

TECHNIK, WIRTSCHAFT und POLITIK 3

Schriftenreihe des Fraunhofer-Instituts
für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)



Hariolf Grupp (Hrsg.)

Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts

Zweite Auflage

Mit 49 Abbildungen

Physica-Verlag

Ein Unternehmen des Springer-Verlags

Dr. Hariolf Grupp
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik
und Innovationsforschung (ISI)
Breslauer Str. 48
D-76139 Karlsruhe

ISBN-13: 978-3-7908-0862-9
DOI: 10.1007/978-3-642-46976-3

e-ISBN-13: 978-3-642-46976-3

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts Hariolf Grupp (Hrsg.). –
2. Aufl. – Heidelberg: Physica-Verl., 1995
(Technik, Wirtschaft und Politik; 3)

NE: Grupp, Hariolf [Hrsg.]; GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendungen, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Physica-Verlag Heidelberg 1993, 1995

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

88/2202-5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort zur 2. Auflage

Als sich im Spätherbst 1991 die Vertreter einiger Institute im damaligen Bundesministerium für Forschung und Technologie (heute: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie) versammelten, um ein Konzept für eine Studie über Zukunftsgebiete neuer Technologien in der Bundesrepublik Deutschland zu entwickeln, war nicht abzusehen, was einmal daraus werden sollte. Es bestand zwar Einvernehmen, daß die Ergebnisse ausländischer Studien, vor allem aus den USA und Japan, nicht ungeprüft für die Bundesrepublik übernommen werden können. Was aber dem entgegenzusetzen sei bzw. besser gemacht werden könnte, war noch nicht deutlich.

Das Wagnis wurde begonnen und das Bundesministerium beauftragte eine Arbeitsgemeinschaft mit der Durchführung einer entsprechenden Zukunftsstudie, die (damals!) etwa zehn Jahre vorausdenken sollte: Die Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts sollte skizziert werden.

Mir fiel die schwierige aber auch reizvolle Aufgabe zu, das Projekt zu leiten und die Arbeiten einer großen Gruppe von Wissenschaftlern aus meinem eigenen Institut, dem Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe, sowie von sechs Projektträgern des Ministeriums und der DECHEMA zu koordinieren. Nach etwa einjährigen Arbeiten an verschiedenen Orten und mit Verständigungsschwierigkeiten zwischen den Disziplinen, zahlreichen Klausursitzungen und einem erheblichen Verbrauch von Faksimile-Papier ist schließlich ein achtbares Ergebnis herausgekommen. Es wurde im April 1993 auf einer großen Tagung in Bonn der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Die Ergebnisse unserer mittelfristigen Technikvorausschau haben auch wegen der neuentwickelten Methoden Beachtung gefunden und sind in die praktische Politik des Ministeriums eingeflossen; sie wurden als Band 3 der Schriftenreihe "Technik, Wirtschaft und Politik" im Sommer 1993 der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht und sind von jedem im Buchhandel zu beziehen. Eine Kurzfassung wurde in das Englische übersetzt und hat auch im Ausland große Verbreitung gefunden. Soweit, so gut.

Was die Verfasser und das Ministerium nicht ahnen konnten, waren die große Resonanz in einer breiteren Öffentlichkeit, eine Fülle von umfangreichen und wohlwollenden Presseberichten und eine große Nachfrage nach dem Buch, die bei Büchern mit technisch komplizierten Sachverhalten normalerweise eher nicht besteht. Bereits bis November 1993 hatten sich auf meinem Schreibtisch mehr als 40 Seiten mit Auszügen aus Presseberichten angehäuft; der Physica-Verlag mußte einen Nachdruck veranlassen. Noch immer glaubten wir aber an ein kurzfristiges Feuerwerk. Auch diese Annahme war falsch: Die konstante

Nachfrage nach verlässlichen Informationen über die mutmaßliche Entwicklung der Technik bis zum Jahr 2000 hielt auch im folgenden Jahr an. Das Thema scheint weiterhin aktuell zu sein.

Ich freue mich daher sehr, die zweite, unveränderte Auflage vorlegen zu können. Mittlerweile haben wir von der Zehnjahresstrecke, die es damals vorauszudenken galt, fast die Hälfte durchschritten. Es wäre naheliegend gewesen, den Band inhaltlich zu überarbeiten und neueste Erkenntnisse einzubeziehen. Wir haben dieser Versuchung widerstanden und von einem Flickwerk am ursprünglichen Text Abstand genommen. Die Verfasser halten ihre 1992 nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitete Vorausschau in ihren Kernaussagen aufrecht und geben den Leserinnen und Lesern die Möglichkeit, die Qualität der Aussagen über die Zukunft an der Realität zu überprüfen.

Die Studie identifiziert Entwicklungslinien in ganz unterschiedlichen Reifungsphasen: Es werden technische Lösungen beschrieben, die im Jahr 2000 bereits die Märkte durchdringen werden, aber auch solche, die heute noch im Stadium der Grundlagenforschung sind, den großen Entwicklungssprung vor sich haben und ihr volles wirtschaftliches Potential erst nach der Jahrtausendwende entfalten können. Ursprünglich war es ein Selektionskriterium, diejenigen "kritischen" Technologiebereiche auszuwählen, die unmittelbar um die oder gleich nach der Jahrhundertwende gesellschaftlich oder ökonomisch relevant werden. Diese ursprüngliche Annahme hat sich als naiv herausgestellt, ist aber gleichwohl weit verbreitet. Ein solches Abschneidekriterium wird man nie operationalisieren können. Die Leitvorstellung, am Silvesterabend 1999, an der Jahrhundert- und der Jahrtausendwende, einen Blick auf die neue Technologie werfen zu können, muß enttäuscht werden. Das zeitliche Kriterium zerfließt. Wir fanden mit dieser Studie heraus, daß die Technik bis zum Jahr 2000 zwar insgesamt gesellschaftlich und wirtschaftlich relevant wird, sich aber keine zeitliche Einordnung nach der Schwarz-Weiß-Schablone vornehmen läßt.

Einige Themenbereiche kommen in den nächsten Jahren "nicht voran". Dies ist kein negatives Relevanzkriterium, denn viele Gebiete entwickelten sich in den letzten Jahren und wohl auch in Zukunft sprunghaft und haben nicht in jeder Phase ihrer Entwicklung bedeutende Fortschritte zu verzeichnen. Sie sind deshalb aber nicht unwichtig. Andere haben in den nächsten Jahren einen großen Entwicklungssprung vor sich. Der Hinweis auf viele technische Bereiche, deren Einschätzung sich in zeitlicher Hinsicht in den nächsten Jahren besonders stark ändern dürfte, stellt aber ein Signal dar, daß Gestaltungsbedarf gerade in den vor uns liegenden Jahren besteht. Immer dann, wenn sich sprunghafte Entwicklungen ergeben, stellt sich die Frage nach einer genaueren Technikbeobachtung. Der Silvesterabend des Jahres 1999 ist jedenfalls - technologisch betrachtet - ein Nicht-Ereignis.

Wie mir Fachjournalisten im persönlichen Gespräch sagten, sehen sie einen wichtigen Grund für das unerwartet große Interesse an diesem Buch. In Deutschland gibt es eine Technikdebatte, manche bezeichnen sie als Technikfeindlichkeit, die sehr stark dogmatische Züge hat. Man ist entweder ganz dafür oder ganz dagegen und dies jeweils aus hohen moralischen Gründen. Man denke an Atomenergie, Gentechnik, Verkehr und Straßenbau, Müllverbrennung, Chemiestandorte usw. Da die Folgen der Technik nur sehr schwer einzuschätzen sind und bis heute viele komplizierte Kausalketten nicht durchschaut werden, sind rigorose Standpunkte verständlich. Die Journalisten sagen, die detaillierte Auseinandersetzung mit neuer Technik in diesem Band wird in dieser Diskussion als Hilfe empfunden, sich die möglichen Entwicklungen besser vorstellen zu können. Jede Techniklinie wird beschrieben, ihre wichtigsten Anwendungen werden dargestellt und ihre denkbaren Lösungsbeiträge etwa für die Umweltentlastung oder die Gesundheit werden skizziert. Damit wird vielen Leserinnen und Lesern die Unterscheidung in gewünschte und weniger gewünschte Technik erleichtert und werden pauschale Urteile aufgelöst.

Ich möchte an dieser Stelle noch einmal denjenigen Personen danken, die das Zustandekommen dieser Studie ermöglicht haben. Dies sind im ehemaligen Bundesministerium für Forschung und Technologie die Herren Dr. Gries, Dr. Dr. Uhl, Dr. Salz und Dr. Stöffler. Die Verantwortlichen und die Mitwirkenden bei den beteiligten Institutionen sind im Impressum erwähnt. Ihnen allen gilt mein besonderer Dank. Darin eingeschlossen sind insbesondere die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am ISI, von denen ich nur Sibylle Breiner namentlich erwähnen will, die neben der inhaltlichen Mitarbeit die Organisation des Projekts in festen Händen hielt, und insbesondere unsere unermüdlichen Sekretärinnen, allen voran Frau Geibel und Frau Silbereis. Dem Physica-Verlag sei für sein Engagement, eine zweite Auflage herauszubringen, gedankt.

Dr. Hariolf Grupp,
Abteilungsleiter am
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik
und Innovationsforschung (ISI)

Karlsruhe, im Januar 1995

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1	Grundsätzliche Erwägungen zur Technikbeobachtung und -vorausschau und Auftrag	1
2	Was kann man von ausländischen Studien lernen?	5
3	Vorgehensweise	15
4	Wie gliedert sich die Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts?	25
4.1	Zusammenwirken oder Auseinanderstreben der Technologie?	25
4.2	Gliederung und Überblick über die Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts. Oder: Schwierigkeiten bei der Einteilung des Kontinuums	31
4.3	Zeithorizonte und Sicherheit der Aussagen	36
5	Bemerkenswerte Entwicklungslinien	45
5.1	Neue Werkstoffe	45
5.2	Nanotechnologie	65
5.3	Mikroelektronik	70
5.4	Photonik	77
5.5	Mikrosystemtechnik	91
5.6	Software & Simulation	98
5.7	Molekularelektronik	109
5.8	Zell-Biotechnologie	118
5.9	Produktions- & Managementtechnik	133
5.10	Bedingungen und Voraussetzungen für technische Anwendungen in Problemgebieten des 21. Jahrhunderts	139
6	Bewertung der Technologie am Beginn des 21. Jahrhunderts	157
6.1	FuE-Infrastruktur	160
6.2	Entwicklungsrisiken	163
6.3	Humankapital	166

	Seite
6.4	Innovationsaufwand 169
6.5	Engagement der Wirtschaft 171
6.6	Nationale Wettbewerbsposition 174
6.7	Öffentliche Förderung 177
6.8	Internationale Arbeitsteilung 180
6.9	Schlüsselcharakter 183
6.10	Durchdringung 185
6.11	Wirtschaftsstruktur 189
6.12	Marktgröße und Wettbewerbsfähigkeit 192
6.13	Standort Europa 195
6.14	Weltwirtschaftliche Abhängigkeit 198
6.15	Gesundheit 201
6.16	Sozialer Fortschritt 204
6.17	Umweltentlastung 207
7	Ausblick auf die Forschungs- und Technologiepolitik im 21. Jahrhundert 213
7.1	Aspekte der Technologiepolitik bis zum Beginn des 21. Jahrhunderts . . . 214
7.2	Langfristige Technologieleitprojekte und ihre technologiepolitische Bedeutung 220
8	Was ist jetzt zu tun? Handlungsorientierte Zusammenfassung 237
	Verzeichnis der zitierten Quellen 255
Anhang:	Technologieprofile 259
	Alphabetisches Verzeichnis der verwendeten Kürzel 265

Impressum

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) von einer Arbeitsgemeinschaft erstellt. Das BMFT war an der Abfassung der Aufgabenstellung und der wesentlichen Randbedingungen beteiligt. Das BMFT hat das Ergebnis nicht beeinflusst; die Auftragnehmer tragen allein die Verantwortung. Seitens des BMFT wurde das Projekt vom Referat "Grundsatzfragen der Informationstechnik" in Verbindung mit dem Referat "Grundsatzfragen der Forschungs- und Technologiepolitik; Planung" betreut.

Die Projektgruppe besteht aus dem

FhG-ISI (Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, Ansprechpartner: Dr. H. Grupp) als Systemführer und Hauptauftragnehmer

in Verbindung mit (alphabetisch)

BEO (Projektträger Biologie, Energie, Ökologie, Jülich, Ansprechpartner: Dr. Hache, Dr. Wehner)

DECHEMA e. V. (Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen, chemische Technik und Biotechnologie, Frankfurt, Ansprechpartner: Dr. Wagemann)

PFT (Projektträger Fertigungstechnik und Qualitätssicherung, Karlsruhe, Ansprechpartner: Dr.-Ing. Mikosch)

PLR (Projektträger Material- und Rohstoffforschung, Jülich, Ansprechpartner: Dr.-Ing. Prasse)

PT-IT (Projektträger Informationstechnik, Köln und Berlin, Ansprechpartner: Dr. Bösch, Prof. Dr.-Ing. Werrmann, Dr.-Ing. Wolf)

VDI/VDE-IT (Technologiezentrum Informationstechnik, Berlin, Ansprechpartner: Dr. Stransfeld)

VDI-TZ (VDI-Technologiezentrum Physikalische Technologien, Düsseldorf, Ansprechpartner: Dr. Zweck).

Mitarbeiter

Bachmann	Dipl.-Phys.	Meier-Engelen	Dipl.-Ing.
Behrens	Dipl.-Soz.	Meyer-Krahmer	Dr.-habil.
Biesner	Dr.	Mikosch	Dr.-Ing.
Bothe	Dr.	Moor, von der	Dipl.-Phys.
Brasche	Dr.	Neumann	Dr.
Breiner	Dipl.-Oec.	Otte	Dr.-Ing.
Bremer	Dr.	Peter	Dr.
Dietrich	Dr.	Peters	Dr.
Dietz	Dr.	Peiffer	Dr.
Döhl-Oelze	Dr.	Prasse	Dr.-Ing.
Eickenbusch	Dr.	Rathjen	Dr.-Ing.
Faul	Dipl.-Ing.	Reese	Dr.
Frühlingsdorf	Dr.	Reichel	Prof. Dr.
Glück	Dr.	Reiß	Dr.
Groß	Dipl.-Ing.	Ruebesam	Dipl.-Ing.
Grothe	Dr.	Schlemmer	Dr.
Grupp	Dr.	Schmoch	Dr.
Günther	Dr.	Schröer	Dr.
Haag	Dipl.-Ing.	Schuppe	Dr.
Hache	Dr.	Seitz	Dr.
Harmsen	Dr.	Siakkou	Dr.
Harth	Dipl.-Ing.	Stransfeld	Dr.
Hennrich	Dipl.-Ing.	Sturm	Dr.
Herrminghaus	Dr.	Thönneßen	Dr.
Herzog	Dipl.-Phys.	Tünger	Dr.
Heyn	Dr.	Valldorf	Dr.
Hinze	Dipl.-Wiss. Org.	Wagemann	Dr.
Kellner	Dipl.-Math.	Warmer	Dr.
Kirstein	Dipl.-Ing.	Wehner	Dr.
Köhler	Dipl.-Ing.	Werrmann	Prof. Dr.-Ing.
Kuhlmann	Dr.	Wilbert	Dr.
Kurze		Wolf	Dr.
Langefeld	Dr.	Wolf	Dr.-Ing.
Maly	Dr.	Zweck	Dr.
Mann	Dr.		