

# Inhaltsverzeichnis

## I. Kurzfassung

|          |  |             |
|----------|--|-------------|
| <b>1</b> | <b>Gegenstand, Zielsetzungen und Methodik.....</b>               | <b>K-1</b>  |
| 1.1      | Zielsetzungen.....   | K-1         |
| 1.2      | Ausgangslage.....  | K-3         |
| 1.3      | Methodischer Ansatz.....   | K-4         |
| <b>2</b> | <b>Neue Materialien – Trends und Entwicklungen.....</b>          | <b>K-7</b>  |
| 2.1      | Bedeutung Neuer Materialien.....                                 | K-7         |
| 2.2      | Materialforschung in ausgewählten Bereichen.....                 | K-8         |
| 2.3      | Fallbeispiele materialwissenschaftlicher Entwicklungen.....      | K-18        |
| <b>3</b> | <b>Materialwissenschaften im gesellschaftlichen Kontext.....</b> | <b>K-21</b> |
| 3.1      | Beurteilungen und Konsequenzen.....                              | K-21        |
| 3.2      | Zusammenfassende Empfehlungen.....                               | K-24        |
| <b>4</b> | <b>Ausblick.....</b>   | <b>K-27</b> |

## II. Memorandum

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Ausgangslage und Zielsetzungen.....                           | 3         |
| 1.2      | Aufbau und Vorgehen dieser Untersuchung.....                  | 7         |
| 1.3      | Methodischer Ansatz und Struktur der Resultate.....           | 9         |
| <b>2</b> | <b>Technikfolgenbeurteilung und Materialwissenschaft.....</b> | <b>11</b> |
| 2.1      | Gesellschaftliche Bedeutung der Materialentwicklung.....      | 11        |
| 2.1.1    | Ökonomische Bedeutung.....                                    | 12        |
| 2.1.2    | Bedeutung für den Umweltschutz.....                           | 14        |
| 2.1.3    | Bedeutung in der Lebenswelt.....                              | 16        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.2      | Technikfolgenbeurteilung und Materialentwicklung.....  | 17        |
| 2.2.1    | Rationale Technikfolgenbeurteilung .....   | 17        |
| 2.2.2    | Staatliches Handeln in der Technikgestaltung .....   | 20        |
| 2.2.3    | Technikfolgenreflexion in den Materialwissenschaften.....  | 23        |
| 2.2.4    | Bedarfs- oder angebotsorientierte Technikfolgenbeurteilung?  | 27        |
| 2.2.5    | Rationalität und Akzeptanz .....   | 29        |
| 2.3      | Bisherige Arbeiten auf diesem Gebiet.....  | 31        |
| <b>3</b> | <b>Stand und Entwicklung ausgewählter Materialklassen .....</b>  | <b>39</b> |
| 3.1      | Klassifizierung.....   | 39        |
| 3.2      | Materialentwicklungen.....   | 43        |
| 3.2.1    | Entwicklungstrends bei Stählen.....  | 46        |
| 3.2.1.1  | Wirtschaftliche Bedeutung der Stähle.....  | 46        |
| 3.2.1.2  | Entwicklung der metallurgischen Prozeßtechnik zur<br>Reduzierung der Emissionen und des Energieeinsatzes | 48        |
| 3.2.1.3  | Verkürzung von Prozeßketten.....   | 50        |
| 3.2.1.4  | Trends der Werkstoffentwicklung bei Stählen.....   | 52        |
| 3.2.1.5  | Neue Produktformen .....   | 54        |
| 3.2.1.6  | Neue Verarbeitungsverfahren .....  | 56        |
| 3.2.1.7  | Werkstoffkreislauf .....   | 56        |
| 3.2.1.8  | Schlußfolgerungen .....  | 57        |
| 3.2.2    | Nichteisenmetalle .....  | 57        |
| 3.2.2.1  | Aluminium-Legierungen.....   | 58        |
| 3.2.2.2  | Titan-Legierungen.....   | 66        |
| 3.2.2.3  | Magnesium-Legierungen .....  | 72        |
| 3.2.2.4  | Kupfer-Legierungen.....  | 75        |
| 3.2.2.5  | Schlußfolgerungen .....  | 80        |
| 3.2.3    | Polymerwerkstoffe .....  | 83        |
| 3.2.3.1  | Trends in der Polymerforschung.....  | 84        |
| 3.2.3.2  | Schlußfolgerungen .....  | 96        |
| 3.2.4    | Keramische Werkstoffe.....   | 97        |
| 3.2.4.1  | Konstruktion und Design .....  | 99        |
| 3.2.4.2  | Kostensenkung.....   | 100       |
| 3.2.4.3  | Faserverbundwerkstoffe mit Keramikmatrix .....   | 101       |
| 3.2.4.4  | Funktionskeramik.....  | 102       |
| 3.2.4.5  | Keramik im MaTech-Programm .....   | 102       |
| 3.2.4.6  | Keramik in der DFG.....  | 103       |
| 3.2.4.7  | Schlußfolgerungen .....  | 103       |
| 3.2.5    | Glas.....  | 104       |
| 3.2.5.1  | Sol-Gel-Verfahren zur Herstellung oxidischer Gläser ..   | 105       |
| 3.2.5.2  | Herstellung und Eigenschaften nicht-oxidischer Gläser  | 105       |
| 3.2.5.3  | Glasmatrixkomposite .....  | 106       |
| 3.2.5.4  | Mikrostrukturierung von Glas.....  | 107       |
| 3.2.5.5  | Glaskeramik .....  | 109       |
| 3.2.5.6  | Ausblick .....   | 110       |
| 3.2.5.7  | Schlußfolgerungen .....  | 110       |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2.6 Faserverbundwerkstoffe mit Polymermatrix .....  | 111 |
| 3.2.6.1 Polymermatrix.....  | 112 |
| 3.2.6.2 Fasern.....   | 113 |
| 3.2.6.3 Grenzfläche .....   | 115 |
| 3.2.6.4 Herstellung von Bauteilen aus Faserverbund-<br>werkstoffen .....  | 115 |
| 3.2.6.5 Faserverbundwerkstoffe für Transportsysteme .....   | 121 |
| 3.2.6.6 Recycling von Faserverbundwerkstoffen .....   | 126 |
| 3.2.6.7 Schlußfolgerungen .....   | 128 |
| 3.2.7 Werkstoffe auf der Basis von pflanzlichen und tierischen<br>Substanzen.....   | 129 |
| 3.2.7.1 Klassifizierung .....   | 132 |
| 3.2.7.2 Werkstoffe auf der Basis von pflanzlichen<br>Substanzen (Nachwachsende Rohstoffe).....  | 135 |
| 3.2.7.3 Schlußfolgerungen .....   | 149 |
| 3.2.8 Holz – ein nachwachsender Rohstoff für Ingenieurwerkstoffe  | 150 |
| 3.2.8.1 Holz als nachwachsender Rohstoff .....  | 151 |
| 3.2.8.2 Die Strukturelemente des natürlichen<br>Verbundwerkstoffes Holz.....  | 152 |
| 3.2.8.3 Holzwerkstoffe.....   | 153 |
| 3.2.8.4 Bindemittel.....  | 154 |
| 3.2.8.5 Strukturbildung und mechanische Eigenschaften .....   | 155 |
| 3.2.8.6 Zukünftige Aufgaben der Holzwerkstoffentwicklung...   | 157 |
| 3.2.8.7 Ökologische Bedeutung .....   | 159 |
| 3.2.8.8 Ausblick .....  | 160 |
| 3.2.8.9 Schlußfolgerungen .....   | 160 |
| 3.2.9 Nanostrukturierte Funktionswerkstoffe .....   | 161 |
| 3.2.9.1 Erzeugung von Nanostrukturen.....   | 163 |
| 3.2.9.2 Beschichtungen .....  | 166 |
| 3.2.9.3 Nanokompositwerkstoffe .....  | 167 |
| 3.2.9.4 Nanoporöse Materialien .....  | 168 |
| 3.2.9.5 Nanoelektronik.....   | 169 |
| 3.2.9.6 Schlußfolgerungen .....   | 169 |
| 3.2.10 Entwicklungstrends bei Beschichtungen .....  | 170 |
| 3.2.10.1 Dünnschichttechnologie und Oberflächen-<br>modifikation .....  | 170 |
| 3.2.10.2 Einsatzfelder für Dünnschichttechnologie und<br>Oberflächenmodifikation.....   | 172 |
| 3.2.10.3 Dickschichttechnologie .....   | 183 |
| 3.2.10.4 Schlußfolgerungen .....  | 187 |
| 3.3 Einfluß von Meßmethoden und Charakterisierung auf die<br>Werkstoffentwicklung und -anwendung anhand ausgewählter<br>Beispiele ..... | 189 |
| 3.3.1 Rastersondenmethoden.....   | 190 |
| 3.3.2 Zerstörungsfreie Materialprüfung mittels<br>Lockin-Thermographie.....   | 192 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.3.3    | Anwendungsbeispiel der Analytischen Transmissions-<br>elektronenmikroskopie: Entwicklung langzeitstabiler<br>Hochdruckkompressoren..... | 193        |
| 3.3.4    | Schlußfolgerungen.....  | 197        |
| 3.4      | Einfluß von Modellierung und Simulation auf die Werkstoff-<br>entwicklung und -anwendung anhand ausgewählter Beispiele .....            | 198        |
| 3.4.1    | Atomarer Bereich .....  | 199        |
| 3.4.2    | Mikroskopischer Bereich.....  | 199        |
| 3.4.3    | Simulation und Visualisierung von Bauteilen .....   | 201        |
| 3.4.4    | Schlußfolgerungen.....  | 204        |
| <b>4</b> | <b>Ausgewählte Beispiele materialwissenschaftlicher<br/>Entwicklungen .....</b>   | <b>207</b> |
| 4.1      | Keramikventil im Verbrennungsmotor.....   | 209        |
| 4.1.1    | Die Entwicklung.....  | 210        |
| 4.1.1.1  | Pulverherstellung .....   | 210        |
| 4.1.1.2  | Werkstoffentwicklung.....   | 212        |
| 4.1.1.3  | Prozeßtechnik.....  | 213        |
| 4.1.1.4  | Bearbeitung .....   | 213        |
| 4.1.1.5  | Prüfung.....  | 214        |
| 4.1.2    | Stand der Technik – Die Situation 1998.....   | 214        |
| 4.1.3    | Umfrageergebnisse – Die Situation 1998 .....  | 215        |
| 4.1.3.1  | Delphi-Studie .....   | 215        |
| 4.1.3.2  | Umfrage der Europäischen Akademie .....   | 215        |
| 4.1.4    | Schlußfolgerungen.....  | 217        |
| 4.2      | Der Einfluß von nanostrukturierten Werkstoffen auf die Entwick-<br>lung von Batterien für elektrische Antriebe von Fahrzeugen .....     | 220        |
| 4.2.1    | Das Umfeld.....   | 221        |
| 4.2.2    | Elektroantriebe und Batteriesysteme .....   | 223        |
| 4.2.3    | Situation in der Batterieforschung.....   | 226        |
| 4.2.4    | Auswertung des Fragebogens.....   | 229        |
| 4.2.5    | Schlußfolgerungen.....  | 230        |
| 4.3      | Glasmatten- und langfaserverstärkte Thermoplaste für das<br>Automobil .....   | 230        |
| 4.3.1    | Glasmattenverstärkte Thermoplaste (GMT).....  | 230        |
| 4.3.2    | Langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT).....   | 231        |
| 4.3.3    | Schlußfolgerungen.....  | 234        |
| 4.4      | Heimische Pflanzenfasern für das Automobil.....   | 235        |
| 4.4.1    | Naturfasern im Automobilbau .....   | 235        |
| 4.4.2    | Rohstoffherzeugung und Rohstoffbereitstellung heimischer<br>Pflanzenfasern .....  | 239        |
| 4.4.2.1  | Flachs .....  | 239        |
| 4.4.2.2  | Hanf .....  | 243        |
| 4.4.2.3  | Nessel.....   | 247        |
| 4.4.3    | Anmerkungen zur Förderpolitik .....   | 248        |
| 4.4.4    | Schlußfolgerungen.....  | 250        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.5      | Nanotechnologie – Zwischen Grundlagenforschung und Anwendung                  | 251        |
| 4.5.1    | Nanotechnologisch basierte Beschichtungen.....                                | 252        |
| 4.5.2    | Kohlenstoffnanomaterialien .....  | 256        |
| 4.5.3    | Schlußfolgerungen.....  | 260        |
| 4.6      | Wärmedämmschichten auf Turbinenschaufeln.....                                 | 262        |
| 4.6.1    | Das technische System Gasturbine und werkstoffkundliche Fragestellungen ..... | 263        |
| 4.6.2    | Das Vorgehen in Ländern der Europäischen Union .....                          | 265        |
| 4.6.3    | Das Vorgehen in den USA und Ländern der ehemaligen Sowjetunion.....           | 267        |
| 4.6.4    | Analyse der Entwicklungsförderung .....                                       | 269        |
| 4.6.5    | Schlußfolgerungen.....  | 271        |
| <b>5</b> | <b>Europäische Aktivitäten .....</b>  | <b>273</b> |
| 5.1      | Die technische Leistungsfähigkeit Europas .....                               | 274        |
| 5.2      | Die europäischen Patentaktivitäten.....                                       | 276        |
| 5.3      | Verhältnis der öffentlichen zur privaten Forschung .....                      | 278        |
| 5.4      | Relation Humankapital zur Innovationsfähigkeit.....                           | 280        |
| 5.5      | Zukünftige Entwicklung oder die „Philosophie der Materialforschung“ .....     | 282        |
| 5.6      | Europäische Arbeitsteilung.....   | 284        |
| 5.7      | Schlußfolgerungen.....  | 287        |
| <b>6</b> | <b>Materialwissenschaften im gesellschaftlichen Kontext.....</b>              | <b>289</b> |
| 6.1      | Ziele in Materialforschung und -entwicklung .....                             | 289        |
| 6.1.1    | Materialforschung und -entwicklung für Systeminnovationen.                    | 292        |
| 6.1.2    | Materialforschung und -entwicklung für Substitutionen .....                   | 293        |
| 6.1.3    | Materialwissenschaft und umweltbezogene Nachhaltigkeit .....                  | 294        |
| 6.1.4    | Integration der Materialforschung .....                                       | 297        |
| 6.1.5    | Zielfindung und -definition in den Materialwissenschaften .....               | 298        |
| 6.2      | Zeitskalen in der Materialforschung und -entwicklung .....                    | 300        |
| 6.3      | Optionen staatlichen Handelns in der Materialforschung und -entwicklung.....  | 305        |
| 6.3.1    | Inkrementalistische Option.....   | 306        |
| 6.3.2    | Option „Leitbildsteuerung“ .....  | 308        |
| 6.3.3    | Option „Marktplatz für Forschung“.....  | 311        |
| 6.3.4    | Fazit.....  | 313        |
| 6.4      | Beurteilung und Konsequenzen.....   | 315        |
| 6.5      | Zusammenfassende Empfehlungen .....   | 321        |
| <b>7</b> | <b>Technikfolgenbeurteilung und Materialentwicklung – ein Ausblick.....</b>   | <b>323</b> |
| 7.1      | Technikfolgenbeurteilung in der Materialwissenschaft.....                     | 323        |
| 7.2      | Prognosen als Planungsgrößen .....  | 324        |
| 7.3      | Technikfolgenbeurteilung als begleitendes Controlling? .....                  | 325        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Anhang: Umfrage zur Materialforschung in Europa.....</b>                                    | <b>329</b> |
| A.1    Teilnehmer der Umfrage .....  | 329        |
| A.1.1 Adressenrecherche.....   | 329        |
| A.1.2 Antwortraten.....  | 331        |
| A.1.3 Institutionelle Angehörigkeit.....   | 332        |
| A.1.4 Verteilung der Fachkenntnis.....   | 333        |
| A.2    Statistische Auswertung ausgewählter Fragen .....                                       | 334        |
| A.2.1 Keramik .....  | 335        |
| A.2.2 Werkstoffe für Batterien .....   | 338        |
| A.2.3 Nachwachsende Rohstoffe.....   | 341        |
| A.2.4 Nanostrukturierte Werkstoffe .....   | 347        |
| A.2.5 Hochtemperaturwerkstoffe .....   | 349        |
| A.2.6 Verhältnis von öffentlichen und privaten Aufwendungen<br>für die Materialforschung ..... | 351        |
| <b>Literaturverzeichnis .....</b>  | <b>355</b> |
| <b>Autorenverzeichnis .....</b>  | <b>377</b> |

Neue Materialien für innovative Produkte

Entwicklungstrends und gesellschaftliche Relevanz

Harig, H.; Langenbach, C.J. (Hrsg.)

1999, XXI, 412 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-66063-7