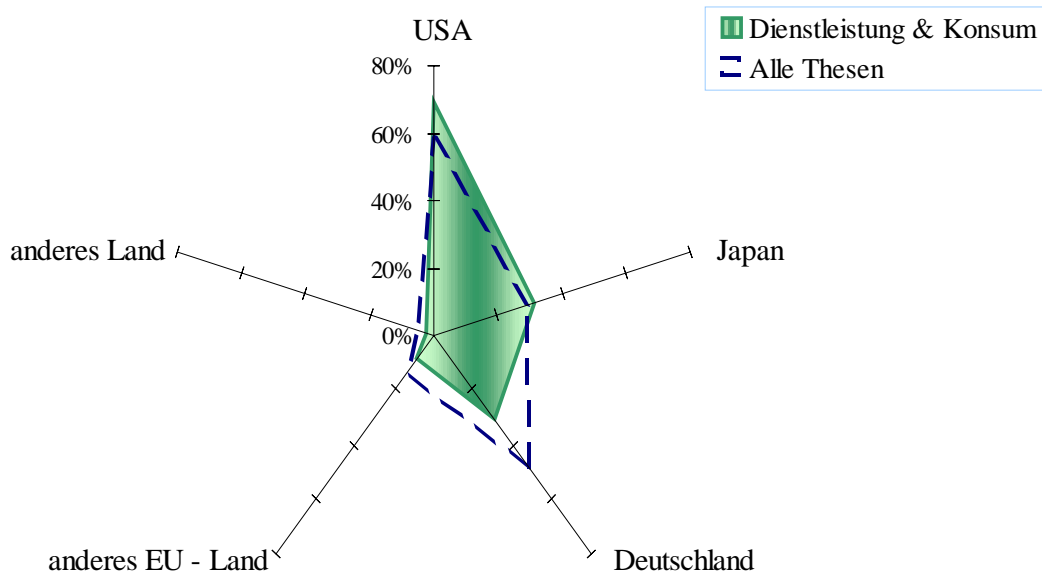
### **Wo steht Deutschlands Forschung?**

Betrachtet man den heutigen F&E-Stand im Themenfeld "Dienstleistung und Konsum", so nehmen nach Meinung der Fachleute die Vereinigten Staaten von Amerika den ersten Platz ein, gefolgt von Japan und Deutschland, die beide gleichauf liegen (vgl. Bild 7). Forschung und Entwicklung in anderen Ländern spielen kaum eine führende Rolle. Zu einer ähnlichen Einschätzung der Länder-Rangfolge gelangen auch die japanischen Experten.

Forschung und Entwicklung in Japan sind nach Ansicht der befragten Fachleute beim Einsatz von Robotern führend, z. B. in den Bereichen Freizeit, Pflege- und Hilfsdiensten sowie im "Intelligenten Haus" und beim Katastrophenschutz (*Roboter-Leasingstellen für diverse Service-Roboter, Roboter als Sparringspartner für sportliche Betätigungen, Roboter als Blindenführer, als Haushaltshilfe oder solche, die im Katastrophenfall Menschen erkennen, nachforschen und Hilfe leisten*). Auch im Bereich der Entwicklung von Vorhersagetechniken für Naturkatastrophen und in der Steuerung von elektronischen Geräten durch Blickkontakt und Zuruf wird den Japanern weltweite Führerschaft zugesprochen: *Durch Fortschritte in der Vorhersagetechnik von Erdbeben sowie Schlamm- und Gerölllawinen wird die Anzahl der Todesfälle weltweit beträchtlich gesenkt. Durch Einsatz moderner Sensoren gehört die Steuerung von Geräten über Blickkontakt oder Zuruf zur Normalausstattung einfacher Geräte in Wirtschaft und Haushalt.*



Bild 7: F&amp;E-Stand Deutschlands im internationalen Vergleich



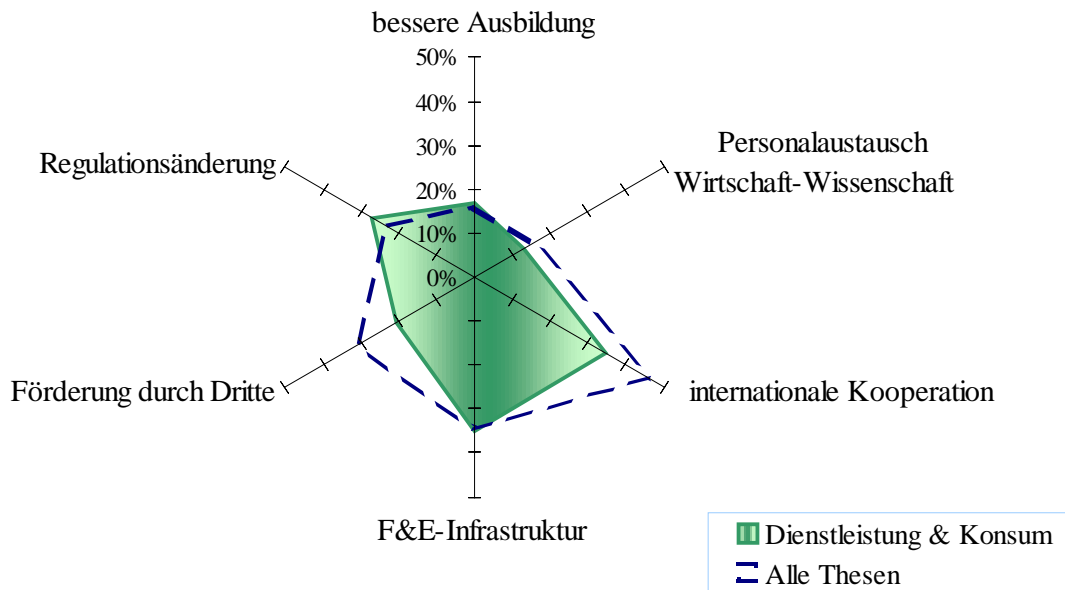
Eine Führerschaft Deutschlands in der Forschung und Entwicklung sehen die Experten im Bereich der Lernhilfen (*Einrichtungen sind weit verbreitet, in denen systematisch Wiederbewertungs-, (Evaluations-) programme zum traditionellen Handwerk sowie zu Kunst und Kultur organisiert werden, um zum lebenslangen Lernen beizutragen. Ein Wiederauffrischungs- und Trainingssystem für die berufliche Entwicklungsplanung von Menschen mittleren und höheren Alters wird allgemein eingerichtet, in dessen Rahmen sie neue Fachkenntnisse und technische Qualifikationen erwerben können*), des Energie-Managements im "Intelligenten Haus" (*Das Energiemanagement der Neubauten von Privathäusern (Sensoren, Aktoren, z. B. Rolläden, Heizungs-/ Kühlungsmanagement etc.) durch einen Zentral-computer ist Standard*), der Pflege- und Hilfsdienste (*Technik für die häusliche Alten- und Krankenpflege kann auf unterschiedliche Raum- und Umgebungsbedingungen abgestellt werden. Die Anpassung der Technik und die Gestaltung der häuslichen Umgebung entwickeln sich zu einer eigenen Dienstleistung*) sowie bei Smart-Card-Anwendungen für Transportdienste (*Alle öffentlichen Verkehrsmittel in Deutschland können mit einer standardisierten kontaktlosen Smart-Card benutzt werden, so daß Fahrscheine entfallen und nur noch über die Karte abgerechnet und kontrolliert wird. Car-Sharing-Systeme sind mit Smart-Cards zur Abrechnung und GPS-Systemen zur Standortverfolgung ausgerüstet und finden dadurch breite Akzeptanz. Fahrräder zum Ausleihen mittels einer Smart-Card stehen an jedem Bahnhof und jeder Haltestelle öffentlicher Verkehrsmittel bereit. Für die Benutzung der meisten öffentlichen Straßen werden entsprechend der individuellen Nutzungsintensität (Kilometer, aktuelle Verkehrsdichte) Gebühren verlangt*).

Im letztgenannten Bereich wird auch anderen EU-Ländern ein nennenswerter F&E-Stand zuerkannt. Bedeutende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in anderen Ländern, die nicht der Europäischen Union angehören, sehen die Experten nur bei der oben genannten These, die sich der *Entwicklung von Vorhersagetechniken für Naturkatastrophen* widmet.

### Was ist für die "Dienstleistungsgesellschaft" von morgen zu tun?

Als die wichtigsten Maßnahmen für die Realisierung der in den 78 Thesen thematisierten Innovationen nannten die Experten (fast gleichauf) die Verbesserung der Forschungsinfrastruktur und die internationale Kooperation, gefolgt von der Notwendigkeit einer Regulierungsänderung und der Förderung durch Dritte (vgl. Bild 8). Eine bessere Ausbildung und ein besserer Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft stehen auf den Rängen vier und fünf.

Bild 8: Welche Maßnahmen sollen getroffen werden?



Obwohl es sich hier nicht um reine Forschungsfragen handelt, sind es die staatlichen Institutionen oder Unternehmen und ihre F&E-Einrichtungen, die auch für sehr anwendungsbezogene Produkte stärker in die Pflicht genommen werden sollen. Die häufige Nennung internationaler Kooperation verdeutlicht, daß sich auch Dienstleistungen - hier sind vor allem Electronic Cash, Finanzdienste und Tele-Einkäufe zu nennen - nicht mehr nur auf nationaler Ebene weiterentwickeln werden.

## Welche Folgeprobleme könnten auftreten?

Der Fragebogen stellte auch mögliche Folgeprobleme wie Umweltprobleme, Sicherheit sowie soziale, kulturell-gesellschaftliche Folgen zur Diskussion. Im Feld "Dienstleistungen und Konsum" erwarten die Experten vor allem Folgeprobleme im sozialen und gesellschaftlich-kulturellen Bereich (62 %). In keinem anderen Themenfeld werden die sozialen und gesellschaftlich-kulturellen Folgeprobleme für so bedeutend gehalten wie bei "Dienstleistungen und Konsum". An zweiter Stelle stehen Probleme der Sicherheit, wie die Sicherung der Privatsphäre oder der Mißbrauch individueller Informationen (26 %). Folgeprobleme für die Umwelt werden kaum befürchtet (7 %).

## Schlaglicht: Neue Dienstleistungen werden Arbeit und Freizeit in Deutschland herausfordern

Die gesellschaftlichen Folgeprobleme informationstechnisch gestützter Dienstleistungen haben verschiedene Dimensionen. Zum einen scheint zwar bei der Freizeitgestaltung der zwischenmenschliche Kontakt zu leiden, wenn *Einrichtungen, mit denen man unter Nutzung virtueller Realität das Erlebnis von Reisen, Filmveranstaltungen, Sportwettkämpfen und Vergnügungsparks in gewöhnlichen deutschen Familien hat, weit verbreitet sind und es sogar üblich geworden ist, zur Freizeitgestaltung die Wohnung nicht mehr zu verlassen*. Daß diese Vision aber eintritt, halten nahezu zwei Drittel der Befragten für unmöglich.

Die *face-to-face-Kommunikation mit den Kunden* wird bei den meisten *informatisierbaren Dienstleistungen, die in einem weltweiten Wettbewerb stehen*, zurückgehen, weil die Technik die Kommunikation und den Transfer der Leistung ermöglicht. Genauso geht der Kundenkontakt verloren, wenn ab der Periode zwischen 2006 und 2014 *mehr als 30 % der Güter des täglichen Lebens für Kleidung, Nahrung und Wohnung in Deutschland durch Teleshopping erworben werden*. Extreme gesellschaftliche Folgen werden für den Fall befürchtet, daß *in Wohnungen und Krankenhäusern frei programmierbare Maschinen eingesetzt werden, um die Krankenpflege zu unterstützen*.

Zur psychologisch-zwischenmenschlichen Dimension der Folgeprobleme kommen verteilungspolitische Komponenten hinzu, wenn zum einen *einer kleinen Minderheit die reale Welt (z. B. Reisen, Sport, Einkaufen) vorbehalten bleibt* und der Mehrheit lediglich *eine virtuelle Realität wie elektronische Supermärkte* geboten wird. Zum anderen können auch die diskriminierenden Wirkungen des *Pay-TV* die gesellschaftlichen Klassenunterschiede weiter verstärken.

Im weiteren Sinne haben auch die Sicherheitsprobleme der aufgeführten Innovationen Folgen für die Gesellschaft. Dabei wird *das Problem der sicheren Finanztransaktionen bzw. des digitalen Geldes beim elektronischen Banking* trotz

*Datenverschlüsselungstechniken* immer noch als Sicherheitsrisiko empfunden, während diesen Innovationen zugleich eine sehr hohe Wichtigkeit für die wirtschaftliche Entwicklung eingeräumt wird. Ähnlich verhält es sich mit *der Smart-Card mit Informationen über die persönliche finanzielle Situation*. Eine weitere Bedrohung für die Privatsphäre wird befürchtet, wenn *Finanztransaktionen zur Verhinderung von Geldwäsche permanent überwacht, Versicherte durch ihre Versicherungen mittels telekommunikationsgestützter Bildübertragungen* und die *Erdoberflächen mit einer Auflösung von 1 bis 2 Metern von privaten Dienstleistungsunternehmen beobachtet* werden.

## **Management und Produktion**

### **Struktur des Themenfeldes**

Dieses Themenfeld enthält Thesen zu neuen Werkstoffen, Aspekten der Ressourcenschonung, zur Produktions- und Betriebsmitteltechnik, zur Qualität und Arbeitssicherheit, zur Steuerung der Wertschöpfungskette sowie zu Aspekten menschlicher Erwerbstätigkeit und des Managements. Wie einige andere Themenfelder auch, enthält es vornehmlich Thesen, die erste Anwendungen und die weite Verbreitung zum Gegenstand haben. Weniger zahlreich sind Thesen zur Erweiterung der Wissensbasis und zur Klärung technischer Prinzipien.

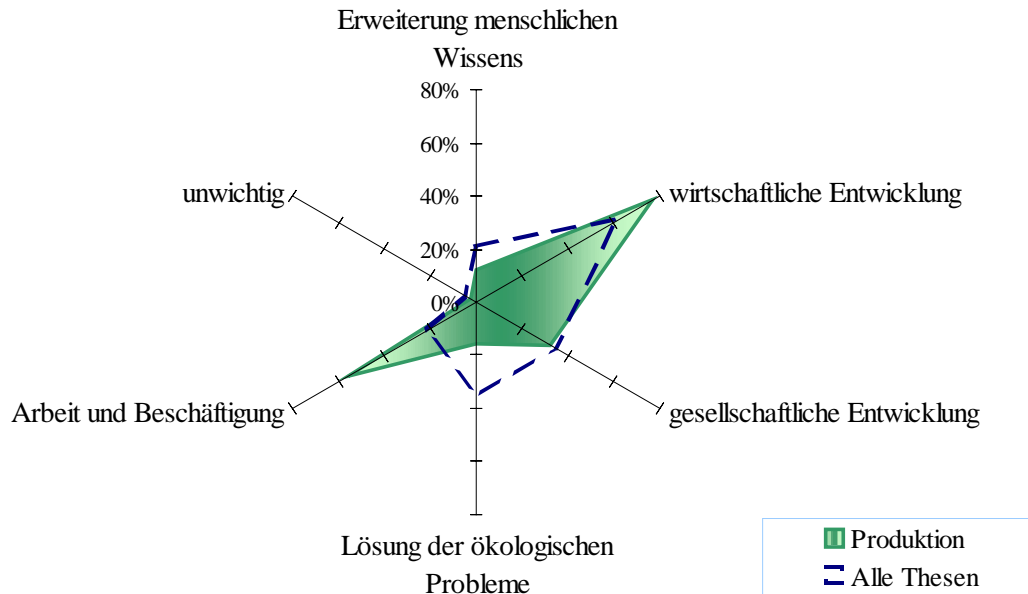
### **Wer sind die Befragten?**

Die insgesamt 179 Teilnehmer der zweiten Runde stammen zu mehr als 45 % aus Unternehmen, weitere 37 % kommen aus den Hochschulen. Personen aus anderen Einrichtungen wie dem öffentlichen Dienst sind seltener vertreten. Über 15 % der Experten aus der Privatwirtschaft und über 24 % der Experten aus den Hochschulen nehmen für sich selbst in Anspruch, große Fachkenntnis zu besitzen. Die Vertreter des öffentlichen Dienstes schätzen - zahlenmäßig eine der kleinsten Gruppen - die eigene Fachkenntnis am höchsten ein. Dies spricht entweder für die gelungene Auswahl der Experten durch das Projektteam oder für ein unterschiedliches Einschätzungsverhalten innerhalb der verschiedenen Gruppen.

### **Wofür ist das Themenfeld "Management und Produktion" wichtig?**

Die Wichtigkeit der diskutierten Thesen weist gegenüber den meisten anderen Themenfeldern abweichende Schwerpunkte auf: Die Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung sowie für Arbeit und Beschäftigung wird deutlich höher eingeschätzt. Die Bedeutung für die gesellschaftliche Entwicklung wird - so lassen die Kommentare der Experten vermuten - aufgrund der Beschäftigungswirkungen ähnlich hoch vermutet wie in anderen Themenfeldern. Überraschend ist der generelle Eindruck der Experten, daß der Beitrag der Innovationen zur Lösung ökologischer Probleme geringer ist als in anderen Themenfeldern. Nur die vergleichende Detailanalyse kann klären, inwiefern die neuen Trends in "Management und Produktion" eine saubere Umwelt unterstützen oder behindern. Per se werden von den Experten zumindest keine Beiträge zur Lösung von Umweltproblemen erwartet (vgl. Bild 9).

Bild 9: Wofür sind die Innovationen im Themenfeld "Management und Produktion" wichtig?



### Wann werden die Thesen Realität?

Die befragten Experten nehmen an, daß von den 71 Thesen 59 schon bis zum Jahr 2010 realisiert sein werden. Der Median, die mittlere Einschätzung, über alle Thesen liegt im Jahr 2008 und damit im Vergleich zu den anderen Themenfeldern sehr früh. Nach 2010 wird die Realisierung von lediglich zwölf Thesen erwartet. Dies macht deutlich, daß im Themenfeld "Management und Produktion" Thesen mit einer kurz- bis mittelfristigen Perspektive vorherrschen.

### Wo steht Deutschlands Forschung?

In der Gesamtschau der Einschätzung des höchsten F&E-Standes zeigt sich ein zu anderen Themenfeldern vergleichbares Muster: Der F&E-Stand in den USA wird von den Experten am höchsten bewertet, gefolgt von Deutschland noch vor Japan. Allerdings zeigen sich bei einer genaueren Analyse der Thesen signifikante Unterschiede:

- In den Bereichen Management und Organisationsformen ist die herausragende Bewertung der US-amerikanischen F&E-Leistungen überdeutlich. Japan und Deutschland werden hier als gleich stark angesehen.
- Bei der Steuerung der Wertschöpfungskette, also der Organisation über Unternehmensgrenzen hinweg, kann Japan den höchsten F&E-Stand vorweisen. Zu

dieser Einschätzung dürften wohl die Erfahrungen der japanischen Industrie bei der Zusammenarbeit innerhalb der sogenannten "Keiretsu", den pyramidenförmig vernetzten Finanzierungs-, Informations-, F&E- und Beschaffungsverbänden, geführt haben.

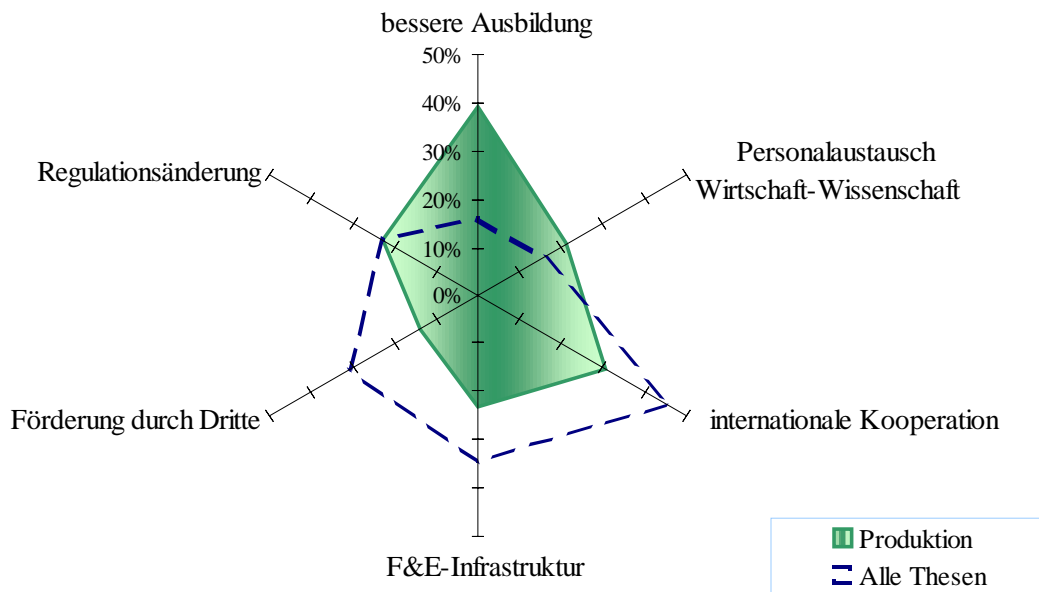
- In Bereichen wie Werkstoffe und Produktionstechnik liegt Deutschland nach Auffassung der Experten im Schnitt gleichauf mit den USA.
- Im Falle von Innovationen, bei denen es um den Umweltschutz und die Qualität geht, wird der F&E-Stand in Deutschland von den Experten als weltweit führend bewertet.

Vergleicht man die Einschätzung der deutschen Experten in diesem Themenfeld mit der japanischer Experten, so wird in beiden Ländern von der Führung der USA ausgegangen. Den "zweiten Platz" reklamieren jedoch die japanischen Experten für sich. Daß beide Expertengruppen eine "Second-Best"-Haltung einnehmen, gilt generell für die gesamte Delphi-Umfrage.

### Was ist zu tun?

Bei der Frage, welche Maßnahmen für die Realisierung der Thesen besonders wichtig sind, zeigt sich innerhalb dieses Themenfeldes ein deutlich anderes Maßnahmenprofil als in den anderen Themenbereichen (vgl. Bild 10):

Bild 10: Welche Maßnahmen sollen getroffen werden?



Der Schwerpunkt liegt eindeutig bei der Ausbildung. Obwohl im Fragebogen nicht näher spezifiziert, lassen die Kommentare annehmen, daß sich dies nicht nur auf Forscher, sondern insbesondere auf Management und Belegschaften bezieht. Auch

der Austausch zwischen Theorie und Praxis wird als überdurchschnittlich wichtige Maßnahme gewertet. Regulationsänderungen werden vor allem bei Thesen zur Ressourcenschonung und zur Arbeitssicherheit als wichtig angesehen und führen insgesamt zu einer durchschnittlich häufigen Erwähnung dieser Maßnahme. Deutlich weniger wichtig sind nach Meinung der Experten Maßnahmen der Forschungsförderung oder zur Verbesserung der F&E-Infrastruktur. Die Forderung nach staatlichen Maßnahmen ist also deutlich unterrepräsentiert, was nicht weiter verwundert: sind es doch die Unternehmen, die die Anwendung neuer Management-, Organisations- oder Produktionstechniken selbst erproben und durchsetzen müssen.

### **Welche Folgeprobleme könnten auftreten?**

Als mögliche Folgen der Innovation erwarten die Experten vor allem soziale Probleme. Nimmt man die Kommentare als Hinweise, so sind es z. B. die neuen Organisationsformen, die zu wachsender Beschäftigungslosigkeit, zu "Söldnerbelegschaften" etc. führen können. Offenbar wird bei einer Realisierung der im Fragebogen zur Diskussion gestellten Thesen mit einer (weiteren) Verschlechterung der Beschäftigungslage gerechnet, wie auch die Beurteilung der Megatrends bestätigt (74 % der ca. 2300 Antwortenden nehmen an, daß *der technische Fortschritt und die globale Umverteilung der Arbeitsplätze die durchschnittliche Arbeitslosenquote in den Industrieländern steigert* - und das schon in unmittelbarer Zukunft).

### **Schlaglicht: Am Standort Deutschland werden Produktionsverbände und spontane Netzwerke entstehen**

Durch die 71 Thesen und die vielfältigen Fragestellungen aus Technik, Arbeitswelt und Management zieht sich ein beachtenswerter roter Faden:

Am Standort Deutschland entstehen Produktionsverbände mit hoher Reaktionsfähigkeit. Diese sind marktseitig dadurch gekennzeichnet, *daß sie sich auf Kundengruppen und nicht mehr auf Produkte spezialisiert haben und diese durch spontane Netzwerkbildung zu befriedigen versuchen* (realisiert bis 2008; der Anteil der Experten, die dies für nicht möglich halten beträgt immerhin 14,2 %). Ihre *Kunden bestellen online ein Produkt nach eigenen Wünschen* (2005; 0,6 %). Die Verbände haben *außer Montagetätigkeiten alles ausgelagert* (2007; 17,9 %) und *fertigen zu denselben Kosten auf Kundenauftrag wie früher in Programmfertigung* (2007; 3,4 %).

Die Technik hat sich entsprechend angepaßt: Fragen mit technischem oder chemischem Hintergrund, wie etwa nach dem *Einfluß "intelligenter Materialien" auf die Effizienz von Maschinen* (2008; 0 %), *allgemeine Anwendung von Präzisionsguß oder -schmieden* (2007; 2,4 %), *Verkürzung der Automontage durch Klebverfahren um 20 %* (2007; 5,4 %), *multiple Mini-Reaktoren für Syntheseanlagen* (2013; 0 %)



oder *Schnellmontagesysteme statt Muttern und Schrauben* (2007; 5,9 %) zeigen eine Tendenz zur Unterstützung von flexiblen Unternehmensverbänden oder Beschäftigten. Auch werden *die Produktionsprozesse zur kontinuierlichen Herstellung eines breiten Sortiments von Produkten in kleinen Mengen* genutzt (2007; 0 %) und die *Wartung standortunabhängig* betrieben (*Fernwartungssysteme*: 2008; 4,8 %). *Informationssysteme bilden für die Wahl der Organisation jedenfalls keinen Engpaß mehr* (2008; 5,4 %). Damit werden *Betriebszeiten von 20 Stunden am Tag erreicht* (2006; 2,5 %), die aber *aufgrund geringerer Störanfälligkeit der Automatisierungslösungen von den Arbeitszeiten der Beschäftigten entkoppelt werden können* (2008; 6,3 %).

In der Organisation scheint alles möglich: *So können mehrere Prinzipien gleichzeitig bestehen* (2006; 0,7 %) oder *alte Formen sind flächendeckend durch kundenorientierte Strukturen ersetzt* (2006; 6,5 %). Wie auch immer sie aussehen - wichtig ist, daß *die Entscheidungsbefugnisse so dezentralisiert sind, daß dort, wo die Informationsbasis am besten ist - also auf der operativen Ebene - entschieden wird* (2006; 6,9 %). *Bis zu 40 % der Mitarbeiter werden mittels neuer Techniken große Teile ihrer Arbeit ohne Produktivitätsverlust aus der Ferne oder von zu Hause erbringen* (2010; 9,5 %). *Sie werden zur Hälfte am Arbeitsergebnis orientiert bezahlt* (2010; 13,5 %), *das Arbeitsergebnis wird dabei von qualitativen Faktoren bestimmt* (2006; 7,4 %) und *orientiert sich hierfür an der Gruppen- oder Betriebsleistung* (2005; 4,8 %). *Die Mehrheit der Unternehmen wird daher mit Anteilscheinen bezahlen* (2007; 7,5 %).

Selbständigkeit wird Trumpf sein und *ganzheitliche Verantwortungsbereiche werden erwartet, die die Identifikation der Mitarbeiter fördern* (2004; 0,6 %). Dennoch: Die *Aufrechterhaltung der Identifikation von Mitarbeitern mit dem Unternehmen angesichts der selbständigen Bearbeitung von Projekten* wird zum Problem des Top-Managements (2005; 8,2 %), zumal diese "zentrifugalen" Entwicklungen auch dazu führen können, daß in effizienten Unternehmen *mehr als 40 % der Mitarbeiter mit befristeten Arbeitsverträgen oder Werkverträgen ausgestattet werden* (2009; 11,3 %). *Standardisierte Verwaltungsarbeiten werden dabei via Telearbeit von kompetentem Personal aus Entwicklungsländern erledigt* (2006; 13,3 %).

Das Ergebnis der letzten These zeigt, daß zumindest bei der Standortunabhängigkeit der Netzwerke größere Zweifel bestehen (13,3 % der Experten halten die These für nicht realisierbar). Dem Konzept eines standortunabhängigen *Virtuellen Unternehmens* bringen noch mehr Experten Skepsis entgegen (2012; 14,1 %). Auch andere Visionen werden skeptisch beurteilt: *Familienfreundliche Arbeitszeiten, um qualifiziertes Personal zu gewinnen* (2006; 10,3 %) oder *mehr Frauen in Führungspositionen aufgrund ihrer besseren Netzwerkmanagementfähigkeiten* (2009; 12,2 %).

Insgesamt beeindruckt jedoch die Geschlossenheit der Thesen und deren Beantwortung. Im Zeitraum von 2006 bis 2008 sind die meisten Realisierungszeitpunkte

(Mediane) angesiedelt. Bis spätestens 2010 halten 75 % der Experten alle Thesen für umgesetzt. Die "Vision" zukünftiger Unternehmen besteht aus vielen selbständigen und eigenverantwortlichen Mitarbeitern oder beauftragten Selbstständigen in hochflexiblen Produktionssystemen. Das Management spielt dabei vornehmlich die Rolle eines Informations- und Kontaktbrokers. Trotzdem kann sich fast ein Drittel der Experten nicht vorstellen, daß *neue Organisationsformen hierarchisch motivierte Arbeitsanweisungen überflüssig machen* (2008, 28,0 %), oder daß es im Jahre 2008 so auf den Mitarbeiter ankommt, daß dieser mit seinen Kollegen *das Management bei nachweisbaren und gravierenden Fehlern abwählt* (2015, 56,9 %). So weit wird es nach Ansicht der Experten dann doch nicht kommen.

## **Chemie und Werkstoffe**

### **Struktur des Themenfeldes**

Die Thesen dieses Untersuchungsgebietes erfassen in ihrer Mehrheit die Bereiche Werkstoffe, neue Techniken in der Produktion und Analytik. Dabei überwiegt der Bereich Werkstoffe bei weitem. Soweit die Anwendungsfelder der Werkstoffe genannt werden, beziehen sie sich auf so unterschiedliche Bereiche wie Mikrotechnik, Stromspeicher- und Stromleitungstechnik, Optoelektronik, Sensortechnik, Kleben, Verbinden und Implantate in der Medizin, Konstruktionselemente in der Verkehrstechnik, Motor- und Turbinenbau sowie Wärmetechnik im Bausektor. Die Anwendungsfelder der neuen Techniken in der Produktion betreffen hauptsächlich die Energiebereitstellung, den Umweltschutz, den Verkehrsbereich, die Landwirtschaft sowie den Produktionsbereich im allgemeinen. Eine vergleichsweise kleine Gruppe stellen die Thesen zur Analytik dar.

Der Bereich neuer Werkstoffe und chemischer Produkte, der hier dargestellt wird, ist von seinem Ansatz her ein Querschnittsthema in einer prinzipiell kontinuierlichen Entwicklungslinie. So ist es nur natürlich, daß sich im Hinblick auf den Innovationsfortschritt der Theseninhalte eine recht ausgeglichene Verteilung der in der Umfrage berücksichtigten Innovationsstufen ergibt - teilweise in beträchtlicher Abweichung von den anderen Themenfeldern. So sind die Thesen zur Forschung und Entwicklung und diejenigen zu den Anwendungen in Produkten und Verfahren in etwa gleicher Anzahl vertreten.

Die Spannweite des Themenfeldes ist außerordentlich groß und umfaßt praktisch die gesamte Forschung und Entwicklung und viele Anwendungsfelder, die auch durch andere Themenfelder der Delphi-Umfrage abgedeckt werden. "Highlights" sind deshalb in erster Linie bei den Einzelthesen auszumachen, wenn man von den "heißen" Anwendungsthemen Energie, Verkehr und Umwelt einmal absieht.

Bei den reinen Werkstoffthesen überwiegen diejenigen zu Funktionswerkstoffen leicht gegenüber denen zu Strukturwerkstoffen und unterstreichen damit einen Trend, der sich auch in den Beiträgen auf den großen internationalen Konferenzen der letzten Jahre widerspiegelt. Auf den deutschen Veranstaltungen wird vielfach den Polymeren und Verbundwerkstoffen ein breiter Raum gewidmet - in Analogie zum Themenumfang dieser Delphi-Befragung.

### **Wer sind die Befragten?**

Im Vergleich zu den anderen Themenfeldern der Umfrage, ist der Teilnehmeranteil aus dem Hochschulbereich im Themenfeld "Chemie und Werkstoffe" besonders

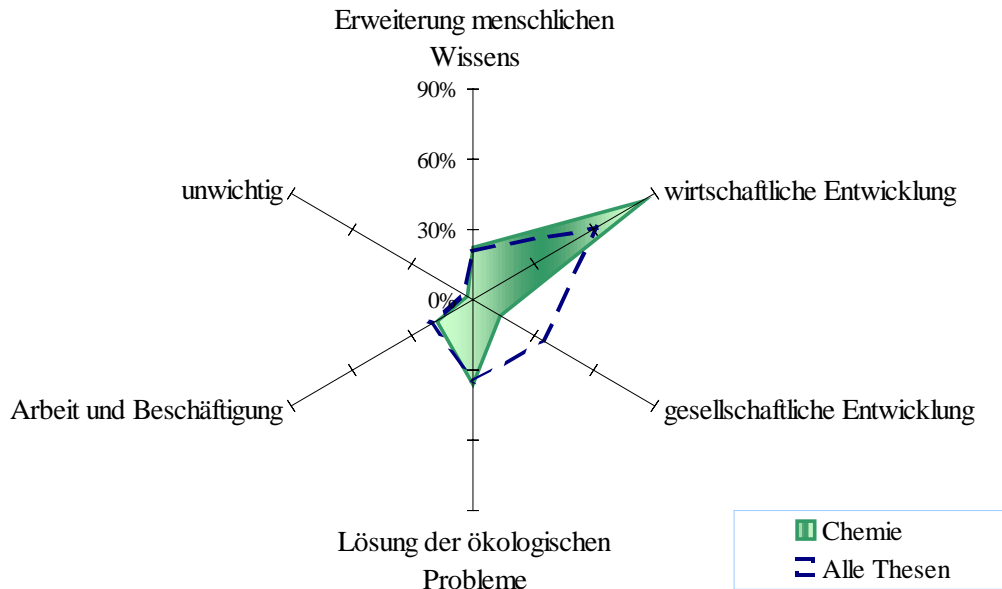
groß, erfolgt doch die Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Werkstoffentwicklung in erster Linie an Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen.

Die These, die sich mit den *hitzebeständigen Polymeren bei 450°C* befaßt, wurde von 175 Umfrageteilnehmern beantwortet und liegt damit an der Spitze der Zahl der Antworten. Am Ende mit nur 63 Teilnehmern liegt die These, die auf *Datenspeichersysteme bei Anwendung niedermolekularer Informationsträger* eingeht. Die Ursache für die großen Unterschiede in der Beteiligung muß wohl in der hohen Spezialisierung der befragten Fachleute gesucht werden. Es beteiligten sich bei der erstgenannten These 46 % Fachleute mit geringer Fachkenntnis, bei der zweitgenannten These waren es 76 %. Der Anteil der Fachleute, die sich selbst eine hohe Fachkenntnis bescheinigen - also auf dem Gebiet arbeitende Experten - liegt im Durchschnitt aller Thesen dieses Themenfeldes bei unter 10 %. Dabei lassen sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Herkunft der Experten aus Industrie oder Hochschulen ausmachen.

### **Wofür ist das Themenfeld "Chemie und Werkstoffe" wichtig?**

Im Vergleich zu den anderen Themenfeldern wird dem Themenbereich der neuen chemischen Produkte und Werkstoffe eine herausragende Wichtigkeit für die wirtschaftliche Entwicklung zuerkannt - gleichermaßen von den Vertretern der Hochschulen und der Industrie. Etwa 85 % von ihnen verweisen darauf (siehe Bild 11). Auch gegenüber den anderen Themenfeldern der Delphi-Umfrage nimmt der Themenbereich in dieser Hinsicht eine Spitzenposition ein. Damit kommt den Entwicklungen bei "Chemie und Werkstoffen" eine Schlüsselfunktion für die deutsche Wirtschaft zu.

Bild 11: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Chemie und Werkstoffe" wichtig?



Die Wichtigkeit für die Lösung ökologischer Probleme wird von 35 % der Experten an zweiter Stelle genannt. Dieser Wert liegt im Durchschnitt aller Delphi-Thesen.

### Wann werden die Thesen Realität?

Nach Meinung der meisten Experten werden nur wenige Entwicklungen in den kommenden 5 bis 10 Jahren realisiert: ganze fünf von insgesamt 104. Die meisten Realisierungen erfolgen im Zeitraum der nächsten 10 bis 15 Jahre, nämlich 59 Thesen bzw. 57 %. 40 Entwicklungen wird erst nach dem Jahr 2013 eine Realisierungschance eingeräumt. Die größten Erfolgsaussichten haben mit Abstand die Entwicklungen zu den Strukturwerkstoffen.

Die Werkstoffentwicklung und die Einführung neuer Techniken in der Produktion benötigen offensichtlich einen langen Atem.

Die deutsche Wirtschaft wird und kann nur sehr langfristig von diesen Entwicklungen profitieren. Auch der Umwelt nützen die angesprochenen, sehr anspruchsvollen Entwicklungen kurz- bis mittelfristig nicht.

### Wo steht Deutschlands Forschung?

Trotz der eher langfristigen Perspektiven wäre es verfehlt, den Stellenwert dieses Themenfeldes zu schmälern. Denn zum einen muß beachtet werden, daß die gegenwartsnahen Entwicklungen in dieser Delphi-Umfrage absichtlich nicht angespro-

chen wurden. Zum anderen darf die langfristige Wirkung der Forschung und Entwicklung nicht übersehen werden. Deutschland wird bei 31 von 104 Thesen als weltweit führend betrachtet, von denen für mehr als die Hälfte eine Realisierung nicht vor dem Jahr 2011, für sechs der Thesen sogar erst sehr viel später erwartet wird.

### **Was ist zu tun?**

Die angemahnten Maßnahmen, die den angesprochenen Entwicklungen mehr Auftrieb geben könnten, liegen für das Themenfeld "Chemie und Werkstoffe" vor allem in

- einer verstärkten internationalen Kooperation,
- einer Erhöhung der staatlichen und privaten Förderung
- einer Verbesserung der Forschungsinfrastruktur.

Insbesondere wird im Vergleich zu den anderen Themenfeldern die finanzielle Förderung vehement eingeklagt. Daran spiegelt sich sicherlich die Dominanz der Teilnehmer aus dem Hochschulbereich wider.

### **Welche Folgeprobleme könnten auftreten?**

Die Folgeprobleme für die Umwelt werden für das Themenfeld "Chemie und Werkstoffe" im Vergleich zu anderen möglichen Problemen bei der Sicherheit oder in der Gesellschaft als besonders kritisch angesehen. Bei 31 Theseninhalten befürchten mehr als 80 % der Teilnehmer Probleme für die Umwelt. Allerdings sind dies zugleich diejenigen Thesen, die nach Meinung der gleichen Experten zur Lösung ökologischer Probleme beitragen können. Die Lösung von ökologischen Problemen durch den Ersatz bestimmter Stoffe ist demnach möglich, verursacht in der Folge vielleicht aber andere, heute noch nicht konkretisierbare Probleme.

### **Schlaglicht: Kann der Chemiestandort Deutschland Wirtschaft und Umwelt versöhnen?**

Daß sich ökonomische und ökologische Perspektiven nicht gegenseitig ausschließen müssen, zeigt die Delphi-Umfrage in überzeugender Weise für eine Reihe von Thesen des Fachgebietes "Chemie und Werkstoffe". Im folgenden sollen diejenigen vier Thesen eingehender vorgestellt werden, bei denen mehr als 80 % der Befragten auf die Wichtigkeit für die wirtschaftliche Entwicklung und die Lösung der ökologischen Probleme sowie auf eine deutsche Führungsrolle in Forschung und Entwicklung hinweisen. Dabei wird insbesondere auf die zusätzlichen Kommentare der Experten eingegangen.

Die vier vorgestellten Thesen beschäftigen sich direkt oder indirekt mit dem Verkehrswesen, insbesondere mit dem Fahrzeugbau. Gerade auf diesem Gebiet wird Deutschland offensichtlich eine führende Rolle in Forschung und Entwicklung eingeräumt - vor allem bei der Minderung negativer Auswirkungen auf die Umwelt. Daß sich diese dennoch nicht völlig beseitigen lassen, dokumentiert die von vielen Fachleuten geäußerte Befürchtung von Folgeproblemen für die Umwelt.

*Pulvertechnologien setzen sich in Anwendungen der Lack-, Klebstoff- und sonstigen Beschichtungsindustrie durch, die heute noch von lösemittel- oder wasserhaltigen Systemen dominiert sind.*

Dieses Ziel kann bis zum Jahr 2006 erreicht werden, also bereits in acht Jahren. Diese relativ kurze Zeitspanne wird deshalb für recht wahrscheinlich angesehen, weil der Umstellungsprozeß, nach den Kommentaren zu schließen, bereits in Gang gekommen ist. Andererseits wird eine generelle Substitution herkömmlicher Verfahren für unwahrscheinlich gehalten, da für jedes Beschichtungsproblem ein entsprechendes Pulversystem entwickelt werden müßte und die Pulverlacke in der Regel nicht beliebig lange lagerfähig sind.

*Die im Fahrzeugbau eingesetzten Polymermaterialien werden auf der Basis weniger Monomere hergestellt und nach Gebrauch wieder recycelt.*

Die Wiederaufarbeitung der im Fahrzeugbau eingesetzten Polymermaterialien wird sich nach Meinung der Fachleute bis zum Jahr 2007 allgemein durchsetzen. Trotz der in der Umfrage zum Ausdruck gebrachten positiven Aspekte für die Umwelt wird in den Kommentaren darauf verwiesen, daß diese Entwicklung möglicherweise auf einen Irrweg führt: Die stoffliche Verwertung der gebrauchten Kunststoffe sei energieintensiv, und überhaupt sei für diesen Anwendungsbereich die energetische Verwertung der stofflichen Nutzung vorzuziehen. Der Einsatz nur eines Kunststoffes für alle Funktionen im Auto sei aus technischen Gründen nicht möglich, weil die Anforderungen zu breit seien.

*Mit speziellen Verbrennungsmotoren aus Keramik ist es möglich, ein 2-Liter-Auto mit niedrigen Schadstoff-Emissionen ohne Katalysator zu bauen.*

Ein 2-Liter-Auto mit einem speziellen Verbrennungsmotor aus Keramik kann nach Meinung der Fachleute bis zum Jahr 2014 entwickelt sein. In Deutschland sollte man auf die starke japanische Konkurrenz achten - so der Kreis der hier befragten Fachleute. Auch sind diese mehrheitlich der Meinung, daß die Entwicklung durch entsprechende Gesetze gefördert werden könnte. In den Kommentaren wird insbesondere darauf verwiesen, daß Motoren für 2-Liter-Autos nicht unbedingt nur aus Keramik bestehen müssen. Auch werden diese nicht ohne Katalysator auskommen. Schließlich wird angedeutet, daß solche Kleinwagen vermutlich zu oft als Zweit-

oder Drittwagen genutzt werden und somit der Umwelt durch ihre Einführung eher ein "Bärendienst" erwiesen würde.

*Verfahren zur Produktion von Kraftstoffen durch Mikroorganismen und Algen sind weit verbreitet, so daß der Anteil dieser Kraftstoffe (z. B. Alkohol) an der weltweiten Produktion 10 % erreicht.*

Solche Biokraftstoffe sollen aufgrund der Umfrage bis 2020 etwa 10 % der Weltproduktion abdecken. Zwiespältig ist die Meinung der Fachleute jedoch im Hinblick auf die Möglichkeiten, mit diesen Biokraftstoffen ökologische Probleme umfassend zu lösen. Mehr als 91 % der Befragten glauben an Folgeprobleme für die Umwelt - der höchste Anteil in diesem Themenfeld. Dies kommt sicherlich nicht von ungefähr, denn warum sollten Biokraftstoffe weniger Schadstoffe erzeugen als konventionelle Treibstoffe? Mit ihnen ließe sich zwar der bilanzielle CO<sub>2</sub>-Eintrag in die Atmosphäre etwas reduzieren, vermeiden läßt er sich aber nicht. Dazu müßten sich die Ansprüche an die Mobilität ändern. In den Kommentaren der Fachleute wird zudem bezweifelt, daß sich bereits bis zum Jahr 2020 eine Verknappung der fossilen Brennstoffe einstellen wird und wegen der dadurch verursachten Verteuerung von Benzin und Diesel ein wirtschaftlicher Einsatz von Biokraftstoffen möglich wäre.

Die Auswahl dieser vier Fragestellungen sollte insbesondere den Querschnittscharakter der Entwicklungen in dem Themenfeld "Chemie und Werkstoffe" exemplarisch aufzeigen. Die Vielfalt und Breite der Fragen einerseits und die hohe Beteiligung der Beantwortung zeigen, daß die Chemie in Deutschland einen hohen Stellenwert hat und über entsprechende Expertise verfügt. Das wird besonders deutlich im Vergleich zu den japanischen Delphi-Umfragen, in denen die Chemie nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt. Viele Zukunftsprobleme hängen damit zusammen, daß die Stoffumwandlungsprozesse weiter optimiert werden. Bei dem hohen bisher erreichten Stand der Technik ist dazu ein langer Atem notwendig, aber die Bemühungen sind ökonomisch wie ökologisch sehr wichtig.



## **Gesundheit und Lebensprozesse**

### **Struktur des Themenfeldes**

Im Mittelpunkt des Themengebietes "Gesundheit und Lebensprozesse" stehen die "klassischen" Wissenschaftsdisziplinen Medizin und Biologie. Knapp die Hälfte aller Thesen (49 von 104) befaßt sich mit den medizinischen Teilgebieten Prävention, Diagnose und Therapie menschlicher Erkrankungen; weitere 17 Thesen betreffen das Gesundheitssystem. Verklammert werden die Schwerpunkte Medizin und Biologie durch die gemeinsame Nutzung biotechnischer Methoden und Erkenntnisse (z. B. Gentechnik, Genomforschung): Die Molekulare Medizin klärt Krankheitsursachen und -verläufe auf molekularer Ebene auf und entwickelt darauf aufbauend kausale Therapieansätze, während die Biowissenschaften das methodische Instrumentarium zur Aufklärung der molekularen Grundlagen der Lebensprozesse einsetzt (insgesamt 19 Thesen). Diese Lebensprozesse werden in der Biotechnologie für technische Systeme nutzbar gemacht. 19 Thesen betreffen ausgewählte Teilbereiche der Biotechnologie.

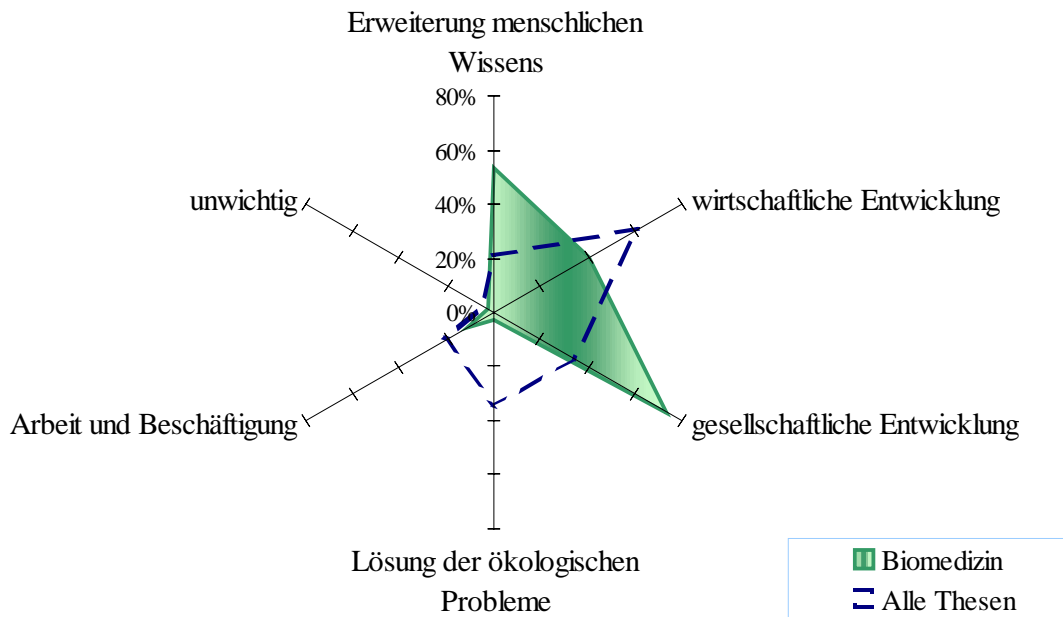
### **Wer sind die Befragten?**

Im Vergleich zu anderen Themenfeldern nehmen Thesen, die sich auf die Aufklärung grundlegender Phänomene oder auf die Entwicklung neuer Technologien beziehen, überdurchschnittlich breiten Raum ein. Nur etwa ein Drittel aller Thesen betrifft die Anwendung. Damit sind die Verhältnisse in diesem Themenfeld genau umgekehrt wie im Durchschnitt aller Themenfelder der Befragung. Darin spiegelt sich wider, daß Innovationen in der medizinisch-pharmazeutischen Forschung und der Biotechnologie sehr stark auf Ergebnissen der Grundlagenforschung beruhen. Entsprechend hoch ist der Anteil der Experten aus Hochschulen (ca. 45 %), während im Vergleich zu anderen Themenfeldern nur eine geringe Zahl von Experten in Unternehmen (ca. 26 %) tätig ist.

### **Wofür ist das Themenfeld "Gesundheit und Lebensprozesse" wichtig?**

Die Erforschung der Gesundheit und Lebensprozesse ist besonders für die gesellschaftliche Entwicklung sowie für die Erweiterung des menschlichen Wissens von Bedeutung. In diesen Bereichen werden im Vergleich zu allen anderen Themenfeldern weit überdurchschnittliche "Wichtigkeitsquoten" erreicht, während kaum Impulse für die wirtschaftliche Entwicklung, für Arbeit und Beschäftigung und für die Lösung ökologischer Probleme erwartet werden (Bild 12). Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft stimmen in dieser Einschätzung im wesentlichen überein, lediglich die wirtschaftliche Bedeutung wird von industrieller Seite etwas höher, der Erkenntnisgewinn etwas niedriger eingeschätzt als von den Experten aus der Wissenschaft.

Bild 12: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Gesundheit und Lebensprozesse" wichtig?



Die sehr große Bedeutung für die gesellschaftliche Entwicklung liegt zum einen in der Prävention und Überwindung von Krankheitszuständen und in der Erhöhung der Lebensqualität. Dabei wird der Erforschung von Krankheiten, die unheilbar sind oder bestenfalls symptomatisch behandelt werden können, höchste Priorität eingeräumt. Hierzu zählen z. B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Stoffwechselstörungen (z. B. Diabetes, Gicht), Krebs, degenerative Erkrankungen des Gehirns und des Nervensystems (z. B. Alzheimer, Parkinson), degenerative Erkrankungen des Bewegungsapparats, Immunerkrankungen sowie "neue" Infektionskrankheiten (z. B. AIDS, Creutzfeldt-Jakob-Syndrom, Hepatitis C).

Die weit überdurchschnittliche Bedeutung dieses Themenfeldes für die gesellschaftliche Entwicklung sehen die Experten aber auch darin, daß neue Erkenntnisse bei der Erforschung und neue Möglichkeiten bei der Diagnose und Therapie von Krankheiten zentrale Fragen des menschlichen Lebens und des Wesens des Menschen berühren und dadurch vielfältige und z. T. tiefgreifende soziale, kulturelle und gesellschaftliche Folgen haben. Die Analyse der Kommentare zu den einzelnen Thesen ergab folgende herausragenden Problemkreise:

Eine Fülle von Kommentaren provozierten stets diejenigen Thesen, die den Beginn und das Ende des menschlichen Lebens berühren, wie beispielsweise *präventive Maßnahmen zur Verhinderung angeborener Mißbildungen*, die *"Pille danach"*, der *breite Einsatz von Methoden zur Begrenzung des Bevölkerungswachstums*, die *Sterbehilfe auf Verlangen von Patienten im höheren Lebensalter* und von *Schwerstbe-*

*hinderten, die künstliche Lebensverlängerung im Zusammenhang mit der Intensivmedizin bzw. die Konservierung lebender Organismen nach dem Prinzip des Winterschlafs, oder die Deckung des Bedarfs an Spenderorganen durch Aufklärung und Schulung.*

Ein weiterer gesellschaftlich wichtiger Problemkreis betrifft die Frage nach der menschlichen Würde, d. h., in welchem Maße der Mensch in der Medizin Subjekt oder Objekt und der Umgang mit Patienten individualisiert oder standardisiert ist, wird oder sein sollte. Hierzu zählen beispielsweise *Roboter zur Unterstützung bei der Pflege von Kranken, Alten und hochgradig körperlich oder geistig Behinderten, der Einsatz von Fernoperationssystemen mit virtueller Realität, aber auch sich selbst reproduzierende technische Systeme oder die Vorgabe von Standard-Therapieschemata durch Krankenkassen.* Die Vielzahl und Vielfalt der Kommentare weist darauf hin, daß es sich hierbei um äußerst vielschichtige Problematiken handelt, auf die es keine einfachen und pauschalen Antworten geben kann, sondern bei denen ein hohes Maß an Differenzierung erforderlich ist. Dies legt nahe, daß es eines breiten gesellschaftlichen Diskurses über die wissenschaftlich-technischen Entwicklungen, die in dieser Befragung vorrangig diskutiert wurden, bedarf.

Eine Erweiterung des menschlichen Wissens wird vor allem von den Neurowissenschaften erwartet, etwa von *experimentellen Techniken zur gleichzeitigen Beobachtung und Analyse einer Reihe von Neuronen, der Aufklärung der Mechanismen der Formung von neuronalen Netzen und der Aufklärung der neurobiologischen Grundlagen von Gehirnfunktionen.* Auch die *vollständige Ermittlung der Sequenz des menschlichen Genoms* dient nach Ansicht der Experten primär dem Erkenntnisgewinn, während die Bedeutung dieses in weltweiter Kooperation durchgeführten Human Genome Project für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung deutlich geringer eingeschätzt wird.

Interessanterweise zählen die *weite Verbreitung der biologischen Produktion durch zellfreie Synthese* sowie die *Produktion "maßgeschneiderter" Enzyme für den breiten Einsatz in allen Bereichen der Stoffumwandlung* zu denjenigen Entwicklungen, denen sowohl für die wirtschaftliche Entwicklung als auch für die Lösung der ökologischen Probleme eine (für dieses Themenfeld) große Bedeutung zugemessen wird. Als sehr wichtig für die wirtschaftliche Entwicklung werden auch *flexiblere Formen der Industrie-Hochschulforschungs-Kooperationen* angesehen.

### **Wann werden die Thesen Realität?**

Wegen der starken Grundlagenorientierung der Thesen in diesem Themenfeld gehen die Experten von einer eher späten Realisierung aus. Der Mittelwert liegt um das Jahr 2012. Praktisch anwendbare Lösungen sind also noch später zu erwarten als im Durchschnitt der Delphi-Befragung. Interessanterweise wird Thesen, die die Heilung von Krankheiten betreffen, nicht nur eine außerordentlich hohe Relevanz für

die gesellschaftliche Entwicklung zugemessen, sondern sie erscheinen den Experten auch durchaus realisierbar - allerdings erst in einem Zeitraum von 10 bis 15 Jahren, teilweise sogar noch später. Diese Erfolge können nach Einschätzung der Experten in erster Linie durch eine Medizin erreicht werden, die auf wissenschaftlich nachprüfbaren Erkenntnissen beruht.

Alternativen Therapieformen wird dagegen nur eine geringe Bedeutung zugemessen: Etwa ein Viertel der Experten stufen diese als unwichtig ein, und ebensoviele halten die *Integration von heute noch als alternativ geltenden Methoden in die Schulmedizin, indem an deutschen Hochschulen entsprechend ausgerichtete Professuren eingerichtet werden, sowie den breiten Einsatz von Naturstoffen, die auf Wirkprinzipien beruhen, die z. B. aus der chinesischen Medizin bekannt sind*, für nie realisierbar. Dies schließt nicht aus, daß als "alternativ" geltende Therapien durchaus in die Schulmedizin integrierbar sind, sofern nur der Nachweis ihrer Wirksamkeit erbracht wird. Von einer großen Zahl an Experten als zugleich unwichtig und unrealistisch werden *sich selbst reproduzierende technische Systeme* und die *Konservierung lebender Organismen nach dem Prinzip des Winterschlafs* angesehen.

### **Wo steht Deutschlands Gesundheits- und Lebensprozeßforschung?**

Im Vergleich zur Gesamtheit aller Themenfelder hat Deutschland im Bereich "Gesundheit und Lebensprozesse" eine eher schwache Forschungsposition; die USA halten unangefochten die Spitzenstellung. Zu dieser Beurteilung mag trotz der traditionellen deutschen Stärke der Pharmaindustrie beigetragen haben, daß Kooperationen und Investitionen speziell in der biomedizinischen Forschung von international agierenden Firmen bevorzugt in den USA getätigt werden. Hierfür werden neben vielen anderen Gründen (z. B. Markterschließung, Nähe zu Zulassungsbehörden) auch günstigere strukturelle Rahmenbedingungen in den USA für den Wissenstransfer zwischen Grundlagenforschung und Kliniken angeführt.

Bemühungen, strukturelle Defizite in Deutschland zu beheben, beispielsweise durch *grundlegende strukturelle Reformen an deutschen Hochschulkliniken mit dem Ziel, bessere Bedingungen für die klinische Forschung zu schaffen*, werden von der überwiegenden Zahl der Experten als wichtig für die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung angesehen. Aus den Kommentaren, der erwarteten Verwirklichung nicht vor dem Jahr 2008 und einem relativ hohen Anteil (7,7 %) von Experten, die diese These als nie realisierbar einschätzen, geht jedoch hervor, daß die "Beharrungskraft" der derzeitigen Strukturen sehr groß ist. Japan hat im Vergleich zu anderen Themenfeldern eine insgesamt eher schwache Forschungsposition im Gesamtbereich "Gesundheit und Lebensprozesse", ist aber relativ stark in den Teilbereichen Diagnostik und Biotechnologie. In dieser Einschätzung stimmen deutsche und japanische Experten weitgehend überein.

## Was ist zu tun?

Vor dem Hintergrund der starken Grundlagenorientierung und der Komplexität der Forschungsfragen ist verständlich, daß wichtige Maßnahmen zum Erreichen der gesteckten Ziele vor allem in der internationalen Kooperation, der Verbesserung der Infrastruktur sowie der Förderung durch Dritte gesehen werden. Die Bedeutung der internationalen Kooperation wird nicht nur bei ressourcenintensiven "Großvorhaben" wie der *Totalsequenzierung des menschlichen Genoms* und der *Erschließung der Proteinfunktion aus der Gensequenz* oder bei grenzüberschreitenden Vorhaben, wie der *Etablierung internationaler epidemiologischer Datenbanken* gesehen.

Die ausdrückliche Forderung nach internationaler Kooperation beispielsweise bei der *Entwicklung einer wirksamen AIDS-Therapie* oder der *Entwicklung von Krebstherapien durch Beeinflussung der Signalübertragung bei der Krebszellentstehung* weisen darauf hin, daß relevantes Wissen heute international und in Netzwerken generiert wird, in denen die verschiedensten Akteure (von Hochschulen über außeruniversitäre Forschungseinrichtungen bis hin zu Unternehmen) eine Rolle spielen. Für die Forscher bedeutet dies, daß sie die Nähe zu den weltweit führenden Kompetenzzentren der Wissensgenerierung aktiv herstellen und sich in die entsprechenden Netzwerke eingeben müssen. Dies macht ein internationales Innovationsmanagement erforderlich, um das erforderliche Know-how aufzuspüren und zu erwerben. Den Personalaustausch zwischen Wirtschaft und Wissenschaft halten die Wissenschaftler unter den befragten Fachleuten für eine wichtigere Maßnahme als die Experten aus der Wirtschaft.

Eine Förderung durch Dritte wird für verschiedene stark grundlagenorientierte Forschungsarbeiten als geeignete Maßnahme angesehen. Die Forschung dient vor allem der Erweiterung des menschlichen Wissens, ohne daß eine nennenswerte wirtschaftliche Relevanz erkennbar wäre. Hierzu zählen z. B. *experimentelle Techniken zur gleichzeitigen Beobachtung und Analyse einer Reihe von Neuronen* oder die *Aufklärung der Mechanismen der Formung von neuronalen Netzen*. Eine stärkere finanzielle Unterstützung wird auch für Entwicklungen gefordert, die sich in einem relativ frühen Entwicklungsstadium befinden, denen jedoch eine hohe wirtschaftliche Bedeutung zugemessen wird. In ihnen vermuten die Experten das Potential einer Basistechnologie, vergleichbar z.B. mit der Gentechnik oder dem rationalen Moleküldesign. Es handelt sich um die *Anwendung von Verfahren zum Auffinden neuer Molekülfunktionen bzw. zur Optimierung bekannter Molekülfunktionen, die auf Evolutionsmechanismen beruhen*. Gerade weil die wirtschaftliche Relevanz dieser Technologie bereits in dem derzeitigen frühen Entwicklungsstadium offenkundig ist, besteht die Gefahr, daß durch eine zu rasche Kommerzialisierung grundlegende Fragen nicht in dem Maße aufgegriffen werden, wie es zur konzeptionellen Weiterentwicklung und damit zum vollen Ausschöpfen des Potentials evolutionärer Verfahren erforderlich wäre.

Schließlich sollen Dritte die Förderung von Vorhaben übernehmen, deren Erforschung die Experten aus ökologischen oder gesellschaftlichen Gründen als wichtig ansehen, bei denen jedoch die erforderlichen Forschungsaufwendungen in einer ungünstigen Relation zum späteren privatwirtschaftlichen Nutzen stehen. Dazu zählen z. B. *die Produktion "maßgeschneiderter" Enzyme für den breiten Einsatz in allen Bereichen der Stoffumwandlung* oder die *Aufklärung der neurochemischen und genetischen Grundlagen des Alkoholismus*.

### **Welche Folgeprobleme könnten auftreten?**

Auf die weit überdurchschnittliche Quote für soziale und kulturell-gesellschaftliche Folgeprobleme wurde bereits oben eingegangen. Ökologische Folgeprobleme sind durch die wissenschaftlich-technischen Entwicklungen im Bereich "Gesundheit und Lebensprozesse" kaum zu erwarten, jedoch werden in einigen Teilbereichen größere Sicherheitsprobleme befürchtet. Zum einen betrachten die Experten Entwicklungen wie die *weite Verbreitung von Fernoperationssystemen mit virtueller Realität*, den Einsatz von *Health-online-Systemen zur verstärkten Selbsttherapie der Patienten*, die *Verbindung von Risikopatient und Hausarzt durch diagnostische Frühwarnsysteme und Überwachungssoftware* oder ein *marktwirtschaftliches Gesundheitssystem, in dem sich die Preise der verschiedenen Leistungsanbieter nach Angebot und Nachfrage regeln*, mit Sorge, da sie befürchten, bei einer Realisierung könnten die derzeitigen hohen Qualitätsstandards im deutschen Gesundheitssystem nicht aufrechterhalten werden.

Sicherheitsprobleme, die eher in unerwünschten Nebenwirkungen bestehen, sehen die Experten beispielsweise beim Einsatz von *Strahlungssensibilisatoren für die Krebstherapie*, beim *breiten klinischen Einsatz der somatischen Gentherapie* und bei der Verwendung von *künstlichem Blut*. Fragen des Daten- und Versicherungsschutzes, der Zugänglichkeit von Daten sowie das "Recht auf Nicht-Wissen" stellen Sicherheitsprobleme bei der Nutzung *gendiagnostischer Verfahren, mit denen ein erhöhtes individuelles Erkrankungsrisiko für eine bestimmte Krankheit festgestellt werden kann* und bei *allgemein zugänglichen internationalen epidemiologischen Datenbanken* bzw. bei einem *deutschen Krebsregister* dar.

### **Schlaglicht: Der Einzug neuer Techniken wird das Solidaritätsprinzip im deutschen Gesundheitssystem verändern**

Das Gesundheitssystem ist der gesellschaftliche, institutionelle und organisatorische Rahmen, in dem medizinische Dienstleistungen erbracht und medizinische Forschung betrieben werden. In den Industrieländern ist die Gesundheit ein Wert an sich, den man sich "etwas kosten läßt" und der nur bedingt Kosten-Nutzen-Erwägungen unterliegt. Angesichts der Tatsache, daß bei knapper werdenden öffentlichen Mitteln die Gesundheitsausgaben stetig und in der Regel schneller als das

Bruttosozialprodukt wachsen, steigt jedoch in nahezu allen Industrieländern das Kostenbewußtsein. Es werden Maßnahmen zur Kostendämpfung und Steigerung der Effizienz eingeleitet.

Die befragten Experten erteilen jedoch einer *Bundeseinheitskrankenkasse mit einem Leistungskatalog* eine klare Absage - fast die Hälfte der Experten hält dies für nicht realisierbar. Ein *marktwirtschaftliches Gesundheitssystem, in dem die Preise der verschiedenen Leistungsanbieter über Angebot und Nachfrage geregelt werden*, halten nur 13 % der antwortenden Experten für nicht zu verwirklichen. Das heißt, die meisten Experten meinen, ein marktwirtschaftliches Gesundheitssystem sei wahrscheinlich, doch wird dies als die Einführung einer Zwei-Klassen-Medizin und damit als ein schwerwiegender sozialer Rückschritt angesehen. Auch *Mikro-Solidargemeinschaften, die als Verein auf Gegenseitigkeit die Betreuung im Krankheits- und Pflegefall und bei sozialer Armut übernehmen*, halten fast ein Drittel der Experten für nicht machbar, da sie nicht zur flächendeckenden Versorgung geeignet seien. Aushöhlungen des Solidaritätsprinzips, die beispielsweise darin bestehen, daß *Personen, bei denen mit gendiagnostischen Verfahren ein erhöhtes individuelles Erkrankungsrisiko für eine bestimmte Krankheit festgestellt wurde, erhöhte Krankenversicherungsprämien bezahlen müßten*, muß nach Meinung von 85 % der Experten durch entsprechende gesetzliche Regelungen vorgebeugt werden.

## **Landwirtschaft und Ernährung**

### **Struktur des Themenfeldes**

Das Themenfeld "Landwirtschaft und Ernährung" umfaßt zum einen die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft (37 Thesen), die eng mit der Nutzung von Ressourcen (z. B. Boden, Wasser, genetische Ressourcen) verknüpft sind. Dementsprechend werden in 29 Thesen Aspekte der Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung oder des Umwelt- und Naturschutzes thematisiert. Der Einsatz von Fernerkundungssystemen und der Informationstechnologie, beispielsweise für die Beobachtung von Veränderungen und die Nutzung von Ressourcen, die Raumplanung oder Informations- und Prognosedienste, wird in acht Thesen abgefragt.

Zum anderen enthält das Themenfeld 28 Thesen zur Verarbeitung und zum Konsum von Lebensmitteln. Traditionell ist die Biotechnologie von großer Bedeutung für die Lebensmittelherstellung und -verarbeitung. Neue biotechnische Verfahren und Anwendungen der Gentechnik haben mittlerweile Praxis-, zum Teil sogar Marktreife in Pflanzen- und Tierzucht, Agrarproduktion, Lebensmittelverarbeitung sowie bei der Beeinflussung der gesundheitlichen Wirkungen der Ernährung erreicht. Mindestens 35 der insgesamt 101 Thesen befassen sich daher mit dem Einsatz der Bio- und Gentechnik in Landwirtschaft und Ernährung.

Vor dem Hintergrund, daß sowohl die Landwirtschaft als auch die Ernährung als Gebiete mit vergleichsweise geringer Forschungsintensität einzustufen sind, erstaunt es etwas, daß sich mehr als 40 % der Thesen in diesem Themenfeld mit der Aufklärung grundlegender Phänomene bzw. der Entwicklung erster Prototypen befassen, während nur etwas mehr als 50 % der Thesen die praktische Anwendung und weite Verbreitung von Innovationen betreffen. Damit nimmt die "Landwirtschaft und Ernährung" unter allen Themenfeldern der Befragung den dritten Rang hinter den besonders wissenschaftsbasierten Themenfeldern "Großgeräte" sowie "Gesundheit und Lebensprozesse" ein. Die Ursache könnte in der großen Bedeutung der Biotechnologie als stark grundlagenorientierte Querschnittstechnologie für dieses Themenfeld und in der Tatsache liegen, daß zahlreiche biotechnische Entwicklungen gerade erst das Prototypstadium erreicht haben.

### **Wer sind die Befragten?**

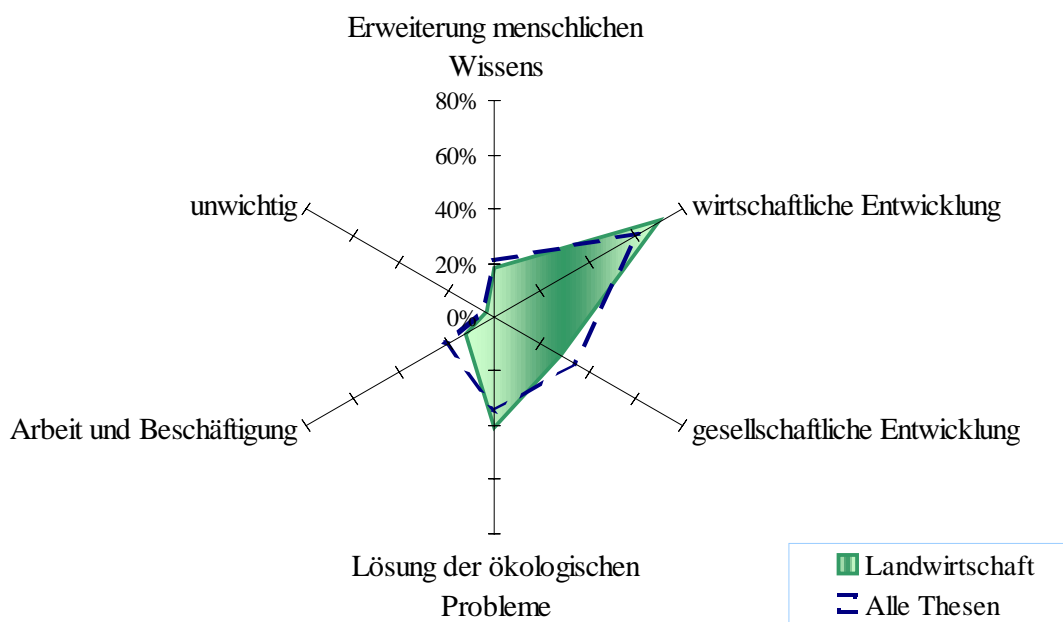
Jeweils etwa 30 % der Experten sind in Hochschulen und Unternehmen beschäftigt. Im Vergleich zu anderen Themenfeldern sind mit einem Anteil von 20 % überdurchschnittlich viele Experten im öffentlichen Dienst tätig, beispielsweise in den Bundesforschungsanstalten. Dabei beanspruchen Experten aus Hochschulen und anderen institutionellen Einrichtungen häufiger eine hohe Fachkenntnis als die Antwortenden aus Unternehmen und dem öffentlichen Dienst.



## Wofür ist das Themenfeld "Landwirtschaft und Ernährung" wichtig?

Bei der Frage, wofür die Landwirtschafts- und Ernährungsforschung wichtig ist, ergeben sich nur geringe Unterschiede zum Durchschnitt aller Themenfelder. F&E in diesem Themenfeld wird insbesondere für die wirtschaftliche Entwicklung, die Lösung ökologischer Probleme und die gesellschaftliche Entwicklung als wichtig angesehen, während Beiträge zur Erweiterung des menschlichen Wissens und zu Arbeit und Beschäftigung in keinem besonders hohen Maße erwartet werden (Bild 13).

Bild 13: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Landwirtschaft und Ernährung" wichtig?



Die Bedeutung des gesamten Themenfeldes für die wirtschaftliche Entwicklung spiegelt sich darin wider, daß 34 der insgesamt 101 Thesen von mehr als 90 % der antwortenden Experten hierfür als wichtig eingestuft werden. Interessanterweise betreffen vier der fünf Thesen mit dem höchsten Wichtigkeitsindex für die wirtschaftliche Entwicklung neue Verfahren der Biotechnologie (*transgene Pflanzen mit verbessertem Spektrum der Inhaltsstoffe; mit Hilfe der Gentechnik hergestellte Futtermittelzusätze; Herstellung hochwertiger Substanzen mit Zellkulturen in Bioreaktoren im großtechnischen Maßstab; gezielte Veränderung des Ertrags von Nutzpflanzen*). Die fünfte These bezieht sich allgemein auf die Nutzung moderner Lebensmitteltechnologie (*erfolgreiche Markteinführung einer Vielzahl innovativer Produkte unter Nutzung neuester Lebensmitteltechnologie durch kleine und mittlere Lebensmittelhersteller*).

Daran zeigt sich, daß ein wesentliches Problem der Lebensmittel- und Getränkebranche im insgesamt stagnierenden Markt besteht, auf dem Wachstum nur in Teilssegmenten stattfindet und meistens von Umsatzeinbußen in anderen Bereichen begleitet ist. Man wird in Zukunft in den industrialisierten Ländern nicht mehr essen und trinken als heutzutage, aber es wird Veränderungen in den Ernährungs- und Konsumgewohnheiten geben. Im intensiven Wettbewerb der Lebensmittelhersteller untereinander bestehen Strategien darin, Umsatzsteigerungen durch die Entwicklung neuer Produkte bzw. Produktlinien zu erzielen oder Effizienzsteigerungen in der Produktion zu realisieren, die sich in niedrigeren Produktionskosten niederschlagen. Modernen Lebensmitteltechnologien kommt bei beiden Strategien eine große Bedeutung zu. Etwa die Hälfte der Experten stuft sie darüber hinaus als wichtig für Arbeit und Beschäftigung ein.

Zur Lösung ökologischer Probleme werden von mehr als 90 % der Experten Forschungsarbeiten zur nachhaltigen Nutzung und Rekultivierung von (Tropen-) Wäldern sowie Techniken zur Verringerung von Emissionen (z. B. Stickstoff, Pestizide) in Landwirtschaft und Aquakultur als wichtig betrachtet. Beiträge zur gesellschaftlichen Entwicklung werden vor allem von Innovationen erwartet, die die gesundheitlichen Wirkungen der Ernährung betreffen. Hierzu zählen die *ursächliche Klärung des Einflusses der Ernährung* sowie von *bestimmten in der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung eingesetzten Techniken auf die menschliche Gesundheit*, die Vermittlung dieses Wissens auch an *Verbraucher, um sie in die Lage zu versetzen, entsprechend zu handeln* sowie die *Versorgung aller Menschen mit sauberem Wasser*.

### **Wann werden die Thesen Realität?**

Obwohl viele Thesen Fragen der Grundlagenforschung betreffen, gehen die Experten von einem durchschnittlichen Realisierungszeitraum um das Jahr 2010 herum aus. Damit liegt dieses Themenfeld etwa im Mittelfeld aller Themenfelder der Befragung. Es werden jedoch überdurchschnittlich viele Innovationen bereits bis zum Jahr 2005 als realisierbar angesehen. Lediglich drei Visionen fallen in die Zeit nach 2020. In diesem Themenfeld wurde bei der Auswahl der Thesen also die schwierige Gratwanderung zwischen wenig überraschenden, meist berechenbaren Weiterentwicklungen des heutigen Forschungsstandes und unrealistischen Utopien in besonders ausgewogener Weise geschafft.

### **Wo steht Deutschlands Landwirtschafts- und Ernährungsforschung?**

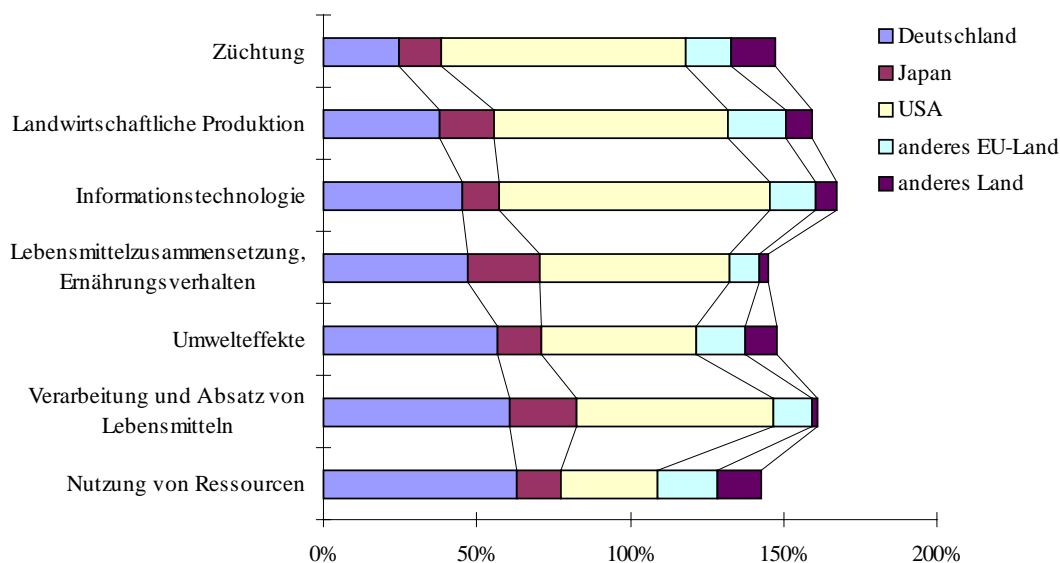
Deutschlands F&E-Position ist in der Landwirtschafts- und Ernährungsforschung etwa genauso stark wie im Durchschnitt aller Themenfelder der Befragung. Als besonders stark wird sie bei der Nutzung von Ressourcen, der Verarbeitung und dem Absatz von Lebensmitteln sowie im Teilgebiet Umwelteffekte eingestuft - hier führt

nach Einschätzung der Experten Deutschland sogar vor den USA. In allen anderen Teilgebieten stehen amerikanische Forscher an der Spitze - besonders ausgeprägt bei der Züchtung, der Informationstechnik und der landwirtschaftlichen Produktion. Japan hat - bei einer insgesamt eher als schwach geltenden Position - relative Stärken in den Teilgebieten Lebensmittelzusammensetzung/ Ernährungsverhalten sowie bei Verarbeitung und Absatz von Lebensmitteln (Bild 14).

### Was ist zu tun?

Bei den Maßnahmen, die den Experten zur Verbesserung der Situation als notwendig und geeignet erscheinen, unterscheidet sich dieses Themenfeld nicht wesentlich vom Durchschnitt aller Themenfelder der Befragung. Lediglich der internationalen Kooperation wird ein etwas höherer, der F&E-Infrastruktur ein etwas niedrigerer Stellenwert eingeräumt. Interessanterweise ordnen die Experten jedoch einzelnen Teilgebieten spezifisch besonders wichtige Maßnahmen zu.

Bild 14: F&E-Stand Deutschlands im internationalen Vergleich



Aus einer Vielzahl von Kommentaren geht hervor, daß die Experten bei der Forderung nach einer besseren Ausbildung primär an die Aufklärung und Bildung von Verbrauchern denken. Dies betrifft insbesondere das Wissen über gesundes Ernährungsverhalten und ernährungsbedingte Krankheiten. So ist die Verbraucheraufklärung nach Einschätzung der Experten die wichtigste Maßnahme, um *die Zahl der Fälle, die auf eine Infektion mit Salmonellen oder anderen Enterobakterien zurückzuführen ist, gegenüber der heutigen Zahl halbieren zu können*, und würde die Entwicklung von *Meßgeräten, mit denen im Haushalt die Frische von Lebensmit-*

*teln und der Grad ihrer Verunreinigung mit Mikroorganismen in Sekundenschnelle festgestellt werden kann, entbehrlich machen. Eine bessere Ausbildung wird auch als geeignete Maßnahme angesehen, um der Halbierung der Zahl der ungelerten Arbeitnehmer in der Lebensmittelverarbeitung durch Prozeßautomatisierung und Computersteuerung, die bis zum Jahr 2006 erwartet wird, entgegenzuwirken.*

Für den Erwerb des Know-hows über die *Nutzung modernster Lebensmitteltechnologie, mit der kleine und mittlere Lebensmittelhersteller eine Vielzahl innovativer Produkte auf dem Markt einführen können*, wird eine verbesserte Ausbildung von fast der Hälfte der Experten als wichtig angesehen. Knapp drei Viertel halten einen Personalaustausch zwischen Wirtschaft und Wissenschaft in diesem Fall aber für die wichtigere Maßnahme. Gleichzeitig sind die Experten skeptisch, ob kleine und mittlere Unternehmen diesen Know-how-Erwerb tatsächlich vollziehen können. Immerhin 16 % der Experten halten dies - u. a. aus Kostengründen - für nie realisierbar.

Daß nur bei Thesen, die zu dem Teilbereich Ernährung gehören, von relativ vielen Fachleuten ein stärkerer Personalaustausch gefordert wird, ist verständlich, denn ein Großteil des überwiegend mittelständisch strukturierten Ernährungsgewerbes kann sich aufgrund mangelnder finanzieller und personeller Ressourcen kaum oder gar keine eigenen Forschungseinrichtungen leisten. Dazu paßt, daß Experten aus der Wirtschaft dem Personalaustausch zwischen Wirtschaft und Wissenschaft einen größeren Stellenwert einräumen als Experten aus der Wissenschaft. Allerdings ergibt die Analyse der Thesen, bei denen ein Personalaustausch für wichtig gehalten wird (*Anlagen für die Lebensmittelverarbeitung, die nur noch halb so oft wie bisher gereinigt werden müssen; großtechnische Herstellung hochwertiger Substanzen mit Zellkulturen in Bioreaktoren; Aufklärung des Zusammenhangs zwischen der Struktur von Lebensmittelbestandteilen und ihren lebensmitteltechnologischen Eigenschaften*), daß für die einzelnen Innovationen eine internationale Kooperation und die F&E-Infrastruktur im Vergleich dazu als noch wichtiger eingeschätzt werden.

Eine Verbesserung der F&E-Infrastruktur wird als wichtige Maßnahme vor allem für den Bereich der Lebensmitteltechnologie angesehen. Mehr als die Hälfte der Experten halten sie bei der Entwicklung von Verfahren für erforderlich, mit deren Hilfe sich die Qualität von Lebensmitteln beispielsweise bei der Produktentwicklung, der Lebensmittelverarbeitung und im Haushalt messen läßt.

Eine internationale Kooperation ist hingegen vor allem für die Nutzung von Ressourcen und für Umwelteffekte von herausragender Bedeutung. Mehr als 90 % der Experten sehen sie als eine wesentliche Voraussetzung für eine nachhaltige Nutzung von globalen Ressourcen an - insbesondere von Regenwäldern sowie für die Züchtung von Kulturpflanzen, die auch unter ariden Verhältnissen kultiviert werden können.

Bei der Frage, in welchem Teilbereich eine Förderung durch Dritte besonders wichtig ist, fällt die Antwort eindeutig aus: nach Ansicht der Experten ist dies der Bereich der stofflichen oder energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Allerdings wird je nach politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen ein Zeitraum von etwa 15 Jahren für erforderlich gehalten, bis sich der Anteil nachwachsender Rohstoffe signifikant erhöht haben wird. Zugleich halten es die Experten allerdings für möglich, daß die Welternährungslage es erforderlich machen wird, fast alle landwirtschaftlichen Nutzflächen für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu nutzen.

Neben Fördergeldern ist auch internationale Kooperation bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe sehr wichtig. Mehr als 90 % der Experten halten die F&E auf diesem Gebiet für die wirtschaftliche Entwicklung für wichtig, weil dadurch zusätzliche bzw. alternative Einkommensquellen für Landwirte erschlossen werden können. Etwa 60 % sehen darin einen Weg zur Lösung ökologischer Probleme.

Auch Innovationen, die die Verringerung von Umweltbelastungen zum Ziel haben, sind in hohem Maße auf Fördergelder angewiesen, z. B. Ansätze, um die Stickstoffemissionen oder den Pestizideinsatz in der landwirtschaftlichen Produktion zu verringern. Dabei handelt es sich allerdings überwiegend um Entwicklungen, die sich erst in ferner Zukunft oder gar nicht realisieren lassen.

### **Welche Folgeprobleme könnten auftreten?**

"Landwirtschaft und Ernährung" gehört zusammen mit Energie, Umwelt und Chemie zu denjenigen Themenfeldern der Befragung, bei denen die größten Folgeprobleme für die Umwelt. Dazu tragen insbesondere die Teilgebiete Umwelteffekte, Nutzung von Ressourcen, Züchtung und landwirtschaftliche Produktion bei.

Bei den Sicherheitsproblemen liegt das Themenfeld "Landwirtschaft und Ernährung" etwa im Mittelfeld aller Themenfelder der Befragung. Sicherheitsprobleme sehen die Experten vor allem hinsichtlich der Hygiene und dem ernährungsphysiologischen Wert von Lebensmitteln.

Erhebliche Probleme erwarten die Experten im sozialen und kulturell-gesellschaftlichen Bereich. Lediglich in den Themenfeldern "Biomedizin" sowie "Dienstleistungen und Information" werden noch häufiger tiefgreifende Auswirkungen auf die Gesellschaft als mögliche Folgen genannt. Drei Problemkreise heben die Fachleute besonders hervor: die Bedeutung der Ernährung für die menschliche Gesundheit, Nahrung und Ernährung nicht nur als Lebensnotwendigkeit, sondern auch als wesentliches Kulturgut und der Einsatz der Gentechnik im "Agro-Food"-Bereich, der von den Verbrauchern weitgehend abgelehnt wird.

**Schlaglicht: Mit Hilfe der Gentechnik hergestellte Lebensmittel werden auf dem deutschen Markt Fuß fassen**

Über Sinn, Notwendigkeit, Ausmaß und Ziele des Gentechnikeinsatzes im Agro-Food-Sektor wird in Deutschland intensiv gestritten. Zum Zeitpunkt der Delphi-Umfrage waren gerade gentechnisch veränderte Sojabohnen als erstes Produkt auf den deutschen Markt gekommen. Wie schätzen die an dieser Befragung beteiligten Experten die weitere Entwicklung ein? *Aussichtsreiche Interventionen (Listenpolitik, Boykotte), welche die Handelsorganisationen veranlassen, Lebensmittelhersteller und -verarbeiter zu zwingen, keine gentechnischen Verfahren bzw. mit Hilfe der Gentechnik hergestellten Produkte zu verwenden,* können nach Einschätzung der Experten in den nächsten Jahren zwar relevant sein, doch werden diese Eingriffe eher für eine vorübergehende Erscheinung gehalten. Die langfristige Entwicklung hin zum Einsatz gentechnisch veränderter Produkte und gentechnischer Verfahren werden sie nicht aufhalten können.

Dabei werden sich vor allem multinationale Konzerne dieser Technik bedienen, wodurch der seit längerem zu verzeichnende Trend zur industriellen Konzentration weiter verstärkt würde. *Daß Lebensmittel, die vollständig oder teilweise mit Hilfe der Gentechnik hergestellt werden, in den kommenden Jahrzehnten einen Anteil am gesamten Lebensmittelumsatz in Deutschland von 30 % oder darüber erreichen,* halten 95 % der Experten für realisierbar, sofern die Verbraucher umfassend aufgeklärt, deren Wunsch nach einer Kennzeichnung umgesetzt und keine negativen Produkterfahrungen gemacht werden. *Eine Verschärfung der Lebensmittelkennzeichnungspflicht, so daß auf allen verarbeiteten Lebensmitteln und Getränken sämtliche Zutaten und angewendeten lebensmitteltechnologischen Prozesse detailliert angegeben werden müssen,* hält jedoch mehr als ein Drittel der Experten für nie realisierbar, da diese Informationsfülle durch den Verbraucher nicht mehr bewertbar sei. Uneinig sind sich die Experten darüber, inwieweit Forschungsbedarf besteht, den *Einfluß bestimmter in der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung eingesetzten Techniken (z. B. Gentechnik, Bestrahlung, Mikrowellenbehandlung) auf die menschliche Gesundheit (z. B. Allergien) zu klären.*

## **Umwelt und Natur**

### **Struktur des Themenfeldes**

Das Themenfeld "Umwelt und Natur" umfaßt insgesamt 76 Thesen, die ein sehr breites Spektrum umwelt- und naturschutzrelevanter Aspekte abdecken. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu erreichen und die Interpretation der Befragungsergebnisse zu erleichtern, wurden die Thesen in acht Gruppen eingeteilt: Schutz der Atmosphäre (13 Thesen), Biotopschutz und Forstwirtschaft (5 Thesen), Urbane Umwelt (11 Thesen), Abfallentsorgung (5 Thesen), Schutz der Böden (8 Thesen), Gewässerschutz und Wasserwirtschaft (17 Thesen), Meeresschutz (4 Thesen) und Umweltmonitoring/ -information (13 Thesen).

Im Vergleich zu den anderen Themenfeldern zeichnet sich das Themenfeld "Umwelt und Natur" durch einen überdurchschnittlich hohen Anteil (> 50 %) von Thesen aus, deren Gegenstand der Innovationsstufe "weite Verbreitung/ allgemeine Anwendung" zuzuordnen ist. Dies zeigt, daß im Bereich "Umwelt und Natur" der praktischen Anwendung neuer Technologien gegenüber der Neuentwicklung bzw. der Grundlagenforschung eine relativ große Bedeutung zukommt.

### **Wer sind die Befragten?**

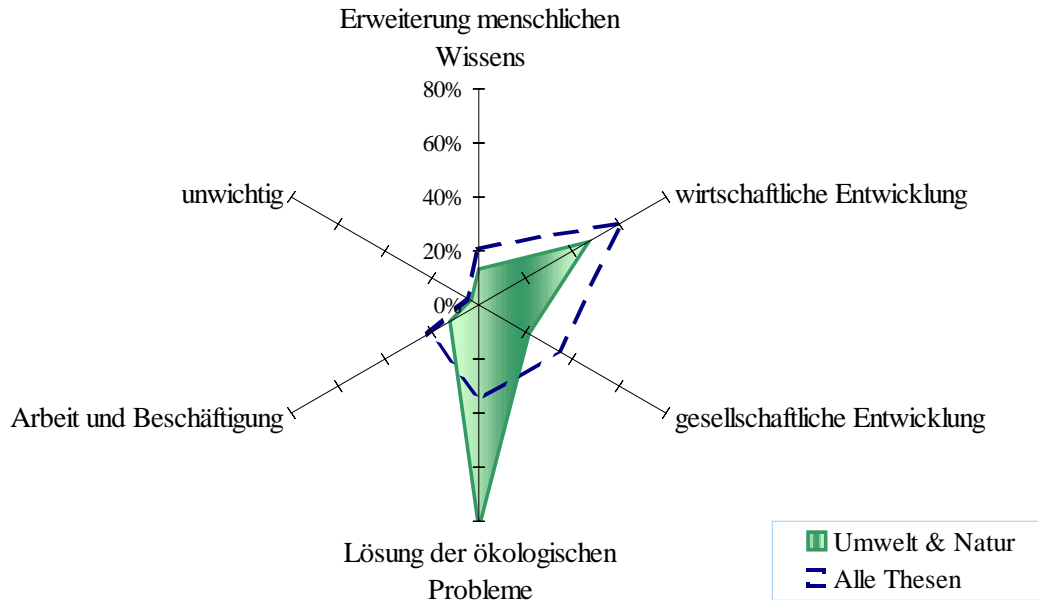
Der Anteil der Befragten, die sich selbst eine große Fachkenntnis attestieren, ist durchschnittlich hoch. Auch die Differenzierung nach der Herkunft der Befragten mit hoher Expertise aus den verschiedenen Bereichen der Volkswirtschaft fällt im Vergleich zu einigen anderen Themenfeldern ziemlich gleichmäßig aus. Ein Grund hierfür ist sicher in dem sehr weiten Spektrum der behandelten Thesen zu sehen. Dennoch kommt auch im Themenfeld "Umwelt und Natur" die Mehrzahl der Antwortenden mit großer Fachkenntnis aus den privaten gemeinnützigen Forschungseinrichtungen und den Hochschulen, dicht gefolgt von Befragten aus dem öffentlichen Dienst. Dagegen ist der entsprechende Anteil der Befragten aus Unternehmen- und anderen Sektoren deutlich geringer. Dies dürfte u.a. damit zu erklären sein, daß das Thema Umwelt immer noch eher als F&E-Aufgabe für Umweltschutztechnik bzw. als Regulierungsaufgabe im Sinne von Umweltschutz verstanden wird, denn als potentielles Geschäftsfeld im Sinne einer Verbesserung der Ressourceneffizienz.

### **Wofür ist das Themenfeld "Umwelt und Natur" wichtig?**

Die Thesen des Themenfeldes "Umwelt und Natur" tragen vor allem (und was liegt näher) nach ganz überwiegender Sicht der Befragten zur Lösung ökologischer Probleme bei (Bild 15). Die Wichtigkeit der in den Thesen dargestellten Lösungsbeiträge für die wirtschaftliche Entwicklung wird deutlich höher eingeschätzt als für die Lösung gesellschaftlicher Probleme. Ein Grund hierfür ist darin zu sehen, daß Um-

weltschutz immer mehr und mit zunehmender Verbreitung als "integrierte Umweltschutztechnik" mit hohen Know-how- und Wertschöpfungsanteilen in die Produktions- und Fertigungstechnik eingebunden wird.

Bild 15: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Umwelt und Natur" wichtig?



Interessant ist, daß die Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft die Wichtigkeit der Thesen für die wirtschaftliche Entwicklung bzw. für die Lösung ökologischer Probleme in etwa gleich bewerten und daß beide Expertengruppen unisono die Wichtigkeit für die Lösung ökologischer Probleme fast doppelt so häufig nennen wie die Wichtigkeit für die wirtschaftliche Entwicklung. Als "Wirtschaftsbremse" betrachtet die Umwelttechnik also offenbar keiner der befragten Fachleute mehr.

Als am wichtigsten für die verschiedenen Lebensbereiche kristallisierten sich die folgenden Einzelthesen heraus.

*Atmosphärenprozesse und Klimamodelle, Klimaveränderung sowie Erdbebenvorhersage* sind neben weiteren Thesen zur Klimaveränderung für die Erweiterung des menschlichen Wissens besonders wichtig.

*Dezentral einsetzbare Technologien zur Trinkwasseraufbereitung, biotechnologische Entwicklung salzresistenter, trockenheitsbeständiger und ertragsstarker Pflanzensorten, Seefarmen, bedarfsgerechte Düngung, Fernerkundungssysteme für Hochwasservorhersage* sind für die wirtschaftliche Entwicklung von besonders großer Bedeutung.



*Neue Siedlungsstrukturen zur Reduktion der verkehrsbedingten Umweltbelastung, die Begrenzung des Landverbrauchs, die Naturschutzfläche Deutschlands und Methoden zur Hochwasservorhersage* sind sehr wichtige Themen für die gesellschaftliche Entwicklung.

Bedeutsam für die Lösung ökologischer Probleme sind *die Fernüberwachung der Meere gegen Schadstoffverklappung, die Senkung der Emission persistenter Schadstoffe auf umweltverträgliches Niveau, ein Ende der großflächigen Rodung der Regenwälder, die Substitution von FCKW und Halonen und biotechnologische und physikalische Verfahren zur in-situ-Sanierung von Grundwasser-Schadensfällen.*

Als besonders wichtig für Arbeit und Beschäftigung betrachten die Experten die *ökosystemgerechte landwirtschaftliche Bodennutzung in Deutschland, die Rekultivierung geschädigter Tropenwälder, Techniken zur Rekultivierung von Wüsten, NOx-arme Kraftfahrzeuge und bodenschonende Methoden der Landbewirtschaftung sowie Verfahren der Landtechnik.*

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, daß in jeder Kategorie sowohl Thesen mit eher lokaler als auch solche mit eher globaler Orientierung als besonders wichtig eingestuft werden. Von einem "Verdrängen" der globalen Probleme durch die Fachwelt kann daher nicht die Rede sein.

### **Wann werden die Thesen Realität?**

In bezug auf die Realisierungszeiträume gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Durchschnitt der Delphi-Umfrage und dem Themenfeld "Umwelt und Natur". Interessant sind aber die Unterschiede in den Streubreiten für die Realisierung der Thesen in den einzelnen Umweltbereichen. Hier zeigt sich, daß für Thesen, die sich mit Ver-/ Entsorgungsproblemen - also mit eher "lokalen", im unmittelbaren Erfahrungsbereich jedes Einzelnen liegenden Problembereichen befassen - im Mittel eine wesentlich raschere Verwirklichung angenommen wird als für Thesen, die sich schwerpunktmäßig mit "globalen" Fragen befassen und damit eher außerhalb der unmittelbaren Erfahrung liegen. Die mittleren Median-Werte für die Realisierungszeiträume der Innovationen in den einzelnen Thesengruppen betragen (Tabelle 2):

Tabelle 2: Durchschnittliche Realisierungen in bestimmten Umweltbereichen

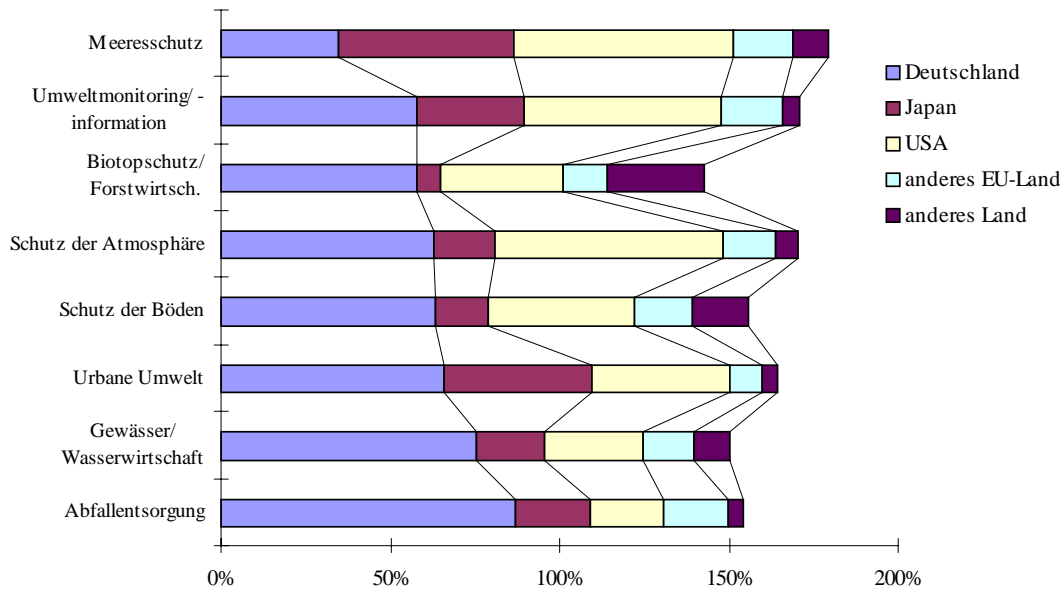
Abfallentsorgung :	2009 ± 3
Gewässerschutz und Wasserwirtschaft:	2010 ± 4
Schutz der Atmosphäre:	2013 ± 4
Biotopschutz und Forst- wirtschaft:	2013 ± 4
Umweltmonitoring/- information:	2013 ± 4
Meeresschutz:	2014 ± 4
Schutz der Böden :	2014 ± 5
Urbane Umwelt:	2016 ± 5

Der Abfallentsorgung bzw. dem Gewässerschutz und der Wasserwirtschaft werden von den Befragten die höchste Wichtigkeit für die wirtschaftliche Entwicklung zugesprochen. Zugleich wird der F&E-Stand in Deutschland auf diesen Gebieten als mit deutlichem Abstand führend eingestuft. Dies legt den Schluß nahe, daß durch eine gezielte Umsetzung dieser Technologien die ökonomischen mit den ökologischen Vorteilen verbunden und die Wettbewerbsposition der deutschen Umweltschutztechnik auf dem Weltmarkt rasch ausgebaut werden sollten.

### **Wo steht Deutschlands umweltbezogene Forschung und Entwicklung?**

Betrachtet man die Einschätzung des F&E-Standes, so wird Deutschland von 65 % der Experten eine führende Stellung eingeräumt, gefolgt von den USA (45 %), Japan (25 %) und anderen EU-Ländern (15 %). Ein differenzierteres Bild der Selbsteinschätzung des deutschen F&E-Standes im internationalen Vergleich ergibt sich, wenn die einzelnen Thesengruppen separat betrachtet werden (Bild 16).

Bild 16: F&amp;E-Stand Deutschlands im internationalen Vergleich



Hier zeigt sich, daß die befragten Experten Deutschland nur in den Thesengruppen "Biotopschutz/ Forstwirtschaft", "Urbane Umwelt", "Abfallentsorgung", "Schutz der Böden" und "Gewässerschutz/ Wasserwirtschaft" eine führende Rolle zugestehen, während in den Thesengruppen "Schutz der Atmosphäre", "Meeresschutz" und "Umweltmonitoring und -information" die USA eine Spitzenposition einnehmen. Japan wird von den deutschen Fachleuten gegenüber der F&E hierzulande nur in der Thesengruppe "Meeresschutz" ein deutlicher Vorsprung zugebilligt, was angesichts der Insellage Japans nicht verwundert.

### Was ist zu tun?

Welche Maßnahmen sollte die Politik für Umwelt und Natur treffen? Die Befragten sehen für dieses Themenfeld die internationale Kooperation als die wichtigste Maßnahme zur Realisierung der in den Thesen beschriebenen Innovationen an. Dieses Resultat entspricht dem Durchschnitt der Delphi-Umfrage. Während aber in den meisten anderen Themenfeldern die Verbesserung der F&E-Infrastruktur mit deutlichem Abstand an zweiter Stelle folgt, wird im Themenfeld "Umwelt und Natur" den Regulationsänderungen eine genauso große Bedeutung bei der Umsetzung der Thesen beigemessen wie der internationalen Kooperation. Dies zeigt, daß in bezug auf die Umwelt bei den regulativen Rahmenbedingungen nicht nur ein deutlicher Handlungsbedarf besteht, sondern daß entsprechende gesetzliche Änderungen auch als notwendige Voraussetzung zur Verbesserung der Umweltsituation angemahnt werden.

Eine Differenzierung nach den einzelnen Thesengruppen macht deutlich, daß die Experten für die eher mit "lokalen" Umweltproblemen befaßten Thesen Regulationsänderungen als Maßnahme der Wahl sehen, während sie für die eher "global" orientierten Umweltaspekte die internationale Kooperation als Schlüssel zu einer erfolgreichen Realisierung betrachten. Besonders auffallend ist der hohe Prozentsatz der Befragten, die Regulationsänderungen (Stichwort: Reregulation) als wichtige Maßnahme zu substantiellen Verbesserungen im Bereich der Abfallwirtschaft fordern. Hier bestehen offensichtlich noch unausgeschöpfte Handlungsspielräume.

Eine Verbesserung der internationalen Kooperation fordern besonders viele Experten bei der *Fernerkundung zur Vorhersage von Flutereignissen, dem Monitoring der Stratosphäre und dem Remote-Sensing für die Überwachung der Meeresverschmutzung/ Meeresströmungen*.

Regulationsänderungen gelten als besonders wichtig für die *Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten, die Begrenzung des Landverbrauchs* sowie die *Versickerung von Niederschlägen*.

Ein Ausbildungsdefizit wird vor allem im Bereich der umweltverträglichen Landwirtschaft konstatiert. Der Personalaustausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft gilt als Schlüssel für die Entwicklung ökologisch verträglicherer Biozide (z. B. mit Hilfe der Bio- und Gentechnik) sowie von physikalischen Verfahren zur Behandlung industrieller Abwässer (z. B. *Membranverfahren, Aerogele, Plasmaverfahren*). Hier hat die Wissenschaft offensichtlich Know-how zu bieten, welches bisher von der Industrie noch nicht hinreichend erschlossen wurde.

Daß die Experten einen Personalaustausch auch im Zusammenhang mit der Modernisierung der Technologien im Bereich der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung für wichtig halten, liefert einen Hinweis darauf, daß sie im Bereich der Versorgungswirtschaft in einer stärkeren Einbindung privatwirtschaftlicher Konzepte und Erfahrungen eine Möglichkeit sehen, den technologischen "Modernisierungstau" abzubauen. Daß Regulationsänderungen für den *Schutz des Wassers* als dem wichtigsten Lebensmittel, die *Reduktion des Landverbrauchs* und der *Sanierung des durch die umfangreiche Versiegelung überformten Wasserkreislaufs* gefordert werden, sollte den Gesetzgeber zu entsprechenden Novellen ermuntern.

### **Welche Folgeprobleme könnten auftreten?**

Überdurchschnittlich viele Experten sehen bei den Innovationen im Themenfeld "Umwelt und Natur" negative Folgeprobleme für die Umwelt auf uns zukommen. Dies erscheint zunächst paradox, doch die Experten unterstreichen mit ihren Antworten lediglich die Relevanz der meisten Thesen dieses Themenfeldes für die Umwelt. Bei genauerem Hinsehen werden die Folgeprobleme vor allem in der Bewirtschaftung der Meere durch *Seefarmen* und die *Kultivierung von Mikroorganis-*

men befürchtet. Weitere Folgeprobleme für die Umwelt drohen durch den Einsatz von Verfahren, *mit denen Gewässersedimente in-situ von Schwermetallen und organischen Schadstoffen gereinigt werden können*. Folgeprobleme für die Sicherheit und die Gesellschaft sind aus Sicht der Experten unbedeutend.

### **Schlaglicht: Deutschland kann in der Umwelttechnologie weiterhin eine Spitzenstellung halten**

Die meisten Experten sehen den F&E-Stand in Deutschland im Themenfeld "Umwelt und Natur" als weltweit führend an. Als besonders stark gilt die deutsche F&E in den Bereichen "*Abfallentsorgung*" bzw. "*Gewässerschutz und Wasserwirtschaft*". Dafür werden nicht nur die mit Abstand frühesten Realisierungszeiträume aller Thesengruppen angenommen (Tabelle 2), sie besitzen nach Meinung der Experten darüber hinaus die höchste Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung. Dies ist ein Hinweis darauf, daß mit der gezielten Umsetzung der Technologien dieser beiden Bereiche nicht nur positive ökologische Effekte zu erzielen sind, sondern gleichzeitig die deutsche Wettbewerbsposition auf dem Weltmarkt für Umwelttechnik gestärkt werden kann.

Aber: Die deutliche Mehrzahl der Befragten mahnt zugleich in der "*Abfallentsorgung*" und im "*Gewässerschutz und Wasserwirtschaft*" sowie zusätzlich in der "*Urbanen Umwelt*" Regulationsänderungen (Stichwort: Reregulation) als wichtigste Maßnahme an. Deutschlands guter F&E-Stand und die weltwirtschaftliche Wettbewerbsposition können nur durch Regulationsänderung gehalten werden. Nach Meinung der Experten scheint es im Bereich der Wasserversorgungswirtschaft möglich, durch die stärkere Einbindung privatwirtschaftlicher Erfahrungen und Konzepte den hier herrschenden technologischen und institutionellen Modernisierungstau abzubauen.

## **Energie und Rohstoffe**

### **Struktur des Themenfeldes**

Der Schwerpunkt des Themenfeldes "Energie und Rohstoffe" liegt mit 47 Thesen bei der Primärenergiegewinnung und -umwandlung (u.a. 18 Thesen zu erneuerbaren Energiequellen, zehn zur Kernenergie und neun zum Themenfeld Wasserstoff/Brennstoffzellen), gefolgt von 36 Thesen zur rationellen Energienutzung (u.a. je 11 Thesen zu Verkehr und industrieller Energienutzung). Energietransport und -verteilung (9 Thesen) sowie Energiespeicherung (4 Thesen) runden den Energiebereich ab. Darüber hinaus werden 18 Thesen zu den erschöpflichen Rohstoffen behandelt, wobei der Bereich Recycling/ Abfallvermeidung den Schwerpunkt bildet.

In diesem Themenfeld dominieren Thesen, die auf die wirtschaftliche Entwicklung von Technologie und auf technisch-wirtschaftliche Entwicklung abzielen. Rein technische Entwicklungen und die wissenschaftliche Grundlagenforschung sind von untergeordneter Bedeutung. Trotzdem liegen die vermuteten Zeiträume für die Realisierung der Thesen in diesem Themenfeld besonders weit in der Zukunft, was sich aus den relativ langen Entwicklungszeiten und Reinvestitionszyklen der in den Thesen beschriebenen Energietechnologien erklärt.

### **Wer sind die Befragten?**

Die Anzahl der Antworten pro These liegt zwischen etwa 70 und 170 (Durchschnitt: 123). Innerhalb der einzelnen Thesengruppen ist sie relativ ähnlich, etwas weniger sind es nur im Bereich der rationellen Energienutzung (im Schnitt 118 Antworten pro These). Rund 40 % der Antwortenden und damit mehr als im Durchschnitt der Studie kommen aus Unternehmen der Privatwirtschaft, was gut mit den eher umsetzungsorientierten Thesen harmonisiert. Knapp 30 % der Antworten (und damit weniger als im Durchschnitt der Delphi-Studie) stammen von Experten aus Hochschulen. Der Rest teilt sich etwa gleichmäßig auf private gemeinnützige Forschungsinstitutionen, den öffentlichen Dienst und "andere" auf.

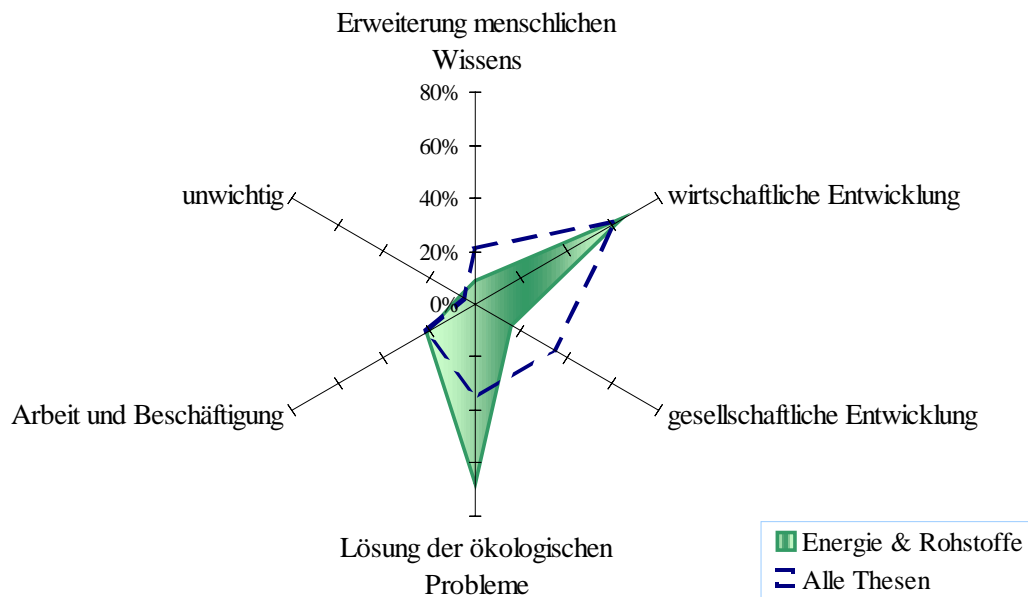
Die Einschätzung der Experten bezüglich ihrer eigenen Fachkompetenz liegt im Spitzenbereich dieser Studie. Gegenwärtig beschäftigen sich jeweils mehr als 15 % der Teilnehmer aus Unternehmen und privaten gemeinnützigen Forschungseinrichtungen aktiv mit den Fragestellungen in den Themenfeldern. Bei den in Unternehmen arbeitenden Antwortenden sind es noch knapp 12 %, während die Wissenschaftler aus den Hochschulen nur zu etwa 7 % direkt auf diesen Themenfeldern aktiv forschen. Überdurchschnittlich viele "aktive" Experten beurteilen die Thesen zu den regenerativen Energiequellen und den fossil befeuerten Kraftwerken (18 % gegenüber 12 % im Durchschnitt über das gesamte Themenfeld), auffallend wenig

Antwortend beschäftigen sich aktiv mit erschöpflichen Rohstoffen (7 %), Verkehr und rationeller Energienutzung in der Industrie (je 6 %).

### Wofür ist das Themenfeld "Energie und Rohstoffe" wichtig?

Angesichts der großen Bedeutung der Energiebereitstellung für die Volkswirtschaft und die mit ihrer Umwandlung und Nutzung verbundenen ökologischen Probleme nimmt es nicht wunder, daß bei etwa 65 % der Innovationen eine Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung und bei knapp 70 % für die Lösung ökologischer Probleme (vgl. Bild 17) gesehen wird. Im Vergleich zu den Einschätzungen über alle Bereiche der Studie relativiert sich die Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung allerdings etwas: sie liegt genau im Durchschnitt, ähnlich wie die Bedeutung für Arbeit und Beschäftigung (20 %).

Bild 17: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Energie und Rohstoffe" wichtig?



Für die Lösung ökologischer Probleme werden im Themenfeld "Energie und Rohstoffe" doppelt so oft Beiträge erwartet, wie im Durchschnitt aller Thesen dieser Studie. Das heißt, die neuen Energietechnologien sind nicht nur auf Effizienzsteigerung und Substitution hin konzipiert, sondern auch auf eine Schonung der Umwelt. Die meisten Nennungen in dieser Rubrik bekommen Thesen zum *Recycling von organischen und brennbaren Abfällen, langlebigen Gebrauchsgütern und Abbruchmaterialien*. Das *2-Liter-Auto* steht in dieser Rangliste erst auf Platz fünf.

Die drei wichtigsten Beiträge zur wirtschaftlichen Entwicklung sehen die Fachleute dieses Themenfeldes im Bereich der Rohstoffgewinnung (*Prospektionstechnik ohne Probebohrungen, Laugungstechnik und Tiefsee-Bergbau*).

Da kaum Fragen zur Grundlagenforschung gestellt wurden, ist der Beitrag der Innovationen zur Erweiterung des menschlichen Wissens mit etwa 10 % der Antworten nur halb so hoch wie im Durchschnitt der Studie. Den größten Beitrag hierzu erwarten die Experten von Fortschritten in der *Tiefbohrtechnik* sowie von neuen *geologischen Untersuchungsmethoden*, gefolgt von einer Klärung der Frage, ob *sich im Erdinnern selbst bildendes Erdgas* gewonnen werden kann. Auf den Plätzen vier und fünf bei der Wichtigkeit zur Erweiterung menschlichen Wissens finden sich *die Einsatzfähigkeit von Kernfusionsreaktoren bei gleichzeitig gelösten Entsorgungsproblemen* sowie die *großtechnische biologische Erzeugung von Wasserstoff*. Gemeinsam ist den drei letztgenannten Thesen, daß sie bei einer Realisierung langfristig auch beachtliche Auswirkungen auf die wirtschaftliche und ökologische Entwicklung hätten. Erdgas würde zu einem zeitlich unbegrenzt verfügbaren Energieträger werden, eine einsatzbereite Kernfusion mit gelöstem Entsorgungsproblem sowie biologisch gewonnener Wasserstoff könnten gleichzeitig zur Lösung der Energie- und der CO<sub>2</sub>-Frage beitragen.

Als besonders wichtig für Arbeit und Beschäftigung werden die Thesen zum *Recycling von Gebrauchsgegenständen* und *Abbruchmaterialien* sowie zur *Substitution chemischer durch nachwachsende Rohstoffe* und der *energetischen Biomassenutzung* genannt. Dies wirft die Frage auf, ob hier nicht zu sehr von den eher in der Experimentierphase befindlichen, noch arbeitsintensiven Ansätzen ausgegangen und die Rationalisierungsbemühungen bis zum Realisierungszeitraum zwischen 2009 und 2015 gedanklich nicht antizipiert wurden.

Welche der 114 Entwicklungen in diesem Themenfeld werden von den antwortenden Experten für unwichtig gehalten? Die meisten Nennungen erhielten hier die *Elektrizitätsgewinnung aus den Temperaturunterschieden des Meerwassers* und der *Wellenenergie*, der *schnelle Brutreaktor* sowie die *CO<sub>2</sub>-Abspaltung aus den Rauchgasen der Kraftwerke*. Alle diese Techniken könnten jedoch, zumindest theoretisch, einen deutlichen Beitrag zur Lösung des CO<sub>2</sub>-Problems liefern.

### **Wann werden die Thesen Realität?**

Der durchschnittliche Median der vermuteten Zeiträume der Realisierung der Thesen im Themenfeld "Energie und Rohstoffe" liegt im Jahr 2016 und damit von allen Themenfeldern mit Abstand am weitesten in der Zukunft. Die Antworten zeigen auch die größte zeitliche Streuung innerhalb der Delphi-Umfrage. Zu dem späten Zeitpunkt der Realisierung tragen insbesondere die Thesen zu den Bereichen Wasserstoff (2022) sowie Kernenergie, Erdöl- und Erdgasförderung, Speicher und Brennstoffzellen bei, die im Mittel erst um das Jahr 2020 herum für realistisch ge-



halten werden. Auch nur mittelfristig erwarten die Experten die Realisierung von Thesen aus den Bereichen Energiedienstleistungen (2009), Substitution durch Information (2012), Recycling und rationelle Energienutzung in Querschnittsbereichen (2013), Versorgungsstrukturen sowie Gebäude (2014). Der Abstand zwischen dem unteren und dem oberen Quartil liegt bei allen Thesen relativ konstant bei 9 bis 10 Jahren.

Der praktische Einsatz von Techniken, mit denen *CO<sub>2</sub> aus Verbrennungskraftwerken fixiert* werden kann, wird von 25 % der Teilnehmer für utopisch gehalten (und von 27 % für unwichtig). Allerdings hielten es an anderer Stelle desselben Fragebogens nur 13 % der Experten für unrealistisch, daß *aus fossil gefeuerten Kraftwerken abgetrenntes CO<sub>2</sub> zur verstärkten Ausbeute von Erdöl- und Erdgasfeldern bei gleichzeitiger Endlagerung eingesetzt* wird. Diese Anwendung des abgetrennten CO<sub>2</sub> soll also im Mittel bereits im Jahr 2015 möglich werden, während die Abtrennungstechnik selbst erst 2021 zur Verfügung steht. Wird diese Technologie angesichts ausländischer Aktivitäten in Japan und Norwegen hierzulande vielleicht unterschätzt?

### **Wo steht Deutschlands Forschung und Entwicklung im Bereich "Energie und Rohstoffe"?**

Sind die deutschen Forscher in diesem Themenfeld an der Spitze der Forschung? Oder sind sie nur besonders selbstbewußt? Oder sind sie vielleicht nicht hinreichend vertraut mit den Ergebnissen ihrer Kollegen im Ausland? Jedenfalls sehen mehr als 60 % Deutschland weltweit an der Spitze. (Interessanterweise sehen die japanischen Forscher dies mit genau vertauschten Rollen, d.h. Japan vor Europa). Damit liegt dieses Themenfeld in der Selbsteinschätzung der deutschen Experten auf Platz drei hinter "Umwelt und Natur" und "Mobilität und Transport". Hinter Deutschland werden bei der Energie- und Rohstoffforschung die USA mit 45 % auf Platz zwei gesehen, gefolgt von Japan (30 %) und anderen EU-Ländern (20 %).

Einen besonders hohen F&E-Stand besitzt Deutschland nach Einschätzung der befragten Fachleute in den Bereichen Gebäude, fossile Kraftwerke, Recycling, Versorgungsstrukturen und rationelle Energienutzung (jeweils über 80 %). Besonders schwach gilt die deutsche F&E bei der Erdöl- und Erdgasgewinnung (39 %) sowie der Primärrohstoffgewinnung (46 %).

### **Was ist zu tun?**

In mehr als 40 % der Antworten wird eine internationale Kooperation als besonders wirksame Maßnahme zur Realisierung der Thesen genannt. Hierzu tragen insbesondere die Bereiche Primärrohstoffe (81 %), Kernenergie (80 %) und Erdöl- und Erdgasförderung (73 %) bei, Bereiche, in denen die Globalisierung der Unternehmen

weit vorangeschritten ist und den Deutschen ein eher niedriger Stand in der F&E bescheinigt wird. Als relativ unwichtig gilt die internationale Kooperation dagegen bei den Gebäuden (24 %), dem Recycling (26 %) und der rationellen Energienutzung (32 %) - Gebieten, auf denen Deutschland über einen guten Stand bei der F&E verfügt.

Fast ebenso oft wie eine internationale Zusammenarbeit fordern die Experten eine Förderung durch Dritte. Davon sollten insbesondere die Bereiche Gebäude (58 %), Regenerative Energiequellen (66 %) und Brennstoffzellen (66 %) profitieren, während bei der Kernenergie nur 20 % der Fachleute eine stärkere finanzielle Unterstützung für erforderlich halten. Als dritte wichtigste Maßnahme werden Regulatoränderungen, insbesondere im Bereich der Energiedienstleistungen (82 %), des Recyclings (67 %) und der Gebäude, genannt. Bei Primärrohstoffen der Erdöl- und Erdgasförderung sowie der Stromübertragung halten die Experten dies allerdings kaum für notwendig.

Etwas seltener als im Durchschnitt der Studie wird in diesem Themenfeld eine Verbesserung der F&E-Infrastruktur und ein verstärkter Personalaustausch zwischen Wirtschaft und Wissenschaft gefordert. Dasselbe gilt für die Verbesserung der Ausbildung - eine Maßnahme, die überraschenderweise die niedrigste Priorität als Maßnahme zur besseren Realisierung der Innovationen zugesprochen bekommt.

### **Welche Folgeprobleme könnten auftreten?**

Obwohl 70 % der Innovationen nach Einschätzung der befragten Experten für die Lösung ökologischer Probleme wichtig sind, werden über 35 % voraussichtlich auch Folgeprobleme für die Umwelt mit sich bringen. Damit liegt das Themenfeld "Energie und Rohstoffe" in dieser Hinsicht gleichauf mit den Entwicklungen in der Chemie und der Landwirtschaft.

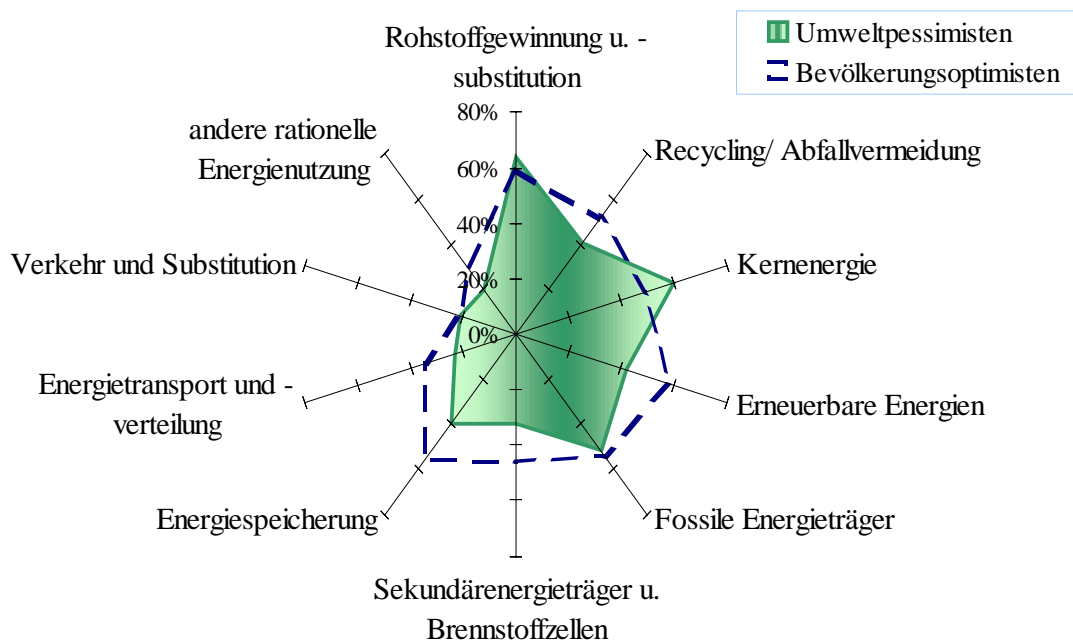
Den Befund, daß die Antwortenden dieses Themenfeldes bezüglich ökologischer Folgewirkungen außerordentlich stark sensibilisiert sind, belegen einige Einzelbeispiele. So werden von 70 % der Experten Umweltprobleme bei *wissenschaftlichen Tiefbohrungen* und bei *amorphen Solarzellen* gesehen. Das sind ebenso viele wie bei der *Entsorgung hochradioaktiven Mülls* ökologische Folgeprobleme annehmen.

Die Entwicklungen im Kernenergiebereich werden mit Abstand am häufigsten mit Folgeproblemen für die Sicherheit in Verbindung gebracht, gefolgt von Energietransport sowie Wasserstoff- und Sauerstoffnutzung. Bei der Einschätzung der sozialen und kulturell-gesellschaftlichen Folgeprobleme weist das Themenfeld "Energie und Rohstoffe" mit die wenigsten Nennungen der gesamten Studie auf. Gesellschaftliche Folgen der Thesen zu Energiedienstleistungen und Tarifgestaltung, Substitution durch Informationstechnologie sowie zur Gebäudetechnik werden als be-

sonders hoch eingeschätzt. Der Grund: Diese Entwicklungen berühren direkt das Lebensumfeld der Menschen.

Interessant erscheint auch, daß die Umweltpessimisten, die womöglich in relativen Umweltbelastungseinschätzungen geübt sind, mit Ausnahme bei der Kernenergie und bei der Rohstoffgewinnung und ihrer Substitution, weniger Folgeprobleme für die Umwelt sehen als die Bevölkerungsoptimisten.

Bild 18: Folgeprobleme für die Umwelt



### Schlaglicht: Kernenergie und erneuerbare Energiequellen werden zur CO<sub>2</sub>-Minderung beitragen können

Zu den energiepolitisch umstrittenen Thesen des Themenfeldes "Energie und Rohstoffe" gehören die Fragenkomplexe Kernenergie und erneuerbare Energiequellen. Beiden Technologien wird für die Zukunft ein hohes Potential zur CO<sub>2</sub>-Minderung eingeräumt. In rund 70 % der 164 Antworten wird zum Ausdruck gebracht, daß *aufgrund der CO<sub>2</sub>-Klimaproblematik und verbesserter Sicherheitstechnik die Kernenergie europaweit Akzeptanz finden wird*; dies wird sowohl von den Experten höchster Fachkenntnis wie von den übrigen etwa im Jahr 2015 erwartet. Rund fünf Jahre später werden nach Meinung der großen Mehrheit der antwortenden Experten *kleine und mittelgroße, sehr sichere nukleare Wärme- und Elektrizitätserzeugungsanlagen, die für die Errichtung in Stadtnähe geeignet sind, entwickelt und in Kraft-Wärme-Kopplung zur Versorgung von Städten eingesetzt*. Etwa derselbe Anteil der

Fachleute ist der Ansicht, daß im gleichen Zeitraum auch *Brutreaktoren, die in einen Kernbrennstoffzyklus eingebunden sind, praktische Anwendung finden.*

Während die Experten bei diesen Fragen zum Einsatz der Kernenergie mit rund 90 % Zustimmung zu einer prinzipiellen Realisierbarkeit sehr zuversichtlich sind, werden im Bereich der Entsorgung der radioaktiven Abfälle starke Zweifel deutlich. An der These, daß *eine Entsorgungstechnik (z.B. Transmutation) für hochradioaktiven, festen Müll praktische Anwendung findet*, zweifelt sogar die Mehrheit der Experten. Ein Drittel der antwortenden Experten sieht zudem keine Chance, daß *ein weltweit sicherer ("safe and secure") und proliferationssicherer Einschluß von Plutonium 239 jemals operationell sein wird.*

*Die erneuerbaren Energiequellen (ohne Wasserkraft) werden nach Einschätzung der Fachleute zwischen 2015 und 2025 die 10 %-Marke bei der Stromerzeugung in Deutschland überschreiten. Möglich erscheint dies, weil etwa ab 2017 für netzgekoppelte photovoltaische Systeme Systemkosten von weniger als 4.000 DM/kWp erreicht werden, in weniger als zehn Jahren Windenergieanlagen im Leistungsbereich bis zu einigen Megawatt mit spezifischen Investitionskosten unter 2.000 DM/kW marktgängig sein werden und daher in etwa 15 Jahren Offshore-Windenergieparks im Leistungsbereich über 100 MW gebaut werden. Aber auch die hocheffiziente Energiegewinnung aus Biomasse (z.B. Vergasung aus Pflanzen, Holz und Stroh) wird in 15 Jahren weit verbreitet sein, und mit kaltgepreßtem Pflanzenöl angetriebene Dieselmotoren werden für viele Anwendungen in Blockheizkraftwerken schon vorher eingesetzt werden.*

## **Bauen und Wohnen**

### **Struktur des Themenfeldes**

Die möglichen Veränderungen im Bereich "Bauen und Wohnen" werden mit Hilfe von 75 Thesen analysiert. Diese Fragen thematisierten Entwicklungen auf dem Gebiet neuer Bautechniken und der Architektur. Mögliche Innovationen zum Einsatz von Materialien und Bauverfahren werden ebenso diskutiert wie Aspekte der Gebäudetechnik, von Ver- und Entsorgungssystemen sowie dem Einsatz der Informationstechnik. Darüber hinaus nehmen die Thesen Bezug auf Fragen von Sanierung und Ressourcen und erörtern Rahmenbedingungen dieser Entwicklungen, indem Aspekte der Lebensqualität und Sicherheit sowie möglicher gesellschaftlicher Entwicklungen und Veränderungen behandelt werden.

Betrachtet man die Innovationsstufen, denen die 75 Thesen zuzuordnen sind, so sind knapp 18 % der Thesen im Bereich "Aufklärung und Entwicklung" zu finden, annähernd 35 % der Thesen widmen sich den ersten kommerziellen Anwendungen und 48 % der Thesen behandeln die weite Verbreitung der Innovationen. Rund 43 % der Thesen dieses Untersuchungsgebietes stimmen mit den Thesen der gleichzeitig in Japan durchgeführten Delphi-Befragung überein. Es ist die zweithöchste Übereinstimmungsquote unter den zwölf Themenfeldern.

### **Wer sind die Befragten?**

In der ersten Runde dieser Delphi-Befragung haben 110 Personen den Fragebogen dieses Untersuchungsgebietes ausgefüllt, in der zweiten Runde 94 Personen. Etwa zwei Fünftel der Teilnehmer sind in Unternehmen tätig. Ebenso groß ist die Gruppe der Befragten, die als Hochschulangehörige bzw. im öffentlichen Dienst oder in privaten gemeinnützigen Institutionen beschäftigt sind; zirka ein Fünftel ist anderswo tätig.

Hochschulangehörige und im öffentlichen Dienst tätige Befragte reklamieren eine deutlich höhere Fachkenntnis für sich als Beschäftigte von Unternehmen. Im Vergleich zu den anderen Themenfeldern ist hervorzuheben, daß im Bereich "Bauen und Wohnen" überdurchschnittlich viele Befragte zu finden sind, die sich selbst eine große Fachkenntnis zuschreiben.

Eine besonders große Fachkenntnis geben die Experten bei der Beurteilung von Aussagen an, die sich mit veränderten Bau- und Siedlungsstrukturen befassen, beispielsweise die Thesen: *Neu entwickelte Modelle der Bodenbesteuerung mit höhe-*

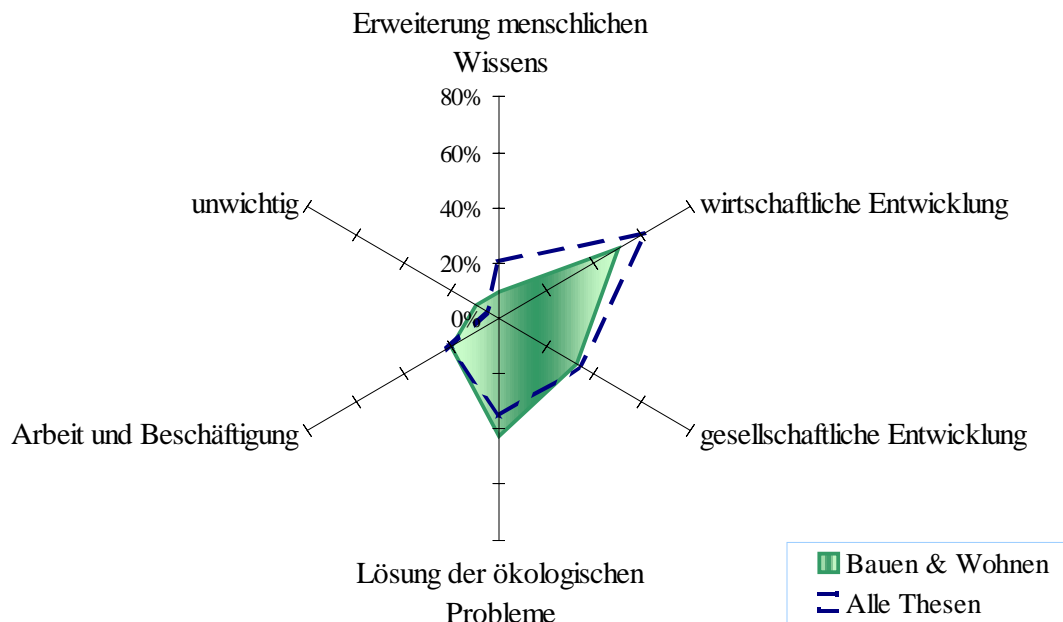
ren Kosten der Flächen-Inanspruchnahme führen zu kompakten Siedlungsstrukturen und damit zur Verkehrsvermeidung. Variable Bauweisen im Wohnungsbau erlauben die individuelle Wohnungsgestaltung auch in mehrgeschossigen Bauten. Autofreie Wohngebiete und auf gemeinschaftliche Autonutzung orientierte Siedlungsgebiete sind weit verbreitet. Dies sind Thesen, die auch in der öffentlichen Diskussion breiten Raum einnehmen.

Thesen, bei denen besonders viele Befragte ihre Fachkenntnis als niedrig einschätzen, befassen sich mit *Weltraumstationen, einer Technik zur Löschung und Rettung bei Feuer in Hochhäusern* und *Systemen zur Leitung und Orientierung Sehgeschädigter auf Gehwegen unter Einsatz von Sensoren und synthetischer Sprache*. Die befragten Experten mit geringer Fachkenntnis antworten hier jedoch inhaltlich ähnlich wie die Experten hoher Fachkenntnis.

### Wofür ist das Themenfeld "Bauen und Wohnen" wichtig?

Bei der Einschätzung der Wichtigkeit der Innovationen im Themenfeld "Bauen und Wohnen" zeigt sich ein eindeutiger Trend (Bild 19): Am häufigsten wird die wirtschaftliche Entwicklung genannt, gefolgt von der Lösung ökologischer Probleme und der Bedeutung für die gesellschaftliche Entwicklung.

Bild 19: Wofür sind die Innovationen im Themenfeld "Bauen und Wohnen" wichtig?



Dabei bewerten Industriebeschäftigte die Auswirkungen der Innovationen auf die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung sowie den Erhalt bzw. Ausbau von Arbeit und Beschäftigung positiver als Experten aus der Wissenschaft. Im Vergleich zu allen anderen Themenfeldern sind Innovationen dieses Themenfeldes für Arbeit und Beschäftigung durchschnittlich wichtig, für die Erweiterung des menschlichen Wissens jedoch kaum von Bedeutung.

### **Wann werden die Thesen Realität?**

Rund 13 % der Innovationen werden nach Ansicht der Experten im Zeitraum der Jahre 2001-2005 verwirklicht, etwa 48 % im Zeitraum 2006-2010 und rund 29 % im Zeitraum 2011-2015. Damit können die Thesen des Bereichs "Bauen und Wohnen" zu einem etwas früheren Zeitpunkt realisiert werden als der Durchschnitt aller Innovationen der zwölf untersuchten Themenfelder.

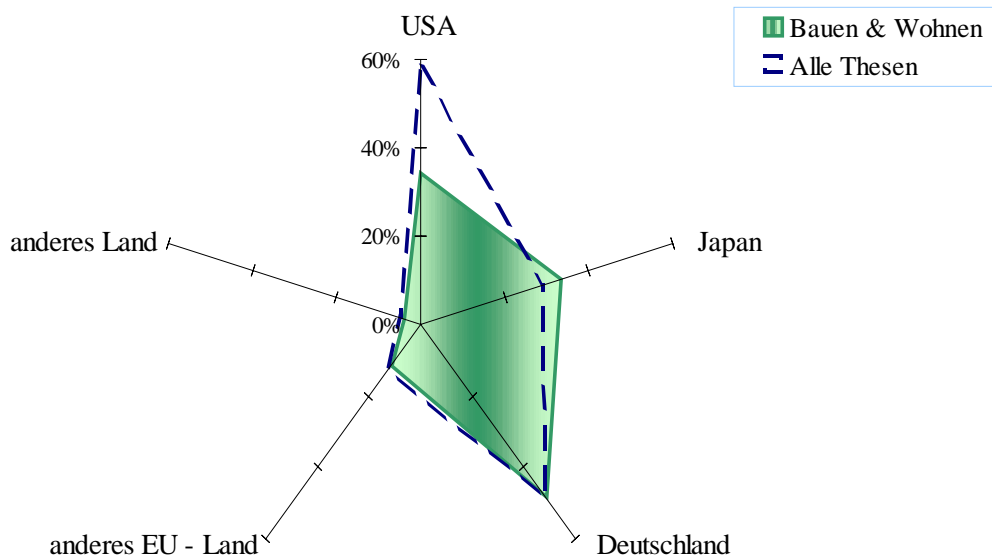
Die vermutlich am frühesten realisierten Innovationen sind, daß *die technischen Voraussetzungen für Facility-Management-Systeme bereits beim Bau von Gebäuden Berücksichtigung finden* sowie der Einsatz von *Steuerungen und der zugehörigen Sensorik, die den Ausbruchquerschnitt genau für den Tunnelquerschnitt einhalten und somit geringe Verluste haben*: Der Mittelwert der Expertenschätzungen liegt hier jeweils beim Jahr 2004, mit einer relativ geringen Schwankungsbreite von zwei Jahren zum unteren bzw. drei Jahren zum oberen Quartil. Die Fachleute sind sich in ihrer Einschätzung hierin also weitgehend einig. Die drei unwahrscheinlichsten Innovationen sind die Klärung des Einflusses ultrahoher Gebäude auf Menschen, Konzepte zur Beurteilung der psychischen Sensibilität und der physiologischen Sinneswahrnehmung sowie die Baustelle ohne Menschen. Ebenfalls relativ geringe Aussicht auf eine Realisierung haben nach Ansicht der Experten *der Einsatz von Bautechniken für Wolkenkratzer (etwa 1000 m hoch) in Deutschland* und die These, daß *eingesetzte Baumaterialien zum überwiegenden Teil aus neuen Kunststoffen bestehen, die zu 100 % recycelt werden können*. Hier meinen 25 % bzw. 19,4 % der Befragten, daß dies unrealistisch ist.

### **Wo steht Deutschlands Forschung?**

Der höchste Stand von Forschung und Entwicklung findet sich im Themenfeld "Bauen und Wohnen" nach Meinung der befragten deutschen Experten in Deutschland, gefolgt von den Vereinigten Staaten von Amerika und Japan (Bild 20). Andere Länder innerhalb oder außerhalb der Europäischen Union, spielen bei keiner der Thesen eine führende Rolle. Interessant ist auch hier das hohe Maß an Übereinstimmung in der Einschätzung der Experten mit hoher Fachkenntnis und der Einschätzung aller Experten. Die führende Stellung Deutschlands, die von der deutschen Fach-Community unterstellt wird, bestätigen die japanischen Delphi-Experten allerdings nicht: In ihren Augen nimmt Japan vor den USA die F&E-Vorreiterrolle

ein, während die (west-) europäischen Länder mit deutlichem Abstand Platz drei in der Länder-Rangliste belegen. Sicherlich spielt die international führende Rolle der japanischen Bauunternehmen in der Bau-Automatisierung bei dieser Einschätzung eine Rolle.

Bild 20: Internationaler Stand der Forschung und Entwicklung



Nach dem Urteil der deutschen Fachleute ergibt sich beim F&E-Stand das folgende, differenzierte Bild: Amerikanische Forscher sind führend im Bereich Lebensqualität und Sicherheit (*Ein bedeutender Teil der arbeitenden Bevölkerung nimmt Dienstleistungen beim Wohnen bis hin zum "Hotel"-Service in Anspruch.*) und bei der Gebäudetechnik (*Die technischen Voraussetzungen für Facility-Management-Systeme finden bereits beim Bau von Gebäuden Berücksichtigung.*). Japan hat auf dem Gebiet neuer Bautechniken und der Architektur eine Führungsrolle inne, z.B. wenn *Fortschritte in der Wasserbau-Technik den Bau auf dem Meer schwimmender Städte ermöglichen* oder *Gebäude schnell und kostengünstig vollautomatisch errichtet (Baustelle ohne Menschen)* werden sollen. Dies sind Thesen, für deren Verwirklichung ein erheblicher Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Informationstechnik vorhanden sein dürfte.

Eine klare technologische Führerschaft Deutschlands sehen die Experten bei Ressourcen/ Sanierung (*Recycling-Techniken werden im Bauwesen entwickelt, die sich wirtschaftlich selbst tragen. Zum Erhalt von Denkmälern werden umweltverträgliche Techniken eingesetzt, die den zerstörenden Einfluß von Schadstoffen abwenden. Techniken werden in Deutschland eingesetzt, die bei Bau-Nebenprodukten wie Beton, Asphalt und Erdaushub ein 100%iges Wiederverwenden ermöglichen*), bei Ver- und Entsorgungssystemen (*Durch Fortschritte bei der rationellen Energienutzung durch langfristige Energie- oder Wärmespeicherung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen sind energieautarke Gebäude und Wohnhäuser bei Neubauten ver-*

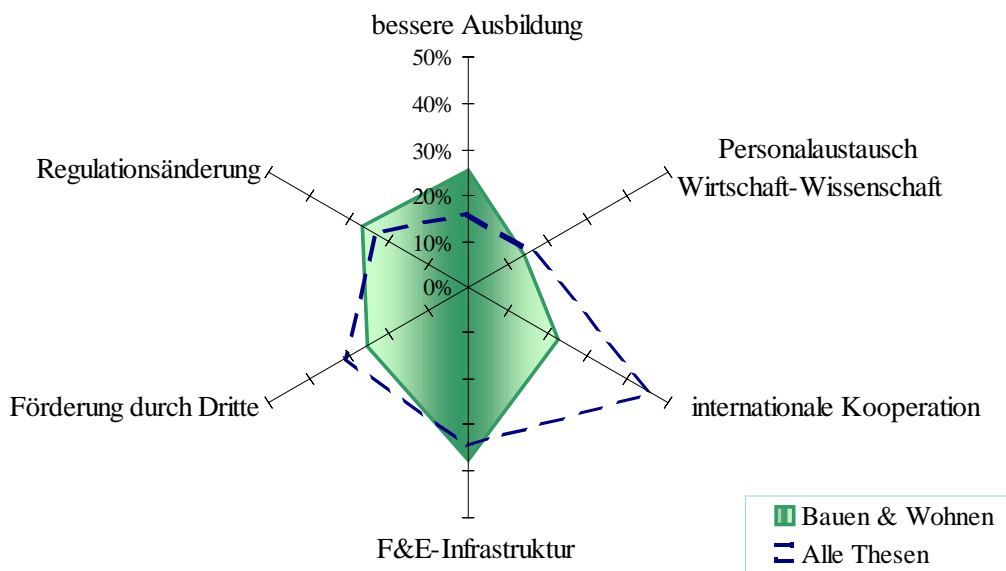


breitet. Die Nutzung von End-Energie und das Recycling von Müll in kommunalen Einheiten Deutschlands sind weit verbreitet.) sowie bei der Entwicklung von Materialien und Bauverfahren (Einsatz überwiegend recyclebarer Kunststoffe in Baumaterialien oder Tunnelbaumaschinen, mit denen das beim Ausbruch anfallende Gestein direkt wiederverwendet werden kann). Allerdings weisen die verschiedenen Thesen zur Entwicklung von Materialien und Bauverfahren nicht so sehr hohe Unterschiede zu den Wettbewerbern Japan und USA auf, wie die Thesen der davor genannten Gebieten.

### Was ist zu tun?

Auf die Frage, welche Maßnahmen für die Realisierung der in den 75 Thesen thematisierten Innovationen besonders wichtig sind, nannten die Experten an erster Stelle die Verbesserung der deutschen Forschungsinfrastruktur, danach regulatorische Änderungen und eine Verbesserung der Ausbildung. Eine höhere Dringlichkeit auf dem Gebiet der Ausbildung wird nur im Themenfeld Produktion genannt. Die Bedeutung einer internationalen Kooperation wird gegenüber allen anderen Themengebieten der Delphi-Umfrage nicht als besonders vordringlich, angesehen (vgl. Bild 21).

Bild 21: Welche Maßnahmen sollen getroffen werden?



Der durchschnittliche Stellenwert des Personalaustauschs zwischen Wissenschaft und Wirtschaft bekommt dadurch eine besondere Bedeutung, daß er oft im Zusammenhang mit einer Verbesserung der Ausbildungssituation genannt wird, z.B. bei den folgenden vier Thesen:

- *Der gesamte Bauprozess wird in einem vernetzten (Tele-)Informationsverbund unter Einbezug von allen Beteiligten abgewickelt.*
- *Baubesprechungen werden mit Hilfe von Telekooperationssystemen geführt.*
- *Die Bauabläufe werden standardisiert, und die Organisation des Baumanagements durch Steuerung auch kleinster Segmente des Bauablaufs wird optimiert.*
- *Die technischen Voraussetzungen für Facility-Management-Systeme finden bereits beim Bau von Gebäuden Berücksichtigung.*

### **Welche Folgeprobleme könnten auftreten?**

Als Folgeprobleme, die eine Realisierung der genannten Innovationen mit sich bringen könnte, nennen die Experten an erster Stelle Folgen für die Umwelt. Diese liegen jedoch im Vergleich zu den anderen elf Untersuchungsgebieten der Delphi-Untersuchung auf einem mittleren Niveau von etwa 40 %. Generell werden durch Innovationen bei *Bautechniken und Architektur* sowie auf dem Gebiet neuer *Materialien und Bauverfahren* am meisten Folgeprobleme erwartet.

Mögliche Folgeprobleme im sozialen, kulturellen oder anderen gesellschaftlichen Bereichen, werden im Themenfeld "Bauen und Wohnen" gegenüber anderen Themenfeldern eher selten genannt. Jedoch fallen einige Einzelthesen durch besonders negative Bewertungen auf. Dazu gehören beispielsweise die Verbreitung von *Einrichtungen in gewöhnlichen deutschen Familien, mit denen man unter Nutzung virtueller Realität das Erlebnis von Reisen, Filmveranstaltungen, Sportwettkämpfen usw. haben kann* (98,4 % erwarten soziale, kulturelle oder andere gesellschaftliche Folgen) und das Schwinden der *Trennung in Arbeits- und Wohnbereich durch "virtuelle Unternehmen"* (98,3 %).

### **Schlaglicht: Baldige große Fortschritte, aber Skepsis gegenüber Utopien**

Im Bereich "Bauen und Wohnen" befindet sich die Konjunktur für visionäre neue Ideen und Konzepte über das Wohnen in der Zukunft auf denkbar niedrigem Niveau. Utopische Entwürfe wie der Bau von ultrahohen Hochhäusern oder von *Weltraumstationen, in denen auch untrainierte Menschen länger als ein Jahr leben*, treffen unter den befragten Experten kaum auf Zustimmung. Selbst die Bau-Automatisierung wird für Deutschland nicht sehr euphorisch gesehen - hier werden wohl Japan und die USA ihre Führungsrolle behalten und ausbauen.

Andererseits zeigen die deutschen Experten vielfältige, relativ schnell umsetzbare Innovationsmöglichkeiten auf, mit denen sowohl für die wirtschaftliche Entwicklung nützliche als auch ökologisch sinnvolle Beiträge zur Gestaltung der zukünftigen Entwicklung im Baubereich geleistet werden können. Beispiele hierfür sind ein umfassender Einsatz von *Facility-Management-Systemen* sowie die vielfältigen

Entwicklungsmöglichkeiten neuer Anwendungen auf den Feldern Ressourcen/ Sanierung, bei Ver- und Entsorgungssystemen sowie bei der Entwicklung von Materialien und Bauverfahren. Mit diesen Schwerpunkten sind gesellschaftlich und ökologisch relevante Anwendungspotentiale verbunden, deren internationale Erschließung sich für die deutsche Wirtschaft sehr positiv auswirken könnte, zumal aus deutscher Sicht die F&E hierzulande einen Know-how-Vorsprung besitzt.

## Mobilität und Transport

### Struktur des Themenfeldes

Die Perspektiven im Forschungsgebiet "Mobilität und Transport" werden durch 107 Thesen beschrieben. Sie gruppieren sich um sechs verschiedene Fragengruppen und reichen von der Fahrzeugtechnik über Sicherheits- und Umweltaspekte, die verschiedenen Verkehrssysteme, den Einsatz der Verkehrstelematik bis hin zu generellen Fragen der Mobilität und der Betrachtung von Determinanten der Verkehrsmenge.

Hinsichtlich der Innovationsstufen, denen die 107 Thesen zuzuordnen sind, gehören etwa 17 % der Thesen zum Bereich "Aufklärung und Entwicklung", etwa 21 % widmen sich den ersten kommerziellen Anwendungen und 62 % der Thesen - die zweithöchste Quote aller untersuchten Themenfelder - behandeln die weite Verbreitung der Innovationen. Lediglich 17 % der Thesen dieses Untersuchungsgebietes stimmen mit denen der japanischen sechsten Delphi-Befragung überein. Dies ist die geringste Übereinstimmungsquote innerhalb der zwölf Themenfelder der deutschen Delphi-Umfrage.

### Wer sind die Befragten?

In der ersten Runde dieser Delphi-Befragung haben 150 Personen den Fragebogen zu "Mobilität und Transport" ausgefüllt; in der zweiten Runde waren es 122 Personen. 48 % der Teilnehmer sind in Unternehmen tätig - mehr als in allen anderen Themenfeldern. 34 % der Teilnehmer sind den Hochschulen und weitere 9 % dem öffentlichen Dienst oder privaten gemeinnützigen Institutionen zuzurechnen.

Bei 85 % der Thesen schätzen jeweils mehr als die Hälfte aller Befragten ihre Fachkenntnis als gering ein. Bei rund einem Drittel der Thesen liegt der Anteil der Experten mit großer Fachkenntnis bei mehr als 15 %. Die meisten "Fachkenner" (23,5 %) finden sich bei der These: *Telekommunikationssysteme werden verbreitet eingesetzt, um eine intelligente Verkehrs- und Transportverteilung auf die verschiedenen Verkehrs- und Transportsysteme zu erreichen, die vorhandene Verkehrsinfrastruktur rationeller (und rationaler) zu nutzen, den Abbau von räumlichen und zeitlichen Verkehrsspitzen zu unterstützen und den Einsatz flexibel einsetzbarer Verkehrsmittel zu begünstigen bzw. zu ermöglichen.*

Die Thesen, bei denen die Befragten im Schnitt eine hohe Fachkenntnis besitzen, werden gleichzeitig von überdurchschnittlich vielen Befragten beantwortet; die These zu *Kraftfahrzeugen mit 30 % geringerem Benzinverbrauch* erreicht mit 116 Antworten die höchste Beantwortungsquote. Umgekehrt finden sich bei geringer Beteiligung auch nur wenige Experten mit hoher Fachkenntnis. So hat die Frage einer

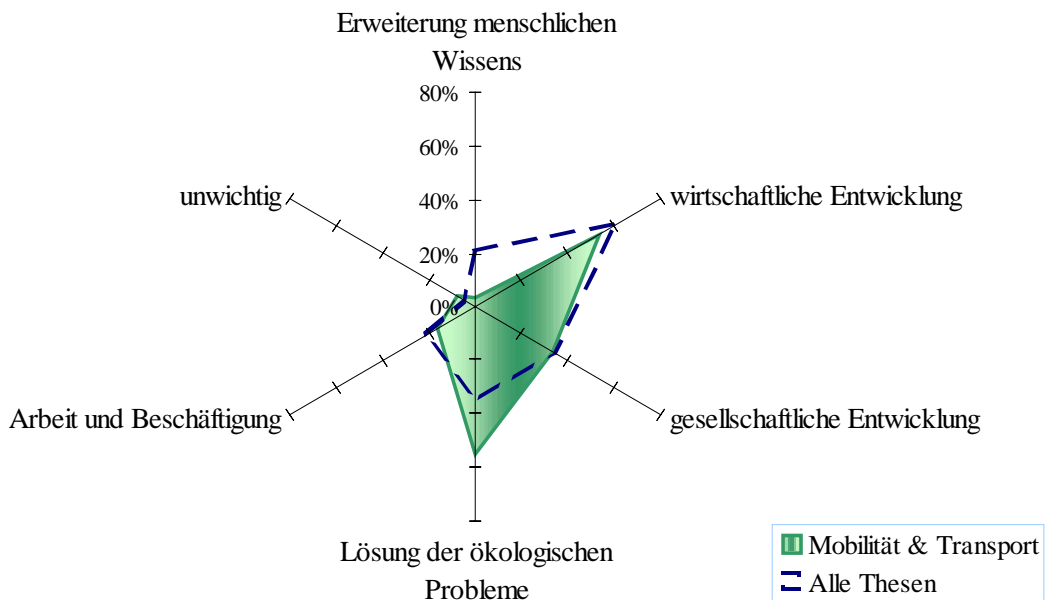
*Realisierung von Raumstationen mit einem entsprechenden Bedarf an kostengünstigen, neuen Antriebs- und Getriebe-Bauformen, die den speziellen Umgebungsbedingungen im Weltall gerecht werden*, unter allen Thesen des Themenfelds "Mobilität und Transport" zugleich den geringsten Anteil an besonders fachkundigen Experten und die zweitniedrigste Zahl an Antworten.

Besonders wenig Antworten gingen auf die Frage nach verbesserten *Schiffbaumaterialien und Motoren* ein. Die Experten, die darauf geantwortet haben, stammen zum größten Teil aus anderen Branchen. Die Antworten der "großen Fachkenner" weichen jedoch bei dieser These wie auch im Durchschnitt über alle Thesen, nur unwesentlich von den Antworten der übrigen Experten ab.

### Wofür ist das Themenfeld "Mobilität und Transport" wichtig?

Der größte Lösungsbeitrag der Innovationen im Themenfeld "Mobilität und Transport" wird sich nach Ansicht der befragten Experten für die Bewältigung ökologischer Probleme ergeben (zirka 55 % der Antworten) - nur bei zwei weiteren Themenfeldern existiert ein noch größerer Optimismus hinsichtlich der Lösung ökologischer Probleme. 53 % der Fachleute heben die Wichtigkeit der Thesen für die wirtschaftliche Entwicklung hervor.

Bild 22: Wofür sind die Innovationen im Themenfeld "Mobilität und Transport" wichtig?



Bezogen auf die anderen untersuchten Themenfelder liegt dies im Durchschnitt. Als überdurchschnittlich wichtig bewertet wird mit etwa 33 % Zustimmung der Beitrag für die gesellschaftliche Entwicklung. Zur Schaffung oder zum Erhalt von Arbeitsplätzen und zur Erweiterung menschlichen Wissens scheinen die ausgewählten Thesen dieses Gebietes dagegen wenig beizutragen.

### **Wann werden die Thesen Realität?**

Nach Einschätzung der befragten Fachleute werden sich die Innovationen im Themenfeld "Mobilität und Transport" durchschnittlich früher realisieren lassen als im Gesamtdurchschnitt aller Delphi-Aussagen. Rund 70 % der Thesen könnten bereits bis zum Jahr 2010 Wirklichkeit werden, meist aber nach 2005. Weitere knapp 20 % der aufgezeigten Innovationen könnten sich in der Zeitspanne zwischen den Jahren 2011 und 2015 verwirklichen lassen, und nur 10 % der Thesen fallen in den Zeitraum zwischen 2016 und 2025.

*Logistische, umwelttechnische und verbrauchsoptimierende Modell-Rechnungen* sollen bereits zwischen den Jahren 2001 und 2008 klären, ob *die effizientesten Geschwindigkeitsbegrenzungen für PKW lauten: Autobahn 120 km/h; Landstraße 80 km/h; Stadt 30 km/h*. Diese These könnte sich am frühesten realisieren lassen. Allerdings fallen die Kommentare dazu recht widersprüchlich aus: Mehr als 20 % der Befragten vertreten die Auffassung, daß die skizzierte Innovation nie realisiert wird. Einheitlich bewertet werden dagegen folgenden Thesen zur weiten Verbreitung von *Electronic Banking in Privathaushalten* und zur *Möglichkeit einer Auswahl und des Kaufs vieler Waren dank virtueller Realität und Multimedia am PC (Lieferung oder Abholung erfolgt unabhängig von Öffnungszeiten)*. Sie können nach Ansicht der Experten in einem engeren Zeitfenster realisiert werden (2002 bis 2004 bzw. 2002 bis 2008) und ihre Verwirklichung wird kaum in Frage gestellt.

Die drei unwahrscheinlichsten Innovationen sind nach Einschätzung der Experten:

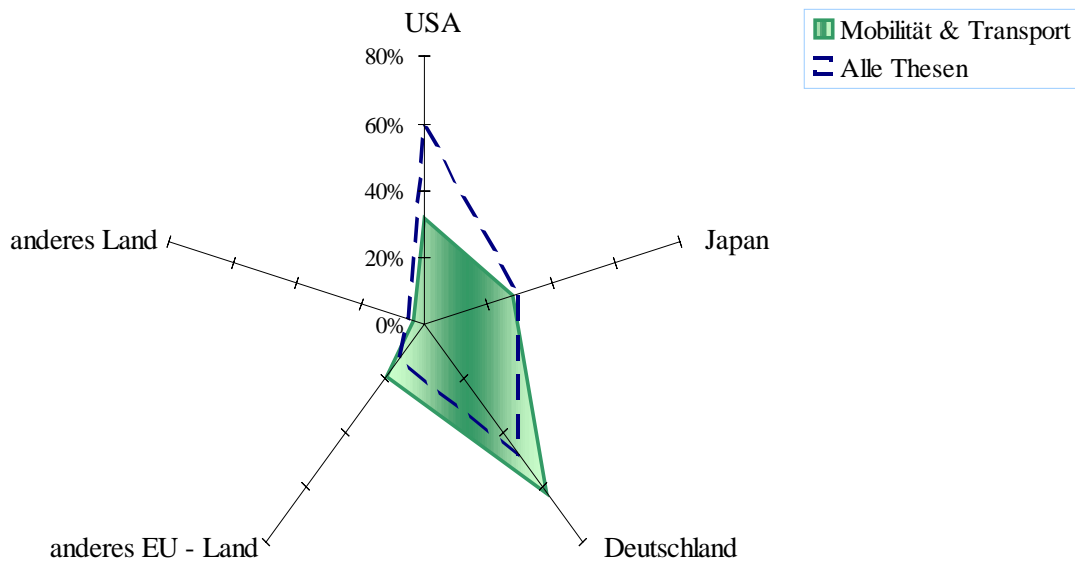
- *Aufgrund neuer wirtschaftswissenschaftlicher Erkenntnisse wird der Verzicht auf Autobenutzung durch spezielle Bonusverfahren, z.B. bei der privaten Stromabrechnung, belohnt.*
- *Jeder motorisierte Verkehrsteilnehmer erhält ein jährliches Mobilitätskonto für Fahrten in die Stadt bzw. in der Stadt; bei Mitnahme von Personen wird ein Öko-Bonus steuerlich rückvergütet.*
- *Individuelle Leichtflugzeuge übernehmen einen wesentlichen Anteil (bis zu 5 %) des Personenverkehrs über mittlere Entfernungen.*

Hier meinen 61 %, 53,9 % bzw. 49,3 % der Befragten, daß die Innovationen nie realisierbar sind.

## Wo steht Deutschlands Forschung?

Im Themenfeld "Mobilität und Transport" nimmt Deutschland, so die Einschätzung der deutschen Delphi-Experten, über alle Themengruppen hinweg eine weltweite Vorreiterrolle ein (61 %, vgl. Bild 23). Die Vereinigten Staaten von Amerika (31 %), Japan (28 %) sowie andere europäische Länder (19 %) folgen auf den Rängen zwei bis vier. Die führende Position Deutschlands wird nur in zwei weiteren Themenfeldern ("Umwelt und Natur" sowie "Energie und Rohstoffe") als noch stärker beurteilt.

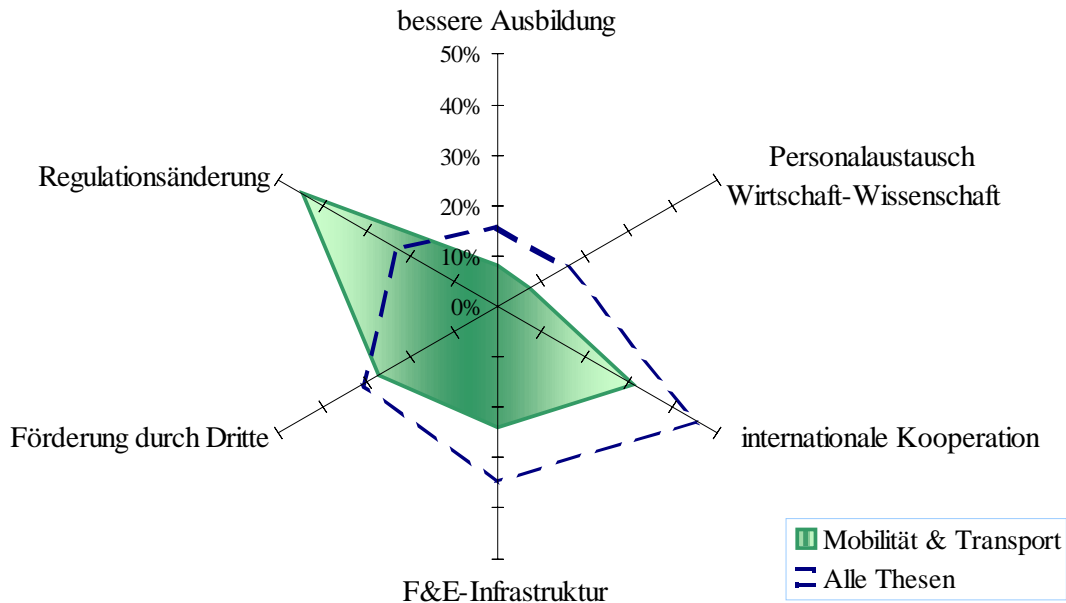
Bild 23: Internationaler Stand der Forschung und Entwicklung



## Was ist zu tun?

Die von den befragten Fachleuten geforderten Maßnahmen zur Unterstützung der Innovationspotentiale liegen klar auf dem regulatorischen Gebiet. Nur im Themenfeld "Umwelt und Natur" werden vergleichbar oft regulatorische Maßnahmen gefordert. Bezeichnend für das Themenfeld "Mobilität und Transport" ist darüber hinaus, daß alle weiteren zur Diskussion gestellten Maßnahmen im Vergleich zu den anderen elf Themen weniger häufig gefordert werden.

Bild 24: Welche Maßnahmen sollen getroffen werden?



Bei folgenden Thesen werden regulatorische Maßnahmen als besonders notwendig angesehen (in Klammer: Anteil der Experten, die Regulationsänderungen für erforderlich halten):

- *Zu den Betriebskosten tragen die indirekten Nutznießer der verbesserten ÖPNV-Erreichbarkeit nach einer kombinierten Agglomerations- und Deglomerationsabgabe bei. Die Agglomerationsabgabe schöpft Lagevorteile durch massenhaftes ÖPNV-Publikum ab. Die Deglomerationsabgabe schöpft erhöhte Betriebskosten durch disperse Siedlungsstrukturen ab. (100 %)*
- *Jeder motorisierte Verkehrsteilnehmer erhält ein jährliches Mobilitätskonto für Fahrten in die Stadt bzw. in der Stadt; bei Mitnahme von Personen wird ein Öko-Bonus steuerlich rückvergütet. (96,8 %)*
- *Die ÖPNV-Finanzierung wird völlig neu geregelt. Die Infrastrukturkosten werden über eine Nahverkehrs- und Nahverkehrs-Erschließungsabgabe aufgebracht, und die bisherigen Erschließungsbeiträge nach Baugesetzbuch und Kommunalabgabenrecht für Straßen und Parkplätze werden reduziert bzw. entfallen. (95,9 %)*

Internationale Kooperation ist u.a. für die Kompatibilität der nationalen Schnellbahnsysteme (z.B. TGV, ICE) (90 %) oder Hyperschall-Flugzeuge mit 2,5-facher Schallgeschwindigkeit und 300 Sitzen im internationalen Linien-Flugverkehr (86,5 %) wichtig. Die Förderung durch Dritte wird bei zwei Thesen besonders häufig genannt: *Der ÖPNV wird durch kleine Beförderungseinheiten, die außerhalb der Spitzenzeiten auf Bedarf verkehren, attraktiv und schnell (75,8 %), und kundenfreundlich gestaltete Verknüpfungspunkte machen den Übergang zum ÖPNV und das Umsteigen zwischen Bussen und Bahnen attraktiv; das Bahnhofsviertel wird zur*



*Erlebniswelt umgestaltet* (66,3 %). Gegenüber dem Durchschnitt aller zwölf Themengebiete wird die Verbesserung der Forschungsinfrastruktur für weniger wichtig angesehen. Noch geringere Bedeutung messen die Experten einer besseren Ausbildung und einer Intensivierung des Personalaustauschs zwischen Wirtschaft und Wissenschaft bei (vgl. Bild 24).

### **Welche Folgeprobleme könnten auftreten?**

Mögliche Folgeprobleme, die bei der Realisierung der genannten Innovationen auftreten könnten, werden im Vergleich zu Folgewirkungen von Innovationen anderer Technikgebiete von vergleichsweise geringer Bedeutung sein. Dennoch sind zwei Aspekte hervorzuheben: Die Thesen der Themengruppe Fahrzeugtechnik und Verkehrssysteme beinhalten nach Ansicht der befragten Fachleute die meisten Folgeprobleme. Außerdem werden Sicherheitsfragen überdurchschnittlich oft als Problem des Themenfeldes "Mobilität und Transport" genannt, z.B. für *ein System, das mit Hilfe von Laserstrahlen oder Ultraschall Hindernisse auf Bahngleisen wie Menschen oder Fahrzeuge erkennt und bei Gefahr Züge auch automatisch anhalten läßt* und *Fahrer-Unterstützungssysteme, welche die für das Autofahren notwendigen Informationen empfangen sowie dem Fahrer Warnungen geben bzw. in den Fahrablauf eingreifen*.

### **Schlaglicht: Auch bei steigender Mobilität kann die Umwelt geschont werden**

Die geforderte und weiter ansteigende Mobilität unserer Gesellschaft ist höchst ambivalent. Sie ist gleichermaßen verbunden mit wirtschaftlichen und individuellen Vorteilen sowie mit persönlich als bedrohlich empfundenen und ökologisch zerstörend wirkenden Nachteilen. Die Thesen dieses Themengebietes bewegen sich in diesem Spannungsfeld. Gleichwohl können einzelne Innovationen zu einer ressourcenschonenden und ökologisch positiver zu bewertenden Situation im Verkehrsbereich führen. Auch im Vergleich aller Themengebiete ist der ökologische Beitrag des Transport- und Mobilitätsbereichs am größten.

Unter den Experten finden insbesondere solche Innovationen mit positiven Auswirkungen für die Umwelt ungeteilte Zustimmung, bei denen die technische Weiterentwicklung im Vordergrund steht (z.B. hin zu einem sparsameren Treibstoffverbrauch der Motoren oder verbesserter Abgastechologie). Systemische Maßnahmen, mit denen beispielsweise eine Veränderung zugunsten öffentlicher Verkehrsträger bewirkt werden könnte, etwa durch Verkehrsmanagement in Mobilitätszentralen oder durch verstärkten Einsatz der Verkehrstelematik, werden im Vergleich dazu ambivalent beurteilt. Allerdings halten die Fachleute solche systemischen Lösungen im allgemeinen auch für die wirtschaftliche Entwicklung für besonders wichtig. Gleichwohl wird die Durchsetzbarkeit vieler der vorgeschlagenen Lösungen zur Mobilität und zum Transport nur über den Weg der Anpassung regulativer Rahmenbedingungen möglich sein. Unter den Befragten überwiegt jedoch die Skepsis,

inwieweit sich unter den gegenwärtigen Bedingungen die vorgeschlagenen Konzeptionen realisieren lassen werden. Insofern sind politische Zukunftsentscheidungen gefragt.

## **Raumfahrt**

### **Struktur des Themenfeldes**

Seit ihrer ersten Boomphase in den 50er und 60er Jahren hat sich die Raumfahrt über Höhen und Tiefen hinweg zu einem etablierten Technikfeld entwickelt. In inhaltlicher Hinsicht muß in der Raumfahrt zwischen Satellitentechnik (mit den Anwendungsbereichen der Erdbeobachtung und der Telekommunikation) sowie der erdnahen Weltraumlaborare für die Zwecke der Forschung, Produktion und Ressourcengewinnung unterschieden werden. Weitere Teilgebiete sind erdferne Missionen sowie Transportsysteme, wobei es zwischen den insgesamt vier genannten Teilgebieten zum Teil Überschneidungen gibt.

Nachdem der Schwerpunkt in der Raumfahrt mehrere Jahrzehnte lang auf der Forschung gelegen hat, geht es nunmehr um die konkrete Realisierung der dabei gewonnenen Erkenntnisse. Bei einer Zuordnung der insgesamt 78 Thesen der Befragung zur Raumfahrt gibt es nur (noch) sehr wenige, die sich auf die grundlegende Aufklärung von Prinzipien oder Phänomenen beziehen. Dafür nehmen mit einem Anteil von mehr als 50 % die Thesen zur Anwendung in der Praxis einen sehr breiten Raum ein.

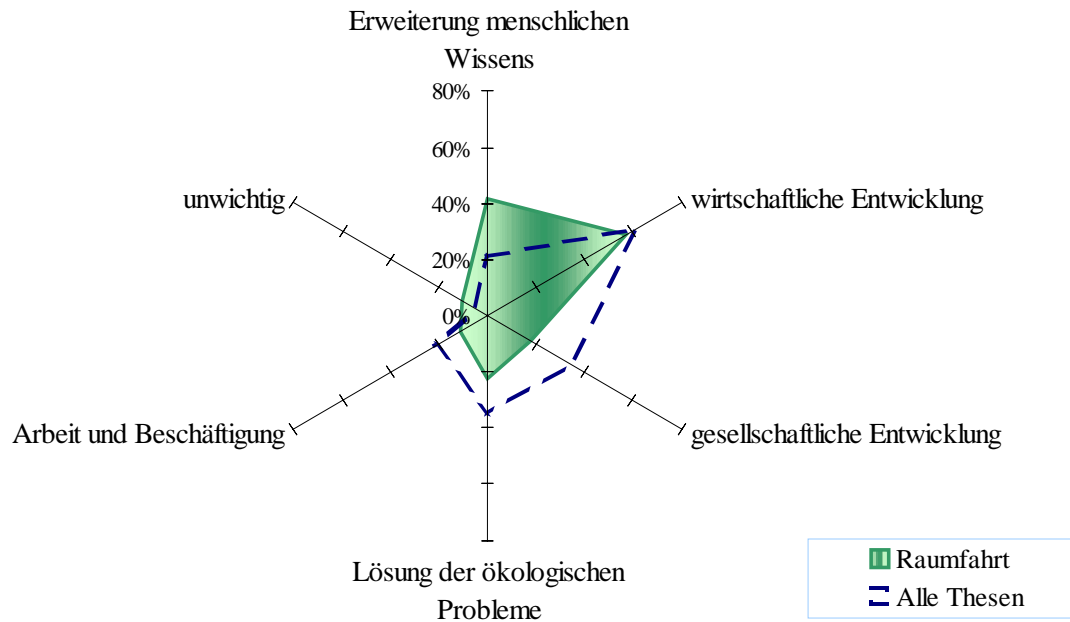
### **Wer sind die Befragten?**

Im Vergleich zu den übrigen Themenfeldern der Delphi-Umfrage ist hier die Zahl der Experten, die sich an beiden Runden der Befragung beteiligt haben, mit 78 am niedrigsten: Die "Community" der Raumfahrtforscher ist begrenzt. Hinsichtlich der institutionellen Herkunft der Experten entspricht aber die Verteilung in etwa den durchschnittlichen Verhältnissen der Studie.

### **Wofür ist das Themenfeld "Raumfahrt" wichtig?**

Trotz der Anwendungsorientierung konzentriert sich die Raumfahrt nach Einschätzung der befragten Experten auf die beiden Pole der Erweiterung des menschlichen Wissens und die wirtschaftliche Entwicklung. Obwohl nur wenige Fragen die Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnis betreffen, liegt deren Bedeutung deutlich über dem Durchschnittswert für alle Themenfelder. Bei der wirtschaftlichen Bedeutung wird in etwa das Durchschnittsniveau erreicht. Von den Aspekten "Gesellschaftliche Entwicklung", "Arbeit und Beschäftigung" und "Lösung der ökologischen Probleme" wird allenfalls dem letztgenannten eine größere Bedeutung beigemessen (Bild 25). Bemerkenswerterweise stimmen die Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft in diesen Grundeinschätzungen im wesentlichen überein.

Bild 25: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Raumfahrt" wichtig?



Eine Analyse nach Thesengruppen oder Teilgebieten der Raumfahrt zeigt, daß eine Erweiterung des menschlichen Wissens vor allem von erdfernen Missionen zu erwarten ist, etwa der *Landung eines bemannten Raumschiffs auf dem Mars* oder eine *Untersuchung des Merkur mit Hilfe von Satelliten*. Gleichzeitig stufen die Experten gerade bei diesen Thesen die wirtschaftliche Bedeutung als äußerst gering ein. Der Aspekt der wirtschaftlichen Bedeutung wird dagegen bei der Satellitentechnik und deren Anwendung für Navigation und Telekommunikation sowie bei erdnahen Raumtransportern hervorgehoben. Bei diesen Thesen zeigt sich - spiegelbildlich zu den erdfernen Missionen - eine vernachlässigbare Bedeutung für die Erweiterung des menschlichen Wissens.

Die wirtschaftliche Bedeutung von Produktion und Ressourcengewinnung im Welt- raum wird von den Experten als insgesamt nur durchschnittlich eingestuft, wobei der *automatischen Produktion von Legierungen und Kristallen im erdnahen Orbit* sowie Solarkraftwerken im Weltraum noch eine vergleichsweise große Wichtigkeit beigemessen wird.

Die Bedeutung der Raumfahrt für die Lösung ökologischer Probleme ist zwar im Vergleich zu anderen Themenfeldern eher gering. Von der Erdbeobachtung durch Satelliten erwarten die Experten jedoch einen erheblichen Beitrag zum Umweltschutz.

Insgesamt lassen sich die verschiedenen Teilgebiete der Raumfahrt über die Wichtigkeitskriterien sehr gut charakterisieren. Zur latenten Kontroverse, ob eher die

bemannte oder die unbemannte Raumfahrt bevorzugt werden soll, kann allerdings nur bedingt etwas gesagt werden, da es dabei neben Fragen der Wirtschaftlichkeit vor allem um Aspekte der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Langfristigkeit von Missionen geht. Daß diese Frage bei den Experten einen sehr hohen Stellenwert hat, zeigt sich darin, daß die These der *vollständigen Ablösung der bemannten durch die unbemannte Raumfahrt* die größte Zahl von Kommentaren provozierte. Insgesamt zeichnet sich ein Konsens dahingehend ab, daß es in absehbarer Zukunft keine vollständige Ablösung der bemannten Raumfahrt geben wird, wohl aber eine deutliche Reduzierung zugunsten der unbemannten Raumfahrt. Der ergänzenden These der *Verfügbarkeit automatischer Systeme für die Durchführung von Experimenten und die Wartung orbitaler Infrastrukturen* messen die Experten in jedem Fall eine sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung zu.

### **Wann werden die Thesen Realität?**

Im Vergleich aller Themenfelder liegt der Zeitraum zur Umsetzung der Raumfahrt-Thesen im Mittel sehr spät: mit dem Jahre 2013 an zweitletzter Stelle. Dies ist darauf zurückzuführen, daß (wie in allen Feldern) bei keiner der Thesen eine Realisierung vor dem Jahr 2000 angenommen wird, bei vergleichsweise vielen dagegen eine Umsetzung nach 2020 oder sogar 2025. Der bereits erwähnte Schwerpunkt der Thesen auf der Anwendung von Systemen und Maßnahmen in der Praxis bedeutet somit nicht, daß deren Realisierung unmittelbar bevorstünde. Vielmehr gehen die Experten von einem erheblichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf aus, bis es zu einer praktischen Anwendung kommen kann. Dabei liegt der Schwerpunkt in den kommenden Jahren auf der angewandten Forschung.

Hinsichtlich des Zeithorizonts für die Realisierung der Thesen muß wiederum nach Thesengruppen oder Teilgebieten der Raumfahrt differenziert werden, um ein adäquates Bild zu gewinnen. Bei der Satellitentechnik für die Erdbeobachtung und Telekommunikation, die - wie oben diskutiert - sowohl aus kommerzieller als auch ökologischer Sicht interessant ist, wird von den Fachleuten eine relativ frühe Umsetzung erwartet: Im Mittel im Zeitraum zwischen 2005 und 2011. Die erdfernen Missionen, die vor allem für die Erweiterung des menschlichen Wissens von Interesse sind, werden dagegen voraussichtlich sehr spät realisiert. Die Mediane liegen im Zeitraum zwischen 2015 und 2025, teilweise sogar noch später. Darin liegt der entscheidende Grund für den im Durchschnitt relativ weit entfernten Zeithorizont der Raumfahrt. Bei einer Beschränkung auf die Satellitentechnik und ihre Anwendungen würden die Durchschnittswerte der übrigen Themenfelder erreicht.

Auch bei der Produktion sowie der Ressourcen- und Energiegewinnung im Welt- raum, denen immerhin eine mittlere wirtschaftliche Bedeutung attestiert wird, liegt die Realisierung insgesamt sehr spät. Während die *automatische Produktion von Legierungen und Kristallen im erdnahen Orbit* immerhin noch im Jahr 2015 für realistisch gehalten wird, werden alle anderen Zukunftsprojekte im Mittel auf das

Jahr 2025 oder später datiert. Letzteres gilt beispielsweise für *Solarkraftwerke im Weltraum* sowie für die *Produktion und Ressourcengewinnung auf dem Mond*.

Angesichts der Vielzahl von Visionen, die in den Medien über die zukünftige Nutzung der Raumfahrt gehandelt werden, ist es schließlich auch aufschlußreich, welche Thesen die Fachleute für utopisch halten. Bei keiner der Thesen zur Raumfahrt gibt es eine Mehrheit von Experten, die diese für völlig unrealistisch hält. Die einzige Ausnahme ist die bereits angesprochene *vollständige Ablösung der bemannten durch die unbemannte Raumfahrt*, die immerhin 60 % der Befragten für unrealistisch halten. Darüber hinaus gibt es einige Thesen, bei denen immerhin 20 bis 30 % der Fachleute davon ausgehen, daß es niemals zu einer Realisierung kommen wird, und für die die übrigen Experten einen sehr späten Zeitpunkt der Verwirklichung ansetzen. Dazu gehören die *Etablierung des Weltraumtourismus als Wirtschaftsfaktor* oder die *Weltraumbestattungen*.

Aber auch weniger kuriose Dinge wie die *Produktion und Rohstoffgewinnung auf dem Mond* wird von einer maßgeblichen Zahl von Fachleuten für utopisch gehalten. Dabei geht aus den entsprechenden Kommentaren hervor, daß weniger technische als finanzielle Probleme als der begrenzende Faktor angesehen werden. Eine große Zahl der Befragten sieht schließlich keine Realisierungschancen für die *Deponie von Atommüll und anderen extrem toxischen Abfällen im Weltraum*, wobei Sicherheitsabwägungen und Kostenfragen im Vordergrund stehen. Die große Zahl von Kommentaren zu dieser These kann als Indikator dafür gewertet werden, daß diese Frage derzeit in Expertenkreisen kontrovers diskutiert wird. Auch große *elektromagnetische Beschleuniger zum Materialtransport im Orbit* sowie *Mikrofusionsantriebe für Raumfahrzeuge* werden von vielen der befragten Fachleute in den Bereich der Utopie verwiesen.

### **Wo steht Deutschlands Raumfahrtforschung?**

Aufgrund der erheblichen Ressourcen, die die Vereinigten Staaten in den vergangenen Jahrzehnten in die Raumfahrt investiert haben, haben die USA nach Einschätzung der befragten Fachleute verständlicherweise eine mit Abstand führende Stellung in der Forschung und Entwicklung inne. Bei einzelnen Thesen sehen einige Experten aber auch eine führende Rolle Deutschlands, wobei dieser Anteil mit knapp 20 % im Vergleich aller Themenfelder der Delphi-Befragung am niedrigsten liegt. Eine führende Stellung wird Deutschland besonders häufig bei Thesen zur Anwendung von Satelliten in der Erdbeobachtung und Telekommunikation attestiert - Teilgebieten, die von besonderem kommerziellem Interesse sind.

## Was ist zu tun?

Neben dem Ausbau der F&E-Infrastruktur und der finanziellen Förderung steht die verstärkte internationale Kooperation eindeutig an erster Stelle der für die Zukunft geforderten Maßnahmen. Ein wesentlicher Grund dafür sind - was läge näher - die enormen Kosten von Raumfahrtsystemen. Schon jetzt gehen 75 % der deutschen Mittel an die Europäische Raumfahrt Agentur (ESA) und darüber hinaus wird auch bei 80 % der nationalen Aktivitäten mit internationalen Partnern zusammengearbeitet. Außerdem zielen viele Programme zur Erdbeobachtung auf globale Systeme, deren Realisierung nur im internationalen Maßstab sinnvoll ist. Die zentrale Bedeutung internationaler Kooperationen zeigt sich auch darin, daß diese bei den Raumfahrt-Thesen häufiger als bei allen übrigen Themenfeldern der Studie genannt wird.

Vor dem Hintergrund einer insgesamt schwachen deutschen Forschungsposition wird vor allem eine Verbesserung der F&E-Infrastruktur sowie eine stärkere finanzielle Förderung angemahnt, um die bestehenden Engpässe der seit 1993 real sinkenden deutschen Fördermittel für die Raumfahrt zu verändern. Der Ruf nach mehr öffentlichen Geldern für die Raumfahrt, der lauter ertönt als in den übrigen Themenfeldern, bezieht sich dabei nicht nur auf die erdfernen Missionen und somit die Erweiterung des menschlichen Wissens, sondern auch auf die verschiedenen Bereiche der Erd- und Umweltbeobachtung.

Gleichzeitig gehen die Fachleute davon aus, daß *nicht primär wissenschaftliche Anwendungen der Satellitentechnik* schon bis zum Jahr 2005 *allgemein auf privatwirtschaftlicher Basis kommerzialisiert* sein werden, und sie messen diesem Punkt eine sehr hohe Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung zu. Vor diesem Hintergrund ist es eine wichtige Aufgabe der Forschungspolitik, die Arbeitsteilung zwischen öffentlichen und privaten Akteuren für die Zukunft zu definieren und insbesondere bei der Anwendung der Satellitentechnik den Übergang von der staatlichen in die private Zuständigkeit konkret zu planen und auszuhandeln.

## Welche Folgeprobleme können auftreten?

Im Vergleich zu den anderen Themenfeldern werden kaum Folgeprobleme der Raumfahrt genannt. Es wird aber auf größere Umweltprobleme für den Fall hingewiesen, daß Ressourcen- und Energiegewinnung im Weltraum ein größeres Ausmaß annehmen sollten. Nach den Kommentaren mehrerer Fachleute würden die Umweltschäden durch verstärkte Raumtransporte die ökologischen Vorteile durch die Ressourcenschonung auf der Erde überwiegen.

Ansonsten werden Probleme nur bei einzelnen Thesen angesprochen. Auffällige Beispiele sind mögliche Umweltprobleme bei *Überschall-Raketen-Flugzeugen für Erd-Erd- und Erd-Orbit-Verbindungen* sowie gesellschaftliche Folgen einer we-

sentlichen Leistungssteigerung der Telekommunikation unter Einsatz von *Satelliten*, etwa bei der *Breitband-, der Langstrecken- oder der digitalen Übertragung*. Sicherheitsprobleme werden im wesentlichen bei der Verwendung von *Kernreaktoren zur Energieversorgung für Antriebszwecke* und bei der Nutzung des *Weltraums als Mülldeponie* gesehen.

**Schlaglicht: Erdnahe Raumfahrt wird für Wirtschaft und Umwelt immer wichtiger werden**

Unter dem Dach der "Raumfahrt" wird ein Katalog von Delphi-Themen abgearbeitet, der Forschung und Nutzung betrifft. Wie ein roter Faden zieht sich durch die vielen Einzelbewertungen die Erkenntnis, daß Forschung und Nutzung sehr unterschiedlich zu beurteilen sind. Erdferne Raumfahrt dient der Erweiterung des menschlichen Wissens und reiht sich in einen uralten Traum der Menschheit ein, mehr über den Kosmos zu lernen. Wissenserweiterung als Kulturgut treibt diese Entwicklung an. Die Landung von Menschen auf dem Mars oder die Untersuchung des Merkur haben keine wirtschaftliche Bedeutung.

Hingegen wird die erdnahe Raumfahrt für Wirtschaft und Umwelt immer wichtiger werden. Satellitentechnik für die Erdbeobachtung und Telekommunikation ist sowohl aus kommerzieller als auch aus ökologischer Sicht interessant. In etwa 10 Jahren werden große Fortschritte erwartet. Unter diesem kommerziell bedeutsamen Aspekt der Raumfahrtforschung wird Deutschland heute ein guter Leistungsstand zugebilligt, während ansonsten die Vereinigten Staaten haushoch überlegen sind. Dennoch darf nicht übersehen werden, daß viele Aspekte gerade der Erdbeobachtung auf globale Systeme abzielen, die nur in einem internationalen Rahmen sinnvoll realisiert werden können. Die Fachleute gehen davon aus, daß kommerzielle Anwendungen der Satellitentechnik schon in etwa 10 Jahren allgemein auf privatwirtschaftlicher Basis betrieben werden. Deshalb hat die Forschungspolitik die wichtige Aufgabe, die Arbeitsteilung zwischen öffentlichen und privaten Akteuren auszuhandeln und mit Blick auf die Zukunft zu definieren.



## Großexperimente

### Struktur des Themenfeldes

Das Themenfeld "Großexperimente" behandelt Großgeräte und -experimente sowie ihre Anwendungen. Es hebt sich von den anderen Untersuchungsgebieten der Delphi-Umfrage ab und wird der Natur der Sache gemäß weit überwiegend von reinen Forschungsfragen beherrscht. Die Schnittstellen zur wirtschaftlichen Praxis sind nur in geringem Umfang im Visier. Dies liegt in der vollen Absicht der Umfrage und ermöglicht, genauer als an anderen Stellen dieses Berichts auf Unterschiede im Antwortverhalten von Grundlagenforschern und Wirtschaftspraktikern zu achten.

Die Spannweite des Themenfeldes mit nur 50 Thesen mag enger erscheinen als andere Themenfelder dieser Umfrage. Aus der Binnensicht der Wissenschaftssystematik heraus erscheint das Themenfeld allerdings als sehr groß und mehrere Disziplinen übergreifend. Es geht um die Astronomie, aber auch um Experimente auf unserer Erde (Geoexperimente), es geht sowohl um Elementarteilchen und Kernstrukturen als Erkenntnisziel, als auch um den Einsatz der Großgeräte (Neutronen- und Synchrotronquellen, Hochfeldlabore, Hochleistungslaser und Beschleuniger) als Hilfsmittel für "kleine" Forschung in der Festkörperphysik, den Materialwissenschaften, der Chemie, der Biologie oder der Medizin. Mit der Kernfusion wird ein politisch umstrittenes Gebiet einbezogen. Daß Großexperimente aller Art nicht ohne ausgefeilte Meß- und Nachweisteknik durchgeführt werden können, macht einen weiteren Gegenstand der Befragung aus. Die Auswertung solcher Experimente erfordert Groß- und Größt-Computer sowie Computersimulationen, so daß auch das Forschungsgebiet der "Computational Science" einbezogen ist.

Innerhalb der wissenschaftlichen "Communities" ist durchaus ein verhaltener kritischer Dialog über den Sinn und den Stellenwert der Großforschung festzustellen - so auch bei den Fachleuten, die geholfen haben, den Delphi-Thesenkatalog vorzubereiten. Gäbe es unbegrenzte Forschungsmittel, würde wohl niemand die Großgeräteforschung in Frage stellen. Da aber wenige "große" Beträge in Konkurrenz mit vielen "kleinen" stehen, stellt sich die Wissenschaft die Frage nach den Prioritäten und damit nach den Posterioritäten. In dem Themenfeld wurde versucht, ein ausgewogenes Verhältnis der etwas widerstrebenden Fachinteressen herzustellen, indem neben Themenblöcken zu den Großexperimenten um ihrer selbst willen (erkenntnisorientiert) der Einsatz von Großgeräten als Hilfsmittel für andere Forschung mit deutlichem Akzent enthalten ist.

Im Quervergleich der Themenfelder ist festzustellen, daß mit fast 40 % der Anteil an Grundlagenfragen höher ist als in irgendeinem der anderen Themengebiete. Etwa die gleiche Anzahl von Fragen widmet sich der technischen Entwicklung, also z. B. der Erstellung von Prototypen. Nur etwas mehr als 20 % der Thesen behandeln die Anwendung von Technologien - und zwar überwiegend erste Anwendungen, nicht

eine weite Verbreitung. Das Themenfeld setzt also einen deutlichen wissenschaftlich-technologischen Akzent.

### **Wer sind die Befragten?**

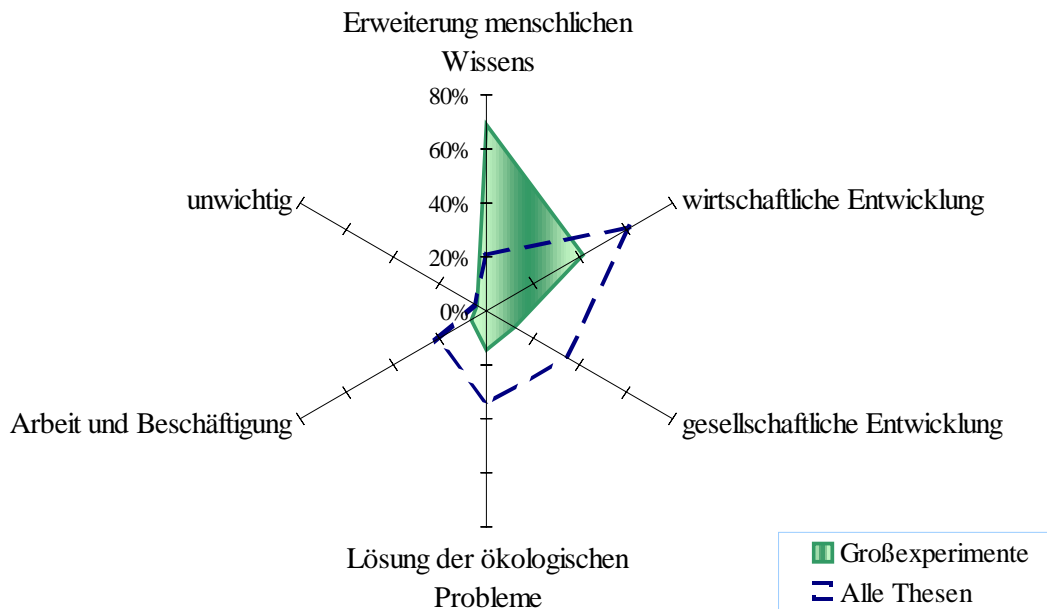
Trotz der Grundlagenorientierung gingen mehr als 40 % der Antworten in diesem Themenfeld aus Unternehmen der Privatwirtschaft ein. Der öffentliche Bereich trägt mit 55 % zu den Antworten bei. Die meisten dieser Experten stammen aus Hochschulen oder aus Forschungseinrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft. Der Anteil der Experten aus der Wirtschaft ist im Themenfeld "Großexperimente" nicht niedriger als in anderen Themenfeldern. Wie ist dies zu interpretieren? Laborgeräte für die Großgerätforschung werden von interessierten Industriebetrieben mitunter als Einzelstücke hergestellt. Sie dienen nicht nur der Durchführung raffinierter Experimente, sondern heben den technischen Kenntnisstand des Hersteller-Unternehmens über das gerade am Markt absetzbare Maß an. Wissenschaftsforscher sprechen von der "Forschungstechnik" und dem "Apparatebezug der Theorien". Die Grundlagenforschung beeinflusst also nicht nur die angewandte F&E; zumindest über die Instrumentierung von Großgeräten gibt es durchaus ein praktisches Interesse der Wirtschaft am Fortgang der Großexperimente.

Das rege Interesse der Wirtschaft an der Großgerätforschung ist beachtlich und anerkennenswert. Allerdings haben die Wirtschaftsvertreter eine deutlich geringere Sachkenntnis auf diesem Gebiet als die Wissenschaftler. Die Experten mit der größten Fachkenntnis stammen aus den Hochschulen und den privaten gemeinnützigen Forschungseinrichtungen (im wesentlichen Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft). Eine relativ hohe Fachkunde der Experten aus der Wirtschaft findet sich im Bereich der Instrumentierung - was die obige Interpretation bestätigt.

### **Wofür ist das Themenfeld "Großexperimente" wichtig?**

Vor dem strukturellen Hintergrund des Themenfeldes überrascht es nicht, daß die Einschätzung der wirtschaftlichen Bedeutung geringer ausfällt als in anderen Fachgebieten der Delphi-Untersuchung. Noch geringer als die Wirtschaftsrelevanz wird allerdings die Wichtigkeit der Großgerätforschung für die gesellschaftliche Entwicklung sowie für Arbeit und Beschäftigung eingeschätzt. Übertrendend ist der erwartete Beitrag zur Erweiterung unseres Wissens, also zum Erkenntnisfortschritt. Keinem anderen Themenfeld wird in dieser Hinsicht von den Experten eine so hohe Bedeutung zugemessen. Das scharfe Profil in den verschiedenen Wichtigkeitsdimensionen ist in Bild 26 skizziert.

Bild 26: Wofür sind die Innovationen des Themenfeldes "Großexperimente" wichtig?



Den größten Erkenntnisfortschritt erwarten die Fachleute von der Lösung des *Problems der dunklen Materie im Universum* - eine der wichtigsten Fragen der modernen Astronomie. Auch auf den nächsten beiden Plätzen folgen Themen aus der Astronomie: Der *experimentelle Nachweis der Gravitationswellen* sowie die *Aufklärung der Ursache der Verletzung der Symmetrieprinzipien*. Die Lösung des *Problems der dunklen Materie im Universum* könnte im zweiten Jahrzehnt des nächsten Jahrhunderts gelingen, ebenso wie der *experimentelle Nachweis der Gravitationswellen*. Die Streubreiten der vermuteten Realisierungszeiträume sind jedoch in beiden Fällen groß.

Im Durchschnitt sind die Thesen des Themenblocks "Großexperimente" wirtschaftlich von geringerer Bedeutung. Dennoch gibt es einzelne Thesen, denen eine relativ hohe wirtschaftliche Relevanz zukommt. Ein Beispiel dafür ist ein *Fusionsreaktor*, dessen Realisierung allerdings höchst ungewiß ist und den Experten nicht vor dem Jahr 2025 möglich erscheint. (Die Streubreite bei dieser Schätzung ist sehr klein!) Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Innovation kommt somit wohl auch in der nächsten Menschengeneration noch nicht zum Tragen. An zweiter Stelle bezüglich der wirtschaftlichen Relevanz und der Bedeutung für den Arbeitsmarkt werden *Hochfeldmagnete auf der Basis der Hochtemperatur-Supraleitung* genannt. Bei diesem Thema kommen eine relativ frühe Realisierung (Median 2011) und eine geringe statistische Unsicherheit bei der Schätzung des zeitlichen Rahmens zusammen. In ökologischer Hinsicht werden die *Hallen zur Simulation des Klimas* sowie *geowissenschaftliche Untersuchungen zu den Wechselwirkungen der Ozeane mit*

*der Atmosphäre* als besonders relevant eingeschätzt. In beiden Fällen steht die Hoffnung auf eine Linderung der globalen atmosphärischen Bedrohungen dem Ziel eines reinen Erkenntnisgewinns zur Seite.

### **Wann werden die Thesen Realität?**

Der stark grundlagenorientierte Charakter des Themenfelds "Großexperimente" äußert sich in einer großen Unsicherheit in zeitlicher Hinsicht. Die Spannweite in der Verteilung der Einschätzungen für den Zeitraum einer Realisierung ist nur im Energiebereich noch größer, in allen anderen Untersuchungsgebieten der Delphi-Studie aber wesentlich kleiner. Im Mittel liegen die Realisierungszeiträume um fünf Jahre weiter in der Zukunft als im Durchschnitt der Delphi-Umfrage. Die meisten Einzelthemen fallen in das Jahrfünft von 2011-2015, während die entsprechende Häufung in der gesamten Delphi-Befragung zwischen 2006 und 2010 liegt. Nur ein einziges Thema (die *Entwicklung von Neutrino-Detektoren*) erscheint bereits um das Jahr 2005 realistisch.

Was sind die Utopien des Themenfeldes - diejenigen Visionen, die sich voraussichtlich nicht bis 2025 und vielleicht sogar nie realisieren lassen? Die Antwort fällt eindeutig aus: Die Thesen zur *Fusionsforschung. Am wenigsten Chancen auf eine Verwirklichung räumen die Experten einer Klärung der Frage ein, in welchem Maße Myonen-Fusionsreaktoren zur Energieerzeugung bzw. als Neutronenquelle nützlich sind.* Fast 30 % glauben nicht an die Lösbarkeit dieser Aufgabe. Ebenfalls sehr viele Skeptiker gibt es bei der Frage, ob sich die besonderen *Sicherheitseigenschaften eines Fusionskraftwerks nachweisen* lassen. Selbst eine wissenschaftliche Entscheidung, ob die *Trägheitsfusion mittels Schwerionenstrahlen* zur Energieerzeugung anwendbar ist, wird für nicht realistisch gehalten. Darüber hinaus äußern die Fachleute prinzipielle Einwände und halten z. B. *eine Grundlastversorgung mit Elektrizität durch Fusionskraftwerke* in den nächsten 50 Jahren für unwahrscheinlich bzw. verweisen auf die stets negative Energiebilanz und somit auf die Sinnlosigkeit der Entwicklung eines Fusionsreaktors.

Auf der Liste der als utopisch eingeordneten Thesen steht ferner *die Herstellung eines Positronenmikroskops* und der Wunschtraum von *Forschungsreaktoren, die ausschließlich mit nicht waffentauglichem Uran betrieben werden.* Diese beiden Themen betrachten die Experten zugleich als unwichtig. Die politische Dimension der letztgenannten Vision kommt in den Kommentaren einiger Fachleute zum Ausdruck. Darin wird z.B. auf den in Bau befindlichen Münchner Forschungsreaktor und damit auf aktuelle politische Auseinandersetzungen verwiesen. Möglicherweise hat diese mehr als Zukunftsüberlegungen die Antworten beeinflusst. Andere Experten erklären das Thema des *Brennstoffs von Forschungsreaktoren* zur "unwissenschaftlichen Frage".

## **Wo steht Deutschlands Großgeräteforschung?**

Die deutschen Experten erteilen der Großgeräteforschung im eigenen Land gute Noten: Mehr als 30 % sehen Deutschland auf diesem Themenfeld nach den USA an zweiter Stelle und schätzen auch andere EU-Länder noch höher als Japan ein. In der parallelen Delphi-Befragung in Japan wird dies nicht bestätigt. Die dortigen Experten sehen das Verhältnis zwischen Japan und Europa in der Großgeräteforschung genau umgekehrt. Das Themengebiet ist hochgradig internationalisiert, jedenfalls europäisiert, denn mehr als 60 % aller Befragten können einen nationalen Forschungsstand nicht mehr ausmachen, sondern verweisen auf grenzüberschreitende Gemeinsamkeit. Besonders deutlich wird dies bei der Fusionsforschung: Sie ist fast vollständig internationalisiert. Auch die Elementarteilchen- und Kernstrukturforschung sowie der Bereich der Großgeräte als Hilfsmittel werden unter einem internationalen Blickwinkel beurteilt. Dagegen gelten F&E auf den Gebieten der Computational Science und der Astronomie als noch eher national geprägt. Andere Länder der Europäischen Union werden von den deutschen Experten im Bereich der Geoexperimente und der Computational Science als besonders schwach eingestuft, Japan im Bereich der Astronomie und der Kern- und Elementarteilchenphysik. Als besonders klar dominierend gelten die USA bei Astronomie und der Computational Science.

## **Was ist zu tun?**

Aus der Delphi-Befragung ergeben sich Hinweise auf Engpässe im Bereich der Wissenschafts- und Technologiepolitik im weiteren Sinne. Die mit Abstand häufigste Nennung betrifft die "Internationale Kooperation" bzw. deren Fortsetzung und Ausweitung. Viele Großexperimente sind im nationalen Alleingang kaum mehr vorstellbar. An zweiter Stelle wird eine Verbesserung der F&E-Infrastruktur sowie die Förderung durch Drittmittel genannt. Dies kommt angesichts der Diskussion, ob in Deutschland nicht eher zuviel als zuwenig Großforschung betrieben wird, doch etwas überraschend. Die Großgeräteforschung wird es schwer haben, Gewinne aus Lizenzeinnahmen sowie Know-how-Verträgen und dergleichen aufzubringen, weil keine unmittelbaren wirtschaftlichen Vorteile erwartet werden, so daß kommerzielle Geldquellen weitgehend ausfallen. Die Drittmittelförderung ist somit neben der institutionellen Förderung besonders wichtig.

Ein höchst interessanter Aspekt ist die Verbesserung des Personalaustausches zwischen Wirtschaft und Wissenschaft. Verbesserungen des Personaltransfers fordern vor allem Beschäftigte der Industrie und weniger die Wissenschaftler in der Großforschung selbst. So betonen nicht einmal 7 % der befragten Forscher in staatlichen Institutionen, aber fast 14 % der Industrievertreter die Notwendigkeit eines verbesserten Personaltransfers. Auch dies deutet darauf hin, daß aus Sicht der Wirtschaft ein bedeutendes Know-how-Potential vorhanden ist, das offenbar im Bereich der öffentlichen Forschungseinrichtungen noch nicht ausreichend erkannt worden ist.

## Welche Folgeprobleme könnten auftreten?

Mancher technikkritische Bürger leugnet zwar nicht den Beitrag der Technik zur Lösung vieler Probleme der Menschheit, verweist aber gleichzeitig auf ihre Janusköpfigkeit: Mit der Beseitigung heutiger Engpässe werden zugleich neue Probleme aufgeworfen. Das Themenfeld "Großexperimente" ist jedoch generell hinsichtlich möglicher Folgeprobleme relativ "unauffällig" - wie sollte es bei eher erkenntnisorientierter Forschung auch anders sein?

### **Schlaglicht: Wissenserweiterung durch Großexperimente wird noch internationaler werden**

Diese insgesamt geringe Furcht vor Folgeproblemen ist auf wenige Fragen konzentriert. So werden die meisten Umweltprobleme im Bereich der Computational Science vermutet, weil sowohl die Chipherstellung als auch die Entsorgung von Computern ökologische Dimensionen hat. In dieser Hinsicht betrachten die Experten auch Geoexperimente sowie die Kernfusion mit Skepsis.

Die Delphi-Umfrage im Themenbereich "Großexperimente" enthält trotz der Verschiedenartigkeit der Einzelthesen eine Reihe von hochakzentuierten Hinweisen auf laufende Trends. Die Forschung auf den hier zusammengefaßten Themengebieten ist bereits hochgradig europäisiert, also grenzüberschreitend angelegt; ein nationaler Forschungsstand kann in der Kernfusions-, Kernstruktur- und Elementarteilchenforschung sowie bei den Großgeräten für Anwender nicht mehr ausgemacht werden. Das über die unmittelbare Anwendungsorientierung der Forschungsergebnisse hinausgehende Interesse der Wirtschaft an dieser Art Forschung steht unzweideutig fest. Damit wird auch die institutionelle Grenze zwischen Wissenschaft, Großforschung und Wirtschaft durchlässiger.

Ein verbesserter Personalaustausch zwischen Wirtschaft und Wissenschaft wird bei den anwendungsorientierten Visionen gefordert, zum Beispiel bei *Schwerionen-Beschleunigungsanlagen mit breitem Serviceangebot*, bei *Hochfeldmagneten auf Hochtemperatur-Supraleitungsbasis* oder beim Einsatz von *Beschleunigern zum klinischen Bestrahlen tiefliegender Tumore*. Eine Verbesserung der F&E-Infrastruktur wünschen die Fachleute bei *Beschleunigern zum Betreiben subkritischer Kernkraftwerke* und zur *Verbrennung von radioaktivem Abfall* sowie wiederum für die *Schwerionen-Beschleunigeranlagen mit breitem Serviceangebot* und die *Hochfeldmagnete*. Die Mehrfachnennung verschiedener technologiepolitischer Maßnahmen fällt bei vielen Thesen auf. So werden beim *Einsatz von Schwerionenbeschleunigern zur Tumorbehandlung* von den meisten Experten auch mehr Drittmittel eingefordert, bei *Beschleunigern zum Betreiben subkritischer Kernkraftwerke* und zur *Verbrennung von radioaktivem Abfall* mahnen sehr viele von ihnen eine Regulationsänderung als Voraussetzung für eine Verwirklichung an. Zu wünschen wäre, daß das institutionenübergreifende Kooperationspotential bei der Großfor-

schung auch auf der Seite der öffentlichen Forschungsinstitute erkannt und stärker genutzt wird.

## Wie jeder die Daten des Materialbandes für sich nutzen kann

Die in diesem Band gezeigten Auswertungen und Beispiele geben nur einen Überblick über das, was mit den Ergebnissen im einzelnen analysiert werden kann. Die eigentliche Befragung war erst der Startschuß für eine Auseinandersetzung mit den Einschätzungen der Experten.

Die Delphi-Ergebnisse können für viele Zwecke nützlich sein. Jedes Unternehmen, jede Fakultät einer Hochschule, jede gesellschaftliche Gruppe, aber auch jede Privatperson kann sich anhand des Datenbandes heraussuchen, welche Thesen jeweils von Bedeutung sind. Die Detailergebnisse allein sind bereits eine Informationsquelle.

In einem zweiten Schritt können diese individuell interessierenden Themen zu einem individuellen Bild zusammengeführt werden - ein persönliches Themenfeld sozusagen. Mit Hilfe der Daten kann ausgewertet werden, wann dieses Gebiet sich weiterentwickelt, wofür es wichtig ist, welche Maßnahmen ergriffen werden können usw. Interessiere ich mich beispielsweise für die Gentechnik, schaue ich nicht nur in den Teil "Landwirtschaft und Ernährung", sondern auch bei "Gesundheit und Lebensprozesse", möglicherweise sogar bei "Umwelt und Natur". Ein Index der untergliederten Themenfelder ist dem Methoden- und Datenband beigefügt worden. Aus diesem Datenteil kann ich ablesen, wann die einzelnen Themen realisiert werden können. Daraus läßt sich entweder ein Mittelwert bilden oder beispielsweise die Thesen zu AIDS in einem einfachen Szenario auflisten (exemplarisches Beispiel siehe Kasten).

### **Erste Stufe des Szenarios: Krankheitsverlauf in hochentwickelten Ländern stoppen**

2005 bis 2011: *Eine AIDS-Therapie wird klinisch eingesetzt, mit der der Verlauf der Krankheit in einem frühen Stadium wirksam gestoppt werden kann und bei der die Langzeitfolgen beherrschbar sind.*

### **Zweite Stufe des Szenarios: Gegen Krankheitsausbruch in der ganzen Welt impfen!**

2010 bis 2019: *Wirksame Impfstoffe gegen das HIV, den Erreger von AIDS, werden in den besonders von AIDS betroffenen Entwicklungsländern breit eingesetzt.*

Aber auch organisatorische Entwicklungen wie die Zukunft der Entlohnungssysteme können in ihren verschiedenen Dimensionen über einen längeren Zeithorizont nachgezeichnet werden.



- 2002 bis 2008: *Aufgrund eines geänderten betrieblichen Rechnungswesens ist für den aus dem Arbeitsergebnis orientierten Lohnanteil nicht mehr nur die Individualleistung maßgeblich, sondern die Gruppenleistung bzw. das Betriebsergebnis insgesamt.*
- 2003 bis 2010: *Es werden objektivierte Berechnungsschlüssel angewendet, nach denen für den aus den am Arbeitsergebnis bestimmten Lohnanteil nicht mehr quantitative, sondern qualitative Faktoren (Termin-treue, Fehler etc.) maßgeblich sind.*
- 2003 bis 2010: *Die Mehrheit der Unternehmen entlohnt leistungsbezogen mit Unternehmens-Anteilscheinen (Aktien), weil es sich als motivations- und damit produktivitätserhöhend herausgestellt hat.*
- 2007 bis 2014: *Aufgrund anwendbarer Erkenntnisse der Motivationsforschung ist die Grundlage für die Entlohnung aller Beschäftigter zu jeweils 50% die Arbeitszeit (gewichtet mit der Anforderungshöhe) und das Arbeitsergebnis.*

Ich kann auch ablesen, welchem Land auf einem bestimmten Gebiet eine Führungsposition zugebilligt wird. Dies gibt Hinweise auf die Fragen: Wo ist meine Konkurrenz? Auf welches Land muß ich achten? Sollte ich vielleicht Kontakt mit Unternehmen dieses Landes aufnehmen? Oder muß ich bestimmte Unternehmen gesondert im Auge behalten? Wo finde ich andere Kooperationspartner?

Die Gewichtung der vorgeschlagenen Maßnahmen durch die Experten gibt zum einen den Verantwortlichen in der Politik Hinweise auf nachgefragte Fördermaßnahmen und zum anderen den Führungskräften in den Unternehmen sowie den Hochschulen und öffentlichen Forschungseinrichtungen grundsätzliche Vorschläge für zukünftige Strategien.

Schließlich kann frühzeitig auf die entsprechenden (Akzeptanz-) Probleme bei der Produktentwicklung eingegangen werden, wenn bereits jetzt Befürchtungen hinsichtlich möglicher Folgeprobleme geäußert werden.

Am besten: Sie probieren es aus.