
Erhard Hornbogen

Die Werkstoffe und die Zukunft der Technik

Prof Dr Erhard Hornbogen, geb 1930 in Greiz/Thunngen, gelernter Maschinenschlosser, Abitur als Externer, Studium an den Technischen Universitäten Clausthal und Stuttgart, war fünf Jahre Forschungsingenieur bei der U S Steel Corporation in Pittsburgh/USA und danach Hochschullehrer an der TU Stuttgart und an der Universität Gottingen Heute ist er Professor für Werkstoffwissenschaft an der Ruhr-Universität Bochum

Werkstoffe in Vergangenheit und Gegenwart

Die materiellen Grundbedürfnisse der Menschen sind Nahrung, Energie und Werkstoffe Werkstoffe ermöglichen erst die technischen Konstruktionen

und Funktionen. Sie dienen zum Bau von Maschinen, Gebäuden, aber auch als Implantate in der Medizin oder zur Darstellung künstlerischer Visionen. Der Begriff „dienen“ ist in diesem Zusammenhang tatsächlich angebracht: Werkstoffe werden oft in dienender Rolle gesehen, die aber, wegen des Beigeschmacks von Passivität, ihrer Bedeutung für die Technik - und damit für unser Leben - keinesfalls gerecht wird. Werkstoffe bestimmen nämlich nicht nur Qualität und Solidität der technischen Produkte, sondern auch das, was als „technischer Fortschritt“ heute umstritten ist.

Früheren Generationen von Historikern muß die zentrale Bedeutung der Werkstoffe für die Entwicklung menschlicher Zivilisationen bewußt gewesen sein. Sie haben die großen Perioden nach den Werkstoffen genannt, die für Werkzeuge und Konstruktionen verwendet wurden: Stein-, Kupfer-, Bronze- und Eisenzeit. Heutige Historiker wären sicherlich durch die Frage in Verlegenheit zu bringen, in welcher „Zeit“ wir denn 1986 leben. Sie würden vielleicht naserümpfend vom Beton- und Plastikzeitalter sprechen und damit hauptsächlich etwas über die weitverbreitete unfreundliche Einstellung zur Technik verraten. Angebrachter wäre es, vom Zeitalter der elektronischen Halbleiter und der Werkstoffe für die Informationsspeicherung zu sprechen.¹

Weil viele teils zu Recht, teils einer Mode folgend zögern, die technische Fortentwicklung bedenkenlos als Fortschritt zu bezeichnen, erscheint es auf jeden Fall sinnvoll, einige zentrale Tatsachen zu erwähnen, die im Zusammenhang mit dem Thema stehen. Die Entwicklung von exakt funktionierenden elektronischen Rechnern - mit allen ihren Folgen - war nur möglich aufgrund der physikalischen und technischen Beherrschung neuer Werkstoffe, nämlich der elektronischen Halbleiter und der magnetischen Speicherwerkstoffe. Logische Schaltkreise waren längst bekannt - ebenso die hoffnungslose Störanfälligkeit röhrenbestückter Computer -, als in den fünfziger Jahren diese neuen Werkstoffe die Lösung brachten. Zu einer These verallgemeinert heißt das: *Werkstoffe liefern in vielen Fällen den Schlüssel zur Entwicklung der Technik.*

Es gibt dafür sehr viele weitere Beispiele. Nicht alle gerieten so ins allgemeine Bewußtsein, wie die Folgen der „Erfindung“ der Halbleiter. Wahrscheinlich können sich nur alte Metallfacharbeiter daran erinnern, wie die Zerspanungstechnik sich wandelte, als zunächst die Schnellarbeitsstähle und dann, vor etwa 50 Jahren, die Sinterhartmetalle (WIDIA = wie Diamant - von Krupp) als Werkzeugwerkstoffe Einzug hielten. Den Maschinenbauern blieb es dann vorbehalten, nach kurzem Staunen die Werkzeugmaschinen entsprechend den werkstoffbedingten neuen Möglichkeiten umzukonstruieren. Die Widiafabrik schuf viele neue Arbeitsplätze. Auf diesem Gebiet könnte nun ein weiterer Sprung durch neue keramische Werkstoffe und neue Oberflächenbehandlungen bevorstehen.

Eine grundsätzliche Frage lautet, wo und wie Werkstoffe eine Rolle spielen:

¹ E. Hornbogen: Werkstoffe im Jahr 2000, Umschau 76 (1976) S. 645-650.

- Sie werden *erzeugt* durch die werkstoffproduzierenden Industrien, die früher auch als Schlüsselindustrien bezeichnet wurden: die Stahl- und Nicht-eisenmetallindustrie, die chemische Industrie als Produzentin der Kunststoffe und die keramische Industrie.
- Sie werden *verarbeitet* im Maschinenbau, in der Elektrotechnik und im Bauwesen.
- Es folgt ihr *Gebrauch*, bis sie schließlich ihren Dienst getan haben und
- als Schrott zur *Wiederaufbereitung* gelangen oder schlimmstenfalls umweltverschmutzenden *Abfall* bilden.

Die Abfolge Erzeugung, Verarbeitung, Gebrauch, Wiederaufbereitung bietet für die zukünftige Technik viele Gelegenheiten eines sinnvollen Zusammenwirkens von Mensch und Werkstoff. Dazu können einige Beobachtungen aus Vergangenheit und Gegenwart nützlich sein: Der Preis eines technischen Produktes setzt sich aus dem Preis des Werkstoffes (Stufe A) und dem Preis für dessen Verarbeitung (Stufe B) zusammen. Fehlentwicklungen können dann eintreten, wenn diese Anteile zu sehr auseinanderlaufen (Abb. 1). *Die Kosten*

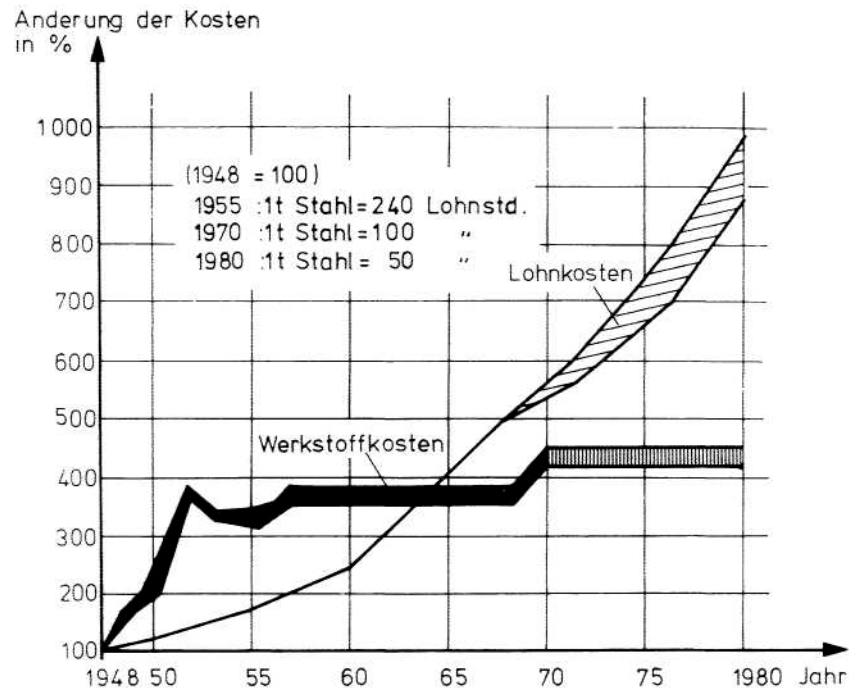


Abb. 1: Kostenentwicklung

Die Kosten des wichtigsten Konstruktionswerkstoffs Stahl sind in den vergangenen 30 Jahren weit weniger stark gestiegen als die Kosten der Arbeitskraft, die zur Fertigung aus diesem Werkstoff in den wesentlichen Industrieländern benötigt wurden.

für die Werkstoffe sind in den vergangenen Jahrzehnten sehr viel weniger angestiegen als die Kosten für deren Verarbeitung. Weniger kontrovers ist sicher heute die Feststellung, daß die Kosten für die Stufe D₅ die umweltgerechte „Verschrottung“, verbunden möglichst mit Wiederaufbereitung, im Preis eines Produktes enthalten sein sollte. Das könnte Fehlentwicklungen, wie etwa Einweg-Verpackungen, sicher eindämmen, die zum Teil aus zu niedrigen Materialkosten erklärt werden können.

Eine sehr wichtige Beobachtung sei in einer dritten These formuliert (Abb. 2): Die moderne Technik benötigt immer geringere Mengen von Werkstoffen

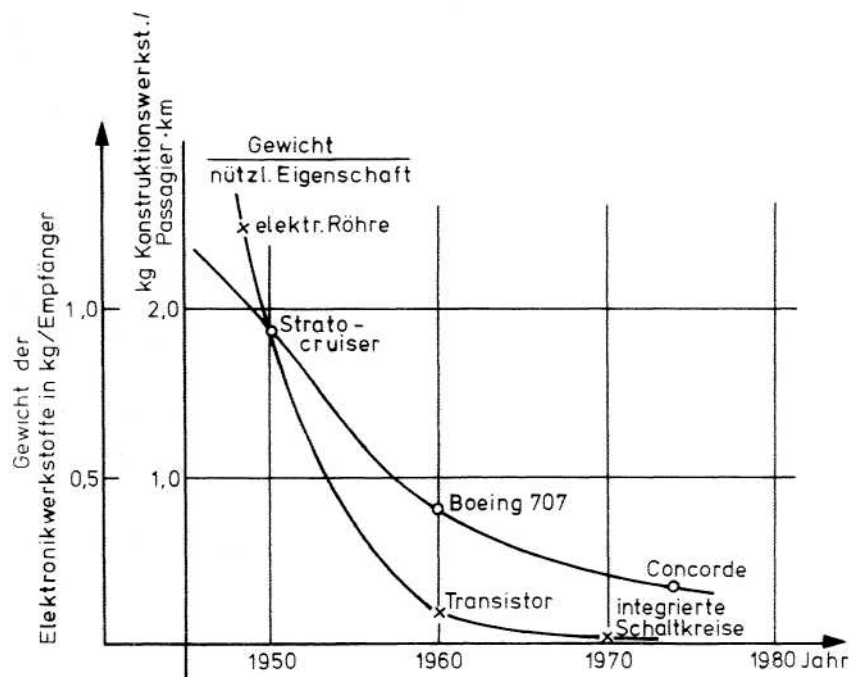


Abb. 2: Verbrauchsentwicklung

Die Entwicklung des Verbrauchs von Werkstoffen für Flugzeuge und für elektronische Schaltkreise eines Radios. Es wird immer weniger Werkstoff benötigt, um einen bestimmten technischen Nutzen zu erzielen.

für eine bestimmte Funktion. Dies führt nicht nur zu kleineren und leichteren und trotzdem leistungsfähigen technischen Produkten, sondern auch zur Einsparung von Rohstoffen und Energie. Kann man also guten Gewissens von einem technischen Fortschritt sprechen, für den hauptsächlich neue oder verbesserte Werkstoffe und Fertigungsmethoden verantwortlich sind?² Ohne

² E. Hombogen: Die Zukunft der Werkstoffe, Deutsche Gesellschaft für Forschung und Technik. Bochum 1982.

Einschränkung ja, wenn das Wohl der gesamten Menschheit betrachtet wird. Weniger positiv fällt die Antwort aus, wenn man Betriebe im Blick hat, die von der Produktion traditioneller Werkstoffe - zum Beispiel von Baustahl - leben. Es wäre dennoch falsch, Innovationen künstlich entgegenzuwirken und „Tonnen“ von Werkstoffen zu produzieren, die nicht mehr gebraucht werden. Selbst die kurzfristige Erhaltung von Arbeitsplätzen ist dafür kein ausreichender Grund, weil damit langfristig mehr Schaden als Nutzen angerichtet wird. In gewisser Weise kann man aber auch von einer tragischen Entwicklung für die Werkstoff erzeugende Industrie sprechen. Denn gerade jene Forschungserfolge, die zu verbesserten Werkstoffen führen, bewirken, daß immer geringere Mengen von Werkstoffen gebraucht werden. Die Alternativen für die Zukunft lauten: Schrumpfungsprozeß oder mühsamer Weg zur Schaffung „intelligenter Spezialitäten“³. Mit solchen Werkstoffen kann allerdings nur derjenige eine angemessene Wirtschaftlichkeit erzielen, der sowohl über einen großen wissenschaftlich-technischen Vorsprung verfügt als auch einen Stamm verantwortungsvoller Facharbeiter hat, die eine gleichbleibend hohe Qualität des verarbeiteten Werkstoffs garantieren.

Werkstoffe und Rohstoffe, Energie, Sicherheit

Für die Herstellung der Werkstoffe werden Rohstoffe benötigt: Erze für die Metalle, Öl für die Kunststoffe. Noch vor einem Jahrzehnt wurden katastrophale Verknappungen dieser Rohstoffe vorhergesagt. Daß diese Vorhersage nicht Wirklichkeit geworden ist, kann man zum Teil darauf zurückführen, daß die oben formulierte dritte These nicht beachtet wurde: Eine hochentwickelte technische Zivilisation zeichnet sich eben dadurch aus, daß der Werkstoffverbrauch abnimmt. Dadurch werden die Rohstoffvorräte geschont. Trotzdem könnten Verknappungen in bestimmten Bereichen auftreten, etwa bei Metallen wie Kupfer, Nickel oder Chrom. Falls die Forschung keinen direkten Ersatz dafür findet, wäre die Aufbereitung ärmerer Erze nahehegend. Dazu bedarf es lediglich zusätzlicher Energie. Auch hier besteht also kaum die Gefahr katastrophaler Entwicklungen.^{4,5}

Die Werkstoffe sind vielfältig mit dem Grundbedürfnis Energie verknüpft^{6,7} - ihre Herstellung erfordert Energie, zum Teil, wie bei Aluminium, Magnesium und Titan, sehr viel Energie. Diese Werkstoffe können sogar als eine Form gespeicherter Energie betrachtet werden. So verkauft Norwegen klugerweise seine Wasserkraft in der Form von Aluminiumlegierungen - und schafft auf diese Weise Arbeitsplätze. Die Verfügbarkeit guter Werkstoffe - für eine Technik, von der wir in Zukunft leben wollen - ist eng an die Verfüg-

3 M. P. Aigrain (Hrsg.): „New Materials Science and Engineering“ EIRMA (European Industrial Research Management Association) Paris, Conference papers 26,1982.

4 E. D. Larson/R. H. Williams/A. Bienkowski: Energy demand in Industrial countries, Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University 1984.

5 E. D. Larson/M. H. Ross/R. H. Williams: Grundstoffindustrie ohne Wachstum. Beginn einer neuen Ära?, Spectrum der Wissenschaft 8 (1986), S. 36-47.

6 I. J. Polmear: The Role of Materials Energy Production, J. Australian Inst. Met. 21 (1976), S. 68-87.

7 W. O. Alexander: Economics of Energy and Materials, Mat. Sei. Eng. 29 (1977), S. 195-203.

barkeit von Energie geknüpft. Dieser Zusammenhang ist so grundsätzlich und ernst, daß man Entscheidungen über die Energieversorgung nicht von emotionalen Entschlüssen abhängig machen sollte. Unserer Leichtmetallindustrie, und damit den Arbeitsplätzen in diesem Sektor, würde Energieverknappung jedenfalls ein baldiges Ende bereiten.

Die Haben-Seite der Beziehung Werkstoff/Energie sieht freundlich aus. Werkstoffe bestimmen weitgehend die Wirtschaftlichkeit der Erzeugung und des Transportes von Energie. Die Wirtschaftlichkeit hängt nämlich von den in den Anlagen zur Energieerzeugung erreichbaren Temperaturen ab, und diese wiederum vorwiegend davon, was die Werkstoffe ertragen können. Warmfeste Stähle halten höchstens 550 Grad Celsius aus, die sogenannten Superlegierungen bereits 1000 Grad Celsius. Mit neuen Keramikwerkstoffen (Siliziumnitrid) hofft man, über 1300 Grad Celsius zu kommen. Die dadurch ermöglichten Ergebnisse können ohne Einschränkung als Fortschritt bezeichnet werden: Technische Leistung kann mit immer weniger Energie erzielt werden. Neue und verbesserte Werkstoffe für Spulenkern (Transformatorbleche) verringern beträchtlich die Energieverluste. Silizium ermöglicht das Sammeln von Sonnenenergie, neue Batteriewerkstoffe deren Speicherung. Eine durch neue Werkstoffe überlegene Technik schafft und sichert wiederum Arbeitsplätze, denn sie wird auch in Zukunft weltweit gefragt sein.

Bei einer Betrachtung der Beziehung Werkstoff/Sicherheit soll das Thema Sicherheit von Anlagen zur Energieerzeugung, und zwar auch von Kernkraftwerken, nicht gemieden werden. Bei sorgfältiger Betrachtung wird bald deutlich, daß diese zu einem großen Teil auf Werkstoffprobleme zurückzuführen ist, wenn Risse im Kühlsystem oder im Druckbehälter auftreten, wenn Brennelemente überhitzt werden, wenn Konstruktionsteile unter Bestrahlung verströhen. Bei den vielen Diskussionen über die Sicherheit der Energieerzeugung wird zu wenig berücksichtigt, daß die beste Sicherheitsgarantie eine fortschrittliche und gediegene Werkstofftechnik ist. Bemühungen auf diesem Gebiet (und auf dem Gebiet der Regelungstechnik) werden uns bei der Bewältigung dieses Problems, das uns große Verantwortung für zukünftige Generationen auferlegt, weiterhelfen. Das gilt allerdings nicht nur für dieses aktuelle und leider emotionsbeladene Thema. Auch die Sicherheit von Flugzeugen, Fahrzeugen, Schiffen, Brücken und Gebäuden hat wesentlich mit der Qualität der Werkstoffe und ihrer Verarbeitung zu tun. Die Zukunft der Technik und damit auch vieler Arbeitsplätze in unserem Lande hängt davon ab, daß der Ruf der „Wertarbeit“, also sicherer und zuverlässiger Produkte, erhalten bleibt. Das wiederum setzt ideenreiche und erfolgreiche Forscher und kenntnisreiche verantwortungsbewußte Facharbeiter voraus - beide Gruppen haben gleich große Bedeutung.

Werkstoffentwicklungen werden auf zahlreichen Gebieten die Technik der Zukunft bestimmen. Auch bei der Speicherung von Informationen ist eine führende Rolle nicht ohne Eigenproduktion hervorragender „hardware“ denk-

bar, das heißt ohne solide verarbeitete Werkstoffe wie beispielsweise Speicherplatten oder Diskettenlaufwerke (Abb. 3).

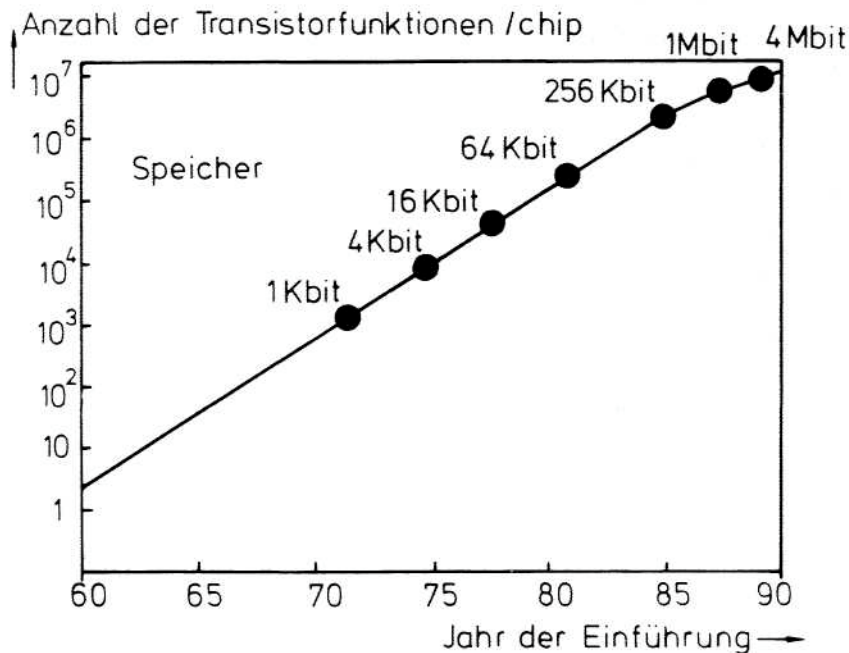


Abb. 3: Fortschritt in der Mikroelektronik
Dichte der in einem Halbleiterwerkstoff (Siliziumkristall = Chip) enthaltenen Transistorfunktionen. Jede Transistorfunktion benötigte vor 30 Jahren eine Elektronenröhre.

Werkstoffe und Arbeit

Zwischen Werkstoffen und Arbeit gibt es vielfältige Zusammenhänge, in Bergbau, Metallurgie und Maschinenbau sowie Schrottaufbereitung. An dieser Beziehung hat sich schon viel gewandelt, der noch bevorstehende Wandel ist schwer vorherzusagen. Da aber viele Schicksale davon abhängen, ist der Versuch einer entsprechenden Vorhersage eine wichtige und verantwortungsvolle Aufgabe, die allerdings exakte Fachkenntnisse voraussetzt. Grundlage für die Erörterung kann die bereits erwähnte einfache Beziehung: Kosten eines Produktes = Kosten für Werkstoff plus Fertigung sein. Die gegenwärtige Entwicklung der Technik ist noch ganz wesentlich bestimmt durch eine Konstellation, die für eine kurze Zeitspanne und lediglich in einem kleinen Teil der Welt geherrscht hat: ein Mangel an Arbeitskräften und ein Überfluß an Werkstoffen und Energie. Inzwischen ist überall eine gegenläufige Entwicklung unübersehbar. Wie sollte darauf reagiert werden? Wohl nicht mit einer neuen Technik, deren vorrangiges Ziel es ist, Arbeitsplätze einzusparen.

Ebenso falsch scheint das Bemühen, die geringere Zahl von verbleibenden Arbeitsplätzen immer teurer zu machen. Aus Abbildung 1 wird der Grund für eine derartige Fehlentwicklung deutlich. Es bestand Anlaß, arbeitskräftesparende Verfahren zur Verarbeitung relativ billiger Werkstoffe zu entwickeln. Die Werkstoffe waren im Vergleich weniger wertvoll, brauchten also nicht gespart zu werden. Sie mußten nur problemlos zu verarbeiten sein. Dies führt zurück zu den Werkstoffen.

1. Die Zukunft liegt weniger auf dem Gebiet der Herstellung konventioneller Massenwerkstoffe. Zwar sollten sie noch, vorwiegend für den heimischen Markt und in guter Qualität, hergestellt werden. Zukunftsträchtiger sind jedoch Spezialitäten, deren überlegene technische Funktion und deren geringes Gewicht einen erhöhten Preis rechtfertigen. Es ist sicherlich mühevoll, derartige Werkstoffe zu entwickeln, herzustellen und zu verarbeiten. Aber das würde eine Vielzahl von hochqualifizierten Arbeitsplätzen in Forschung und Produktion schaffen, die natürlich bezahlbar sein müßten.⁸

2. Eine Konsequenz aus guter Forschung und günstiger Marktlage könnte die Entwicklung sogenannter „Massenspezialitäten“ sein. Das sind Werkstoffe und Werkstoff Systeme, die nicht jeder herstellen kann und die trotzdem in großen Mengen abgenommen werden, so zum Beispiel einige Produkte der Aluminiumindustrie für das Bauwesen.

3. Wenn eine automatisierte Produktion des Werkstoffs und dessen anschließende Verarbeitung überlegene Qualität zur Folge hat, soll und kann diese Entwicklung auf Dauer nicht behindert werden. Immerhin werden auch bei dieser Art von Produktion stets noch viele hochqualifizierte Arbeitskräfte zur Wartung und Reparatur der Anlagen und für die Qualitätskontrolle benötigt. Die Notwendigkeit eines störungsfreien Ablaufs derartiger Anlagen stellt hohe Anforderungen an die dort verarbeiteten Werkstoffe. Zukünftig ist zusätzlich zu der Verarbeitbarkeit eine gleichbleibende hohe Qualität der erzeugten Produkte anzustreben. Erörterungen über verkürzte Arbeitszeit haben am ehesten in diesem Bereich einen Sinn.

4. Gewisse Anzeichen deuten darauf hin, daß sich wieder ein zunehmender Bedarf an individuell gefertigten Gütern entwickelt. Nach einer Übersättigung mit Waren aus der Massenproduktion könnte sich ein Sinneswandel anbahnen, der zu einer Belebung von Handwerk und Kleinindustrie führen könnte. In diesem Bereich können die Werkstoffe, die mit handwerklicher Sorgfalt individuell verarbeitet werden, wertvoller sein und sich so von den für die automatisierte Massenproduktion entwickelten unterscheiden.

5. Im Spannungsfeld von Arbeit und Werkstoff ist auch die Einführung neuer Verbundwerkstoffe zu sehen. Aus ihnen werden heute viele Sportgeräte (etwa Surfbretter, Hochsprungstäbe), aber auch schon größere Flugzeugteile (beispielsweise Leitwerke des Airbus) hergestellt. Diese Werkstoffe sind zwar

⁸ E. Hornbogen: Deutsche Metallforschung im internationalen Rahmen, Metall 38 (1984), S. 395-398.

neu, die Fertigungsmethoden bleiben aber vorwiegend noch handwerklich. Das ist für eine größere Anwendungsbreite wiederum hinderlich. Auch hier sind deshalb auf längere Sicht und bei vernünftiger Fortentwicklung neue Märkte und Arbeitsplätze absehbar.

6. Nicht nur in der Kleintechnik, sondern auch in der Großtechnik ist die Kombination aus einfallsreichen Ingenieuren und qualifizierten Facharbeitern ein Vorteil der deutschen Industrie, der nicht leichtfertig aufgegeben werden sollte. Bei der Produktion schlüsselfertiger, maßgeschneiderter Industrieanlagen haben beide Gruppen gleich großen Anteil am guten Ruf deutscher Produkte. Außerdem sind werkstofftechnische Aspekte bei der Fertigung entscheidend für hohe Zuverlässigkeit. Ein Grund dafür ist der überlegene Standard der Schweißtechnik, ein anderer die Sachkunde der Monteure, die diese Anlagen aufbauen und einfahren. Es müssen durchaus nicht immer und überall letzte „Hightech“-Entwicklungen sein, die in Zukunft unsere Existenz sichern. In manchen Fällen genügt es, traditionell gute technische Qualitäten nicht verkommen zu lassen, um in der Zukunft eine angemessene Existenzgrundlage zu behalten.

Zusammenfassung

1. Werkstoffe bilden neben Nahrung und Energie eines der elementaren materiellen menschlichen Grundbedürfnisse.
2. Werkstoffe liefern oft den Schlüssel für neue technische Entwicklungen.
3. Moderne Technik benötigt für einen bestimmten Nutzen immer geringere Mengen Werkstoff. Dies hilft, Rohstoffe zu sparen.
4. Zur Produktion von Werkstoffen wird häufig viel Energie benötigt. Verbesserte Werkstoffe ermöglichen andererseits hohe Energieeinsparungen.
5. Die Qualität von Werkstoffen und deren Verarbeitung bestimmen Sicherheit und Zuverlässigkeit technischer Produkte.
6. Die Kosten für Werkstoffe sind in den vergangenen Jahrzehnten sehr viel weniger gestiegen als die für die Arbeit.
7. Die Verbesserung, die Produktion, die Verarbeitung von Werkstoffen erfordern zunehmend hochqualifizierte Mitarbeiter.
8. Originalität und Qualität von Werkstoffen und deren Verarbeitung in der Fertigung bestimmen entscheidend die Zukunft der Industrienationen und damit nicht nur alle industriellen Arbeitsplätze, sondern auch die inzwischen noch größere Zahl jener Arbeitsplätze, die indirekt davon abhängen.

Entscheidungen, die diese Zukunftsaspekte betreffen, sollten mit Sachkenntnis und Verantwortlichkeit, unabhängig von Wahlterminen und nicht nach kurzfristigen Emotionen getroffen werden. Den sich ergebenden Widersprüchen sollte nicht ausgewichen werden. Der abnehmende Werkstoffverbrauch modernster Technik begünstigt nicht die traditionelle Grundstoffindustrie. Hohe Arbeitskosten fördern die Entwicklung automatisierter Fertigungsmethoden. Zu niedrige Werkstoffkosten fördern die „Wegwerfgesell-

schaft“. Diese Gesichtspunkte, die unabhängig von der Gesellschaftsordnung zutreffen, müssen rechtzeitig erkannt und analysiert werden.

Wer aus mangelnder Fachkenntnis, Bequemlichkeit und einseitigem Wunschdenken diese Entwicklung nicht verfolgt, könnte Überraschungen erleben. Andererseits besteht durchaus die Möglichkeit, so überlegt und frühzeitig auf technische Entwicklungen zu reagieren, daß diese dem allgemeinen Wohl dienen und die Wirtschaftskraft erhalten. Dann können hoffentlich selbst Gewerkschafter, Soziologen, Juristen und Pfarrer wieder aus eigener Überzeugung und mit gutem Gewissen vom technischen Fortschritt sprechen.