

1

Einleitung

Es hat sich allgemein durchgesetzt, von „Werkstoffwissenschaft“ zu sprechen, wenn es um ein Wissensgebiet geht, das ein in den Einzelheiten bei weitem nicht vollständiges, doch aber in den wesentlichen Zügen umrissenes und wissenschaftlich begründetes Bild von den Werkstoffeigenschaften und deren Ursachen sowie den Möglichkeiten, diese beeinflussen und verändern zu können, gibt.

Bis vor etwa fünf Jahrzehnten bestand kaum Anlass, die an Spannweite äquivalente Bezeichnung „Werkstoffkunde“ durch eine andere zu ersetzen. Mit ihr waren damals vorwiegend empirisch ermittelte Fakten gemeint, die, soweit möglich, mit Erkenntnissen der Naturwissenschaften in Verbindung gebracht wurden, jedoch zum größeren Teil nicht oder nur locker – und das auch häufig lediglich über Plausibilitätserklärungen – in ihrem inneren Zusammenhang dargestellt werden konnten. Seitdem hat – nicht zuletzt aus ökonomischen Beweggründen – die Werkstoffforschung einen nie gekannten Aufschwung genommen und mit der Vielfalt der Werkstoffe auch das Wissen über die Werkstoffe eine starke Bereicherung und Vertiefung erfahren. Bei weitgehender Einbeziehung von Ergebnissen der Festkörperphysik und -chemie hat sich eine weiter im Zunehmen begriffene Kohärenz zwischen Wissensteilen, die das Verhalten der einzelnen Werkstoffe verständlich machen, herausgebildet. Viele ehemals zusammenhangslos scheinende Einzelbeobachtungen fügten sich zu systematisierbaren größeren verbindenden Zusammenhängen, mit denen gleichzeitig der Abbau herkömmlicher und die verschiedenen Werkstoffarten trennender Schranken begann.

Es ist nicht nur eine Frage der Zweckmäßigkeit, diesem Tatbestand mit einer aussagefähigeren Benennung des Wissensgebietes zu entsprechen, die seinen vor allem qualitativen Veränderungen gerecht wird und in einer Zeit der Entstehung ständig neuer Termini geeignet ist, der Gefahr des Missverständnisses, der Mehrdeutigkeit und der Einführung bedeutungsunlogischer Begriffe entgegenzuwirken. Die Vergangenheit lehrt, dass die Wahl einer treffenden Bezeichnung nicht allein der Verständigung dient, sondern auch die Formung, Entwicklung und Verselbständigung des sich hinter ihr verbergenden Sachverhaltes fördern kann.

Die Herausbildung umfassender Wissenszusammenhänge ist eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Voraussetzung, um von einem eigenständigen Wissensgebiet sprechen zu dürfen. Dessen bedarf es eines weiteren: einer einenden und zugleich ordnenden Betrachtungsweise, von der geleitet der Inhalt des Gebietes in etwa bemessen werden

kann. Danach lässt sich die große Mannigfaltigkeit der Werkstoffe und ihrer Eigenschaften ursächlich auf das Zusammenwirken relativ weniger Eigenheiten zurückführen. Das sind (um beim Makroskopischen zu beginnen) der Gefügebau und -zustand, das Ausmaß und die Art der Abweichungen (Defekte) von einer im Raum regelmäßigen Anordnung der Bausteine innerhalb der Gefügebestandteile (Realstruktur) sowie die Bedingungen, unter denen sie sich einstellen, und die Natur der Bausteine des Stoffes sowie die Beschaffenheit der zwischen ihnen bestehenden Wechselwirkungen. Daraus folgt, dass sich im Grundsätzlichen alle Werkstoffe zwischen zwei extreme Vertreter, die realen Einkristalle und die realen amorphen Körper, einordnen lassen, wenn man davon ausgeht, dass in dieser Richtung die Defektdichte zunimmt und im Falle mehrphasiger Stoffe ein „Verbund“ von Kristalliten, die hinsichtlich Struktur und/oder chemischer Zusammensetzung verschieden sind, oder auch ein „Verbund“ kristalliner und amorpher Phasen vorliegt.

Es erscheint notwendig, darauf hinzuweisen, dass eine derartige Betrachtungsweise auch zur Konsequenz hat, dass es nur *eine* Werkstoffwissenschaft gibt, und im Plural zu sprechen hieße, die Notwendigkeit einer Vervollkommnung der Integration auf diesem Wissensgebiet zu verkennen oder gar die weitere inhaltliche Verflechtung zu hemmen. Aber allein sie bietet die Gewähr, dass bei der schon großen und mit der Zeit wachsenden Zahl der metallischen, der anorganisch-nichtmetallischen und der organischen Werkstoffe unterschiedlichster Zustände noch sachlich fundierte, dauerhafte und ökonomisch vorteilhafte Lösungen der Werkstoffsubstitution und des differenzierter werdenden Werkstoffeinsatzes gefunden werden können.

Die Entwicklung der Werkstoffwissenschaft zeigt eine zunehmende Tendenz, das Werkstoffeigenschaftsbild über die Ausbildung von bisher (auf das jeweilige Material bezogen) ungewohnten Zuständen mehr oder weniger einschneidend zu verändern. Die Inhalte der ehemals durch menschliche Erfahrung geprägten Begriffe, die in der Vorstellung auch mit bestimmten sich dahinter verbergenden Zuständen verknüpft sind, wie z. B. Metallkristallin oder Glasamorph, erweitern sich ständig. Es werden, um bei den genannten Beispielen zu bleiben, unterdessen amorphe Metalle und kristalline (keramische) Gläser industriell produziert. Aber auch Legierungen, die dem (Gleichgewichts-)Zustandsdiagramm zufolge nicht existent sind, lassen sich beispielsweise über mechanisches Legieren, Ionenimplantation oder physikalische Beschichtungsmethoden nun erzeugen. Oder mithilfe verschiedenartigster Technologien ist es möglich, metallische und nichtmetallische kristalline Materialien zu gewinnen, deren Kristallitgröße über sieben bis neun Größenordnungen reicht, angefangen von makroskopischen Einkristallen mit einer Ausdehnung von $10^0 \dots 10^{-1}$ m bis herunter zu nanostrukturierten Werkstoffen mit Kristallitgrößen von $10^{-8} \dots 10^{-9}$ m, die auch bei gleich bleibender Zusammensetzung allein über die Variation der Korngröße gravierende Eigenschaftsänderungen erfahren.

Voraussetzung für solche Entwicklungen sind immer Technologien, die es gestatten, extreme Parameter (wie höchste Abkühlgeschwindigkeit) sowie geeignete Wirkmechanismen (z. B. gesteuerte Kristallisation) zur Geltung zu bringen. Dabei ist die Zahl entsprechender Wirkmechanismen offensichtlich relativ gering, aber ausreichend, um ein breites Band thermodynamisch metastabiler Zustände herstellen zu können und damit die herkömmliche Anschauung, dass Zustände und die diesen zugehöriges Verhalten ein für alle Mal Eigenschaften des Materials (gemäß seiner chemischen Zusammensetzung)

seien, zu verdrängen. Die Nutzung einer verhältnismäßig eng begrenzten Zahl von Wirkmechanismen einerseits und die bei Verfügbarkeit geeigneter Technologien zunehmende Zahl der im Einzelfall einstellbaren Werkstoffzustände andererseits, sind gleichbedeutend mit einer Erhöhung des Verflechtungs- wie auch Verallgemeinerungsgrades der elementaren Vorgänge und ihres Verständnisses. Dies wiederum gestattet in einer mehr gezielten und stärker vorausschauend gelenkten Werkstoffforschung in größerem Umfang stoffliche Träger nichtkonservativer Eigenschaften und Verhaltensweisen zu entwickeln. Der künftige Fortschritt auf dem Werkstoffsektor dürfte weniger durch grundsätzlich andere chemische Zusammensetzungen als vielmehr durch die Erzeugung von Zuständen, die von den gegebenen Materialien bisher nicht bekannt waren, gekennzeichnet sein.

Die Werkstoffwissenschaft ist (wie alle technischen Wissenschaften) eine ausgesprochen integrative Disziplin, die elementare Erkenntnisse der unterschiedlichen Bereiche wie der Kristallographie, der Mineralogie, der Metallphysik, der physikalischen, Elektro-, Polymer- und Silicat-Chemie, der Thermodynamik oder der Mechanik aufgreift, um sie unter dem Gesichtspunkt einer letztlich technischen Umsetzbarkeit zu überprüfen und zu adaptieren sowie weiterzuentwickeln, wobei sie zu eigener Gesetzeserkenntnis gelangt und neues, vor allem für die Praxis relevantes Wissen hervorbringt. Das schließt ein, dass anders als in den vergangenen Jahrzehnten, in denen die wissenschaftliche Entwicklung der technischen meist nachstand, die Werkstoffwissenschaft immer bewusster den Stand der Werkstofftechnik beeinflusst und mitbestimmt, indem sie über eine eigenständige Grundlagenforschung den Wissensvorlauf erbringt, der notwendig ist, um Konstruktions- und Funktionswerkstoffe sowie Technologien ihrer Herstellung, Ver- und Bearbeitung bedürfnisgerecht verbessern bzw. neu schaffen zu können.

Für die Stellung der Werkstoffwissenschaft ist es von grundsätzlicher Bedeutung, dass ihr Objekt, der Werkstoff, von ausgeprägt komplexer Natur sowie mit vielen „Schmutzeffekten“ behaftet ist und ein für einen bestimmten technischen Verwendungszweck gedachtes Erzeugnis darstellt, dessen Bereitstellung immer nur mit so viel Aufwand betrieben wird, wie nötig ist, um die bei seinem Einsatz geforderten Eigenschaften gerade zu erbringen. Das verlangt, stets das ganze technische Erscheinungsbild im Auge zu behalten und sich einer eigenen Methodologie zu bedienen, die auch bei wachsender Bedeutung der Theorie der empirischen Forschung weiterhin einen wichtigen und geachteten Platz einräumt. Es gehört zu den vorrangigen Bemühungen der Werkstoffwissenschaft, das Erfahrungswissen mit dem zunehmenden Theorieanteil zu durchdringen und die theoretische Aussage im Hinblick auf den konkreten Fall in ihrer Zuverlässigkeit zu verbessern. Doch liegt darin nicht ihr Ziel, sondern im Angebot von praktisch realisierbaren und gesellschaftlich geforderten Lösungen. Die zentrale Funktion der Werkstoffwissenschaft ist – und damit reiht sie sich unter die technischen Grundlagenwissenschaften ein –, den Kreis zwischen fundamentalen Entdeckungen und ihrer Nutzbarkeit in der materiellen Produktion zu schließen.

