

ISBN 3-88314-231-X

# **Forschungsbericht 85**

BUNDESANSTALT FÜR  
MATERIALPRÜFUNG (BAM)

BERLIN

**Technische Materialforschung und -prüfung  
— Entwicklungstendenzen und  
Rahmenvorschläge für ein EG-Programm  
“Basic Technological Research“ —**

**Materials Research and Testing  
— Development Trends and Outline  
Proposals for a Community Programme  
“Basic Technological Research“ —**

von /by Prof. Dr. Horst Czichos

---

Oktober 1982

40 Seiten, 5 Abbildungen, 5 Tabellen

Studie für die Kommission  
der Europäischen Gemeinschaften (EG)  
Generaldirektion XII — Wissenschaft, Forschung und  
Entwicklung

— April 1982 —

Study prepared for the Commission  
of the European Communities  
Directorate General XII — Research, Science and  
Education

von/by  
Prof. Dr. Horst Czichos  
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)  
Berlin-Dahlem

unter Mitarbeit von/with the collaboration of  
Dr. H.-D. Dannöl  
Beratender Ingenieur/Consultant Engineer  
Leonberg

Die Veröffentlichung der Studie erfolgt mit Zustimmung der  
Kommission der Europäischen Gemeinschaft mit folgendem  
Hinweis:

„Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften übernimmt  
keinerlei Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes“.

Herausgegeben von der  
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45  
Telefon 030/8104-1 Telex 1-083 261 bamb d

Copyright © 1982 by Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1  
Telefon 0471/46093-95



Inhalt	Seite	Contents	Page
<b>1. Die technisch-wirtschaftliche Bedeutung der Materialtechnologie</b>	1	<b>1. The technico-economic importance of materials technology</b>	21
<b>2. Erfordernisse der Materialforschung im EG-Raum</b>	4	<b>2. Materials research requirements in the European Community</b>	24
2.0 Allgemeines	4	2.0 General	24
2.1 Recherche über Forschungserfordernisse	4	2.1 The study of research requirements	24
2.2 Auswertung	4	2.2 Evaluation	24
<b>3. Rahmenvorschläge für prioritäre Förderbereiche</b>	6	<b>3. Outline proposals for priority areas of research</b>	26
3.0 Übersicht	6	3.0 General survey	26
3.1 Qualitäts- und Funktionssicherung technischer Produkte durch Untersuchung und Erfassung von Werkstoff-Schädigungsprozessen	6	3.1 Quality and function assurance for industrial product by investigation and recording of material-deteriorating processes	26
3.1.1 Korrosion	7	3.1.1 Corrosion	27
3.1.2 Verschleiß	7	3.1.2 Wear	27
3.1.3 Ermüdung	8	3.1.3 Fatigue	28
3.1.4 Bruchmechanik	8	3.1.4 Fracture mechanics	28
3.1.5 Biologische Schädigung	9	3.1.5 Biological damage	29
3.2 Innovative Bauteiltechnologien	9	3.2 Innovative component technologies	29
3.2.1 Oberflächentechnik	10	3.2.1 Surface technology	29
3.2.2 Füge­technik	10	3.2.2 Joining technology	30
3.2.3 Pulvermetallurgie	11	3.2.3 Powder metallurgy	30
3.3 Neue Werkstoffe für neue Anforderungen	11	3.3 New materials for new requirements	31
3.3.1 Verbundwerkstoffe	11	3.3.1 Composite materials	31
3.3.2 Leichtbauwerkstoffe	12	3.3.2 Lightweight materials	31
3.3.3 Polymerwerkstoffe mit speziellen Eigenschaften	12	3.3.3 Polymers with special properties	32
3.3.4 Werkstoffe mit speziellen elektrischen, magnetischen und optischen Eigenschaften	13	3.3.4 Materials with special electrical, magnetic and optical properties	32
3.4 Meß-, Prüf- und Beurteilungstechniken für Werkstoffe und technische Produkte	13	3.4 Measurement, testing and evaluation techniques for materials and industrial products	33
3.4.1 Funktionsorientierte Prüfungen für Werkstoff-Schädigungsprozesse	13	3.4.1 Function-related testing for material deterioration processes	33
3.4.2 Zerstörungsfreie Prüfungen	14	3.4.2 Non-destructive testing	33
3.4.3 Rechnergestützte Materialprüfung	14	3.4.3 Computer-aided testing	34
3.4.4 Beanspruchungsermittlung unter Betriebsbedingungen und Lebensdauer-Bestimmungsmethoden	15	3.4.4 Determination of service operating conditions and methods for determining service life	34
<b>4. Schlußbemerkungen</b>	15	<b>4. Concluding remarks</b>	35
<b>5. Literaturhinweise</b>	16	<b>5. References</b>	36
<b>Anhang I: Materialtechnologie und -forschung in den USA</b>	17	<b>Annex I: Materials technology and research in the USA</b>	37
<b>Anhang II: Materialtechnologie und -forschung in Japan</b>	19	<b>Annex II: Materials technology and research in Japan</b>	39



## Zusammenfassung

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag der Kommission der Europäischen Gemeinschaft (EG) als Grundlage für die fachliche Begründung und Budgetierung eines möglichen EG-Förderungsprogramms „Basic Technological Research“ durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es festzustellen, welche Gebiete der Materialforschung und -prüfung von besonderer Bedeutung für die zukünftige technisch-wirtschaftliche Entwicklung sind und gegebenenfalls eine Förderung durch die EG benötigen, damit die europäische Wirtschaft in wichtigen Bereichen der technischen Industrieproduktion wettbewerbsfähig bleibt oder wird. Hierzu wurden im EG-Raum Industrieverbände und technisch-wissenschaftliche Gesellschaften der wesentlichen Wirtschaftszweige um Stellungnahme gebeten sowie Interviews und Befragungen mit Material-Fachleuten aus den EG-Ländern durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, daß der Materialforschung und -prüfung aus der Sicht von Industrie, Hochschulen und Forschungsinstituten ein sehr hoher Stellenwert für die zukünftige technisch-wirtschaftliche Entwicklung zugemessen wird, wobei folgende Gebiete prioritär zu nennen sind:

- I. **Qualitäts- und Funktionssicherung technischer Produkte durch Untersuchung und Erfassung von Werkstoff-Schädigungsprozessen**
  - I.1 Korrosion
  - I.2 Verschleiß
  - I.3 Ermüdung
  - I.4 Bruchmechanik
  - I.5 Biologische Schädigung
- II. **Innovative Bauteiltechnologien**
  - II.1 Oberflächentechnik
  - II.2 Fügetechnik
  - II.3 Pulvermetallurgie
- III. **Neue Werkstoffe für neue Anforderungen**
  - III.1 Verbundwerkstoffe
  - III.2 Leichtbauwerkstoffe
  - III.3 Polymerwerkstoffe mit speziellen Eigenschaften
  - III.4 Werkstoffe mit speziellen elektrischen, magnetischen, optischen Eigenschaften
- IV. **Meß-, Prüf- und Beurteilungstechniken für Werkstoffe und technische Produkte**
  - IV.1 Funktionsorientierte Prüfungen für Werkstoff-Schädigungsprozesse
  - IV.2 Zerstörungsfreie Prüfungen
  - IV.3 Rechnergestützte Materialprüfung (CAT)
  - IV.4 Beanspruchungsermittlung unter Betriebsbedingungen und Lebensdauer-Bestimmungsmethoden

## Summary

This study was prepared at the request of the Commission of the European Communities as a basis for the technical justification and budgeting of a possible Community Programme of „Basic Technological Research“. The aim of the study was to identify the areas of materials research and testing which are of particular importance to future technico-economic development and which may require Community support, in order that European industry can remain or become competitive in key sectors of production. For this purpose, organizations of industry and technical and scientific societies were asked for their views, and interviews and consultations were held with materials experts in the countries of the Community. The results of the study show that, in the view of industry, the universities and research establishments, materials research and testing are of paramount importance to future technico-economic development. It would seem that the following areas should take priority in that respect:

- I. **Quality and function assurance for industrial products by the investigation and recording of material-deteriorating processes**
  - I.1 Corrosion
  - I.2 Wear
  - I.3 Fatigue
  - I.4 Fracture mechanics
  - I.5 Biological damage of materials
- II. **Innovative component technologies**
  - II.1 Surface technology
  - II.2 Joining technology
  - II.3 Powder metallurgy
- III. **New materials for new requirements**
  - III.1 Composite materials
  - III.2 Lightweight materials
  - III.3 Polymers with special properties
  - III.4 Materials with special electrical, magnetic and optical properties
- IV. **Measurement, testing and evaluation techniques for materials and industrial products**
  - IV.1 Function-related testing for material-deteriorating processes
  - IV.2 Non-destructive testing
  - IV.3 Computer-aided testing
  - IV.4 Determination of service operating conditions and methods for the determination of service life



# 1. Die technisch-wirtschaftliche Bedeutung der Materialtechnologie

Für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung der EG-Länder sind die Leistungsfähigkeit ihrer Industrie und ein erfolgreicher Außenhandel mit technischen Industrieprodukten wesentliche Faktoren. In diesem Zusammenhang kommt den technischen Werkstoffen insofern eine Schlüsselrolle zu, als alle technischen Produkte und Güter aus bestimmten „Materialien“ bestehen, die für ihren Einsatz und Gebrauch optimal geeignet sein müssen. Hierbei sind jedoch in den letzten Jahren neben den Schwierigkeiten auf dem Energiesektor u. a. folgende Problemkreise in den Blickpunkt des Interesses gerückt:

- Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe für technische Produkte,
- Steigerung der Anforderungen an technische Produkte bezüglich Qualität und Gebrauchsdauer, Zuverlässigkeit und Sicherheit sowie Umweltverträglichkeit, Entsorgung und Recycling,
- Verschärfung des internationalen Wettbewerbs auf dem Gebiet technischer Industrieprodukte.

Bekanntlich sind die EG-Länder arm an Rohstoffen für Energie und technische Materialien. *Tabelle 1* zeigt, daß die Mitgliedstaaten der EG im Außenhandel mit Drittländern im Jahre 1980 z. B. für ihren Bedarf (Import — Export) an Energierohstoffen (Erdöl, Kohle, Gas) einen Betrag von etwa 730,— DM und für andere wichtige Rohstoffe (Eisenerz, NE-Metalle, organische und mineralische Rohstoffe) einen Betrag von etwa 190,— DM pro Einwohner aufbringen mußten.

*Tabelle 1*  
EG-Bedarf wichtiger Rohstoffe (1980)

Rohstoff	Import (Mio DM)	Export (Mio DM)	Bedarf = (Import — Export) (Mio DM) (DM/Einw.)	
Eisenerze	6412,7	3,8	6408,9	24,60
NE-Metalle	7962,7	1278,7	6684,0	25,66
Rohkautschuk	3106,1	1438,4	1667,7	6,41
Kork u. Holz	16836,1	873,1	15963,0	61,30
Papierhalbstoffe	9232,5	314,6	8917,9	34,24
Spinnstoffe	8368,3	2943,4	5424,9	20,82
Mineral. Rohstoffe	6773,5	2274,6	4498,9	17,28
	58691,9	9126,6	49565,3	190,31
Erdöl (roh)	177691,3	7217,9	170473,4	654,61
Kohle	9467,1	1385,8	8081,3	31,04
Gas	14477,1	1124,8	13352,3	51,27

Quelle: Statistisches Bundesamt und OECD

Hinzu kommen die immer deutlicher werdenden Grenzen der Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe und die Abhängigkeit von den entsprechenden Erzeugerländern. In *Tabelle 2* sind die regionale Verteilung der Förderanteile einiger wichtiger Metalle bzw. deren Erze auf die jeweils fünf wichtigsten Erzeugerländer sowie extrapolierte Jahreszahlen (Förderungsrate von 1981) einer möglichen Erschöpfung der z. Z. bekannten Vorräte angegeben. In *Tabelle 3* sind die gegenwärtig bekannten Vorratsmengen und ihre Aufteilung auf Wirtschaftsböcke zusammengestellt. Ohne hier auf Einzelheiten einzugehen, sei auf die Situation bei einigen NE-Metallen sowie auf die Tatsache der Konzentration bestimmter Vorräte auf wenige Vorratsländer hingewiesen.

Neben der sich abzeichnenden Rohstoffverknappung und den entsprechend stark gestiegenen Kosten für die Ausgangsmaterialien technischer Produkte haben sich auch Absatzlage und Wettbewerb in den letzten Jahren verändert. Die erhebliche

*Tabelle 2*  
Reserven wichtiger Rohstoffe (Quelle: BGR)

Stand: Dezember 1981

Rohstoff	Anteil der 3 Haupt-reserve-länder (%)	Regionale Verteilung (%)	Vorrats-dauer in Jahren
Bauxit	58,1	Guinea (27,8), Australien (19,7) Brasilien (10,7), Jamaika (8,5) Indien (6,0)	253
Blei	53,6	USA (26,8), Australien (14,0) Kanada (12,8), UdSSR (10,8) Südafrika (3,3)	43
Chromit	98,0	Südafrika (64,1), Simbabwe (28,2) UdSSR (5,6), Finnland (0,8) Indien (0,2)	364
Eisen	59,2	UdSSR (30,1), Brasilien (17,5) Kanada (11,6), Australien (11,4) Indien (6,0)	184
Kadmium	47,8	Kanada (17,6), USA (16,2) Australien (14,0), UdSSR (7,4) Irland (5,1)	36
Kobalt	49,5	Kuba (21,8), Indonesien (15,4) Zaire (12,3), Philippinen (11,6) Neukaledonien (10,5)	112
Kupfer	45,0	Chile (19,4), USA (18,3), UdSSR (7,3) Sambia (6,7), Kanada (6,4)	70
Manganerz	89,5	Südafrika (44,5), UdSSR (37,1) Australien (7,9), Gabun (5,0) Brasilien (2,2)	69
Molybdän	76,6	USA (43,6), Chile (25,8), UdSSR (7,2) Kanada (6,2), Panama (2,4)	88
Nickel	48,8	Neukaledonien (18,8), Kuba (17,8) Kanada (12,2), UdSSR (11,0) Indonesien (10,7)	110
Silber	54,6	UdSSR (21,6), USA (20,4) Australien (12,7), Mexiko (11,5) Kanada (9,7)	22
Tantal	74,3	Zaire (56,4), Nigeria (11,0) Thailand (6,9), UdSSR (6,9) Malaysia (5,5)	66
Titaneisen (Ilmenit)	56,1	Kanada (24,7), Norwegen (18,7) Indien (12,7), UdSSR (12,2) Südafrika (8,2)	135
Titanerz (Rutil)	71,1	Australien (33,7), Indien (24,9) Sierra Leone (12,5), UdSSR (8,3) USA (6,9)	65
Vanadium	95,6	Südafrika (48,9), UdSSR (45,6) Australien (1,1), Chile (0,8) VR China (0,8)	469
Wolfram	70,6	VR China (52,7), Kanada (9,5) UdSSR (8,4), USA (4,9) Nordkorea (4,4)	49
Zink	55,6	Kanada (25,7), USA (19,9) Australien (10,0), UdSSR (8,3) Japan (3,7)	39
Zinn	43,7	Indonesien (16,0), VR China (15,4) Thailand (12,4), Malaysia (12,4) UdSSR (10,3)	41

Verschärfung des internationalen Wettbewerbs für technische Industriegüter wird aus *Tabelle 4* ersichtlich. In dieser Tabelle sind für die Jahre 1970, 1975 und 1980 die Gesamthandelsbilanzen (inkl. EG-Binnenhandel), d. h. die jeweiligen Zahlen für Export minus Import, bezogen auf die Bevölkerungszahlen der EG-Länder sowie Japan und USA für die folgenden wichtigsten Handelsgruppen technischer Industrieprodukte zusammengestellt. (Die Daten der Tabelle 4 wurden dem „UN-Yearbook of International Trade Statistics“ entnommen und für den EG-Bereich durch Summation der jeweiligen Export- und

Tabelle 3  
Rohstoffvorräte und Verteilung auf Wirtschaftsblöcke (Quelle: BRG)

Stand: Dezember 1981

Rohstoff	Weltvorrat (Mio t)	Westliche Industrie-Länder (%)	Entwicklungs-Länder (%)	Staatshandels-Länder (%)	Westliche Welt (%)
Bauxit	23400	24,7	71,8	3,4	96,6
Blei	156,7	67,3	14,6	18,2	81,8
Chromit	3541	65,0	29,1	5,9	94,1
Eisen	93600	35,4	30,8	33,8	66,2
Ilmenit	394,1	67,8	17,4	14,8	85,2
Kadmium	0,68	64,7	27,2	8,1	91,9
Kobalt	3,7	10,2	62,5	27,3	72,7
Kupfer	550,8	29,1	57,8	13,1	86,9
Manganerz	1835	52,5	9,3	38,2	61,8
Molybdän	9,5	51,5	38,4	10,1	89,9
Nickel	82	22,1	47,9	30,0	70,0
Pt-Metalle	0,037	83,0	0,1	16,9	83,1
Rutil	28,9	47,6	42,4	10,0	90,0
Silber	0,23	49,6	25,2	25,1	74,9
Tantal	0,066	6,4	86,7	6,9	93,1
Vanadium	15,9	51,6	2,0	46,4	53,6
Wolfram	2,6	22,6	13,3	64,1	35,9
Zink	241	73,0	12,5	14,5	85,5
Zinn	9,7	7,5	66,5	25,9	74,1

Tabelle 4  
Handelsbilanz wichtiger Industriegüter (Export — Import je Einwohner)

Produktgruppe	EG (US \$)			Japan (US \$)			USA (US \$)		
	1970	1975	1980	1970	1975	1980	1970	1975	1980
Eisen und Stahl	7,59	33,99	33,83	22,16	86,10	125,66	— 3,43	—10,06	—22,88
NE-Metalle	—12,08	—64,43	—24,92	— 6,01	— 6,43	—22,17	— 3,11	— 5,35	—12,59
Metallwaren	4,70	14,06	24,14	5,55	13,90	30,60	— 0,34	0,60	— 0,15
Chemische Erzeugnisse	11,94	39,20	77,46	2,02	15,76	5,96	10,86	22,89	61,22
Kraftmaschinen	3,27	9,04	22,73	0,72	4,90	25,23	2,92	8,77	20,74
Elektrische Maschinen	9,54	24,65	40,00	16,58	44,30	62,40	3,46	12,72	12,00
Büromaschinen	— 1,09	— 1,57	— 7,07	0,06	2,36	20,40	4,77	7,30	25,61
Nachrichtentechnische Geräte	2,49	5,13	8,00	12,09	27,26	101,00	— 1,94	— 2,13	—15,93
Straßenfahrzeuge	21,75	49,31	65,97	15,47	67,45	248,09	— 8,66	— 5,99	—58,86
Luftfahrzeuge	— 1,18	0,21	0,50	— 2,15	— 3,16	— 7,88	7,57	25,62	47,79
Wasserfahrzeuge	2,51	10,90	8,18	11,64	51,02	35,44	0,69	1,50	2,54

Quelle: Statistisches Bundesamt, UN-Yearbook und OECD

Tabelle 5  
Bevölkerung, Sozialprodukt, Erwerbstätige der EG-Länder, Japan und USA

Land	Bevölkerung (1000)	Sozialprodukt BIP (Mrd DM)	Erwerbstätige	
			gesamt (1000)	in Industrie, Gewerbe (%)
Belgien	9855	194,1	3730	19,9
Bundesrepublik Deutschland	61616	1502,0	25741	36,0
Dänemark	5130	112,5	2478	26,1
Frankreich	53690	1041,3	20920	26,7
Großbritannien	55883	631,6	22825	31,2
Irland	3365	27,2	1152	19,7
Italien	57030	564,6	20410	27,5
Luxemburg	364	6,6	158	43,4
Niederlande	14090	227,4	5650	26,0
EG	261023	4307,3	103064	29,8
Japan	116780	2463,0	59600	25,0
USA	220100	5164,5	97300	32,6

Quelle: Meyer Enzyklopädisches Lexikon, Jahrbuch 1981

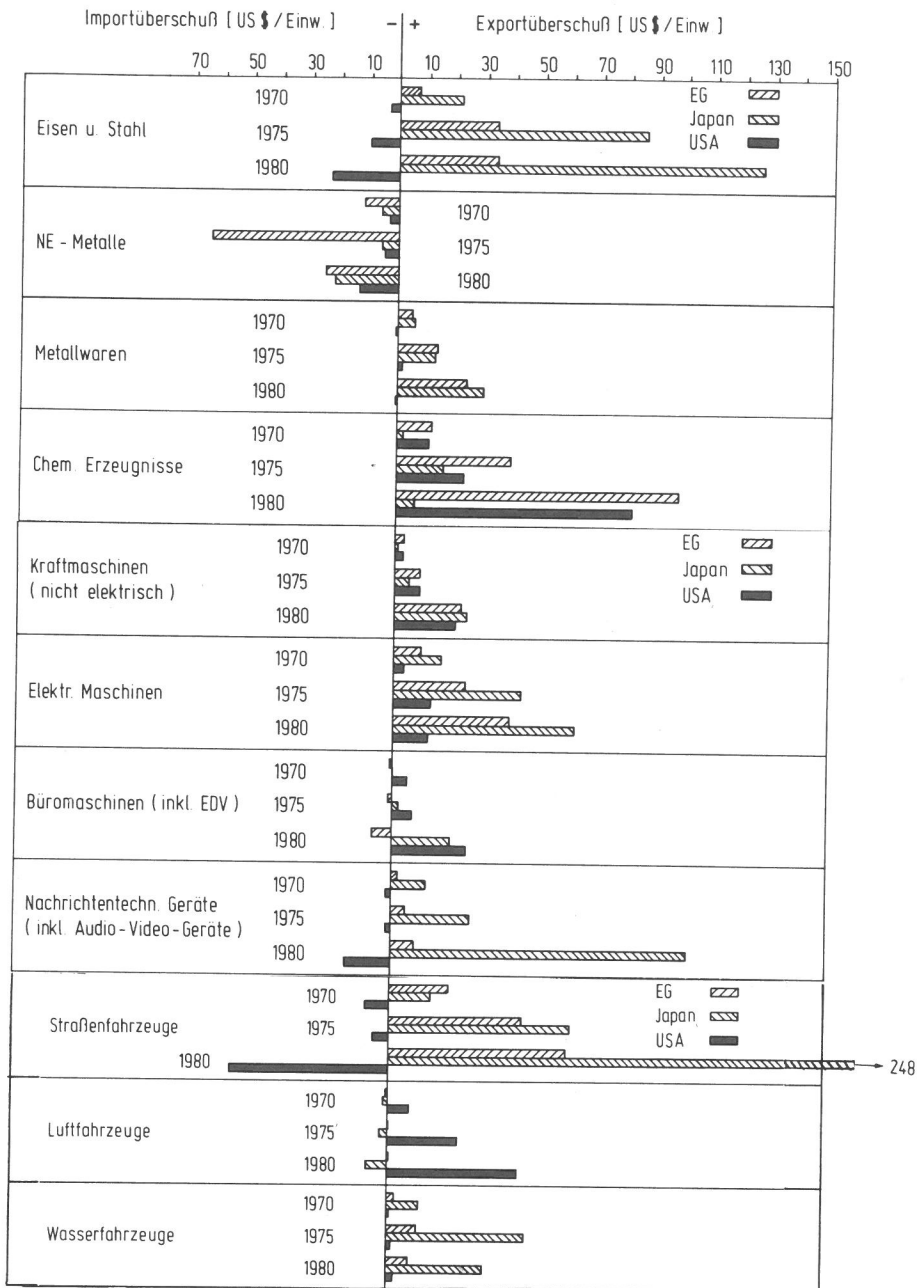


Abb. 1  
Handelsbilanz wichtiger Industriegüter  
(Export minus Import je Einwohner)

Importzahlen der EG-Länder B, D, DK, F, GB, I, IRL, NL berechnet.)

- Eisen und Stahl
- NE-Metalle
- Metallwaren
- Chemische Erzeugnisse
- Kraftmaschinen (nicht elektrisch)
- Elektrische Maschinen
- Büromaschinen (inkl. EDV)
- Nachrichtentechnische Geräte (inkl. Audio, Video)
- Straßenfahrzeuge
- Luftfahrzeuge
- Wasserfahrzeuge.

Obwohl bis auf die Bereiche NE-Metalle und Büromaschinen die Handelsbilanzen der Industriegüter für die EG positiv sind, wird aus Tabelle 4 und der zugehörigen Abb. 1 deutlich, daß sich die Position der EG auf nahezu allen Bereichen der industriellen Produktion in den letzten zehn Jahren abgeschwächt hat. Hierbei ist besonders auf die erheblich gestiegenen Exportüberschüsse Japans auf zahlreichen Gebieten hinzuweisen. So

verschlechterte sich das jeweilige Verhältnis der Handelsbilanz der EG zu der von Japan auf fast allen technischen Bereichen, wie z. B. die folgenden Relationen einiger Daten aus Tabelle 4 zeigen:

	Handelsbilanzrelation EG : Japan	
	1970	1980
• Kraftmaschinen	1 : 0,2	1 : 1,1
• Nachrichtentechnische Geräte	1 : 4,8	1 : 12,5
• Straßenfahrzeuge	1 : 0,7	1 : 3,8

Handelsbilanz und Produktionsumfang industrieller Güter sind natürlich auch eng mit der Beschäftigungssituation verknüpft. Aus Tabelle 5 geht hervor, daß in den Industrieländern etwa 1/4 bis 1/3 aller Erwerbstätigen in der Industrie bzw. im produzierenden Gewerbe (ohne Baugewerbe) tätig sind, so daß die Situation der Industrieproduktion auch starke Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt hat.

Aus diesen pauschalen Betrachtungen wird die Schlüsselrolle technischer Industriegüter und Materialien für die wirtschaftliche Situation in den EG-Ländern deutlich.

## 2. Erfordernisse der Materialforschung im EG-Raum

### 2.0 Allgemeines

Die Darstellung der technisch-wirtschaftlichen Bedeutung der Materialtechnologie und das Studium gegenwärtiger und zukünftiger Aktivitäten in den USA und Japan (siehe Anhang I und II) zeigen die große Bedeutung technischer Industriegüter. Zu fragen ist, welche industriellen und materialtechnologischen Gebiete für die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung der EG-Länder besonders bedeutsam sind und gegebenenfalls eine Unterstützung und Förderung durch die EG benötigen. Aufgrund des breiten Spektrums der heutigen Industrie-Produktion kommen dafür naturgemäß eine Vielzahl von technischen Materialien und Produkten sowie die zugehörigen Fertigungs- und Verfahrenstechnologien prinzipiell in Frage, so daß zu überlegen ist, nach welchen Kriterien mögliche Forschungsschwerpunkte auszuwählen sind.

Aus der Betrachtung nationaler Forschungsprogramme und den Forschungsaktivitäten der Industrie ergibt sich, daß die Forschung in vielen Fällen entweder als Grundlagenforschung (losgelöst von technischen Anwendungen) oder direkt produktbezogen angelegt ist. Forschungsarbeiten im Zwischenbereich von Grundlagenforschung und Produktforschung — obwohl im Hinblick auf die Fragen von Innovation und Technologie-Transfer von großem Interesse — erscheinen dagegen relativ vernachlässigt. Die für ein EG-Forschungsprogramm auf dem Gebiet der Materialtechnologie vorzuschlagenden Schwerpunkte sollten daher als „grundlagenorientierte technologische Forschung“ (Basic Technological Research) angelegt sein, wobei die folgenden Aspekte zu berücksichtigen sind:

- Erarbeitung grundlegender Prinzipien, Technologien, Eigenschaften von Materialien und Prozeßtechniken, die von Interesse für verschiedene Industrie- bzw. Wirtschaftsbereiche sind (und auch für mehrere Länder nutzbar sind).
- Die Forschungsziele sollten nicht direkt nur ein einziges Produkt oder einen technologischen Prozeß betreffen („konkurrenzfreie“ Forschung).
- Die Forschungsaktivitäten sollten die betroffenen Industriezweige gemeinsam in eine bessere Position versetzen (z. B. Bereitstellen technologischen Wissens etc.), so daß jede Firma ihre eigenen Entwicklungen und Produktionen mit einem allgemeinen Vorteil, aber noch in Konkurrenz zu ihren Partnern durchführen kann.
- Die Ergebnisse grundlagenorientierter Forschung könnten für einen weiteren Bereich als ursprünglich vorgesehen von Interesse sein („spin-off, fall-out“), z. B. Anwendung von Ergebnissen aus dem Flugzeugbau für die Automobilindustrie im Hinblick auf die Aerodynamik oder Leichtbau oder auch aus der Kerntechnik für den Automobilbau im Hinblick auf Qualitätskontrolle etc.

### 2.1 Recherche über Erfordernisse

Um die Notwendigkeiten und Erfordernisse einer Förderung der Materialforschung und -prüfung im Rahmen eines möglichen EG-Forschungsprogramms „Basic Technological Research“ festzustellen, wurde eine Recherche in den EG-Ländern mit zwei unterschiedlich ausgerichteten Aktionen durchgeführt:

#### (A) Fragebogenaktion

Es wurden Fragebogen an Industrieverbände und technisch-wissenschaftliche Gesellschaften aller wesentlichen Industriezweige und Materialbereiche versandt mit der Bitte um Angabe, welche Gebiete der Materialforschung und -prüfung bzw. welche technisch oder industriell wichtigen Werkstoffeigenschaften für ein derartiges Programm in Frage kommen. Da jeder einzelne Industrieverband zahlreiche Einzelbetriebe von Klein-, Mittel-

und/oder Großfirmen repräsentiert, kann davon ausgegangen werden, daß mit dieser Fragebogenaktion wesentliche industrielle Bereiche angesprochen wurden.

#### (B) Befragungs- und Interviewaktion

Neben der Fragebogenaktion (A) wurde in allen EG-Ländern (mit Ausnahme von Griechenland) eine Befragungsaktion in Form von Einzelgesprächen und Interviews mit Persönlichkeiten durchgeführt, die einen guten Überblick über die gegenwärtige Situation und die zukünftigen Erfordernisse der Materialforschung und -prüfung in dem jeweiligen EG-Land haben. Insgesamt wurde versucht, repräsentative Meinungsäußerungen aus den verschiedenen Bereichen von Industrie, Hochschulen und Forschungsinstituten zu erhalten.

### 2.2 Auswertung

Als Ergebnis der Fragebogenaktion gingen aus den EG-Ländern (mit Ausnahme von Luxemburg und Griechenland) insgesamt etwa 80 Antwortschreiben von Industrieverbänden, technisch-wissenschaftlichen Gesellschaften sowie Hochschul- und Forschungsinstituten ein, die folgende hauptsächliche Wirtschaftszweige und Materialbereiche betreffen:

- Automobilindustrie
- Bauindustrie
- Behälterbau
- Bergbau
- Chemische Industrie
- Elektrotechnische Industrie
- Energietechnik
- Glasindustrie
- Keramische Industrie
- Kunststoffindustrie
- Luft- und Raumfahrtindustrie
- Maschinen- und Anlagenbau
- Metallindustrie
- Papier- und Pappeindustrie
- Schweißtechnik
- Stahlverformung
- Stahlbau
- Textilindustrie.

Da die einzelnen Industrieverbände ihrerseits z. T. mehrere Unterverbände oder Firmen um Stellungnahme gebeten hatten, kann davon ausgegangen werden, daß die Fragebogenantworten Stellungnahmen und Vorschläge von vielleicht etwa 200 Stellen aus Industrie, Hochschulen und Forschungsinstituten beinhalten.

Die Ergebnisse der Fragebogenaktion (Rücklaufquote ca. 50 %) und der Befragungs- und Interviewaktion zeigen, daß aus technischer Sicht erhebliches Interesse an einer Förderung der Materialforschung und -prüfung im Rahmen eines EG-Forschungsprogramms „Basic Technological Research“ besteht. (Hierbei wurden jedoch auch, je nach EG-Land, Unterschiede von technologischem Stand und Wirtschaftsstruktur, nationalen Zielsetzungen sowie der individuellen Wettbewerbssituation einzelner Firmen betont.)

Zur Durchführung und Abwicklung eines derartigen Programms wurde auch z. T. auf negative Erfahrungen mit früheren EG-Forschungsprogrammen, z. B. im Hinblick auf zu großen bürokratischen Aufwand, erschwerende Notwendigkeit eines Eigen-Finanzierungsanteils, Schwerfälligkeit der Förderabwicklung, Problematik der Kooperation von Industriefirmen aus unterschiedlichen Ländern etc. hingewiesen. Andererseits wurden die folgenden allgemeinen Vorteile einer EG-Förderung genannt:

- Es könnten grenzübergreifende Aufgaben in Angriff genommen werden; Kostenvorteile durch Eigenbeteiligung mehrerer Partner.



- Staatliche Kürzungen verschiedener nationaler Förderprogramme könnten durch ein EG-Programm aufgefangen werden.
- Forschungsergebnisse eines EG-Programms kämen allen EG-Firmen zugute und könnten zum Aufholen von Technologie-Rückständen (z. B. gegenüber Japan) beitragen.
- Wettbewerbsvorteile durch Sicherstellung der Lieferbarkeit spezifischer Werkstoffe aus dem europäischen Raum.
- Möglichkeit internationaler Arbeitsteilung durch Zusammenführung von Spezialisten.
- EG-Förderung sehr erforderlich, da zahlreiche EG-Firmen (z. B. Europäische Materialprüfgerätehersteller), bedingt durch ihre Größe (kleine bzw. mittelständische Unternehmen), nicht in der Lage sind, allein notwendige Entwicklungsarbeiten durchzuführen.
- Ein wichtiges Erfordernis wäre auch der Abbau von Handelshemmnissen und Einführung von EG-Standards.
- Für die EG-Förderung sind multidisziplinäre Gebiete besonders geeignet; wegen der hohen europäischen Löhne sollten Gebiete mit hochentwickelter Technologie gefördert werden.

Um aus dem breiten Spektrum der im Rahmen der Fragebogenaktion erhaltenen Forschungsvorschläge die Schwerpunktbereiche eines möglichen EG-Förderprogramms zu identifizieren, wurde eine rechnerunterstützte Auswertung der Fragebogenantworten vorgenommen. Hierzu wurden die wesentlichen Aspekte der einzelnen Fragebogenantworten jeweils auf ein einheitliches Auswertungs-Formblatt übertragen und eine Aufschlüsselung in einzelne technologische Teilbereiche vorgenommen. Hierbei wurde davon ausgegangen, daß alle technischen Materialien einen bestimmten „Materialkreislauf“ durchlaufen, so daß die einzelnen Forschungsvorschläge einer (oder auch mehreren) der folgenden Materialkreislaufstufen zugeordnet werden können:

- I **ROHSTOFFGEWINNUNG**  
Gewinnung von Rohstoffen (Erze, Mineralien, Holz, Kautschuk etc.)
- II **ROHSTOFFUMWANDLUNG**  
Umwandlung von Rohstoffen in Werkstoffe (Metalle, Kunststoffe etc.)
- III **HALBZEUG- UND BAUTEILTECHNOLOGIEN**  
Herstellung von Halbzeugen und Bauteilen
- IV **FABRIKATION, MONTAGE**  
Erstellung kompletter technischer Systeme
- V **TECHNISCHE FUNKTION, PERFORMANCE**  
Gewährleistung von Funktion, Zuverlässigkeit, Gebrauchsdauer, Umweltverträglichkeit etc.
- VI **RECYCLING, ENTSORGUNG**

Weiterhin wurde in dem Auswertungs-Formblatt eine Aufschlüsselung der einzelnen Forschungsvorschläge nach folgenden technologischen Gesichtspunkten vorgenommen:

- Materialklasse
- Materialeigenschaften
- Meß- und Prüftechnik

Der Inhalt der Auswertungs-Formblätter mit der Aufschlüsselung in die verschiedenen technologischen Teilbereiche wurde einem Rechner eingegeben. Mit einem speziellen Recherchenprogramm konnten dann die Schwerpunkte der Forschungsvor-

schläge zu den verschiedenen technologischen Teilaspekten festgestellt werden.

In Abb. 2 bis 5 ist dargestellt, wie sich die Forschungsvorschläge auf die verschiedenen technologischen Teilaspekte aufteilen. (Die Summe der aufgeführten Prozentzahlen ist stets größer als 100 %, da in fast allen Forschungsvorschlägen mehrere technologische Teilaspekte genannt wurden.)

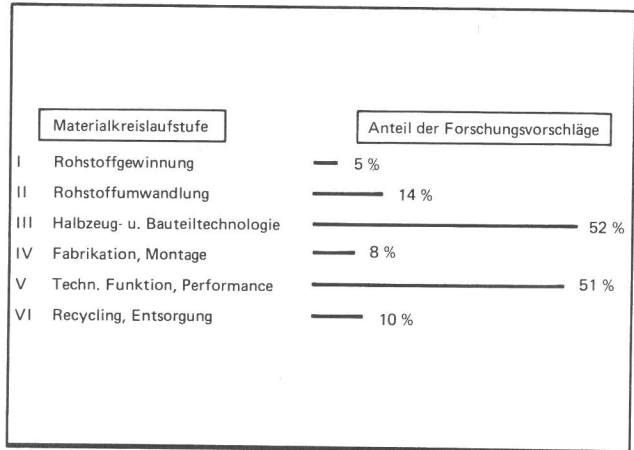


Abb. 2  
Auswertung EG-Recherche „Materialforschung und -prüfung“

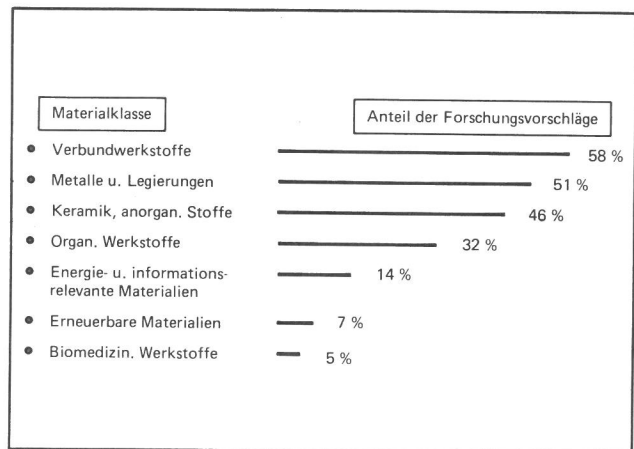


Abb. 3  
Auswertung EG-Recherche „Materialforschung und -prüfung“

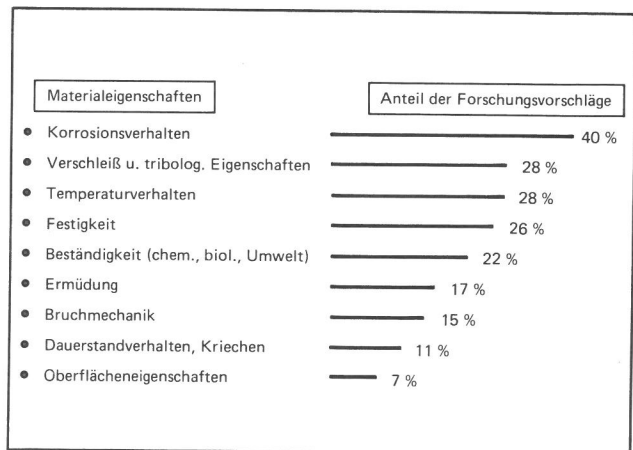


Abb. 4  
Auswertung EG-Recherche „Materialforschung und -prüfung“

Aus Abb. 2 wird deutlich, daß der weitaus größte Teil der Forschungsvorschläge zur Materialforschung und -prüfung im Rahmen eines möglichen EG-Förderprogramms „Basic Tech-

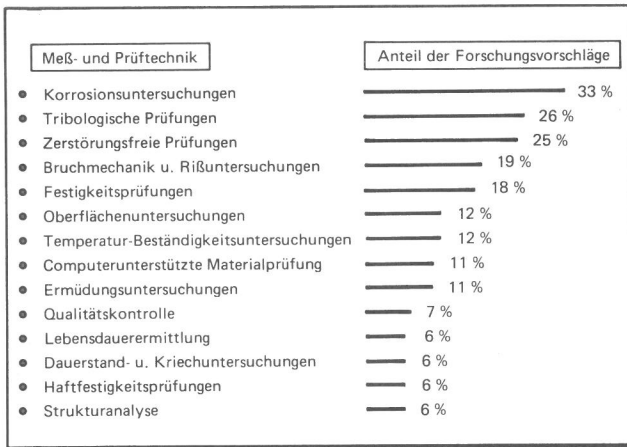


Abb. 5  
Auswertung EG-Recherche „Materialforschung und -prüfung“

nological Research“ sich zu etwa gleichen Teilen folgenden Schwerpunkten zuordnen läßt:

- Verbesserung von Halbzeug- und Bauteiltechnologien
- Verbesserung von technischer Funktion und Performance

### 3. Rahmenvorschläge für prioritäre Förderbereiche

#### 3.0 Übersicht

Aus den Ergebnissen der in den EG-Ländern durchgeführten Recherchen und vergleichenden Betrachtungen der Forschungsaktivitäten in den USA und in Japan (vgl. Anhang I und II) werden die folgenden Gebiete der Technischen Materialforschung und -prüfung für eine Förderung im Rahmen eines möglichen EG-Forschungsprogramms „Basic Technological Research“ vorgeschlagen:

- I. Qualitäts- und Funktionssicherung technischer Produkte durch Untersuchung und Erfassung von Werkstoff-Schädigungsprozessen
  - I.1 Korrosion
  - I.2 Verschleiß
  - I.3 Ermüdung
  - I.4 Bruchmechanik
  - I.5 Biologische Schädigung
- II. Innovative Bauteiltechnologien
  - II.1 Oberflächentechnik
  - II.2 Füge-technik
  - II.3 Pulvermetallurgie
- III. Neue Werkstoffe für neue Anforderungen
  - III.1 Verbundwerkstoffe
  - III.2 Leichtbauwerkstoffe
  - III.3 Polymerwerkstoffe mit speziellen Eigenschaften
  - III.4 Werkstoffe mit speziellen elektrischen, magnetischen, optischen Eigenschaften
- IV. Meß-, Prüf- und Beurteilungstechniken für Werkstoffe und technische Produkte
  - IV.1 Funktionsorientierte Prüfungen für Werkstoff-Schädigungsprozesse
  - IV.2 Zerstörungsfreie Prüfung
  - IV.3 Rechnergestützte Materialprüfung
  - IV.4 Beanspruchungsermittlung unter Betriebsbedingungen und Lebensdauer-Bestimmungsmethoden

Die Aufteilung der Forschungsvorschläge nach den technologischen Teilaspekten „Materialklasse“, „Materialeigenschaften“, „Meß- und Prüftechnik“ geht aus Abb. 3 bis 5 hervor.

Die aufgrund der Auswertung der Fragebogenaktion nach der Häufigkeit ihrer Nennung festgestellten Themenkreise können als eine erste grobe Übersicht über mögliche Forschungsschwerpunkte angesehen werden. Es kann natürlich nicht unbedingt aus der Häufigkeit der Nennung bestimmter Forschungsthemen unmittelbar auf ihre technisch-wirtschaftliche Bedeutung geschlossen werden. Als eine wesentliche Ergänzung der Auswertung der Fragebogenaktion sind daher die Ergebnisse der Interviews mit Material-Fachleuten aus den EG-Ländern anzusehen.

Die verschiedenen Befragungen und Besprechungen bestätigen die Bedeutung und Priorität der in den Abb. 2 bis 5 wiedergegebenen Themenkreise, wobei jedoch auch noch weitere wesentliche Förderbereiche, wie z. B. wichtige Bauteiltechnologien, genannt und ihre technisch-wirtschaftliche Bedeutung unterstrichen wurde. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß den Fragen der Materialforschung und -prüfung ein hoher Stellenwert im Rahmen eines möglichen EG-Forschungsprogramms „Basic Technological Research“ eingeräumt wird, wobei den im folgenden Abschnitt vorgestellten Themenkreisen besondere Bedeutung und Priorität zukommt.

In dieser Aufstellung von Fördervorschlägen sind einige Gebiete nicht enthalten, die sowohl in der Fragebogenaktion als auch in den Fachgesprächen mehrfach vorgeschlagen wurden, jedoch in anderen EG-Förderprogrammen bereits berücksichtigt sind, wie z. B.

- Hochtemperaturwerkstoffe → „High Temperature Materials Programme (HMT)“, Joint Research Centre, Petten
  - Ceramics
  - Recycling
  - Substitution
- } → „Raw Materials Programme“

Im folgenden werden in knapper Form die vorgeschlagenen Förderbereiche in ihrer technisch-wirtschaftlichen Bedeutung und Zielsetzung vorgestellt und stichwortartig — ohne Gewichtung, Wertung oder Systematik — Beispiele von Forschungsthemen genannt, die in der Fragebogen- und Interviewaktion vorgeschlagen wurden.

#### 3.1 Qualitäts- und Funktionssicherung technischer Produkte durch Untersuchung und Erfassung von Werkstoff-Schädigungsprozessen

Die im EG-Raum durchgeführten Recherchen zeigen, daß den Fragen der Qualität, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Funktionsfähigkeit technischer Produkte ein sehr hoher Stellenwert beigemessen wird. Jede Verbesserung in dieser Hinsicht kommt direkt oder indirekt der Wettbewerbsfähigkeit technischer Produkte zugute. Einen wesentlichen Beitrag können dabei alle Maßnahmen zur Beherrschung von Werkstoff-Schädigungsprozessen leisten. Hierbei müssen sowohl Schädigungsprozesse, die primär an den Oberflächen von Werkstoffen angreifen (z. B. Korrosion, Verschleiß, Biologische Schädigung) als auch Vorgänge, die zum Bruch von Werkstoffen führen (z. B. Ermüdung) betrachtet werden. Die Kenntnis der Schädigungsmechanismen ist eine wesentliche Voraussetzung für die Verbesserung von Werkstoffen und Bauteilen mit dem Ziel ihrer Qualitäts- und Funktionssicherung. Es ist offensichtlich, daß Ergebnisse entsprechender Forschungsarbeiten allen Industriezweigen und technischen Produktionsgruppen zugute kommen, so daß dieses Gebiet besonders geeignet für ein Förderungsprogramm „Basic Technological Research“ erscheint.

Bei zukünftigen Forschungsaktivitäten zur Verminderung von Werkstoff-Schädigungsprozessen ist es wichtig, daß sowohl die bereits auf diesen Gebieten in den einzelnen EG-Ländern vorliegenden Ergebnisse kooperativ genutzt als auch die bisher häufig nicht hinreichend beachtete interdisziplinäre Problematik der Schädigungsprozesse durch Anwendung systemtechnischer Bearbeitungsmethoden beachtet werden.

### 3.1.1 Korrosion

Die Korrosion von Werkstoffen, Bauteilen und Konstruktionen stellt nach den Ergebnissen der durchgeführten Recherchen (vgl. Ziffer 2.2) das am häufigsten genannte Problem dar, das die Qualität, Funktion und Gebrauchsdauer der verschiedenen technischen Produkte entscheidend beeinflußt. Aufgrund der großen Bedeutung der Korrosion sind in verschiedenen Ländern, wie z. B. Großbritannien [1], Bundesrepublik Deutschland [2], aber auch in den USA [3] umfangreiche Studien über die Bedeutung der Korrosion und mögliche Maßnahmen zu ihrer Bekämpfung und zum Korrosionsschutz durchgeführt worden. Nach den Ergebnissen dieser detaillierten Untersuchungen müssen die jährlichen volkswirtschaftlichen Verluste durch Korrosion in den Industriestaaten auf etwa 2 bis 4 Prozent des Bruttosozialproduktes veranschlagt werden. Geht man für den Bereich der EG von einem Wert von 2 % des Bruttosozialproduktes aus, so bedeutet dies nach Tabelle 5 einen Verlust von etwa 80 Mrd DM pro Jahr.

Obwohl den Korrosionserscheinungen bereits zahlreiche Forschungsvorhaben in Hochschulen und Forschungsinstituten gewidmet waren, ist offensichtlich, daß die vorhandenen Kenntnisse bisher nicht ausreichen oder in der industriellen Praxis nicht zweckmäßig angewandt wurden. So bestimmen in zahlreichen Industriezweigen und Technologien Korrosionsprobleme vorrangig die heutigen Entwicklungsgrenzen. Beispiele dafür gibt es im Anlagenbau und in der chemischen Industrie, bei Offshore-Technologien, in Kraftwerken, im Bauwesen etc. Es erscheint daher sinnvoll — unter Ausnutzung der bereits vorliegenden Erkenntnisse, die in jedem Forschungsprojekt durch eine fundierte Literaturrecherche zu dokumentieren wären — Forschungsarbeiten auf dem Korrosionsgebiet zu fördern, die dazu beitragen können, Qualität, Funktion und Gebrauchsdauer technischer Produkte aus den EG-Ländern zu erhöhen.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Systematische vergleichende Untersuchungen mit dem Ziel der wirtschaftlichen Lösung von Korrosionsproblemen in den verschiedenen technischen Bereichen (z. B. kathodischer Schutz einfacher Baustähle anstelle höherlegierter Stähle etc.).
- Vereinheitlichung von Methoden der Korrosionsprüfung und Werkstoffauswahl in Europa.
- Entwicklung von korrosionsbeständigeren Werkstoffen für den chemischen Apparatebau und die Kerntechnik speziell im Hinblick auf Spannungsriß- und Schwingungsrißkorrosion (z. B. Wärmeübertragungssysteme im Reaktorbau).
- Untersuchung von Werkstoffen mit erhöhter Korrosionsbeständigkeit zum Einsatz für alternative Verfahren zur Energieversorgung (Kohlevergasung, Kohleverflüssigung, thermochemische Wasserzersetzungsprozesse) im Niedertemperaturbereich bis ca. 150°C (u. a. im Kondensationsbereich von korrosiven Vielstoffgemischen) und im Hochtemperaturbereich, ca. 750°C und höher.
- Untersuchung der Wasserstoffversprödung an Werkstoffen für den Transport und die Lagerung von Energieträgern (Erdgas, Koksgas, Erdöl) sowie an höher- und hochfesten Stählen im Bauwesen und der chemischen Technik (Spannstähle und Druckgefäße).

- Entwicklung von Baustählen mit erhöhter Korrosionsbeständigkeit für den Grubenbetrieb, d. h. Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit der eingesetzten Werkstoffe gegenüber den verarbeiteten Produkten (wie z. B. Kohlemaische, Schweröle, Destillate usw.).
- Untersuchung korrosiver Schädigungsvorgänge im Grenzschichtbereich von Polymer-Metall-Verbunden (z. B. zur Verbesserung der Lebensdauer von Kfz).
- Auswahl und Prüfung von korrosionsbeständigen Werkstoffen für Transport und Lagerung gefährlicher Güter (brennbare und toxische Stoffe) sowie radioaktiver Abfälle (Zwischen- und langfristige Lagerung).
- Verbesserung von Korrosionswiderstand, Schutzstoffen und -techniken für den temporären und permanenten Korrosionsschutz im Stahlbeton- und Spannbetonbau (z. B. Untersuchung der Korrosionsmechanismen an Stahl-Beton-Verbundsystemen in Abhängigkeit von Betonporosität, Rißbreite, Umwelt- und Betriebsbedingungen, Einfluß von Tausalz); alternative Korrosionsschutzverfahren im Stahlbau (z. B. Verwendung von Zn-Al-Beschichtungen oder von feueraluminiertem Stahl) bei Beachtung der Gesichtspunkte Kosten, Verfügbare der Rohstoffe, Verarbeitungsverfahren, Qualität des Korrosionsschutzes.
- Untersuchungen über Korrosionsverhalten und Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe für flüssigkeitsberührte Maschinenteile (z. B. in Hydrauliksystemen oder Pumpen) bei unterschiedlichen Flüssigkeiten bzw. Wasserqualitäten (z. B. verschmutzte Hydraulikflüssigkeiten, Flußwasser, Abwasser, aufbereitetes Versorgungswasser).
- Spannungsriß-, Schwingungsriß- und Erosionskorrosionsuntersuchungen von technischen Konstruktionen in aggressiven Medien, z. B. Offshore-Konstruktionen (Standicherheit von Bohrrinseln).

### 3.1.2 Verschleiß

Verschleiß kann an allen beweglichen Bauteilen von technischen Konstruktionen auftreten und stellt einen wesentlichen Einflußfaktor für Funktion, Sicherheit und Zuverlässigkeit technischer Systeme dar. Jeder Verschleißvorgang ist mit einem Reibungsvorgang verknüpft, so daß durch Verschleiß und Reibung erhebliche Verluste an Materialien und Energie auftreten. Ähnlich wie auf dem Gebiet der Korrosion sind auch für das Verschleißgebiet in verschiedenen Ländern, wie z. B. Großbritannien [4], Bundesrepublik Deutschland [5] sowie in den USA [6] umfangreiche Studien über den Verschleiß und Maßnahmen zu seiner Beeinflussung vorgenommen worden, wobei aufgrund der Ergebnisse der englischen Studie [4] der Begriff „Tribologie“\* als Oberbegriff für alle technisch-wissenschaftlichen Problemstellungen, die mit Reibung und Verschleiß von Werkstoffen, Bauteilen und Konstruktionen zusammenhängen, geprägt wurde. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen, daß in den Industrieländern die volkswirtschaftlichen Verluste durch Verschleiß pro Jahr mit etwa 1 bis 2 % des Bruttosozialproduktes, d. h. nach Tabelle 5 mit etwa 40 bis 80 Mrd DM für den EG-Raum zu beziffern sind.

Ausgehend von den Ergebnissen dieser Studien wurden z. B. in Großbritannien und der Bundesrepublik Deutschland spezielle Forschungsprogramme eingeleitet. Aufgrund der bekannten Komplexität der Verschleißvorgänge, an denen stets eine Vielzahl von Parametern, Einflußgrößen und Werkstoff-Schädigungsprozessen beteiligt sein können, sind im Bereich der industriellen Praxis jedoch noch immer eine Vielzahl von Verschleißproblemen ungelöst. Eine verstärkte Verschleißfor-

\* Originaldefinition: „Tribology: The science and technology of interacting surfaces in relative motion and of techniques and practices related thereto“.

schung im EG-Raum könnte — bei Berücksichtigung der bereits vorliegenden Erkenntnisse und der Anwendung der in den letzten Jahren entwickelten neuen Methoden der Meß- und Prüftechnik sowie der Systemanalyse von Verschleißproblemen — zur Verbesserung tribologisch beanspruchter Werkstoffe, Bauteile und Konstruktionen beitragen und damit die Wettbewerbsfähigkeit der betreffenden technischen Produkte erhöhen.

#### **Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)**

- Verbesserung des Verschleißwiderstandes von Leichtbauprodukten (wie z. B. Leichtmetall-Legierungen auf Al- oder Ti-Basis); diese Legierungen werden zur Gewichts- und damit Energieeinsparung weiter an Bedeutung gewinnen.
- Entwicklung von verschleißbeständigen Werkstoffen für hohe Betriebstemperaturen zur Erhöhung des Wirkungsgrades von Kraftmaschinen (z. B. Einsatz keramischer Werkstoffe).
- Grundlagenuntersuchungen zum Verschleiß tribotechnischer Werkstoffe, insbesondere Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Verschleißverhalten und wirklichen Werkstoffbeanspruchungen (Überlagerung von Last- und Eigenspannungen).
- Weiterentwicklung von Kunststoffen zur Aufnahme erhöhter Beanspruchungen (vor allem erhöhter thermischer Beanspruchungen) in technischen Lagerungen, Getrieben, Kupplungen, Dichtungen etc. bei möglichst wartungsfreiem Betrieb.
- Entwicklung wirtschaftlich herzustellender Gußwerkstoffe mit hohem Verschleißwiderstand für Maschinenteile, wie z. B. Pumpen (spezielle Problematik: Abrasions-, Erosions- und Seewasserbeständigkeit).
- Untersuchung der tribologischen Eigenschaften von vorverformten Bauteilen (wie z. B. Drähte, Litzen, Seile) unter Berücksichtigung von Grenzschichteigenschaften.
- Entwicklung von Werkstoffen mit hoher Verschleißbeständigkeit zum Einsatz im Grubenbetrieb; z. B. Untersuchung des Mineral-Gleitverschleißes von Bauteilen, die mit Sanden, Tonen, Braunkohle o. ä. unter Übertragung hoher Kräfte in ständiger Berührung sind.
- Untersuchung von werkstoff- und schmierstofftechnischen Möglichkeiten zur weiteren Einschränkung von Schwingungsverschleiß und Reibdauerbruch (fretting, fretting-fatigue), z. B. für tribologische Bauteile des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Energietechnik.
- Entwicklung von (synthetischen) Schmierstoffen mit hoher Temperatur- und Alterungsstabilität bei guten reibungs- und verschleißmindernden Eigenschaften.

#### **3.1.3 Ermüdung**

In allen Bereichen der Technik sind Bauteile von Maschinen, Anlagen und Geräten „Wechselbeanspruchungen“, z. B. in Form von Schwingungen, thermischen Beanspruchungen, ausgesetzt. Unter diesen Beanspruchungen gelten im allgemeinen nicht mehr die unter statischen Beanspruchungsbedingungen festgestellten Festigkeitsdaten der Werkstoffe, d. h. wechselbeanspruchte Bauteile können durch Ermüdung bereits weit unterhalb ihrer nominellen statischen Festigkeit durch sogenannte „Ermüdungs- oder Dauerbrüche“ versagen. Obwohl auch auf dem Gebiet der Ermüdungs- oder Schwingfestigkeit von Werkstoffen bereits seit Jahrzehnten zahlreiche Forschungsarbeiten an Hochschulen und Forschungsinstituten durchgeführt wurden, konnte infolge der Komplexität der werkstofftechnischen und beanspruchungsmäßigen Einflußfaktoren keine geschlossene Theorie aufgestellt werden.

Die große Bedeutung der Ermüdung für die Lebensdauer technischer Produkte geht daraus hervor, daß Ermüdungs- oder Dauerbrüche ca. 95 % aller Bruchschäden ausmachen. Es sollte daher — unter Nutzung der bereits in den einzelnen EG-Ländern vorliegenden Forschungsergebnisse — versucht werden, zu weiteren Fortschritten auf dem Gebiet zu gelangen, um darauf aufbauend Maßnahmen zur Vermeidung von Ermüdungsschäden und zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit technischer Produkte entwickeln zu können.

#### **Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)**

- Systematische Forschungsarbeiten über das zyklische Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Stählen bei Beachtung verschiedener werkstoffkundlicher Einflüsse, wie z. B. derjenigen von Legierungselementen.
- Untersuchung von Ermüdung und Kriechen bei Hochtemperaturwerkstoffen, z. B. im Hinblick auf die sichere und wirtschaftliche Auslegung von Turbinen-, Behälter- und Apparatebauteilen.
- Ermüdungsuntersuchungen an neueren Verbundwerkstoffen, die für zukünftige Anwendungen im Flugzeugbau oder auch im Automobilbau oder der Textilindustrie geeignet erscheinen.
- Methoden zur Abschätzung der Schwingfestigkeit von ferritischen Stählen über die Wechselentfestigung bei unterschiedlichen Korngrößen, Temperaturen und Frequenzen zur wirtschaftlichen Ermittlung von Kennwerten und besseren Werkstoffausnutzung.
- Untersuchung der Einflüsse von Veränderungen der Randschicht von gegossenen Proben und Bauteilen auf die Schwingfestigkeit, z. B. zur Verbesserung ihrer Schwingfestigkeitseigenschaften im Vergleich mit geschmiedeten Teilen.
- Untersuchung von Ermüdungsverhalten und Rißentwicklung nichtrostender Stähle, die einem gleichzeitigen Korrosionsangriff ausgesetzt sind.
- Ermittlung von Beanspruchungsgrenzwerten für den Rißfortschritt bei modernen Gußwerkstoffen im Hinblick auf Maßnahmen zur Erhöhung der Lebensdauer.
- Untersuchung von Fertigungsbedingungen in der Halbzeugherstellung und Bauteilfertigung auf das Ermüdungsverhalten und die Betriebsfestigkeit.

#### **3.1.4 Bruchmechanik**

Die Bruchmechanik ist ein neueres wichtiges Konzept zur Untersuchung der Zuverlässigkeit und Sicherheit mechanisch beanspruchter Bauteile. Die Bruchmechanik geht von der Existenz bestehender Anrisse in Bauteilen aus und untersucht, unter welchen Bedingungen sich Risse ausbreiten und zum Bruch führen können; eine Hauptaufgabe ist dabei die Berechnung zulässiger Rißgrößen. Mit Hilfe der Bruchmechanik kann eine Sicherheitsbeurteilung von Bauteilen in wichtigen technischen Bereichen, wie z. B. Energietechnik, Automobilbau, Flugzeugbau, bei möglichst guter Werkstoffausnutzung und Vermeidung von „Over-design“ möglich sein (Vorteile: Leichtbau, Erhöhung von Leistungs-Gewichts-Verhältnissen u. ä.). Im Unterschied zu der „Safe-Life-Methode“, nach der z. B. jeder Schaden für die ganze Lebensdauer eines Bauteils ausgeschlossen sein muß, orientiert sich die Bruchmechanik an der „Fail-Safe-Methode“, d. h. an der Sicherheit des gesamten Bauteils bzw. der gesamten Konstruktion trotz örtlicher Schädigung. Die Bruchmechanik operiert damit mit der (realistischen) Einschätzung, daß das Vermeiden jeglichen Schadens während der geforderten Lebensdauer praktisch unmöglich ist; sie läßt also bewußt dynamische Anrisse zu und verlangt, daß die Anrisse nicht die Ursache für ein völliges Versagen von Werkstoffen, Bauteilen oder Konstruktionen sein dürfen.



In den vergangenen Jahren sind in den einzelnen EG-Ländern unter verschiedenen technischen Aspekten bereits zahlreiche Arbeiten zur Bruchmechanik durchgeführt worden. Eine gezielte Kooperation im EG-Raum könnte zur breiteren Anwendung dieser Methoden in der technischen Praxis beitragen und damit einen wesentlichen Beitrag zur optimalen Auslegung und Gestaltung von Bauteilen bei rationellem Werkstoffeinsatz leisten.

#### **Forschungsthemen** (Befragungsergebnisse)

- Untersuchung weiterer Anwendungsbereiche der verschiedenen Bruchmechanik-Konzepte zur sicheren Bemessung von Bauteilen verschiedenster Art; Berücksichtigung bruchmechanischer Erkenntnisse in den entsprechenden Regelwerken.
- Grundlagenorientierte Untersuchung der Bruchzähigkeit metallischer und keramischer Werkstoffe in Abhängigkeit von Spannungszustand, Werkstoffzustand, Temperatur, Belastungsgeschwindigkeit.
- Bruchmechanische Untersuchungen von Werkstoffen, die mechanischen und thermischen Beanspruchungen sowie Gassdetonationen ausgesetzt sind (z. B. im Hinblick auf die Entwicklung eines adiabatischen Dieselmotors unter Verwendung keramischer Werkstoffe).
- Untersuchung von Kriterien für den (duktilen) Bruch bei der Metall- und Kunststoffbearbeitung (z. B. als Basis für den Entwurf von Zerspanungs- und Umformwerkzeugen).
- Analyse von diskontinuierlichen Verformungsfeldern mit Hilfe von Finite-Element-Methoden zur Verbesserung der Methoden bruchmechanischer Sicherheitsanalysen.
- Weiterentwicklung von Bruchmechanik-Konzepten zur vergleichenden Untersuchung von metallischen, keramischen und faserverstärkten Kunststoffen im Hinblick auf die Optimierung des Werkstoffeinsatzes für verschiedene Anwendungsfälle.
- Methoden zur Abschätzung der Reißstabilität im Zähbruchbereich (Wabenbruch) sowie beim Reißstop im Spröd- und Zähbruchbereich.
- Weiterentwicklung von Bruchmechanik-Konzepten für den elastischen und plastischen Bereich.
- Korrelation zwischen Bruchmechanik-Kennwerten und Standard-Duktilitäts-Werten bei metallischen Werkstoffen.

#### **3.1.5 Biologische Schädigung**

Einen weiteren wesentlichen Faktor zur Erhöhung der Qualität und Lebensdauer technischer Produkte stellt die Beständigkeit von Werkstoffen und Bauteilen gegenüber „biologischen Schädigungen“ dar. Hierbei sind zwei Klassen von Werkstoff-Schädigungsprozessen zu unterscheiden:

- (A) Schädigung von technischen Werkstoffen und Bauteilen durch Mikroorganismen, z. B. Bakterien und Pilze, oder durch materialschädigende Insekten. Hierfür ist in englischsprachigen Ländern der Begriff „Biodeterioration“ geprägt worden.
- (B) Werkstoff-Schädigungen von biomedizinischen Implantaten „in vivo“ bzw. Wechselwirkungen von Implantat-Werkstoffen mit dem menschlichen Körper. Wesentlich ist dabei die „Biokompatibilität“ von Werkstoffen.

Die große technisch-wirtschaftliche Bedeutung der Werkstoff-Schädigungsprozesse (A) ist in der Vergangenheit nicht hinreichend beachtet worden, so daß häufig die biologischen Ursachen von Werkstoffschädigungen durch Ingenieure oder

Werkstoffkundler nicht erkannt wurden. Beispiele hierzu reichen von der mikrobiologisch induzierten Metallkorrosion (z. B. von Behältern für technische Flüssigkeiten oder Flugzeug-Treibstofftanks) über die mikrobielle Zersetzung von Kunststoffbauteilen bis hin zur bakteriellen Zerstörung von Beton und Asbestzement.

Die Frage der Biokompatibilität (B) von Werkstoffen, z. B. von Implantatwerkstoffen für künstliche Gelenke, Herzschrittmacher, künstliche Arterien oder Herzklappen stellt einen wichtigen Aspekt technologischer Maßnahmen für die Medizintechnik dar.

Aufgrund der Tatsache, daß die genannten Gebiete im Vergleich zu den anderen bereits behandelten Werkstoff-Schädigungsprozessen bisher stark vernachlässigt wurden sowie der zunehmenden Bedeutung der Fragen von Biodeterioration bzw. Biokompatibilität wird eine verstärkte Förderung dieser Themenkreise — unter Berücksichtigung ihres interdisziplinären Charakters — im EG-Raum für erforderlich gehalten.

#### **Forschungsthemen** (Befragungsergebnisse)

##### **(A) Biodeterioration**

- Untersuchung der mikrobiologischen Korrosion metallischer Werkstoffe (z. B. Behälter, Treibstofftanks), Entwicklung geeigneter Schutzmaßnahmen.
- Forschungsarbeiten zur bakteriellen Betonkorrosion, zum Mikroorganismenbewuchs von Zementmörtel und zum Schimmelpilzbefall von Anstrichstoffen, Entwicklung und Prüfung antibakterieller und fungizider Schutzmittelzusätze für mineralische Werkstoffe.
- Untersuchung der Beständigkeit von Kunststoffen gegen Mikroorganismen und Bakterien.
- Mikrobiologische Untersuchungen zum Erhalt der Funktionsfähigkeit technischer Flüssigkeiten unter biologisch aggressiven Bedingungen (z. B. Kühlschmierstoffe, Hydraulikflüssigkeiten, Leckanzeigeflüssigkeiten).
- Untersuchung der Beständigkeit von Kunststoffen, Verpackungsmaterialien und Dämmstoffen gegenüber Material-schädlingen.

##### **(B) Biokompatibilität**

- Untersuchung der Eignung von Materialien unterschiedlicher Stoffklassen (Keramik, Polymerwerkstoffe, hochlegierte Stähle) zum Einsatz als Implantatwerkstoff für Bewegungsapparate, wie künstliche Hüft- und Kniegelenke.
- Entwicklung von beständigen Membranwerkstoffen zur Hämodialyse.
- Untersuchung der Werkstoffkomponenten von Herzschrittmachern zur Optimierung ihrer Funktion in vivo.
- Entwicklung geeigneter Werkstoffe zum Organersatz, z. B. für Arterien, Herzklappen etc.

#### **3.2 Innovative Bauteiltechnologien**

Die Ergebnisse der Fragebogenaktion in den EG-Ländern zeigen, daß bestimmten Halbzeug- und Bauteiltechnologien wesentliche Bedeutung zur Verbesserung technischer Produkte zukommt (vgl. Abb. 2). Hierbei sind natürlich Bauteiltechnologien mit „innovativem“ Charakter besonders zu berücksichtigen. Eine derartige innovative Bauteiltechnologie ist zweifellos die Oberflächentechnik, da oberflächentechnische Methoden einerseits zum Schutz von Bauteilen gegen Werkstoff-Schädigungsprozesse (z. B. Korrosion, Verschleiß) verwendet werden und andererseits — in material- und energiesparender Weise — zur lokalen Verbesserung von (funktionell besonders beanspruchten) Bauteilpartien beitragen können. Eine weitere wichtige

Technologie bildet die Fügetechnik, da ja die meisten technischen Produkte aus mehreren Einzelteilen bestehen, die in möglichst optimaler Weise vereinigt, d. h. „zusammengefügt“ werden müssen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Entwicklung und Anwendung günstiger Fügetechniken zur Verbindung von Werkstoffen unterschiedlicher Stoffklassen (z. B. Metall-Keramik- oder Metall-Kunststoff-Verbindungen). Eine dritte innovative Technologie stellt die Pulvermetallurgie dar, da hiermit Bauteile mit besonderen technischen Eigenschaften in rohstoff- und energiesparender Weise hergestellt werden können (vgl. Dokument COST 275 /81).

### 3.2.1 Oberflächentechnik

Die Bedeutung der Oberflächentechnik in den verschiedenen industriellen Bereichen ist in den letzten Jahren hauptsächlich aus folgenden Gründen gestiegen:

- Notwendigkeit der Schaffung von „funktionellen“ technischen Oberflächen durch anwendungsspezifische Oberflächenbehandlung preiswerter und verfügbarer Grundwerkstoffe.
- Zwang zu rationellem Materialeinsatz, kostengünstiger Fertigung und sparsamem Energieverbrauch bei Erfüllung der Auflagen und Erfordernisse des Umweltschutzes.
- Verbesserung der Gebrauchsdauer und des Schutzes von Bauteilen gegen Schädigungsprozesse, wie Korrosion, Verschleiß, Verwitterung etc.

Aus den genannten Gründen kommen oberflächentechnologische Verfahren in den verschiedenen Industriebereichen mehr und mehr zum Einsatz und beeinflussen Funktion, Qualität und Zuverlässigkeit technischer Produkte. Aus der Sicht der Anwender sind Eigenschaften wie absolute Porenfreiheit, niedrige Stückkosten, lokale Anwendbarkeit, sichere Beherrschung der Auswirkungen einer Behandlung auf andere Werkstoff- und Bauteileigenschaften usw. besonders wichtig. Neuere, in Hochschulen und Forschungsinstituten erarbeitete Ergebnisse physikalisch-chemischer Grundlagenuntersuchungen lassen erkennen, daß weitere aussichtsreiche Verfahren unter Benützung moderner Verfahrenshilfsmittel, wie z. B. der Vakuum-Technologie und der Plasma-Technik, möglich sind. Von besonderer Bedeutung ist auch die lokale Verbesserung von Bauteileigenschaften durch oberflächentechnische Verfahren. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte sollte im EG-Rahmen versucht werden, bekannte und bewährte Oberflächentechnologien weiterzuentwickeln und neue, von der Forschung vorgeschlagene Verfahren industriereif zu machen bzw. im industriellen Maßstab einzusetzen.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Systematische Untersuchung und Erfassung der Änderungen von Werkstoffeigenschaften durch Oberflächenbehandlungen aller Art mit dem Ziel einer Substitution teurer Werkstoffe durch Oberflächenbehandlungen, Verbundlösungen usw.
- Industrielle Anwendung von Oberflächentechniken zur lokalen Verbesserung von Bauteileigenschaften (wie z. B. Härte, Abriebbeständigkeit), z. B. durch Gefügeumwandlungen oder lokale Legierungsbildung (Anwendung von Lasertechniken etc.).
- Weiterentwicklung organischer Beschichtungen für Bauteile, die chemischen, biologischen oder Umwelt-Beanspruchungen in „outdoor-applications“ ausgesetzt sind.
- Intensivierung der Entwicklungsarbeiten zum vereinfachten Auftragen von korrosions- und verschleißbeständigen Legierungen sowie Sondermetallen nach dem Walz-, Sprengschweiß- und Spritzverfahren sowie mit Methoden der Physical Vapour Deposition (PVD), Chemical Vapour Deposition (CVD) oder dem Ionenimplantationsverfahren.

- Entwicklung beschichteter Werkstoffe, die bei alternativen Verfahren der Energieversorgung (Kohlevergasung, Kohle- verflüssigung, thermochemische Wasserzersetzungssprozesse) resistent gegen korrosive Medien sind.
- Entwicklung von zuverlässigen Reparaturverfahren für Oberflächenbeschichtungen.
- Entwicklung von Oberflächentechniken zur Beschichtung von chemischen Apparateanteilen, die z. B. naszierendem Wasserstoff ausgesetzt sind; hierbei sind z. B. Oberflächen- schutzschichten aus Molybdän oder Wolfram von besonderem Interesse.
- Anwendung von Überzugssystemen für verbesserten Korrosionsschutz von Stahlbauten, z. B. bei Brücken, Schiffen, Kraftfahrzeugen, Schienenfahrzeugen etc.
- Verbesserung von Beschichtungstechniken für hochtemperaturbeanspruchte Bauteile im Flugzeugbau.
- Entwicklung verbesserter Oberflächentechniken für flüssigkeitsberührte Bauteile bei gleichzeitiger abrasiv-erosiver Beanspruchung, wie z. B. in Pumpen oder Hydraulikanlagen.

### 3.2.2 Fügetechnik

Die in den EG-Ländern durchgeführten Recherchen zeigen, daß im Bereich der Bauteiltechnologien ein Bedarf zur Optimierung von Füge- und Verbindungstechnologien unter Beachtung der weltweit gestiegenen Anforderungen an Zuverlässigkeit und Sicherheit von gefügten Bauteilen und Bauteilgruppen bei Beachtung der Erfordernisse rationaler Materialnutzung, sparsamer Energieverwendung und der Notwendigkeit des Einsatzes „neuerer“ Werkstoffe besteht. Es erscheint daher in hohem Maße wünschenswert, wenn den zahlreich vorhandenen Fragestellungen auf dem Gebiet des Schweißens und der verwandten Fügeverfahren, wie Weichlöten, Hartlöten, Kleben, vermehrt Beachtung geschenkt würde. Dies gilt sowohl für verfahrensbedingte, metallurgische, werkstoffkundliche und konstruktive Probleme als auch für den Bereich der gesamten Werkstoffprüfung (zerstörend, zerstörungsfrei, vgl. Ziffer 3.4.2). Diese Feststellung trifft gleichermaßen zu für Eisen- und Nichteisenmetalle, Kunststoffe sowie Verbundwerkstoffe, für die optimale Fügetechniken in allen wesentlichen Industriezweigen benötigt werden, z. B. im „makroskopischen“ Bereich, d. h. im konventionellen Maschinen- und Anlagenbau, Fahrzeug-, Flugzeug- und Schiffbau, Offshoretechnik, konventionelle und nukleare Energieerzeugung, Gewinnung alternativer Energieträger (z. B. Kohleerflüssigung und -vergasung) sowie im „mikroskopischen“ Bereich für die Industriezweige der Feinwerktechnik und Mikroelektronik.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Leistungssteigerung von Schweißverfahren, z. B. durch Entwicklung überhitzungsunempfindlicher Feinkornstähle für Hochleistungsschweißverfahren oder warmrißfreier Schweißverbindungen für mechanisierte Schweißverfahren.
- Weiterentwicklung von Klebverfahren, z. B. im Hinblick auf einen Einsatz in der Großserienfertigung, Verkürzung von Abbindezeiten, Einsatz im Hochbau etc.
- Untersuchung von Klebverbindungen und der adhäsiven Bindekräfte bei Einfluß unterschiedlicher Umgebungsbedingungen.
- Optimierung von Lötverfahren (Weichlöten, Hartlöten) speziell für „neuere“ Werkstoffe und kombinierte Materialien (Verbundwerkstoffe).
- Untersuchung geeigneter Fügetechniken zur Herstellung von Metall-Keramik-Verbindungen sowie zum Verbinden von Kunststoffbauteilen (z. B. Polyäthylenrohre).

- Entwicklung aussagesicherer Konstruktions- und Berechnungsvorschriften für widerstandsgeschweißte Teile (dringendes Erfordernis der gesamten blechverarbeitenden Industrie).
- Untersuchung von Schweißverbindungen bei hohen Temperaturen, Bedeutung für Bauteile von Chemieanlagen, Kernkraftwerken, Gasturbinen, Kohleverflüssigung, Glas- und keramische Industrie.
- Untersuchung der Schweißbeignung austenitischer Stähle, z. B. für den Einsatz dickwandiger Bauteile im Behälter-, Dampfkessel- und Rohrleitungsbau (dabei auch Berücksichtigung der Werkstoffresistenz gegenüber aggressiven Medien, Meerwasser, Chloridgehalt).
- Fügetechniken für pulvermetallurgische Erzeugnisse.
- Untersuchung des Einflusses der chemischen Zusammensetzung und der Schweißbedingungen auf das Langzeiterhalten (Versprödung) von CrMo-Schweißverbindungen zur Erhöhung der Sicherheit beim Betrieb von Hochdruckkappa- raten der chemischen Industrie.
- Untersuchung der generellen Schweißbarkeit von Beton- stählen für den Stahlbeton- und Spannbetonbau (z. B. durch Werkstoffmodifikation, geeignete Behandlungsverfahren).
- Entwicklung verbesserter Sinterverfahren für Al- und Ti- Legierungen und hochschmelzende Metalle (Nb, Ta, Mo, W).
- Untersuchung der Einflüsse von Prozeßtechniken und sich dabei ergebendem Gefüge auf die Eigenschaften pulverme- tallurgischer Bauteile.
- Entwicklung von Richtlinien für die Konstruktion von Bauteilen, die pulvermetallurgisch hergestellt werden.
- Verbesserung der Produktionsleistung der Pulvermetallurgie, z. B. durch Optimierung der Wärmebehandlungen und der thermomechanischen Verarbeitung.
- Einsatz der Pulvermetallurgie als rohstoffsparendes Ferti- gungsverfahren für hochbeanspruchte (hochfeste und hoch- wärmefeste) Bauteile der Luft- und Raumfahrttechnik.

### 3.3 Neue Werkstoffe für neue Anforderungen

Neben Maßnahmen zur Qualitätserhöhung technischer Produk- te durch Erforschung und Verminderung von Werkstoff- Schädigungsprozessen (Ziffer 3.1) und dem notwendigen Einsatz „innovativer“ Bauteiltechnologien (Ziffer 3.2) erscheinen Forschungsarbeiten zur Weiter- und Neuentwicklung von Werkstoffen und Materialien erforderlich, damit die Europäische Industrie für die technologischen Herausforderungen der Zukunft gerüstet ist. Die Betrachtung der Entwicklungstenden- zen der Materialtechnologie und -forschung in den USA und Japan (vgl. Anhang I und II) läßt erkennen, daß dort in dieser Hinsicht erhebliche Anstrengungen unternommen werden. Auch die Ergebnisse der Recherchen im EG-Raum zeigen (vgl. Abb. 3 und 4), daß Interesse und Bedarf in bestimmten Materialklassen bestehen, die für verschiedene „zukunftsträchti- ge“ Industriebereiche bzw. technologische Entwicklungen für besonders wichtig gehalten werden, wobei auch entsprechende Verarbeitungs-, Fertigungs- und Prüfverfahren sowie werkstoff- gerechte Konstruktionsmethoden gemeinsam mit den Werkstof- fen zu entwickeln sind. Wie bereits unter Ziffer 3.0 bemerkt, werden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf einigen dieser Gebiete (z. B. Hochtemperaturwerkstoffe, keramische Werkstoffe) bereits in anderen EG-Programmen gefördert, so daß für den Bereich der Materialforschung im Rahmen eines möglichen EG-Programms „Basic Technological Research“ die im folgenden dargestellten Gebiete als Förderbereiche vorge- schlagen werden.

#### 3.3.1 Verbundwerkstoffe

Die komplexen Aufgaben der gegenwärtigen und zukünftigen Technik erfordern für die verschiedenen Industriebereiche die Verwendung von Materialien und Bauteilen, die möglichst die Vorteile mehrerer „klassischer“ Werkstoffe in sich vereinigen. In zunehmendem Maße werden daher für wichtige technische Anforderungen „maßgeschneiderte“ Materialien in Form von Verbundwerkstoffen benötigt. Verbundwerkstoffe bestehen aus zwei oder mehr Werkstoffkomponenten, die heterogen neben- einander vorliegen, aber innig miteinander verbunden sind. Man unterscheidet dabei im wesentlichen die hauptsächlichen Verbundwerkstoffklassen: Faserverbundwerkstoffe, oberflä- chenbeschichtete Werkstoffe, Schichtverbundwerkstoffe, Partikel- oder Teilchenverbundwerkstoffe. Die Werkstoffe für die Matrix und die Komponenten (Fasern, Schichten, Partikel) können dabei aus allen wesentlichen Materialklassen (Metalle, Keramik, Kunststoffe, Zement, Glas, Gummi) kommen. Die Verwendung von Verbundwerkstoffen steht immer in Zusam- menhang mit der Verfolgung eines bestimmten technologischen Zieles: gegenüber Einkomponenten-Werkstoffen soll entweder eine Verbesserung des Korrosions- oder Verschleißverhaltens, des Aussehens oder der optischen Eigenschaften, der mecha- nisch-thermischen Beständigkeit, der Wärme- oder Geräusch- dämmung oder eine Gewichtsreduzierung zum Zwecke der Energieeinsparung erreicht werden. (Da der Bereich der Verbundwerkstoffe außerordentlich breit ist, könnte möglicher- weise eine gewisse Einschränkung derart vorgenommen

#### 3.2.3 Pulvermetallurgie

Eine für die zukünftige technologische Entwicklung wichtige Bauteiltechnologie stellt die Pulvermetallurgie, d. h. die Herstel- lung von Werkstoffen und Bauteilen aus pulverförmigen Ausgangsstoffen dar. Sie kann mit Vorteil dort angewendet werden, wo die übrigen Verfahren des Schmelzens, Legierens oder Gießens oder der spanlosen bzw. spanenden Formgebung nicht oder nur mit großen technischen Schwierigkeiten und Kosten eingesetzt werden können. Pulvermetallurgische Verar- beitungsmethoden, die im allgemeinen aus den drei Verfahren- schritten „Pulverherstellung“, „Pressen“, „Sintern“ bestehen, ermöglichen erhebliche Rohstoff- und Energieeinsparungen. Diese Einsparungen bei den Herstellungskosten dürften mittelfristig noch wichtiger werden, da die Preise für Rohstoffe und Energie steigen und besonders die Versorgung mit „strategisch“ wichtigen Elementen (vgl. Tabelle 2 und 3) knapp werden könnte. Überdies können mit Hilfe der Pulvermetallurgie hergestellte Bauteile wegen verbesserter Eigenschaften bedeu- tende technische Vorteile haben. Diese Vorzüge ergeben sich aus dem unter Einsatz bestimmter Techniken erzielten homogenen Gefüge, das zu Bauteilen mit verbesserten mechanisch-technologischen Eigenschaften und somit auch zu besserem technisch-funktionellem Verhalten dieser Bauteile in den verschiedenen industriellen Bereichen, z. B. Automobilbau, Haushaltgerätektechnik, Elektroindustrie, führt. In Anbetracht dieser technologischen Vorteile und der Notwendigkeit, daß die Europäische Industrie in dem auf diesem Gebiet zu erwartenden heftigen Wettbewerb mit Japan und den USA (vgl. Anhang I und II) bestehen kann, ist es wünschenswert, neben der Koordination von Entwicklungs- und Forschungsarbeiten (vgl. COST 275/81) die Pulvermetallurgie verstärkt zu unterstützen, um die Wettbewerbslage der EG-Industrie zu verbessern.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Optimierung der Verfahren zur Verbreitung und Kennzeich- nung von Metallpulvern für pulvermetallurgische Verfahren unter Berücksichtigung besonderer Herstellungstechniken und Verwendung von aufbereiteten Sekundärrohstoffen (z. B. Schrott).
- Untersuchungen zum Einsatz des HIP-Verfahrens („heiß- isostatisches Pressen“) für Bauteile mit besonderen magneti- schen, elektrischen und/oder mechanischen Eigenschaften.

werden, daß primär Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit dem Schwerpunkt „Technologien zur breiteren Nutzung bereits bekannter Verbundwerkstoffe“ gefördert werden.)

#### **Forschungsthemen** (Befragungsergebnisse)

- Systematische Untersuchungen im Hinblick auf Verbundwerkstoffe mit speziellen mechanisch-technologischen Eigenschaften (z. B. im Bereich der Tribotechnik: Kunststoff-Verbundsysteme für niedrige Belastungen und Keramik-Metall-Systeme für hohe Belastungen).
- Untersuchung der Haftmechanismen und Wechselwirkungen in den Grenzflächen der Komponenten von Verbundwerkstoffen.
- Erarbeitung von Hilfsmitteln für den Konstrukteur zum technischen Einsatz neuer Verbundwerkstoffe in den unterschiedlichen Bereichen industrieller Technik.
- Entwicklung problemspezifischer Kunststoffverbundwerkstoffe für den konstruktiven Einsatz in tragenden Konstruktionen (z. B. Einsatz von GFK, Membranen, Sandwichelementen usw.), kostengünstige Herstellungstechnologien und geeignete Verbindungs- und Verankerungstechniken.
- Adhäsionsforschung an Polymer-Metall-Verbunden zur Optimierung der Adhäsion in Metallklebungen und an lackierten Metallen, speziell unter Aspekten der Langzeitbeständigkeit.
- Herstellung von Verbund- und Hybridwerkstoffen mit besonderen Dämpfungs- und Schallabsorptionseigenschaften.
- Untersuchung und Verbesserung technologischer Eigenschaften von Papier-Kunststoff-Verbundwerkstoffen (Berücksichtigung von Kompatibilitätsfragen und möglicher Altstoffnutzung).
- Entwicklung von faserverstärktem Beton (Kunststoffmodifikation, Stahlfasern) und glasfaserverstärktem Mörtel mit günstigen Langzeiteigenschaften.

#### **3.3.2 Leichtbauwerkstoffe**

In verschiedenen Bereichen der industriellen Technik werden in Zukunft vermehrt Werkstoffe und Materialien mit vermindertem Gewicht bei möglichst unveränderten (oder wenn möglich verbesserten) mechanisch-technologischen Eigenschaften benötigt. Hierbei ist eine wesentliche Zielsetzung z. B. die Reduzierung des Gewichtes von bewegten Teilen (Kraftfahrzeugbau, Flugzeugbau, Schiffsbau, Behälterbau) in Hinblick auf die Einsparung von Antriebsenergie. Eine andere Zielsetzung besteht in der weiteren Miniaturisierung von Bauteilen, z. B. im Bereich der Feinwerk- und Gerätetechnik sowie Elektronik. Als Werkstoffe für diese Aufgaben kommen primär bestimmte Stahl- und Leichtmetalllegierungen sowie Kunststoffe in Betracht.

In anwendungstechnischer Hinsicht ist es besonders wichtig, daß durch die Gewichtsreduzierung nicht die Festigkeit und Stabilität der entsprechenden Konstruktionen vermindert werden. Außerdem sind Fragen der Beständigkeit (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit) sowie ausreichende Wärme- und Schalldämmungseigenschaften von Leichtbauteilen wichtige Randbedingungen, die erfüllt sein müssen. Es existieren somit auf diesem technologischen Gebiet eine Reihe von Fragestellungen, deren erfolgreiche Bearbeitung den betreffenden Industriebereichen der EG Vorteile verschaffen würde.

#### **Forschungsthemen** (Befragungsergebnisse)

- Untersuchungen an hochfesten, niedriglegierten Stählen (HSLA: high strength low alloy steels) im Hinblick auf Verarbeitungstechnologien, Festigkeits-Gewichts-Relationen, aber auch Dämpfungs- und Stabilitätseigenschaften.
- Weiterentwicklung spezieller Kunststoffe zur Verwendung für Komponenten von Leichtbauteilen (z. B. duktilere Fasern

für faserverstärkte Kunststoffe, Verbesserung von Matrixharzen).

- Konstitutionsforschung auf dem Gebiet der Superleichtmetalllegierungen sowohl auf Mg-Li- als auch auf Al-Li-Basis (z. B. Abstimmung von Mengenverhältnissen, Homogenisierungstemperaturen); Anwendungsbereiche im Automobilbau und der Luftfahrtindustrie.
- Untersuchung des Dauer- und Betriebsverhaltens von Leichtbauteilen in Verbund- und Hybridbauweise; Betriebsfestigkeitsrechnungen.
- Untersuchung der Temperatur- und Feuchtebeständigkeit von Verbundwerkstoffen, z. B. von kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK).
- Verbesserung der Grundlagenkenntnisse von den gängigen Massenwerkstoffen, um durch bessere Werkstoffnutzung Gewichtseinsparungen zu ermöglichen.
- Untersuchung zur Verringerung der Fahrzeugmassen von Straßenfahrzeugen durch geänderte Werkstoffe ohne funktionsmäßige Nachteile, z. B. „Dual-Phase-Steel“, Sandwich-Bleche, Faser-Verbundwerkstoffe, Kunststoffe, Leichtmetalle.
- Optimierung technischer Bauteile durch konsequente Anwendung der Klebetechnik (Leichtkernbauweise, Mischbauweise mit verschiedenen Metallen bzw. Metall-Kunststoff-Verbunden). Entwicklung verbundgerechter Weiterverarbeitungstechnologien (z. B. Einbrennlackieren).

#### **3.3.3 Polymerwerkstoffe mit speziellen Eigenschaften**

Den Polymerwerkstoffen oder technischen Kunststoffen kommt für die weitere technologische Entwicklung aus verschiedenen Gründen, z. B. wegen ihrer Eignung als Substitutionswerkstoffe für nicht hinreichend verfügbare Metalle (vgl. Tabelle 2 und 3) oder wegen der großen Bandbreite ihrer technologischen Eigenschaften eine weiterhin wachsende Bedeutung zu. Hierbei ist die europäische Kunststoffindustrie einer doppelten Konkurrenz ausgesetzt. Auf der einen Seite werden aus technologisch hochentwickelten Ländern, wie z. B. den USA, hochwertige Qualitätsprodukte und fortschrittliche Anwendungstechnologien angeboten. (In den USA bilden Polymerwerkstoffe die Materialklasse mit den höchsten Wachstumsraten, vgl. Anhang I.). Auf der anderen Seite können bestimmte Länder, wie die osteuropäischen und die ölproduzierenden Länder, zu niedrigen Preisen Materialien in normaler Qualität für Standardanwendungen liefern. Außerdem wird der länderübergreifende Einsatz von Polymerwerkstoffen durch z. T. unterschiedliche nationale Normen, Testmethoden sowie Umwelt- und Sicherheitsbestimmungen beeinträchtigt. Aus den genannten Gründen erscheint es wichtig, im EG-Bereich F- u. E-Arbeiten zu fördern, die dazu beitragen können, daß Polymerwerkstoffe mit verbesserten speziellen technologischen Eigenschaften verfügbar sind und in fertigungs- und anwendungstechnischer Sicht optimal eingesetzt werden können.

#### **Forschungsthemen** (Befragungsergebnisse)

- Erstellen von Hilfsmitteln für den Konstrukteur zum besseren Einsatz von Polymerwerkstoffen in den verschiedenen technischen Anwendungsbereichen (z. B. anwendungsorientierte Werkstofftabellen, vereinheitlichte Normen und technische Regelwerke etc.).
- Untersuchungen von Kunststoffen, Chemiefasern, Klebern und Polymerlegierungen im Hinblick auf höhere Festigkeit und verbesserte Beständigkeit (thermische Stabilität, Flammenbeständigkeit etc.).
- Entwicklung energieabsorbierender und schalldämmender Kunststoffe.



- Untersuchung der Eigenschaften von Kunststoffen im Kontakt mit Lebensmitteln, z. B. im Hinblick auf Toxizität, Undurchlässigkeit für Gase, Aromastoffe, Öle und Fette.
- Entwicklung elektrisch leitender Kunststoffe mit Abschirmwirkung gegen elektromagnetische Strahlung für Anwendungen in der Elektrotechnik und der Elektronikindustrie.
- Entwicklung von Polymerwerkstoffen und Chemiefasern mit verbesserten fungiziden, antibakteriellen und insektiziden Eigenschaften.
- Vergleichende Untersuchung der Dauerhaltbarkeit, der Lebensdauer usw. von Kautschuk, Gummi und Polymerwerkstoffen.
- Untersuchung und Kennzeichnung der physikalisch-chemischen Eigenschaften und der technologischen Kennwerte von „Altkunststoffen“, die z. B. im Recyclingverfahren zur Wiederverwendung aufbereitet werden.
- Entwicklung von Kunststoffen für Membran-Werkstoffe für energiegunstige Stofftrennungstechnologien.
- Entwicklung von Polymerwerkstoffen mit günstigen anwendungstechnischen Eigenschaften (z. B. Langzeitbeständigkeit, Verhalten bei tiefen Temperaturen) zum Einsatz in der Bauindustrie, z. B. für Abdichtungsmaterialien wie Fugenmassen und Folien, Wärmedämmstoffe, Elastomer- und Gleitlager etc.).
- Untersuchung der mechanisch-technologischen Eigenschaften von „Kunststoff-Papieren“.
- Untersuchungen zur Ausnutzung nichtlinearer dielektrischer Eigenschaften von Kunststoffen für Elektronikanwendungen (z. B. Schalteranwendungen).
- Entwicklung transparenter elektrooptischer Keramik.
- Entwicklung ferroelektrischer dünner Schichten für elektrooptische Anwendungen und als piezoelektrische Wandler.
- Untersuchung von Werkstoffen bzw. -beschichtungen mit speziellen Eigenschaften bezüglich Reflexion, Absorption und Transmission optischer Strahlung (Globalstrahlung), z. B. für Bauteile der Solartechnik oder zur Verbesserung der Energiebilanz von Verglasungen.
- Entwicklung abstimmbarer Laser (z. B. auf Berylliumoxid-Basis); Anwendungsbereiche sowohl in der Fertigungstechnik (Laserschweißen) als auch in der Nachrichtentechnik (breitbandige Nachrichtenübertragung).
- Herstellung von geordneten Faserbündeln (Bildleiter), z. B. für technische und medizinische Endoskope.

### 3.4 Meß-, Prüf- und Beurteilungstechniken für Werkstoffe und technische Produkte

Für eine erfolgreiche Materialforschung zur Verbesserung technischer Produkte ist der Einsatz aussagekräftiger Meß- und Prüftechniken sowie anerkannter Beurteilungskriterien und -methoden für Werkstoffe und Bauteile eine ganz wesentliche Voraussetzung. Dies gilt insbesondere auch für „neue“ Werkstoffe. Zusammen mit den gestiegenen Ansprüchen bezüglich Qualität, Zuverlässigkeit und Gebrauchsdauer technischer Produkte sind auch die Anforderungen an die zugehörigen Meß- und Prüftechniken in den letzten Jahren erheblich gewachsen. Die Recherche im EG-Raum zeigte, daß als Förderung bestimmter Bereiche von Meß-, Prüf- und Beurteilungstechniken für Werkstoffe und technische Produkte im Rahmen eines möglichen Förderprogramms „Basic Technological Research“ für dringend notwendig gehalten wird. So ist es z. B. erforderlich, in Zusammenhang mit den Anstrengungen zur Verbesserung technischer Produkte durch Erforschung von Werkstoff-Schädigungsprozessen (vgl. Ziffer 3.1) Meßtechniken zur (Früh-)Erkennung dieser Schädigungsprozesse und zur Beurteilung ihrer Auswirkung auf die betreffende technische Funktion des Werkstoffes oder Bauteils zur Verfügung zu haben. Daneben sind „Zerstörungsfreie Prüfmethode“, eine „Rechnergestützte Materialprüfung“ und die Ermittlung der realen Beanspruchungsbedingungen technischer Produkte im praktischen Betrieb sowie verlässliche Methoden zur (Voraus-)Bestimmung der (Rest-)Lebens- oder Gebrauchsdauer wichtige Gebiete, deren Förderung von prioritärer Bedeutung ist.

#### 3.4.1 Funktionsorientierte Prüfungen für Werkstoff-Schädigungsprozesse

Die zu fördernden Bereiche der Meß- und Prüftechnik für Werkstoff-Schädigungsprozesse orientieren sich an den unter Ziffer 3.1 behandelten wichtigen Schadensarten, so daß die hauptsächlich Förderbereiche Meß- und Prüftechniken für Korrosion, Verschleiß, Bruch- und Rißentstehungsprozesse sowie zur Erfassung biologisch induzierter Schäden zu unterscheiden sind. Dabei erscheinen drei Gesichtspunkte von besonderer Wichtigkeit:

- Es müssen Methoden und Techniken entwickelt bzw. angewandt werden, die eine möglichst frühe Erkennung von Schädigungsprozessen erlauben, also eine hohe „Meß- und Nachweisempfindlichkeit“ haben.
- Falls Messungen und Prüfungen nicht direkt an den betreffenden Bauteilen im praktischen Betrieb, sondern an vereinfachten „Mustern oder Prüfkörpern“ vorgenommen werden, ist ergänzend die Frage der „Übertragbarkeit“ der Prüf- und Untersuchungsergebnisse auf die technische Praxis zu betrachten.

#### 3.3.4 Werkstoffe mit speziellen elektrischen, magnetischen, optischen Eigenschaften

In allen industriellen Bereichen ist die Elektronik eine wichtige zukunftssträchtige Komponente. Bekanntlich ist die EG hier einem äußerst starken Wettbewerb aus Japan und den USA ausgesetzt (vgl. hierzu den Vergleich entsprechender Handelsbilanzen, Abb. 1). Zur Verbesserung der Position der EG auf diesem Bereich erscheint es notwendig, daß Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an Werkstoffen mit speziellen elektrischen, magnetischen, aber auch optoelektronischen Eigenschaften als Basis für zukünftige technologische Industrieanwendungen durchgeführt werden. Hierbei ist weniger an F- u. E-Arbeiten auf Gebieten mit Massenprodukten von Elektronikbauteilen (wie z. B. Mikrochips), sondern an spezielle Anwendungsbereiche der Elektrotechnik, Elektronik und Optoelektronik gedacht, denen jedoch in der Zukunft eine erhebliche Bedeutung zukommen könnte. Dabei ist auch der Gesichtspunkt wichtig, daß derartige Forschungsarbeiten auf bestimmten Gebieten auch kleinen und mittelständischen Industriebetrieben zugute kommen könnten, was für einige EG-Länder von besonderem Interesse ist. Es wird daher vorgeschlagen, den geschilderten Themenkreis als möglichen Förderbereich eines EG-Programms „Basic Technological Research“ aufzunehmen.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Untersuchungen zum Ersatz von teuren und nicht in genügendem Maße verfügbaren speziellen Werkstoffen durch z. B. amorphe Metalle, amorphe Halbleiter, polymere Isolierstoffe.
- Züchtung spezieller, elektrotechnisch interessanter Eigenschaften von metallischen, nichtmetallischen, anorganischen oder polymeren organischen Werkstoffen.
- Breitangelegte Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten metallischer Gläser auf allen möglichen Gebieten der Technik, dementsprechend ggfs. Weiterentwicklung der Fertigungstechnologien etc.
- Entwicklung elektrisch und mechanisch hochwertiger Flächenstoffe mit hoher Temperaturbeständigkeit.

- c) Da Werkstoff-Schädigungsprozesse meist komplexe Vorgänge sind, sollten bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Prüfungen systemanalytische Betrachtungen zur Erfassung und Kennzeichnung der wirkenden vielfältigen Parameter und Einflußgrößen durchgeführt werden.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Meßtechniken zur Erfassung von Versprödung, Rißbildung und Rißwachstum in metallischen Werkstoffen durch Einwirkung von Wasserstoff bei Beachtung der funktionellen Betriebsbedingungen.
- Weiterentwicklung von Meß- und Prüfverfahren zur Spannungs- und Schwingungsrißkorrosion auch bei hohen Drücken und Temperaturen für verschiedene Bereiche (z. B. chemische Anlagen, Bauteile von Kraftwerken, Offshore-Anlagen).
- Entwicklung praxisnaher Umweltsimulationsanlagen für Korrosionsprüfungen.
- Entwicklung von Verschleißmeß- und -prüftechniken beim einzelnen oder überlagerten Wirken der hauptsächlichen Verschleißmechanismen (Adhäsion, Abrasion, Oberflächenzerrüttung, Tribooxidation), Erprobung in Ringversuchen.
- Meßtechniken zur Früherkennung von Werkstoffschädigungen an wechselbeanspruchten Werkstoffen und Bauteilen.
- Entwicklung praxisrelevanter Meß- und Prüftechniken für Schwingungsverschleiß und Reibdauerbruch (fretting, fretting fatigue).
- Verbesserung von Laborprüfmethoden zur Untersuchung der Beständigkeit von Werkstoffen gegen Mikroorganismen und Materialschädlinge.
- Weiterentwicklung bruchmechanischer Prüftechniken und -konzepte.

#### 3.4.2 Zerstörungsfreie Prüfungen

Die zerstörungsfreie (Material-)Prüfung (ZfP) ist der medizinischen Diagnostik vergleichbar: Eventuell vorhandene Mängel in technischen Objekten aller Art sind so frühzeitig zu finden, daß davon ausgehende mögliche Gefahren oder Schäden für die Verwendbarkeit von Werkstoffen, Bauteilen oder Konstruktionen sowie für Menschen und Umwelt rechtzeitig erkannt und behoben werden können. Hauptmethoden der ZfP sind die Durchstrahlung von Werkstoffen und Bauteilen mit Röntgen- oder Gammastrahlen (analog zur medizinischen Röntgendiagnostik), die Ultraschallprüfung (z. B. Impulsecho-Verfahren analog zum Echolot), elektrische Verfahren (z. B. Wirbelstrom-Verfahren), magnetische Verfahren (z. B. Streuflußprüfung magnetisierbarer Teile auf Oberflächenrisse) sowie Schallemissionsanalyse und Wärmeflußverfahren. Die Bedeutung der zerstörungsfreien Prüfung für ein mögliches Förderprogramm „Basic Technological Research“ ergibt sich unmittelbar aus den wichtigsten Wirkungsbereichen der ZfP, nämlich Schadensverhütung und Qualitätskontrolle, Sicherstellung der Betriebsfähigkeit von technischen Anlagen, Rationalisierung von Produktionsprozessen, sparsame Rohstoffverwendung. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist, daß die Konkurrenzfähigkeit der EG auf dem Weltmarkt u. a. vom Preis- und Qualitätsniveau ihrer technischen Erzeugnisse entscheidend abhängt. Beide Aspekte, insbesondere der letztere, werden durch sinnvollen Einsatz der ZfP wesentlich beeinflusst.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Zerstörungsfreier Nachweis von Werkstoff-Fehlstellen mit geringer Wechselwirkung, z. B. durch Ermüdung, Spannungsrißkorrosion, Thermoschock u. a. induzierte Anrisse.

- Weiterentwicklung und Anwendung von ZfP-Verfahren zur Untersuchung von (Eigen-)Spannungen in Werkstoffen und Bauteilen, Untersuchung der Einflüsse unterschiedlicher Fertigungsverfahren.

- Wirtschaftliche zerstörungsfreie Prüftechniken für dünnwandige metallische und nichtmetallische Bauteile.

- Weiterentwicklung und Erprobung von integralen ZfP-Großverfahren.

- Weiterentwicklung der Verfahren der Ultraschallspektroskopie (US) von Werkstoffen sowie der Schallemissionsanalyse (acoustic emission), Wechselwirkungen von US und Werkstoffen.

- Darstellung von Prüfergebnissen der ZfP (z. B. der Ultraschall- und Wirbelstromprüfung oder der Radiometrie) in Bildform und digitale Weiterverarbeitung der Bilder (z. B. für die Radiographie oder das Streuflußverfahren).

- Ansätze zur Fehler-Rekonstruktion bei der ZfP, einschließlich der Mustererkennung und Fehlerbewertung.

- Zerstörungsfreie Ermittlung der Qualität von Fügeverbindungen.

- Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Qualitätssicherung von Werkstoffen und Bauteilen der Elektrotechnik und Elektronik.

- Zerstörungsfreie Prüfverfahren für die Bauindustrie, z. B. für Untersuchungen an Beton- und Spannstahl zur zuverlässigen Feststellung von Lage und Durchmesser der Bewehrung, der Karbonisierungstiefe, des Korrosionsgrades der Bewehrung und der Betondeckung.

#### 3.4.3 Rechnergestützte Materialprüfung (CAT)

Für die Prüfung und Untersuchung von Werkstoffen und Bauteilen sind Gesichtspunkte wie Aussagefähigkeit und Objektivität der Prüfmethode, möglichst geringer Personalaufwand für die Prüfungen und die Automatisierung von Prüfabläufen, Datenerfassung und -ausgabe wichtige Faktoren. Hierbei kann ein verstärkter Einsatz der heute in einer großen Bandbreite zur Verfügung stehenden Rechner erhebliche Vorteile bringen. Ähnlich wie für die Bereiche der Konstruktion und Fertigung der in den letzten Jahren erfolgte Einsatz der rechnergestützten Methoden CAD („Computer-aided design“) und CAM („Computer-aided manufacturing“) zu Fortschritten in diesen Bereichen geführt hat, könnte auch die Förderung von rechnergestützten Prüfmethoden — für die hier der Begriff „Computer-aided testing“ (CAT) vorgeschlagen wird — ein wichtiges Hilfsmittel für den Bereich des „Basic Technological Research“ darstellen. Hiermit könnten auch „klassische“ Bereiche der Materialprüfung automatisiert und den steigenden Erfordernissen an ihren Einsatz in industriellen Bereichen angepaßt werden, wobei auch geeignete Schnittstellen („Interfaces“) zwischen dem eigentlichen Prüfgerät und dem für den jeweiligen Anwendungsfall sinnvoll einzusetzenden Rechner (oder auch Mikroprozessor) zu entwickeln sind. Die Bedeutung dieses Gebietes wird dadurch unterstrichen, daß sowohl von amerikanischen als auch von japanischen Herstellern verstärkte Anstrengungen unternommen werden, den europäischen Markt mit Anlagen zur Materialprüfung zu erobern. Da die auf diesem Gebiet tätigen europäischen Firmen, bedingt durch ihre Größe (kleine und mittelständische Firmen) nicht in der Lage sind, die notwendigen Entwicklungskapazitäten allein zu finanzieren, wäre eine EG-Förderung dringend erforderlich.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Rechnergestützte Anlagen für verschiedene Materialprüfaufgaben (Zug-Druck-Biegeprüfung, Schwingfestigkeitsuntersuchungen), Bedienung im Einzelversuch per Bedienerführung durch den Rechner, automatische Bestimmung der Meßergebnisse und statistische Weiterverarbeitung.



- Rechnergestützte Anlagen zur automatischen Prüfung der Schlagfestigkeit und der Schlagarbeit, Erfassung der Meßwerte, des Kraft-Verformungsverlaufs und statistische Weiterverarbeitung.
- Handhabungssysteme zur automatischen Probenzuführung zur Serienprüfung in rechnergestützten Prüfanlagen und für „On-line testing“ in der Produktion.
- Entwicklung und Herstellung von Meß- und Prüfgeräten mit einfacher Bedienung und möglichst mit digitaler Ergebnisanzeige, z. B. für Härte, Rauhtiefe und Schichtdickenbestimmungen, geeignet für betriebliche Messungen.
- Weiterentwicklung der Methoden der Computer-Tomographie zur zerstörungsfreien Untersuchung von Werkstoff- und Bauteileigenschaften.
- Automatisierung von Methoden der chemischen Analyse von Stoffen (bei Rechner- bzw. Mikroprozessoreinsatz) zur Kostenreduzierung in den verschiedenen technischen Einsatzbereichen.
- Rechnergestützte Anlagen zur automatischen Prüfung der Verarbeitungseigenschaften von Elastomeren, kohlefaser- und glasfaserverstärkten Kunststoffen u. ä.
- Techniken zur Prüfung und Steuerung von Materialeigenschaften in kontinuierlichen Prozessen mit Hilfe kontrolltheoretischer Modelle.
- Weiterentwicklung von Rechenmethoden (z. B. „Finite Elemente“) zur Untersuchung von Werkstoff- und Bauteilverhalten unter verschiedenen Beanspruchungen.

5,4 2

5,4 2

#### 3.4.4 Beanspruchungsermittlung unter Betriebsbedingungen und Lebensdauer-Bestimmungsmethoden

Ein wesentliches Beurteilungskriterium für die Qualität und Zuverlässigkeit technischer Produkte stellt die „Gebrauchsdauer“ oder nutzbare „Lebensdauer“, d. h. die Zeitspanne dar, in der das betreffende technische Produkt den Anforderungen genügt. Für die Gebrauchs- oder Lebensdauer sind natürlich die „realen“ Beanspruchungen maßgebend, denen das betreffende Bauteil oder Produkt unter „Betriebsbedingungen“ ausgesetzt ist. Diese Betriebsbedingungen können häufig sehr komplex sein und sich z. B. in der Überlagerung verschiedener Einflüsse (z. B. statische und dynamische Belastungen, Temperaturen, Umwelteinflüsse etc.) ausdrücken. Für die aus Wettbewerbsgründen unbedingt erforderliche rationelle Nutzung von Werkstoffen, die Optimierung von Bauteilen und Konstruktionen sowie die Vermeidung von „Overdesign“ sind Kenntnisse über die Beanspruchungen unter Betriebsbedingungen und Abschätzungen über die zu erwartende Einsatzzeit, in denen das betreffende Bauteil fehlerfrei funktioniert, entscheidende Voraussetzungen.

Hierfür sind u. a. erforderlich: Beanspruchungsaufnehmer und Sensoren zur Erfassung realer Beanspruchungen, Prüfmethoden für Werkstoffe und Betriebsbedingungen unter Betriebsbeanspruchungen bzw. ihrer Simulation, Methoden zur Abschät-

zung von Gebrauchs- oder Lebensdauer unter Beachtung der Einflüsse von Werkstoff, Gestalt, Fertigung, Umwelt („Betriebsfestigkeitsrechnung“). Bei der Umfrage im EG-Raum wurde von verschiedener Seite auf die Notwendigkeit einer verstärkten Forschung auf diesen Gebieten hingewiesen, die dazu beitragen können, die Wettbewerbsfähigkeit von Industrieprodukten aus den EG-Ländern — speziell von solchen an die hohe Sicherheits- und Qualitätsanforderungen gestellt werden — zu erhöhen.

#### Forschungsthemen (Befragungsergebnisse)

- Weiterentwicklung von Verfahren zur Ermittlung und Analyse von „Komplexbeanspruchungen“, z. B. für bestimmte Bauteile des allgemeinen Maschinenbaues, des Kraftfahrzeugbaues oder der Luftfahrtindustrie.
- Entwicklung von Meßaufnehmern (Sensoren) zur Erfassung der realen Beanspruchungsverhältnisse (speziell Flächenpressungen, Temperaturen) in tribotechnischen Bauteilpaarungen, wie Lagerungen, Getrieben, Kupplungen, Bremsen etc.
- Simulation der realen Beanspruchungsverhältnisse beim Schweißen von Bauteilen mit dem Ziel, die in Bauteilen für die Bildung von schweißbedingten Rissen (Heißriß, Kaltriß, Wiedererwärmungsriß, Lamellenriß) herrschenden Bedingungen aufzufinden.
- Prüfverfahren zur sicheren Prognostizierung des Gebrauchsverhaltens von Straßenbaustoffen (Mineralstoffe und Haufwerke).
- Entwicklung zuverlässiger Prüfverfahren unter Betriebsbedingungen (Medien, Temperatur, Bewegung).
- Untersuchung von Möglichkeiten zur Extrapolation der Ergebnisse von Kurzzeittests auf Gebrauchsdauer-Vorhersagen.
- Ansätze zum Schließen der Lücke zwischen zerstörungsfreier und zerstörender Prüfung, speziell im Hinblick auf die Bewertung von Fehlerstellen und die Abschätzung der Lebensdauer von Bauteilen.
- Untersuchungen zur Versagenswahrscheinlichkeit von Bauteilen in Abhängigkeit von der Fehlerstatistik.
- Bestimmungsmethoden für die „Restlebensdauer“ von Bauteilen (speziell von Bauteilen mit hohen Sicherheitsanforderungen, wie z. B. von Dampfleitungen und Turbinen in Kraftwerken) und Entwicklung von kontinuierlichen Überwachungs- und Frühwarnsystemen.
- Entwicklung brauchbarer Schadensakkumulationshypothesen und Nachweis ihrer Gültigkeit auf verschiedenen technologischen Gebieten.
- Entwicklung von Methoden für Lebensdauervorhersagen und ihre Standardisierung in großen Industriebereichen (Fahrzeugbau, Chemieanlagen, Stahlbau) als Hilfsmittel für den Konstrukteur.

5,4 2

## 4. Schlußbemerkungen

Bei der Ausarbeitung der Studie wurde versucht, die vielfältigen Meinungsäußerungen aus Industrie, Hochschulen und Forschungsinstituten, aus Wirtschaftsverbänden und technisch-wissenschaftlichen Vereinigungen des EG-Bereichs zu einem möglichst einheitlichen Gesamtbild zusammenzufassen. Die sich in verschiedenen Teilaspekten der Antworten widerspiegelnden Unterschiede der Wirtschaftsstrukturen und Wirt-

schaftssysteme (z. B. unterschiedlicher Anteil von Privat- und Staatsbetrieben), die individuelle Wettbewerbssituation im jeweiligen Land, in Europa und mit Übersee sowie politische Eigeninteressen durften in die fachliche Wertung unter EG-Gesichtspunkten nicht explizit einfließen. Da einerseits die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen eines Förderprogrammes „Basic Technological Research“ kaum abschätzbar sind und weil andererseits das industrielle Bild der Europäischen Gemeinschaft stark durch Klein- und Mittelbetriebe mitgeprägt wird,

wurde darauf verzichtet, die aus einzelnen Bereichen der Industrie geäußerten Anregungen z. B. durch die jeweiligen Umsatzzahlen einzelner Industriebereiche zu relativieren.

Neben den in den Abschnitten 3.1 bis 3.4 aufgeführten Themenkreisen sowie den unter Ziffer 3.0 erwähnten, bereits durch andere Programme geförderten Gebieten wurden einige weitere Fragen häufig angeschnitten, die keinem der Rahmenvorschläge der Abschnitte 3.1 bis 3.4 direkt zugeordnet werden können. Da sie wegen ihrer allgemeinen Bedeutung durchaus auch förderungswürdig erscheinen, seien sie abschließend aufgeführt:

- Harmonisierung und Modernisierung des europäischen Prüf- und Vorschriftenwesens auf dem Materialsektor (z. B. zielstrebige Einführungen neuer Erkenntnisse); gegenseitige Anerkennung von Prüfungen zum Abbau von innereuropäischen Handelshemmnissen und Kostenfaktoren sowie zur Stützung der Position europäischer Materialien und technischer Güter in Übersee.
- Europäische Zusammenarbeit bei Prüfung von Werkstoffen, Bauteilen und Anlagen auf Technische Sicherheit (z. B. Feuersicherheit), Abstimmung der Prüfverfahren und gegenseitige Anerkennung von Prüfungen.
- Einrichtung von gemeinsamen Datenbanken, z. B. für Werkstoffdaten, thermodynamische Daten für Zustandsdiagramme, Schäden, Meß- und Prüfverfahren, verfügbare Meß- und Prüfeinrichtungen, Arbeitsgebiete von Laboratorien und Instituten, sowie Dokumentation der Werkstoffliteratur nach Einsatz und Beanspruchungskriterien.
- Entwicklung von kostengünstigen Werkstoffen und Werkstoffsystemen für kombinierte Beanspruchungen, z. B. solcher, die gegen Verschleiß und Korrosion beständig sind, hohe mechanische Beanspruchungen bei hohen Temperaturen ertragen und keine strategisch kritischen Legierungselemente enthalten.

- Grundlagenuntersuchungen auch an althergebrachten Verfahren und Werkstoffen mit dem Ziel der Energieeinsparung (z. B. durch Verkürzung von Wärmebehandlungszeiten und Erniedrigung von Wärmebehandlungstemperaturen).

Ergänzend sollte noch bemerkt werden, daß sich die in der vorliegenden Studie vorgeschlagenen prioritären Förderbereiche der Materialforschung und -prüfung für ein mögliches EG-Programm „Basic Technological Research“ — entsprechend dem Auftrag der EG — an dem heutigen technischen Stand und den darauf zu begründenden absehbaren Erfordernissen für die Industrie der Europäischen Gemeinschaft orientieren. Unkonventionelle Aspekte der Materialforschung und -prüfung, die nicht von unmittelbarer Industrierelevanz sind, könnten dabei unterrepräsentiert erscheinen. Infolge der fundamentalen Rolle der Werkstoffe und Materialien für alle Bereiche der Technik wäre es sehr wünschenswert, wenn auch Möglichkeiten zur Förderung oder Stimulanz gänzlich neuartiger, kreativer Entwicklungen, die eine Basis für zukünftige „Innovationstechnologien“ bilden könnten, durch die Europäische Gemeinschaft geschaffen würden.

## Dank

Abschließend sei allen, die in persönlichen Gesprächen, durch Rücksendung der Fragebögen, zusätzliche verbandsinterne Umfragen oder durch sonstige Hinweise und Überlassung von Unterlagen zum Gelingen der Studie beitrugen — insbesondere auch den beteiligten Kollegen der BAM — herzlich gedankt.

Umfangreiche allgemeine statistische Unterlagen stellten auf Anforderung dankenswerterweise zur Verfügung:

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover
- Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft, Essen.

---

## 5. Literaturhinweise

- [1] T. P. Hoar (Committee Chairman):  
Report of the Committee on Corrosion and Protection,  
Dept. of Trade and Industry, Her Majesty's Stationery Office,  
London, 1971
- [2] DECHEMA:  
Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Korrosion  
und des Korrosionsschutzes (Studie erarbeitet im Auftrag  
des BMFT), Frankfurt, 1973
- [3] US Department of Commerce:  
Economic Effects of Metallic Corrosion in the United States,  
NBS Special Publication 511-1, 1978
- [4] H. P. Jost (Committee Chairman):  
Lubrication (Tribology) Education and Research — A report  
on the present position and industry's needs, Her Majesty's  
Stationery Office, London, 1966
- [5] FORSCHUNGSKURATORIUM MASCHINENBAU:  
Tribologie — Reibung, Verschleiß, Schmierung (Studie  
erarbeitet im Auftrag des BMFT), Forschungsbericht T 76-38,  
Frankfurt, 1976
- [6] O. Pinkus and D. F. Wilcock:  
Strategy for Energy Conservation through Tribology,  
ASME, New York, 1977

## Anhang I

### Materialtechnologie und -forschung in den USA

In den USA werden z. Z. erhebliche Anstrengungen zur Verbesserung technischer Produkte und Produkttechnologien sowie zur Weiterentwicklung bewährter Werkstoffe und Neuentwicklung von Materialien mit speziellen Eigenschaften unternommen. Einen guten Überblick über die wichtigsten Aspekte der zukünftigen Materialforschung in den USA gibt der im Jahre 1979 von der National Academy of Science veröffentlichte 5-Jahresausblick über Wissenschaft und Technik in seinem Kapitel „Materials“ [A1]. Einige der für die nächsten Jahre erwarteten Entwicklungen sind im folgenden stichwortartig für besonders wichtig angesehene Materialklassen zusammengestellt.

#### a) Metalle und Legierungen (Metals and alloys)

Bei gebräuchlichen metallischen Werkstoffen, wie Stahl und Eisen, Aluminium und Kupfer, werden keine bemerkenswerten Fortschritte erwartet. Technologische Innovationen und Produkterhöhungen werden weniger vom technischen Fortschritt, sondern mehr vom verfügbaren Kapital zur Modernisierung der Produktionsanlagen abhängen. Verwendung hochtemperaturbeständiger Nickel- und Kobaltlegierungen (Super alloys) für Turbinenschaufeln mit besonderem anisotropem Gefüge, das durch gerichtete Erstarrung entsteht, ermöglicht eine Erhöhung der Arbeitstemperatur von Gasturbinen über 950°C und damit eine Verbesserung des Schubkraft/Gewicht-Verhältnisses um 15 %. Die Entwicklung von niedrig legierten, hochfesten Stählen mit Duplex-Gefüge (dual phase steels) führt zu 10 bis 30 % Gewichtersparnis; Verwendung von mehr als 200 kg derartiger Stähle wird für US-Pkws des Jahres 1985 abgeschätzt. Kommerzieller Einsatz von metallischen Gläsern, d. h. „amorph“ Metallen, die durch Abschrecken mit Abkühlgeschwindigkeit von  $10^5$  bis  $10^6$  °C/sec. aus der metallischen Schmelze erhalten werden, für verlustarme Transformatorkerne erwartet. (Bei Ersatz aller konventionellen Transformatorenkerne potentielle Einsparung an elektrischer Verlustenergie in USA entsprechend 6 Mio Barrel, d. h. ca.  $10^9$  l Erdöl pro Jahr.) Erwartung des zunehmenden Einsatzes von Titan als Leichtbauwerkstoff.

#### b) Energie- und informationsrelevante Materialien (Energy- and information-related materials)

Verstärkte Anstrengungen zur Herstellung von Solarzellen (amorphes Silicium, Si-Einkristallstreifen) zur direkten Umwandlung von Licht in elektrische Energie werden zu einer beträchtlichen Kostenreduzierung führen. In Beleuchtungsanlagen Verbesserung von Wirkungsgrad und Farbwiedergabe durch zunehmende Verwendung von Fluoreszenzlampen und Hochdruck-Metallgas-Entladungslampen für kommerzielle Anwendungen. Neue Sensoren in Dünnschichttechnologie kommen in verschiedenen Bereichen verstärkt zum Einsatz (z. B. IR-Detektoren zur Bestimmung der Wärmeabstrahlung von Gebäuden). Zunahme des Einsatzes von Glasfasern zur Informationsübertragung. Anhaltend beschleunigte Entwicklung in der Elektronik- und Computerindustrie durch weitere Steigerung der Packungsdichte von Elektronik-Bausteinen (large scale integrated circuits) und Anwendung neuer lithographischer Techniken, wie Plasmaätzen und Laser-Ionen-Implantation sowie Verwendung von sogenannten Blasenspeichern.

#### c) Polymerwerkstoffe (Polymers)

Polymerwerkstoffe bleiben die Materialklasse mit den höchsten Wachstumsraten; ihr gegenwärtiger Anteil von ca. 90 kg in einem typischen US-Pkw wird sich auf ca. 140 bis 160 kg in 1985er-Modellen erhöhen. Verstärkter Bedarf steht für Polymerwerkstoffe mit hoher Wärme-, Licht-, Oxidations- und Flammenbeständigkeit und verbesserten elektrischen Eigenschaften.

#### d) Keramische und andere anorganische Werkstoffe (Ceramics and other inorganic materials)

Zunahme des Einsatzes keramischer Werkstoffe, wie Siliciumnitrid und -carbid mit besonderer Korrosions-, Erosions- und Thermoschockbeständigkeit für Hochtemperaturanwendungen (z. B. möglicherweise Ersatz der sogenannten Super-Alloys in Gasturbinen) erwartet; Steigerung der Betriebstemperaturen und Wirkungsgrade in Energieerzeugungs- und Energieumwandlungssystemen möglich. Intensive Forschung über den (bisher häufig nicht beherrschbaren) Spröbruch derartiger Materialien in den nächsten fünf Jahren, hierzu Einsatz verbesserter Methoden der zerstörungsfreien Prüfung zur Erkennung von Mikrofehlern erforderlich.

#### e) Verbundwerkstoffe (Composite materials)

Ein beträchtlicher Fortschritt sollte bei Hochleistungs-Verbundwerkstoffen (Harz- und Metallmatrix verstärkt durch Bor-, Kohlenstoff-, Siliciumkarbidfasern oder andere Fasern hoher Steifigkeit) stattfinden. Großes Anwendungspotential im Flugzeugbau, aber auch im Automobilsektor zur Gewichtsersparnis, die bei bestimmten Bauteilen bis zu 50 % betragen kann.

#### f) Erneuerbare Materialien (Renewable materials)

Es werden Studien zur Erstellung von Pflanzungen oder Plantagen (anzulegen im Buschland oder an den Meeresküsten), die als erneuerbare Ressourcen für (Substitutions-)Materialien, wie Gummi oder Schmierstoffe, dienen könnten, angestellt.

#### g) Biomedizinische Werkstoffe (Biomedical materials)

Verstärktes Interesse besteht an der Verwendung von Metallen, Polymerwerkstoffen, Keramik und Verbundwerkstoffen zur Verwendung für Implantate (Hüft- und Kniegelenke, Arterienerersatz, Herzklappen). Die bestehenden Probleme im Hinblick auf Biokompatibilität und Beständigkeit werden in verstärkten Laboruntersuchungen bearbeitet.

#### h) Materialeinsparung, Recycling, Substitution (Conservation, Recycling, Substitution)

Erhebliche Anstrengungen werden auf allen Materialbereichen zur Einschränkung von Materialverlusten (besonders durch Verschleiß und Korrosion) sowie zum Recycling von Werkstoffen (spezielles Problem: Recycling von Kunststoffen) und zur Substitution seltener und teurer Materialien vorgenommen.

### Quellenangaben zum Anhang I

[A1] R. E. Gomory (Study Chairman):

Science and Technology — a 5-year outlook, Chapter 6 „Materials“. Published in Collaboration with the National Academy of Science).

W. H. Freeman and Co, San Francisco 1979, 301 — 340



## Anhang II

### Materialtechnologie und -forschung in Japan

Auf die in den letzten Jahren in zahlreichen wichtigen Bereichen technischer Industriegüter zunehmend sichtbar werdende Führungsposition Japans wurde bereits in Kapitel 1 hingewiesen (vgl. Tabelle 4 und Abb. 1). Bemerkenswert sind die Investitionen, die in Japan in den Bereichen Forschung und Entwicklung (F u E) vorgenommen werden. Die jährliche Steigerungsrate der F u E-Aufwendungen lag in den 70er Jahren bei 16,6 % und wird sich in den 80er Jahren weiter erhöhen. Der Anteil der gesamten F u E-Aufwendungen — wovon etwa 10 bis 20 % auf den industriellen Sektor entfallen — bezogen auf das Brutto-Inland-Sozialprodukt, BP (Gross Domestic Product), zeigen die folgenden Daten [B1]:

	F u E-Aufwendungen 1979 (% des BP)
Japan	2,04
USA	2,41
EG-Länder	1,63

(Mittelwert für B, D, DK, F, GB, I, NL)

Es wird erwartet, daß der Anteil der F u E-Aufwendungen, gemessen am Brutto-Sozialprodukt in Japan in der Mitte der 80er Jahre die 2,5 %-Grenze überschreiten und Ende dieses Jahrzehnts bei 3 % liegen wird [B2]:

Für die 80er Jahre hat das japanische Ministerium für Internationalen Handel und Industrie (MITI) die folgenden fünf Bereiche als „Zukunftstechnologien“ bezeichnet:

- Biotechnologie
- Mikroelektronik
- Metalle und Legierungen neuer Art
- Keramische Werkstoffe
- Polymere mit speziellen Eigenschaften.

Auf diese Technologien sollen sich 67 ausgewählte Unternehmen unter ministerieller Anleitung und mit öffentlichen Zuschüssen gemeinsam konzentrieren; die direkten Subventionen für das entsprechende Zehnjahresprogramm betragen fast 1,1 Milliarden DM [B3]. Aus der Tatsache, daß der überwiegende Teil der sogenannten Zukunftstechnologien „Materialtechnologien“ betrifft, geht die große Bedeutung hervor, die man der Materialforschung für die zukünftige technisch-wirtschaftliche Entwicklung Japans beimißt. Im folgenden sind einige Schwerpunkte der zukünftigen Entwicklung der Materialtechnologie in Japan zusammengestellt, die einer kürzlich erschienenen zusammenfassenden Darstellung mit dem Titel „New Materials — a new major revolution in this decade“ entnommen sind [B4].

#### a) Silicium, Basismaterial der Elektronik-Industrie

Als Maß für die weiterhin stark expandierende Elektronik-Industrie kann die Silicium-Produktion trotz hoher Elektrizitätskosten (1/3 der Kosten der Si-Produktion) angesehen werden. Produktionszahlen:

- Polykristallines Silicium  
1975: 215 t; 1979: 370 t; 1985 (Schätzung): 1000 t
- Siliciumeinkristalle  
1975: 68 t; 1979: 240 t; 1985 (Schätzung): 750 t

Ausgehend von diesen Si-Produktionsdaten wird erwartet, daß die jährliche Zuwachsrate von 20 bis 25 % für Integrierte Schaltungen (IC) bis Mitte der 80er Jahre anhalten wird.

#### b) Titan, zukunftsträchtiges Metall für Leichtbauweise

1980 wurden 46,4 % der gesamten Weltproduktion (außerhalb des Ostblocks) von zwei japanischen Gießereien (Osaka

Titanium und Poho Titanium) hergestellt. (Titan ist das neunthäufigste Element der Erdkruste und nach Aluminium, Eisen und Magnesium das vierthäufigste Metall.) Günstige Eigenschaften: hohe Festigkeit, geringes spezifisches Gewicht, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit. Titan, das besonders wichtig für den Flugzeugbau ist, wird weitere Anwendungen finden: Chemieanlagen, Wärmetauscher, Elektroden, Kraftwerke (nuklear, Kohle, geothermisch), Meerestechnik. Erwartete Fortschritte in der Verfahrenstechnik (Titanpulvermetallurgie, Gießereitechnik) werden bis zu 30 % Kostenersparnis gegenüber geschmiedetem Titan und für Produkte der Luftfahrtindustrie bis zu 80 % Kostenersparnis bringen.

#### c) Amorphe Metalle (metallische Gläser)

Seit Mitte 1981 sind japanische Firmen in der Lage, amorphe Metalle in kontinuierlicher Massenproduktion herzustellen (z. B. Firma Hitachi: Band-Halbzeug, 10 cm Breite, 20 bis 55  $\mu\text{m}$  Dicke, Länge bis zu 300 m; Firma Sony: 1 mm Breite, 40  $\mu\text{m}$  Dicke). Vorteile dieser Materialien: erheblich günstigere magnetische und elektrische Eigenschaften als kristalline Metalle, höhere mechanische Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit, vorteilhafter Einsatz in folgenden Anwendungsbereichen: Kerne für elektrische Spulen und Transformatoren, Fernsehtechnik, Magnetbandtechnik.

#### d) Materialien für die Solartechnik

Mit amorphen Materialien können bisherige Bauteilabmessungen von ca. 1 bis 2  $\text{cm}^2$  auf das zehnbis-zwanzigfache vergrößert werden. Vom Tokio Institute of Technology wurden aus amorphem Silicium Solarzellen einer Fläche von 10 bis 20  $\text{cm}^2$  hergestellt. Während der photovoltaische Wirkungsgrad anfänglich bei nur 4 % lag (bei Kosten von 50 bis 60 DM/Watt), wird in zwei Jahren eine Verdoppelung des Wirkungsgrades und eine Absenkung der Kosten auf 10 DM/Watt erwartet. Damit sollten Solarzellen aus amorphem Silicium als Energiequellen für tragbare elektronische Geräte wirtschaftlich werden, geschätzter potentieller Markt: zwei bis drei Milliarden DM. Ziel für 1990: 15 % photovoltaischer Wirkungsgrad, Produktionskosten 1 DM je Watt: Damit wirtschaftlicher Einsatz in Haushalt und Industrie möglich.

#### e) Keramische Werkstoffe

Mehrere hundert neue keramische Werkstoffe (Basis: hochreine Oxide wie Aluminiumoxid sowie synthetische Karbide, Nitride, Boride, Silikate und Phosphate) mit speziellen Eigenschaften werden z. Z. von mehr als 20 Firmen in Japan untersucht. Technische Vorteile keramischer Werkstoffe: Ausgangsstoffe sind leicht verfügbar, große chemische und thermische Stabilität, extrem hohe Härte. Technische Anwendungsbereiche reichen von elektrischen Isolatoren, Zerspanungs- und Umformungswerkzeugen, Lagermaterialien, Düsen und chemischen Pumpen über biotechnische Materialien, wie künstliche Hüftgelenke bis hin zu Gehäusen für Mikroelektronik-Chips. Nicht oxidierende temperaturbeständige Keramikwerkstoffe, wie z. B. Siliciumnitrid, sind sowohl für die Verwendung in Dieselmotoren und Gasturbinen als auch für Hochleistungs-Zerspanungswerkzeuge geeignet. Schätzungen gehen davon aus, daß im Jahre 1990 technische Keramik für die Automobilindustrie in Japan einen Wert von 1,5 Milliarden US \$ für Pkw und 1,35 Milliarden US \$ für andere Fahrzeuge erreichen wird. Sollten die gegenwärtigen sehr intensiven Forschungsarbeiten über Motore auf Keramikbasis erfolgreich sein, sind noch höhere Zahlen zu erwarten.

#### f) Faserverstärkte Kunststoffe

Große Investitionen werden z. Z. in der Kohlefasertechnologie unternommen, die sich in neuen Produkten in den 90er Jahren auszahlen sollen. Im schnell wachsenden Markt für Kohlefasern, die leichter als Aluminium sind und eine höhere Festigkeit als Stahl aufweisen, beherrschen japanische Firmen 60 bis 80 % des

Weltmarktes. Die Bedeutung der Kohlefasertechnologie (jährliche Wachstumsraten der japanischen Produktion von 40 %) wird mit der von Aluminium in den 20er Jahren verglichen. Anstieg des japanischen Exports allein in die USA (hauptsächlich für die Flugzeugindustrie) von z. Z. 160 t jährlich, um den Faktor 130 auf 21000 t jährlich bis Ende 1985 abgeschätzt. Weitere technische Anwendungen werden in folgenden Bereichen gesehen: Kraftfahrzeugindustrie (Felgen, Federn, Bremsmaterialien, Zahnräder), Röntgentechnik (Kohlefasern sind durchlässig für Röntgenstrahlung), Wärmeisolatoren, Reibmaterialien, Elektroden. Außerdem können Kohlefasern möglicherweise als Ersatz für das gesundheitsschädliche Asbest dienen, was einen weiteren enormen Markt bedeuten würde.

#### Quellenangaben zum Anhang II

- [B1] Science Resources, Newsletter No. 6, Summer 1981, Science and Technology Indicators Unit of OECD, Paris
- [B2] N. N.:  
Industrial Japan 1981.  
Far Eastern Economic Reviews, Dec. 4 (1981) p. 43 ff.
- [B3] Die Zeit, 8. 1. 1982, S. 16
- [B4] N. N.:  
New Materials — A new major revolution in this decade.  
Far Eastern Economic Review, Dec. 4 (1981) p. 48 ff



## 1. The technico-economic importance of materials technology

Crucial factors in the future economic development of the countries of the European Community are the efficiency of their industry and a successful export trade in the products of industrial technology. Industrial materials take on a key role in this context, since all industrial goods and products consist of particular materials which must be optimally suited to their application and use. In recent years, however, in addition to difficulties in the energy sector, the following problem areas have become the focus of interest:

- availability of particular raw materials for engineering products,
- an increase in the stringency of demands made of industrial products in regard to quality and service life, reliability and safety, environmental compatibility, waste disposal and recycling,
- intensification of international competition in the products of industrial technology.

It is a well known fact that the countries of the European Community are poor in raw materials for energy and industrial materials. *Table 1* shows that, in trade with third countries in 1980, for example to meet the demand (import — export) in energetic raw materials (petroleum, coal and gas), the Member States had to spend approximately DM 730 and, for other important raw materials (iron ores, NF metals, organic and mineral raw materials), approximately DM 190 per head of the population.

*Table 1*  
Community demand for key raw materials (1980)

Raw materials	Imports (million DM)	Exports (million DM)	Demand = (imports — exports) (million DM) (DM/inhab.)	
Iron ores	6412.7	3.8	6408.9	24.60
NF metals	7962.7	1278.7	6684.0	25.66
Raw rubber	3106.1	1438.4	1667.7	6.41
Cork and wood	16836.1	873.1	15963.0	61.30
Semi-finished paper products	9232.5	314.6	8917.9	34.24
Spinning yarn	8368.3	2943.4	5424.9	20.82
Mineral raw materials	6773.5	2274.6	4498.9	17.28
	58691.9	9126.6	49565.3	190.31
Crude oil	177691.3	7217.9	170473.4	654.61
Coal	9467.1	1385.8	8081.3	31.04
Gas	14477.1	1124.8	13352.3	51.27

Sources: Fed. German Statistical Office and OECD

Additional problems are increasingly clearly discernible limits to availability and dependency on the producer countries concerned. *Table 2* shows the regional distribution of the production of a few important metals or their ores among the five biggest producer countries, together with an extrapolation (based on 1981 production levels) giving numbers of years to possible exhaustion of currently known reserves.

*Table 3* shows amounts of currently known reserves and their distribution among the trading blocs. Without going into detail here, it may be pointed to the situation in some non-ferrous metals and the extent to which certain reserves are concentrated in a small number of producing countries.

In addition to the shortage of raw materials and the

*Table 2*  
Reserves of key raw materials (source: BGR)

Raw material	Share of the 3 chief supplier countries (%)	Situation: December 1981	
		Regional distribution (%)	Life of reserves in years
bauxite	58.1	Guinea (27.8), Australia (19.7), Brazil (10.7), Jamaica (8.5), India (6.0)	253
lead	53.6	USA (26.8), Australia (14.0), Canada (12.8), USSR (10.8), South Africa (3.3)	43
chromite	98.0	South Africa (64.1), Zimbabwe (28.2), USSR (5.6), Finland (0.8), India (0.2)	364
iron	59.2	USSR (30.1), Brazil (17.5), Canada (11.6), Australia (11.4), India (6.0)	184
cadmium	47.8	Canada (17.6), USA (16.2), Australia (14.0), USSR (7.4), Ireland (5.1)	36
cobalt	49.5	Cuba (21.8), Indonesia (15.4), Zaire (12.3), Philippines (11.6), New Caledonia (10.5)	112
copper	45.0	Chile (19.4), USA (18.3), USSR (7.3), Zambia (6.7), Canada (6.4)	70
manganese ore	89.5	South Africa (44.5), USSR (37.1), Australia (7.9), Gabon (5.0), Brazil (2.2)	69
molybdenum	76.6	USA (43.6), Chile (25.8), USSR (7.2), Canada (6.2), Panama (2.4)	88
nickel	48.8	New Caledonia (18.8), Cuba (17.8), Canada (12.2), USSR (11.0), Indonesia (10.7)	110
silver	54.6	USSR (21.6), USA (20.4), Australia (12.7), Mexico (11.5), Canada (9.7)	22
tantalum	74.3	Zaire (56.4), Nigeria (11.0), Thailand (6.9), USSR (6.9), Malaysia (5.5)	66
titaniferous iron (ilmenite)	56.1	Canada (24.7), Norway (18.7), India (12.7), USSR (12.2), South Africa (8.2)	135
titanium ore (rutile)	71.1	Australia (33.7), India (24.9), Sierra Leone (12.5), USSR (8.3), USA (6.9)	65
vanadium	95.6	South Africa (48.9), USSR (45.6), Australia (1.1), Chile (0.8), PR China (0.8)	469
tungsten	70.6	PR China (52.7), Canada (9.5), USSR (8.4), USA (4.9), North Korea (4.4)	49
zinc	55.6	Canada (25.7), USA (19.9), Australia (10.0), USSR (8.3), Japan (3.7)	39
tin	43.7	Indonesia (16.0), PR China (15.4), Thailand (12.4), Malaysia (12.4), USSR (10.3)	41

correspondingly steep increase in the cost of raw materials for industrial products, the sales position and conditions of competition have also changed in recent years. The considerable intensification of international competition in the products of industrial technology can be seen in *table 4*. The table shows the overall trade balances (incl. intra-EEC trade), i. e. the figures for exports minus imports, for 1970, 1975 and 1980 for the following

Table 3

Raw material reserves and distribution among economic blocs (source: BRG)

Situation: December 1981

Raw material	World reserves (million tonnes)	Western industrial countries (%)	Developing countries (%)	State trading countries (%)	Western world (%)
bauxite	23400	24.7	71.8	3.4	96.6
lead	156.7	67.3	14.6	18.2	81.8
chromite	3541	65.0	29.1	5.9	94.1
iron	93600	35.4	30.8	33.8	66.2
ilmenite	394.1	67.8	17.4	14.8	85.2
cadmium	0.68	64.7	27.2	8.1	91.9
cobalt	3.7	10.2	62.5	27.3	72.7
copper	550.8	29.1	57.8	13.1	86.9
manganese ore	1835	52.5	9.3	38.2	61.8
molybdenum	9.5	51.5	38.4	10.1	89.9
nickel	82	22.1	47.9	30.0	70.0
Pt metals	0.037	83.0	0.1	16.9	83.1
rutile	28.9	47.6	42.4	10.0	90.0
silver	0.23	49.6	25.2	25.1	74.9
tantalum	0.066	6.4	86.7	6.9	93.1
vanadium	15.9	51.6	2.0	46.4	53.6
tungsten	2.6	22.6	13.3	64.1	35.9
zinc	241	73.0	12.5	14.5	85.5
tin	9.7	7.5	66.5	25.9	74.1

Table 4

Balance of trade in key industrial goods (exports — imports per inhabitant)

Product group	EC (US \$)			Japan (US \$)			USA (US \$)		
	1970	1975	1980	1970	1975	1980	1970	1975	1980
iron and steel	7.59	33.99	33.83	22.16	86.10	125.66	— 3.43	—10.06	—22.68
non-ferrous metals	—12.08	—64.43	—24.92	— 6.01	— 6.43	—22.17	— 3.11	— 5.35	—12.59
metal products	4.70	14.06	24.14	5.55	13.90	30.60	— 0.34	0.60	— 0.15
chemical products	11.94	39.20	77.46	2.02	15.76	5.96	10.86	22.89	61.22
power machines	3.27	9.04	22.73	0.72	4.90	25.23	2.92	8.77	20.74
electrical machines	9.54	24.65	40.00	16.58	44.30	62.40	3.46	12.72	12.00
business machines	— 1.09	— 1.57	— 7.07	0.06	2.36	20.40	4.77	7.30	25.61
communications equipment	2.49	5.13	8.00	12.09	27.26	101.88	— 1.94	— 2.13	—15.93
road vehicles	21.75	49.31	65.97	15.47	67.45	248.09	— 8.66	— 5.99	—58.86
aircraft	— 1.18	0.21	0.50	— 2.15	— 3.16	— 7.88	7.57	25.62	47.79
waterborne vessels	2.51	10.90	8.18	11.64	51.02	35.44	0.69	1.50	2.54

Sources: Federal German Statistical Office, UN Yearbook and OECD

Table 5

Population, domestic product and employed population in the EG countries, Japan and USA

Country	Population	Gross domestic product	Population employed	
	(1000)	GDP (million DM)	total (1000)	in trades and industry (%)
Belgium	9855	194.1	3730	19.9
Federal Republic Germany	61616	1502.0	25741	36.0
Denmark	5130	112.5	2478	26.1
France	53690	1041.3	20920	26.7
Great Britain	55883	631.6	22825	31.2
Ireland	3365	27.2	1152	19.7
Italy	57030	564.6	20410	27.5
Luxembourg	364	6.6	158	43.4
Netherlands	14090	227.4	5650	26.0
European Community	261023	4307.3	103064	29.8
Japan	116780	2463.0	59600	25.0
USA	220100	5164.5	97300	32.6

Source: Meyer Enzyklopädisches Lexikon, Yearbook 1981

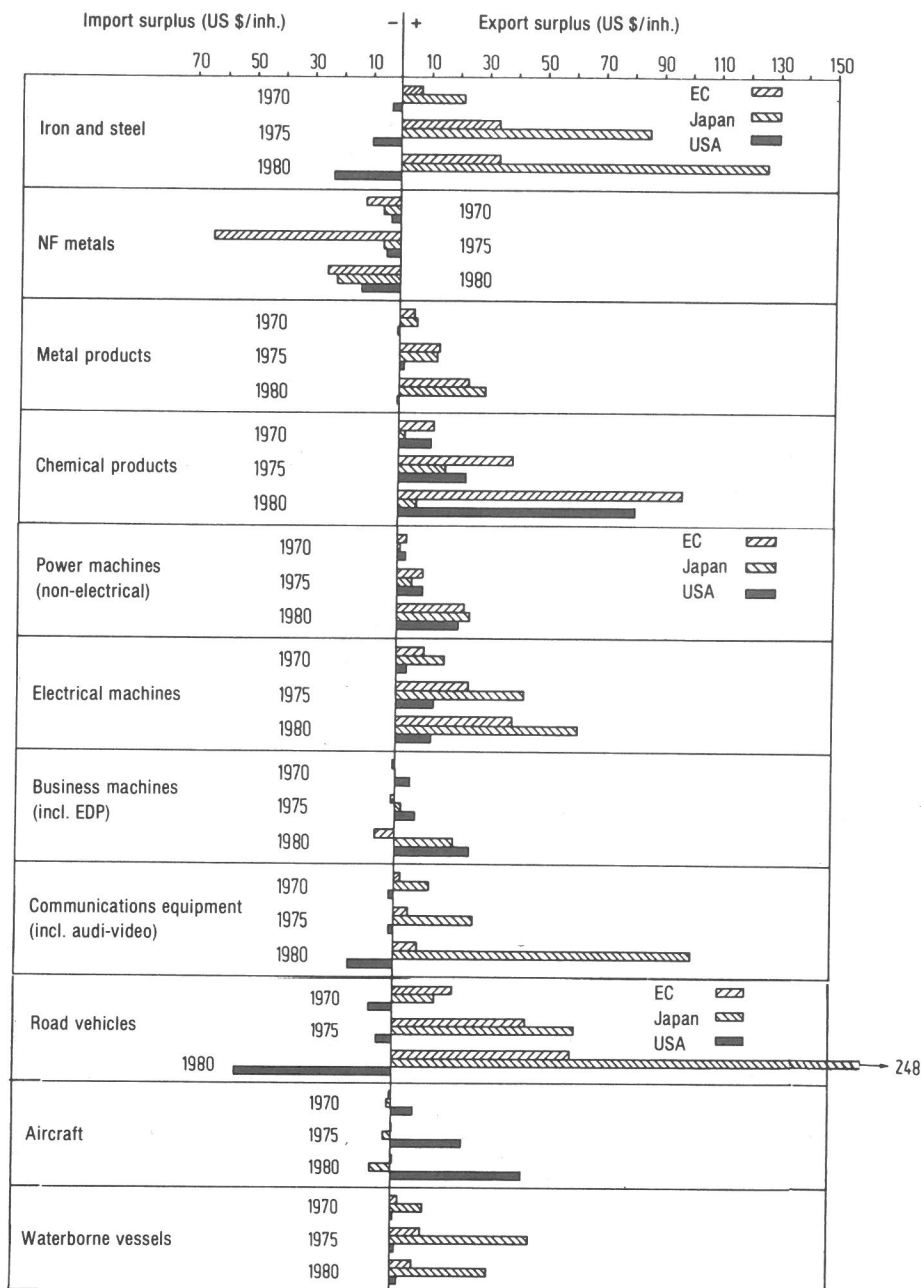


Figure 1  
Balance of trade in key industrial goods  
(exports minus imports per inhabitant)

vital main groups of industrial products related to population figures for the EEC countries, Japan and the USA. (The figures in table 4 were taken from the UN Yearbook of International Trade Statistics and calculated, for the EEC area, by totalling the export-import figures of the Community countries, B, D, DK, F, GB, I, IRL, NL).

- Iron and steel
- non-ferrous metals
- metal products
- chemical products
- power machines (non-electrical)
- electrical machines
- business machines (incl. EDP equipment)
- communications equipment (incl. audio and video)
- road vehicles
- aircraft
- waterborne vessels.

Although, with the exception of the NF metal sectors and business machines, the trade balances in industrial goods in the Community countries are positive, table 4 and figure 1 which goes with it shows clearly that the position of the Community countries in almost all sectors of industrial production has

deteriorated over the past ten years. Of particular relevance in this connection are Japan's export surpluses, which have increased considerably in a large number of sectors. Thus the relationship between the EEC's trade balance and that of Japan has deteriorated in almost all sectors of industry, as is shown by the following ratios between some of the figures in table 4:

	Balance of trade ratio — EEC : Japan	
	1970	1980
• Power machines	1 : 0.2	1 : 1.1
• Communications equipment	1 : 4.8	1 : 12.5
• Road vehicles	1 : 0.7	1 : 3.8

The balance of trade and scale of production of industrial goods are of course closely linked to the employment situation. Table 5 shows that approximately one quarter to one third of the working population in the industrialized countries are employed in industry or in production activities (excluding the building industry), so that the situation in industrial production also has far-reaching effects on employment.

These global considerations will make clear the key role played by technological products and materials in the economic situation of the EEC countries.

## 2. Materials research requirements in the European Community

### 2.0 General

The presentation of the technico-economic importance of materials technology and the study of present and future activities in the USA and Japan (see annexes I and II) show that increased effort is needed in the EEC countries to improve the competitiveness of European industry. The question is: what industrial and materials technology areas are of particular significance to the future economic development of the EEC countries and may need support and assistance from the Community, in order that European industry can remain or become competitive in important areas of its activity? Of course, because of the wide range of present-day industrial production, a large number of industrial materials and products and associated manufacturing and process technologies are in principle potentially eligible for such assistance. It is therefore important to examine the criteria according to which the main areas of eligible research are to be selected.

A study of national research programmes and research activities in industry show that research is mostly either pursued as fundamental research (independent of technical applications) or directly geared to production. Work in the area between fundamental research and product-related research, on the other hand, although of considerable value in the context of innovation and transfer of technology, seems to be neglected, relatively speaking. The main areas of research to form part of a Community programme on materials technology therefore need to be conceived in terms of Basic Technological Research, with particular reference to the following aspects:

- Development of basic principles, technologies, material properties and process techniques which are of interest to various sectors of industry and the economy (which would also be of use to several countries).
- The research objectives should not be directly concerned with only one product or technological process ("competition-free" research).
- The research should place all the industries concerned together in a more favourable position (e.g. making technological know-how available), so that each firm can pursue its own development and production activities on equal terms, yet still in competition with its partners.
- The results of essentially basic research could be of interest to a wider circle than that originally intended ("spin-off", "fall-out"), e.g. the use of results from aircraft construction in the automotive industry to meet aerodynamic or lightweight construction requirements, or from the nuclear industry in motor vehicle construction for the improvement of quality control etc.

### 2.1 The study of research requirements

A study has been carried out in the countries of the European Community to determine the requirements of any Community Programme of Basic Technological Research to promote materials research and testing. The study comprised two investigations with different approaches:

#### (A) A survey by questionnaire

Questionnaires were sent to trade associations and scientific or technological societies in all the main branches of industry and materials technology, in which respondents were asked to indicate the areas of materials research and testing and the technically or industrially important material properties which could usefully be covered by such a programme. Since each trade association represents a large number of large, small and

medium-sized firms, it can be assumed that this survey covered a substantial body of industrial activities.

#### (B) A campaign of interviews and consultation

In addition to the survey by questionnaire (A), a campaign of consultation was conducted in all the Community countries (except Greece), taking the form of individual discussions and interviews with key persons having good overall knowledge of the present situation and future requirements in materials research and testing in the Community country concerned. The general aim was to obtain representative views from the various branches of industry, universities and research establishments.

### 2.2 Evaluation

The result of the questionnaire survey was a total of some 80 completed questionnaires from trade associations in the Community countries (with the exception of Luxembourg and Greece) and from scientific and technological institutes, universities and research establishments, which covered the following main branches of industry and materials technology:

- automotive industry
- construction industry
- vessel construction
- mining
- chemicals industry
- electrical engineering
- energy technology
- glass industry
- ceramics industry
- plastics industry
- aeronautics industry
- machine and plant construction
- metals industry
- paper and board industry
- welding technology
- steel fabrication
- structural steelwork
- textile industry.

As some of the individual trade associations had, on their own initiative, asked a number of constituent associations or member firms for their views, it can be assumed that the responses to the questionnaires represent the opinions and suggestions of perhaps 200 bodies in industry and among the universities and research establishments.

The results of the survey by questionnaire (approximately 50 % returned) and of the campaign of interviews and consultation show that there is considerable interest from a technical point of view in the promotion of materials research and testing under a Community programme of Basic Technological Research. (Differences in technological development, economic structure and national objectives and in the competitive positions of individual firms from one Community country to another emerged here, however.)

Some reference was also made, regarding the conduct and execution of such a programme, to negative experience with previous Community research programmes, e.g. excessive paperwork, difficulty with the requirement of a national contribution to the financing, cumbersome procedures for the application of the assistance, problems of cooperation between industrial firms in different countries etc. On the other hand, the following general advantages of Community support were pointed out:

- Transnational tasks could be taken care of; cost advantages would flow from the participation of several partners on their own account.
- State cutbacks on various national programmes could be offset by a Community programme.

- The research results from a Community programme would benefit all firms in the EEC and could contribute to closing the technological gap, particularly in relation to Japan.
- Competitive advantages would flow from the possibility of ensuring that specified materials can be supplied from the European area.
- Possibility of international work sharing by the grouping of specialists.
- There is a real need for Community sponsorship since, for example, the European manufacturers of materials testing equipment are not in a position, because of their size (small or medium-sized firms), to undertake the necessary development work alone.
- An important need to be met by such measures would also be the dismantling of barriers to trade and the introduction of Community standards.
- Multidisciplinary areas are particularly suitable for Community sponsorship; because of the high level of wages in Europe, areas with highly developed technologies should be promoted.

In order to identify the main areas for a possible Community promotion programme from among the research proposals obtained in the questionnaire survey, a computer-assisted evaluation of the responses was undertaken. For this purpose, the main points from the individual questionnaire replies were transferred to a uniform data sheet and coded according to the individual technological sub-sectors concerned. A basic consideration was that all industrial materials pass through a certain "material cycle", so that the individual research suggestions could be assigned to one (or possibly more) of the following material cycle stages:

- I **RAW MATERIALS EXTRACTION**  
Extraction of raw materials (ores, minerals, timber etc.)
- II **CONVERSION OF RAW MATERIALS**  
The processing of raw materials to industrial materials (metals, plastics etc.)
- III **COMPONENT TECHNOLOGIES**  
Manufacture of materials into engineering components
- IV **FABRICATION, ASSEMBLY**  
The production of complete technical systems
- V **TECHNICAL FUNCTION, PERFORMANCE**  
Assurance of function, reliability, durability, environmental compatibility etc.
- VI **RECYCLING, WASTE DISPOSAL**

The individual research suggestions were also coded in the datasheets in terms of the following technological aspects:

- material category
- material properties
- measurement and testing technology

The contents of the evaluation datasheets coded according to the various technological subsectors were fed into a computer. A special program could then be used to determine the degrees of emphasis of the research suggestions on the various technological subsectors.

Figures 2 — 5 show the distribution of the research suggestions according to subsectors. (The sum totals of the percentages

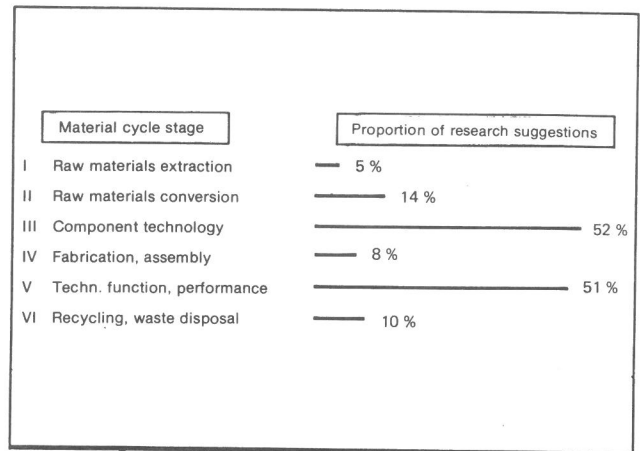


Figure 2  
Evaluation of EC study "materials research and testing"

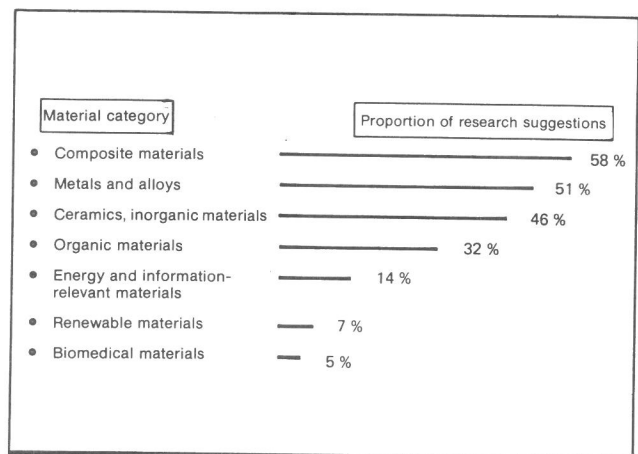


Figure 3  
Evaluation of EC study "materials research and testing"

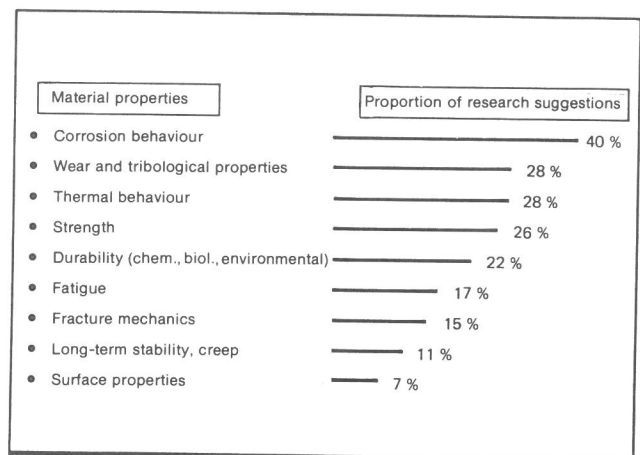


Figure 4  
Evaluation of EC study "materials research and testing"

indicated is always greater than 100, since almost all the suggestions referred to several subsectors.)

Figure 2 clearly shows that the great majority of proposals for the sponsorship of materials research and testing projects under a Community Programme of Basic Technological Research could be assigned in approximately equal proportions to the following main subject areas:

- improvement of product and component technologies
- improvement of technical function and performance.

Figures 3 — 5 show the distribution of the research suggestions

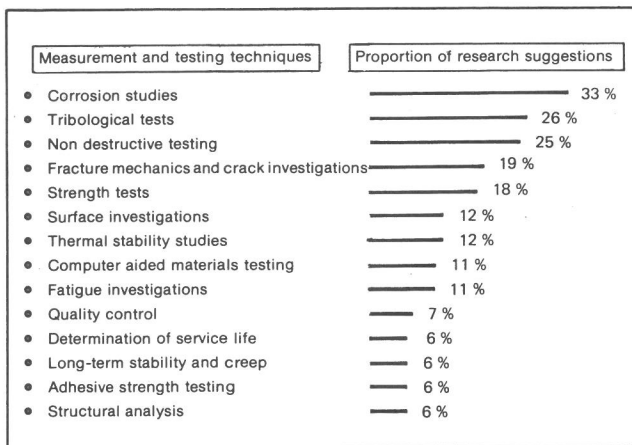


Figure 5  
Evaluation of EC study "materials research and testing"

among the subsectors "material category", "material properties" and "measurement and testing technology".

### 3. Outline proposals for priority areas of research

#### 3.0 General survey

On the basis of the results of investigations carried out in the countries of the European Community and of comparative studies of research activities in the USA and Japan (see annexes I and II), the following areas of industrial materials research and testing are proposed for support under a possible Community Programme of Basic Technological Research:

- I. Quality and function assurance for industrial products by the investigation and recording of material-deteriorating processes
  - I.1 Corrosion
  - I.2 Wear
  - I.3 Fatigue
  - I.4 Fracture mechanics
  - I.5 Biological damage of materials
- II. Innovative component technologies
  - II.1 Surface technology
  - II.2 Joining technology
  - II.3 Powder metallurgy
- III. New materials for new requirements
  - III.1 Composite materials
  - III.2 Lightweight materials
  - III.3 Polymers with special properties
  - III.4 Materials with special electrical, magnetic and optical properties
- IV. Measurement, testing and evaluation techniques for materials and industrial products
  - IV.1 Function-related testing for material-deteriorating processes
  - IV.2 Non-destructive testing
  - IV.3 Computer-aided testing
  - IV.4 Determination of service conditions and methods for the determination of service life

This list of support proposals omits some fields which were proposed a number of times, both in the questionnaire response and in the consultations with experts, but are already contained in other EEC-Programmes, for example

The topic groups determined from the questionnaire survey in terms of the frequency of reference to them may be regarded as a first rough appraisal of possible main areas of research. Of course, conclusions in regard to technico-economic importance cannot necessarily be drawn from the frequency of reference to particular research topics. The results of the interviews with materials experts in the Community countries should therefore be viewed as an important complement to the results of the questionnaire evaluation.

The various interviews and consultations confirmed the significance and priority of the topic groups shown in figures 2 — 5. Additional areas of sponsorship, such as major component technologies, were also emphasized however. It can be concluded in summing up that questions of materials research and testing must be accorded a position of considerable importance within a possible Community programme of Basic Technological Research, and high significance and priority should be assigned to the topic groups presented in the following section.

- high-temperature materials → "High Temperature Materials Programme (HMT)",  
Joint Research Centre, Petten
  - Ceramics
  - Recycling
  - Substitution
- } → "Raw Materials Programme"

The next section of the report will give a concise presentation of the areas put forward as suitable candidates for support within the context of their technico-economic importance and their objectives, and examples will be cited — without any weighting, valuation or systemization — of the research topics suggested in the questionnaire survey and campaign of interviews.

#### 3.1 Quality and function assurance for industrial products by the investigation and recording of material-deteriorating processes

Studies carried out in the Community show that a high degree of importance is attributed to questions of quality, reliability, safety and functional capability in the field of industrial products. Every improvement in this respect directly or indirectly benefits the competitiveness of such products. Any measures to further the control of material-deteriorating processes can make vital contribution here. Both deterioration processes which act primarily at material surfaces (e. g. corrosion, wear, biodeterioration) and processes which lead to the failure of bulk materials (e. g. fatigue) must be considered here. Knowledge of the mechanisms of deterioration is an essential precondition for the improvement of materials and components with the aim of assuring their quality and function. Clearly, the results of research on these problems will benefit all branches of industry and groups concerned with production groups. This field would therefore seem to be a prime candidate for support under a programme for the sponsorship of Basic Technological Research.

It is important in future research to reduce the effects of material-deterioration processes that results already available in these fields in the individual countries of the European Community be used cooperatively and that interdisciplinary problems of deterioration processes, to which in many cases too little attention has been given in the past, be studied using methods of system engineering.



### 3.1.1 Corrosion

The corrosion of materials, components and structures, according to the results of the studies carried out (see 2.2), is the problem most frequently cited which critically influences the quality, function and service life of the various industrial products. Because of the great importance of corrosion, extensive investigations have been conducted in various countries, such as Great Britain [1], the Federal Republic of Germany [2] and the USA [3], on the significance of corrosion, possible attempts to combat it and means of corrosion protection. According to the results of these detailed investigations, annual losses to the national economies of the industrialized countries from corrosion are estimated to be in the region of 2 — 4 % of gross national product. Taking the value to be 2 % of gross domestic product for the European Community, according to table 5 the loss works out at DM 80 000 million per year.

Although a large number of research projects have been devoted to corrosion phenomena at universities and research establishments, it is obvious that the available knowledge has not sufficed or has not been properly applied in industrial practice. Thus in many technologies and branches of industry, corrosion problems have been the primary factor in current limits to development. Examples of this can be seen in plant construction and in the chemicals industry, in the offshore technologies, in power plants and in the construction industry. It therefore makes sense — using knowledge already available, which would need to be documented for each research project by means of a funded state-of-the-art study — to promote research in the field of corrosion which might contribute to an enhancement of the quality, functional performance and service life of industrial products from the countries of the European Community.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Systematic comparative investigations with the aim of devising economic solutions to corrosion problems in the various technical areas (e. g. cathodic protection of ordinary steels instead of high-alloy steels etc.).
- Standardization of methods of corrosion testing and materials selection in Europe.
- Development of materials of higher corrosion resistance for chemical plants and nuclear engineering, with particular reference to stress corrosion cracking (e. g. heat exchange systems in reactor technology).
- Investigation of materials with enhanced corrosion resistance for use in connection with alternative means of energy supply (coal gasification, coal liquefaction, thermochemical water dissociation processes) in the low-temperature range up to approx. 150°C (e. g. the condensation range of corrosive multicomponent mixtures) and in the high-temperature range, approx. 750°C and over.
- Investigation of hydrogen embrittlement in materials for the transport and storage of energetic media (natural gas, coke gas, petroleum) and in steels of high and enhanced tensile strength for the construction industry and chemical engineering (prestressing elements and pressure vessels).
- Development of structural steels with enhanced corrosion resistance for mining applications, i. e. increasing resistance to corrosion caused by contact with materials handled (e. g. to coal slurries, heavy oils, distillates etc.).
- Investigation of corrosive deterioration processes in the boundary layers of polymer-metal composites (e. g. to improve motor vehicle service life).
- Selection and testing of corrosion-resistant materials for the transport and storage of dangerous goods (combustible and

toxic materials) and radioactive wastes (provisional and long-term storage).

- Improvement of corrosion resistance and materials and techniques for temporary and permanent corrosion protection in reinforced and prestressed concrete construction (e. g. investigation of corrosion mechanisms in steel-concrete composite systems in relation to concrete porosity, crack width, environmental and service conditions, influence of de-icing salts); alternative corrosion protection methods in steel construction (e. g. use of Zn-Al coatings or hot-dip aluminized steel), taking into account the aspects of cost, raw material availability, processing methods and quality of the corrosion protection provided.
- Research on corrosion behaviour and corrosion protection of metal materials for machine components in contact with fluids (e. g. hydraulic systems or pumps) of different types and qualities (e. g. contaminated hydraulic fluids, river water, effluent, treated feedwater).
- Research on stress corrosion cracking and erosion-corrosion in engineering structures in aggressive media, e. g. offshore structures (safety and durability of drilling platforms).

### 3.1.2 Wear

Wear can occur in all moving parts of engineering structures and is a major factor of influence in the functional performance, safety and reliability of engineering systems. Every mechanism of wear is associated with a friction process, so that wear and friction give rise to considerable loss of material and energy. As was the case for the corrosion field, extensive studies have also been carried out in various countries, such as Great Britain [4], the Federal Republic of Germany [5] and the USA [6], on wear and measures to control it. Drawing upon the results of the British study [4], the term "Tribology" \* has been coined to serve as a general concept denoting the whole complex of technical and scientific problems associated with friction and wear in materials, components and structures. The results of these studies show that the annual losses to the national economies of the industrialized countries caused by wear run to approx. 1 — 2 % of gross national product, i. e., as shown in table 5, approx. DM 40 000 — 80 000 million for the European Community.

On the basis of the results of these studies, special programmes of research have been performed, for example in Great Britain and Federal Germany. Because of the known complexity of wear processes, which always involve a multiplicity of parameters, factors of influence and material-deterioration mechanisms, however, a great many tribological problems still remain unsolved at the level of industrial practice. Intensified research into wear in the European Community — taking into account existing knowledge and applying the new measurement and testing techniques developed in recent years and systems analysis to tribological problems — could contribute to the improvement of tribologically stressed materials, components and structures and hence increase the competitiveness of the industrial products concerned.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Improvement of the wear resistance of materials for light-weight construction (e. g. Al or Ti-based light metal alloys); these alloys will increase in importance in weight and therefore energy-saving applications.
- Development of wear-resistant materials for high service temperatures in order to increase the efficiency of power machines (e. g. use of ceramic materials).

\* Definition: "Tribology: the science and technology of interacting surfaces in relative motion and of techniques and practices related thereto"

- Basic research on wear of materials used in tribological situations, with particular reference to the interaction between tribological behaviour and real material stresses (imposed-load stresses added to residual stresses).
- Further development of plastics to withstand higher stresses (particularly, increased thermal stresses) in engineering bearings, gears, couplings, seals etc. for optimum maintenance-free service.
- Development of economic casting techniques for materials with high resistance to wear for machine components, such as pumps (special problems: resistance to abrasion, erosion and seawater corrosion).
- Investigation of the tribological properties of components (such as wires, cables, ropes), with reference to boundary layer properties.
- Development of materials with high resistance to wear for use in mining; e.g. the investigation of sliding friction of components in permanent contact with sands, clays, lignites and the like involving the transmission of high power levels.
- Research on the possible application of material and lubrication engineering to bring about further reductions in fretting and fretting fatigue, e.g. in tribologically stressed components for machine and appliance construction and energy technology.
- Development of (synthetic) lubricants with high thermal stability and resistance to ageing combined with good friction and wear-reducing properties.

### 3.1.3 Fatigue

In all areas of technology, components of machines, systems and plants are subject to "cyclical stresses" which may take the form, for example, of alternating mechanical or thermal stresses. Under these conditions, the material strength data determined under static loading generally no longer apply. In other words, components subject to cyclical stress may fail at stress levels well below their nominal static strength by a mode of failure known as "fatigue". Although a large amount of research has been carried out at universities and research establishments over the decades in the field of the cyclical or fatigue strength of materials, it has not been possible to lay down any consistent theory, owing to the complexity of the material-deterioration processes and the multiplicity of material and load-related factors involved.

The great significance of fatigue to the service life of industrial products can be seen from the fact that fatigue failure accounts for 95 % of all fracture damage. An effort should therefore be made — using the research results already available in the individual countries of the European Community — to achieve further progress in this field and to build upon that knowledge in order to develop measures to prevent fatigue damage and to increase the reliability and safety of industrial products.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Systematic research on the cyclic stress-strain behaviour of steels taking into account various material-related factors of influence, such as those relating to alloying elements.
- Research on fatigue and creep in high-temperature materials with reference, for example, to the safe and economic design of components for turbine, vessel and plant construction.
- Fatigue research on new composite materials, which appear suitable for future applications in aircraft or motor vehicle construction or the textile industry.
- Methods for the estimation of the fatigue strength of ferritic steels through the study of loss of work hardening at different grain sizes, temperatures and frequencies, for the economic determination of parameters and better material utilization.

- Investigation of the effects of changes in the boundary layers of cast specimens and components on fatigue strength, for example to improve their strength properties compared with those of forged components.
- Investigation of fatigue behaviour and crack propagation in stainless steels also exposed to corrosive attack.
- Determination of loading limits for crack propagation in modern foundry materials with the aim of increasing service life.
- Investigation of production conditions in the manufacture of products and components to determine fatigue behaviour and service strength.

### 3.1.4 Fracture mechanics

Fracture mechanics is a more recent and important concept for the investigation of the reliability and safety of mechanically stressed components. Fracture mechanics is concerned with the investigation, on the basis of existing flaws in components, of the conditions under which cracks may propagate and lead to fracture. A key element in the work involved is to calculate permissible crack sizes. With the aid of fracture mechanics, it may become possible to make safety evaluations of components in major areas of engineering, such as energy technology and motor vehicle and aircraft construction, which will facilitate optimum material utilization and avoidance of "over-design" (advantages: lightweight construction, increase in performance/weight ratios etc.). In contrast to the "safe life method", according to which all damage must be excluded for the entire life of a component, fracture mechanics is geared to the "fail safe method", i. e. to the safety of the component or structure as a whole despite local damage. Fracture mechanics thus operates on the (realistic) premise that avoidance of all damage during the specified service life is practically impossible. It therefore deliberately allows dynamic flaws and requires only that those flaws do not become the cause of a complete failure of materials, components or structures.

In past years, many research projects have been carried out on fracture mechanics in the individual countries of the European Community, concentrating on different technical aspects of the problem. Guided cooperation within the European Community could help to bring about a wider use of these methods in industrial practice and thereby make a significant contribution to the optimum design of components consistent with rational use of material.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Investigation of further applications of the various fracture mechanics concepts for the safe dimensioning of a wide variety of components; use of fracture mechanics findings in the relevant design rules.
- Basic research on the fracture toughness of metals and ceramics in relation to stress condition, material condition, temperature and rate of loading.
- Investigation of the fracture mechanics of materials subject to mechanical and thermal stresses and gas explosions (e.g. with reference to the development of an adiabatic diesel engine using ceramic materials).
- Investigation of criteria for (ductile) fracture in the processing of metals and plastics (for example, as the basis for the design of cutting and forming tools).
- Analysis of discontinuous fields of deformation with the aid of finite element methods in order to improve methods of fracture mechanics safety analysis.



- Further development of fracture mechanics concepts for the comparative investigation of metallic, ceramic and fibre-reinforced plastics with a view to optimizing material utilization in the various applications.
- Methods for assessing crack instability in the ductile fracture range (fibrous fracture) and at crack stops in the brittle and ductile fracture ranges.
- Further development of fracture mechanics concepts for the elastic and plastic ranges.
- Correlations between fracture mechanics parameters and standard ductility data of metals.

### 3.1.5 Biological damage of materials

A further key factor in increasing the quality and service life of products is the resistance of materials and components to "biological damage". Two categories of material-deteriorating processes are involved here:

- (A) Damage to engineering materials and components caused by micro-organisms, e. g. bacteria and fungi, or by insects deleterious to materials. In the English-speaking countries, the term „biodeterioration“ has been coined for this phenomenon.
- (B) Material damage caused by biomedical implants *in vivo*, or interaction between implant materials and the human body. It is crucial for materials to be „biocompatible“.

Insufficient attention has been paid in the past to the great technoco-economic importance of the material-deteriorating processes in category (A), so that engineers and materials scientists have often failed to recognize the biological causes of material damage. Examples of this range from microbiologically induced metal corrosion (e. g. of tanks for industrial fluids or aviation fuel) through the microbial decomposition of plastic components to the bacterial destruction of concrete and asbestos cement.

The biocompatibility (B) of materials, e. g. implant materials for artificial joints, cardiac pacemakers, artificial arteries or heart valves, represents an important element in any technological aid to medical practice.

Because these fields have been seriously neglected by comparison with the material deterioration processes already dealt with, and because of the increasing importance of questions of biodeterioration and biocompatibility, it is felt that these areas of research need intensive support within a Community context, with due regard to their interdisciplinary nature.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

##### (A) Biodeterioration

- Investigation of the microbiological corrosion of metals (e. g. tanks and vessels, aviation fuel tanks), development of suitable protection techniques.
- Research on the bacteriological corrosion of concrete, on micro-organism growth in cement mortar and on fungal mould attack in paints, development and testing of antibacterial and fungicidal additives for mineral materials.
- Investigation of the resistance of plastics to micro-organisms and bacteria.
- Microbiological investigations to safeguard the functional performance of engineering fluids under conditions of biological attack (e. g. coolants, hydraulic fluids, leakage test fluids).
- Investigation of the resistance of plastics, packaging

materials and insulation materials to material-deteriorating agents.

##### (B) Biocompatibility

- Investigation of the suitability of materials of different categories (ceramics, polymers, high-alloy steels) for use in implants, such as artificial hip and knee joints.
- Development of stable membrane materials for haemodialysis.
- Investigation of the constituent materials of cardiac pacemakers with a view to optimizing their performance *in vivo*.
- Development of suitable materials for the replacement of organs, such as arteries, heart valves etc.

## 3.2 Innovative component technologies

The results of the questionnaire survey in the countries of the European Community show that certain product and component technologies are of considerable importance in the improvement of industrial products (see figure 2). Component technologies of an "innovative" nature are of course worthy of special consideration in this connection. One such innovative component technology is without doubt that of surface engineering, since techniques of surface treatment, on the one hand, are used to protect components from the effects of material deterioration processes (e. g. corrosion, wear) and, on the other hand, can contribute — in ways which economize on material and energy — to the local improvement of parts of components which may be exposed functionally to particularly heavy stress. Joining technology is another area of importance, since most industrial products consist of several constituent parts which must be "joined" together in the most efficient way possible to form a single unit. Of particular relevance here is the need to develop and apply advantageous techniques for joining materials of different types (e. g. metal-ceramic or metal-plastic connections). A third innovative technology is that of powder metallurgy, since this enables components with special technical properties to be produced in ways which economize on raw materials and energy (cf. doc. COST 275/81).

### 3.2.1 Surface technology

The importance of surface engineering in the various branches of industry has increased in recent years, mainly for the following reasons:

- The need to create "functional" engineering surfaces by surface treatments specific to the application in question, carried out on inexpensive and readily available basic raw materials.
- The need for rational use of material, cost-effective production and economic energy consumption while at the same time meeting the obligations and requirements of environmental protection.
- Improvement of the service life and protection of components from deterioration processes, such as corrosion, wear, effects of environment etc.

For these reasons, surface engineering processes are being increasingly applied in the various branches of industry and are influencing the function, quality and reliability of industrial products. From the point of view of the user, properties such as absolute freedom from porosity, low unit costs, local applicability, reliable control of the effects of a treatment on other material and component properties etc. are of particular importance. More recent findings of physico-chemical fundamental research performed in universities and research establishments show that there are promising possibilities of other techniques using modern process aids, such as vacuum

technology and plasma techniques. Of particular relevance is the local improvement of component properties by means of surface engineering techniques. An effort needs to be made, taking these aspects into account, within the context of the European Community to further develop known surface technologies and to bring new techniques proposed following research to industrial maturity or to apply them on an industrial scale.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Systematic research of changes in material properties brought about by surface treatment of all kinds with the aim of substituting expensive materials by surface treatments, composite solutions etc.
- The industrial use of surface techniques for the local improvement of component properties (such as hardness, abrasion resistance), for example, by microstructure transformations or the local formation of alloys (use of laser techniques etc.).
- Further development of organic coatings for components exposed to chemical, biological or environmental attack in outdoor applications.
- Intensification of development work on uncomplicated applications of corrosion and wear-resistant alloys and special metals by rolling, explosive deposition and spraying processes and physical vapour deposition (PVD), chemical vapour deposition (CVD) or ion implantation techniques.
- Development of coated materials which, when used in conjunction with alternative energy production techniques (coal gasification, coal liquefaction, thermochemical water dissociation processes), are resistant to corrosive media.
- Development of reliable techniques for the repair of surface coatings.
- Development of surface techniques for the coating of parts of chemical appliances exposed, for example, to nascent hydrogen; surface protection layers made from molybdenum or tungsten are of particular interest here.
- Use of coating systems for the improved corrosion protection of structural steel members, e. g. in bridges, ships, motor vehicles, rail-mounted vehicles etc.
- Improvement of coating techniques for heat-stressed components in aircraft construction.
- Development of improved surface techniques for components in contact with liquids under simultaneous abrasion-erosion attack, as in pumps or hydraulic systems.

### 3.2.2 Joining technology

The studies carried out in the countries of the European Community show that there is a need in the manufacturing industries for optimizing the technologies of joining, in view of the trend worldwide towards increasingly stringent demands in respect of the reliability and safety of compounds and groups of components assembled by joining techniques, in combination with rational use of material, economic consumption of energy and the use of more up to date materials. It seems therefore highly desirable that increased attention be devoted to the many existing problems in the field of welding and related joining techniques, such as soldering, brazing and adhesive bonding. This applies both to process-related, metallurgical, material-related and design problems and to the entire field of materials testing (destructive, non-destructive, see 3.4.2). This conclusion is valid in equal measure for ferrous and non-ferrous metals, plastics and composite materials, for which the best possible joining techniques are an imperative in all the major sectors of industry, for example, on the macroscopic scale, in conventional machine and plant construction, motor vehicle and aircraft

construction, shipbuilding, offshore engineering, conventional and nuclear power generation, the production of energy by alternative processes (e. g. coal gasification and liquefaction) and, on the microscopic scale, in the precision engineering and microelectronics industries.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Improving the performance of welding techniques, for example by the development of fine-grained steels resistant to overheating for high-performance welding or the production of welds resistant to high-temperature cracking for machine welding processes.
- Further development of adhesive bonding techniques with a view to applications in mass production, reduction of setting times, applications in building construction etc.
- Investigation of adhesive bonds and adhesive binding forces exposed to the influence of different environmental conditions.
- Optimization of soldering and brazing processes, especially for "new" materials and composite materials.
- Investigation of suitable joining techniques for the production of metal-ceramic connections and for the joining of plastic components (e. g. polyethylene pipes).
- Development of reliable structural and design calculation methods for resistance-welded components (an urgent need felt throughout the sheet metal industry).
- Investigation of welded connections for high-temperature service; important in the manufacture of components for chemical plants, nuclear power plants, gas turbines, coal liquefaction and the glass and ceramic industry.
- Investigation of the weldability of austenitic steels, e. g. for the use of heavy wall-thickness components in vessel, boiler and pipeline construction (including investigation of material strength in contact with aggressive media, seawater, chloride-containing media).
- Joining techniques for powder metallurgy products.
- Investigation of the influence of chemical composition and welding conditions on the long-term behaviour (embrittlement) of CrMo welds to increase the safety in service of high-pressure appliances in the chemicals industry.
- Investigation of the general weldability of concrete reinforcing and prestressing steels (e. g. by material modification, suitable treatment techniques).

### 3.2.3 Powder metallurgy

A component technology of importance for future technological development is powder metallurgy, i.e. the production of components from materials in powder form. It can be used to advantage in cases where other manufacturing processes — e. g. alloying, casting, cutting or forming — cannot be used or can only be used with great technical difficulty or at high cost. Powder metallurgy techniques, which generally consist of three stages — powder production, compaction and sintering — facilitate considerable savings in energy and raw materials. These savings in production costs could weigh considerably more heavily in the medium-term future, since prices of materials and energy are rising and, in particular, supplies of "strategically" important elements (see tables 2 and 3) could become difficult to obtain. In addition, components manufactured by powder metallurgy could have significant technical advantages because of improved properties. These enhanced qualities arise from the homogeneous grain structures obtained through the use of certain techniques which lead to the production of components with improved mechanical and other technological properties and hence better functional performances in the

various industrial applications, such as motor vehicle construction, domestic appliance engineering and electrical engineering. In view of these technological advantages and the need for European industry to hold its own in the fierce competition to be expected in this area with Japan and the USA (see annexes I and II), it is desirable, in addition to the co-ordination of research and development work (cf. COST 275 /81), to give greater support to powder metallurgy, in order to improve the competitive position of the Community industry.

#### **Research topics** (results of the questionnaire survey)

- Optimization of processes for the preparation and characterization of metal powders for powder metallurgy processes, with particular reference to special manufacturing techniques and the use of pre-processed secondary materials (e. g. scrap).
- Investigations for the use of hot isostatic pressing (HIP) for components with special magnetic, electrical and/or mechanical properties.
- Development of improved sintering processes for Al and Ti alloys and refractory metals (Nb, Ta, Mo, W).
- Investigation of the influence of process techniques and the resulting microstructures on the properties of powder metallurgy techniques.
- Development of guidelines for the design of components made by powder metallurgy techniques.
- Improvement of powder metallurgy production, e. g. by the optimization of heat treatments and thermomechanical processing.
- Use of powder metallurgy as a low raw material consumption production process for highly stressed (high strength and high temperature resistant) components in aerospace technology.

### **3.3 New materials for new requirements**

In addition to means to improve the quality of industrial products by the investigation and mitigation of damage-inducing processes (see 3.1) and the necessary use of "innovative" component technologies (see 3.2), research is also needed on the further development of existing materials and the development of new materials, in order to arm European industry for the technological challenges of the future. A study of trends in the development of materials technology and materials research in the USA and Japan (see annexes I and II) shows that considerable efforts are being deployed in those countries in this field. The results of the inquiries in the European Community (see figures 3 and 4) also show that there is an interest in and a need for particular categories of materials, which are considered to be of great importance for various "future-oriented" industries or technologies, and there is a concomitant need for the development of manufacturing and testing processes and methods of design tailored to the material concerned. As was pointed out in section 3.0, research and development work is already being assisted in some of these fields (e. g. high-temperature materials; ceramics) under other Community programmes. The fields presented in the paragraphs which follow are therefore proposed for assistance as part of a Community Programme of Basic Technological Research in the materials field.

#### **3.3.1 Composite materials**

The complex tasks of technology today and in the future require the use of materials and components in the various sectors of industry which, as far as possible, possess the combined advantages of several "traditional" materials. There is an increasing demand, therefore, for materials specifically tailored

to important technical requirements taking the form of composite materials. Composite materials are made up of two or more component materials, each individual and separate in itself, but intimately interconnected. Composite materials generally fall into the following main categories: fibre-reinforced materials, surface-coated materials, layered materials, particle composite materials. The materials for the matrix and the constituents (fibres, coatings, layers, particles) may consist of any of the main types of material (metals, ceramics, plastics, cement, glass, rubber). Composite materials are always used in the pursuit of a specific technological aim: to improve performance compared with the use of single-component materials in respect of resistance to corrosion or wear, appearance or optical characteristics, thermomechanical strength, heat or noise insulation or weight reduction for energy-saving purposes. (As the range of composite materials is extraordinarily wide, a limitation might possibly be introduced on the lines of assisting in the first instance research and development related to "technologies for the more extensive use of already known composite materials".)

#### **Research topics** (results of the questionnaire survey)

- Systematic investigations in the field of composite materials with special mechanical and tribological properties (e. g. in the tribotechnology field: plastic composites for low stresses and ceramic-metal systems for high stresses).
- Investigation of bonding mechanisms and interactions at component interfaces in composite materials.
- Development of aids for the designer in the industrial use of new composite materials in the various sectors of technology.
- Development of plastic composites geared to specific problems for use in load-supporting structures (e. g. use of glass fibre reinforced plastics, membranes, sandwich elements etc.), cost-effective production technologies and suitable joining techniques.
- Research on the bonding strength of polymer-metal composites for the optimization of metal joints produced by adhesive bonding and on that of painted metal surface, especially from the point of view of long-term stability.
- Production of composite and hybrid materials with special insulation and noise absorption properties.
- Investigation and improvement of the technological properties of paper-plastic composites (with particular reference to compatibility questions and possible use of recycled material).
- Development of fibre-reinforced concrete (polymer modification, steel fibres) and glass fibre reinforced mortar with advantageous long-term properties.

#### **3.3.2 Lightweight materials**

In various sectors of technology, materials of reduced weight but, as far as possible, unchanged (or, if possible, improved) mechanical and other technological properties will be increasingly needed. A crucial objective here, for example, is to reduce the weight of moving parts (motor vehicle and aircraft construction, shipbuilding, vessel construction) in the interests of saving propulsion energy. Another objective consists in the further miniaturization of components, e. g. in field of precision engineering, appliance technology and electronics. The main materials of interest in meeting these requirements are certain steel and light metal alloys and plastics.

From the practical application point of view, it is particularly important that weight reduction should not reduce the strength and stability of the structures in question. Lightweight components must also satisfy requirements in respect of stability, for example, at different temperatures and under the

effects of humidity, and meet minimum standards of heat and noise insulation. There are thus, in this area of technology, a range of problems the solution of which would yield benefits for the sectors of industry concerned in the European Community.

**Research topics** (results of the questionnaire survey)

- Research on high-strength low-alloy steels (HSLA), with reference to the technologies for their utilization, strength to weight ratios, but also properties of insulation and stability.
- Further development of special plastics for application in constituent elements of lightweight components (e. g. fibres of higher ductility for fibre-reinforced plastics, improvement of matrix resins).
- Research on materials microstructure of super-lightweight metal alloys on Mg-Li base and Al-Li base (e. g. adjustment of quantity ratios, homogenization temperatures); application in motor vehicle construction and the aviation industry.
- Investigation of the long-term behaviour and performance in service of lightweight components of composite and hybrid construction; service strength calculations.
- Investigation of the stability at different temperatures and under the effects of humidity of composite materials, such as carbon fibre-reinforced plastics (CFP).
- Improvement of basic knowledge of the common materials of mass use with a view to facilitating weight savings by better material utilization.
- Research to reduce the mass of road vehicles by material modification without functional disadvantages, for example by the use of dual-phase steel, sandwich plates, fibre-reinforced composite materials, plastics, light metals.
- Optimization of industrial components by the systematic use of adhesive bonding technology (light core construction, mixed construction using different metals or metal-plastic combinations). Development of manufacturing technologies geared to composite applications (e. g. stoving enamel).

**3.3.3 Polymers with special properties**

Polymers or industrial plastics continue to gain in importance for further technological development for a variety of reasons, for example their suitability as substitute materials for scarce metals (see tables 2 and 3) or their wide range of technological properties. The European plastics industry is exposed to double competition. On the one hand, high quality products and advanced technologies are available from technologically highly developed countries such as the USA. (Polymers in the USA are the material category with the highest rates of growth. See annex I.) On the other hand, certain countries such as the Eastern Bloc and oil-producing countries, are able to supply normal quality products for standard applications at low prices. Also the transnational use of polymers is impeded to some extent by differing national standards, testing procedures and environmental and safety requirements. For the reasons stated, it seems important to support research and development work in the Community which may contribute to the task of ensuring that polymers with improved technological properties are available and can used to best advantage from the point of view of production and application technology.

**Research topics** (results of the questionnaire survey)

- Development of aids to the designer for better utilization of polymer materials in the various technological applications (e. g. material tables geared to applications, unified standards and technical requirements etc.).
- Investigation of plastics, fibres, adhesives and polymer alloys with reference to higher strength and improved stability (thermal stability, flame resistance etc.).

- Development of energy-absorbing and noise-insulating polymers.
- Investigation of the properties of plastics in contact with food, for example, with reference to toxicity, impermeability to gases, aromatic substances, oils and fats.
- Development of electrically conductive plastics capable of providing a screen against electromagnetic radiation for use in electrical engineering and the electronics industry.
- Development of polymers with improved fungicidal, anti-bacterial and insecticidal properties.
- Comparative investigation of the durability, service life etc. of rubbers and plastics.
- Investigation and characterization of the physico-chemical properties and key technological data for "old plastics", treated for re-use in the recycling process.
- Development of plastics for membrane materials in low-energy substance separation technologies.
- Development of plastics with favourable properties for applications (e. g. long-term stability, cryogenic stability) in the building industry, for example to provide sealants such as joint-filling compound and foils, heat insulation materials, elastomer and sliding bearings etc.).
- Investigation of the mechanical and technological properties of "polymer papers".

**3.3.4 Materials with special electrical, magnetic and optical properties**

Electronics constitutes an important forward-looking element in all sectors of industry. It is a well known fact that the European Community is exposed to extremely fierce competition from Japan and the USA in this area (cf. comparison of respective trade balances in figure 1). In order to improve the Community's position in this area, there seems to be a need for research and development work on materials with special electrical, magnetic but also optoelectronic properties as a basis for future industrial applications. We are concerned here less with R & D work on the mass production of electronic components, such as microchips, than with special applications of electrical engineering, electronics and optoelectronics which could acquire considerable significance in the future. An important aspect here is that such research in specific areas could also benefit small and medium-sized firms in industry, which is of particular interest to some countries of the European Community. It is therefore proposed that the group of topics listed be adopted as a possible field for support provided under a Community Programme of Basic Technological Research.

**Research topics** (results of the questionnaire survey)

- Research on the replacement of expensive and scarce special materials, for example, by amorphous metals, amorphous semiconductors, polymeric insulation materials.
- Development of special properties of interest to electrical engineering in metallic, non-metallic, inorganic or polymeric organic materials.
- Broad-based research into the possibilities of utilizing metallic glasses in all possible areas of technology, and associated further development of manufacturing technologies, where appropriate, etc.
- Development of materials with enhanced electrical and mechanical properties and with high thermal stability for use in surface applications.
- Research to exploit the non-linear dielectric properties of plastics for applications in electronics (e. g. switches).



- Development of transparent electro-optical ceramics.
- Development of ferroelectric thin films for electro-optical applications and for use as piezoelectric transducers.
- Investigation of materials or coatings with special properties of reflection, absorption and transmission of optical radiation (global radiation), for example, for components of solar energy equipment or to improve the energy balance of glazed surfaces.
- Development of tunable lasers (e. g. on a beryllium oxide base); applications both in production technology (laser welding) and in communications technology (wide-band information transmission).
- Production of fibre optics, for example, for industrial and medical endoscopy.

### 3.4 Measurement, testing and evaluation techniques for materials and industrial products

A crucial prerequisite of success in materials research for the improvement of industrial products is the use of reliable measurement and testing techniques along with recognized criteria and methods for the evaluation of materials. This applies particularly to "new" materials. Together with increasingly stringent requirements in respect of the quality, reliability and durability of industrial products the demands on associated measurement and testing techniques have also increased considerably in recent years. The studies within the European Community have shown that support for particular areas of research on measurement, testing and evaluation techniques for materials and industrial products is considered to be a particularly urgent element in a possible Community Programme of Basic Technological Research. For example, as part of the effort to improve industrial products by research on material deterioration processes (see 3.1), it is essential that measurement techniques for the (early) detection of these processes and for the evaluation of their effects on the technical function of the material or component concerned be available. Non-destructive testing methods, computer-aided materials testing, determination of the real stress conditions to which industrial products are subjected in service and reliable methods for the prior determination of the service life of products, or determination during service of their residual life, are key areas to which top priority should be assigned in the promotion of research.

#### 3.4.1 Function-related testing for material deterioration processes

The topic groups earmarked in the field of processes for the measurement and testing of material deterioration processes are concerned with the major types of damage dealt with in section 3.1. The areas for support thus relate primarily to techniques for the measurement and testing of corrosion, wear, fracture and crack initiation processes and for the evaluation of biologically induced damage. Three aspects are seen to be of special importance:

- a) Methods and techniques must be developed or applied which permit the detection of damage-inducing processes at the earliest possible stage. These techniques must therefore be highly sensitive in their measurement and indicative value.
- b) Where measurement and testing procedures are not carried out directly on the relevant components under real operating conditions, there is a need for supplementary research on the transferability of the test results to service conditions.
- c) Since material deterioration processes are usually complex phenomena, systematic studies for the documentation and characterization of the multitude of parameters and factors of influence involved need to be undertaken during the planning, execution and evaluation of test procedures.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Measurement techniques to determine hydrogen-induced embrittlement, crack formation and crack growth in metals with reference to functional conditions in service.
- Further development of measurement and testing procedures for stress corrosion cracking at high pressures and temperatures in various technologies (e. g. chemical appliances, power plant components, offshore structures).
- The development of environmental simulation systems for corrosion testing reflecting real service conditions.
- Development of techniques for the measurement and testing of wear under the effect of one or more of the main tribological processes in combination (adhesion, abrasion, surface fatigue, tribo-oxidation), trials in round robin tests.
- Measurement techniques for the early detection of damage to materials and components subject to cyclical stress.
- Development of service-related measurement and testing techniques for fretting and fretting fatigue.
- Improvement of laboratory testing methods for the investigation of material resistance to micro-organisms and material-deteriorating agents.
- Further development of fracture mechanics techniques and concepts.

#### 3.4.2 Non-destructive testing

Non-destructive testing (NDT) can be compared to medical diagnosis: any deficiencies in industrial materials and products must be detected at the earliest possible stage, in order prevent any impairment they may induce in the usability of materials, components or structures and any damage they may cause to man and the environment. The main methods of non-destructive testing are the irradiation of materials and components by X-rays or gamma-rays (comparable with medical X-ray diagnosis), ultrasonic testing (e. g. the pulse-echo technique, similar to an echo-encephalogram), electrical methods (e. g. the eddy-current technique), magnetic methods (e. g. examination of magnetizable particles on surface flaws), acoustic emission analysis and thermal flux techniques. The importance of including non-destructive testing in a possible Community Programme of Basic Technological Research flows directly from the main functions of NDT, namely prevention of damage and quality control, maintenance intact of the operational capability of industrial plant, rationalization of production processes and economy in the use of raw materials. A further important aspect is that the competitiveness of the European Community on the world market is critically dependent on such factors as the level of price and quality of its industrial products. Both of these aspects, particularly the latter, are significantly influenced by the intelligent use of NDT.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Non-destructive detection of material defects of low interactive effect, e. g. crack initiators produced by fatigue, stress-corrosion, thermal shock etc.
- Further development and utilization of NDT procedures of the investigation of (internal) stresses in materials and components, investigations of the influences of different production processes.
- Economic non-destructive testing techniques for thin-walled metal and non-metal components.
- Further development and testing of large-scale integrated NDT procedures.
- Further development of techniques for the ultrasonic-



spectroscopic (US) examination of materials and acoustic emission analysis, interactions between US and materials.

- Presentation of NDT results (e. g. ultrasonic and eddy current examination of radiometry) in diagram form and digital processing of the diagrams (e. g. for the radiographic or the stray-flux techniques).
- Aids for the reconstruction of flaws in NDT, including pattern recognition and flaw evaluation.
- Non-destructive determination of joint quality.
- Non-destructive testing procedures for the quality assurance of materials and components in electrical engineering and electronics.
- Non-destructive testing procedures for the construction industry, e.g. for the investigation of reinforced and prestressing steels, for the reliable determination of position and diameter of bars or cables, carbonation depth, extent of corrosion of the bars or cables and concrete cover.

### 3.4.3 Computer-aided testing

Factors of importance in the testing and inspection of materials and components are the indicative potential and objectivity of the testing method, minimum use of staff for the tests and the automation of test sequences and data acquisition and output. Increased use of some of the wide range of computers available today could offer significant advantages. Just as the use in recent years of computer-aided design (CAD) and computer-aided manufacturing (CAM) have led to advances in the fields of design and manufacture, the computer could also be a very useful aid in the field of testing. What we propose to call "computer-aided testing" (CAT) would therefore be a worthwhile candidate for support under a Programme for Basic Technological Research. "Traditional" areas of testing could also be automated by this means and adapted to the increasingly stringent demands made of them in industry. Suitable interfaces between the actual test rig and the most appropriate computer (or microprocessor) for use in the case in question would also need to be developed. The importance of this field is emphasized by the fact that both American and Japanese manufacturers are intensifying their efforts to win the European market in materials testing systems. Since the European firms active in this field, because of their size (small or medium-sized firms), are not in a position to finance the required development capacity alone, sponsorship by the European Community is urgently needed.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Computer-aided systems for various materials testing functions (tensile, compression and bend testing, fatigue strength investigations), operator guidance provided by the computer for the individual test sequences, automatic determination of measurement results and statistical processing.
- Computer aided systems for the automatic testing of impact strength and absorbed impact energy, logging of measurement values, plotting of stress-strain curve and statistical processing.
- Systems for automatic specimen manipulation for continuous testing in computer-aided testing assemblies and for on-line testing during production.
- Development and manufacture of measurement and testing equipment which will be simple to use and, where possible, will give digital displays of results, e. g. on hardness, depth of roughness and coating thickness, suitable for measurements in service.

- Further development of computer tomography techniques for the non-destructive investigation of materials and component properties.
- Automation of methods for the chemical analysis of substances (using a computer or microprocessor) to reduce costs in the various technological applications.
- Computer-aided systems for the automatic investigation of the fabrication properties of elastomers, and carbon fibre and glass fibre reinforced plastics etc.
- Technique for the monitoring and control of material properties in continuous processes with the aid of control theory models.
- Further development of calculation methods (e.g. finite element methods) for the investigation of material and component behaviour under a variety of stresses.

### 3.4.4 Determination of service operating conditions and methods for determining service life

An essential criterion in the evaluation of the quality and reliability of industrial products is their "period of useful service" or "service life", i. e. the period during which the product in question satisfies the requirements. The critical factor in a product's service life relates to the real stresses to which the component or product concerned is exposed under service conditions. These conditions are often very complex and may be reflected in a superimposition of different influences (e. g. static and dynamic loadings, temperatures, environmental influences etc.). Knowledge of stresses under operating conditions and an assessment of the period of service during which the relevant component may be expected to function entirely satisfactorily are a critical requirement for the rational use of materials and the optimization of components and structures, which are imperative if competitiveness is to be maintained and "overdesign" avoided.

Needs in this area include: stress monitoring devices and sensors for the evaluation of true stresses, testing methods for materials and conditions under service stresses or their simulation, methods for the assessment of service or useful life, taking into account the influences of material, shape, fabrication, environment (service strength calculations). In the Community survey reference was made in various quarters to the need for an intensification of research in these areas, which may help to increase the competitiveness of industrial products from the EEC countries — especially those products on which high demands of reliability and quality are made.

#### Research topics (results of the questionnaire survey)

- Further development of procedures for the determination and analysis of "complex stresses", for example, for certain components in general machine construction, motor vehicle construction or the aviation industry.
- Development of sensors to determine real stress conditions (especially contact pressures and temperatures) in tribological machine elements, such as bearings, gears, couplings, brakes etc.
- Simulation of real stress behaviour in component welding, with the object of locating conditions which control the formation of weld-related cracks (cracking due to temperature changes, reheating cracks, lamellar cracks).
- Testing procedures for the reliable forecasting of the behaviour in service of road building materials (mineral materials and aggregates).
- Development of reliable procedures for testing under service conditions (media, temperature, motion).
- Investigation of possibilities for the extrapolation of results from short-time tests to the prediction of service life.

- Work to assist in closing the gap between non-destructive and destructive testing, with particular reference to the evaluation of defect sites and estimation of the service life of components.
- Investigations to determine the probability of component failure in relation to defect statistics.
- Methods for the determination of "residual service lives" of components (particularly components with high operating safety requirements, such as steam lines and turbines in power plants) and the development of continuous monitoring and early warning systems.
- Development of workable damage accumulation hypotheses and demonstration of their applicability to various fields of technology.
- Development of methods for the prediction of service life and their standardization in major sectors of industry (motor vehicle construction, chemical plants, steel construction) to provide aids to the designer.

#### 4. Concluding remarks

In preparing the study, we have endeavoured to compile the many views expressed in industry, the universities and research establishments and in trade associations and scientific and technological societies in the countries of the European Community into an overall picture as consistent as possible. The differences in economic structures and economic systems (e. g. varying proportions of private and state-run companies) reflected in various sub-aspects of the replies, the individual competitive position of each country within Europe and in overseas trading patterns and political self-interest could not be taken into account explicitly in evaluating the replies in terms of European Community criteria. Because, on the one hand, it is hardly possible to assess the macro-economic effects of a Community Programme of Basic Technological Research and because, on the other hand, the industrial picture of the European Community is highly coloured by the existence of small and medium-sized firms, it was decided not to follow the suggestions made in some industrial quarters to relativize the assessment on the basis of some criterion, such as the sales figures for individual sectors.

Apart from the topic groups listed in sections 3.1 — 3.4 and the areas already supported under other programmes, mentioned in section 3.0, some other questions were frequently raised which could not be assigned to any of the outline proposals set out in sections 3.1 — 3.4. Since they also appear to be eminently worthy of sponsorship because of their general importance, they are listed here for completeness:

- Harmonization and updating of European testing requirements and specifications in the materials sector (e. g. the incorporation of new knowledge where appropriate); mutual recognition of tests, in the interests of dismantling intra-European barriers to trade and cost factors and of strengthening the position of European materials and industrial goods overseas.
- European cooperation in the testing of materials, components and systems for technical safety (e. g. fire protection), co-ordination of testing procedures and mutual recognition of tests.
- The establishment of common data banks, for example, for material data, thermodynamic data for state diagrams, damage, measurement and testing procedures, available measuring and testing facilities, fields of work of laboratories and institutes and documentation of materials literature according to applications.

- Development of cost-effective materials and material systems for combined loadings, e. g. those which are resistant to wear and corrosion, withstand high mechanical stresses at high temperatures and contain no strategically critical alloying elements.
- Basic research also on traditional processes and materials with the aim of saving energy (e. g. by shortening heat treatment times and lowering heat treatment temperatures).

Finally, it should be pointed out that the priority areas of industrial materials research and testing proposed in this study as suitable for coverage by a Community Programme of Basic Technological Research are — in accordance with the Community stipulation — relevant to the present technological situation and the requirements which it will compel Community industry to meet in the foreseeable future. Unconventional aspects of materials research and testing, which are not of immediate industrial relevance, may in that context appear to be under-represented. In view of the fundamental role played by materials in all areas of technology, it is highly desirable that facilities also be provided by the Community for promoting or itself extending incentives for entirely new and creative developments which could form the basis for future "innovation technologies".

#### Acknowledgements

Finally, we wish to extend our warm thanks to all those who have contributed to the success of the study, whether through conversations in person, by the return of questionnaires, by conducting internal surveys within their organizations or by otherwise furnishing information and documentation — especially our colleagues at the Bundesanstalt für Materialprüfung.

We are grateful to the

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover
- Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, Essen

for the abundant general statistical material supplied by them on request.

## 5. References

- [1] T. P. Hoar (Committee Chairman):  
Report of the Committee on Corrosion and Protection,  
Dep. of Trade and Industry, Her Majesty's Stationery Office,  
London, 1971
- [2] DECHEMA:  
Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Korrosion  
und des Korrosionsschutzes (Study commissioned by the  
Federal Ministry for Research and Technology), Frankfurt,  
1973
- [3] US Department of Commerce:  
Economic Effects of Metallic Corrosion in the United States,  
NBS Special Publication 511-1, 1978
- [4] H. P. Jost (Committee Chairman):  
Lubrication (Tribology) Education and Research — A report  
on the present position and industry's needs, Her Majesty's  
Stationary Office, London, 1906
- [5] FORSCHUNGSKURATORIUM MASCHINENBAU:  
Tribologie — Reibung, Verschleiß, Schmierung (Study  
commissioned by the Federal Ministry for Research and  
Technology), Research Report T 76-38, Frankfurt, 1976
- [6] O. Pinkus and D. F. Wilcock:  
Strategy for Energy Conservation through Tribology,  
ASME, New York, 1977

## Annex I

### Materials technology and research in the USA

Strenuous efforts are currently underway in the United States to improve industrial products and product technologies, both by the further development of proven materials and by the development of new materials with special properties. The five-year forecasting survey published in 1979 by the National Academy of Science gives a good overview of the main aspects of future materials research in the USA in its chapter on „Materials“ [A1]. Some of the developments expected over the next few years are presented in the following paragraphs by brief indications of the material categories considered to be of special importance.

#### a) Metals and alloys

No remarkable advances are expected in conventional metals such as steel and iron, aluminium and copper. Technological innovations and increases in production will depend less on technical advances than on capital available for the modernization of production plant. The use of high-temperature nickel and cobalt alloys (superalloys) for turbine blades with special anisotropic grain structures, obtained by controlled solidification, will make it possible to increase the operating temperature of gas turbines beyond 950°C and thereby to increase the thrust/weight ratio by 15 %. The development of low-alloy, high-strength dual-phase steels will mean a 10 — 30 % saving in weight. It is estimated that 200 kg of such steels will be used in an American car in 1985. The commercial use of metallic glasses, i. e. „amorphous“ metals, obtained from the metal melt by quenching at cooling rates of 10<sup>5</sup> to 10<sup>6</sup>°C per second, is expected for low-loss transformer cores. (The replacement of conventional transformer cores would mean a potential saving of electrical energy losses in the USA equivalent to 6 million barrels, i. e. approx. 10<sup>9</sup> litres, of oil per year.) Increased use of titanium as a lightweight structural material is expected.

#### b) Energy and information-related materials

Increased efforts to produce solar cells (amorphous silicon, single-crystal silicon wafers) for the direct conversion of light into electrical energy will bring about considerable cost reductions. In lighting installations, improvement of efficiency and colour rendering by the increased use of fluorescent lamps and high-pressure metal gas-discharge lamps for commercial applications. New sensors using thin-film techniques will be used increasingly in various fields of application (e. g. IR detectors for the detection of heat radiation from buildings). Increased use of glass fibres for information transmission. Sustained acceleration of development in the electronics and computer industry by further increase in the packing density of electronic elements (large-scale integrated circuits) and use of new lithographic techniques, such as plasma-etching and laser-implantation, and the use of so-called bubble memories.

#### c) Polymers

Polymers will continue to be the material category with the

highest rates of growth. A typical American car currently contains approx. 90 kg of polymers; this proportion will increase to approx. 140 — 160 kg in 1985. There is increased demand for polymers with high resistance to heat, light, oxidation and flame and with improved electrical properties.

#### d) Ceramics and other inorganic materials

An increase is expected in the use of ceramics, such as silicon nitride and silicon carbide, with special properties of resistance to corrosion, erosion and thermal shock for use in high temperature applications (e. g. possible replacement of the so-called superalloys in gas turbines). There may be an increase in the operating temperatures and efficiencies of energy production and conversion systems. Intensive research is expected on the brittle fracture (which has hitherto frequently been impossible to control) of materials of this kind over the next five years, including the use of improved methods of non-destructive testing for the detection of microscopic flaws.

#### e) Composite materials

Considerable advances may be expected in high-performance composite materials (resin and metal matrix reinforced by boron, carbon, silicon or other fibres of high rigidity). There is high utilization potential in aircraft construction, but also in the automotive sector, to secure weight savings, which in certain components could be as much as 50 %.

#### f) Renewable materials

Studies are carried out on the setting up of plantations (in scrubland or on coasts) which could provide renewable resources for (substitution) materials, such as rubber or lubricants.

#### g) Biomedical materials

There is increased interest in the use of metals, polymers, ceramics and composite materials for use in implants (hip and knee joints, artery substitutes, heart valves). The problems arising in regard to biocompatibility and stability are being studied in intensive programmes of laboratory research.

#### h) Materials conservation, recycling and substitution

Considerable efforts are being deployed in all materials technologies to reduce material losses (particularly through wear and corrosion) and to promote the recycling of materials (special problem: plastics recycling) and the substitution of rare and expensive materials.

### Sources for annex I

- [A1] R. E. Gomory (Study Chairman):  
Science and Technology — a 5-year outlook. Chapter 6  
„Materials“. Published in Collaboration with the National  
Academy of Science).  
W. H. Freeman and Co, San Francisco 1979, 301 — 340





## Annex II

### Materials technology and research in Japan

Reference was made in section 1 to the Japanese lead which is increasingly becoming apparent in many important industrial goods sectors (cf. table 4 and figure 1). A remarkable feature is the amount of investment which is being devoted in Japan to the various branches of research and development (R & D). The annual rate of increase in R & D expenditure was 16.6 % during the 70 s and will rise to higher levels in the 80 s. The extent of total R & D expenditure — some 10 — 20 % of which is for industry — in relation to the gross domestic product (GDP) is shown by the following figures [B 1]:

	R & D expenditure 1979 (% of GDP)
Japan	2.04
USA	2.41
EEC countries	1.63

(Average values for B, D, DK, F, GB, I, NL)

It is expected that the extent of R & D expenditure, measured in terms of the gross national product in Japan, will exceed the 2.5 % limit by the mid-80 s and will be 3 % by the end of the decade [B2]:

For the 80 s, the Japanese Ministry of International Trade and Industry (MITI) has designated the following five areas as "technologies of the future":

- biotechnology
- micro-electronics
- new types of metals and alloys
- ceramics
- polymers with special properties.

Sixty-seven selected firms will concentrate jointly on these technologies, under the direction of the ministry and with public funding. Direct subsidies of the ten-year programme in question amount to almost DM 1100 million [B3]. The fact that the vast majority of "technologies of the future" are materials technologies is the reason for the great importance attributed to materials research for the future technico-economic development of Japan. The following paragraphs give an indication of some areas of emphasis for the future development of materials technology in Japan, taken from a recently published review entitled "New Materials — a new major revolution in this decade" [B4].

#### a) Silicon, basic material for the electronics industry

Silicon production, in spite of the high costs of electricity (one third of the cost of Si production), can be regarded as a measure of the continuing vigorous expansion in the electronics industry. Production figures:

- Polycrystalline silicon  
1975: 215 t; 1979: 370 t; 1985 (estimate): 1000 t
- single-crystal silicon  
1975: 68 t; 1979: 240 t; 1985 (estimate): 750 t

On the basis of these Si production figures, it is expected that the annual rate of growth of 20 — 25 % for integrated circuits (IC) will be sustained to the mid-80s.

#### b) Titanium, a metal of the future for lightweight construction

In 1980, 46.4 % of total world production (outside the Eastern Bloc) came from two Japanese smelters (Osaka Titanium and Poho Titanium). (Titanium is the ninth most abundant element in the earth's crust and, after aluminium, iron and magnesium, the fourth metal.) Favourable properties: high strength, low specific gravity, excellent corrosion resistance. Titanium, which is of

particular importance in aircraft construction, will come to be used in other applications: chemical plants, heat exchangers, electrodes, power plants (nuclear, coal-fired and geothermal), marine technology. Expected advances in process technology (titanium powder metallurgy, casting techniques) will bring about cost savings of up to 30 % compared with forged titanium and up to 80 % in aircraft industry production.

#### c) Amorphous metals (metallic glasses)

Since the middle of 1981, Japanese firms have been able to produce amorphous metals in continuous mass production (e. g. Hitachi: strip — 10 cm wide, 20 — 55  $\mu$ m thick, up to 300 m long; Sony: 1 mm wide, 40  $\mu$ m thick). Advantages of these materials: considerably improved magnetic and electrical properties compared with crystalline metals, higher mechanical strength and corrosion resistance; can be used to advantage in the following applications: cores for electrical windings and transformers, television and magnetic tape technology.

#### d) Materials for solar technology

Amorphous materials offer scope for ten to twenty-fold increases in present component dimensions of approx. 1 — 2 cm<sup>2</sup>. Solar cells with an area of 10 — 20 cm<sup>2</sup> have been produced from amorphous silicon by the Tokyo Institute of Technology. While photovoltaic efficiency was at first only 4 % (at a cost of DM 50 — 60 per watt), in two years time efficiency is expected to double and costs to fall to DM 10 per watt. This will make solar cells of amorphous silicon economically viable as an energy source for portable electronic devices. Estimated potential market: DM 2000 — 3000 million. Objective for 1990: 15 % photovoltaic efficiency, production cost DM 1 per watt, thus making possible economic use in domestic and industrial applications.

#### e) Ceramics

Several hundred new ceramic materials (base: high-purity oxides, such as aluminium oxide, and synthetic carbides, nitrides, borides, silicates and phosphates) with special properties are currently being investigated by over 20 firms in Japan. Technical advantages of ceramics: raw materials readily available, high chemical and thermal stability, extremely high hardness values. The industrial applications range from electrical insulation components, cutting and forming tools, bearing materials, nozzles and chemicals pumps through biotechnical materials, such as artificial hip joints, to housings for microelectronics chips. Non-oxidizing, thermally stable materials, such as silicon nitride, are suitable for use both in diesel engines and gas turbines and in high-performance cutting tools. It is estimated that by 1990 the value of ceramics used by the automotive industry in Japan will be US \$ 1500 million for cars and US \$ 1350 million for other vehicles. If the present very intensive research effort on engines based on ceramics is successful, the figures may be even higher.

#### f) Fibre-reinforced plastics

High investment is currently being devoted to carbon fibre technology, and the 90s should see a return on this investment in the form of new products. Japanese firms control 60 — 80 % of the fast growing world market in carbon fibres, which are lighter than aluminium and possess higher strength than steel. The importance of carbon fibre technology (annual rate of growth in Japanese production 40 %) is compared with that of aluminium in the 20s. Japanese exports to the USA alone (mainly for the aircraft industry), currently running at 160 t per year, are expected to increase, by a factor of 130, to 21 000 t per year by the end of 1985. Further applications are expected to be developed in the following fields: automotive industry (wheel rims, springs, brake materials, gearwheels), X-ray technology (carbon fibres are permeable to X-rays), heat insulators, friction materials, electrodes. It is also possible that carbon fibres could replace the health hazard, asbestos, which would represent a further immense market.

**Sources for annex II**

[B1] Science Resources, Newsletter no. 6, Summer 1981,  
Science and Technology Indicators Unit of OECD, Paris

[B2] anon.:  
Industrial Japan 1981.  
Far Eastern Economic Reviews, Dec. 4 (1981), p. 43 ff.

[B3] Die Zeit, 8. 1. 1982, p. 16

[B4] anon.:  
New Materials — A new major revolution in this decade.  
Far Eastern Economic Review, Dec. 4 (1981), p. 48 ff.

## Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/September 1968

**Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)**  
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen)

**Zum Problem des Feuchtigkeitschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern**  
von Dr.-Ing. Götz Andreae

Nr. 3/September 1970 (vergriffen)

**Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile**  
von Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)

**Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren**  
von Dr. rer. nat. Arno Burmester

Nr. 5/März 1971

**Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken**  
von Dr. rer. nat. Norbert Steiner

Nr. 6/April 1971

**Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen**  
von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider

Nr. 7/Juli 1971

**Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie**  
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz

Nr. 8/November 1971

**Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Helmut Veith

Nr. 9/November 1971

**Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen**  
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

Nr. 10/Januar 1972

**Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode**  
von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin

Nr. 11/Februar 1972

**Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden**  
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause

Nr. 12/Mai 1972

**Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren**  
von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg

Nr. 13/Juni 1972

**Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und  $2 \cdot 10^{-7}$  Torr**  
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer

Nr. 14/Juli 1972

**Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz**  
von Eberhard Fischer

Nr. 15/August 1972

**Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse**  
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl

Nr. 16/August 1972

**Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer**  
von Dr.-Ing. Erwin Knublauch

Nr. 17/August 1972

**Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen**  
von Dr.-Ing. Peter Reimers

Nr. 18/Januar 1973

**Das Spröbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**  
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 19/Januar 1973

**Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen**  
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos

Nr. 20/April 1973

**Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden**  
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 21/Juli 1973

**Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung**  
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig

Nr. 22/Juli 1973

**Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen**  
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 23/November 1973

**Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin**

**Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen**  
von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske

Nr. 24/November 1973

**Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung**

von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 25/Dezember 1973

**Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen**

von Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 26/August 1974

**Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —**

von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise

Nr. 27/August 1974

**Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall**

von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg

Nr. 28/August 1974

**Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern**

von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 29/August 1974

**Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall**

von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider

Nr. 30/September 1974 (vergriffen)

**The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology**

von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon

Nr. 31/August 1975

**Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung**

von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann

Nr. 32/September 1975

**Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen**

von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher

Nr. 33/November 1975

**Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens**

von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)

**Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen**

von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe

Nr. 35/Januar 1976

**Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —**

von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)

**Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles**

von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt

Nr. 37/Februar 1976

**Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —**

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 38/Juni 1976

**Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionitriertem Stahl 42 CrMo 4**

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 39/Juni 1976

**Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newtonschem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung**

von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf

Nr. 40/Juni 1976

**Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren**

von Dr. rer. nat. H. Hantsche

Nr. 41/Okttober 1976

**Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten**

von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher

Nr. 42/Okttober 1976

**Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft**

von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen

Nr. 43/Okttober 1976

**Das Sprödbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 44/November 1976

**Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“**

von Dipl.-Ing. W. Matthees

Nr. 45/Dezember 1976

**Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten**  
von Dr.-Ing. W. Paatsch

Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)

**Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung**  
**Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses**  
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler

Nr. 47/Juni 1977

**Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen**  
von Dr.-Ing. Arno Plank

Nr. 48/Okttober 1977

**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn**  
von Dr.-Ing. U. Holzlöhner

Nr. 49/Dezember 1977

**Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung**  
von Dr.-Ing. Günther Wittig

Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)

**Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern**  
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andrae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski

Nr. 51/Juni 1978

**Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen**  
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld

Nr. 52/August 1978

**Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung**  
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov

Nr. 53/Okttober 1978

**Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge**  
von Rolf Günter Rohrmann und Reinald Rudolphi

Nr. 54/Okttober 1978

**Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Harro Sander

Nr. 55/November 1978

**Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke

Nr. 56/Januar 1979

**Stabilität von Sandwichbauteilen**  
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie

Nr. 57/März 1979

**Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung**  
**Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing**  
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus

Nr. 58/März 1979

**Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau**  
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 59/Juli 1979

**Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl**  
von Dr.-Ing. Günther Plauk

Nr. 60/August 1979

**Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken**  
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs

Nr. 61/Dezember 1979

**Beschreibung von Problemen der höheren Farbmeterik mit Hilfe des Gegenfarbensystems**  
von Dr. Klaus Richter

Nr. 62/Dezember 1979

**Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle**  
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker

Nr. 63/Dezember 1979

**Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase**  
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig

Nr. 64/Februar 1980

**Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung**  
von Dr.-Ing. Werner Rücker

Nr. 65/Februar 1980

**Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte**  
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 66/Mai 1980

**Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung**  
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig



Nr. 67/Mai 1980

**Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung**

von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees

Nr. 68/Mai 1980

**Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik. Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers**

von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn

Nr. 69/Juni 1980

**Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitshüllen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise**

von Dr.-Ing. Frank Buchhardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl

Nr. 70/August 1980 (vergriffen)

**Schwellenwerte beim Betondruckversuch**

von Dr.-Ing. Gerald Schickert

Nr. 71/August 1980

**Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen**

von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera

Nr. 72/September 1980

**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen**

von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 73/November 1980

**Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen**

von Dipl.-Ing. Peter Wegener

Nr. 74/November 1980

**ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz**

von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller

Nr. 75/November 1980

**Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen**

von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 76/November 1980

**Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop**

von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig

Nr. 77/April 1981

**Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen**

von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch

Nr. 78/September 1981

**Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund**

von Dr.-Ing. Werner Rücker

Nr. 79/Dezember 1981

**Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kalttribneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch**

von Dr.-Ing. Volker Neumann

Nr. 80/Dezember 1981

**Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten**

von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch

Nr. 81/Dezember 1981

**Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik**

von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt

Nr. 82/April 1982

**Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches**

**Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test**

von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmund Ledworowski

Nr. 83/Juli 1982

**Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen**

**— Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —**

von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle

Nr. 84/Juli 1982

**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)**

von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Oktober 1982

**Technische Materialforschung und -prüfung**

**— Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ —**

**Materials Research and Testing**

**— Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme “Basic Technological Research“ —**

von Prof. Dr. Horst Czichos



