

Zeitschrift Kunststofftechnik

Journal of Plastics Technology

archivierte, peer-rezensierte Internetzeitschrift des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Kunststofftechnik (WAK)
archival, peer-reviewed online Journal of the Scientific Alliance of Polymer Technology
www.kunststofftech.com; www.plasticseng.com

eingereicht/handed in: 25.03.2013
angenommen/accepted: 21.04.2013

Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmachtenberg
Rektor, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Ingenieurwesen und Technikwissenschaften

Der Beitrag befasst sich mit den Arbeitsgebieten von Ingenieurwesen und Technikwissenschaften in Deutschland. Dabei ist das Ziel, die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede in den Berufsbildern des Technikwissenschaftlers¹⁾ und des Ingenieurs¹⁾ herauszuarbeiten. Dazu werden zunächst die Aufgaben der Technikwissenschaften aufgeführt und die technikwissenschaftlichen Institutionen in Deutschland beschrieben. In einem weiteren Kapitel wird der Berufsstand der Ingenieure, also das Ingenieurwesen selbst dargestellt. In einem abschließenden Kapitel werden aus diesen Betrachtungen Schlussfolgerungen für die Ausbildung von Ingenieuren und Technikwissenschaftlern gezogen.

¹⁾Im Beitrag wird die männliche Form der Berufsbezeichnung als Gattungsbegriff genutzt und umfasst stets beide Geschlechter (etwa: Ingenieur meint Ingenieurinnen und Ingenieure).

Engineering and Technical Sciences

This paper deals with the professional fields of engineering and technology sciences in Germany. It highlights the differences between the professions of an engineer and a technology scientist. First, we describe the tasks of technology science. In a second chapter, the occupational profile of engineering professionals, and engineering itself is regarded. The final chapter summarizes some conclusions from the previous remarks for the education of engineers and technology scientists.

Ingenieurwesen und Technikwissenschaften

E. Schmachtenberg

1 VORWORT

Dieser Beitrag versucht eine Verortung der Bereiche des Ingenieurwesens und der Technikwissenschaften. Das Bedürfnis, eine solche Verortung der Begriffe vorzunehmen, entstand durch die vielen kontroversen Diskussionen, denen ich als Ingenieur, Technikwissenschaftler und Rektor einer der führenden deutschen Universitäten der Technikwissenschaft, der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen immer wieder begegne.

Als Beispiel hierzu sei auf die ganz neue Publikation „Technikwissenschaften: Erkennen – Gestalten – Verantworten“ der Akademie der Technikwissenschaften verwiesen [9], an deren Entstehen ich durch ein Review mitwirken durfte. Diese sehr interessante und sehr lesenswerte Publikation hätte in ihrer Aussagekraft nach meiner Einschätzung noch wesentlich gestärkt werden können, wenn eine stärkere Unterscheidung zwischen den Tätigkeiten des Forschens und Entwickelns erfolgt wäre. Ja, ich möchte noch einen Schritt weiter gehen und behaupten, dass eine klarere Unterscheidung der Qualifikationsprofile zwischen dem in wissenschaftlichen Bezügen Tätigen (ich nenne ihn hier den Technikwissenschaftler) und dem in der Anwendung und Entwicklung von Technik Tätigen (ich nenne ihn hier Ingenieur) zu einer wesentlichen Erhöhung der Qualität bei der Auswahl geeigneter Mitarbeiter, bei der Qualifizierung von Studierenden und bei der Erfüllung von Aufgaben in der Technik führt.

Dabei wurde mir bei verschiedenen Erörterungen dieses Themas bewusst, dass auch sehr wohl große Unterschiede im Verständnis bestimmter Fachbegriffe vorliegen. Die Verwirrung über die Begrifflichkeiten in den Köpfen schadet der Sache und ist vermutlich Ursache für viele Missverständnisse, daraus erwachsende Fehlentscheidungen und damit verbundene hohe volks- und betriebswirtschaftliche Verluste. Ich bin daher überzeugt, dass es sich lohnt, darüber einmal nachzudenken. Deshalb werde ich in diesem Beitrag auch immer wieder versuchen, die wesentlichen Begriffe zu definieren.

Zunächst beginnen möchte ich mit dem Begriff „Technikwissenschaften“. Er taucht im deutschsprachigen Raum in den letzten Jahren vermehrt auf und wird dabei als Synonym für „Ingenieurwissenschaften“ genutzt. Acatech, die deutsche Technikakademie, benutzt ihn nach meiner Beobachtung heute durchgängig für alles das, was wir an den Hochschulen gerne als Ingenieurwissenschaften bezeichnen. Ich gebe im ersten Hauptkapitel dieses Beitrages eine umfassende Beschreibung dessen, was ich heute als die Technikwissenschaften sehe.

Dann sehe ich einen großen Arbeitsbereich in Wirtschaft und Verwaltung, der Technik entwickelt, betreibt, rückbaut und verantwortet. Ich widme ein zweites Hauptkapitel dieser Publikation diesem Bereich und nenne diesen, abgrenzend von dem ersteren, „Ingenieurwesen“.

Diese Wortwahl ist nicht ganz unproblematisch, findet man doch in populärwissenschaftlichen Erläuterungen gerne eine Gleichsetzung von Ingenieurwesen und Ingenieurwissenschaften. Ich möchte es dahin interpretieren: Dem Ingenieurwesen gehören alle die wissenschaftlich ausgebildeten Ingenieure an, die im oben genannten Sinn Technik entwickeln, anwenden, rückbauen und zulassen. Dagegen zähle ich zu den Technikwissenschaften die wissenschaftlich tätigen Ingenieure und auch weitere Wissenschaftler, die sich mit der Forschung, Lehre und Dokumentation des Standes der Technik befassen.

Warum diese Abgrenzung? Es ist nicht das Ziel, mit neuen Abgrenzungen etwas wichtig oder weniger wichtig zu machen. Vielmehr sehe ich in der Arbeitswelt einen ständig fortschreitenden Prozess der Ausdifferenzierung. Dieser ist notwendig, um der fortschreitenden Arbeitsteilung der „Wissensgesellschaft“ im 21. Jahrhundert gerecht werden zu können. Spezialisierung und Konzentration auf die jeweiligen Kernkompetenzen bei gleichzeitiger Erhöhung der Vernetzungsgrade zwischen den Disziplinen ist die adäquate Antwort auf die notwendige Steigerung der Leistungsfähigkeit im Bereich der Technik.

Und ich hoffe aufzeigen zu können, dass das Qualifikationsprofil eines Technikwissenschaftlers durchaus sehr verschieden ist von dem eines Ingenieurs. Wenn dem so ist, folgen hieraus Weiterungen für die Ausbildung, wie auch für den Qualifikationsrahmen einzelner Tätigkeiten. Dies werde ich versuchen in einem abschließenden Kapitel zumindest in seiner Tragweite zu skizzieren.

Um diese Frage in ihrer Bedeutung für ein Wirtschaftsunternehmen aufzuzeigen, nehme ich als einfaches Beispiel die Bilanzposition: Ausgaben für F&E (Forschung und Entwicklung). Ist uns der Unterschied zwischen Forschung und Entwicklung bewusst? Im Laufe des Beitrages werde ich diese Begriffe aufgreifen, da sie wesentliche Tätigkeitsbeschreibungen des Technikwissenschaftlers einerseits und des Ingenieurs andererseits beschreiben.

Wieso tauchen die Kosten für Forschung oder Entwicklung nicht als Investitionen mit ihren Abschreibungen in den Bilanzen auf? Würden Sie als Vorstand lieber in Entwicklung als in Forschung investieren? Kann man überhaupt in Forschung investieren?

Als allgemein bewiesen darf vorausgesetzt werden, dass die Profitabilität eines Unternehmens wie auch die Prosperität einer Volkswirtschaft direkt mit der Fähigkeit korreliert, zu innovieren. Dabei definiere ich den Begriff der Innovation bezogen auf ein Erzeugnis dahingehend, dass nur dann neue Erzeugnisse eine Innovation darstellen, wenn sie sich im Markt durchgesetzt haben und das erzeugende Unternehmen hiermit Gewinne erwirtschaftet, und bezogen auf eine gesellschaftliche Innovation, dass nur dann eine gesellschaftliche Veränderung innovativ ist, wenn ihr gesamtgesellschaftlicher Nutzen erkennbar ist.

Die Entwicklung der neuzeitlichen Technik liefert den Nährboden für viele industrielle wie gesellschaftliche Innovationen. Mobilität, Kommunikation, sichere Versorgung mit Lebensmitteln, Energie und Lebensraum für alle Menschen dieses Planeten, Schutz vor Unwetter und Naturkatastrophen, hohe Lebenserwartung und Gesundheit bis ins hohe Lebensalter sind durch die Entwicklung der modernen Technik möglich geworden. Technologische Führerschaft und gesellschaftliche Veränderungsbereitschaft sind die Grundlagen für Prosperität und letztendlich auch globalen politischen Einfluss.

Dennoch hat die technische Entwicklung auch immer zwei Seiten: Der Verbrauch an Ressourcen, die Veränderung der Umwelt, die Emission von Treibhausgasen, die Folgen von Unfällen bei technischen Systemen, die verheerende Wirkung moderner Waffen sind nur wenige Beispiele der Kehrseite von Technik.

Also drängt sich die Frage auf: Wer entwickelt eigentlich Technik und wie entwickelt sich Technik? Wer entscheidet über ihren Einsatz, wer verhindert ihren Missbrauch? Handelt hier die Wissenschaft, oder handeln die innovierenden Akteure in Wirtschaft und Gesellschaft?

Technik gibt es schon, seit die Menschen begannen, ihre Umwelt zu gestalten. Oftmals wird die Herstellung technischer Artefakte geradezu als konsequent für die Gattung Mensch erachtet. Waffen, Werkzeuge, Bauten und Siedlungen aus grauer Vorzeit bezeugen dies umfangreich. Technik entwickelte sich aus der Erfahrung mit dem Gebauten, das Wissen tradierte sich in Europa in den Berufen und ihren Ständen. Technik wurde gelehrt und weitergegeben im Meister-Schüler-Verhältnis. Schon immer waren das Wirkprinzip und der Nutzen die herausragenden Wesensmerkmale von Technik. Aber die Methoden zur Entwicklung von Technik änderten sich im Laufe der Geschichte der Menschheit von der erfahrungsgesteuerten Entwicklung von Technik hin zu einer erkenntnisgetriebenen Entwicklung der Technik. Dabei lieferten vor allem die Naturwissenschaften wesentliche Beiträge zum Verständnis der in der Technik genutzten Wirkprinzipien, zu ihrer Weiterentwicklung oder zur Begründung neuer technischer Wirkprinzipien.

Insoweit fand im Bereich der Technik wohl eine ähnliche Entwicklung statt, wie sie auch in der Medizin zu beobachten war. Das Verstehen der naturwissenschaftlichen Grundlagen lieferte eine wesentliche Schlüsselkompetenz. Das Berufsbild des Heilers zum Arzt durchlief eine ähnliche Wandlung wie das des Technikers und Handwerkers zum Ingenieur: Es bildeten sich wissenschaftlich-methodisch fundierte Berufsbilder heraus. Zugleich entstanden die entsprechenden Wissenschaftsbereiche: Die Medizin und die Technikwissenschaften.

Auch wenn heute Ärzte und Ingenieure nach wissenschaftlichen Standards ausgebildet werden, so bleibt doch ihr Beruf auch geprägt durch die Erfahrung und Intuition und handwerkliches Können. Ein Arzt oder ein Ingenieur ist auch nicht notwendigerweise Wissenschaftler. Zu differenziert ist das Anforderungsprofil der Berufe. Ein begnadeter Herzchirurg oder weitsichtiger Flughafenpla-

ner unterscheidet sich in seinen beruflichen Kompetenzen doch recht erheblich von einem Genforscher oder Werkstoffwissenschaftler.

Diese Beispiele machen deutlich, warum es wesentlich ist, zwischen dem Berufsbild des Ingenieurs und dem des Technikwissenschaftlers zu unterscheiden, so wie wir auch ganz selbstverständlich zwischen dem Arzt und dem Medizinwissenschaftler unterscheiden.

Hier liegt dann auch einer meiner zentralen Widersprüche zu der oben erwähnten Publikation von Akatech, in der diese Unterscheidung nicht getroffen wird und in der der Technikwissenschaftler sozusagen als Synonym des Ingenieurs verstanden wird. Und ich will hier noch einmal ganz deutlich klarstellen: Ein begnadeter Ingenieur kann zugleich auch ein begnadeter Technikwissenschaftler sein, keine Frage! Aber in der Regel gilt: Nicht jeder Technikwissenschaftler ist ein brauchbarer Ingenieur und nicht jeder Ingenieur hat die Befähigung zum wissenschaftlichen Arbeiten, etwa in Forschung und Lehre!

Um die Nützlichkeit dieser Unterscheidung besser herausarbeiten zu können, sei zunächst das Feld der Technikwissenschaften beschrieben.

2 TECHNIKWISSENSCHAFTEN

Die Technikwissenschaften sind heute ein essenzieller Teil des Wissenschaftssystems. Sie haben die Aufgabe, die Technik in ihrer Gesamtheit zu beschreiben und zu dokumentieren, sie zugänglich zu machen und fortzuentwickeln. Wie in anderen Wissenschaftsfeldern auch umfasst die Technikwissenschaft drei wesentliche Handlungsfelder:

1. Durch das Erfassen, Bewerten und Archivieren von Technik repräsentiert sie den Stand des anerkannten Wissens über Technik (eben den "Stand der Technik")
2. Durch das Bereitstellen des Standes der Technik in wissenschaftlichen Fachzeitschriften, das Normen- und Patentwesen und die Lehrbuchsammlungen informiert sie in möglichst umfassender und objektiver Weise über den Stand der Technik. In ihren Lehreinrichtungen bildet sie auf der Grundlage dieses Wissens in den entsprechenden Berufsfeldern aus.
3. In ihren Forschungseinrichtungen erforscht sie die wesentlichen Grundlagen, Wirkprinzipien, Regelwerke und Folgewirkungen für die Entwicklung und Anwendung von insbesondere neuer Technik.

2.1 Felder der Technikwissenschaften

Letztendlich können alle Aspekte von Technik Gegenstand von Technikwissenschaften sein. Dabei spannt sich die Thematik von der Erklärung technischer Wirkzusammenhänge über die Dokumentation ihrer Ausführungsformen, den dazu entwickelten Regeln, Normen und dem zugehörigen Patentwesen bis hin zu der Wechselwirkung von Technik und Mensch sowie Gesellschaft und Umwelt.

Schon mit dieser Aufzählung wird klar, dass die Technikwissenschaften eben nicht etwa die angewandten Naturwissenschaften sind, sondern ein eigener Wissenschaftsbereich. Die Entwicklung von Technik folgt nicht dem theoretisch Machbaren, sondern dem in der Anwendung Nützlichen. Natürlich steht auch in der Technikwissenschaft wie in jeder anderen Wissenschaft die Erkenntnis im Mittelpunkt. Dabei sammelt und bewertet sie vor allem solche Erkenntnisse, die der Realisierung und dem Verstehen von Technik dienen.

Der Blick in die Historie zeigt: Die gotischen Kathedralen wurden vor der mathematischen Formulierung der Mechanik gebaut, die Dampfmaschine funktionierte schon vor der Entdeckung der Hauptsätze der Thermodynamik, die ersten Flugzeuge flogen vor der Etablierung der Aerodynamik. Aber mit der naturwissenschaftlichen Fundierung konnten Bauwerke standsicherer und aufwandsreduziert gebaut werden, Maschinen erreichten höhere Wirkungsgrade, Flugzeuge haben heute hohe Sicherheitsstandards sowie stabile Flugeigenschaften und das Perpetuum Mobile konnte durch die Thermodynamik als Irrglaube entlarvt werden.

Ein besonderes Augenmerk der Technikwissenschaften liegt auf der Methodik zur Beherrschung von Technik, auch und gerade dann, wenn ihre Wirkprinzipien nicht vollständig verstanden oder die Einsatzbedingungen nicht vollständig absehbar sind. So muss Technik etwa stets so geschaffen sein, dass auch bei unvorhergesehenen Einsatzbedingungen das Schadenspotential vertretbar klein bleibt (aktuelles Beispiel: die Nutzung von Kernenergie zur Stromerzeugung).

Gute Beispiele zum sicheren Einsatz von Technik bei nur unvollständigem Verständnis der zugrundeliegenden Wirkprinzipien leiten sich etwa aus dem Bereich der Alterung von Werkstoffen ab: Wir bauen Technik, etwa im Bereich Küstenschutz, Reststoffdeponien oder Straßenwesen, die hohen Lebensdauerverwartungen unterliegen, oft um ein Vielfaches länger als der Erfahrungszeitraum mit den neuen Werkstoffen, die hier zum Einsatz kommen. Also besteht keine Möglichkeit, auf Erfahrungswerten aufbauend eine unmittelbare Vorhersage zum Alterungsverhalten zu treffen. Methoden der Werkstoffforschung, etwa zur zeitraffenden Prüfung der Alterung müssen aushelfen. Doch auch so ist das Problem noch nicht gelöst: Wie kommt man zu der richtigen Einschätzung denkbarer Einwirkungen? Neben der gezielten Analyse, dem Wissen und der Erfahrung der Technikwissenschaften helfen Normen und gesetzlich verankerte Vorschriften, die wiederum im Rahmen der Technikforschung in ihrer Zweckmäßigkeit fortgeschrieben werden.

Eine Gliederung der Technikwissenschaften kann an ihrer historischen Entwicklung erfolgen. Dabei gibt es keine klaren Abgrenzungen, vielmehr entwickelten sich immer wieder neue Technikfelder aus den bereits bestehenden. Heute unterscheiden wir in den Technikwissenschaften insbesondere zwischen

- Bauingenieurwesen
- Maschinenwesen (einschließlich der Werkstoff- und Verfahrenstechnik)
- Elektrotechnik (mit der Energietechnik und der Nachrichtentechnik)
- Informationstechnik

Weitere Technikfelder finden sich etwa in der Biotechnik, der Geotechnik, der Medizintechnik und der Umwelttechnik, die aber zumeist in die oberen Hauptgruppen als übergreifende Teilfelder eingeschoben sind. Letztendlich ist die Einteilung der Technik in ihre Felder keine dauerhafte Ordnung, sondern jede Zeit ordnet das Feld der Technikwissenschaften in Abhängigkeit der jeweiligen gesellschaftlichen oder wirtschaftlichen Relevanz neu [8].

Eine Abbildung der denkbaren Ordnung von Technikwissenschaften in Technikfelder und Disziplinen findet sich etwa in den Gliederungen von Fakultäten und Lehrstühlen in den Universitäten. Die Unterscheidung zwischen den unterschiedlichen Disziplinen ist erforderlich, um den sicheren Umgang mit Technik zu bewerkstelligen. Das Fachwissen der Technikwissenschaften ist heute so umfangreich, dass es nur durch den entsprechend ausgebildeten Spezialisten beherrschbar ist. So kommt es bereits innerhalb eines Technikfeldes wie dem Maschinenbau zu einer so großen Spezialisierung, dass sich unterschiedliche Berufsbilder ausprägen (z.B. Produktionstechnik, Schweißtechnik, Konstruktionslehre, Kunststofftechnik usw.)

2.2 Institutionen der Technikwissenschaften

Entsprechend der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedeutung der Technikwissenschaften hat sich eine breite Landschaft von technikwissenschaftlichen Einrichtungen herausgebildet. Dieser Beitrag versucht, die Situation in Deutschland zu beschreiben. Entsprechend den oben genannten Tätigkeitsfeldern der Technikwissenschaften gibt es ein breites Spektrum von Einrichtungen. Beginnend bei den Fraunhofer-Instituten und ähnlichen Einrichtungen, die sich vor allem der Erforschung von Technik widmen, über die Universitäten, die Fachhochschulen und dualen Hochschulen/Berufskollegs, die sich in dieser Reihenfolge mit zunehmender Intensität der Ausbildung der Ingenieure und mit abnehmender Intensität der Technikforschung widmen bis hin zu solchen Einrichtungen wie Technikakademien, Technikmuseen, Patentämtern, Prüfanstalten und Normeninstitutionen, die sich insbesondere der Dokumentation des Standes der Technik widmen.

2.2.1 Forschungseinrichtungen der Technikwissenschaften

Zunächst soll hier zwischen industriellen und öffentlichen Forschungseinrichtungen unterschieden werden.

Sicherlich gibt es zahlreiche industrielle Forschungseinrichtungen mit technikwissenschaftlicher Ausrichtung und sicherlich spielen auch weiterhin die industriellen Forschungseinrichtungen der Technikwissenschaften eine wesentliche Rolle. Aber für bedeutende technikwissenschaftliche Forschungseinrichtungen der Industrie lässt sich ein klarer Trend beobachten: die Bell Laboratories, das Krupp-Forschungszentrum, das Phillips-Forschungslabor, die anwendungstechnischen Forschungseinrichtungen der Chemischen Industrie oder das IBM-Forschungslabor, für alle diese Einrichtungen kann man vereinfachend konstatieren, dass sie in den letzten 30 Jahren radikal rückgebaut wurden. Die Industrie konzentriert sich allenfalls auf die Bewertung der Forschungsergebnisse und auf die Anwendung von Technik, zu ihrer Erforschung fehlt der lange Atem und es drückt die Rentabilität. Es siegte der Return on Invest. Forschung ist stets ergebnisoffen. Ob die hierbei erzielten Ergebnisse tatsächlich Eingang in neue, ertragreiche Produkte finden, zeigt sich oft erst nach Jahrzehnten, das interessiert die Börse nicht.

Oder um auf die eingangs formulierte Unterscheidung zwischen Forschung und Entwicklung zurückzukommen: Die Industrie betreibt vorwiegend Entwicklungslaboratorien. Hier wird die Umsetzung neuer Wirkprinzipien und Designs in marktgängige Produkte vorangetrieben. Die Forschung dagegen befasst sich per Definition mit dem Unbekannten. Schon von daher kann es auch kein solides Geschäftsmodell geben, um mit Forschung zuverlässig zu neuen Produkten zu kommen.

Mit dem Rückzug der Industrie aus der Technikforschung wuchsen in Deutschland gleichzeitig die staatlich geförderten Forschungseinrichtungen der Technikwissenschaften, allen voran die Fraunhofer-Institute, siehe **Bild 1**.

Nach Branchen gegliedert sind diese Einrichtungen heute ein wesentlicher Garant für Technikforschung im Abgleich mit den Innovationsbedürfnissen der Industrie. Nach Angaben der Fraunhofer-Gesellschaft forschten 2011 dort etwa 20.300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ausgestattet mit einem Finanzvolumen von 1,85 Mrd. € [7].

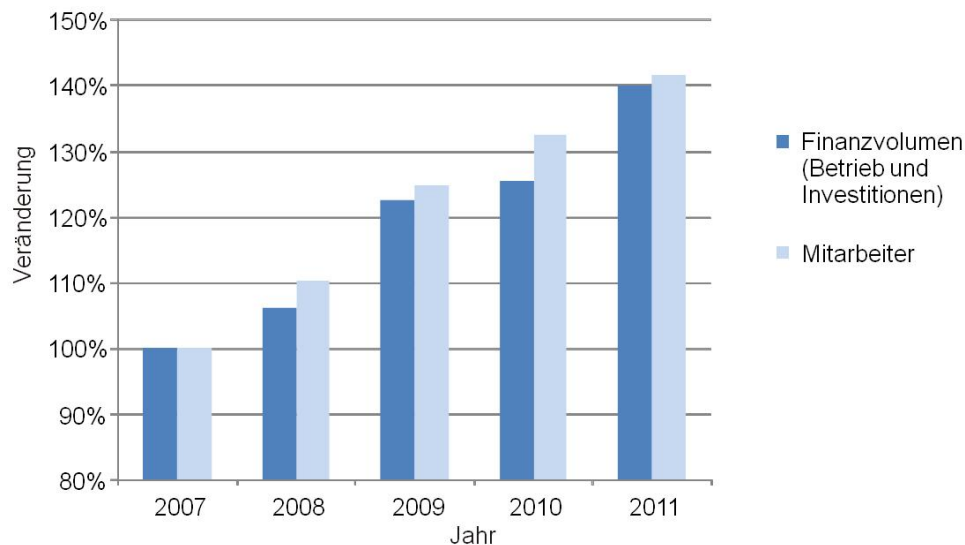


Bild 1: Zuwachs der Fraunhofer-Gesellschaft in den zurückliegenden 5 Jahren [7]

Eine weitere wichtige Gruppe von Forschungseinrichtungen der Technikwissenschaften bilden die Forschungseinrichtungen der AiF-Forschungsvereinigungen. Die AiF (Allianz Industrieforschung) finanziert aus Beiträgen der Industrie und des Bundes die „Industrielle Gemeinschaftsforschung“, die seit vielen Jahren ein Garant für mittelstandsnahe Technikforschung ist. Diese Forschungsarbeiten, in der Regel paritätisch finanziert von Industrie und Bund, werden von den in der AiF zusammengeschlossenen Forschungsvereinigungen beauftragt und in Universitätsinstituten oder auch außeruniversitären Forschungseinrichtungen ausgeführt. **Bild 2** zeigt die Entwicklung des Fördervolumens (nur Bundesanteil, im Jahr 2012: 141 Mio €) für die industrielle Gemeinschaftsforschung seit 2007. Zur verbesserten Vergleichbarkeit wurden auch hier die Werte wie in Bild 1 auf die des Jahres 2007 normiert und die gleiche Skalierung der Y-Achse gewählt.

Dieses in seiner positiven Wirkung auf die Innovationsfähigkeit des deutschen Mittelstandes weithin unterschätzte Programm der industriellen Gemeinschaftsforschung zur Förderung von Forschungsfragen des Mittelstandes weist ebenfalls eine beachtliche Wachstumskurve auf, kann aber bei weitem nicht in Wachstumsdynamik und absoluten Fördervolumen mit der Fraunhofer-Gesellschaft mithalten.

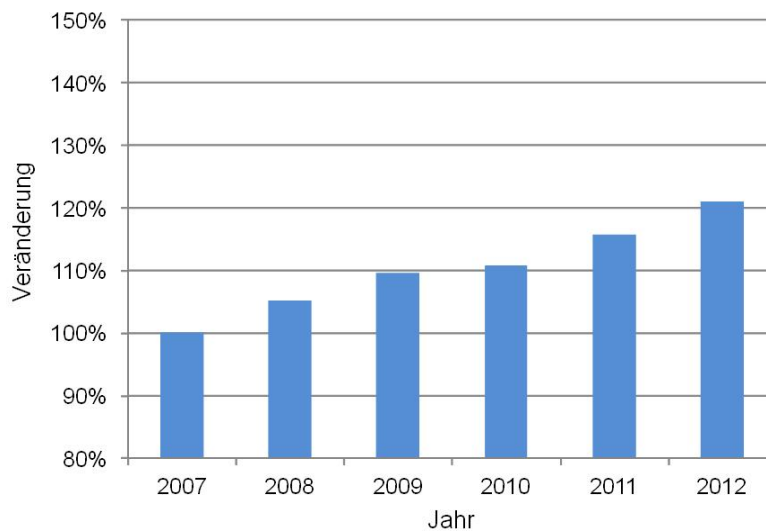


Bild 2: AiF-Fördervolumen für die Industrielle Gemeinschaftsforschung

Als weitere Forschungseinrichtungen der Technikwissenschaften sind sicherlich einzelne Einrichtungen der Helmholtz-Gesellschaft herauszuheben, allen voran das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt (DLR), das im Jahr 2010 über ein Forschungsbudget von etwa 740 Mio. € verfügte [6] und damit vermutlich die größte Technikforschungseinrichtung der Bundesrepublik Deutschland überhaupt darstellt. Interessant ist, dass in den weiteren Forschungseinrichtungen des Bundes eher wenig Technikforschung betrieben wird. So dominiert in den weiteren Forschungseinrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft, der Leibniz-Gemeinschaft oder der Max-Planck-Gesellschaft die naturwissenschaftliche Forschung.

Neben der institutionellen Förderung dieser Einrichtungen durch das Bundesministerium für Forschung und anteilige Landesförderung sind die Förderprogramme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung für die Technikforschung von wesentlicher Bedeutung. Diese Ressourcen kommen den unterschiedlichen Institutionen der Technikforschung zu Gute und erscheinen in der hier aufgeführten Systematik indirekt in den Budgets etwa der Hochschulen oder der Fraunhofer-Institute.

2.2.2 Universitäten

Im 19. Jahrhundert hatten die Technikwissenschaften keinen Platz an den Universitäten. Ausgehend von der Französischen Revolution gründeten sich dann zunächst in Frankreich neben den Universitäten die Écoles Polytechniques, im deutschsprachigen Raum in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts die Technischen Hochschulen. Während etwa in Frankreich die Écoles Polytechniques bis heute zwar eine erstklassige Ingenieurausbildung leisten, sich jedoch nur in geringem Maße der Forschung widmen, überwandern die technischen Hochschulen im deutschsprachigen Raum bald die Trennung von Forschung und Lehre und

entwickelten eine eigene starke Forschungsaktivität insbesondere in den Technikwissenschaften.

Die traditionellen Unterschiede zwischen Universitäten und Technischen Hochschulen hat sich in Deutschland insofern verringert, dass einige Universitäten heute auch über technikwissenschaftliche Fakultäten und Professuren verfügen, so wie viele technische Hochschulen heute auch in anderen Wissenschaftsbereichen forschen und lehren.

Auch zeigt der wissenschaftliche Diskurs, dass die früher übliche Unterscheidung in grundlagen- und anwendungsbezogene Fächer für die heutige Wissenschaftslandschaft nicht mehr hilfreich ist. Denn sehr wohl forschen heute die Naturwissenschaften auch mit hohem Anwendungsbezug, etwa im Bereich der funktionalen Materialien oder der Katalysatorforschung, wie auch die Technikwissenschaften heute sehr grundlegende Forschungen zu Methoden, Modellierung und experimenteller Analyse von Technik unternehmen, wobei die Anwendung der hier gewonnenen Erkenntnisse oft noch gar nicht absehbar ist. So würde ich etwa für das Gebiet der additiven Fertigung erwarten, dass für viele der heute in den Technikwissenschaften betriebenen Forschungsvorhaben, wie sie etwa von der DFG gefördert werden, relevante Anwendungen in frühestens 10 Jahren zu erwarten sind.

Dennoch ist weiterhin das Profil der Universitäten höchst unterschiedlich ausgebildet. Bereits vor dem Zusammenschluss von 15 führenden allgemeinwissenschaftlichen Universitäten mit Medizinischer Fakultät zu German U15 hatten sich schon 9 forschungsstarke Universitäten mit einem betont technikwissenschaftlichen Profil zusammengeschlossen in TU9: „German Institutes of Technology“. Im Jahr 2011 verausgabten diese 9 Universitäten allein in der Technikforschung ca. 840 Mio. €. Analysiert man den DFG-Förderatlas, so zeigt sich etwa, dass ca. 50% der gesamten von der DFG geförderten Technikforschung alleine in den TU9 ausgeführt wird [5].

Wissenschaftsbereich	Förderung Mio. €	Anteil %
Geistes- und Sozialwissenschaften	324,4	14,6
Lebenswissenschaften	776,3	34,9
Naturwissenschaften	530,1	23,9
Technikwissenschaften	465,0	20,9
Weitere Bereiche	126	5,7
Insgesamt	2221,8	100,0

Tabelle 1: Mittleres jährliches Fördervolumen der DFG in den Jahren 2009-2011 in den verschiedenen Wissenschaftsbereichen [5]

Interessant ist es, in diesem Zusammenhang den Anteil der Technikforschung im Bezug zu anderen Forschungsbereichen der deutschen Universitäten zu betrachten. Auch hier gibt der DFG-Förderatlas einen ersten Eindruck (siehe [5]).

Um das Gesamtbudget für Technikforschung an den deutschen Universitäten abzuschätzen, kann der Betrag für DFG-Forschung etwa mit dem Faktor 3 multipliziert werden (so jedenfalls ergibt sich diese Relation für die RWTH). Insofern dürfte das Budget der deutschen Universitäten im Bereich der Technikwissenschaften jährlich etwa bei 1.500 Mio. € liegen, also noch deutlich unter dem Budget der Fraunhofer-Gesellschaft.

2.2.3 Fachhochschulen

Ein anderes Merkmal zur Unterscheidung im Hochschulbereich liefert das Attribut „zur Forschung ausgestattet“ (Universität) oder „überwiegend in der Lehre tätig“ (Fachhochschule). Allerdings sind auch hier die Übergänge fließend, zunehmend treten heute auch Fachhochschulen mit eigenen Forschungserfolgen in die Öffentlichkeit und haben dazu das Lehrdeputat einzelner Professoren reduziert und die experimentelle Ausstattung erweitert, zunehmend verlieren Universitäten unter dem Sparzwang der Länderhaushalte an Grundausstattung für die Forschung und nähern sich so faktisch an die üblichen Rahmenbedingungen von Fachhochschulen an. Eine Abschätzung der Forschungsaktivität ermöglicht die Quote der eingeworbenen Drittmittel je Professor an den Fachhochschulen und Universitäten. In den Technikwissenschaften warben im Mittel nach Angaben des Bundesamtes für Statistik 2009 Universitätsprofessoren 454 t€, Fachhochschulprofessoren 21 t€ ein [3].

Dagegen liegen die Fachhochschulen bei der Ausbildung von Ingenieuren vor den Universitäten. Die neuesten Einschreibezahlen des Bundesamtes für Statistik vermerken insgesamt 149.585 Neueinschreibungen in das erste Fachsemester der vier Studienrichtungen Bauwesen, Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik. Davon entfallen 78.809 Studierende auf die Fachhochschulen, was einem Anteil von 53% entspricht [4].

2.2.4 Weitere Einrichtungen der Technikwissenschaften

Neben den Forschungs- und Lehreinrichtungen der Technikwissenschaften befassen sich weitere Institutionen mit dem Bereich der Technikwissenschaften:

- Fachwissenschaftliche Vereinigungen: Sie koordinieren Aufgaben in Forschung und Lehre in einzelnen Fächern. Als Beispiele seien genannt: Der Wissenschaftliche Arbeitskreis Kunststofftechnik WAK (<http://www.wak-kunststofftechnik.de/>) der Wissenschaftliche Arbeitskreis Werkstofftechnik WAW (<http://www.waw-ev.de/>) oder die Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (<http://www.wgp.de/>).

- Akademien:
Acatech, die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die sich als nationale Akademie und Stimme der Technikwissenschaften im In- und Ausland versteht.
Die Union der deutschen Akademien (<http://www.akademienunion.de/>), von denen einige eine Technikklasse eingerichtet haben.
- Technik-Museen, wie etwa das deutsche Museum in München oder das Bergbaumuseum in Bochum
- das Normen- und Patentwesen (DIN, das Deutsche Patentamt, das DIBT etc.)
- die Prüfämter und Prüfanstalten

2.3 Methoden der Technikforschung

Trotz der großen Bedeutung der Technikforschung bestehen oft große Unklarheiten über deren methodische Ansätze und Vorgehensweisen. Zunächst gilt es, den Begriff Forschung ganz allgemein zu definieren:

Forschung ist das methodisch geleitete und systematische Suchen nach neuen Erkenntnissen.

Forschung baut also auf dem Bekannten auf und befasst sich mit den noch offenen Fragen. Forschung kann sich also nur mit dem beschäftigen, was nicht bereits zum gesicherten Stand des Wissens gezählt wird.

Vermutlich werden zahlreiche Forschungsanstrengungen nur deshalb unternommen, weil der Forschende und auch der die Forschung Finanzierende nicht wissen, dass dieser Forschungsgegenstand bereits erforscht wurde. Da die Wissensbestände in nahezu unüberschaubarer Weise ständig anwachsen, muss der Forschende über eine hervorragende fachliche Kompetenz verfügen. Das beinhaltet vor allem das Wissen darüber, inwieweit der Gegenstand seines Forschungsinteresses bereits erforscht ist.

Hier wird deutlich, dass Forschen und Fachwissen eng gekoppelt sind. Daher ergibt sich der stets enge disziplinäre Bezug von Forschungseinrichtung und Forschungsgegenstand. Da Forschen stets eine individuelle geistige Denkleistung darstellt, kommt der Kompetenz des Forschenden eine sehr große Bedeutung zu. Zugleich begründet dies zwei große Dilemmas in der Forschung:

1. Das Unbekannte liegt meist an den Rändern der Disziplinen. Durch das Zusammenarbeiten der Forschenden über die Grenzen der Disziplinen hinweg kann oft erst das Unbekannte adressiert werden.
2. Die großen Herausforderungen in der Technikforschung bestehen heute im Erforschen des Verhaltens großer Systeme. Dabei ist das Themenfeld weit über die Kompetenz einzelner Fachwissenschaftlerinnen und Fachwissenschaftler hinweg gespannt. Forschung muss also oft integrativ ar-

beiten, mit Schnittstellen umgehen, einzelne individuelle Denkleistungen zu einer integrierten Antwort bündeln.

In vielen Fällen gleichen die Methoden der Technikforschung denen der Naturwissenschaften. Dies begründet auch, warum zur Ausbildung des Technikwissenschaftlers ein umfassendes Studium der Mathematik und der Naturwissenschaften gehört.

Die wesentlichen Methoden der Technikforschung sind

- die Modellbildung und
- das Experiment.

Wirkprinzipien werden im Rahmen der Modellbildung postuliert und formuliert. Modelle können „konkret“ also etwa prototypisch, gegenständlich oder auch „abstrakt“, also gedacht, virtuell sein. Sie repräsentieren in unterschiedlichen Ausprägungen, etwa des Skalierungsmaßstabes oder der Hinwendung zu einem Funktionsmerkmal die technische Konzeption, etwa durch ihre Geometrie, durch ihre mechanischen, strömungsmechanischen, thermodynamischen usw. Eigenschaften. Durch die Formulierung der maßgeblich wirksamen Gesetzmäßigkeiten etwa aus der Physik kann das Verhalten der Modelle mathematisch beschrieben werden. Spätestens mit der Nutzung leistungsfähiger Rechnersysteme können virtuelle Modelle auch sehr komplexe Wirkzusammenhänge erfassen und numerisch simulieren. Dieser Zusammenhang wird heute unter dem Begriff virtuelles Experiment erfasst.

Durch das Experiment kann das erdachte Wirkprinzip auf seine Tauglichkeit hin überprüft werden. In der Technik gelingt es oft nur teilweise, das Systemverhalten eines technischen Produktes in seiner Gesamtheit von denkbaren Betriebszuständen und Eigenschaften im Modell zu beschreiben. Daher erstreckt sich die Erforschung des Verhaltens neuer Technik bis hin in die Betriebsüberwachung.

Häufig entsteht Technik nicht aus einer forschenden Systematik, sondern aus dem intuitiven Denken des Erfinders. Hier sind dann oft die dieser Technik zu Grunde liegenden Wirkprinzipien nicht vollständig durchdacht oder gar grundsätzlich verstanden. Solches Erfahrungswissen findet sich auch oft in Normen, Betriebsanweisungen oder Regelwerken. Für die Technikforschung ist gerade dieser Teil von Technik von großem Interesse. Es besteht hier nicht nur eine enge Verknüpfung zu den Naturwissenschaften, sondern auch zu der wissenschaftsreflexiven Disziplin der Wissenschaftstheorie und insbesondere der epistemisch orientierten Technikphilosophie.

Auch folgt gutes Design nicht nur der technischen Funktion, sondern es greift auch sozial-kulturelle Aspekte auf. Zur Erforschung dieser Zusammenhänge, Kenntnisse und Erfahrungen nutzen die Technikwissenschaften zunehmend hermeneutische Ansätze. Dadurch wird es möglich, mit erhöhter Systematik die Richtigkeit und Zweckmäßigkeit einmal getroffener Vereinbarungen zu überprüfen.

Im Wechselspiel von Technik und Mensch oder auch von Technik und Gesellschaft kommt der Akzeptanz neuer Technik ein wesentlicher Stellenwert zu. Hier öffnen sich die Technikwissenschaften auch sozialwissenschaftlichen Forschungsmethoden wie etwa statistisch abgesicherten Erhebungen und psychologischen Testverfahren.

Ganz wesentlich bei Technikforschung ist die Frage der Relevanz des Forschungsgegenstandes: Treibende Kraft der Technikforschung ist das Ziel, Technik zu verbessern und weiter zu entwickeln. Also anders als bei den Naturwissenschaften ist es nicht der Drang, Unbekanntes um seiner selbst willen zu erforschen, sondern stets wird die Forschungsanstrengung von der Hoffnung getrieben, zu neuer und verbesserter Technik zu kommen. Damit ist der Anwendungsbezug eine wesentliche Triebfeder für die Technikforschung.

Dies begründet auch die Notwendigkeit der engen Kooperation von Wirtschaft und Technikwissenschaft. Denn nur aus der Kenntnis von Technik in ihren Entstehungsprozessen und ihrer Marktakzeptanz kann die Frage der Relevanz von Technikforschung beantwortet werden.

Dies lässt sich auf diese einfache Formel bringen: Die technikwissenschaftlichen Einrichtungen machen mit Forschung aus Geld Wissen, die Wirtschaft mit Innovationen aus Wissen Geld!

Manchem erscheint die enge Verflechtung von Wirtschaft und Technikwissenschaften suspekt und es keimt dort die Vermutung auf, Technikforschung sei nicht unabhängig von den kommerziellen Interessen der Wirtschaft. Aber diese Einschätzung läuft ins Leere. Forschung ist immer zuallererst der Wahrheit verpflichtet. Wer zwecks Berücksichtigung kommerzieller Interessen die Wahrheit deformiert und unterdrückt, wird auf lange Sicht als Fälscher enttarnt. Das mag nicht verhindern, dass verführbare Menschen den Versuchungen nicht Stand halten, aber dies ist ebenso unmoralisch und untauglich wie ein Bankraub.

3 INGENIEURWESEN

Als Ingenieurwesen definiere ich in diesem Kontext einen Berufsstand. Er umfasst den Teil der technikschaftenden Berufe, die wissenschaftsbasiert ausgebildet wurden und in Wirtschaft und Verwaltung Technik entwickeln, anwenden, rückbauen und zulassen. Dabei umfasst das Ingenieurwesen nicht nur die entsprechend qualifizierten arbeitenden Menschen (Ingenieure), sondern auch die Regeln und Konventionen, innerhalb derer diese Menschen arbeiten. Im Zusammenwirken mit Technikern, Facharbeitern und Handwerkern schafft dieser Berufsstand die Technik, die uns heute umgibt.

Im 19. Jahrhundert vollzog sich die Erweiterung der technikschaftenden Berufe durch ein wissenschaftsbasiertes Ausbildungsprofil, dem Ingenieurberuf. Dabei muss beachtet werden, dass dies nur eine Ergänzung war. Viele Berufe, die sich mit Ausbringung von Technik befassen, verbleiben bis heute im handwerk-

lich oder dann in dem hinzutretenden industriell geprägten Ausbildungskonzept verwurzelt. Hierin lebt letztendlich die Tradition der mittelalterlichen Ständegeellschaft und der darin verorteten Handwerksberufe weiter. Das sich hieraus ableitende System der dualen Berufsausbildung in Deutschland ist sicherlich ein wesentlicher Faktor für die technische Leistungsfähigkeit der hiesigen Industrie und Gesellschaft.

Mit der Entwicklung der Naturwissenschaften erweiterte sich jedoch der Horizont für neue Wirkprinzipien von Technik. Um den Wirkungsgrad einer Verbrennungsmaschine zu verstehen, braucht man die Thermodynamik, um die Tragkraft einer Brücke vorauszuberechnen, die Mechanik, um die Grenzen der Speicherfähigkeit eines funktionalen Materials zu verstehen, die Festkörperphysik. Es erwies sich also als überaus zweckmäßig, das Berufsbild des Ingenieurs zu schaffen und dieses auf ein mathematisch-naturwissenschaftliches Fundament zu stellen. Hier wuchs den technikwissenschaftlichen Einrichtungen der Hochschulen eine wesentliche Aufgabe zu. Die Schaffung einer wissenschaftsbasierten Ingenieurausbildung war offensichtlich notwendig, um dem Wandel zur Industriegesellschaft Rechnung zu tragen.

Neben der naturwissenschaftlichen Fundierung fußt der Ingenieurberuf aber auch auf weiteren Merkmalen, die weit über den Anspruch einer wissenschaftlichen Fundierung hinaus gehen:

Das technische Wirkprinzip muss sich in der Praxis bewähren. Gefahrenpotentiale müssen beherrscht, negative Folgewirkungen eingeschränkt werden, und die Nützlichkeit muss sich auch unter wirtschaftlichen Aspekten beweisen. So entfaltet sich der Beruf des Ingenieurs im Spannungsfeld von neuen, wissenschaftlich gewonnenen Erkenntnissen und der niedergelegten Erfahrung mit Technik, dem sogenannten Stand der Technik. Auch diesbezüglich können wir große Veränderungen in den zurückliegenden zwei Jahrhunderten verzeichnen. Während seinerzeit die Weitergabe der Erfahrungen und des Wissens ganz wesentlich dem Lehrer-Schülerverhältnis zukam, ist es heute eine Aufgabe der technikwissenschaftlichen Institutionen, dieses Wissen zu archivieren und verfügbar zu machen. Wesentliche Mittel zur Dokumentation des Standes der Technik sind die Patente, die Normen und die Lehrbücher. Und ein Ingenieur, der den Stand der Technik nicht beachtet, handelt fahrlässig und kann ggf. zu Schadensersatz herangezogen werden.

Ein großer Teil bei der Aufgabe, ein neues Produkt oder eine neue Produktionstechnologie zu entwickeln, besteht darin, den Stand der Technik auf eine neue Fragestellung anzuwenden. Insoweit bildet die Kenntnis über den Stand der Technik die entscheidende Grundlage. So verwundert es nicht, dass etwa beim systematischen Konstruieren die Änderungskonstruktion oder die Variantenkonstruktion die schnellsten und sichersten Wege zur Erstellung einer neuen Konstruktionszeichnung sind. Man greift auf Bewährtes zurück und ändert im Detail.

Ein anderer großer Teil bei der Aufgabe, ein neues Produkt zu entwickeln, besteht in der Abschätzung der Wirkung des Produktes in Wirtschaft und Gesell-

schaft. Das beginnt bei der schlichten Frage des Marktwertes, um so abschätzen zu können, ob mit diesem Produkt ein Gewinn erwirtschaftet werden kann, und endet bei so weitreichenden Fragen wie Technikfolgenabschätzung, Nachhaltigkeit und ethischer Vertretbarkeit.

Letztendlich sind es die evolutionären Entwicklungsprozesse, die einen hohen Perfektionsgrad in ein technisches System bringen. Man denke hier nur an das Beispiel Flugzeug. Das hohe Risiko bewirkt ein langsames Entwicklungstempo. Zahlreiche Normen und gesetzliche Vorgaben schränken den Korridor für neue Wirkprinzipien ein. Aber in der Fortentwicklung der Details eines im Grundprinzip seit mehr als 40 Jahren erprobten Flugzeugdesigns (man denke etwa an den Airbus A320) entsteht ein hochmodernes, kraftstoffsparendes, leises, sicheres Flugzeug. Oder man denke an die Substitution des Werkstoffes Aluminium durch kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe: Ein Entwicklungsprozess, der in den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts begonnen hat und dazu führt, dass bei den modernsten Flugzeugtypen wie etwa dem A 350 oder dem Dreamliner nun etwa 80 % des Strukturvolumens aus diesen neuen Werkstoffen gefertigt werden.

Übrigens können an dem Beispiel "Flugzeugentwicklung" auch leicht weitere Wesensmerkmale des Ingenieurberufes gezeigt werden. Entwicklung von Technik umfasst oft Gewerke von vielen tausenden Arbeitsstunden. Arbeitsteilung und Parallelisieren sind Schlüssel zur Bewältigung größerer Entwicklungsaufgaben. Höchste technische Leistungen sind Teamleistungen und erfordern hohe Ausdauer und Kommunikationsfähigkeit.

Die Breite des technischen Wissens erfordert nicht nur in der Wissenschaft sondern auch in den Berufsbildern der Ingenieure eine starke Ausdifferenzierung. Heute haben die einzelnen Disziplinen mit ihren Methoden, Sprachen und Kodierungen und der Fülle der Wissensinhalte sich so weit auseinander entwickelt, dass ein umfassendes Verständnis der Technikwissenschaften nicht mehr von einem einzelnen Ingenieur erreicht werden kann.

Um also komplexe Entwicklungsaufgaben lösen zu können, muss Systemfähigkeit hergestellt werden, Ingenieure verschiedener Fachrichtungen müssen gemeinsam wirken. Die Befähigung zu interdisziplinärem Arbeiten wird neben der Beherrschung des Standes der Technik zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor für heutige Ingenieurinnen und Ingenieure.

Ingenieure arbeiten nicht nur an Aufgaben zur Entwicklung neuer Produkte und Technologien. Sie wirken auch vielfältig beim Einsatz von Technik mit und sorgen für sicheren Umgang mit Technik. Ich möchte in diesem Zusammenhang nur kurz auf die vielen Arbeitsplätze im Bereich der Zulassung und Sicherheit von Technik bei Behörden, Versicherungen und Überwachungseinrichtungen erinnern, oder an die Berufe des Flugingenieurs oder des Schiffingenieurs.

Allen diesen Ingenieurberufen gleich ist die Anforderung, den Stand der Technik umfassend zu beherrschen. Bedenkt man die rasche Entwicklung der Technik, ist dies keine triviale Forderung. Deshalb kommt der beruflichen Weiterbil-

derung im Ingenieurwesen ein hoher Stellenwert zu, etwa um die Entwicklung des Standes der Technik zu verfolgen.

Die Berufsverbände der Ingenieurberufe spiegeln in vielfältiger Weise die Anforderungen an den Ingenieurberuf. Der Verband Deutscher Ingenieure (VDI), der besonders repräsentativ für das Ingenieurwesen steht, engagiert sich etwa im Bereich des Normenwesens zur Festschreibung und Regelung des Standes der Technik oder in der beruflichen Weiterbildung in Kooperation mit seinen Fachgesellschaften. Auch hat der VDI beachtenswerte ethische Grundsätze zur Arbeit der Ingenieure verfasst und damit dem Berufsstand auch in dieser Hinsicht eine richtungsweisende Norm gesetzt.

Als Vertreter der Ingenieurberufe befasst sich der VDI auch mit der Ermittlung von Kennzahlen zum Arbeitsmarkt der Ingenieure. So schätzt der VDI die Gesamtzahl der Beschäftigten mit Ingenieurausbildung im Jahr 2009 auf 1,6 Mio.. In den davorliegenden 5 Jahren wuchs die Zahl der Ingenieure um 200.000.

Im Januar 2012 berichtete der VDI, dass die Zahl der Arbeitssuchenden in den Ingenieurberufen auf 18.273 Personen gesunken sei. Gleichzeitig sei die Zahl der offenen Stellen auf 98.300 gestiegen. Damit berechnet der VDI mit 80.400 die größte Ingenieurlücke, die seit Beginn der Aufzeichnungen im August 2000 gemessen wurde [2].

4 FAZIT

Vergleicht man die Berufsprofile in der hier getroffenen Unterscheidung von Ingenieuren mit denen von Technikwissenschaftlern, so zeigen sich deutliche Unterschiede in den Anforderungen und Fähigkeiten. Im Bereich der Wissenschaft geht es um das Sammeln, Lehren und Erforschen von Technikwissen. Hier kommen Anforderungsprofile zum Tragen, wie sie auch in vielen anderen Feldern der Wissenschaft üblich sind. Ingenieure arbeiten in diesen Bereichen dann erfolgreich, wenn sie auch die Methoden des wissenschaftlichen Arbeitens beherrschen.

In der beruflichen Praxis, immer da, wo Technik entwickelt, angewendet, rückgebaut oder zugelassen werden muss, braucht es Ingenieure, die durch die Kombination einer fachwissenschaftlichen Ausbildung, der Technikbegabung und langjähriger beruflicher Erfahrung Technik ins Werk setzen. Hier tritt der Aspekt des wissenschaftlichen Arbeitens zurück hinter den Aspekt der sicheren Beherrschung des Standes der Technik.

Ich sehe sehr wohl, dass es Ingenieure gibt, die auch wissenschaftlich Hervorragendes geleistet haben, wie es auch Technikwissenschaftler gibt, die überzeugende Produkte entwickelt haben. Aber im Regelfall sind die Aufgaben des Forschens, Lehrens und Dokumentierens sehr verschieden von denen des Bauens, Gestaltens und Betriebens von Technik.

Daher ist es nützlich, zwischen diesen Berufsbildern zu unterscheiden. Dies gilt verstärkt, wo der Mangel an Ingenieuren das Wachstum der Wirtschaft drosselt und wo überzogene Anforderungen an die wissenschaftliche Befähigung eine Vielzahl junger und technikaffiner Menschen in der Ingenieurausbildung heute scheitern lässt.

Letztendlich ist es schwierig, eine quantitative Abgrenzung zwischen diesen beiden Berufsgruppen der Technikwissenschaftler und der Ingenieure zu ziehen. Ersichtlich aus den Erhebungen des VDI ist, dass in Deutschland etwa 1,6 Mio. Menschen mit einer Ingenieurausbildung berufstätig sind. Ein Teil davon arbeitet an den in Kapitel 2 aufgeführten Institutionen der Technikwissenschaften. Ich würde in einer ersten Näherung schätzen, dass davon etwa die Hälfte der in technikwissenschaftlichen Funktionen Beschäftigten an den Universitäten und Fachhochschulen verortet sind (Professoren und wissenschaftliche Mitarbeiter).

In dieser Frage liefert das Bundesamt für Statistik Zahlen [10]: Im Jahr 2011 waren an den deutschen Hochschulen insgesamt 53164 Personen im Bereich der Technikwissenschaften beschäftigt (in der amtlichen Statistik wird hier der Terminus „Ingenieurwissenschaften“ benutzt), davon 57% an Universitäten, 43% an Fachhochschulen, darunter 8733 Professoren, davon 29% an Universitäten, 71% an Fachhochschulen. Aus dieser Schätzung ergäbe sich eine Zahl von etwa 0,1 Mio. Technikwissenschaftlern in Deutschland.

Vergleicht man diese Zahl mit der Schätzung des VDI, kommt man auf ein Zahlenverhältnis dieser beiden Berufsgruppen von etwa 1:15 (insgesamt 1,6 Mio. Berufstätige mit Ingenieurausbildung, davon 0,1 Mio. in den Technikwissenschaften, 1,5 Mio. im Ingenieurwesen)!

Und aus dieser Betrachtung folgt eine weitere brisante Frage: Ist es klug, einheitliche Ausbildungswege zu schaffen (wie dies der Bologna-Prozess anstrebt), wenn so unterschiedliche Berufsprofile bedient werden sollen? Aus dieser Betrachtung wird deutlich, dass sich auch unsere Ausbildungssysteme im Bereich der Technik sich laufend weiter entwickeln müssen. Dies gilt nicht nur unter dem Blickwinkel der wachsenden Vielfalt von Studienrichtungen in Folge des technischen Fortschritts, sondern auch unter dem Blickwinkel der methodischen Profilierung „Technikwissenschaftler“ oder „Ingenieur“.

Zur Ausübung des Ingenieurberufes ist notwendig, den Stand der Technik in dem jeweiligen Fach sicher anzuwenden, in der Forschung bedarf es darüber hinaus eines umfassenden Methodenverständnisses und einer vertieften mathematisch-naturwissenschaftlichen Kompetenz.

Diese Unterscheidung hat meines Erachtens weitreichende Konsequenzen für die Lehre in den Hochschulen. Mit der Einführung der zweistufigen Studiengänge im Bachelor-Master-System entstand eine weitere Ausdifferenzierung im deutschen Hochschulsystem. So wie ein Bachelor-Studiengang im Maschinenbau anders ausgebildet wird wie der in der Elektrotechnik, muss auch bei den Inhalten einzelner Studiengänge im Sinne von ingenieurorientiert oder wissenschaftsorientiert unterschieden werden.

Prinzipiell entwickelt die stärker wissenschaftsorientierte Ausbildung an den die Universitäten mehr die Methodenkompetenzen etwa im Bereich der Mathematik und den Naturwissenschaften. Das macht das Studium abstrakter und braucht zusätzliche Zeit und Aufwand. Insofern kann ein Bachelor der Fachhochschule gegebenenfalls schneller zu einer Anwendungskompetenz kommen, die ja in vielen Ingenieurberufen vordergründig gefordert ist. Aber unstrittig besteht auch für die Universitäten das Ziel, in den ersten Ausbildungsabschnitten eine Qualifikation zum Ingenieurberuf zu vermitteln, wobei aber auch zusätzlich die Grundlagen für wissenschaftliches Arbeiten gelegt werden sollen.

Vermutlich wird die Frage nach dem „besseren“ Studienabschluss für das Qualifikationsmerkmal „zum Ingenieurberuf befähigt“ nur durch die Personalentscheidungen der Wirtschaft und des öffentlichen Dienstes beantwortet. Hier streiten die Bachelor und die Master von Fachhochschulen und Universitäten um die Plätze, erst in einigen Jahren wird dieses Rennen durch das Einstellungsverhalten der Industrie entschieden sein. Dabei gilt es zwischen kurzen und langen Ausbildungsgängen, zwischen Forschungs- und Anwendungsbezug zu unterscheiden. Letztendlich gilt es aber auch, Qualifizierungswege zu schaffen, die große Teile eines Jahrgangs (die Politik erwartet hier 50%) in ihrer intellektuellen Leistungsfähigkeit nicht überfordern und dennoch den hohen Ansprüchen an das Berufsbild des Ingenieurs genüge leisten.

Schließlich bleibt als eindeutiges Erkennungsmerkmal in der Nach-Bologna-Zeitenwende für die Befähigung zum eigenständigen wissenschaftlichen Arbeiten in den Technikwissenschaften die Promotion.

Für die jungen Leute, die heute vor dieser schwierigen Studienplatzentscheidung stehen, kann man aber tröstend hinzufügen: Jeder dieser unterschiedlich profilierten Absolventen wird einen attraktiven Arbeitsplatz finden und helfen, die Ingenieurlücke zu schließen.

5 Literatur

- [1] N.N. AiF-Budget 2009-2012. Abgerufen am 6. 1. 2013 von http://www.aif.de/fileadmin/user_upload/aif/aif/PDF/AiF-Budget.pdf
- [2] Berends, S. Ingenieurmonitor, VDI, Düsseldorf, 2012: www.vdi.de/ingenieurmonitor
- [3] Brugger, P. T. Hochschulen auf einen Blick, Statistisches Bundesamt, Bestellnummer: 01100110-12700-1, Wiesbaden, 2012
- [4] N.N. Hochschulstatistik Wintersemester 2012/2013. Statistisches Bundesamt, Artikel-Nr. 5213103138005, Wiesbaden, 2012
- [5] N.N. DFG Förderatlas 2012, von http://www.dfg.de/dfg_profil/foerderatlas_evaluation_statistik/foerderatlas/index.jsp abgerufen
- [6] N.N. Forschungsbilanz und wirtschaftliche Entwicklung 2010/2011. Köln: DLR e.V
- [7] N.N. FhG Jahresbericht 2011, Fraunhofer-Gesellschaft, 2011
- [8] Rötzer, A. Die Einteilung der Wissenschaften - Analyse und Typologisierung von Wissenschaftsklassifikationen. Dissertation, philosophische Fakultät der Universität Passau, Passau, 2003
- [9] N.N. Technikwissenschaften: Erkennen – Gestalten-Verantworten, Acatech IMPULS, von http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Stellungnahmen/acatech_IMPULS_Technikwissenschaften_WEB_final.pdf abgerufen
- [10] N.N. Bildung und Kultur – Personal an Hochschulen 2011, Statistisches Bundesamt, Artikel-Nr. 2110440117004, Wiesbaden, 2012

6 Dank

Bei der Entstehung dieses Textes gab es viele Impulse und persönliche Gespräche. Sicherlich ganz wesentlich war der Anstoß durch Acatech, mich in den Reviewprozess für den Akatech-Impuls „Technikwissenschaften: Erkennen – Gestalten- Verantworten“ einzubinden. Anregungen erhielt ich von den Kollegen Professor Schlarb, Universität Kaiserslautern, Professor Haberstroh, RWTH Aachen und Frau Professor Hillerbrand, TU Delft. Für die Anregungen und die sorgfältige Durchsicht des Manuskriptes danke ich Herrn Prof. Ehrenstein, Universität Erlangen.

Stichworte:

Forschung, Entwicklung, Ausbildung, Wissenschaft, Wirtschaft

Keywords:

Research, development, education, science, business

Autor/author:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmachtenberg
Rheinisch-Westfälische technische Hochschule Aachen
Rektor
Templergraben 55
52062 Aachen
Deutschland
Phone: +49/(0)241/80-9400
Fax.: +49/(0)241/80-92102
E-Mail-Adresse: sbg@rwth-aachen.de

Herausgeber/Editor:

Europa/Europe
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gottfried W. Ehrenstein,
verantwortlich
Lehrstuhl für Kunststofftechnik
Universität Erlangen-Nürnberg
Am Weichselgarten 9
91058 Erlangen
Deutschland
Phone: +49/(0)9131/85 - 29703
Fax.: +49/(0)9131/85 - 29709
E-Mail-Adresse: ehrenstein@lkt.uni-erlangen.de

Amerika/The Americas
Prof. Prof. h.c Dr. Tim A. Osswald, re-
sponsible
Polymer Engineering Center, Director
University of Wisconsin-Madison
1513 University Avenue
Madison, WI 53706
USA
Phone: +1/608 263 9538
Fax.: +1/608 265 2316
E-Mail-Adresse: oss-wald@enr.wisc.edu

Verlag/Publisher:

Carl-Hanser-Verlag
Jürgen Harth
Ltg. Online-Services & E-Commerce,
Fachbuchanzeigen und Elektronische Lizenzen
Kolbergerstrasse 22
81679 Muenchen
Tel.: 089/99 830 - 300
Fax: 089/99 830 - 156
E-mail-Adresse: harth@hanser.de

Beirat/Editorial Board:

Professoren des Wissenschaftlichen
Arbeitskreises Kunststofftechnik/
Professors of the Scientific Alliance of
Polymer Technology