SITZUNGSBERICHTE

LEIBNIZ-SOZIETÄT DER WISSENSCHAFTEN

Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen –

6. Symposium des Arbeitskreises „Allgemeine Technologie“ der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin und des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Karlsruher Instituts für Technologie am 10. Oktober 2014 in Berlin

Herausgegeben von Gerhard Banse & Ernst-Otto Reher

Mit Beiträgen von Gerhard Banse. Johannes Briesovsky, Lutz-Günther Fleischer, Wolfgang Fratzscher, Horst Goldhahn, Hermann Grimmeiss, Ernst-Peter Jeremias, Bernd Junghans, Christian Kohlert, Hans-Joachim Laabs, Jens-Peter Majschak, Norbert Mertzsch, Ernst-Otto Reher, Peter Schwarz, Dieter Seeliger

BAND 122

JAHRGANG 2015

Inhalt

Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher
Einführung 5

Gerhard Banse
Technikverständnis – Eine unendliche Geschichte... 19

Lutz-Günther Fleischer
Technologie – techné und epistémé 35

Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher
Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen 69

Christian Kohlert
Traditionelle Kalandertechnologie für High-Tech-Produkte 95

Wolfgang Fratzscher
Energietechnik und Energiewende 105

Norbert Mertzsch, Ernst-Peter Jeremias
Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung 125

Dieter Seeliger
Über einige qualitative und quantitative Fortschritte der praktischen Nutzung von Nanotechnologie bei der Energieumwandlung 133

Horst Goldhahn, Jens-Peter Majschak
Hocheffiziente Maschinensysteme für die individualisierte Massenproduktion 151

Peter Schwarz
Technologiewandel und Nachhaltigkeit beim Übergang von der Industrie- zur Wissensgesellschaft 159

Johannes Briesovsky
Technologische Prozessintensivierung durch resonante Pulsationen 169

Hans-Joachim Laabs
Ist der 3D-Drucker die „Dampfmaschine“ der digitalen Revolution oder eine überschätzte Innovation? 177

Hermann Grimmeiss
Die Verbindung von Wissenschaft und Gesellschaft – eine Voraussetzung zur Lösung des Europäischen Paradoxons I: Sicht des Wissenschaftlers 191

Bernd Junghans
Die Verbindung von Wissenschaft und Gesellschaft – eine Voraussetzung zur Lösung des Europäischen Paradoxons II: Sicht des Unternehmers 203

Ernst-Otto Reher, Gerhard Banse
Schlusswort und Ausblick 211

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 5–18*

Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher

Einführung

Am 10. Oktober 2014 führte der Arbeitskreis Allgemeine Technologie der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften (LS) sein 6. Symposium durch. Es war wiederum eine Kooperation mit dem Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Karlsruher Instituts für Technologie (früher: Forschungszentrums Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft).

Der Arbeitskreis „Allgemeine Technologie" der LS, gegründet am 12. Oktober 2001, hatte bereits fünf Symposien zur Allgemeinen Technologie durchgeführt:

- Allgemeine Technologie – Vergangenheit und Gegenwart (2001; vgl. Banse/Reher 2002);
- Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie (2004; vgl. Banse/Reher 2004);
- Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie (2007; vgl. Banse/Reher 2008);
- Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch (2010; vgl. Banse/Reher 2013);
- Technik – Sicherheit – Techniksicherheit (2012; vgl. Banse/Reher 2014).

Das 6. Symposium wandte sich nun technikbezogenen Veränderungen beim Übergang zur sogenannten Wissensgesellschaft zu. Spätestens, seitdem Mitte der 1990er-Jahre der Produktionsfaktor Wissen neben die herkömmlichen Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit gestellt und dem Wissen damit eine neue, gewissermaßen industrielle Bedeutung zugeschrieben wurde, ist der erklärende Charakter des Begriffes Wissensgesellschaft, der eigentlich schon seit den 1960er-Jahren im Gebrauch ist, begründet worden und hat seine Karriere auch im politischen Bereich genommen. Zu beachten dabei ist jedoch: Die Wissensgesellschaft als solche hat es als „Ergänzung" der Industriegesellschaft schon lange gegeben. Allerdings gilt auch, dass Zusammenhänge, die schon früher da waren, aber nur begrenzte Relevanz besaßen, jetzt in einem neuen Licht gesehen werden, weil sich deren Stellenwert im

realen Gesamtzusammenhang des gesellschaftlichen Lebensprozesses gewandelt und erhöht hat. Der sich gegenwärtig vollziehende Umbau der Gesellschaft von der Industrie- zur Wissensgesellschaft lässt sich nicht allein auf technologische und ökonomische Aspekte reduzieren – weder bei der Erklärung der Ursachen noch bei der Folgenabschätzung. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Prozess alle Bereiche der Gesellschaft erfassen und erheblich verändern wird, er betrifft Politik, Recht, Wissenschaft, Bildung, Handel, Arbeits- und Lebensweise, Freizeit- und Kommunikationsverhalten, die Bürgerrechte und den Datenschutz gleichermaßen. Infolgedessen impliziert dieser Wandel mit globaler Dimension auch soziale und kulturelle Veränderungen bzw. ist auf solche angewiesen. Diese Interdependenzen zwischen Technik/Technologie, Individuum, Kultur, Gesellschaft, Politik, Recht und „Umwelt" gilt es generell und in konkreten Teilbereichen aufzudecken, da aktiver Handlungs- und Gestaltungsbedarf offensichtlich ist.

Durch das Symposium wurden wesentliche (qualitative und/oder quantitative) Merkmale des Technologiewandels der Gegenwart in ihren Beziehungen zur Wissensgesellschaft herausgearbeitet. Das betrifft sowohl globale Menschheitsprobleme (Ernährung, Gesundheit, Klima, Energiewechsel, Bildung, Kommunikation u.a.) als auch konkrete Vorgangs- und/oder Produkttechnologien. Diese Bestandsaufnahmen führten zu Einsichten in Einflüsse und Wechselwirkungen der oben genannten Wohlstandsvoraussetzungen, aus denen wiederum Zukunftsprioritäten abgeleitet wurden.

Am 9. Oktober 2014, d.h. am Vortag des Symposiums, wurden – sozusagen als dessen „Prolog", weil bereits mit Blick auf das Symposium – in der Sitzung der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften (gemeinsam mit der Klasse Sozial- und Geisteswissenschaften) der Leibniz-Sozietät Vorträge von Gerhard Banse und Lutz-Günther Fleischer unter dem gemeinsamen Rahmenthema „Theoria cum praxi et commune bonum: Technik und Technologie" gehalten und diskutiert. Die darauf basierenden Beiträge wurden in diesen „Protokollband" aufgenommen und sind – sowohl dem übergreifenden inhaltlichen Anspruch als auch der chronologischen Abfolge entsprechend – den Symposiums-Beiträgen vorangestellt.

***

Ausgangspunkt für *Gerhard Banse* in „Technikverständnis – eine endlose Geschichte..." ist die Feststellung, dass trotz (oder wegen?) der Vielgestaltigkeit, der Ubiquität und der Wirkmächtigkeit von Technik in der mensch-

lichen bzw. für die menschliche Gesellschaft Technik auch in wissenschaftlichen Reflexionen häufig nicht angemessen erfasst bzw. dargestellt wird. Das zeigt sich etwa in solchen Aussagen wie „Technik ist angewandte Naturwissenschaften“ oder der Reduktion von Technik allein auf Sachtechnik („Arte-Fakte“). Gegen derartige „Engführungen“ wird im Beitrag argumentiert. Denn: Es gibt in der (insbesondere technikphilosophischen, -historischen und -soziologischen) Literatur zahllose Bemühungen, um Technik und Technologie eingehender zu erkennen. Mittels wissenschaftshistorischer und -systematischen Gesichtspunkte wird deutlich gemacht, dass Technik auf technischem Wissen (Erfahrung) sowie Wissenselementen vor allem der Technikwissenschaften, aber auch der Natur-, Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften beruht. Vereinseitigende oder „reduktionistische“ Auffassungen wie die genannten werden weder der Vielgestaltigkeit und Differenziertheit der Technik noch ihrem Platz in der „Lebenswelt“ gerecht.

Im Beitrag „Technologie – techné und epistémé“ von *Lutz-Günther Fleischer* wird Technologie in ihrer dialektischen Einheit von techné und epistémé (Aristoteles), von Ontologischem und Kognitivem als Dualität praxisorientierter, objektiv-realer Prozess-Systeme (Sachsysteme) und erkenntnisorientierter, akkumulierender und systematisierender Wissens-Systeme (Theoriensysteme) diskutiert. Technologien generieren und manifestieren generell funktionale Strukturen (Ordnungen) und schaffen Gebrauchswerte; sie bedürfen für ihre Entwicklung, das Betreiben und Analysieren zwingend der Inter- und Transdisziplinarität und prägen sie zudem praktisch sowie theoretisch aus. Ihre elementare Basis bilden Kompetenzen, Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten sowie Einstellungen und Wertvorstellungen. In der Sachebene subsumiert der Oberbegriff Technologie das effiziente Gestalten, Verrichten und Beherrschen zielgerichteter menschlicher Handlungen in kooperativen (Arbeits-)Prozessen auf individuellem, handwerklichem, manufakturellem oder industriellem Niveau mit originären oder hinzugezogenen (eigens dafür geschaffenen) Assistiven. Er umfasst das organisierte und optimierte, unmittelbare oder mittelbare, finale, Zusammenwirken des Menschen mit relativ souveränen Subsystemen: Artefakten und/oder operationellen Agentia (Stoffen, Energien, Informationen aller Art): der artefaktischen und „maschinenlosen“ Technik – Arbeitsmitteln zur effektiv gestalteten und effizient zu vollziehenden, systematischen Veränderung von Stoffen, Energien, Informationen oder anderen komplexen Entitäten aus der Tatsachen- und/oder Vorstellungswelt (Arbeitsgegenständen) in ihren räumlichen Positionen, in den Zeitkoordinaten, ihrer (äußeren) Form und Gestalt und/oder ihrer (inneren) Qualität (Konversion/Transformationen).

Gerhard Banse und *Ernst-Otto Reher* gehen in ihrem das Symposium einleitenden Überblicksbeitrag auf den „Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen –“ ein. Dabei vertreten sie folgende Thesen:

- Die Quellen des Wohlstands im 21. Jh. werden im Wesentlichen durch Wissen (Können, Machen), Rohstoffe sowie Energien, die zu konvergenten Technologien und Metawissenschaften durch Inter- und Transdisziplinarität führen, bestimmt.
- Durch das erhöhte Potenzial an Wissenschaftlern und Ingenieuren wird ein Anstieg der gesamten technologischen Prozesse in der Qualität und Quantität erreicht, und zwar im gesamten Reproduktionsprozess. Es entsteht die „gläserne Anlage, Fabrik“ im produzierenden Bereich und im Dienstleistungsbereich.
- Dienstleistungstechnologien werden in der Zukunft weiter in der Beschäftigungsmenge der Werktätigen ansteigen (85%). Sie müssen in der Wissensgesellschaft weiter gefördert werden (Bildung, Studium, Arbeitsplätze, soziale Förderung u.v.m.).
- Viele Einzelwissenschaften orientieren (öffnen) sich auf (für) die Technologie und bilden die konvergenten Technologien (z.B. NBIC), um erfolgreich zu sein. Durch diese Technologien entstehen multifunktionale, intelligente Produkte, z.B. Prothesen, Organe, Werkstoffstrukturen, Sensoren, Computer u.v.m.
- Der Übergang von der Industriegesellschaft zur Wissensgesellschaft berührt alle Lebensbereiche der Menschen und gestaltet die „gläserne Gesellschaft“. Für diese Gesellschaft bedarf es neuer rechtlicher und ethischer Restriktionen, wie die Handlungen der NSA und anderer Geheimdienste verdeutlicht haben.

Jede Technologie ist durch Ambivalenzen gekennzeichnet, die Chancen bieten, Gefahren bringen und Missbrauch ermöglichen.

Christian Kohlert stellt „Traditionelle Kalandertechnologie für High-Tech-Produkte“ vor. Das Kalandrieren von Papier und Kunststoffen ist eine alte Technologie, die sich im äußeren Schein nicht wesentlich entwickelt hat. Beim genaueren Betrachten fällt einem dann aber doch unendlicher technischer Fortschritt in Maschine und Technologie auf. Der Beitrag zeigt anfangs die Kompetenz der Firma Klöckner Pentaplast als weltgrößter Hartfolienkalandrierer für diese Technologie. Im weiteren wird die die damalige Entwicklung der Kalandertechnik und -technologie von den ersten mit Pfer-

dekraft betriebenen Glättkalandern um 1800 über die Trennung in Gummi- und Kunststoffkalander um 1930 mit der Entwicklung der PVC-Verarbeitung und den nachfolgenden mechanischen Entwicklungen der Kalandertechnik (periphergebohrte Walzen, Roll-Bending und Walzenschrägverstellung) bis zu den ersten Berechnungsmodellen zur Optimierung von Bombage und Dickenverlauf vorgestellt. Der Übergang zur heutigen Zeit um den Jahrhundertwechsel war gekennzeichnet durch eine starke Entwicklung der Inline-Messtechnik sowie von Automatisierungslösungen von der Dosierung bis hin zur Wickeltechnik. Das Morgen der Kalandertechnik wird eine verstärkte Veredlung der Folienoberflächen inline im Herstellungsprozess über Oberflächenbehandlung (Plasma) und Oberflächenbeschichtungen mit Hilfe der Nanotechnologie mit sich bringen. Damit werden Folieneigenschaften erzeugt, die eigentlich dem Polymer gar nicht zuzuschreiben sind wie Leitfähigkeit, Bedruckbarkeit oder UV-Stabilität. Durch die stagnierende PVC-Folienproduktion in den westlichen Industriestaaten werden neue Produkte für die existierenden Kalander entwickelt wie WPC (Holz-Polymer-Verbunde) und andere biologisch basierende bzw. abbaubare Polymere. Die Nutzung der Nanotechnologie über Aufsprühen von Nanosolen eröffnet ungeahnte Anwendungsmöglichkeiten der Kalandriertechnologie von aktiven Oberflächen (antimikrobiell, antikorrosiv, aromatisch, ...) über intelligente Oberflächen (Zeitindikator, Temperatur-Zeit-Indikator, elektrisch leuchtend, ...) bis hin zu speziellen Effekten wie Lotus-Effekt oder Fälschungssicherheit. Damit wird gezeigt, dass die hochproduktive Kalandriertechnologie auch im 21. Jh. einen Platz als Folienherstellungsprozess beibehält.

„Energietechnik und Energiewende“ ist die Thematik von *Wolfgang Fratzscher*. In der Energiewende wird mit aus physikalischer und technischer Sicht unscharfen und unvollständigen Begriffen gearbeitet. Das hat keine Konsequenzen, wenn der Nutzer trotz dieses Sachverhaltes die Begriffsinhalte richtig einordnen kann. Das ist aber bedenklich, wenn mit dieser Begriffswelt ökonomische und gar juristische Zusammenhänge abgeleitet und verfolgt werden. Das führt in der Energietechnik zur Verfolgung technisch unausgereifter Entwicklungen. So werden die mit der Energiewende zu verfolgenden Ziele durch überhöhte Kosten und durch eine Verminderung der Versorgungssicherheit gefährdet. Danach muss man sich wahrlich fragen, ob sich unsere technisch-technologische Umwelt noch in einer Wissensgesellschaft bewegt oder doch schon in einer Glaubensgesellschaft. Zu derartigen Problemen werden einige Anmerkungen, auch aus den bisherigen Erfahrungen heraus, im Vortrag gemacht.

Daran schließen sich Ausführungen von *Norbert Mertzsch* und *Ernst-Peter Jeremias* zu „Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung“ an. In der Jahrtausende währenden Entwicklung der Menschheit konnte der Mensch bis zur Mitte des 18. Jh.s zur Wärmeversorgung nur auf Einkommensenergie zurückgreifen – den nachwachsenden Rohstoff Holz. In den letzten 250 Jahren wurde die Wärmeversorgung durch Vermögensenergie – Torf, Kohle, Öl, Gas – dominiert. In den letzten Jahren entwickelt sich der Trend wieder hin zur Einkommensenergie. Dabei werden neben den nachwachsenden Rohstoffen Holz, Stroh und Schilf, auch als Biogas, auch direkt solare Wärme und Elektroenergie aus Überschüssen der Nutzung von Wind- und Solarenergie genutzt. Darüber hinaus wird die Nutzung von Umweltwärme und Abwärme zunehmen. Da insbesondere das Angebot und der Bedarf an solarer Wärme nicht übereinstimmen, ist die Entwicklung von effektiven und ausreichend dimensionierten Wärmespeichern von entscheidender Bedeutung für die Marktdurchdringung. Um die zukünftige Wärmeversorgung sicherzustellen, sind die technologischen Entwicklungen zur Nutzung und Speicherung von Einkommensenergie in bestehende Fernwärmenetze einzubinden. Dazu sind komplexe Maßnahmen, wie die Absenkung der Rücklauftemperatur und der hydraulische Abgleich der Fernwärmenetze für viele Einspeisepunkte nötig. Die Entwicklungen für Nahwärmenetze werden in die gleiche Richtung gehen. Für Einzelwärmeversorgungen von Gebäuden, die heute üblicherweise mit dem Vermögensenergieträger Erdgas betrieben werden, wird die Einbindung von Solarwärme und Umweltwärme zunehmen. Bei Betrieb einer Photovoltaikanlage wird der Trend zur Nutzung von Überschüssen an Elektroenergie für die Wärmeversorgung, neben dem Betrieb von Batteriespeichern, gehen. Die bestmögliche Nutzung der Einkommensenergie bieten aber Nah- und Fernwärmenetze. Die rahmenrechtlichen Bedingungen sind für die Durchsetzung dieses technologischen Fortschritts im Elektroenergie- und Wärmemarkt von entscheidender Bedeutung.

Dieter Seeliger beschreibt einige „Qualitative und quantitative Fortschritte bei der praktischen Nutzung von Nanotechnologie in der Energieumwandlung“. Die rasante Entwicklung in den vergangenen Jahren, die bis in die Gegenwart reicht und voraussichtlich weiter anhalten wird, führte die Nanotechnologie in die erste Reihe der großen technologischen Entwicklungslinien, welche den Umbau zur Wissensgesellschaft prägen. Auch dieses Gebiet lässt sich nicht auf seine ökonomischen und technologischen Aspekte reduzieren, sondern betrifft neben interdisziplinärer Wissenschaft gleichermaßen Aspekte von Umwelt, Gesundheit, Bildung sowie Recht und greift

damit in viele Bereiche der Gesellschaft ein. Es ist gekennzeichnet durch alle Merkmale von Ambivalenzen, wie sie bereits auf dem 4. Symposium des Arbeitskreises „Allgemeine Technologie“ für unterschiedliche Gebiete des technologischen Fortschritts herausgearbeitet wurden (vgl. Banse/Reher 2011). Eine physikalische Ursache für ihre besonderen technologischen Eigenschaften geht darauf zurück, dass die Nanotechnologie in Längenskalen vorstößt, bei denen Oberflächeneigenschaften gegenüber den Volumeneigenschaften von Festkörperstrukturen in den Vordergrund treten oder sogar dominieren. Dabei gewinnen spezifische quantenphysikalische und -chemische Effekte eine zunehmende Bedeutung, ebenso wie das bei der weiteren Miniaturisierung der Computertechnik der Fall ist. Neue Erkenntnisse der Quantenphysik und -chemie schlagen schnell um in neue technologische Prozesse mit weitreichenden praktischen Anwendungen – ein Merkmal der modernen Wissensgesellschaft. Der Zusammenhang zwischen Nanotechnologie und Energiewandel durch Übergang zu nachhaltigen und erneuerbaren Energiequellen wird Anhand von praktischen Anwendungen – für die Gebiete Wasserstoffspeicherung, Brennstoffzellen und Photovoltaik – beispielhaft beleuchtet, mit kurzer Charakterisierung deren Auswirkung auf andere Bereiche der Gesellschaft. Ergänzend werden auch potenzielle Anwendungsgebiete skizziert, die aus heutiger Sicht als visionär zu bezeichnen sind oder die sich noch in der Phase einer wissenschaftlichen Konsolidierung befinden – hierzu zählen die molekulare Nanotechnologie und Quantenreaktionen in nanoskaligen Festkörperstrukturen. Der Beitrag schließt mit dem Bezug zur Thematik des Symposiums, indem der Zusammenhang zwischen den Fortschritten bei der wissenschaftlichen Erkundung und praktischen Implementierung von Nanotechnologie als einem tragenden Element der Wissensgesellschaft und der künftigen Entwicklung der menschlichen Gesellschaft insgesamt hergestellt wird, insbesondere hinsichtlich des angestrebten Energiewandels, der Umweltverträglichkeit, Nachhaltigkeit durch Ökonomie der verfügbaren Rohstoffe und Ressourcen sowie der materiellen Absicherung der Bedürfnisse einer weltweit wachsenden Menschheit, inklusive ihres wachsenden Nahrungsmittel- und Energiebedarfs.

Mit dem Beitrag „Hoch effiziente Maschinensysteme für die individualisierte Massenproduktion“ von *Horst Goldhahn* und *Jens-Peter Majschak* wird der Energiebereich verlassen und zu Fertigungs- bzw. Produkttechnologien übergegangen, wobei zunächst Verarbeitungsmaschinen ins Zentrum der Darlegungen rücken. Verarbeitungsmaschinen stellen aus Natur- und Kunststoffen Massenbedarfsgüter für den täglichen Konsum mit hoher Produktivität

her. Die Stellung von Verarbeitungsmaschinen in der Wertschöpfungskette führt insbesondere im Haupteinsatzgebiet der Lebensmittelverarbeitung und -verpackung dazu, dass sich in ihnen komplexe Stoff-, Energie- und Informationsströme kreuzen, weil Stoffe biogener Herkunft in mechatronischen Systemen effizient zu sicheren Produkten verarbeitet werden müssen. Der Trend zu individuell gestalteten Produkten führt zunehmend zur informationellen Verknüpfung von Bestell-, Produktions-, Auslieferungs- und Abrechnungsprozessen. Durch die breit gefächerten Eigenschaften der zu verarbeitenden Roh- und Hilfsstoffe und die komplexen innermaschinellen Verfahren sowie durch die hygienischen Anforderungen an das verkaufsfähige Endprodukt ergeben sich besondere Bedingungen für Steuerung, Informationsverarbeitung und Gestaltung. Mit der Entwicklung von Verarbeitungsmaschinen von genialen mechanischen Einzellösungen zu standardisierten hochflexiblen und hoch effizienten modularen Systemen haben sich die Anforderungen an die Entwickler, Methoden und Werkzeuge deutlich verändert. Die besonderen Herausforderungen der gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklung liegen in

- einer neuen globalen Arbeitsteilung;
- neuen Möglichkeiten und Anforderungen bezüglich des Umgangs mit Ressourcen;
- individualisierter Massenproduktion: Flexibilität versus Effizienz;
- Produktsicherheit in volatilen Wertschöpfungsketten;
- grundlegend neuen Konzepten für die Mensch-Maschine-Interaktion versus Substitution menschlicher Bediener;
- neuen Methoden und Werkzeugen interdisziplinären Entwickelns;
- der Ausbildung interdisziplinär agierender Fachkräfte ohne Verlust wichtiger Kernkompetenzen.

Peter Schwarz analysiert den Zusammenhang von „Technologiewandel und Nachhaltigkeit beim Übergang von der Industrie- zur Wissensgesellschaft“. Dieser Übergang erfasst alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens – die Gesellschaft selbst, die Konsumenten, die Wirtschaft, die Technologie, die globalisierte Welt und die Umwelt –, hat eine hohe Veränderungskraft und ist durch Groß- oder Megatrends mit globaler Wirkung verbunden. Technologiewandel und Wissensmanagement spiegeln zum einen die Evolution des Menschen und zum anderen die Entwicklung der modernen Natur- und Technikwissenschaften wider. Der Technologiewandel ist sowohl eine Folge des wissenschaftlich-technischen Fortschritts wie dessen Motor und lässt sich

auch als Natur- und Zeitproblem darstellen (Zusammenhang von Nachhaltigkeit und Technologiewandel). Der Begriff der Nachhaltigkeit ist trotz aller Probleme in seinem bzw. für seinen Gebrauch eine Orientierung für die laufende Diskussion. – Generell wird deutlich:

- Das 21. Jh. ist charakterisiert durch den Übergang der Industriegesellschaft zu der sich entwickelnden Wissensgesellschaft.
- Die Entwicklungsdynamik der Industriestaaten zu den Entwicklungs- und Schwellenländern unterscheidet sich stark.
- Technologiewandel und Wissensmanagement stehen im direkten Zusammenhang zur Evolution des Menschen und der Entwicklung der Natur- und Technikwissenschaften.
- Die Beachtung der Nachhaltigkeit ist eine Voraussetzung für eine dauerhafte Entwicklung der Menschheit.

In den folgenden zwei Beiträgen wird auf spezielle technische Entwicklungen eingegangen. Zunächst erläutert *Johannes Briesovsky* Möglichkeiten der „Technologischen Prozessintensivierung durch resonante Pulsationen“. Die Resonanzpulsationstechnik (RPT) ist ein radikal innovatives Prinzip für die Verbesserung verfahrenstechnischer Prozesse und Apparate im Sinne der Prozess-Intensivierung (PI). Das Fluid bzw. der fluidisierbare Stoff (z.B. Pulver) werden als Fluidsäule zu Eigenschwingungen (Resonanz) im Infraschallfrequenzbereich erregt. Die Infraschallwellen verbreiten sich mit Schallgeschwindigkeit als Druck- und Geschwindigkeitsänderung durch das Fluid. Diese und andere Effekte (Annular-Effekt) bewirken radikale Prozessverbesserungen. Die RPT wurde erstmalig von Baird 1965 (GB 1 106 453) beschrieben und von Ostrovsky, Sankt Petersburg, Russland, insbesondere für Pulver entwickelt. Da die Pulsation ohne mechanisch angetriebene Ein- und Anbauten (Rührer, Vibratoren, Rüttler, Schüttler) erreicht wird, erfolgt eine medienschonende und energiesparende Fahrweise. Einsatzbereiche sind vorzugsweise Flüssigphasenprozesse mit Grenzflächen und Wänden sowie die Pulverbehandlung. Beispielhaft wird über die Prozesse der Flüssigkeitsbelüftung, der Pulvertrocknung und der Querstromfiltration berichtet. Bei der Belüftung von Reinwasser wurden im Vergleich zur Blasensäulenbelüftung Steigerungen des Luftsauerstoffeintragskoeffizienten von bis zu 1.000% erreicht, was auf der Verkleinerung und der Vergleichmäßigung der Blasengrößen sowie der Grenzschichterneuerung beruht. Bei der Bleicherde-Trocknung in der Wirbelschicht wurde ein höherer Wärmeübergangskoeffizient zur Wand bei einem Lufteintrag von 10% der üblichen Wirbelschicht

festgestellt. Bei der Querstromfiltration von Bier wurde ein hoher Flux erreicht. Dabei wurde die Überströmgeschwindigkeit von ca. 5 m/s auf 0,1 m/s gesenkt.

Danach geht *Hans-Joachim Laabs* der Frage nach: „Ist der 3D-Drucker die „Dampfmaschine“ der digitalen Revolution oder eine überschätzte Innovation?“ Vor 30 Jahren erfand Chuck Hull den 3D-Drucker in der Technologie der Stereolithografie. Bald kamen andere Technologien hinzu. Momentan werden drei Gruppen unterschieden: Gedruckt wird (1) durch das Auftragen einer Schmelze, die sofort erstarrt, (2) durch das Auftragen von Flüssigkeiten, die zum Erstarren gebracht werden und (3) durch das Sintern von Pulvern. Es gibt darüber hinaus Erweiterungen und Kombinationen. Die Palette der gedruckten Materialien wird immer größer, starrer und elastischer Kunststoff, Metalle wie Edelstahl, Keramik und Beton, Holz und Schokolade gehören auf jeden Fall schon dazu. Das 3D-Drucken hat tatsächlich etwas mit dem Drucken zu tun, wie wir es bisher kennen. Statt Tinte oder Toner werden nun voluminösere Materialien mit unterschiedlichen Gebrauchseigenschaften aufgetragen. Der Druckauftrag selbst kommt aus dem Computerprogramm mit der technischen Zeichnung. Ist die erste xy-Ebene gedruckt, fährt der Druckkopf oder das Werkstück um die Dicke des Gedruckten in die z-Richtung nach oben beziehungsweise nach unten. Nun wird die zweite Ebene gedruckt. Das wiederholt sich Schicht für Schicht, bis das 3D-Bild vollständig vergegenständlicht vorliegt. Beim 3D-Drucken handelt es sich im Gegensatz zu den klassischen Fertigungsverfahren des Fräsens, Drehens oder Bohrens, bei denen von einem Rohmaterial Material zur Herstellung des Endprodukts entfernt wird, um ein additives Fertigungsverfahren. Hier schon über den möglichen Energie- und Materialeinsatz zu mutmaßen, wäre noch zu früh. Gesichert aber ist, dass mit dem 3D-Druck komplexe und bizarre Formen gestaltbar sind, an die klassisch gar nicht zu denken war. Mittlerweile gibt es auch in der Öffentlichkeit einen regelrechten Run auf die 3D-Drucktechnik. Das hat u.a. damit zu tun, dass auslaufende Patente und nutzerfreundlichere wie leistungsfähigere Computer die Open Source Welt mit der Aussicht nach individueller und demokratischer Produktion mobilisiert hat. Es sind aber auch die unübersehbaren Erfolge in der Industrie, die wirtschaftliche Vorteile und die Produktion im eigenen Land in Aussicht stellen und völlig neue Dienstleistungen aus dem Boden schießen lassen. Das erklärt schließlich auch eine wachsende Investitionsbereitschaft aus privater und öffentlicher Hand. Im Gegensatz zur Dampfmaschine, die ihr Wirken mit der Erfindung von Thomas New-

comen vor über 300 Jahren begann, ist für den 3D-Drucker ein solch repräsentativer Rückblick noch nicht möglich. Auch die Zukunftsforschung bedient uns hier nicht großzügig mit Voraussagen. Aber schon das Erreichte bekräftigt mich in der Grundannahme, dass für Mensch und Umwelt weit mehr in Aussicht steht als die fast täglich sich überschlagenden Meldungen über Einsatzmöglichkeiten vermuten lassen.

Die abschließenden zwei Beiträge – eigentlich nur ein Beitrag mit zwei unterschiedlichen Perspektiven! – führen Überlegungen weiter, die im Zusammenhang einer anderen Publikation begonnen wurden (vgl. Grimmeiss 2014; Langhoff/Junghans 2014), zur „Verbindung von Wissenschaft und Gesellschaft – eine Voraussetzung zur Lösung des Europäischen Paradoxons". Zuerst reflektiert *Hermann Grimmeiss* die „Sicht des Wissenschaftlers". Nach sieben europäischen Rahmenprogrammen und der Gründung von mehr als 1.000 europäischen Forschungsinfrastrukturen wurde es immer noch nicht geschafft, eine der größten Schwächen Europas zu überwinden, nämlich das Europäische Paradox. Der Begriff „Europäisches Paradox" bezieht sich auf die Tatsache, dass wir in Europa zwar hervorragende Forschung betreiben, aber nicht in der Lage sind, die sich daraus ergebenden Erkenntnisse in neue Produkte zu überführen. Gegenwärtig werden nur 15% der innovativen Produkte weltweit in Europa hergestellt. Eine Verringerung der europäischen Konkurrenzkraft auf dem globalen Industriemarkt führt zu einer Abnahme der Staatseinnahmen und somit zu unfreundlichen Problemen für die akademische Forschung, weil der größte Teil der öffentlichen Forschung mit Steuergeldern bezahlt wird. Für die Wissenschaftsgesellschaft ist es jedoch zu einfach, die Schuld für das Europäische Paradox auf das Erziehungssystem, die Medien oder die politischen Entscheidungsträger zu schieben. Aber indem die Wissenschaftsgesellschaft dies tut, vergisst sie eine wichtige Komponente, nämlich dass wir als Wissenschaftler die Verantwortung haben, unser Wissen nicht nur mit uns, sondern auch mit der Öffentlichkeit und insbesondere den politischen Entscheidungsträgern zu teilen. Im Beitrag werden nach einem kurzen Überblick über die Schwächen der europäischen Forschungsinfrastruktur bezüglich Fragmentierung, Ineffektivität, Transparenz, Priorisierung und Lobbyismus Vorschläge unterbereitet, wie die Wissenschaftsgesellschaft und insbesondere die Leibniz-Sozietät als unverzichtbare Quelle für die Produktivitätsentwicklung in allen Bereichen zum Nutzen und Wohle der europäischen Forschung und Wissenschaft eine besondere Verantwortung übernehmen könnte, den Dialog mit den politischen Entscheidungsträgern und der Gesellschaft entscheidend zu verbessern.

Anschließend erläutert *Bernd Junghans* die „Sicht des Unternehmers". Die Aufwendungen für die Erfindung und Erforschung neuer Technologien sind in Europa hoch, die Ergebnisse in Form von Entdeckungen und Patenten sind ebenfalls beeindruckend. Bei der Umsetzung dieser Ideen in produktionswirksame Innovationen ist Europa jedoch gegenüber Asien und den USA schmerzlich ins Hintertreffen geraten. Grimmeiss nennt dies das europäische Paradoxon und analysiert die europäischen Schwächen aus Sicht eines Wissenschaftlers. Aus Sicht eines Unternehmers stellt sich diese Innovationsschwäche als ein Mangel an innovationsfördernden wirtschafts- und finanzpolitischen Rahmenbedingungen dar. Einerseits sind für High-Tech Start-ups die Finanzierungsbedingungen in der EU erheblich schlechter als in den USA. Insbesondere VC-Finanzierungen sind für anspruchsvolle Projekte (Medizin, Mikroelektronik u.a.) in Europa kaum möglich. Die Unterstützung durch Banken und staatliche Förderprogramme ist nicht nur bürokratisch kontraproduktiv sondern auch strukturell ungenügend. Andererseits fehlt den Start-ups ebenso wie auch den großen Unternehmen die Planungssicherheit für größere Investitionen auf dem High-Tech-Gebiet, da es im Gegensatz zu Asien und – neuerdings auch wieder – den USA keine mit der Forschungspolitik abgestimmte Wirtschaftspolitik in der EU gibt. Hoffnungsvolle Ansätze für eine in die Zukunft weisende Wirtschaftspolitik gibt es seit vergangenem Jahr durch die Initiative der EU-Kommissarin Neelie Kroes, die eine neue Strategie unter dem Namen „A European strategy for micro- und nanoelectronic components and systems" auf den Weg gebracht hat, die erstmals nicht nur Forschungs- und Entwicklungsziele definiert, sondern auch den Aufbau der zugehörigen Produktionsbasis zum Ziel hat. Konsequent ausgestaltet kann dieses Vorhaben einen wichtigen Beitrag zur Auflösung des europäischen Paradoxons leisten.

Abschließend wird von *Ernst-Otto Reher* und *Gerhard Banse* im „Schlusswort und Ausblick" einerseits resümiert, wie sich die Technologie-Evolution in der Wissensgesellschaft vollzieht, indem vor allem auf folgende Merkmale verwiesen wurde: Miniaturisierung, steigende Komplexität der Systeme, zunehmende Durchdringung von technischen Systemen mit Informations- und Kommunikationstechnologie, „Verschränkung" von Biotischem mit Technischem sowie rasche Entwicklung und umfassende Nutzung der Kommunikationstechnologien in allen gesellschaftlichen Sphären. Andererseits wurden als „Ausblick" folgende Anregungen gegeben:

- In Fortführung der Auseinandersetzung mit der Wissensgesellschaft sollte angeregt werden, in der Leibniz-Sozietät die Diskussionen zu dem Thema zu vertiefen.
- Für das Jahr 2016 könnte das Thema des 7. Symposiums lauten: „Ressourcenschonende technologische Prozesse und Ausrüstungen – ein Beitrag zur Nachhaltigkeit“.
- Wünschenswert ist, eine zweite, erweiterte (bzw. veränderte) Auflage der „Beiträge zur Allgemeinen Technologie“ (vgl. Banse/Reher 2014) zu erarbeiten.

***

Dieser Band wäre nicht zustande gekommen, wenn die Autoren nicht bereit gewesen wären, den zahlreichen Wünschen der Herausgeber – z.B. hinsichtlich Terminstellung, Manuskriptumfang, Präzisierungen – nachzukommen. Dafür herzlicher Dank. Unser Dank gilt auch Herrn Georg B. Kaiser, Hohen Neuendorf, bei dem die „formale“ Vereinheitlichung und Gestaltung dieses Bandes in besten Händen lag. Last but not least sind die Herausgeber sowohl der *Rosa- Luxemburg-Stiftung – Gesellschaftsanalyse und politische Bildung e.V.*, Berlin, als auch der *Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung* zu Dank verpflichtet, ohne deren finanzielle Unterstützung einerseits das Symposium, aus dem diese Publikation hervorgegangen ist, nicht hätte durchgeführt werden können, andererseits der Druck dieses „Protokollbandes“ nicht möglich gewesen wäre.

Literatur

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2002): Allgemeine Technologie – Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 50, 2001, H. 7)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2004): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2008): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2011): Ambivalenzen von Technologien. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 112)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2013): Technik – Sicherheit – Techniksicherheit. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 116)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2014): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)

Grimmeiss, H. (2014): Innovation and European Research Infrastructures. Weaknesses of the European Research Area. In: Banse, G.; Grimmeiss, H. (Hg.): Wissenschaft – Innovation – Technologie. Berlin, S. 389-398 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 37)

Langhoff, N.; Junghans, B. (2014): Wissenschaft als Dienstleistung. In: Banse, G.; Grimmeiss, H. (Hg.): Wissenschaft – Innovation – Technologie. Berlin, S. 377-387 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 37)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 19–34*

Gerhard Banse

Technikverständnis – Eine unendliche Geschichte...

Vortrag vor der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften (gemeinsam mit der Klasse Sozial- und Geisteswissenschaften) am 09. Oktober 2014

1 Vorbemerkungen

Das Nachfolgende kann nicht auf alle Aspekte eingehen, die mit dem Technikverständnis verbunden sind. Deshalb sind folgende drei Einschränkungen zu berücksichtigen:

(1) Es geht um Technik als Teil unserer Lebenswelt in einer mehr „statischen" Weise, d.h. nicht um die „Dynamik" des Technischen im Sinne von „Werden und Vergehen", „technischer Entwicklung", „Technikgenese", „technischer Evolution", „technischem Fortschritt, technischer Revolution", „technischer Onto-, Phylogenese" (vgl. dazu u.a. Banse 2004b, S. 41ff.).
(2) Es geht nicht um Technikwissenschaften (vgl. dazu u.a. Banse 2007, 2013; Banse et al. 2006; Ropohl 1998a).[1]
(3) Es ist die aktuelle (wie historische!) Vielgestaltigkeit von Technik zu berücksichtigen: Nanopartikel, mikromechanische Objekte, einfache Maschinenelemente, Geräte, Bauwerke, technische Anlagen, komplizierte chemische Synthesen, weltumspannende Informations- und Kommunikationsnetze; Konsumtions- und Produktions-Technik, ... (denn es besteht die Gefahr, dass vorschnell von einem Teilbereich der Technik auf das Ganze, das Technische, geschlossen wird).

2 Grundeinsichten

Will man sich dem Verständnis von Technik nähern, dann sind folgende Grundeinsichten zu berücksichtigen:

1 Vgl. auch den nachfolgenden Beitrag von *Lutz-Günther Fleischer* in diesem Band.

- Technik ist so alt wie die Menschheit selbst (vgl. z.B. Herrmann 1975).
- Technik ist eine wirkmächtige (geschichtsträchtige, gesellschaftsverändernde) Kraft (vgl. z.B. König 1991/92; Sonnemann 1978).
- Unsere Welt, unsere Kultur, unser Leben sind weitgehend technikbasiert. Es wird deshalb auch von einer „technischen Zivilisation“ oder einer „technischen Kultur“ gesprochen.[1]
- Technik ist alltäglich, selbstverständlich, allgegenwärtig (ubiquitär)! Das bedeutet auch eine weitgehende Abhängigkeit von diesen technischen Sachsystemen und Strukturen im „Guten“ wie im „Schlechten! Dieses Abhängigkeit zeigt sich ganz deutlich bei den so genannten „kritischen Infrastrukturen“ (vgl. aktuell z.B. Petermann et al. 2011). Diese „Allgegenwart“ des, die Abhängigkeit vom Technischen wird uns oft erst im Falle des Nicht-Funktionierens, des Versagens, der Havarie bewusst (im Unterschied etwa zur vorangehenden „tacit presence“), wenn unsere stereotypen und Routinehandlungen nicht (mehr) möglich sind, nicht das Ergebnis erbringen, das ansonsten mit ihnen erreicht werden kann.

Unter Berücksichtigung dieser Grundeinsichten kann davon ausgegangen werden, dass jeder Mensch (früher oder später) eine bestimmte Vorstellung von Technik hat, die (auch) auf beruflichen und privaten Erfahrungen im Umgang mit konkreten technischen Sachsystemen, auf Hoffnungen und Wünschen, auf Ängsten und Befürchtungen, auf Prognosen und Visionen, auf Akzeptanz bzw. Nichtakzeptanz usw. beruhen. Daraus formt sich dann ein sogenanntes „Technikbild“ (verstanden analog zu „Weltbild“ oder „Menschenbild“; vgl. z.B. Banse et al. 2002).

Jedoch: Wissen wir damit, was Technik *ist*? Es geht um die Unterscheidung von „bekannt“ und „erkannt“, über die Gottfried Wilhelm Friedrich Hegel in der „Vorrede: Vom wissenschaftlichen Erkennen“ zur „Phänomenologie des Geistes“ schrieb:

> „Das Bekannte überhaupt ist darum, weil es *bekannt* ist, *nicht erkannt*. Es ist die gewöhnlichste Selbsttäuschung wie Täuschung anderer, beim Erkennen etwas als bekannt vorauszusetzen, und es sich ebenso gefallen zu lassen“ (Hegel 1949, S. 28; H.d.V. – G.B.).

In den zurückliegenden Jahrzehnten gab es unzählige Bemühungen, die lebensweltlich *bekannte* „Technik“ wissenschaftlich zu *erkennen* (d.h. zu

1 Zum Zusammenhang von Technik und Kultur vgl. u.a. Banse 2010; Banse/Grunwald 2010; Hubig 1997; Ropohl 1991.

reflektieren). Genannt seien exemplarisch (einen weitergehenden Überblick bietet Hubig et al. 2013):

- Johann Beckmann: Entwurf der algemeinen Technologie. Göttingen 1806;
- August Koelle: System der Technik. Berlin 1822;
- Karl Marx: Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Bd. 1. Hamburg 1867 (vor allem Kapitel 13 „Maschinerie und große Industrie“);
- Thorstein Veblen: The Engineers and the Price System. Kitchener 1921;
- Manfred Schröter: Philosophie der Technik. München 1934;
- Friedrich Dessauer: Streit um die Technik (3. Aufl.). Frankfurt am Main 1956;
- Martin Heidegger: Die Technik und die Kehre. Pfullingen 1962;
- Hans Lenk; Simon Moser (Hg.): Techne – Technik – Technologie. Philosophische Perspektiven. Pullach b. München 1973;
- Gerhard Banse: Zur philosophischen Analyse der Herausbildung des wissenschaftlichen Technikverständnisses. Phil. Diss. (A). Humboldt-Universität zu Berlin 1974;
- Hans Sachsse: Anthropologie der Technik. Ein Beitrag zur Stellung des Menschen in der Welt. Braunschweig 1978;
- Horst Wolfgramm: Allgemeine Technologie. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten technologischer Systeme. Leipzig 1978 (^{2}1994ff.);
- Günter Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie. München/Wien 1979 (^{2}1999; ^{3}2009);
- Herbert Hörz: Philosophische Aspekte der Entwicklung von Technik und Technologie. Aus der Arbeit von Klassen und Plenum der AdW der DDR, Nr. 12/1985;
- Carl Mitcham: Thinking through Technology. The Path between Engineering and Philosophy. Chicago 1974;
- Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher (Hg.): Allgemeine Technologie. Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Berlin 2001 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 50);
- Günter Ropohl (Hg.): Erträge der Interdisziplinären Technikforschung. Eine Bilanz nach 20 Jahren. Berlin 2001;
- Klaus Kornwachs: Strukturen technologischen Wissens. Analytische Studien zu einer Wissenschaftstheorie der Technik. Berlin 2012.

Trotz dieser Vielzahl an Denkbemühungen gibt es nach wie vor zahlreiche „Engführungen“ (bzw. „Reduktionismen“) im Technikverständnis. Auf fol-

gende zwei soll näher eingegangen werden, da sie nach wie vor einflussreich in wissenschaftlichen wie lebensweltlichen Diskussionen sind:

1. Technik wird („nur"; „bloß") als angewandte Naturwissenschaft verstanden;
2. Technik wird nur als Gegenständliches („Arte-Fakte"; technische Sachsysteme; Realtechnik) verstanden.

3 Ist Technik angewandte Naturwissenschaft?

Hinter dieser Aussage steht erstens oftmals die Einschränkung auf „angewandtes Natur*wissen*" als Anwendung von Wissen über (be- bzw. erkannte) Zusammenhänge in der Natur. Selbstverständlich stellte und stellt allein die Kenntnis reproduzierbarer Effekte häufig die Grundlage für technische Neuerungen dar:

> „Die Technik geht ja nicht so vor, daß sie nur wissenschaftlich aufgeklärte Naturphänomene nutzt, sondern sie erfindet, probiert und arbeitet unbedenklich mit ihr nützlichen Wirkungen, auch wenn sie deren gesetzlichen Zusammenhang nicht kennt" (Rumpf 1973, S. 96).

Auf Dauer und effektiv jedoch kann nur auf der Basis (technik-)wissenschaftlicher Grundlagenforschung, die explizit erkenntnisorientiert ist, gezielt Neues entwickelt oder Bestehendes wesentlich verbessert werden. Es geht dann um (technik-)*wissenschaftliches* Wissen (vgl. zu relevanten Wissenstypen z.B. Banse 2004a; König 1995, S. 300f.; Ropohl 1998b; Ropohl 2009, S. 206ff., 279ff.). Dazu gehört selbstverständlich auch die „Transformation" und „Kombination" natur-, wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Wissensbestände in technisch verwertbare Formen, womit sowohl die Darstellungsweise (Kennlinien, Dia- und Nomogramme, Tabellen usw.) als auch der Bezug auf reale, komplexe Gegebenheiten (und nicht auf idealisierte Betrachtungen unter isolierenden Bedingungen, wie z.B. vielfach in der Physik) betroffen sind.

In der Aussage „Technik ist angewandte Naturwissenschaft" verbergen sich sodann folgende zwei „Unterprobleme" bzw. folgende zwei weiterführende Fragestellungen:

(a) Was bedeutet eine Reduzierung (eigentlich nur) auf „Naturwissen"?
(b) Was bedeutet („meint") in diesem Zusammenhang „Anwendung"?

3.1 Warum (nur) „Naturwissen"?

Selbstverständlich ist naturwissenschaftliches Wissen eine wesentliche Grundlage sowohl für das Verständnis als auch für die Gestaltung technischer Sachsysteme ist, aber es geht um spezifische Kombinationen naturgesetzlicher Möglichkeiten entsprechend gesellschaftlichen Zielstellungen, Erfordernissen, Vorgaben und Bedürfnissen. (Diese spezifischen Kombinationen erfolgen im Spannungsfeld von naturgesetzlich Möglichem, technisch-technologisch Realisierbarem, ökonomisch Machbarem, ökologisch Sinnvollem, gesellschaftlich Wünschenswertem und Durchsetzbarem und human Vertretbarem, worauf im Zusammenhang mit Technikbewertung bzw. Technikfolgenabschätzung noch kurz eingegangen wird). Diese durch menschliche Eingriffe faktisch „erzwungenen" Kombinationen sind durch charakteristische Strukturen im Aufbau des technischen Systems wie durch entsprechende (äußere) Funktionen gekennzeichnet, die zwar letztlich naturgesetzlich determiniert sind, aber im Rahmen des naturwissenschaftlichen Wissens weder hinreichend noch umfassend erklärt oder gar bewertet werden können. Dazu sind weitere Wissensanteile erforderlich, die nicht durch Naturwissenschaften generiert werden können, sondern etwa durch die Technik-, die Wirtschafts-, die Sozial- oder die Arbeitswissenschaften.[2] Das sei hier einerseits lediglich durch zwei Zitate belegt:

> „Allein, wer nur mit allgemeinen Prinzipien ausgerüstet die praktische Arena betritt, gleicht einem Schiffe, das zwar mit einem Steuerruder, aber weder mit Segelwerk noch mit einer treibenden Maschine versehen ist. Der Erfolg der Fahrt ist nicht zweifelhaft. Mit den Prinzipien der Mechanik erfindet man keine Maschine, denn dazu gehört, nebst dem Erfindungstalent, eine genaue Kenntnis des mechanischen Prozesses, welchem die Maschine dienen soll. Mit den Prinzipien der Mechanik bringt man keinen Entwurf einer Maschine zu Stande, denn dazu gehört *Zusammensetzungssinn, Anordnungssinn* und Formensinn. Mit den Prinzipien der Mechanik kann man keine Maschine wirklich ausführen, denn dazu gehören *praktische Kenntnisse* der zu verarbeitenden Materialien und eine Gewandtheit in der Handhabung der Werkzeuge und Behandlung der Hülfsmaschinen. Mit den Prinzipien der Mechanik betreibt man kein industrielles Geschäft, denn dazu gehört eine charakterkräftige Persönlichkeit und gehören *commercielle Geschäftskenntnisse*" (Redtenbacher 1856, S. Vf.; H.d.V. – G.B.).[3]

---

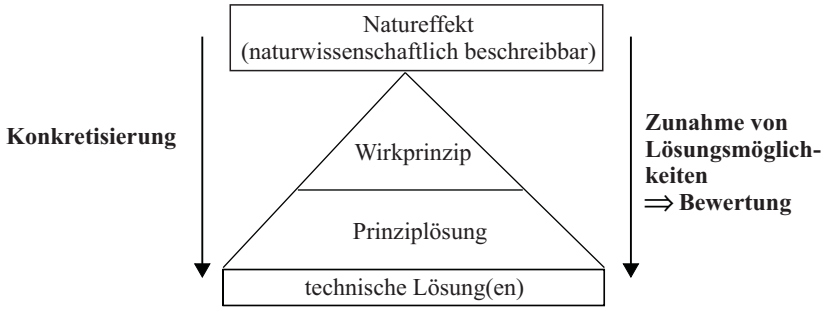
2 Damit wird auf ein sogenanntes „multiperspektivisches" Technikverständnis mit naturalen, humanen und sozialen Aspekten verwiesen, worauf hier nicht weiter eingegangen werden kann (vgl. aber z.B. die Abbildungen 1a und 1b in Banse 2004b, S. 38).

3 Ferdinand Redtenbacher (1809-1863) war ab 1854 Direktor der Technischen Hochschule (Polytechnische Hochschule) Karlsruhe.

> Unter Technik wird eine „historisch bestimmte Gesamtheit der Gegenstände und Prozesse, die die Menschen aufgrund ihrer Bedürfnisse, der objektiv gegebenen Möglichkeiten und der vorliegenden Erkenntnisse bzw. Erfahrungen in einer solchen nicht unmittelbar vorgefundenen *Kombination, Bemessung, Gestalt* bzw. *Form* setzen und ständig reproduzieren, daß die Eigenschaften dieser Gegenstände bzw. diese Prozesse unter bestimmten Bedingungen als Mittel bzw. Verfahren eingesetzt, *menschlichen Zwecken gemäß* wirken“ (Müller 1990, S. 4; H.d.V. – G.B.).

Andererseits zeigen die folgenden Abbildungen 1 und 2 den Weg vom (abstrakten, naturwissenschaftlich beschreibbaren) Natureffekt über das naturwissenschaftliche Wirkprinzip und die technische Prinziplösung zu (konkreten) technischen Lösungen erstens als Zunahme (Vielfalt) und zweitens als Ausschluss von (Lösungs-)Möglichkeiten: Erstens gibt es – bedingt durch unterschiedliche vorgegebene gesellschaftlichen Zielstellungen, Erfordernissen, Vorgaben und Bedürfnissen – zahlreiche realisierbare Kombinationen.[4] Zweitens ist ein (einzelnes) technisches Sachsystem stets konkret, mit einer bestimmten Spezifikation.[5] In beiden Sichtweisen sind Bewertungen untrennbarer Teil – und die Bewertungskriterien kommen nicht nur aus dem naturwissenschaftlich relevanten Bereich.

Abbildung 1: Vom naturalen Effekt zu technischen Lösungen

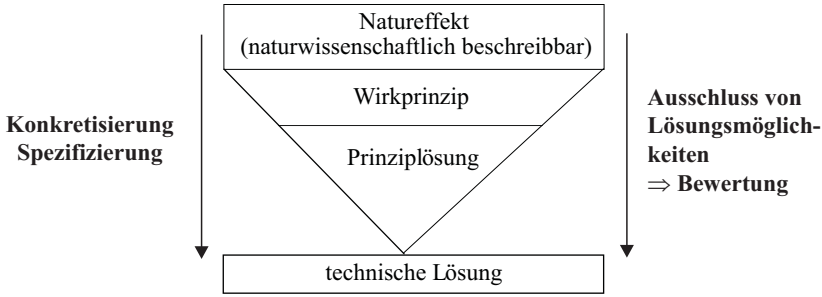


Quelle: verändert nach Meck 1979, S. 588

4 Wenn etwa 6 Elemente mit jeweils 3 möglichen Variationen zu technischen Sachsystemen kombiniert werden, ergeben sich (theoretisch) 36 = 729 unterschiedliche Systemvarianten! – Man denke sich das etwa bei einem Auto, z.B.: (1) Benzinmotor, Dieselmotor, Elektromotor; (2) Vorderachs-, Hinterachs-, Allradantrieb; (3) Limousine, Coupé, Kombi; (4) Schalt-, Automatik-, kombiniertes Getriebe; (5) Standard-, gehobene, Top-Ausstattung; (6) mit Reserverad, mit Notrad, mit Pannen-Set.

5 Das in der vorstehenden Fußnote genannte Beispiel nutzend bedeutet das, dass jedes konkrete Auto (genau) *eine* bestimmte Kombination dieser 729 möglichen Varianten ist.

Abbildung 2: Vom naturalen Effekt zur (konkreten) technischen Lösung



Eigene Darstellung in Anlehnung an Meck 1979, S. 588

Aus den vorstehenden Ausführungen ist zu schlussfolgern, dass die Aussage „Technik ist angewandte Naturwissenschaft“ zweifach kurzschlüssig ist. Das betrifft sowohl die Wissensbasis (Technik basiert nicht nur auf *wissenschaftlichem* Wissen) als auch die disziplinäre Basis (Technik basiert nicht nur auf *Natur*wissenschaften).

3.2 Was „meint“ Anwendung?

Die Verwendung des Wortes „Anwendung“ verdeckt die Tatsache, dass das „Nutzen“ von (natur-, sozial-, wirtschafts- u.a. -wissenschaftlichen) Wissen für das Lösen technikrelevanter Probleme bzw. die (gedankliche) Erzeugung und Herstellung technischer Lösungen (etwa in Form neuer technischer Sachsysteme) *kein einfacher und trivialer*, sondern ein *komplexer und kreativer*, zumeist Geld, Zeit und weitere Ressourcen erfordernder Prozess ist. Belege dafür können aus zahlreichen unterschiedlichen Bereichen erbracht werden, hier sei lediglich auf sechs verwiesen:

(1) *Geschichte der Technik*: Beispiele sind etwa die Entwicklung des Dieselmotors (vgl. Diesel 1913; Knie 1991; Sittauer 1978)[6] oder – aktuell – die technische Beherrschung der Kernfusion[7] (vgl. auch Seeliger 2014).

6 Im Jahre 1878 hatte Rudolf Diesel (1858–1913) während einer Vorlesung bei Carl von Linde (1842–1934) „Studieren, ob es nicht möglich ist, die Isotherme praktisch zu verwirklichen!“ am Rande seines Kollegheftes notiert (vgl. Sittauer 1978, S. 55); erst am 10. August 1893 lief der erste Prototyp dieses neuen Motors und erst 1897 war das erste funktionstüchtige Modell dieses Motors fertig, die Motorenfertigung begann ein Jahr später.

7 „Voll funktionsfähige Reaktoren, in denen eine Fusionsreaktion im Dauerbetrieb abläuft und die somit zur Stromerzeugung in einem Fusionskraftwerk geeignet wären, existieren noch nicht (Stand: 2015). Obwohl dieses Ziel bereits seit den 1960er-Jahren verfolgt und

Im Stadium der Ideenfindung ist zumeist nicht abzusehen (und auch nicht zu planen!), ob bzw. wann eine verwertbare Lösung vorhanden sein wird.

(2) *Innovationsprozesse*: Prozesse der „Transformation“ wissenschaftlicher Erkenntnisse und Ergebnisse in praktisch (gesellschaftlich, insbesondere ökonomisch) verwertbare „Produkte“ (Innovationen), d.h. Innovationsprozesse, erweisen sich häufig als schwierig zu gestaltender bzw. zu vollziehender Prozess (vgl. Banse/Grimmeiss 2014; Krüger et al. 2015). Das wird z.B. im „Europäischen Paradoxon“ deutlich, womit die Tatsache beschrieben wird, dass es in Europa zwar hervorragende Forschungsinfrastrukturen und -leistungen gibt, Europa aber nicht in der Lage ist, die sich daraus ergebenden Erkenntnisse in neue Produkte zu überführen: Gegenwärtig werden nur etwa 15% der innovativen Produkte weltweit in Europa hergestellt (vgl. Grimmeiss 2014).

(3) *Hemmnisse*: Sowohl die unter (1) genannten Zeitspannen für Innovationen als auch das unter (2) charakterisierte „Paradoxon“ von Innovationsprozessen haben eine ihre Ursachen darin, dass der Transformationsprozess von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen in neue Produkte mit Schwierigkeiten bzw. Hemmnissen konfrontiert wird. Rudolf Reichel etwa verweist auf eine ethisch-soziologische, eine ökonomische und eine Ressourcen-Schwelle (vgl. Reichel 1981), Diethard Schade thematisiert eine Wissens-, eine Methoden-, eine Kommunikations- und eine Machtbarriere (vgl. Schade 1991, S. 25ff.).

(4) *(zielbezogene) Wissensintegration / Wissenssynthese / Wissensmetamorphose*: Im Prozess der Technikgestaltung geht es vor allem um die „Zusammenführung“ heterogener Wissensbestände (etwa hinsichtlich Gewinnung, Begründung und Darstellung): Es werden „vor allem solche Bestandteile externen Wissens integriert [...], die dem Grundkonzept der technischen Realisierbarkeit gedanklicher Entwürfe größeren Erfolg verheißen“ (Jobst 1995, S. 12) und: Die Herstellung und der Einsatz von Technik sind „stets ein Ordnungsprozeß, in dem der Mensch durch wohlüberlegtes, zielstrebiges Handeln aus den vielfältigen Möglichkeiten der von ihm vorgefundenen Situation eine Möglichkeit realisiert“ (Müller 1990, S. 5).

---

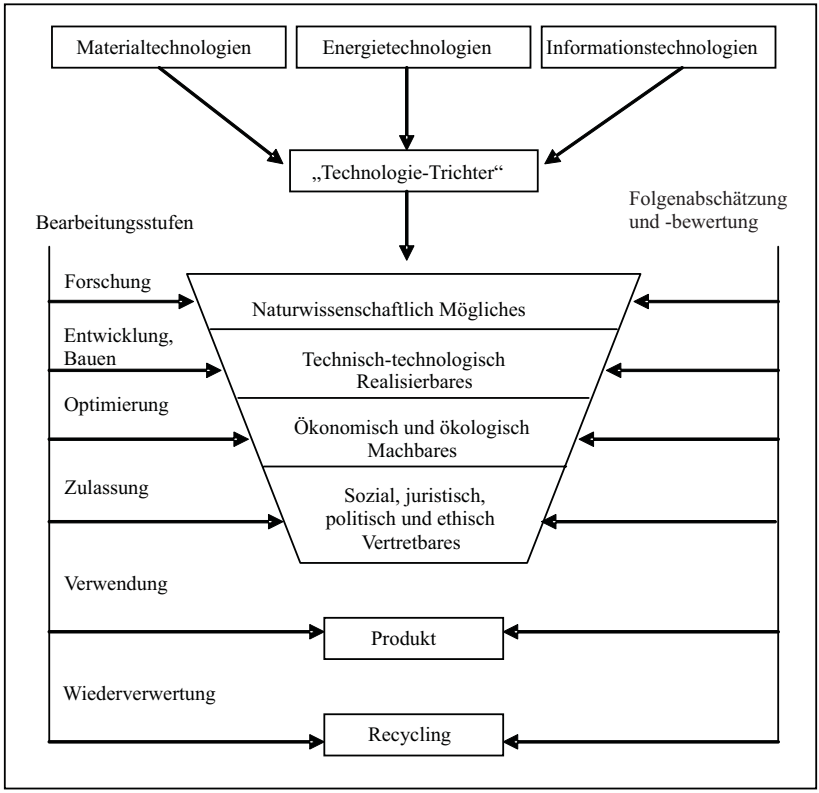
die Entwicklung der Technologie mit Milliardenaufwand vorangetrieben wird, rückt es wegen enorm hoher technischer Hürden und auch aufgrund unerwarteter physikalischer Phänomene nur sehr langsam näher“ (http://de.wikipedia.org/wiki/Kernfusionsreaktor).

(5) *Technikbewertung*: Ihr Ausgangs- bzw. Zielpunkt ist, dass Technik „zweckmäßig“ und „optimal“ sein soll bzw. muss. Wenn Technikbewertung (bzw. Technikfolgenabschätzung; TA) das mehr oder weniger systematische und weitgehend umfassende Erfassen (Beschreiben) und Beurteilen (Bewerten) der Einführungsbedingungen (Voraussetzungen) sowie der Nutzungs- und Folgedimensionen (Wirkungen) technischen Handelns unter gesellschaftlichen, politischen, ökonomischen, ökologischen, technischen, wissenschaftlichen, militärischen und humanen (einschließlich ethischen) Aspekten in praktischer Absicht und nachvollziehbarer Weise bedeutet (vgl. VDI 1991), dann sind Werte auszuweisen, die als Bewertungskriterium und Anforderungsstrategie für technisches Handeln entscheidend sind.[8] Und diese Werte sind nicht „offensichtlich“, sondern „auszuhandeln“. Zudem sind sie mit Blick auf den jeweils zur Diskussion stehenden Technikbereich zu konkretisieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es zwischen ihnen neben „Folgebeziehungen“ und „Gleichgerichtetheit“ vielfältige Konkurrenzbeziehungen und Priorisierungen gibt, die darauf verweisen, dass jeweils Abwägungen vorzunehmen sind, die subjektiv unterschiedlich gewertet werden (können). Im Arbeitskreis Allgemeine Technologie der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin wurde vor diesem Hintergrund der „technologische Trichter“ eingeführt (siehe Abbildung 3), mit dem visualisiert wird, dass jede technische Entwicklung einen Bewertungs- und Selektionsprozess durchläuft, in dem sukzessive die eingangs bereits genannte komplexe Frage zu beantworten ist, ob das, was naturwissenschaftlich möglich, technisch-technologisch realisierbar und ökonomisch machbar ist, sich auch als gesellschaftlich wünschenswert und durchsetzbar, ökologisch sinnvoll sowie human vertretbar erweist (vgl. Banse/Reher 2004, S. 6f.). Der technologische Trichter kann in zweifacher Weise interpretiert werden: *Erstens* im Sinne einer sukzessiven Einschränkung/Verkleinerung einer anfänglichen Schar von Lösungsmöglichkeiten durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Kriterien als Begrenzungen des technisch Realisierbaren. *Zweitens* im Sinne einer allmählichen Konkretisierung einer anfangs „unscharfen“, zunächst nur denkbaren Lösung durch die Beachtung der unterschiedlichen Kriterien als Anforderungen an ein tatsächliches Produkt.

---

8 In der VDI-Richtlinie „Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen“ werden als zentrale Werte Funktionsfähigkeit, Sicherheit, Gesundheit, Umweltqualität, Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich), Wohlstand (gesamtwirtschaftlich) sowie Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität genannt (vgl. VDI 1991).

Abbildung 3: Der technologische Trichter



Quelle: Banse/Reher 2004, S. 7

(6) *Wissenschaftstheoretische Erörterungen*: Beim technischen Entwurf geht es um die gedankliche Vorwegnahme von (technisch) Neuem, so (noch) nicht Vorhandenem. Wie bereits genannt, wird dabei vom abstrakten Prinzip (funktionserfüllende Struktur) ausgehend gestaltend, dimensionierend, bemessend und optimierend zum funktionsfähigen technischen (Sach-)System bei Berücksichtigung vielfältiger „Randbedingungen“ übergegangen. Wissenschaftstheoretisch handelt es sich dabei um die Frage, ob bzw. wie sich pragmatische Statements aus einer deduktiv-nomologischen Erklärung als „Übergang“ vom Wissen zum Handeln ableiten lassen. Dass es sich dabei um alles andere als ein „einfaches Anwenden“

(natur-)wissenschaftlicher Erkenntnisse handelt, haben unterschiedliche Denkansätze gezeigt. Genannt seien:

- praktischer Syllogismus (Georg Henrik von Wright; vgl. z.B. Wright 1977);
- methodische Regel / operationale Voraussagen (Mario Bunge; vgl. z.B. Bunge 1967);
- „praktische Idee“ (Helge Wendt; vgl. Wendt 1976);
- technologische Regel (Armin Grunwald; Klaus Kornwachs; „niederländische Schule“; vgl. z.B. Grunwald 2004; Kornwachs 2012; Meijers 2009);
- Abduktion (Christoph Hubig; vgl. z.B. Hubig 2004).

Mit den vorstehend genannten Beispielen aus sechs unterschiedlichen Bereichen ist wohl ausreichend belegt, dass das „angewandte“ in „Technik ist angewandte Naturwissenschaft“ den notwendig zu vollziehenden „Transformationsprozess“ vom (eher) abstrakten wissenschaftlichen Wissen zur (mehr) konkreten technischen Lösung (etwa in Form des gedanklichen Entwurfs eines neuen technischen Sachsystems) eher verschleiert als erhellt, eher trivialisiert als seine Komplexität angemessen erfasst. Wenn man diesen „Transformationsprozess“ beispielsweise als Problemlösungsprozess modellieren will, dann sind etwa verschiedene zu lösende technische Problemsituationen und erfinderische „Niveaus“ von technischen Antizipationen sowie damit verbundene unterschiedliche Herangehensweisen bei den Bearbeitern zu unterstellen. Unterschiedliche Problemsituation meint z.B. den Grad der Problembeschreibung (vollständig oder unvollständig, „wohldefiniert“ oder „schlecht definiert“) oder den zu bearbeitenden Problemtyp (z.B. Entscheidungs-, Bestimmungs- oder Entwurfsproblem). Niveau bezieht sich hier auf den „Abstand“ der neuen Lösung zum Bestehenden, den Neuheitsgrad oder die „Erfindungshöhe“ einer technischen Neuerung, d.h. das Ausmaß ihres Entwicklungsschritts, z.B. neues Prinzip, Variation eines bekannten Prinzips, Neukombination des Vorhandenen, Veränderungen in Material, Abmessungen und Aussehen (Neu-, Anpassungs- oder Variantenkonstruktion). Diese „Transformation“ ist ein kompliziertes Wechselspiel von vorhandenem Wissen, gespeicherten Erfahrungen formulierter Problemsituation und erkannten Wissensdefiziten, von methoden- oder regelbasiertem und heuristischem Vorgehen, von Routine und Schematismus sowie von Phantasie und Intuition, von langer, bewusster und unterbewusster Beschäftigung mit dem zu lösenden Problem, eingebettet in vielfältige Infor-

mations- und Kommunikationsprozesse, und der Analyse bisher verfolgter Lösungsrichtungen oder -ansätze (vgl. näher dazu Banse/Friedrich 2000; zu einem konkreten Beispiel mit all seinen „lebensweltlichen Widerfahrnissen“ vgl. Linke 2014).

4 Ist Technik nur Realtechnik?

Die zweite im hier interessierenden Zusammenhang, dem Technikverständnis, verbreitete „Engführung“ besteht darin, dass Technik oftmals nur als Gegenständliches (als „Arte-Fakt“, Sachsystem oder Realtechnik) verstanden wird (d.h. als „Bekanntes“ im Sinne von Hegel).

Daneben gibt es indes zahlreiche weitere und andere Technikverständnisse (siehe Tabelle 1).[9]

Tabelle 1: Übersicht über Technikverständnisse

Technikverständnis	
enges Technikverständnis	Technik als Realtechnik / technisches Sachsystem / technisches Artefakt
mittelweites (mittleres) Technikverständnis	Technik als Mensch-Maschine-System (MMS) bzw. Mensch-Maschine-Interaktion
	Technik als sozio-technisches System
	Technik als Kulturelles („kultivierte Technik“)
	Technik als Medium
	Technik als Dualität von Ressourcen und Routinen
weites Technikverständnis	Technik als Handlungspraxis
	Technik als gelingende Regel-Reproduzierbarkeit
	Technik als Erwartung

Eigene Darstellung

M. E. sind diese differierenden konzeptionellen Verständnisse von Technik je nach

- Untersuchungsziel bzw. Verwendungsbereich,
- Untersuchungsgegenstand und
- Untersuchungsmethode,

9 Zu in dieser Übersicht enthaltenen Technikverständnissen habe ich mich bereits ausführlicher geäußert; vgl. z.B. Banse 2002; vgl. auch Ropohl 2010.

also in Abhängigkeit von dem jeweiligen erkenntnis- und handlungsleitendem Interesse, alle nutz- und verwendbar, sie sind – relativ dazu – mehr oder weniger adäquat. Allerdings muss man sich stets sowohl des jeweiligen Zwecks und des Anwendungsbereichs wie der damit verbundenen Implikationen bewusst sein.

Wenn es jedoch um Technik als „Gegenstand" der Technikwissenschaften geht, kann Technik nicht auf „Realtechnik" reduziert werden, denn dann interessieren zusätzlich zunächst die Herstellung und dann die Verwendung von technischen Sachsystemen, d.h., damit werden neben den o.g. Kriterien für Technikbewertung die Herstell*barkeit* und die Verwend*barkeit* relevant. (Das sind übrigens Anforderungen, die – in Weiterführung des oben Dargelegten – wenig mit *Natur*wissenschaften im Zusammenhang stehen.) Das sind die „mittleren" („mittelweiten") Technikkonzeptionen, denn sie er- bzw. umfassen (zusätzlich zu engen Technikverständnissen)

- die Entstehungszusammenhänge von Technik (das „Gemacht-Sein") sowie
- die Verwendungszusammenhänge von Technik (das „Verwendet-Werden") – auch im „Alltag".

Insofern wird eine Reduzierung von Technik allein auf Sachsysteme den vielfältigen Funktionen der (Technik-)Wissenschaften beim Erkennen und Gestalten von Technik nicht gerecht.

5 Fazit

1. Technik ist nicht auf angewandte Naturwissenschaft noch auf angewandte Naturwissenschaft oder auf angewandte Naturwissenschaft reduzierbar.
2. In Bezug auf Technikwissenschaften und deren Funktionen ist eine Einengung des Technikverständnisses auf Realtechnik (Sachsysteme) nicht angemessen.
3. Technik basiert (kognitiv) auf technischem Wissen (Erfahrung) sowie Wissenselementen vor allem der Technikwissenschaften, aber auch der Natur-, Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften.
4. Vereinseitigende, verabsolutierende, idealisierende oder „reduktionistische" Auffassungen (auch „wohlgemeinte"!) werden weder
   - der Vielgestaltigkeit und Differenziertheit der Technik noch
   - ihrem Platz in der „Lebenswelt"

   gerecht.

5. Schließlich gilt mit Günter Ropohl:

   „Das szientifische Paradigma reduziert Technik [...] auf angewandte Naturwissenschaft [...]. Diesem Technikverständnis [...] erschienen die Naturwissenschaften als die verbindende Grundlage, die gewissermaßen die Rolle der allgemeinen Disziplin spielte [...] Das technologische Paradigma [hatte] Beckmann als eigenständige, fachübergreifende Wissenschaft von Arbeit und Technik in Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft begründet“ (Ropohl 1997, S. 112).

Literatur

Banse, G. (2002): Johann Beckmann und die Folgen. Allgemeine Technologie in Vergangenheit und Gegenwart. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Berlin 2002, S. 17–46 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Jg. 2001, Bd. 50, H. 7)

Banse, G. (2004a): Anmerkungen zur Wissenschaftstheorie der Technikwissenschaften. In: Kornwachs, K. (Hg.): Technik – System – Verantwortung. Münster u.a.O., S. 255–266

Banse, G. (2004b): Der Beitrag der interdisziplinären Technikforschung zur Weiterentwicklung der Allgemeinen Technologie. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 35–48 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)

Banse, G. (2007): Technikwissenschaften – Wissenschaften vom Machen. In: Parthey, H.; Spur, G. (Hg.): Wissenschaft und Technik in theoretischer Reflexion. Frankfurt am Main u.a.O., S. 131–150 (Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2006)

Banse, G. (2010): Technisches und Kulturelles. Anmerkungen zu Interdependenzen. In: LIFIS ONLINE [08.03.2010] – URL: http://www.leibniz-institut.de/archiv/banse_08_03_10.pdf (S. 1–11)

Banse, G. (2013): Erkennen und Gestalten oder: über Wissen-schaften und Machen-schaften. In: Bienhaus, W.; Schlagenhauf, W. (Hg.): Technische Bildung im Verhältnis zur naturwissenschaftlichen Bildung / Methoden des Technikunterrichts. Freiburg (Deutsche Gesellschaft für Technische Bildung e.V.), S. 21–49

Banse, G.; Friedrich, K. (Hg.) (2000): Konstruieren zwischen Kunst und Wissenschaft. Idee – Entwurf – Gestaltung. Berlin

Banse, G.; Grimmeiss, H. (Hg.) (2014): Wissenschaft – Innovation – Technologie. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 37)

Banse, G.; Grunwald, A. (Hg.) (2010): Technik und Kultur. Bedingungs- und Beeinflussungsverhältnisse. Karlsruhe (Karlsruher Studien Technik und Kultur, Bd. 1)

Banse, G.; Grunwald, A.; König, W.; Ropohl, G. (Hg.) (2006): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften. Berlin

Banse, G.; Meier, B.; Wolffgramm, H. (Hg.) (2002): Technikbilder und Technikkonzepte im Wandel – eine technikphilosophische und allgemeintechnische Analyse. Karlsruhe (Forschungszentrum Karlsruhe Technik und Umwelt) (Wissenschaftliche Berichte, FZKA 6697)

Banse, G.; Reher, E,-O. (2004): Einleitung. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 5–16 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)

Bunge, M. (1967): Scientific Research II: The Search for Truth. New York a.o.

Diesel, R. (1913): Die Entstehung des Dieselmotors. Berlin/Heidelberg

Grimmeiss, H. (2014): Innovation and European Research Infrastructures. Weaknesses of the European Research Area. In: Banse, G.; Grimmeiss, H. (Hg.): Wissenschaft – Innovation – Technologie. Berlin, S. 389–398 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 37)

Grunwald, A. (2004): Wissenschaftstheoretische Perspektiven auf die Technikwissenschaften. In: Banse, G.; Ropohl, G. (Hg.): Wissenskonzepte für die Ingenieurpraxis. Technikwissenschaften zwischen Erkennen und Gestalten. Düsseldorf (Verein Deutscher Ingenieure), S. 47–64 (VDI-Report 35)

Hegel, G. W. F. (1949): Phänomenologie des Geistes [1807]. In: Hegels sämtliche Werke. Kritische Ausgabe. Bd. II. Leipzig

Herrmann, J. (1975): Spuren des Prometheus. Der Aufstieg der Menschheit zwischen Naturgeschichte und Weltgeschichte. Leipzig u.a.O.

Hubig, Chr. (1997): Technologische Kultur. Leipzig (Leipziger Schriften zur Philosophie, Bd. 3)

Hubig, Chr. (2004): Abduktion als Strategie des Problemlösens. Naturwissenschaftliche und technische Wissensbildung. In: Banse, G.; Ropohl, G. (Hg.): Wissenskonzepte für die Ingenieurpraxis. Technikwissenschaften zwischen Erkennen und Gestalten. Düsseldorf (Verein Deutscher Ingenieure), S. 131–153 (VDI-Report 35)

Hubig, Chr.; Huning, A.; Ropohl, G. (Hg.) (2013): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie (3. Aufl.). Berlin

Jobst, E. (1995): Technikwissenschaften – Wissensintegration – Interdisziplinäre Technikforschung. Frankfurt am Main

Knie, A. (1991): Diesel – Karriere einer Technik. Genese und Formierungsprozesse im Motorenbau. Berlin

König, W. (Hg.) (1991/92): Propyläen Technikgeschichte. 5 Bde. Frankfurt am Main/Berlin

König, W. (1995): Technikwissenschaften. Die Entstehung der Elektrotechnik aus Industrie und Wissenschaft zwischen 1880 und 1940. Chur (Technik interdisziplinär, Bd. 1)

Kornwachs, K. (2012): Strukturen technologischen Wissens. Analytische Studien zu einer Wissenschaftstheorie der Technik. Berlin

Krüger, J.; Parthey, H.; Wink, R. (Hg.) (2015): Wissenschaft und Innovation. Berlin (Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2014)

Linke, D. (2014): Industrienahe Forschung zu Nitridkeramik in den 1980er-Jahren – Ein Beispiel aus dem Zentralinstitut für Anorganische Chemie Berlin an der Akademie der Wissenschaften der DDR. In: Banse, G.; Grimmeiss, H. (Hg.): Wissenschaft – Innovation – Technologie. Berlin, S. 159–171 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 37)

Meck, W. (1979): Vom naturwissenschaftlichen Wirkprinzip zur Prinziplösung – ein Schritt beim technischen Entwickeln. In: Die Technik, H. 11, S. 588–591

Meijers, A. (ed.) (2009): Philosophy of Technology and Engineering Sciences. Amsterdam a.o.

Müller, J. (1990): Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Systematik, Heuristik, Kreativität. Berlin u.a.O.

Petermann, Th.; Bradtke, H.; Lüllmann, A.; Poetzsch, M.; Riehm, U. (2011): Was bei einem Blackout geschieht. Folgen eines langandauernden und großräumigen Stromausfalls. Berlin (Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, 33)

Redtenbacher, F. (1856): Resultate für den Maschinenbau [1848]. 3., erw. Aufl. Vorrede zur ersten Auflage. Mannheim

Reichel, R. (1981): Zu einigen Entstehungsbedingungen und Gesetzmäßigkeiten der Ausbreitung komplexer Neuerungsprozesse in der Volkswirtschaft. Berlin (Mitteilungen zu wissenschaftsökonomischen Untersuchungen der Hochschule für Ökonomie Berlin, H. 1)

Ropohl, G. (1997): Allgemeine Technologie als Grundlage für ein umfassendes Technikverständnis. In: Banse, G. (Hg.): Allgemeine Technologie zwischen Aufklärung und Metatheorie. Johann Beckmann und die Folgen. Berlin, S. 111–121

Ropohl, G. (1998a): Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften. Amsterdam (Technik interdisziplinär, Bd. 3)

Ropohl, G. (1998b): Technisches Wissen, In: Ropohl, G.: Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften. Amsterdam, S. 88–96 (Technik interdisziplinär, Bd. 3)

Ropohl, G. (1991): Technische Kultur. In: Ropohl, G.: Technologische Aufklärung. Beiträge zur Technikphilosophie. Frankfurt am Main, S. 196–215

Ropohl, G. (2009): Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik (3., überarb. Aufl.). Karlsruhe

Ropohl, G. (2010): Technikbegriffe zwischen Äquivokation und Reflexion. In: Banse, G.; Grunwald, A. (Hg.): Technik und Kultur. Bedingungs- und Beeinflussungsverhältnisse. Karlsruhe, S. 41–54 (Karlsruher Studien Technik und Kultur, Bd. 1)

Rumpf, H. (1973): Gedanken zur Wissenschaftstheorie der Technikwissenschaften. In: Lenk, H.; Moser, S. (Hg.): Techne – Technik – Technologie. Philosophische Perspektiven. Pullach b. München, S. 82–107

Schade, D. (1991): Technikbewertung und Produktfolgenabschätzung. Möglichkeiten und Grenzen. In: VDI (Hg.): Integrierter Umweltschutz. Ingenieurkonzepte für eine umweltverträgliche Technikgestaltung. Düsseldorf, S. 17–29

Seeliger, D. (2014): Kann Kernfusion die Bedarfslücke bei Elektroenergie im XXI. Jahrhundert umweltverträglich schließen? In: Banse, G.; Fleischer, L.-G. (Hg.): Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag. Berlin, S. 147–163 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 31)

Sittauer, H. L. (1978): Nicolaus August Otto und Rudolf Diesel. Leipzig (Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner, Bd. 32)

Sonnemann, R. (Hg.) (1978): Geschichte der Technik. Leipzig

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (1991): VDI-Richtlinie 3780 „Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen“. Düsseldorf (Verein Deutscher Ingenieure), März

Wendt, H. (1976): Natur und Technik – Theorie und Strategie. Berlin (Wissenschaft und Gesellschaft, Bd. 9)

Wright, G. H. von (1977): Handlung, Norm und Intention. Untersuchungen zur deontischen Logik. Berlin/New York

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 35–67*

Lutz-Günther Fleischer

Technologie – techné und epistémé

Vortrag vor der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften (gemeinsam mit der Klasse Sozial- und Geisteswissenschaften) am 09. Oktober 2014

Der Titel *„Technologie – techné und epistémé"* will die dialektische Einheit von techné *und* epistémé (Aristoteles), von Ontologischem *und* Kognitivem apostrophieren, die Technologie als *Dualität* praxisorientierter, objektiv-realer *Prozess-Systeme (Sachsysteme-Realität) und* erkenntnisorientierter, akkumulierender und systematisierender *Wissens-Systeme* (*Theoriensysteme-Abstraktion*) kennzeichnen. Diese konstitutiven Elemente erfassen zunehmend den gesamten Reproduktionsprozess mit *der Arbeit als Herzstück* und dem *Produktionsprozess als dessen Kern*.

In der Gegenwart werden in wachsendem Maße komplexe *Erkenntnis-, Design-* sowie *Entwicklungsprozesse* in ihrem phänomenologischen Reichtum technologisch adaptiert, eingeordnet und gegebenenfalls vereinigt.

Die aussichtsreiche komplementäre Erweiterung des Gegenstandes der dualen Technologie auf derartige Entitäten und damit neue strategische Technologiefelder, darunter die Kognitionstechnologien, die „Analysis and Reporting Technologies", die ‚Intelligenten Technologien' zum Komplexitätsmanagement, die „Emerging Technologies", die „Converging sciences and technologies" und die Allgemeine Technologie, zeugen von dieser Tendenz und korrespondieren mit der sich herausbildenden sogenannten Wissensgesellschaft.

Technologien generieren generell und manifestieren vornehmlich funktionale Strukturen (Ordnungen) und sind in der Lage, Gebrauchswerte hervorzubringen. Kompetenzen, Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten sowie Einstellungen und Wertvorstellungen formieren dafür die elementare Basis. Für ihre Entwicklung, das Gestalten, Betreiben und Analysieren bedürfen die Technologien zwingend der Inter-, Multi- sowie Transdisziplinarität, und sie prägen sie rückkoppelnd praktisch sowie theoretisch aus.

1 Grundlegende Konstellationen, Korrelationen und themenrelevante Reflexionen

Technik und *Technologie* sind unbestritten *wissenschaftlich und gesellschaftspraktisch herausragende* Felder, die faktisch kaum trennbar sind. Dennoch lassen sie sich in ihrer wechselseitigen Bedingtheit unter verschiedenen Aspekten sachdienlich und zielorientiert diskutieren. Die derzeitige *Begriffstheorie* zu den *Entitäten Technik und Technologie* ist freilich unbefriedigend.

Der Träger der Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Medaille Günter Spur resümiert seine reichen Erfahrungen in dem Satz: „Technik, Technologie und Technikwissenschaften bilden ein Begriffsgemenge unklarer Abgrenzung." Noch dezidierter setzt er fort:

> „Die Technikwissenschaften stellen in ihrer Gesamtheit kein geordnetes, im Einzelnen folgerichtig aufgebautes System von technologischen Erkenntnissen dar. Ihre Unterteilung in verschiedene Wissensbereiche und Aufgabenstellungen ist nicht immer eindeutig und vergleichbar" (Spur 2008, S. 146).

Andererseits verzeichnet und belegt die Literatur zahllose Bemühungen, um insbesondere Technik und Technologie eingehender zu erkennen, sie repräsentierende Strukturen, wie die Technikwissenschaften, zu formieren und noch umfassender zu nutzen. Wissen wir aber tatsächlich, was Technik, was Technologie ist, wenn wir uns Georg Wilhelm Friedrich Hegels Bewertungen aus der Vorrede der „Phänomenologie des Geistes" anschließen, die Gerhard Banse in seinen Überlegungen zur Technik akzentuiert?

> „Das Bekannte überhaupt ist darum, weil es *bekannt* ist, *nicht erkannt*. Es ist die gewöhnlichste Selbsttäuschung wie Täuschung anderer, beim Erkennen etwas als bekannt vorauszusetzen, und es sich ebenso gefallen zu lassen" (Hegel 1949, S. 28; H.d.V. – L.-G.F.).

Die Analyse der *bekannten* komplexen Begriffsmenge aus Technik, Technologie, Technikwissenschaften und Arbeit sowie der ihnen zugrundeliegenden Gegebenheiten bedürfte, um das Bekannte vollkommener zu erkennen und „bekanntes Nichtwissen", aufzuhellen, eigentlich systematischer *wissenschaftshistorischer, wissenschaftspragmatischer und wissenschaftssystematischen Perspektiven, Denkweisen und Strategien*. Das kann mit Einzelbeiträgen natürlich nicht geleistet werden. Und: Es bleibt – so oder so – eine „unendliche Geschichte". Dennoch besteht die Absicht einige Anregungen zu vermitteln, die der inter- und transdisziplinären Diskussion und praktischen Folgerungen nicht nur für die Arbeit der Leibniz-Sozietät dienen (vgl. dazu auch Banse/Reher 2014).

Das umfangreiche historische und aktuelle Schrifttum bietet produktive Ansätze zum Abschwächen des – mit dem Wechsel der natürlichen Sprachen, aber auch beim Gebrauch von Metasprachen, sich noch diffiziler ausbildenden – Dilemmas der begrifflichen Unklarheit und Unschärfe. Im Zentrum des Klärungsbedarfs stehen die Grundbegriffe Technik und Technologie (einschließlich des Arbeitsprozesses mit seinen wesentlichen Elementen) im Kontext mit der Natur, wofür eine Vielzahl und Vielfalt nützlicher, anregender und dialektisch „aufzuhebender" Aussagen und Anmerkungen zu finden ist. Repräsentativ dafür folgt eine komprimierte, auf die Dependenzen der bestimmenden ganzheitlichen Entitäten gerichtete, kleine Auswahl.

Technik ist metaphorisch formuliert die *„zweite Natur des Menschen"*. Sie formiert einen faktisch unbestritten Bereich des Objektiv-Realen, der neben *Natur* und *Gesellschaft* (*Mensch*) relativ eigenständig existiert. Ähnlich dem Denken repräsentiert die Technik eine Dualität von Mittel und Gegenstand. Die angeführte Metapher wird Karl Marx zugeschrieben. Sie verlangt, wie jedes Sinnbild, eine prägnant definierende (oder erfahrungsgestützte) Charakterisierung des Bildspenderbereichs, des Tenors „Natur", der nicht vom Menschen geschaffenen physischen Welt. Bewusst aufgenommen sei dafür eine Anleihe bei dem Naturforscher Alexander von Humboldt, dem humanistisch gebildeten Autor des „Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung" – des über diverse Wissenschaftsdisziplinen hinweg harmonisch geordneten erfahr- und wissbaren Ganzen:

> „Die *Natur* ist für die denkende Betrachtung Einheit in der Vielfalt, Verbindung des Mannigfaltigen in Form und Mischung, Inbegriff der Naturdinge und Naturkräfte als ein lebendiges Ganzes" (Humboldt 1845, S. 5f.).

- „Die *Technologie* enthüllt das aktive Verhalten des Menschen zur Natur, den unmittelbaren Produktionsprozess seines Lebens, damit auch seiner gesellschaftlichen Lebensverhältnisse und der ihnen entquellenden geistigen Vorstellungen" (Marx 1971, S. 393, Anm. 89).
- „Die *Arbeit* ist zunächst ein Prozeß zwischen Mensch und Natur, ein Prozeß worin der Mensch seinen Stoffwechsel mit der Natur durch seine Tat vermittelt, regelt und kontrolliert" (Marx 1971, S. 192).
- „Die einfachen Momente des *Arbeitsprozeßes* sind die zweckmäßige Tätigkeit oder die Arbeit selbst, ihr Gegenstand und ihre Mittel" (Marx 1971, S. 193).
- „Im *Arbeitsprozeß* bewirkt also die Tätigkeit des Menschen durch das Arbeitsmittel eine von vornherein bezweckte Veränderung des Arbeitsgegenstandes" (Marx 1971, S. 195).

- „Die *Arbeitsmittel* sind nicht nur Gradmesser der Entwicklung der menschlichen Arbeitskraft, sondern auch Anzeiger der gesellschaftlichen Verhältnisse, worin gearbeitet wird“ (Marx 1971, S. 195; alle H.d.V. – L.-G.F.).

Diese fundierenden reflexiven Äußerungen und Deutungen aus der Mitte des 19. Jh.s belegen, dass die grundsätzliche Leibnizsche Sentenz „Theoria cum praxi et commune bonum“ die erfindungsreiche Technik sowie die kreative Technologie in besonderer Weise herausfordert und bei allen *soziotechnischen Innovationsprozessen* Gestalter sowie Betreiber handlungsethisch auf das Gemeinwohl verpflichten sollte. Mindesten zwei Tatbestände gebieten dies:

1. Technik und Technologien sind nicht nur miteinander verschränkt, sondern stehen überdies in enger wechselseitiger Beziehung mit ihrer Umgebung: der Mitwelt sowie der Umwelt. Sie haben gesellschaftliche Determinanten: inkludieren sozio-technische, sozio-ökonomische und ökologische Bedingungen und Zielfunktionen, sind final orientiert, dienen einem genau definierten Zweck (mit bestimmten [eingegrenzten] Variationen).
2. Technik und Technologien repräsentieren erkennbar weit mehr als eine, von einigen Protagonisten noch immer postulierte „angewandte Naturwissenschaft“. Freilich sind für beide die Naturwissenschaften unverzichtbar, allein schon, um die Möglichkeitsfelder zu erkunden, zu dimensionieren und faktisch zu erschließen.

Symbolisch formuliert (dementsprechend die Emergenz und Verschränkungen nur bedingt widerspiegelnd) gilt für die zwei Systemebenen:

Technik € Technologie.

(Die analoge Konstellation ***Biologie € Medizin*** könnte zum Verständnis der ontologischen und kognitiven Dependenzen beitragen.)

Technologien konstituieren sich in ihrer Integrationsebene als ganzheitliches Sach- und/oder Theoriensystem $\sum$ aus einer Menge charakteristischer Elemente **E** und der Menge der Relationen **R**, die die Struktur als Teil und Ganzes determinieren und stochastische Komponenten enthalten:

$$\sum = \{\mathbf{E}, \mathbf{R}\}.$$

In einem ersten Schritt expliziert folgt hieraus die formale Gleichung nach Wolfgang Fratzscher:

Technologie **= ∩ (AK, AM, AG).**

Der Durchschnitt „∩“ der (emergenten) Menge aus Elementen und Relationen erfasst (als terminologisch unserer Darstellung angepasste Teilmengen) die drei Bestandteile des Arbeitsprozesses: Arbeitskraft (AK), Arbeitsmittel (AM) und Arbeitsgegenstand (AG). Marx hat sie – wie oben zitiert – inhaltlich charakterisiert, zugeordnet und gewertet.

Auf der Dominanz eines Bestandteils einschließlich seiner Relationen oder zweier kombinierter Bestandteile in der Marxschen Triade beruht Fratzschers Vorschlag für eine substrukturierende Klassifikation der Technikwissenschaften (vgl. Fratzscher 2008, S. 132). Auch die speziellen Technikwissenschaften besitzen einen eigenen, hoch komplexen Gegenstand und dynamisch adaptierte Methoden, fungieren als Medium der Produktion, Distribution und Reproduktion ihnen gerecht werdender, intersubjektiver, rationaler Erkenntnisse.

> „Im Sinne eines neuen Selbstverständnisses der Technikwissenschaften ist nach einem innovationsgerichteten Wissenschaftssystem von Erkenntnissen und Methoden zu fragen, das nicht nur der *optimalen Gestaltung und Führung* von neuen Technologien dient, sondern insbesondere die *Entfaltung der verfügbaren und zukünftigen Innovationspotenziale* fördert, die in ihrer Komplexität und Mächtigkeit bisher nicht gekannte Dimensionen erreicht haben“ (Banse/Reher 2008, S. 14).

In dem Zitat sind Technologien im Sinne von *techné* als Prozess-, Sachsysteme direkt angesprochen, das umrissene neue Selbstverständnis fordert jedoch die Technologien als *epistémé*: als Wissens-, Theoriensysteme, als integrierenden Teil Technikwissenschaften, in herausragender Weise.

Die fundamentalen naturalen Funktionen, die ein technisches und technologisches System ausführen soll sowie die Art und Weise ihrer Realisation lassen sich – ebenso wie sein stofflicher, energetische und informationeller Zustand sowie dessen Änderungen in Raum und Zeit – mit einer Reihe messbarer (physikalischer, chemischer, ...) Größen beschreiben, analysieren sowie nach umfassenden wissenschaftlichen Kriterien bewerten und mit darüber hinausgehenden gesellschaftlichen Maßstäben beurteilen. Technologien sind auch zentrale Objekte anspruchsvoller gesellschaftswissenschaftlicher Forschung.

2 Charakterisierungen der Technologie – Elemente, Relationen, Potenziale, Evolution

2.1 Etymologisch Ursprüngliches und dialektisch Aufgehobenes

Das altgriechische *„techné“* (Können, Geschick, sich auf Etwas verstehen – einschließlich des Anwendens von Kniffen und Tricks zur Täuschung, ...) hat die Bedeutung von Kunst im weiten (vom heutigen Kunstbegriff erheblich abweichenden) Begriffssinn (*technikos* griech. – kunstvoll, kunstgerecht). Techné wurde in den Technik-Disziplinen historisch sowohl für das Werk als auch für das Beherrschen der Technik – das technische Agieren, die konstruktive Tätigkeit des Menschen, die Regeln der Kunst und das Handwerk – verwendet.

Ein vergleichbarer Wortstamm findet sich im Lateinischen *texere* (für weben, flechten) und als *textilis* (für gewebt, gewirkt, geflochten, *zusammengefügt* im Sinne von Aufbauen und Gestalten). Darüber hinaus tritt er in mehreren Sprachen in diversen Substantiven, wie Text, Textur, Tektonik, Textilien etc., auf.

Diese Tatbestände verweisen auf zwei nachhaltige fundamentale Aspekte:

- die Komplexität: etwas aus vielfältigen Elementen Vereinigtes, Strukturiertes, Gefügtes, Verflochtenes, Verwobenes, funktionell-strukturell Assoziiertes, und
- das Artefaktische: etwas Konstruiertes, bewusst Geschaffenes, final orientiertes Künstliches.

In der Bedeutung von *epistémé* führte der dreißigjährige Johann Beckmann 1769 erstmals den Begriff Technologie ein und charakterisierte sie als

> „die Wissenschaft, welche die Verarbeitung der Naturalien, oder die Kenntniß der Handwerke, lehrt [...] welche alle Arbeiten, ihre Folgen und ihre Gruende vollstaendig, ordentlich und deutlich erklaert“ (Beckmann 1870, S. 19f.).

2.2 Faktisches zur fortgeschrittenen Technologie und deren Komplexität

Der terminus technicus *Technologie* bezeichnet in erster Näherung das „*WIE*“, die Art und Weise, den Charakter, die bestimmenden Umstände eines Geschehens und Tuns (*Praxis*) sowie die diesbezüglichen Methoden, Konzepte und Strategien (*Theorie*). Unmittelbarer akzentuiert geht es um die makro-, meso-, mikro-, nanoskopisch *skalierte Prozessführung* (*Einwirkungen*) sowie die *effektive Verfahrensgestaltung* (*die organisierte, steuernde*

und regelnde Einflussnahme) beim zielorientierten Zusammenwirken der materiellen und ideellen Produktivkräfte in *Arbeitsprozessen*, wie *Erkenntnis-*, *Design-* und *Produktionsprozessen*, im *gesamten Reproduktionsprozess* (*mit dem Produktionsprozess als dessen Kern*).

Dafür verbindet jede Technologie in einer *organisierten operativen emergenten Gesamtheit* aus Hardware und Software (mit dynamischen permeablen Grenzen) natürliche, technische, wissenschaftliche, organisatorische, soziale, ... *Ressourcen*.

Technologien sind letztendlich über *funktionalisierte Interaktionen* vermittelte Einwirkungen und Einflussnahmen (*Führung*) auf die komplexen Vorgänge und menschlichen Tätigkeiten (mit der Arbeit als Quintessenz) in hierarchisch und heterarchisch organisierten Architekturen (*Design/bewusste Gestaltung*) zur effektiven und effizienten *Verwirklichung vorgegebener Ziele*.

Technologien sind *historische Kategorien, Produkte* gesellschaftlicher Entwicklungen und *treibende Kräfte* der evolutionären gesellschaftlichen Produktionsweise. Folgerichtig unterliegen sie *sozioökonomischen Selektionskriterien* sowie *gesellschaftlichen Wertvorstellungen*, und sie fungieren als Instrumentarien der Produktivkraftentwicklung in technisch dominierten sozialen Strukturen. Zugleich dienen sie als deren zentrale Indikatoren.

2.3 Gesellschaftliche Funktionen/Wirkungen der Technologie

Mindestens vier (ursprünglich von Horst Wolffgramm so benannte) Funktionen zeugen von der überragenden gesellschaftlichen Bedeutung der Technologie.

Die *Technologie...*

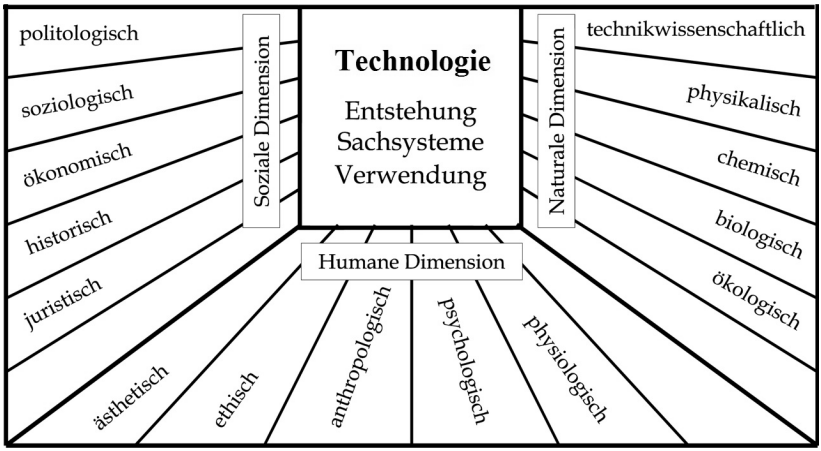
- *vermittelt:* Nur über Technologien werden wissenschaftliche Ergebnisse – gleich welcher Wissenschaftsdisziplin – ebenso wie empirische Erfahrungen aus der Produktion und anderen menschlichen Tätigkeitsfeldern – gesellschaftlich wirksam: in Effektivität, Kreativität, Produktivität, Effizienz und assoziierte soziale Effekte, wie Humanität und Gemeinnutz, transformierbar. Damit wird zunächst nur ein Möglichkeitsfeld charakterisiert.
- *integriert* (assoziiert, kombiniert, koppelt, verkettet, koordiniert) – ihrem dynamischen Erkenntnisniveau entsprechend – die Elemente der emergenten Produktions-, Erkenntnis- und Gestaltungsprozesse zu rationellen und effektiven technologischen Prozessen und Systemen.

- *verändert*, indem sie – unterschiedlich graduiert – die Elemente der materiell-technischen sowie der geistig-kulturellen Basis der Gesellschaft: das Denken und Handeln, das Lebens- und Kulturniveau der Akteure (Produzenten), beeinflusst, mit Basisinnovationen (wie Schlüsseltechnologien) sogar revolutioniert.
- *stimuliert*, indem sie die Herausbildung und den Fortschritt sie tragender wissenschaftlicher Erkenntnisse, bis zu ganzen Wissenschaftsgebieten, bewirkt, fördert, gegebenenfalls sogar erzwingt.

Die Technologie initiiert und forciert zudem die nachhaltige Entwicklung der Arbeitsmittel (der artefaktischen und derzeit besonders intensiv der sogenannten „maschinenlosen“ Technik, der operationellen Agentia) der Organisationsstrukturen sowie der kooperativen Funktions- und Arbeitsweisen in den emergenten technologischen Systemen.

Günter Ropohl hat in seiner bekannten, ursprünglich allein auf die *Technik* bezogenen, zusammenfassenden graphischen Darstellung, soziale, humane und naturale Dimensionen sowie korrespondierende Erkenntnisperspektiven angeführten. Dieses Schema (siehe Abbildung 1) erweist sich – einerseits infolge der Allgemeinheit der erwähnten Kriterien, andererseits aber auch wegen der mannigfaltigen und fundamentalen Dependenzen zwi-

Abbildung 1: Tridimensionalität und multiple Erkenntnisperspektiven der Technologien



Quelle: adaptiert nach Ropohl 2001, S. 18

schen Technik, Technologie und Arbeit – für die diskutierte Kategorie *Technologie* und die zweifellos inhärente *Arbeit* als gleichermaßen tragfähig. Auf eine Differenzierung sei jedoch eindringlich hingewiesen: In Ropohls *Begriffsverständnis* wird die *Technologie* ausschließlich als metasprachlicher Ausdruck – als Wissenschaft (*logos*) der Technik – verstanden. Der objektsprachliche Terminus *Technik* umfasst in Ropohls Auslegung (vgl. Ropohl 2009, S. 31ff.) eine Akkumulation

- nutzensorientierter, künstlicher, *gegenständlicher Gebilde* (Artefakte/ Sachsysteme),
- menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme *entstehen*, und
- menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme *verwendet werden*.

2.4 Zwischenresümee mit Präzisierungen

Technologien erscheinen in unserer Interpretation als *Zweiheit* von *techné* (Kunst, Handwerk, Geschick,...) und *epistémé* (wissenschaftlich Qualifizierbarem, Theoretischem). Diese altgriechischen Begriffe kennzeichnen in der „*Nikomachischen Ethik*“ des *Aristoteles* zwei Grundsätze eines Quintetts von Maximen zum Erfassen des „Richtigen“ – zum zielführenden *Denken* und durchdachten zweckmäßigen *Handeln*. Bei Aristoteles werden *techné* und *epistémé* von *phronesis* (≈ Klugheit, intelligentes Handeln), *nous* (≈ Vernunft) und *sophia* (≈ Weisheit) zu den fünf klassischen Prinzipien komplettiert.

Technologien werden schlüssig als *dialektische Einheit von techné* und *epistémé*, von Ontologischem und Kognitivem, reflektiert und behandelt. Mit der Anerkenntnis der Dualität der Techno*logie* als Wissens- und Sachsystem wird (in diesem Fall) der Deutungsstreit um das „Logos“ (War am Anfang das Wort oder die Tat? War am Anfang die Vernunft [≈ Lehre, Wissenschaft] oder die Handlung [Schöpfung, Kreation]?) aufgehoben. Vergleichbares gilt für das (pseudo quantenverschränkte) „*Theoria cum praxi*“.

Als *praxisorientierte*, objektiv-reale *Prozess-Systeme* (*Sachsysteme-Realität*) bilden Technologien *funktionsbestimmte*, multiskalige, offene (mit Inputs und Outputs agierende), ganzheitlich operierende, hoch*komplexe*, emergente, dynamische *Gesamtheiten/Ganzheiten* mit typischen (schon gegebenen oder geschaffenen) *Kooperations- und Organisationsformen* zwischen ihren konstituierenden, integrierten *Subsystemen* sowie charakteristischen *Relationen/Interaktionen*.

In der *Sachebene* subsumiert der *Oberbegriff Technologie* das effiziente Gestalten, Verrichten und Beherrschen zielgerichteter menschlicher Handlungen in kooperativen (Arbeits-)Prozessen auf individuellem, handwerklichem, manufakturellem oder industriellem Niveau mit originären oder hinzugezogenen (eigens dafür geschaffenen) Assistiven. Er umfasst das organisierte und optimierte, unmittelbare oder mittelbare, stets finale Zusammenwirken des bio-psychosozialen Akteurs *Mensch* mit relativ souveränen Subsystemen: Artefakten und/oder operationellen Agentia (Stoffen, Energien, Informationen aller Art): der artefaktischen und „maschinenlosen" *Technik – Arbeitsmitteln* zur effektiv gestalteten und effizient zu vollziehenden, systematischen Veränderung von Stoffen, Energien, Informationen oder anderen komplexen *Entitäten aus der Tatsachen- und/oder Vorstellungswelt* (*Arbeitsgegenständen*).

Zu den Klassen technologischer Grundoperationen gehören Orts-, Parameter- und Strukturänderungen. Alle drei materiellen Größen sind grundsätzlich in den Zeitkoordinaten in ihren räumlichen Positionen, ihrer (äußeren) Form und Gestalt und/oder ihrer (inneren) Qualität (Konversion/Transformationen) gezielt technologisch veränderbar (siehe Tabelle 1)

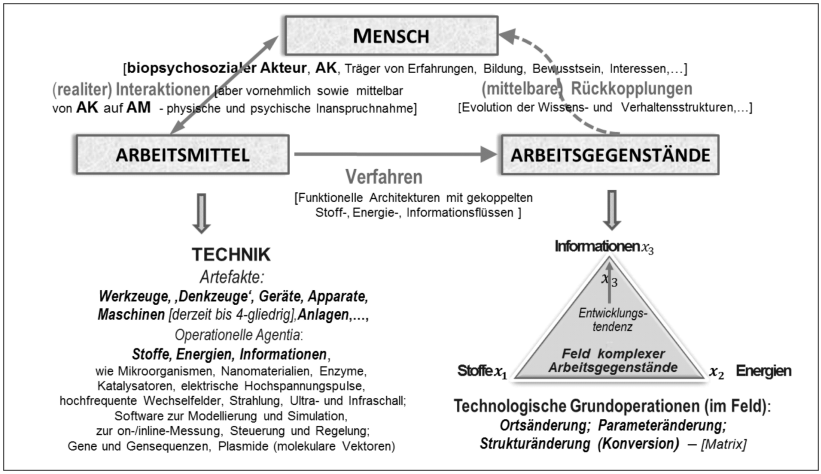
Tabelle 1: Matrix technologischer Grundoperationen mit Beispielen

Operation **Arbeitsgegenstand**	**ORTSÄNDERUNG** *(Lage, Koordinaten)*	**PARAMETERÄNDERUNG** *(äußere Form, Quantität)*	**QUALITÄTSÄNDERUNG** *(innere Strukturen)*
STOFF	Stofftransport *Pipeline-, Personen-, Gütertransport, Fördertechnik, Konvektion*	Stoffformung *Urformen, Umformen, Konfektionieren, Teilefertigung*	Stoffwandlung *chemische, biochemische, biotische Konversion*
ENERGIE	Energietransport *Elektroenergie-Netze, Fernwärme-Netze.* *Energieträger,* ***Wärmeleitung, Photonenströme***	Energieumformung elektr. Energie: *Spannungstransformation, Frequenzmodulation;* therm. Energie: *Temperatur-, Druckänderungen*	Energieumwandlung *Energieformen und -anteile:* *Wärme → Arbeit* *chem. → therm. Energie* *therm. → elektr. Energie*
INFORMATION	Informationstransport *Info-Netze, Telefonie, Telekommunikation*	Informationsumformung *Mikroskopie, LASER, MASER, Gentransfer*	Informationsumwandlung Photonen- → Elektronen-Ensembles, Genetic engineering

Eigene Darstellung

Mit den politökonomischen Kategorien Arbeitskraft, Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstand ausgedrückt sind die erörterten Verhältnisse und wesentliche Dependenzen (einschließlich der *mittelbaren Rückkopplung* der Technologien auf das Wissen und Verhalten des Menschen) in Abbildung 2 generalisierend dargestellt und kurz gedeutet.

Abbildung 2: Deutungsmodell zur Grundstruktur von Technologien als objektiv-reale Sachsysteme



Eigene Darstellung

Ausdrücklich verwiesen sei auf die eingeordnete *Technik* mit den angeführten *Artefakten* sowie den *operationellen* stofflichen, energetischen und informationellen *Agentia*. Beide Fraktionen werden in der Abbildung mit Beispielen ausführlicher dokumentiert. Die drei gekoppelten materiellen Aspekte sind zugleich typisch für alle *Verfahren* in denen – wie oben genauer beschrieben – der Mensch mit *Arbeitsmitteln* auf die *Arbeitsgegenstände* einwirkt. Das aufgespannte Feld der komplexen Arbeitsgegenstände, die solchen Operationen unterzogen werden, ist in baryzentrischen Koordinaten x_1, x_2, x_3 abgebildet. Die Eckpunkte des gleichseitigen Dreiecks $x_i = 1$ repräsentieren idealisierte theoretische Grenzfälle „reiner" Stoff-, Energie- bzw. Informationstechnologien. Alle realen Technologien sind in dieses Feld mit unterschiedlichen Proportionen von $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ einzuordnen. Infolge der Entwicklungstendenzen des Digitalisierens, Technisierens, Messens, Steuerns, Regelns, Automatisierens in den Technologien steigt das

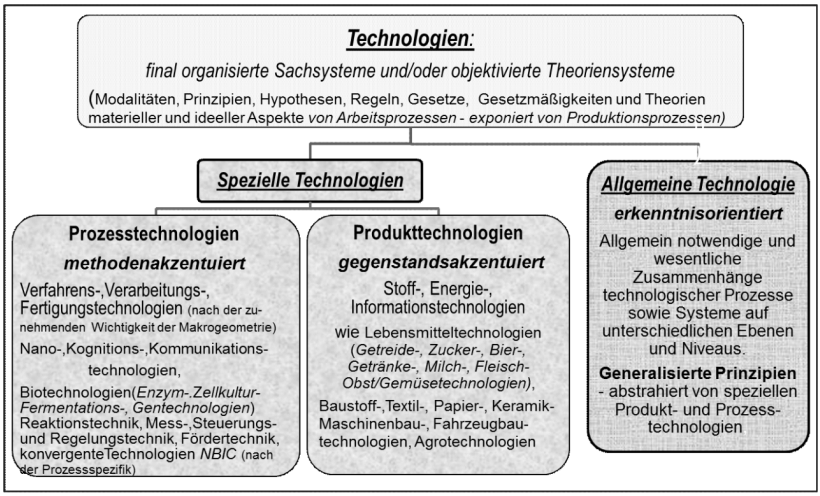
„Gewicht“ der Information x_3 an der emergenten technologischen Gesamtheit/Ganzheit. Diese Tendenz ist mit dem Pfeil angezeigt.

2.5 Klassifikation der Technologien

Bisher existiert kein allgemein akzeptiertes Klassifikationsschema der Technologien. Für dieses eingegrenzte Problem gilt, was für die Klassifizierung der Wissenschaften generell angemerkt werden muss: Sie haben historisch gewachsene, dynamische Strukturen und Substrukturen mit „Hybriden“ sowie gegenständlich und/oder methodisch integrierten Konstituenten und Metatheorien, die sich an den wachsenden Anforderungen orientierten und messen. Daraus resultiert eine Vielfalt denkbarer und praktikabler Adaptionen an die Realität. Eine horizontal und vertikal begründet gegliederte Wissenschaftsklassifikation, die derartige Tatbestände reflektiert, bleibt ein zwar wichtiges, dennoch immer noch offenes wissenschaftstheoretisches Anliegen. Unter verschiedenen Aspekten und Grundprinzipien der Identifikation resultieren durchaus uneinheitliche Klassifikationen und Widersprüche.

Wir wählen eine mit Erfahrungen belegbare und theoretisch annehmbare typologische Variante. Die schematische Darstellung in Abbildung 3 komprimiert den erläuternden Text und erhöht dessen Informationsdichte.

Abbildung 3: Typologie der Technologien und Klassifikationsmodell



Eigene Darstellung

2.6 Aktuelle Entwicklungstendenzen der Technologie

In der Gegenwart werden in wachsendem Maße *Erkenntnis-, Design-* sowie *Entwicklungsprozesse* technologisch adaptiert, eingeordnet und gegebenenfalls vereinigt (vgl. auch Öhlmann 2014). Indikatoren sind die technologische Konvergenz unterschiedlicher physischer und virtueller Systeme auf der Basis der entwicklungsgesetzlich fortschreitenden Technisierung und Automatisierung sowie der qualifizierteren Organisation von Prozessen (z.B. zum gegenwärtig deklarierten Niveau Industrie 4.0). Während die Technisierung primär die Ausdehnung und Qualifizierung des Einsatzfeldes der Technik anbelangt, realisiert die Automatisierung das prägende Prinzip der Selbststeuerung und Selbstreglung der jeweiligen Prozesse. Wesensgemäß übernehmen I&K-Algorithmen und Konzepte dabei maßgebliche Funktionen. Die skizzierte Entwicklung betrifft die effektive Prozesssynchronisation, die Prozessführung mit virtuellen Automatisierungsnetzen, die Standards des Self-Monitoring, das Management von Big Data, die intelligente Datenextraktion aus Big Data-Korpora aller Art, das effiziente Transponieren von Software-Komponenten zur Firmware, die sich praktikabler in Hardware implementieren lässt, und die *„emerging technologies“*.

Die Gruppe der *emerging technologies* stimuliert und verändert gegenwärtig und mindestens in diesem Dezennium anhaltend, mit ihren außerordentlichen Entwicklungspotentialen in überragender Weise das gesellschaftliche Erkenntnis- Kreativitäts- und Produktivitätsniveau, die materiell technische Basis sowie die soziale Umwelt. Dazu gehören neben den Biotechnologien, einigen Informationstechnologien, wie der Mensch-Maschine-Kommunikation, der drahtlosen Datenübertragung, dem digitalen „Abrufdruck“ (print-on-demand), der fortgeschrittenen Robotik sowie den Nanotechnologien, die herauszuhebenden Kognitionstechnologien.

Seit Beginn dieses Jahrtausends ist im Kontext mit den anwendungsoffenen und rasch evolvierenden *converging sciences and technologies*, die Konvergenz von vier Schlüsseltechnologien zu beobachten (vgl. dazu Banse et al. 2007; Roco/Bainbridge 2002): Die Nano-, Bio-, Informations- und Kognitions- bzw. Neurotechnologien gehören zu den herausragenden Versionen der *converging technologies*, die zugleich von der fortschreitenden Transdisziplinarität zeugen und für die sich – aus dem Englischen abgeleitet – die Abkürzung NBIC etabliert hat.

Der NBIC-Konvergenz liegt als hypothetische Kernthese die Kompatibilität der fundamentalen Strukturelemente Atom, Gen, Bit und Neuron (bzw. solcher Gen-Analoga, wie Dawkins Meme und die comps) zugrunde. Die

NBIC bildet die Basis für das Gestalten neuer Verfahren und Produkte, darunter Nano-Bio-Prozessoren verschiedener Arten und Leistungscharakteristika sowie „intelligente Materialien“. Die weitreichende Forschungshypothese des BMBF-Verbundprojektes „Embodied Information“ unterstellt sogar einen *technologischen Paradigmenwechsel*, der sich dadurch vollziehen soll, dass Information, Materie(Substanz) und Aktion auf neue Weise zu „Einheiten verkörperter Information“ fusionieren.

3 Repräsentativ interpretierende Beispiele und inhärente Entwicklungstendenzen

3.1 Die Kognitionstechnologie als emerging technology

Der präzisierungsbedürftige Begriff *Kognitionstechnologie* steht (nach meiner dualen Technologie-Auffassung) für eine methodenakzentuierte Prozesstechnologie, die *Information* und *Kognition* verbindet. Sie ist eine erkenntnis- und anwendungsorientierte, *multidisziplinäre Wissenschaft und* ein imposant komplexes *reales Handlungssystem*. Kognitionstechnologien umfassen den Modus, die Art und Weise, die Verfahren und Strategien, mit denen der affektiv, aktional, sensomotorisch und kognitiv agierende Mensch mit den ihm natürlich gegebenen oder eigens dafür geschaffenen (artifiziellen) Mitteln und Methoden (Arbeitsmitteln im weiteren Sinn) Informationen als Arbeitsgegenstände aus seiner Umgebung aufnimmt, intern und extern be- und verarbeitet (Informationswechsel/Kognition) In den kognitiven („erkennenden“, „verstehenden“) Operationen und Prozeduren werden sie transportiert, transformiert, selektiert, akkumuliert und aktiviert. Nach Maßgabe des Erkannten und unter dem intervenierenden Einfluss fördernder bzw. hemmender, innerer und äußerer Faktoren, werden *Verhaltensstrukturen* und *Handlungsmuster* des Menschen nicht-linear geändert oder neu aufgebaut, also maßgeblich der *innere Zustand des Organismus* (im weiten Wortsinn) beeinflusst, seine *individuelle und ökologische Fitness* konstituiert sowie sein *internes* und *externes Verhalten*, seine *Haltungen* und *Handlungen reguliert*. Die daran mitwirkenden Emotionen, Motivationen und vor allem die Intensionen haben mehr oder minder ausgeprägte kognitive Anteile.

Kognitionstechnologien haben, wie alle Technologien, substrukturierte, faktisch interagierende und logisch verwobene, *naturale, soziale* und *humane Dimensionen* und sie wirken gleichfalls grundsätzlich *vermittelnd, integrierend, verändernd* und *stimulierend*. Integriert sind damit solche theoretisch

konstituierenden Prinzipien, wie das problembezogen vertretbare, sachdienliche *Vereinfachen, Visualisieren, Programmieren* und die humane, optimale Koordination zwischen den agierenden Menschen und den zu bedienenden Systemen – das *kognitive Engineering* im engeren Sinn.

Kognitionstechnologien unterliegen wesensgemäß den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten aller Technologien bis zur abstrahierenden, ebenfalls deutlich evolvierenden ‚Allgemeinen Technologie'. Als emerging technologies können sie diese mit kreieren und deren methodische Vorgehensweisen, erkenntnistheoretischen Struktur- und Prozessmodelle, regulativen Prinzipien, Heuristiken, Algorithmen sowie praktikablen Muster mit erheblichen Vorteilen nutzen.

3.1.1 Kognitionstechnologien – Synthese aus Information, Kognition und Informationswechsel

Weil die Terminologie für diese Technologie in statu nascendi (noch) nicht selbstverständlich oder gar selbsterklärend ist, seien einige definierende (oder immerhin beschreibende) Anmerkungen zu den drei bestimmenden Kategorien Information, Kognition und Informationswechsel in diesen technologischen Exkurs eingeflochten.

Information

Informationen, deren mannigfaltige *Ausprägungen, Aspekte, gedanklich-theoretischen Korrelate* und *Explikate*, wie z.B. Entropien, sind für die Kognitionstechnologie von grundlegender Bedeutung. Erheblich erschwerend wirkt bis dato, dass das Wesen und allgemeingültige, fachübergreifende Merkmale der Information nicht hinreichend aufgeklärt sind (vgl. dazu z.B. Fuchs-Kittowski 1994) oder wenigstens interimistische Verständigungsgrundlagen vereinbart wurden. Auch diese Sachlage spricht für Hegels Mahnung: „Das Bekannte überhaupt ist darum, weil es *bekannt* ist, *nicht erkannt*."

Der extensional und intensional außergewöhnlich umfassende, heterogen gebrauchte, dennoch scheinbar vertraute (bekannte) Begriff *Information* ist wahrscheinlich ein hervorragender Kandidat für das Prädikat sui generis – einzigartig in seiner ausstehenden Charakterisierung.

Der *Informationsbegriff* hat in den verschiedenen Wissenschaftsgebieten und Anwendungsbereichen unverkennbar spezifische Ausprägungen. Dennoch gibt es neben einigen fachübergreifenden Bindegliedern überdies grundsätzlich Verallgemeinerungsfähiges, darunter, dass diese „Metapher des Den-

kens“ stets eine dialektische Einheit ontologischer und kognitiver Momente repräsentiert.

Informationen existieren neben und kooperativ mit Stoffen und Energien als *dritter* fundamentaler *Aspekt der Materie*. Sie sind geordnete, speicher-, konvertier- und übertragbare Strukturen mit einer Bedeutung (Semantik); sie bedürfen in ihren mannigfaltigen physischen Ausprägungen stofflicher und/oder energetischer Strukturen als *statische Träger* oder *dynamische* Stoff- und/oder Energie*ströme*, und sie indizieren diese.

Generell müssen die Informationen unter verschiedenen Perspektiven differenziert werden. Außergewöhnliches in den Charakteristika der Information besteht darin, sowohl *Materielles* als auch *Ideelles* und im Status-/Ereignisbild zudem sowohl *Aktuelles* (*Faktisches*) als auch *Potenzielles* (*Mögliches*) darzustellen. Informationen **I** besitzen als Konterfeis der *Wirklichkeit* und der *Möglichkeit* deren Explikate in wechselnden Verhältnissen. Entscheidende Eigenschaften sind die *Aktualität*, das im *Wahrgenommenen Erkannte*, die faktische Bestimmtheit (Negentropie) $\mathbf{I}_{akt}$ und die *Potenzialität*, das im *Beobachtbaren* und *Wahrnehmbaren* prinzipiell Erkennbare $\mathbf{I}_{pot}$. (also das faktisch noch Unbestimmte).

Informare heißt „bilden“, eine Form (einen *strukturierten Zustand*) generieren; *forma* steht mit Form, Gestalt, Konstitution, Erscheinungs(*form*), (An)*Ordnung* für weitere wichtige, im begrifflichen Reichtum integrierte Aspekte. Dementsprechend bedeutet Information denkbare (wahrscheinliche) und verfügbare (erkannte) Struktur: ‚objektivierte *Semantik*‘, nutzbares Wissen. Informationen sind also vom Wissen unterschieden, aber nicht zu trennen.

Die potenzielle Information/faktische Unbestimmtheit $\mathbf{I}_{pot}$ dimensioniert insbesondere den Informationsgehalt (z.B. einer Datenmenge, einer Nachricht), der das Nichtwissen eines Akteurs beseitigen kann. Im allgemeinen Verständnis quantifizieren Informationen den – meist mit der Zahl der Binärentscheidungen (Bits) angegebenen – Aufwand zur Aufklärung, Steuerung und Regelung von Entitäten.

Informationen haben bekanntlich neben den elementaren mathematisch-statistischen Perspektiven, kognitionsrelevante syntaktische, semantische, sigmatische und pragmatische Aspekte, die eng miteinander verbunden sind. Von der Codierung über die Syntax, Semantik bis zur Pragmatik vertiefen und explizieren sich die Bedeutungsinhalte der Information.

Informationen sind Quellen und entscheidende Ko-Akteure der Selbstreflexion, Selbstinstruktion, Selbstorganisation und Selbstreproduktion.

Die Qualität der Informationsverarbeitung formiert solche kognitiven und anderen bio-psycho-sozialen Schlüsselkompetenzen, wie Wissenserwerb, Wissensorganisation und Wissenspräsentation, emotionale und soziale Intelligenz. Der so genutzte Begriff Kompetenz umfasst neben Wissen, Fertigkeiten, Fähigkeiten und Einstellungen auch Wertvorstellungen.

Kognition

Unter dem Begriff *Kognition* werden (vereinfacht beschrieben) die Prozesse vom Denken zum Wissen subsumiert, bevorzugt das *Kommunizieren*, anschauliches, symbolisches, formal-operationales *Denken*, potenzielles und faktisches *Wissen*, wahrheitswertefähige Gedanken, mentale Repräsentationen und das Erinnern. Kognitionen korrespondieren mit der *Herausbildung, Konsolidierung, Aufklärung* und *Nutzung* von *Strukturen*, dem Formieren, dem Erhalt und der Evolution bestimmter *Ordnungen*.

Karl-Friedrich Wessel verweist darauf, dass im weitesten Sinn alles *Bildung* ist, „was in unserem Gehirn zur *Strukturbildung* führt“ und dass dieses Phänomen leider vernachlässigt wird (vgl. Wessel 2011, S. 181; H.d.V. – L.-G.F.). Analog ist Wissen eine zumindest beschreibbare, u.U. mit Einschränkungen messbare Struktur, die sich entwicklungsgesetzlich verändert.

Das betrifft im Speziellen die Analyse, Beschreibung und Erklärung von Gedächtnis-, Denk- und Sprachverstehensprozessen, einschließlich der invarianten Eigenschaften des menschlichen Verstandes, der „Grundmuster geistiger Gebilde und Vorgänge“ (Friedhart Klix), der Wechselwirkungen zwischen Wissensbesitz und darauf aufbauenden Prozeduren sowie den Gebrauch kognitiver Schemata als implikativ-reduktiven Modellen bestimmter Klassen der objektiv realen kognitiven Prozesse und der Strukturierungen des Wissens. Einzuordnen sind die Fähigkeit und das Bestreben des menschlichen Geistes (besser: seiner Intelligenz) darüber nachzudenken, deren Eigenarten zu erfassen und bewusst zu nutzen. Manche nennen das Besonnenheit. Allein, das ist eine Geschichte für sich.

Solche *kognitiven Entwicklungen* vereinen variable und konstante Komponenten. Ihre Dynamik und komplexen Zusammenhänge sind diffizil, schwierig zu erfassen, noch komplizierter zu steuern und zu regeln oder gar zuverlässig zu prognostizieren.

Mit dieser Interpretation sind die Kommunikation, das Sender-Empfänger-Verhalten, involviert sowie die natürliche und die technische (künstliche) Informationsverarbeitung unter dem dualen Technologiebegriff subsumiert, ohne die weitergehenden Spezifika der beiden Grundformen der In-

formationsverarbeitung sowie die qualitativen Unterschiede zwischen der menschlichen und der künstlichen Intelligenz zu negieren.

Für die Gestaltung *hybrider „Mensch-Maschine-Systeme“* ist der sogenannte „menschliche Faktor“ (human factor) von hohem und weiter wachsendem Stellenwert, weil er typische *psychische, kognitive* und *soziale Eigenschaften des Menschen* (non-technical skills), wie z.B. die besonderen menschlichen Fähigkeiten zur Kooperation und zur Problemlösung als Einflussfaktoren in die sozio-technischen Konstrukte einbringt. Die natürliche und künstliche Verstärkung oder Erweiterung von Kernkompetenzen des menschlichen Verstandes über seine Qualifizierung oder Ausdehnung mit internen oder/und externen Komponenten und Systemen der Informationsverarbeitung erfasst das *cognitive enhancement*, das in seiner Bedeutung deutlich wächst. Die gegenwärtig intensiv bearbeiteten *kognitiven Verstärkungstechnologien* befassen sich gezielt mit den Mitteln, Methoden sowie der Effektivität der internen und externen Informationsverarbeitung mit Hilfe natürlicher, artifizieller und hybrider Verfahren. Beispiele dafür enthält eine Zusammenstellung von Gerhard Öhlmann (siehe Tabelle 2).

Informationswechsel

Die systematisch theoretisch fundierte *Ethologie und Humanontogonetik*, wie sie z.B. Karl-Friedrich Wessel und Günter Tembrock disziplinär und interdisziplinär mit herausgebildet und konsolidiert haben, räumt – logisch begründet und experimentell belegt – dem *Informationswechsel* als Bestandteil des *organismischen Metabolismus* einen überragenden Stellenwert ein. Dieser Vorrang mindert keinesfalls die Bedeutung des, auch für den *humanen* Informationswechsel essentiellen Energie- und Stoffmetabolismus. Beispielweise besitzt das menschliche Gehirn – trotz seines hohen Energiebedarfs – keinen Energiespeicher.

Nach Tembrock bildet der *Informationswechsel* den *Schlüsselbegriff* des adaptiven Verhaltens und der systemischen Evolution, der „in analoger Weise verwendet wird, wie die Begriffe ‚Formwechsel‘ und ‚Stoffwechsel‘“ (Tembrock 1981, S. 64). Während der stofflich-energetische Metabolismus die Aufnahme, den Transport, die chemische bzw. biochemische Umwandlung von Stoffen in einem Organismus sowie die Abgabe von Stoffwechselprodukten an die Umgebung erfasst, besteht der Informationswechsel aus *Feld-Objekt-Kopplungen* mit situativen und permanenten *Organismus-Umwelt-Interaktionen*: komplexen, externen und internen *Transferprozessen* mit *In-*

Tabelle 2: Kognitive Verstärkungstechnologien

Technologie	**zu verstärkende Fähigkeit**
Lehr- und Lernmethoden und Technologien (Environments, Software)	Gedächtnisleistung und Lernfähigkeit Arbeitsgedächtnis Wissen und Entscheidungsfindung
Computer gestützte Kognitionswerkzeuge - Humanfaktor gerecht konstruierte Schnittstellen, Oberflächenelektroden für EEG adaptive Schnittstellen und Systeme - Verstärkte Wirklichkeit (reality)	Gedächtnisleistung (Informationsspeicherung und- Wiedergewinnung) Wissen (d.h. Entscheidungsregeln, Kontext-Verständnis) Entscheidungsanalyse (Berechnung und Simulation) Wahrnehmungsvermögen (maßgeschneidertes Sensor-Input, Visualisierung)
Transkranielle Magnetstimulation	Geschwindigkeit des analogen Schlussfolgerns
Psychopharmazeutika - Cholinerge Funktionsverstärker - Adrenerge Agonisten (d.h. Guanfacin) - AMPA Rezeptor-Modulatoren (d.h. Ampakine, CREB Aktivatoren, Koffeine, Modafinil)	Lernfähigkeit, Gedächtnisleistung Aufmerksamkeit, psychomotorische Leistung Räumliches Arbeitsgedächtnis Langzeit-Gedächtnis
Neurale Schnittstellen - Periphere Nerven-Implantate - Vagus-Nerv Stimulierung - Kortikale Implantate - Hippokampale Implantate	Sensorisches Wahrnehmungsvermögen Wiedererkennungsgedächtnis Fernbedienung von Roboter-Sensorsystemen – Telepräsenz Computer-Schnittstellen Gedächtnisleistung
Gentechnik - Embryo-Auswahl - Keimbahn-Modifizierung	Psychometrisches Messen von Intelligenz

Quelle: nach Öhlmann 2011

Interaktionen: komplexen, externen und internen *Transferprozessen* mit *Informationen* (als gequantelten, gepulsten Größen oder/und Informations*strömen*) sowie deren meist selbstinstruierender, selbstreferenzieller, selbstorganisierender, interner Be- und Verarbeitung. Beim menschlichen *Informationswechsel* werden, in *kognitiven* (das *Wahrgenommene* kommunizierenden, gedanklich erfassenden sowie verarbeitenden: erkennenden, verstehenden, interpretierenden) *Operationen und Prozeduren* – wie in der Begriffsbestimmung für die Kognitionstechnologie angeführt – die verschiedensten *Informationen und Informationsträger* verarbeitet.

Zum Informationswechsel gehören demgemäß als externe Transferprozesse die Aufnahme und Abgabe von Informationen sowie deren interne Transformation/Akkumulation. Die komplexe Informationsverarbeitung umfasst – analog zu den Stoffkomponenten und Energieträgern – drei Prozessgruppen: das *Leiten, Speichern* und *Wandeln*. Über die *Assimilation* und die noch entscheidendere *Äquilibration* prägen sie den inneren Zustand des Organismus (im weiten Wortsinn), sein internes und externes Verhalten. Die kognitive *Äquilibration* ist ein reaktiver, temporäre Gleichgewichte (das Äquilibrium) anstrebender, *deterministisch-chaotischer Prozess*. Er wiederholt sich als Teilprozess innerhalb der wechselwirkenden *Sequenz von Gleichgewichten* und *Nichtgleichgewichten*. Die tendenziell ausgleichende Äquilibration bewirkt die *kognitive Evolution*, die *selbstorganisierende Progression* des *Wissens*, auf ‚Pfaden', die von *Zufälligem* und nur schwer *Trennbarem* charakterisiert, deshalb für mittlere und längere Zeiträume nur sehr begrenzt prognostizierbar sind.

> „Es gibt einen *zeitlich programmierten Informationsbedarf*, der sich im Verlauf des Lebens ähnlich verändert wie der *Nahrungsbedarf*. Die moderne Verhaltensbiologie sieht hier einen ihrer Schwerpunkte künftiger Forschung. Das *Organismus-Umwelt-Problem* erscheint uns dabei als die zentrale Frage" (Tembrock 1981, S. 79).

Dabei wird – etwas vereinfacht ausgelegt – zwischen der Eigenumgebung und der ferneren Umwelt, zwischen einer informationell relevanten und einer lediglich Randbedingungen setzenden Umweltklasse differenziert.

Zu dem fortzuführenden dynamischen Konzept gehört die bleibende Integration des Informationswechsels mit seinen Prozessen und Steuerungsparametern in eine allgemeine, umfassende und evolutionäre Entwicklungstheorie. Dazu bedarf es formalisierender Modelle, und extrapolierbarer Schemata wie sie unter dem Blickwinkel der Kognition in besonders geschätzter Weise die Schule um Klix erarbeitet und eingesetzt hat (vgl. Sommerfeld 1994).

3.1.2 Kognitionstechnologien – Entwicklungs-Quelle und Nutznießer

Einige „emerging" Effekte der wissenschaftlich-technischen Entwicklung kommen den Kognitionstechnologien[1] als fördernde Voraussetzungen und

1 Eine ausführliche Darstellung zu den Kognitionstechnologien kann im Internet unter >> www.leibniz-institut << unter LIFIS – Konferenzen [Archiv] 12th LEIBNIZ CONFER-

herausfordernde Veranlassungen zugute. Sie partizipieren von solchen, selbst mit erwirkten, wissenschaftlich-technischen Entwicklungstendenzen, wie der Technisierung (mit Unschärfen bis zur „Auflösung“ bestimmter Grenzen zwischen Natur und Technik an Gehirn-Computer-Schnittstellen), der Miniaturisierung mechanischer, mikro- und optoelektronischer Strukturelemente, der Physikalisierung, Chemisierung, der kausalen Biotisierung, der Mathematisierung und in deren resultierender Fortführung der – überdies rückkoppelnden – Automatisierung.

Das zeigt sich z.B. deutlich in der Psychophysik, der Neurochemie, der Neurobiologie, der synthetischen Biologie, bei den artifiziellen biomolekularen Funktionssystemen (neuronalen Netzen, integrierten Schaltkreisen), in den innovativen Neurotechnologien mit funktional in die elektrophysiologischen Prozesse des Gehirns integrierten, physisch mit dem Gehirn verbundenen oder in das Gehirn implantierten Einzelelektroden und Elektrodenarrays.

Die in dem Kontext zu akzentuierende *Mathematik* übernimmt als Wissenschaft „aller denkmöglichen Welten“ bei der Problembearbeitung und der Theorienbildung im Sinne der mathematisch-theoretischen Durchdringung mindestens drei Schlüsselfunktionen. Sie ist zum einen das *präziseste Kommunikationsmittel* bei der gestalterischen Arbeit und zum anderen adaptives, polyfunktionelles *Mittel zur Erkenntnis und zur Ergebnispräsentation* (fungiert über die Symbolisierung, Formalisierung, Algebraisierung, Verifizierung, Modellierung, Simulation, Optimierung, Axiomatisierung,…) des „Denkmöglichen“ und objektiv Realen: der Strukturen, Prozesse und Zustände.

3.2 Die Zuckertechnologie als evolvierende Technologie

Am Beispiel der Zuckertechnologie soll die Entwicklung einer gewichtigen Technologie in ihrer dialektischen Einheit von *techné und epistémé* umrissen und etwas abstrahiert werden. Dem Vergleich des zunehmenden phänomenologischen Reichtums der Sachsysteme sowie der wachsenden Interpretations- und Innovationkraft der Theoriesysteme dienen zwei Momentaufnahmen, die mehr als zwei Jahrhunderte auseinanderliegen. Mit einigen vertikalen und horizontalen Verbindungslinien sind die Archardsche Zuckertechnologie auf ihrem manufakturellem Niveau und die aktuelle Zuckertech-

---

ENCE OF ADVANCED SCIENCE: KOGNITIONSTECHNOLOGIEN 2011, abgerufen werden.

nologie auf industriellem Niveau gegenübergestellt. Die Zuckertechnologie zeichnet sich einerseits wegen ihrer Ernährungsrelevanz aus und andererseits wegen der Art und des Umfangs ihrer Verflechtung mit den evolutionären materiellen und ideellen Produktivkräften. Nur erinnert sei überdies an politische Determinanten, wie die erschreckende koloniale Ausbeutung auf Zuckerplantagen und die technologisch katalysierende Napoleonische Kontinentalsperre von 1806 bis 1813.

3.2.1 Skizze zur Entwicklung der Rübenzuckertechnologie mit wertender Einordnung

Das ursprüngliche Luxusgut (Gewürz und Heilmittel) „Zucker“ hatte bereits eine 10.000-jährige, von Polynesien über Indien ausgehende Geschichte, als 1747 Andreas Sigismund Marggraf (1709–1782) wissenschaftlich nachwies, dass der Saft einer Rübe aus der Urform *Beta vulgaris subsp. esculenta varität saccharifera* das begehrte, rare und teure süße Saccharid enthält, dessen chemische Struktur identisch mit dem aus Zuckerrohr gewonnen Produkt ist. Dieses Disaccharid, der Zweifachzucker aus Glucose und Fructose, wird von der Summenformel $C_{12}H_{22}O_{11}$ bzw. mit $C_{12}(H_2O)_{11}$ erfasst. Aus der letztgenannten äquivalenten Form erklärt sich die Bezeichnung Kohlenhydrat. Marggrafs Schüler und Nachfolger im Amt des Direktors der Physikalischen Klasse der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften Berlin Franz Karl Achard (1753–1821) gewann 1799 erstmals „Runkelrübenzucker“ mit einer Rohzuckerausbeute von 5,4%. Die erste Zuckerkampagne begann im März 1802 im damaligen Kunern mit 1801 geernteten, deshalb überlagerten Rüben. Die Fabrikationsverfahren waren einfach, die technische Chemie kaum und die Analytik nur in Ansätzen entwickelt, die gesamte Technik und das lose verkettete Prozess-Systeme erheblich anpassungs- und verbesserungsbedürftig, die Arbeitsräume glichen noch mehr den Apotheken, in denen es die bis dato als Rohzucker importierten und im Lande gereinigten Zuckerhüte zu kaufen gab, als einer Produktionsstätte auf manufakturellem oder gar industriellem Niveau. Der führende Kopf der deutschen und der kontinentalen Zuckerindustrie sowie – „Theoria cum praxi et commune bonum“ – des Anbaus und der Züchtung möglichst zuckerreicher Rüben, Franz Karl Achard, sah in der durchgängigen Verbesserung der Zuckertechnologie mit wissenschaftlichen Mitteln und Methoden und der zuckerspezifischen Agrikultur seine obersten Anliegen. Er wurde (auch gegen anfängliche, später revidierte Widerstände aus der Wissenschaft) zum engagierten, risikobereiten und aufopfernden „Begründer der

deutschen Zuckerindustrie“. Überdies arbeitete Achard, seinem Amt in der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin gerecht werdend, ebenso erfolgreich auf anderen Wissenschaftsgebieten.

Die Geburt der Rübenzuckerindustrie wird mit 1825 datiert. Sie stimulierte in den folgenden Dezennien zahlreiche Industriezweige, wie den Geräte-, Anlagen- und Maschinenbau, die Düngemittelindustrie, die chemische Industrie und die Landwirtschaft. Von der Bodenstruktur begünstigte Landstriche, wie die Magdeburger Börde, stellten sich auf den Anbau von Rüben ein. 1850 gründete sich in Magdeburg als erste deutsche Industrievereinigung der Verein für Rübenzuckerindustrie im Zollverein. Er unterstützte die effiziente Betriebsführung, förderte effektive und rationelle Technologien und assistierte der Zuckerindustrie handelstechnisch und politisch. Die kontinuierlich nachfolgende heutige Wirtschaftsvereinigung Verein der Zuckerindustrie (VdZ), unterstützt die Forschungen und Entwicklungen zum Erhalt der internationalen zuckertechnologischen Verfahrensführerschaft, widmet sich als Arbeitgebervereinigung aber auch der nationalen und internationalen Wirtschaftspolitik sowie erzeugergruppenspezifischen Rechtsfragen.

Berlin wurde mit der zweiten Hälfte des 19. Jh.s zum weltweiten Zentrum der Lehre und Forschung der Rübenzuckertechnologie mit all ihren wissenschaftlichen Grundlagen und Verflechtungen. Ende des 19. Jh.s konnte im Weltmaßstab ebenso viel Rübenzucker erzeugt werden, wie in der traditionsreicheren Rohrzuckerindustrie Heute hat der Rübenzucker einen Anteil von ca. 22% an der Weltzuckerproduktion.

In Deutschland arbeiteten – aus logistischen Erwägungen in der Nähe der Rüben-Anbauflächen – noch nach dem Zweiten Weltkrieg über 400 Zuckerfabriken, zumeist im bäuerlichen Eigentum. Zum Vergleich: 1840 gab es in Deutschland 145, 1890 bereits 406 Zuckerbetriebe.

An der effizienten Prozessführung sowie der effektiven Verfahrensgestaltung zur Zuckergewinnung und Erzeugung erheblicher Menge attraktiver stofflicher Nebenprodukte, wie Melasse, Rübenpektin, Pressschnitzel, Düngekalk in den stofflich, energetisch und nunmehr informationell vernetzten, gesteuerten, geregelten und Prozessen wirkten im „innovationsgerichteten Wissenschaftssystem von Erkenntnissen und Methoden“ mit großem Erfolg mehrere Generationen von Natur-, Technik- und Wirtschaftswissenschaftlern.

Den Agrarwissenschaften gelang es, *Rüben* mit hohem Zuckergehalt (ca. 20%) sowie anderen positiven Anbau- und Verarbeitungseigenschaften zu züchten. So entfiel beispielsweise das Rübenverziehen, das Vereinzeln der Pflanzen wegen ihres Platzbedarfs.

Gegenwärtig produzieren in Deutschland in einer ca. 100-tägigen sogenannten Kampagne pro Jahr, weil höchst effektiv, nur noch 20 besonders leistungsfähige Fabriken die gesamte Zuckermenge. Die Rübenzuckerfabriken sind neu gestaltet, rationalisiert und automatisiert. Die deutsche Zuckerindustrie hat die weltweite Verfahrensführerschaft, das höchste Entwicklungsniveau und Potential für diese Technologie.

In Deutschland wurden bei einem durchschnittlichen Zuckertrag von 9,5 t/ha 3.442.683 t (2010/2011) Weißzuckerwerte erzeugt. Damit kann mehr als der Eigenbedarf gedeckt werden. Die größte tatsächliche Verarbeitungsleistung der Fabrik in Uelzen – der „Kathedrale“ der deutschen Zuckerindustrie – beträgt 15.000 t Rüben pro Tag. 85,8% des Nahrungs- und Genussmittels ohne Mindesthaltbarkeitsdatum mit der Handelbezeichnung Zucker werden als Verarbeitungszucker für die Industrie und das Handwerk, 14,2% als Haushaltszucker in verschiedensten Applikationsformen, wie Kristall-, Würfel-, Puderzucker, eingesetzt.

Die Europäische Union erzeugt gegenwärtig auf mehr als 1,35 Mio. Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche, in unseren gemäßigten Breiten fast nur aus Zuckerrüben rund 22 Mio. Tonnen Weißzucker.

Ein paralleler Exkurs in die gekoppelte Entwicklung der Technologie als Theoriensystem lässt erkennen: In Deutschland etablierte sich – in den 70er Jahren des 20. Jh.s deutlich aus mehreren wissenschaftlich und wirtschaftlich sehr erfolgreichen speziellen landwirtschaftlichen Technologien hervortretend – die verfahrenstechnisch verallgemeinernde Lebensmitteltechnologie (LMT). Die Zuckertechnologie und die Technologie des Bierbrauens wirkten dabei als gegenstandsbezogene Produkttechnologien von Weltgeltung exemplarisch. Die Entwicklung industrieller Großanlagen, deren wachsende Komplexität rasch zunehmender Verflechtungs- und Automatisierungsgrade, die Chancen bzw. Erfordernisse der Mess- und Computertechnik sowie restriktive energiewirtschaftliche, ökologische und ökonomische Optimierungskonditionen, aber auch höhere Ansprüche an die Produktqualität und Produktvielfalt katalysierten und erzwangen diesen qualitativen Sprung, das fortgeschrittene wissenschaftlich-technische Erkenntnisniveau (von dem auch die Zuckertechnologie nachhaltige profitierte) arrangierte ihn. Dieser umfassende und nachhaltige Wandel basierte auf vielfältigen Innovationen und katalysiert seinerseits als Input weitere Fortschritte.

3.2.2 Die Rübenzuckertechnologie auf zwei historischen Entwicklungsniveaus

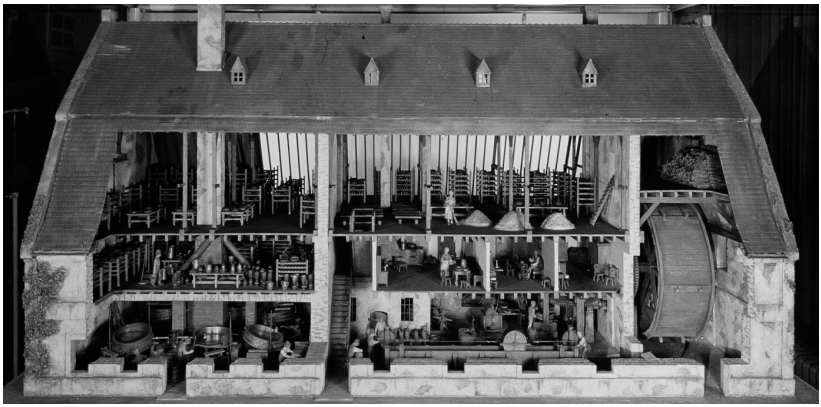
Seit Archards erster Zuckerkampagne im März 1802 hat sich am Grundanliegen nichts geändert: Die große Herausforderung und „Kunst“ der Zuckertechnologen besteht nach wie vor darin, mit möglichst minimalem Aufwand an Energien, Stoffen aller Art (darunter beträchtliche Wassermengen) und Arbeitskräften sowie finanziellen Mitteln, mit den wenigsten Verlusten und geringsten Umweltbelastungen, Saccharose mit hoher Qualität aus den Zuckerrüben zu gewinnen.

Entscheidend gewandelt haben sich das Niveau der objektiv-realen *Prozess-Systeme* (*Sachsysteme*) und der akkumulierenden, systematisierenden *Wissens-Systeme* (*Theoriensysteme*). Das belegen die technologischen Momentaufnahmen.

Das Modell der nach Plänen Franz Carl Achards 1805 in Krayn (Schlesien) errichteten Zuckerfabrik vermittelt einen kompakten optischen Eindruck vom damaligen Niveau der technischen Ausrüstungen und den mit ihnen chargenweise realisierten diskontinuierlichen Prozessen (siehe Abbildung 4).

Rechts im Erdgeschoss ist eine Pressbahn mit schwerer Walze angeordnet. Sie wird von einem Ochsentretwerk bewegt und dient zur Saftgewinnung aus den zerkleinerten Zuckerrüben. Im Erdgeschoss links unten sind

Abbildung 4: Blick in das Modell der 1805 nach Plänen von Franz Carl Achard gebauten Zuckerfabrik im schlesischen Krayn



Quelle: Zucker-Museum im Deutschen Technik-Museum Berlin

Klär- und Verdampfpfannen mit Dampfheizung und Abläufen erkennbar. Im 1. Stock direkt darüber wird der kristallisierte Zucker in Zuckerhutformen gereinigt.

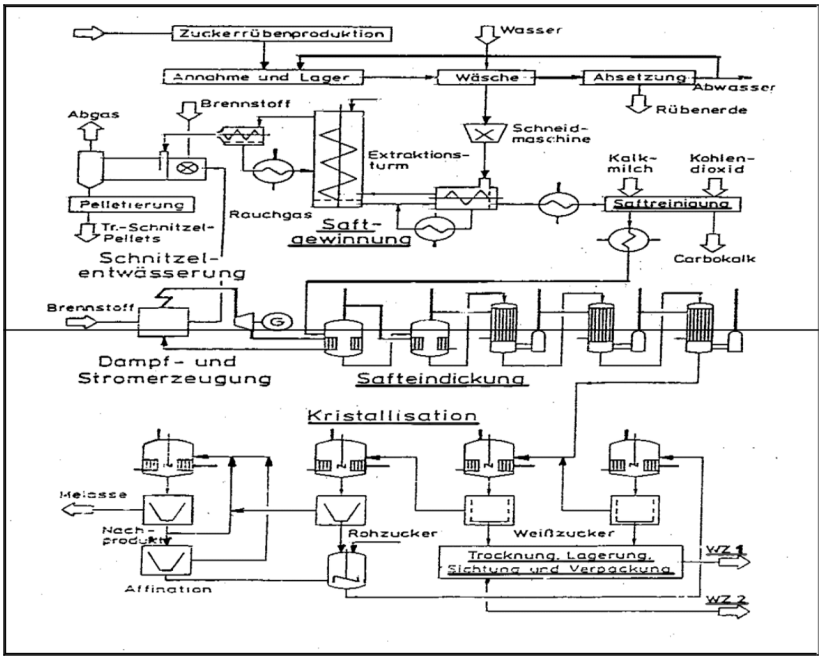
Eine aufschlussreiche – bis zur zeittypischen „Analytik“ mit dem Gehör sowie dem Daumen und Zeigefinger reichende – historische Beschreibung aus dem Jahr 1839 zur vergleichbaren manufakturellen Zuckergewinnung in den Siedehäusern der englischen Zuckerplantagen entnehmen wir Albert Franz Jöchers Vollständigem Lexikon der Warenkunde in all ihren Zweigen (vgl. Jöcher 1839, S. 684):

In den Siedehäusern der englischen Zuckerplantagen wird der ausgepreßte Zuckersaft aus dem Saftbehälter in hölzernen, mit Blei ausgelegten Rinnen zu den Klärpfannen geleitet, deren in einem Siedehause drei, jede 300 bis 400 Gallonen fassend, vorhanden und mit ihren Feuerungen von einander abgesondert sind, damit die Arbeit an einer jeden ungehindert betrieben werden kann. Der Saft wird mit Kalk vermischt, statt dessen man auch in neuerer Zeit getrocknetes Blut oder thierische Kohle anwender. Nachdem die Mischung geschehen ist, zündet man das Feuer unter dem Kessel an und verstärkt es nach und nach so weit, bis durch den oben auf dem Safte sich sammelnden Schaum mit Geräusch Blasen hervorbrechen, worauf das Feuer plötzlich ausgelöscht wird; dann bleibt der Saft eine Stunde lang ruhig stehen, damit alle Unreinigkeit sich ausscheidet, worauf man den nun ganz klar gewordenen Saft durch einen am Boden der Klärpfanne angebrachten Hahn ablaufen läßt, oder ihn mittelst eines Hebers durch den Schaum abzieht. Zur weiteren Behandlung des geklärten Saftes dienen vier Siedepfannen, von denen eine immer kleiner als die andere ist. Die größte hat so viel Raum, daß der sämmtliche geklärte Saft aus einer Klärpfanne darin aufgenommen werden kann; in dieser wird er nun so lange gekocht und abgeschäumt, bis er so weit eingesotten ist, daß die zweite Siedepfanne damit gefüllt wird. Hier kocht und schäumt man ihn wieder so lange, bis er in der dritten Platz hat, aus welcher er dann, nach derselben Behandlung, in die vierte kommt und in dieser so lange eingesotten wird, bis er zur Krystallisation geeignet ist, was sich daraus ergiebt, wenn er sich auf der Rückseite des Schaumlöffels körnt oder wenn eine zwischen den Daumen und Zeigefinger genommene Probe sich einen Viertelzoll lang ziehen läßt, ehe sie zerreißt.

Das nachfolgende vereinfachte Schema in Abbildung 5 verdeutlicht die notwendigen technologischen Schritte. Es löst gewissermaßen den historischen Text auf und demonstriert als zweite Momentaufnahme den gegenwärtigen Entwicklungsstand.

Die am Kapitelanfang charakterisierte zuckertechnologische Herausforderung und Kunst heißt zunächst die Saccharose aus dem züchterisch ständig verbesserten Fruchtkörper herauszulösen, zu extrahieren und von einer Vielzahl anderer wasserlöslicher Substanzen zu trennen und in mehreren technologischen Schritten dem abgebildeten vereinfachten Schema zu folgen.

Abbildung 5: Verfahrenszug zur industriellen Rübenzuckergewinnung mit gekoppelter Dampf- und Stromerzeugung (vereinfachtes Flussbild der Stoffströme)



Darstellung Berliner Zuckerinstitut (Technische Universität Berlin)

Rohsaftgewinnung

Die maschinell geernteten, bereits auf den Feldern vollautomatisch von den Blättern und dem Kopf getrennten, Rüben werden in der Fabrik gründlich gewaschenen (2,5 bis 4,5 m^3 Wasser pro Tonne Rüben), zu Schnitzeln zerkleinert und mit heißem Wasser von 80°C versetzt in *Extraktionstürmen* von 20 m Höhe im Gegenstrom ausgelaugt. Wasser mit einer Temperatur von 20 °C vermag pro Liter bereits 203,9 g Zucker, bei 100°C aber 487 g Zucker/l zu lösen. Das heiße Wasser erhöht zugleich die Durchlässigkeit der Zellwände für den Zellsaft. Weil im dunkelgrauen bis schwarzen, *trüben Rohsaft* nicht nur der Zucker gelöst ist, müssen die unerwünschten Fremdstoffe (Nichtzuckerstoffe mit 2 bis 2,5% der Trockensubstanz des Rohsaftes) entfernt werden.

Saftreinigung

Dem Rohsaft wird *Kalkmilch* zugesetzt, um Nichtzuckerstoffe zu binden, die vermittels der Zugabe von Kohlendioxid als *Calciumcarbonate ausgefällt* und über eine *Filtration abgetrennt* werden. Das Filtrat, der klare, hellgelbe Dünnsaft, enthält 14% bis 16% Zucker.

Safteindickung

In mehreren Verdampfern wird dem *Dünnsaft* stufenweise bei vermindertem Druck Wasser entzogen, indem es als Brüden (mit anderen Gasen vermischter Wasserdampf) abgeführt und aus energiewirtschaftlichen Gründen in anderen Verdampfern zum Erwärmen für das schrittweise Eindicken des Saftes weiter genutzt wird. Der so entstehende *goldbraune Dicksaft* enthält nun schon zu rund zwei Drittel seiner Masse Zucker.

Kristallisation

Erwünscht ist der schneeweiße, hoch reine Feststoff Kristallzucker. Der lässt sich mit dieser Trennoperation auf zwei Wegen gewinnen: der *Kühlungs-* oder/und der *Verdampfungskristallisation*.

Entweder wird die konzentrierte Lösung mit Kühlwasser so weit abgekühlt, bis der Zucker, wie bei der Bildung von Wassereis, auskristallisiert (*Kühlungskristallisation*). Oder, wiederum bei vermindertem Druck, im *Vakuum-Kristallisator* „gekocht“ und bei einem bestimmten Zuckergehalt (im übersättigtem Zustand) mit einem Kristallisat „geimpft“, das die Kristallisation einleitet. Beim weiteren Wasserentzug wachsen die Kristalle bis zur gewünschten Größe, und es entsteht ein zähflüssiges Magma – ein Gemisch aus Sirup und ca. 50% Rohzuckerkristallen. Die Saccharosekristallisation unter industriellen Bedingungen wird wegen der guten Löslichkeit der Saccharose in mehrstufigen Verfahren mittels Verdampfungs- und Kühlungskristallisation realisiert. Die Kristallisationsschemata sind dadurch charakterisiert, dass infolge der steigenden Konzentration der Nichtsaccharose-Stoffe in den Muttersirupen, die Qualität der Kristallisate von Stufe zu Stufe abnimmt. Unterschreitet sie ein bestimmtes Niveau, so müssen die Kristalle wieder aufgelöst, in einem apparativ und energetisch aufwendigen Verfahren in den vorderen Kristallisationsstufen umkristallisiert werden. Dennoch ist die Kristallisation ein sehr effektives thermisches Trennverfahren. Sie nimmt zudem bei der Zuckergewinnung in zweifacher Hinsicht eine Schlüsselstellung ein.

Zum einen ist sie der letztendlich entscheidende Verfahrensschritt hinsichtlich zahlreicher und vor allem verschiedenartiger Parameter der Saccharosequalität und zum anderen hängt im hohen Maße die Zuckerausbeute von der Kristallisation ab.

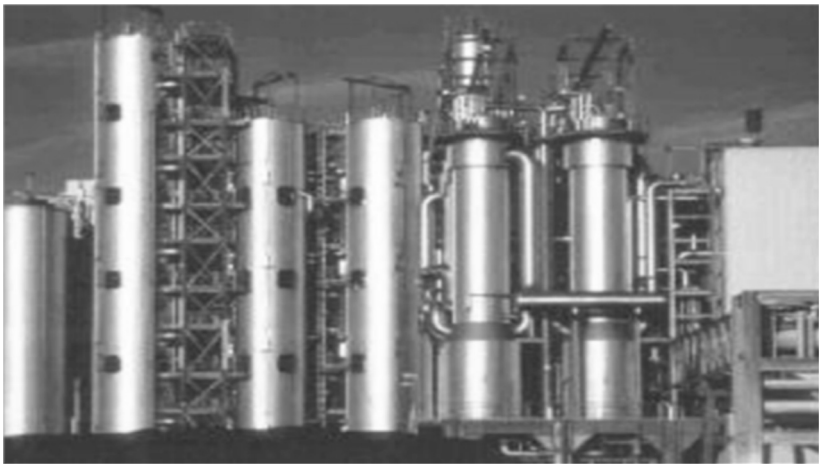
Obwohl die Saccharosekristallisation wegen dieser Schlüsselstellung seit mehr als hundert Jahren Gegenstand intensiver Untersuchungen ist, sind auch heute noch einige Probleme nicht befriedigend gelöst.

Die deutsche Anlagen- und Maschinenbau-Firmen (z.B. die BMA Braunschweig) arbeiten mit ihrem international anerkannten Know-how an wegweisenden zuckertechnologischen Lösungen für die wichtigsten Verfahrensstufen, darunter die kontinuierliche Kristallisation (siehe Abbildung 6 und Tabelle 3).

Um den enormen technologischen Fortschritt zu erfassen, empfiehlt es sich, als Singularität die Siedepfanne der Krayner Manufaktur mit der abgebildeten industriellen Anlage zur kontinuierlichen Kristallisation zu vergleichen.

Die Trennung des Gemischs von Sirup und Rohzuckerkristallen aus der Kristallisation lässt sich in Zentrifugen erreichen. Der Sirup wird von den

Abbildung 6: Kontinuierliche Kristallisation mit Doppeleffektverdampfung im energiesparenden Verbundsystem



Quelle: BMA Braunschweig

Tabelle 3: Technische Daten

Vertikale kontinuierliche Kristallisatoren (VKT)	Weißzucker:	5 Kammern
	Rohzucker:	4 Kammern
	Nachprodukt:	4 Kammern
Reduzierung des Heizdampfdrucks bei Weißzucker	konventionell:	0,95 bar
	Doppeleffekt:	0,20 bar
	Kristallisationszeit:	4,5 h

Eigene Darstellung

Zuckerkristallen, dem gelblich-braunen Rohzucker, abgeschleudert. Die klebrigen Oberflächen der bräunlichen Rohzuckerkristalle werden im Wasserstrahl gewaschen. So entsteht nach der Trocknung, Kühlung und Sichtung der Weißzucker (WZ) – die Grundsorte. Weitere Reinigungsschritte mit Wasser bzw. Wasserdampf sind nötig, um die hochwertige Raffinade zu erhalten.

Um die Zucker-Ausbeute zu erhöhen, wird mit dem zähflüssigen Sirup die *Verdampfungskristallisation* wiederholt. Es bildet sich der Nachproduktzucker und es verbleibt eine zucker- und eiweißreiche Melasse, woraus Zucker nicht mehr kristallisiert. Diese *Melasse* lässt sich als wertvolles Nebenprodukt für die Herstellung von Arzneimitteln, Alkohol, Hefen und als Futtermittelzusatz nutzen. Strahlend weiße Raffinade entsteht aus dem aufgelösten Roh- und Nachproduktzucker. Diese Lösung wird zunächst filtriert und dann erneut kristallisiert.

Die charakteristisch geformten, hoch reinen Kristalle müssen getrocknet, gekühlt, abgepackt, transportiert werden. Sie haben kein Mindesthaltbarkeitsdatum, sind sicher lagerfähig.

3.2.3 Der „*Water-Footprint*“ und seine naturale zuckertechnologische Dimension

Die Verfügbarkeit und die Inanspruchnahme der begrenzten Wasserressourcen sind nicht nur technologisch schwerwiegende, sondern – weit mehr – weltpolitisch besonders (be)drängende Probleme (vgl. Fleischer 2013, S. 257ff.). Sie betreffen alle Technologien, sollen aber in ihrer Größenordnung und Beinflussbarkeit anhand der Zuckertechnologien umrissen werden.

Wissenschaftler der Technischen Universität Wien untersuchten 65 europäische Zuckerfabriken und ermittelten, dass sie im Durchschnitt pro kg aus Zuckerrüben erzeugtem Weißzucker fast 560 l virtuelles Wasser benötigen.

Damit sind jene Wassermengen gemeint, die im gesamten Prozess verbraucht oder verschmutzt werden und verdunsten.

Grünes virtuelles Wasser erfasst im „Water-Footprint“ – einem das Produkt ökologisch „belastenden“ Fußabdruck – die Menge an Regenwasser, die im Boden gespeichert und während des Wachstumsprozesses von den Pflanzen aufgenommen wird. *Blaues* virtuelles Wasser kennzeichnet die Menge des Grund- und Oberflächenwassers aus Seen, Flüssen und Wasserspeichern, das direkt an den genutzten Wasserflächen verdunstet oder zur Bewässerung auf die Felder gebracht, dort von den Pflanzen aufgenommen wird oder verdunstet. *Graues* virtuelles Wasser wird benötigt, um in den Prozessen direkt verschmutztes Abwasser zumindest gedacht (theoretisch) wieder so weit zu verdünnen, dass es die Wasserqualitätsstandards erfüllt.

Diese drei Komponenten sind in der gesamten virtuellen Wassermenge für 1 kg Rübenzucker mit 375 l (67,3%) für grünes, 54 l (9,7%) für blaues und 128 l (23%) für graues virtuelles Wasser enthalten. Rund ein Fünftel der Anbauflächen von Zuckerrüben werden bewässert, große Wassermengen sind für die Rübenreinigung notwendig.

Jeder Deutsche beansprucht allein für seinen Zuckerverbrauch pro Jahr 19,5 m^3 – Kubikmeter! (19.500 l) – virtuellen Wassers. In anderen Veröffentlichungen sind für Rübenzucker durchaus noch höhere Werte zu finden.

Die weltweit überwiegende Erzeugung von Weißzucker geht auf Zuckerrohr zurück. Im Weltdurchschnitt werden dabei sogar 15.000 l virtuellen Wassers pro kg raffinierten Rohrzuckers benötig; davon sind 45% (675 l) grünes, 49% (735 l) blaues und nur 6% (90 l) graues virtuelles Wasser. Insbesondere bei der Bewässerung von Zuckerrohr (blaues Wasser) sind die klimabedingten regionalen Unterschiede beachtlich. Für die 22 Millionen Tonnen Weißzucker, die die EU-27 erzeugt, benötigte sie (mit den Zahlenwerten der Technischen Universität Wien gerechnet) 12,25 Billionen Liter virtuelles Wasser. Das ist ein Viertel des gesamten Wasservolumens vom Bodensee, des größten Trinkwasserspenders in Europa

Die Probleme der Verfügbarkeit und Inanspruchnahme von Wasserressourcen werden zwar unter ihren wichtigsten Perspektiven unablässig weltweit erörtert, aber selbst die realen (*Teil*-)Lösungen für einzelne Technologien fallen sehr differenziert – meist noch unbefriedigend – aus. Auch aus den selektiven technologischen Perspektiven sind die Probleme offen.

4 Fazit

Wie in keiner anderen Entwicklungsphase ist der gesellschaftliche Fortschritt mit der Wissenschaft, der Technik und Technologie verwoben und resultiert zu einem beträchtlichen, nicht zu ersetzendem Teil aus deren Erkenntnissen und Innovationen. Sie bedingen einander und haben im internationalen Maßstab einen beachtlichen – in dem Beitrag fakten- und facettenreich dokumentierten – Stand erreicht. Unverkennbar sind jedoch auch die, auf nachhaltige Ergebnisse drängenden, zunehmend polarisierenden Problemen der Menschheit. Dafür darf der Technologiefortschritt im Sinne der dialektischen Einheit von techné *und* epistémé freilich sich nicht nur selbst genügen. Vielmehr muss er sich bei allen soziotechnischen Innovationsprozessen, dem Leitgedanken „Theoria cum praxi et commune bonum" verpflichtet, am allseitigen gesellschaftlichen Fortschritt messen lassen und beweisen.

Literatur

Banse, G.; Grunwald, A.; Hronszky, I.; Nelson, G. (eds.) (2007): Assessing Societal Implications of Converging Technological Development. Berlin

Banse, G; Reher, E.-O. (2008): Einleitung. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 7–19 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 99)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2014): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 36)

Beckmann, J. (1870): Anleitung zur Technologie oder zur Kenntnis der Handwerke, Fabriken und Manufakturen. 2. Aufl. Göttingen

Fleischer, L.-G. (2013): Ernährung „versus" Energetik – mit einigen Facetten zum Toleranzproblem. In: Banse, G.; Wollgast, S. (Hg.): Toleranz – gestern, heute, morgen. Berlin, S. 253–277 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 33)

Fratzscher, W. (2008): Technikwissenschaften und Technologie. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 127–136 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 99)

Fuchs-Kittowski, K. (1994): Information – Neither Matter nor Mind: On the Essence and on the Evolutionary Stage Conception on Information. In: Hofkirchner, W. (ed.): The Quest For A Unified Theory of Information. Proceedings of the Second International Conference on the Foundations of Information Science. Amsterdam, pp. 331–350 (World Futures General Evolution Studies, Vol. 13)

Hegel, G. W. F. (1949): Phänomenologie des Geistes. Leipzig

Humboldt, A. von (1845): Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Bd. 1. Stuttgart

Jöcher, A. F. (1839): Vollständiges Lexikon der Warenkunde in all ihren Zweigen. Quedlinburg/Leipzig

Marx, K. (1971): Das Kapital. Bd. 1 [1867]. In: Marx, K.; Engels, F.: Werke. Bd. 23. Berlin

Öhlmann, G. (2011): Exzerpte und Resümees zur LIFIS-Konferenz Kognitionstechnologie in Theorie und Praxis. – URL: http:/www.leibniz-institut.de/konferenzen/12th LEIBNIZ KONFERENCE OF ADVANCED SCIENCE: KOGNITIONSTECHNOLOGIEN 2011/ archiv

Öhlmann, G. (2014): Technologien des 21. Jahrhunderts. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 379–444 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 36)

Roco, M. C.; Bainbridge, S. (eds.) (2002): Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. National Science Foundation (NSF/DOC) sponsored Report. Arlington/VA

Ropohl, G. (2009): Allgemeine Technologie Eine Systemtheorie der Technik (3. überarb. Aufl.). Karlsruhe

Sommerfeld, E. (1994): Kognitive Strukturen. Mathematisch-psychologische Elementaranalysen der Wissensstrukturierung und Informationsverarbeitung. Münster/New York

Spur, G. (2008): Allgemeine Technologie und Innovationstheorie. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 137–179 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 99)

Tembrock, G. (1981): Moderne Verhaltensforschung. In: Fleischer, L.-G.; Hess, H. (Hg.): Wissen aus erster Hand – Erkenntnisse, Erfahrungen, Erfolge der Wissenschaft. Berlin, S. 63–79

Wessel, K.-F. (2011): Disziplinarität und Interdisziplinarität in der Bildung. In: Banse, G.; Fleischer, L.-G. (Hg.): Wissenschaft im Kontext. Inter- und Transdisziplinarität in Theorie und Praxis. Berlin, S. 179–185 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaft, Bd. 27)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 69–94*

Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher

Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen

1 Problemstellung

Im 21. Jh. werden Geisteskraft, Phantasie, Erfindungsreichtum und Organisation der neuen Technologien die strategisch wichtigste Rolle spielen. Heute sind das Wissen und die Fertigkeiten die einzigen Quellen jeglichen Wettbewerbsvorteils (vgl. Thurow 1996). Diese Einsicht ist indes nicht neu. Vor über Jahren meinte bereits Ferdinand Redtenbacher, erster Direktor der Polytechnischen Schule Karlsruhe:

> „Wir auf dem Continente haben weder die Geldkräfte noch diesen Umfang an Erfahrungen in der Ausführung aller Specialitäten, um den rein empirischen Weg ausschließlich verfolgen zu können, und sind daher gezwungen, durch intelligente Kraft und wissenschaftliche Einsicht das mangelnde Geld und die eingeschränktere Erfahrung zu ersetzen oder zu unterstützen“ (Redtenbacher 1858, S. 125).

Viele Länder ohne natürliche Ressourcen werden im kommenden Jahrhundert aufblühen, weil sie das Schwergewicht auf Technologien und Produktionsprozesse legen, die ihnen auf den globalen Märkten einen Wettbewerbsvorteil verschaffen (vgl. Kaku 2000). Das wird wohl auch mit den Überlegungen zur sogenannten „Wissensgesellschaft“ verbunden, die im Umfeld der Europäischen Union entstanden sind. Wir erinnern:

> „Die entscheidenden Impulse zur Entwicklung einer europäischen Wissensgesellschaft gehen von den Lissaboner Beschlüssen (2000) aus, die auf die große Bedeutung von Forschung und Entwicklung und von Humankapitalinvestitionen für die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit verweisen. Die Wissensbasierung der europäischen Wirtschaft sollte mit Hilfe von Informatisierung und Innovation [...] werden“ (Hödl 2007, S. 529).[1]

1 Vgl. zur Thematik „Innovation“ auch Banse 2015; Banse/Grimmeiss 2014; Decker et al. 2012.

Spätestens seit diesem Zeitpunkt hat das Konzept der „Wissensgesellschaft", das auf Überlegungen in den 1960er-Jahren zurückgeht, einen karrierehaften Aufschwung genommen (vgl. auch Berthoud et al. 2005; Franz et al. 2001; Stehr 1994). Es löste weitgehend das Konzept der „Informationsgesellschaft" ab, verdrängte dieses.

> „Der Begriff Wissensgesellschaft bezeichnet eine Gesellschaftsformation in hochentwickelten Ländern, in der individuelles und kollektives Wissen und seine Organisation vermehrt zur Grundlage des sozialen und ökonomischen Zusammenlebens wird".[1]

Indes: Seit es Menschen gibt, haben diese Wissen produziert und kommuniziert. Gesellschaftlichkeit und Gesellschaften basieren wesentlich auf dem Austausch von Informationen, vor allem von Wissen. Insofern ist die vielfach vorgenommene Attribuierung allein der Gegenwart als Informationsgesellschaft bzw. Wissensgesellschaft unzutreffend. Allerdings kommen durch aktuelle Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien neuartige Merkmale hinzu, die es zumindest berechtigt erscheinen lassen, von einer neuen Qualität in den informationellen Beziehungen zu sprechen. (Diskussionswürdig sind u.E. in diesem Zusammenhang die aktuellen Überlegungen zu „Industrie 4.0".[2]) Zu bedenken ist zudem, dass eine informationale Transparenz vorherrscht, die es in früheren Gesellschaften nicht gab („Gläserner Mensch", gläserne Fabrik, gläserne Prozesse u.ä.; vgl. näher Banse 2013; vgl. auch Banse/Reher 2011; siehe Abbildung 1).

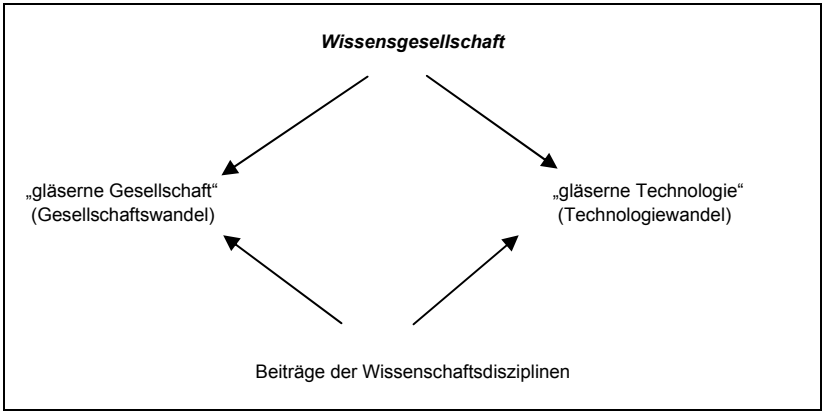
Hinzu kommt folgender Gedanke: Die vielfache Verwendung der Begrifflichkeiten „Wissensgesellschaft" (bzw. „Informationsgesellschaft") deutet zumindest an,

> „dass Zusammenhänge, die auch schon früher da waren, aber noch begrenzte Relevanz besaßen, jetzt in einem neuen Licht gesehen werden, weil sich deren Stellenwert im realen Gesamtzusammenhang des gesellschaftlichen Lebensprozesses gewandelt und erhöht hat" (Hofkirchner 2002, S. 11).

In bzw. mit der Wissensgesellschaft wird Wissen zu einer strategischen Ressource in Produkten und Dienstleistungen: die effektive Nutzung des Wissens ist ein entscheidender Wettbewerbsfaktor. Deshalb kommt im Konzept der Wissensgesellschaft Wissenschaft, Forschung und Bildung gene-

1 http://de.wikipedia.org/wiki/Wissensgesellschaft [08. September 2014].
2 Vgl. z.B. http://www.bmbf.de/de/9072.php [08. September 2014].

Abbildung 1: Charakteristik der Wissensgesellschaft als „gläserne Gesellschaft“



Eigene Darstellung

rell, der beruflichen Qualifikation der Arbeitnehmer insbesondere eine hohe, eine entscheidende Bedeutung zu. Dazu nur wenige Zahlen:

- 2009: > 4,2 Mio. Forscher in F&E im OECD-Bereich,
  7,6 Forscher pro 1.000 Werktätige (1999: 6,6);[3]
- 2009: Jeder fünfte Wissenschaftler weltweit ist ein Chinese,
  der FuE-Anteil weltweit lag 2002 bei 1,71% BIP und 2007 bei 1,74% BIP;[4]
- im produzierenden Gewerbe (ohne Bau) waren in Deutschland 1990 ca. 30% der Erwerbstätigen beschäftigt,
  2010 waren es nur noch 19%
  (die Dienstleistungsbranche dagegen veränderte sich von 1991 von ca. 60% auf 74% im Jahre 2010);
- 2014: 2.617.000 Studierende in Deutschland (2020: ca. 2.516.600).

Diese Veränderungen schlagen sich auch in den Studienplänen von Universitäten und Hochschulen und in der Facharbeiterausbildung nieder. In den Tabellen 1, 2 und 3 sind weitere Veränderungen aufgelistet, auf die später zurückgekommen wird.

3 Vgl. www.oecd-ilibrary.org/content/book/sti_scoreboard-2011-en [05.11.2014].
4 Vgl. http://www.unesco.de/3995.html [05.11.2014].

Tabelle 1: Beispiele für grundsätzliche Veränderungen in der globalen Wissensgesellschaft wie in konkreten Technologiebereichen

Wissenschaftleranzahl wächst ständig weiter (man vergleiche die Studentenzahlen), 90% aller je tätigen Wissenschaftler sind gegenwärtig tätig;
lebenslanges Lernen und Fort- wie Weiterbildung werden zwingend, Bildungswandel ist erforderlich;
das Verhältnis Produktionstechnologien zu Dienstleistungstechnologien verändert sich rapide zu Gunsten Letzterer (z.B. in den USA 15 zu 85 %),
Interdisziplinarität ist im gesamten Reproduktionsprozess (von der Forschung und der Entwicklung über die Nutzung bis zum Rückbau) zwingend erforderlich für die Hochtechnologien („Konvergente Technologien“);
Wissensspeicherung erfolgt in unterschiedlichen Medien mit zunehmendem Zugang für Alle;
weltweit entstehen externe Firmenarbeitsplätze mit Computern als Arbeitsmittel;
Wandel der Einzelwissenschaften zu Kooperationen in „Konvergenten Technologien“ (z.B. *NBIC* – *N*ano-, *B*io-, *I*nformationstechnologie und *C*ognitive Sciences);
alte Technologien werden in Entwicklungsländer ausgelagert (z.B. Massenkunststoffe, metallurgische Betriebe), die Ursprungsländer entwickeln neue Verfahren und Ausrüstungen;
steigende Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen (2050: ca. 80% der Versorgung) – Energiewende;
ca. 50 Mio. Menschen („Migranten“) sind auf der Flucht in die reichen (wohlhabenden) Länder und stellen damit billige Arbeitskräfte für wenig qualifizierte Arbeiten dar;
Modelle und Software begleiten und fördern neue Hardware-Entwicklungen.

Eigene Darstellung

Tabelle 2: Technologiekennzeichnung in unterschiedlichen Gesellschaftssystemen

Gesellschaftssystem*	**Technologie-Kennzeichnungen***
Agrargesellschaft	Agrartechnologien Handwerkstechnologien Manufakturtechnologien Antriebe: durch Muskel-, Wasser-, Windkraft, Dampf, Holz, Böden (Fruchtfolge, Brachliegen), Einzelwirtschaften
Industriegesellschaft	Industrietechnologien Automatisierte Technologieabläufe große Produktionslinien, Mehrprodukt- und Einstranganlagen Antriebe: durch Elektro- und Verbrennungsmotoren Konzernbildung, Kapitalakkumulation, Kapitalexport, Kolonialisierung, Technisierung der Landwirtschaft
Wissensgesellschaft	Konvergente Technologien (NBIC) Robotergesteuerte Technologieabläufe Selbstorganisation Bottom up-Verfahren (naturwissenschaftlich dominierte Methoden) Top down-Verfahren (technikwissenschaftlich dominierte Methoden) molekulare Antriebe Interdisziplinarität, Transdisziplinarität dominiert, Metawissenschaften entstehen

* Bewährtes und Nicht-Ersetzbares (Notwendiges) wurde stets von einer Gesellschaftsordnung zur anderen übernommen.

Eigene Darstellung

Tabelle 3: Innovationsmerkmale

Gesellschafts-system	**Innovations-Kennzeichnungen**	**Anmerkungen**
Agrar-gesellschaft	Handwerke, Zünfte bringen Produkte und Bereitungen hervor Manufakturen greifen die Entwicklungen auf Mechanik ist die bestimmende Wissenschaft	Einzelanfertigungen Beginn einer Massenfertigung in der Landwirtschaft und in Manufakturen
Industrie-gesellschaft	Firmen entwickeln neue Produkte und Prozesse, Wissenschaft begleitet den Innovationsprozess (Maschinenbau, Elektrotechnik, Chemie)	Massenfertigung an Industriegütern durch Fließbandarbeit und in großen Produktionseinheiten, Innovationskette: Forschung, Entwicklung, Planung, Projektierung, Bau, Betrieb, Rückbau bestimmt den Wohlstand der Nation
Wissens-gesellschaft	Wissenschaft bereitet Produkt- und Prozessinnovationen vor, wissensbasierte Technologien, Verwissenschaftlichung der Technologie Trans-, Multi-, Interdisziplinarität dominiert bei Converging Technologies-Innovationen Wissenschafts- und Technologie-Parks entstehen, An-Institute, Wissenschaftler werden zu Unternehmern, Innovationskette: Wissenschaft, Pilot-Forschungsanlagen in Deutschland	intelligente multifunktionale Produkte aus den Converging Technologies (Nanotechnologie, Bio- und Gentechnologie, Informations- und Kommunikationstechnologie, Cognitive Sciences (NBIC)) Produktionsanlagen werden aus Umweltgenehmigungsverfahren im Ausland realisiert (Kosten!, Zeit!)

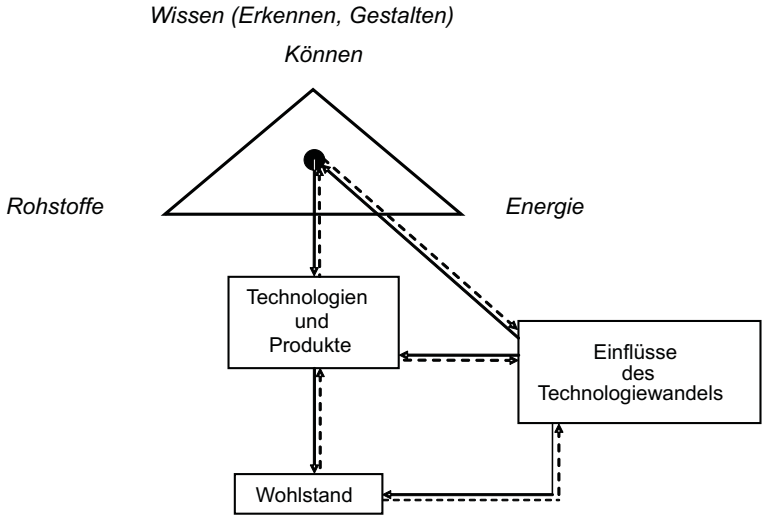
Eigene Darstellung

2 Anmerkungen zu den Wohlstandsquellen der Technologie-Staaten

Zu den sogenannten Technologie-Staaten werden Staaten gezählt, die ihren Reichtum und somit ihren Wohlstand vorrangig durch Technologie erworben haben. Dazu zählen u.a. die USA, Deutschland, Japan, England und Frankreich.

Die Allgemeine Technologie als Metadisziplin und die Vorgangs- und Erzeugnistechnologien stellen das Wissen (Können) bereit, um aus Rohstoffen unter Verwendung von Energie die Technologien entwickeln zu können, mit denen man Produkte erzeugen kann, die den Wohlstand der Menschen sichern (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Wohlstandsbedingungen der „Technologie-Staaten“



Eigene Darstellung

Erfolgreiche Technologie-Länder verfügen über alle drei bzw. mindestens zwei dieser wesentlichen Komponenten: Wissen, Rohstoffe, Energie (zur Komponente Energie vgl. u.a. Banse/Fleischer 2014; Kautzleben/Calov 2005; Leopoldina et al. 2009). Wenn eine der Komponenten fehlt, ist das entsprechende Land gezwungen, „Importe“ der fehlenden Komponente durchzuführen (siehe Tabelle 4).

In früheren Zeiten wurden die Rohstoff-„Importe“ aus Kolonien getätigt und dem „Mutterland“ so Reichtum und Wohlstand beschert. In neueren Zeiten, nach dem die Kolonien ihre sogenannte „Selbstständigkeit“ erhalten hatten, wurden und werden „sanftere“ Methoden angewendet, um unterentwickelte Länder, ehemalige Kolonien, weiterhin auszubeuten. Darüber hinaus haben die Technologie-Staaten eigene Programme entwickelt, sich mit ausreichend Rohstoffen und Energie aus eigenen Ressourcen zu versorgen, um unabhängig zu bleiben, wenn in den sogenannten Krisenregionen politische Instabilitäten entstehen und die Versorgung der Technologie-Staaten nicht gesichert ist.

Wissensimporte durch Einbürgerung der fähigsten Köpfe war und ist eine Strategie der Technologie-Staaten. Wissen ist teuer und aufwendig zu

Tabelle 4: Vergleich erfolgreicher Technologie-Länder

Land	Wissen (Können)	Rohstoffe	Energie
USA	vorhanden	vorhanden	vorhanden
Deutschland	vorhanden	nicht ausreichend vorhanden	vorhanden
Japan	vorhanden	nicht ausreichend vorhanden	vorhanden (ohne KKW nicht ausreichend vorhanden)
Russland	nicht ausreichend vorhanden[1]	vorhanden	vorhanden
China	nicht ausreichend vorhanden[2]	vorhanden	vorhanden

1 unzureichende Facharbeiterausbildung; 2 Wissensimporte durch Auslandsausbildung
Eigene Darstellung

erwerben. Neben der Einbürgerung wird Wissen über Wissenstransfer aus den Entwicklungsländern importiert. Die weltweite Vernetzung (Internet) lässt auch diesen Weg der Wissensausbeutung zu. Auf diesen Wegen sichern sich die Technologie-Staaten auch heute ihren Technologievorsprung für die Zukunft. Länder wie China und Russland ergreifen Maßnahmen, um Defizite beim Wissen (Können) zu beseitigen (siehe Tabelle 4) und damit unabhängig vom Technologietransfer zu werden.

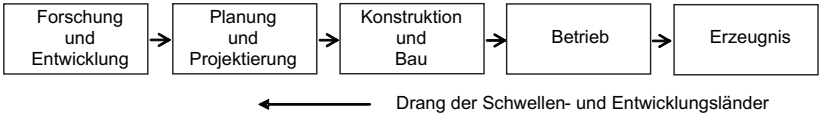
3 Die Wohlstandsquelle Wissen und Können in der Wissensgesellschaft

Wissen und Können sind die Voraussetzungen, um aus Rohstoffen und Energien Technologien, Artefakte und Erzeugnisse herzustellen, die den Wohlstand bestimmen (siehe Abschnitt 1 sowie Abbildung 1). Ein Leben lang lernen ist heute die Devise. Daraus und aus weiteren Bedingungen ergeben sich Forderungen an die Bildung:

- die Anzahl der Studenten und damit die „Wissensarbeiter“ steigt weiter an und erreicht in einigen Ländern ca. 70% der Abiturienten (ca. 50% in Deutschland);
- der flexible Einsatz der Arbeitnehmer erfordert heute eine ständige Qualifizierung für alle Berufsgruppen, d.h. für Akademiker wie für Facharbeiter;
- die Informationstechnologien gestatten heute dezentrale Arbeitsplatzgestaltung für die Firmen (in- und ausländische Arbeitsplätze);

- für die erfolgreiche Wissensnutzung ist die Verzahnung der Akademiker- und der Facharbeiterausbildung erforderlich, um Wissen in Können zu verwandeln (Deutschland ist ein Vorbild im dualen Bildungssystem);
- Einbringung „heller Köpfe“ aus Schwellen- bzw. Entwicklungsländern;
- Vergabe von Rechten an Lizenznehmer, zumeist von „bewährten Technologien“, jedoch nicht von den modernsten;
- Entwicklungs- und Schwellenländer drängen immer stärker in der Innovationskette Wissenschaft – Entwicklung – Bau von Anlagen – Betrieb von Anlagen immer mehr nach vorne (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Technologie-Innovations-(Wertschöpfungs-)Kette



Eigene Darstellung

Alle diese Bedingungen erfordern ein Bildungssystem, das Wissen, aber auch Können vermittelt und trainiert (vgl. auch Kirchhöfer/Uhlig 2008; Meier 2012). Das duale Bildungssystem in Deutschland schafft eine Folgekette zwischen Wissen und Können und somit nicht nur Erkenntnis, sondern auch die Nutzung bzw. die Anwendung der Erkenntnisse in der Praxis. Die differenzierte Ausbildung in den Technikwissenschaften in Deutschland – Technische Hochschulen (TU), Ingenieur-Hochschulen, -schulen, heute Fachhochschulen oder Hochschulen für Wirtschaft und Technik – hat sich international bewährt und sollte nicht durch die Bachelor- und Master-Studiengänge beschädigt werden. Derzeit sind die sogenannten MINT-Fächer nur ca. 1/3 der Studiengänge. Es überwiegen mit ca. 2/3 die Sozial- und Geisteswissenschaften. Neben vielen anderen Gründen ist das Verhältnis zwischen produktiven und dienstleistenden Gewerben dafür mitverantwortlich. Einen Wissens- und Könnens-Schub erwarten die modernen Arbeitsplatzauslagerungen, durch gezielte Migrationspolitik – Einbürgerung Hochbegabter (unter Einsparung eigener Ausbildungskosten!).

Üblich geworden ist heute, dass Studierende oder Absolventen einen Studienaufenthalt in einem anderen Land verbringen, um die Sprache und die Kultur des Landes kennen zu lernen und die Fachkenntnisse zu vertiefen. Die „Wanderschaft“ der handwerklichen Berufe wurde so auf die Akademikerausbildung und -weiterbildung übertragen. Damit sind gute Voraus-

setzungen für die Firmen gegeben, durch ihre Angestellten international wirksam zu werden (Landeskenntnisse, Sprachkenntnisse, Mentalitätskenntnisse der Gastgeber u.ä.). International tätige Konzerne wissen das zu schätzen und fördern teilweise diese Auslandsaufenthalte. Ein Missbrauch dieser Auslandsaufenthalte für Industriespionage kann indes nicht immer ausgeschlossen werden.

Die Hauptquelle für Wissen und Können ist ein gut ausgestaltetes Bildungssystem, das den gesamten Produktionsprozess der Technologie betrifft, d.h. von der Forschung und Entwicklung bis zum Technologierückbau. Einen hohen Stellenwert hat dabei das interdisziplinäre Zusammenwirken der verschiedenen Fachrichtungen, um konvergente Technologien zu entwickeln und zu betreiben. Schon während der Ausbildung ist auf diese Entwicklung von den Bildungsträgern einzugehen, ohne das solide Grundlagenwissen zu vernachlässigen. Solides Grundlagenwissen ist die Basis für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit (vgl. auch Banse/Fleischer 2011).

Viele Einzelwissenschaften öffnen sich und orientieren sich auf die Technologie und tragen zur Entwicklung sogenannter konvergenter Technologien bei, z.B. zu den NBIC (*N*ano-*B*io-*I*nformation *T*echnology and *C*ognitive Sciences; vgl. Banse et al. 2007; Paschen et al. 2004; Roco/Bainbridge 2002). Aus diesen Technologien entstehen hochintelligente multifunktionale Produkte, z.B. künstliche Prothesen, Organe, Werkstoffstrukturen, Computer, Sensoren, Bauteile u.a.

Wissen und Können in der Wissensgesellschaft berühren natürlich nicht nur die Technologien, sondern alle Lebensbereiche der Menschen, wie Kultur, Freizeit, Gesundheit, Kommunikation, Wohnen, Urlaub usw. (siehe Tabellen 5 und 6).

Tabelle 5: Wissen in der Wissensgesellschaft

Wissens-			
-Gewinnung	**-Bereitstellung**	**-Nutzung**	**-Vermittlung/ -Aneignung**
aus elektronischen Netzen, Studium, Fachbüchern, Unterhaltungslektüren, durch Weiterbildungsmaßnahmen F&E (Erarbeitung)	Importe aus Spionage durch Forschungen in Fachbücher, elektronischen Netzwerken und Nachschlagewerken durch Weiterbildungsmaßnahmen und „ewiges Lernen“	für professionelle Arbeiten (einschließlich Hausarbeitsplätze) zur Unterhaltung und Bildung, interdisziplinäre Arbeit Firmengründung	über elektronische Netzwerke im Selbststudium und in der Weiterbildung nach einem Studium Praxiserfahrungen
-Speicherung	**-Sicherung**	**-Missbrauch**	**-Transfer, Weitergabe**
elektronische Speicherung, Schriften, Kom pendien, Lehrbücher, Fachbücher, Erfahrungsträger, Spezialisten	Patente, Veröffentlichungen im Internet, in Netzwerken, in Schriften aller Art, Fach- und Lehrbücher, Monografien Geheimhaltung von Know-how	für Vernichtungsmittel und -technologien, z.B. Drohnen zur Unterdrückung wenig gebildeter Menschen, zur Ausbeutung anderer Nationen Schaffung von Abhängigkeiten	zwischen den Kulturen, Nationen, Wirtschaften, Technologien Wissensexport Bildung

Eigene Darstellung

Tabelle 6: Gesellschaftssystem und Bildung

Gesellschafts-system	Bildungs-Kennzeichnung	Anmerkungen zur Bildung
Agrargesell-schaft	Bauer, Landwirte, Gärtner, Hand-werker aller Berufsgruppen Wissenschaftler	Grundschulen Handwerkerausbildung, Berufsschulen Universitäten
Industriegesell-schaft	Produktionsarbeiter, Landarbeiter wissenschaftliches Personal	erweiterte Schulen, 10 Klassen, Berufs-schulen, Gymnasien, Realschulen, Fach-schulen, Universitäten und Hochschulen, TH's, FH's, Betriebsakademien
Wissensgesell-schaft	IT-Arbeiter wissenschaftliches Personal in breiter Fächerung dezentrale Arbeitsplätze, Wissen-schafts-„Betriebe", Dienstleistungs-bereiche	Schulausbildung für differenzierte Berufs-ausbildung, Universitäten, TH's, FH's, Berufsakademien, Bachelor-Master-Diffe-renzierung Reform der Wissenschaftsstruktur Reform der Bildungsstruktur, Wissenschafts- und Innovationsverbund dezentrale Arbeitsplätze

Eigene Darstellung

4 Wandel der Technologien zur weiteren Wohlstandssicherung

Technologische Wandlungen in der Gegenwart werden sehr unterschiedlich beschrieben, gruppiert und klassifiziert. Eine dieser Möglichkeiten zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Technologiewandel: „strategische Technologien"

Top 10 strategische Technologien nach Gartner

2011	2012	2013	2014
1. Cloud computing	1. Media tablets and beyond	1. Mobile Device Battles	1. Mobile Device Diversity and Management
2. Mobile applications & Media Tablets	2. Mobile-centric application & interfaces	2. Mobile Applications and HTML 5	2. Mobile Apps and Applications
3. Next generation analytics	3. Contextual & social user experience	3. Personal Clouds	3. The Internet of Everything
4. social analytics	4. Internet of Things	4. Enterprise App Stores	4. Hybrid Cloud and the IT as Service Broker
5. Social communications & collaboration	5. App stores & marketplaces	5. Internet of Things	5. Cloud/Client-Architecture
6. Video	6. Next generation analytics	6. Hybrid IT and Cloud Computing	6. The Era of Personal Cloud
7. Context-aware Computing	7. Big Data	7. Strategic Big Data	7. Software Defined Anything
8. Ubiquitous computing	8. In Memory Computing	8. Actionable Analytics	8. Webscale IT
9. Storage class memory	9. Extreme low-energy servers	9. In Memory Computing	9. Smart Machines
10. Fabric based infra-structure and computers	10. Cloud Computing	10. Integrated Ecosystems	10. 3D-Printing

Quelle: http://it-rebellen.de/2013/10/11/gartner-top-10-strategischen-technologie-trends-2014-gute-bekannte-in-neuem-gewand/ [05.10.2014]

Möglich ist auch folgende Auflistung:

- personalisierte Medizin;
- dezentralisierte Energiegewinnung;
- Pervasive Computing („Allgegenwärtigkeit des Internets“);
- Nanotechnologie;
- Biomarker für die Gesundheit;
- Biokraftstoff;
- fortschrittliche Fertigung;
- universelles Wasser;
- CO_2-Management;
- technisierte Agrarwirtschaft;
- persönliche Sicherheitssysteme;
- fortschrittliche Verkehrssysteme.[5]

Horst Wolffgramm hat schon vor geraumer Zeit technologische Wandlungen in einer allgemeintechnischen Perspektive systematisiert, die auch heute sinnvoll verwendet werden kann (vgl. Wolffgramm 1972; siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: System der Allgemeinen Verfahrensprinzipien

Betrachtungs-aspekt / **Funktion**	**Arbeitsgegenstand**	**Bearbeitungsvorgang**	**Arbeitsmittel**
Systemorganisation	Fließprinzip	Kontinuitätsprinzip	Prinzip der Zwangsverkettung
Stabilisierung	Speicherprinzip	Pufferungsprinzip	Redundanzprinzip
Variabilisierung	Adaptivprinzip	Anpassungsprinzip	Baueinheitenprinzip
Intensivierung		Prinzip der Intensivierung des Bearbeitungsvorganges	Prinzip der Vergrößerung der aktiven Flächen
Aufwandsminimierung	Prinzip der maximalen Nutzung des Arbeitsgegenstandes	Prinzip der Verkürzung der technologischen Kette	Prinzip der Minimierung des Aufwandes an technischen Systemen

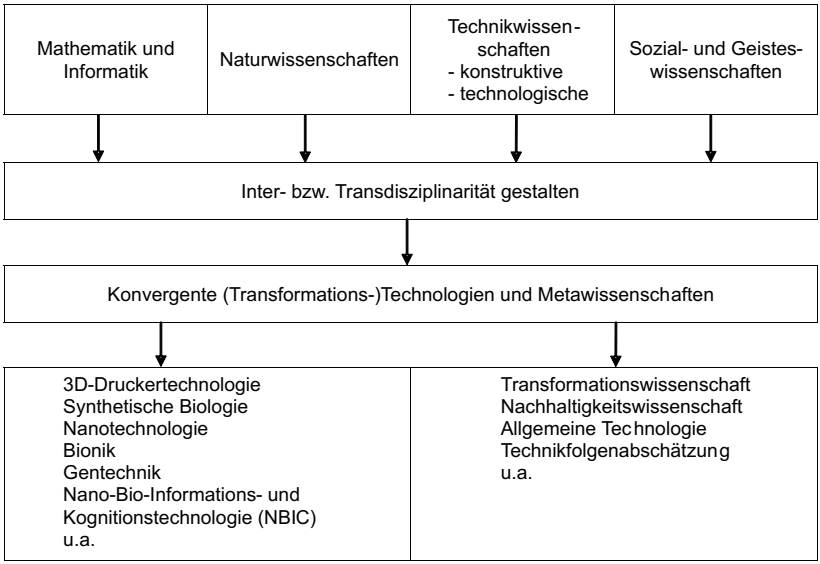
Quelle: nach Wolffgramm 1972, S. 34

5 Vgl. http://www.zephram.de/blog/innovation/trendstudie-prognostiziert-bereiche-fur-techno logische-innovationen/ [05.10.2014].

Wesentliche Merkmale des Technologiewandels sind:

- Bekannte Technologien werden durch die Informations- und Kommunikationstechnologie „gläserner“, d.h. wissenschaftlich stärker durchdrungen („Modernisierung“);
- neue konvergente Technologien bilden sich durch Interdisziplinarität heraus (siehe Abbildung 6);
- hinsichtlich der Phänomenologie der Technik-Evolution ist auf Miniaturisierung, eine steigende Komplexität der Systeme, die zunehmende Durchdringung von technischen Systemen mit Informations- und Kommunikationstechnologie (vgl. z.B. Herzog/Schildhauer2009), die „Verschränkung“ von Biotischem mit Technischem (vgl. z.B. Karafyllis 2003) sowie eine rasche Entwicklung und umfassende Nutzung der Kommunikationstechnologien in allen gesellschaftlichen Sphären zu verweisen (vgl. auch Öhlmann 2014; Steinmüller/Steinmüller 2006);
- durch Transdisziplinarität entstehen Metawissenschaften (siehe Abbildung 4).

Abbildung 4: Technologiewandel durch Inter- und Transdisziplinarität



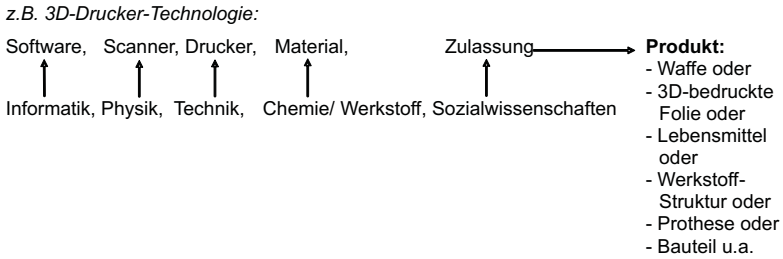
Eigene Darstellung

Eine Unterteilung in externe und interne Interdisziplinarität scheint zweckmäßig zu sein, um den Prozess der Herausbildung konvergenter Technologien einerseits und die Herausbildung der Metawissenschaften durch Transdisziplinarität andererseits zu fördern (vgl. Reher/Banse 2011).

In Abbildung 5 sind am Beispiel der 3D-Drucker-Technologie Beiträge von Einzelwissenschaften bei der Herausbildung konvergenter Technologien dargestellt.

Abbildung 5: Beiträge von Einzelwissenschaften bei der Bildung konvergenter Technologien am Beispiel der 3D-Drucker-Technologie

Mathematik Informatik	**Naturwissen-schaften**	**Technikwissen-schaften**	**Sozial- und Geistes-wissenschaften**
Gleichungen (Systeme) Software Lösungsverfahren mathematische Modelle	Theorien zu Materie, Energie und Information Methoden Experimente Daten	Handlungsvorschriften Gestaltungsvorschriften Software-Modelle Hardware (Artefakte)	Grenzwerte Restriktionen Bewertungen (ökonomisch, ökologisch, sozial, rechtlich, ethisch)



Eigene Darstellung

Folgende Technologien tragen wesentlich zu den gegenwärtigen Wandlungen bei:

1. *Produktionstechnologien*
   - Materialtechnologien, einschließlich Recycling-Technologien
     - Nanotechnologie
     - Biotechnologie
     - Werkstofftechnologie
     - Gentechnik

     } Nano-Mikro-Skalen-Welt

- Energietechnologien aus nachhaltigen Rohstoffen, geophysikalischen Quellen
- Informationstechnologie (IKT)
- weitere Technologien
  - Raumfahrttechnologie
  - Robotertechnik
  - ...

2. *Dienstleistungstechnologien*
   - Instandhaltung, Pflege, Wartung, Reparatur der Produktionstechnologien und ihrer Produkte (weg von der Wegwerfgesellschaft!)
   - Pflegetechnologien, Betreuung der Menschen (sozial, kulturell, medizinisch)
3. *Software und Hardware für alle Technologien*
   - Sicherung des Technologie-Standortes Deutschland – durch Bildung, Forschung, Entwicklung, Erprobung, Bau, Transfer usw. (MINT-Fächer fördern!)

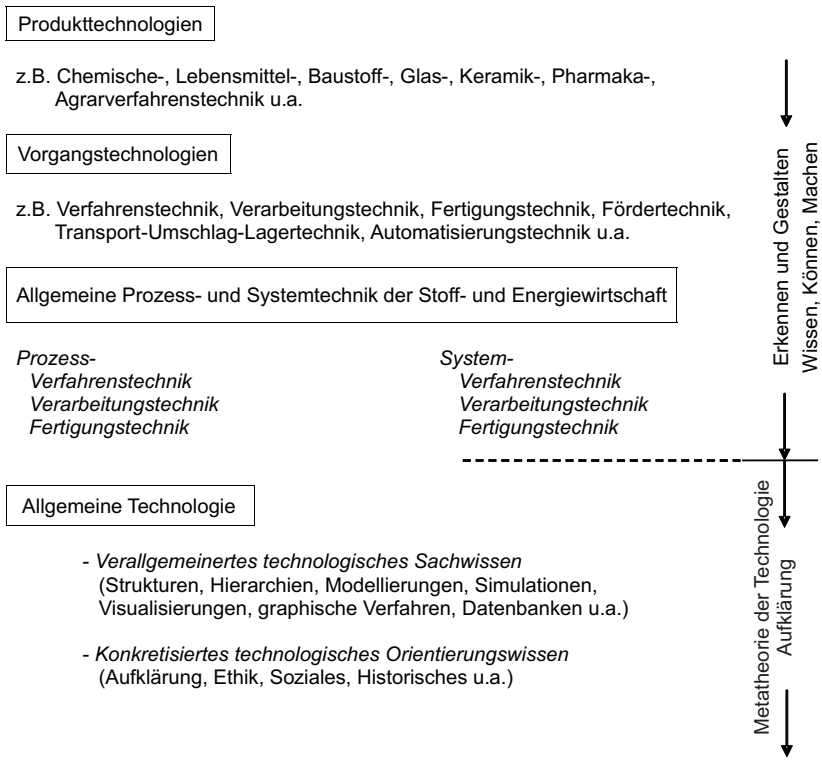
Folgende Veränderungen können an ausgewählten Technologien bzw. Erzeugnissen aus ihnen beobachtet werden:

Die *chemische Technologie*, für Deutschland neben Maschinenbau und Elektrotechnik eine der wichtigsten Erzeugnistechnologien, setzt immer stärker auf hochveredelte Chemieprodukte, die wenig Rohstoffe (wenn möglich einheimische Rohstoffe) und Energie verbrauchen. Dazu gehören Kunststoffe, Pharmaka, Nanoteilchen u.a. Diese Entwicklung ist stark wissenschaftsbetont und erfordert hochqualifizierte Fachleute aus dem gesamten Bildungsbereich (Universitäten, Hochschulen, Facharbeiterausbildung). Die chemische Technologie ist vertraut mit der Nano-Mikro-Skalen-Welt und leistet wesentliche Beiträge zu den Technologien, die ebenfalls auf dieser Ebene Produkte herstellen und in neuerer Zeit an Bedeutung gewonnen haben, wie die Nano-, Bio-, Gen- und Werkstofftechnologien. Der Trend in den Nano- und Mikrobereich tiefer einzudringen, ist nicht neu, wird aber durch andere technisch-technologische Voraussetzungen erst ermöglicht (Maschinen-Gerätebau). So kann durchaus die Kolloidchemie (einer ihrer Begründer war Wolfgang Ostwald; vgl. Reher 2000) als Vorläufer der Nanotechnologie und Biotechnologie angesehen werden. Die einstmals von der chemischen Technologie hervorgebrachte chemische Verfahrenstechnik hat sich mittlerweile zu einer Vorgangstechnologie weiterentwickelt und ist als Ingenieurwissenschaft mittlerweile in allen Bereichen der Material- und Energietechnologien bestimmend geworden (siehe Abbildung 6; vgl. Reher

2013). Verallgemeinerungen in den Vorgangstechnologien führten zur Herausbildung einer Allgemeinen Prozess- (Betrachtungen in der Nano- und Mikro-Skalen-Welt) und der Systemtechnik (Betrachtungen in der Makro-Skalen-Welt) der Stoff- und Energiewirtschaft. Diese Technologieverallgemeinerungen bilden eine gute Basis, um das verallgemeinerte technologische Sachwissen als Bestandteil der Allgemeinen Technologie herausarbeiten zu können.

Somit hatte und hat die chemische Technologie einen äußerst fruchtbaren Anteil bei der Formierung neuer natur- und technikwissenschaftlicher Disziplinen geliefert und wird wesentliche Beträge weiterhin auch liefern bei der Herausbildung konvergenter Technologien.

Abbildung 6: Technologie-Verallgemeinerungen



Eigene Darstellung

Die *Werkstofftechnologie* hat ihre Wurzeln sowohl in den Naturwissenschaften (Physik, Chemie, Biologie, Bionik), als auch in den Technikwissenschaften (Verfahrens-, Verarbeitungs-, Fertigungstechnik, Mechanik, Elektrotechnik). Konstruktions- und Funktionswerkstoffe werden heute „nach Maß“ hergestellt. Eine große Gruppe sind die Kompositwerkstoffe, die die mannigfaltigsten Kombinationen zulassen und damit ein gewünschtes Eigenschaftsprofil gewährleisten. Man spricht heute von „intelligenten“ Werkstoffen. Ihre Einsatzgebiete sind sehr vielseitig. Durch sie werden hohe Veredlungsgrade, Funktionalität, ökonomischer Einsatz, Wiederverwertung nach Funktionsverlust u.a. erreicht. Ihr Einsatz erfolgt z.B. im Flugzeug-, Automobil- und Bootsbau, in der Medizintechnik, leider auch in der Kriegstechnik (Drohnen-Krieg „aus dem Wohnzimmer“), im Maschinen- und Sportgerätebau u.a. Es gibt kaum ein Gebiet, in dem Kompositwerkstoffe nicht zu finden sind. Die Werkstoffe erfordern stets neue technologische Verfahren zur Herstellung und Anwendung. Sie sind ein „Technologietreiber“.

Problematisch ist jedoch immer noch das stoffliche Recycling der Kompositwerkstoffe. Es gibt noch nicht ausreichend funktionierende Trennverfahren der Komposite. Sehr oft werden die Komposite thermisch oder mechanisch verwertet oder in Länder exportiert, die durch Kinderarbeit oder billige Arbeitskräfte die Komposite unter gesundheitlich bedenklichen Bedingungen trennen. Die Komponenten der Komposite werden oft an Aufkäufer preiswert abtreten, die diese wiederum mit Gewinn als „Rohmaterialien“ weiterverkaufen. Positiv ist, dass diese Reststoffe der stofflichen Wiederverwertung zugeführt werden können, der Weg dazu ist aber in vielen Fällen menschenverachtend und sollte technologisch umgestaltet werden.

Als Matrixmaterialen für Komposite kommen Kunststoffe, Metalle, Glas, Keramik zur Anwendung. Die Füllungen werden funktionsbedingt mit Fasern, Teilchen, Geweben u.a. durchgeführt.

Die Technologie ist für die Herstellung sowohl für Halbzeuge als auch für Fertigerzeugnisse entwickelt worden. Da sehr viele Handhabungsprozesse in der Technologie vorhanden sind, ist der Einsatz von Prozess-Robotern möglich und sinnvoll.

5 Allgemeines technologisches Sachwissen

5.1 Technologie-Hardware (Geräte, Apparate, Maschinen, Anlagen)

Die Technologie-Ausrüstungen waren und werden auch zukünftig ein wesentlicher Exportbeitrag Deutschlands sein. Sie drücken den Stand sowohl

naturwissenschaftlicher als auch technischer Forschung und Entwicklungen in unserem Lande aus. In ihnen spiegeln sich die Errungenschaften der Grundlagen- und angewandten Forschung und Entwicklung in den Naturwissenschaften wider, sie bereiten Stoff- und Energiewandlungskinetiken vor, in den Technikwissenschaften, sie gestalten die Ausrüstungen, in den Sozial- und Geisteswissenschaften, sie begleiten die Entwicklung und bringen sich ein, um Menschen- und Umweltverträglichkeit zu garantieren. Insofern sind Technologie-Ausrüstungen ein Indikator für den Wissens- und Handlungsstand, geprägt durch Wissenschaft, Technologie und Technik, eines Landes.

Die oben genannten Wissenschaftsdisziplinen (Nanotechnologie, Biotechnologie, synthetische Biologie, Medizintechnik u.a.) erfordern Ausrüstungen vor allem zur

- Stoffkennzeichnung (vor, während, nach dem Prozess);
- Prozessdurchführung;
- TUL-Prozesse;
- Anwendungstechnik der Produkte.

Durch die immer stärkere Hinwendung der technologischen Prozesse auf der Nano-Mikro-Skalen-Ebene sind Ausrüstungen erforderlich, die gekennzeichnet sind durch

- präzise Kontrolle und Steuerbarkeit;
- hohe Selektion, Wirtschaftlichkeit;
- definierte Konzentrations-, Temperaturfelder in den Ausrüstungen;
- leichte Handhabbarkeit im Betrieb, bei der Wartung und Umrüstung;
- schutzrechtliche Sicherung, um vor Kopierung zu schützen;
- Anwendung der Informations- und Kommunikationstechnologie;

Um diese Anforderungen an die technologischen Ausrüstungen zu erfüllen, ist eine moderne Verfahrens-, Konstruktions- und Fertigungstechnik erforderlich.

5.2 Technologie-Software

Die wissenschaftliche Durchdringung der technologischen Prozesse erfolgt auf allen Zeit-Raum-Skalen-Werten (vgl. Hartmann/Reher 2009). Auf allen diesen technologischen Hierarchieebenen (Nano-, Mikro-, Makro-(Grundoperation)-Anlagen, Anlagenverbund, Fabrik, Konzerne usw.) werden Software-Produkte entwickelt und eingesetzt. Um zu effektiven Software-Pro-

dukten zu kommen, ist die Kooperation mit anderen Wissenschaftsdisziplinen erforderlich. Auf der Nano-Mikro-Skalen-Ebene ist die Kooperation zwischen den Natur- und Technikwissenschaften sowie der Informatik (sogenannte NTI-MINT-Fächer) und auf der Makro-Skalen-Ebene ist die Kooperation mit den Informatikern sowie den Sozial- und Geisteswissenschaftlern (einschließlich Ökonomen und Ökologen) bevorzugt erforderlich (sogenannte ISG-Fächer). Darüber hinaus sind die Software-Produkte für den gesamten Reproduktionsprozess erforderlich, d.h. von der Forschung und Entwicklung über Projektierung, Konstruktion, Bau, Inbetriebnahme, Betrieb und Rekonstruktion bis zum Rückbau.

Die Informationstechnologien nehmen hierbei eine Schlüsselstellung ein. Sie tragen dazu bei, dass die Technologie in allen ihren Existenzphasen quantifiziert und visualisiert wird. Sie gestalten heute virtuelle Ausrüstungen, Anlagen und Fabriken, noch ehe eine Technologie überhaupt Wirklichkeit wird. Firmen sind heute in der Lage, die Kundenberatung sofort damit beginnen zu können, die gewünschte Ausrüstung oder Anlage, Fabrik virtuell vorzustellen. Das führt zur Verkürzung der Investitionszeiten von der Bestellung bis zur Inbetriebnahme.

Durch Technologie-Software ist es oftmals möglich geworden auch ältere Technik (Hardware) effektiv betreiben und in Richtung besserer Betriebsparameter, höherer Leistung, erhöhter Sicherheit, Qualitätsverbesserung der Erzeugnisse u.a. umgestalten zu können.

In den folgenden Übersichten sind weitere ausgewählte Technologien zusammengefasst dargestellt (siehe Tabellen 9 und 10). Tabelle 11 gibt eine Übersicht zu den Dienstleistungs-Studiengängen, die immer mehr im Vordringen sind.

Tabelle 9: Technologiewandel

Technologie	**charakteristische Merkmale**
Glas-Keramik-Holz-Technologie	Funktionalisierte High-Tech-Produkte für alle Lebensbereiche der Menschen
Bergbau-Technologie	Restvorkommen-Suche, Fracking, eigene Versorgung mit Rohstoffen, Wiederverwertung, Recycling
Medizintechnik	ständige Umsetzung neuester Erkenntnisse – Diagnose, Therapie, High-Tech-Produktentwicklung, z.B. Prothetik, Diagnosetechnik
Bionik	„Technologiespender“ und intelligente Erzeugnisvorlagen
Landwirtschaft	Nahrungsmittel- und Energielieferant – Rohstoffe – automatischer Betrieb; industrielle Tierhaltung, autonome Energieversorgung
Energietechnologie	Energiewende, Energiemix aus konventionellen und erneuerbaren Quellen
Geo-Engineering	Eingriffe in das Klima, Hurrikanabschwächung, örtliche Wetterbeeinflussung (Eisregen, Graupel)
Verkehr	Elektromobilität
Robotertechnik	ersetzt den Menschen in Gefahrenzonen, bei Handhabungsprozessen, medizinische Eingriffe
Fischfangtechnologie	weniger Beifang, neue Netztechnologie
Informationstechnologie	kleiner, leistungsfähiger, universeller einsetzbar; „Gläserner Mensch“, gläserne Technologie und Fabrik
Lebensmitteltechnologie	Bioprodukte, Lebensmittelsicherheit, neue Rohstoffquellenerkundung

Eigene Darstellung

Tabelle 10: Ausgewählte Beispiele des Technologiewandels

Materialtechnologien	- Robotergesteuerte Technologien (Handhabungsprozesse) - Reinstraumtechnologien - Recycling- und Kreislauftechnologien - Umwelttechnologien (Wasser, Luft, Böden) - Konvergente Technologien
Energietechnologien	- Erneuerbare Energietechnologien (Erdwärme, Wind, Sonne, Wasser) - Energietechnologien mit Abfallnutzung (Stroh, Heu, Verschnittholz, Haushaltsmüll, Laub u.a..) - Energiespeicherungen (Pumpspeicherwerke, thermische, chemische, elektrochemische) - Energienetze (zentrale und dezentrale)
Informations-technologien	- Miniaturisierung der Hardware - Sensorentwicklungen (optische, optoelektronische, mechanische, thermische, akustische, biochemische, biologische u.a.) - Optionserhöhung, rechnen, telefonieren, navigieren, fotografieren usw. - an jedem Ort der Welt erreichbar – Netzausbau - Geräte-, Apparate-, Maschinen- und Anlagenbau, Software-Firmen übernehmen die Ausführungen und sind ein wesentlicher Wohlstandsfaktor in Deutschland

Eigene Darstellung

Tabelle 11: Fakten zu Dienstleistungstechnologien: Dienstleistungs-Studiengänge im Vormarsch

*Studenten**	- MINT-Fächer ca. 1/3 bis 1/4; Sozial- und Geisteswissenschaften ca. 2/3 bis 3/4 (in China ist das Verhältnis genau umgekehrt: China baut auf; Deutschland restauriert sich) - Studentenzahlen am Beispiel der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: ○ 2008/09 – 17.900 Studenten ○ 2009/10 – 18.609 Studenten ○ 2010/11 – 19.452 Studenten - Anstieg der Studentenzahlen in Deutschland 2000 bis 2008: um 150.000 Studenten - Auslandsaufenthalte: ○2000: 52.200 Studenten ○2008: 102.800 Studenten
Studiengänge für Dienstleistungs-bereiche (Auswahl)	- Tourismus: z.B. Tourism and Destination - Management (Geocoaching) - Freizeitgestaltung ○ Medienwissenschaften ○ Kulturwissenschaften ○ Kunstwissenschaften ○ Sportwissenschaften - Sozial-medizinische Betreuung: z.B. systemische Sozialarbeit, Pflege- und Altenbetreuung - …

* nach Mitteldeutsche Zeitung vom 8.1.2011, S. 6

Eigene Darstellung

6 Zusammenfassung

- Durch das erhöhte Potenzial an Wissenschaftlern wird ein Anstieg der gesamten technologischen Prozesse in der Qualität und Quantität erreicht und zwar im gesamten Reproduktionsprozess von der Forschung und Entwicklung (F&E) bis zum Recycling (neue Berufe: *alte sterben* aus, z.B. Technische Zeichnerin, Sekretärin). Es entsteht die „gläserne Fabrik“.
- Dienstleistungstechnologien werden in der Zukunft weiter in der Beschäftigungsmenge der Werktätigen ansteigen (85%)! Sie müssen in der Wissensgesellschaft weiter gefördert werden (Betreuung der Produktions-

technologien [Wartung, Instandhaltung] und ihrer Produkte, soziale, kulturelle und medizinische Betreuung der Menschen) – neue Studienrichtungen etablieren sich.

- Viele Einzelwissenschaften orientieren sich auf die Technologie und bilden sogenannte Konvergente Technologien – z.B. NBIC: *N*ano-, *B*io-*I*nformation Technology and *C*ognitive Sciences –, um erfolgreicher zu sein (Interdisziplinarität). Aus diesen Technologien entstehen hochintelligente Produkte, z.B. künstliche Prothesen, Organe, Werkstoffstrukturen, Computer, Mensch-Maschine-Schnittstellen, Sensoren, Folien.
- Der Übergang von der Industriegesellschaft in die Wissensgesellschaft berührt nicht nur die Technologie, sondern alle Lebensbereiche der Menschen (Kultur, Freizeit, Gesundheit, Ernährung, Kommunikation, Wohnen, Urlaub usw.) und gestaltet die „gläserne Gesellschaft". Für diese Gesellschaft bedarf es neuer rechtlicher und ethischer Maßstäbe und Standards (wie etwa die NSA-Handlungen verdeutlicht haben).

Literatur

Banse, G. (2013): Der gläserne Mensch. – RFID in der Diskussion. In: Banse, G.; Hauser, R.; Machleidt, P.; Parodi, O. (Hg.): Von der Informations- zur Wissensgesellschaft. e-Society – e-Partizipation – e-Identität. Berlin, S. 401–413 (e-Culture – Network Cultural Diversity and New Media, Bd. 17)

Banse, G. (2015): Neuere innovationstheoretische Ansätze. In: Krüger, J.; Parthey, H.; Wink, R. (Hg.): Wissenschaft und Innovation. Berlin, S. 87–109 (Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2014)

Banse, G.; Fleischer, L.-G. (Hg.) (2011): Wissenschaft im Kontext. Inter- und Transdisziplinarität in Theorie und Praxis. Berlin, S. 215–225 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 27)

Banse, G.; Fleischer, L.-G. (Hg.) (2014): Energiewende – Produktivkraftentwicklung und Gesellschaftsvertrag. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 31)

Banse, G.; Grimmeiss, H. (Hg.) (2014): Wissenschaft – Innovation – Technologie. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 37)

Banse, G.; Grunwald, A.; Hronszky, I.; Nelson, G. (eds.) (2007): Assessing Societal Implications of Converging Technological Development. Berlin (Gesellschaft – Technik – Umwelt. Neue Folge, Bd. 11)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2011): Ambivalenzen von Technologien. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 112)

Berthoud, G.; Kündig, A.; Sitter-Liver, B. (Hg.) (2005): Informationsgesellschaft. Geschichten und Wirklichkeit. Fribourg

Decker, M.; Grunwald, A.; Knapp, M. (Hg.) (2012): Der Systemblick auf Innovationen. Technikfolgenabschätzung in der Technikgestaltung. Berlin (Gesellschaft – Technik – Umwelt. Neue Folge, Bd. 16)

Franz, H.; Kogge, W.; Möller, T.; Wilholt, T. (Hg.) (2001): Wissensgesellschaft: Transformationen im Verhältnis von Wissenschaft und Alltag. Bielefeld (Universität Bielefeld, Institut für Wissenschafts- und Technikforschung, IWT-Paper Nr. 25). – URL: http://pub.uni-bielefeld.de/pub?func=drec&id=2305319

Hartmann, K.; Reher, E.-O. (2009): Mathematische Modelle – Grundlage für moderne Technologien. In: Banse, G.; Küttler, W.; März, R. (Hg.): Die Mathematik im System der Wissenschaften. Berlin, S. 131–145 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 24)

Herzog, O.; Schildhauer, Th. (Hg.) (2009): Intelligente Objekte. Technische Gestaltung, wirtschaftliche Verwertung, gesellschaftliche Wirkung. Berlin (acatech diskutiert)

Hödl, E. (2007): Die Europäische Union als Wissensgesellschaft. In: Wirtschaft und Gesellschaft, Jg. 33, H. 4, S. 529–551

Hofkirchner, W. (2002): Projekt eine Welt: Kognition – Kommunikation – Kooperation. Versuch über die Selbstorganisation der Informationsgesellschaft. Münster u.a.O.

Kaku, M. (2000): Zukunftsvisionen. München

Karafyllis, N. C. (Hg.) (2003): Biofakte. Versuch über den Menschen zwischen Artefakt und Lebewesen. Paderborn

Kautzleben, H.; Calov, U. (Hg.) (2005): Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 82)

Kirchhöfer, D.; Uhlig, Chr. (Hg.) (2008): Naturwissenschaftliche Bildung im Gesamtkonzept von schulischer Allgemeinbildung. Frankfurt am Main u.a.O. (Gesellschaft und Erziehung. Historische und systematische Perspektiven, Bd. 6)

Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften; acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; BBAW – Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (2009): Konzept für ein integriertes Energieforschungsprogramm für Deutschland. Halle/ Saale u.a.O.

Meier, B. (Hg.) (2012): Arbeit und Technik in der Bildung. Modelle arbeitsorientierter technischer Bildung im internationalen Kontext. Frankfurt am Main (Gesellschaft und Erziehung. Historische und systematische Perspektiven, Bd. 12)

Öhlmann, G. (2014): Technologien im 21. Jahrhundert. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 379–444 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)

Paschen, H.; Coenen, Chr.; Fleischer, Th.; Grünwald, R.; Oertel, D.; Revermann, Chr. (2004): Nanotechnologie. Forschung, Entwicklung, Anwendung. Berlin u.a.O.

Redtenbacher, F. (1858): Die polytechnische Schule. In: Die Residenzstadt Karlsruhe. Ihre Geschichte und Beschreibung. Festgabe zur 34. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte. Karlsruhe, S. 123–164

Reher, E.-O. (2000): Wolfgang Ostwald und die Strukturviskosität – ein Beitrag zur Herausbildung der Rheologie. In: Mitteilungen der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V., H. 4, S. 46–53

Reher, E.-O. (2013): Die Entwicklung des Fachgebietes „Verarbeitungstechnik“ aus der Sicht der Verfahrenstechnik an der Technischen Hochschule Merseburg und die Weiterführung an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. In: Jubiläumsband 60 Jahre Dresdner Verfahrenstechnik. Dresden, S. 43–44

Reher, E.-O.; Banse, G. (2011): Das interdisziplinäre Projekt „Kosmosspiegel“. In: Banse, G.; Fleischer, L.-G. (Hg.): Wissenschaft im Kontext. Inter- und Transdisziplinarität in Theorie und Praxis. Berlin, S. 215–225 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 27)

Roco, M. C.; Bainbridge, S. (eds.) (2002): Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. Arlington/VA (NSF)

Stehr, N. (1994): Arbeit, Eigentum und Wissen. Zur Theorie von Wissensgesellschaften. Frankfurt am Main

Steinmüller, K. H.; Steinmüller, A. (2006): Die Zukunft der Technologien. Hamburg

Thurow, L. C. (1996): Die Zukunft des Kapitalismus. Düsseldorf/München

Wolffgramm, H. (1972): Wissenschaftliche Grundlagen der Polytechnik. In: Kleinau, M. (Hg.): Zur Lehrerbildung für den polytechnischen Unterrichts. Halle, S. 3–40

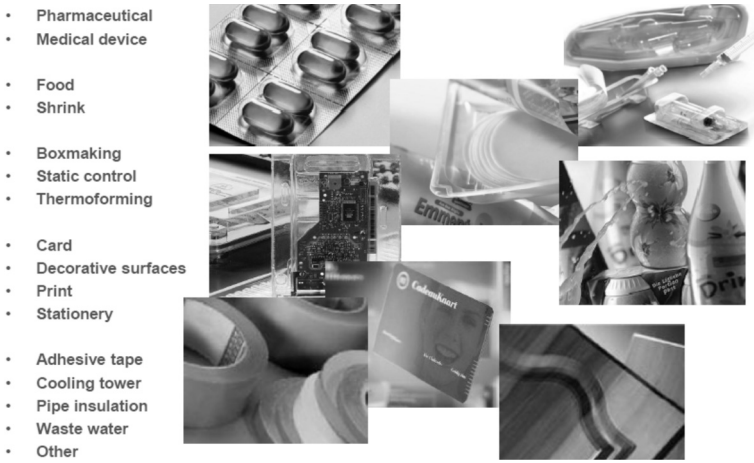
Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 95–104*

Christian Kohlert

Traditionelle Kalandertechnologie für High-Tech-Produkte

Klöckner Pentaplast (kp) ist weltweit führender Hersteller von Folien für Pharma-, Lebensmittel-, Medizintechnik- und Blisterverpackungen sowie Druck- und Spezialanwendungen (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: kp-Produkte



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Gegründet 1965 von den Klöckner Werken beschäftigt kp heute rund 3.000 Mitarbeiter in 18 Produktionsstätten und erwirtschaftet einen Umsatz von über 1,1 Mrd. €. Die Produktionskapazität beim Kalandrieren und Extrudieren beträgt rund 600.000 t pro Jahr.

In Abbildung 2 sind die Produktions-, Verkaufs- und Entwicklungsstandorte von kp dargestellt, womit ersichtlich wird, dass kp ein global agierendes Unternehmen mit Hauptsitz in Montabaur, BRD, ist.

Abbildung 2: Standorte von kp weltweit

Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

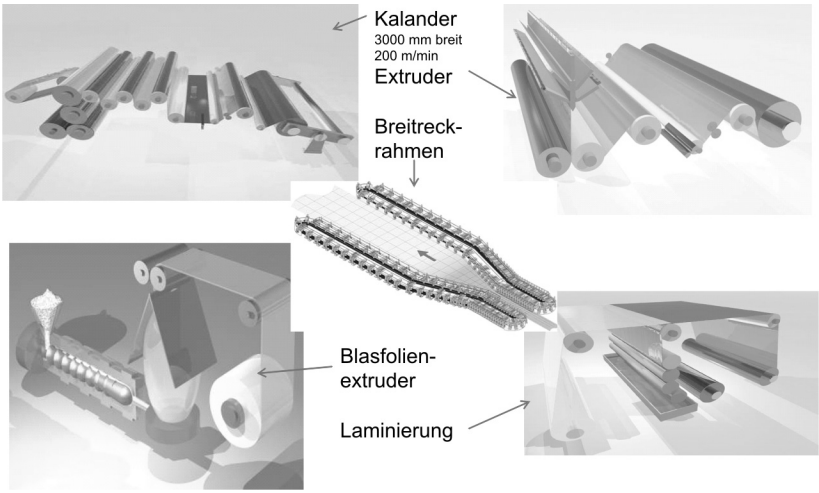
Abbildung 3 zeigt die von kp genutzten Verarbeitungsmaschinen Kalander, Extruder und Blasfolienanlagen zur Herstellung und die Laminieranlagen und Breitreckrahmen zum Veredeln von Folien.

Damit sollte die Kompetenz von kp zur Kalandertechnik belegt und im Weiteren auch der Beitrag zur Entwicklung dieser Technologie in den letzten 50 Jahren vorbereitet werden.

Das Kalandrieren von Papier und Kunststoffen ist eine alte Technologie, die sich im äußeren Schein nicht wesentlich entwickelt hat. Beim genaueren Betrachten fällt einem dann aber doch unendlicher technischer Fortschritt in Maschine und Technologie auf. Das Wort Kalandrieren lässt sich sowohl auf das griechische Wort für Zylinder „κύλινδρος“ (kylindros) als auch auf das französische „calandre“ („Rolle“) zurückführen und wurde 1798 erstmalig erwähnt als Glättkalander für Textiloberflächen (vgl. Kopsch 1978).

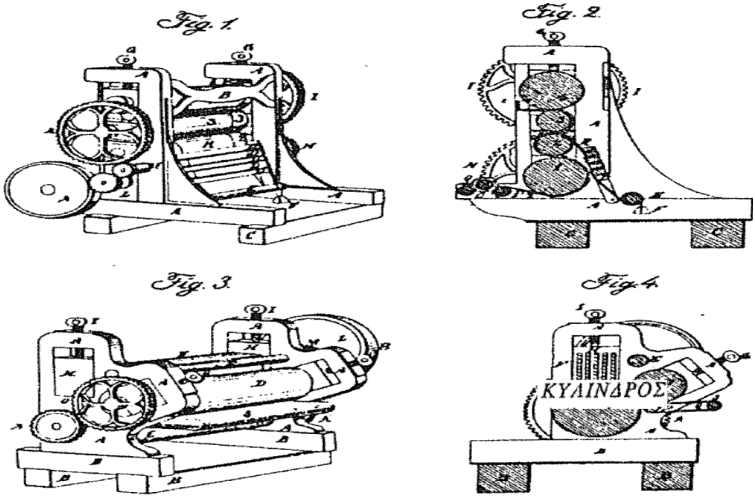
In Abbildung 4 ist der erste patentierte Kalander zum Gummieren von Geweben mit einer Walzenbreite von 1.830 mm und Walzendurchmessern von 457 und 305 mm als US-Patent No. 16 dargestellt.

Abbildung 3: kp-Maschinen



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Abbildung 4: Erste patentierte Kalandervarianten



Quelle: Kopsch 1978, S. 1

Um 1930 kam es dann zur Trennung von Gummi- und Kunststoffkalander mit der Entwicklung von PVC in PVC-Weichkalander durch die Fa. Goodrich, USA, und PVC-Hartkalander durch die Firma IG Farben, Deutschland.

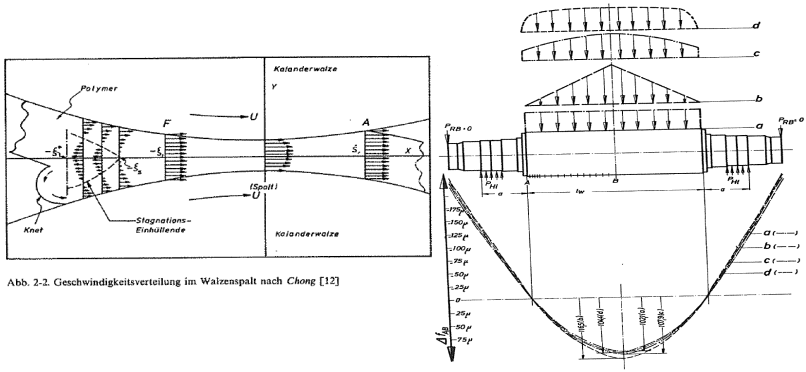
Die Kalanderentwicklung im 20. Jh. wurde vor allem durch die deutsche Maschinenbaufirma Berstorff beeinflusst. So entstanden zu dieser Zeit die ersten bombierten Walzen, bei denen der Walzendurchmesser in der Walzenmitte größer war als am Rand, um einen großen Teil der Walzenverbiegung aufzufangen. Elektromotorische Walzenanstellungen und Schrägverstellungsmöglichkeiten für die mittigen Walzen folgten zwecks schnellerer Umstellungen und Korrekturen der Foliendurchmesser-Ungleichheiten über die Folienbreite. Zwecks besserer Steuerung der drei bis fünf Kalanderwalzen wurde bereits damals vom Getriebe auf Einzelantriebe umgestellt. In den 1940er-Jahren kam das Patent zum Luvithermverfahren, um durch nachgeschaltete Erwärmung bei der den Kalander verlassenden Folie besondere Festigkeiten zu erzielen.

Mit den ersten hydrodynamischen Analysen der Strömungsvorgänge im Walzenspalt durch z.B. Alexandre Ardichvili begann damals bereits die theoretische Durchdringung der Wirkungsweisen eines Kalanderspaltes. In den 1950er-Jahren des letzten Jahrhunderts sorgten peripher gebohrte Walzen für ein besseres Temperaturprofil auf der Oberfläche der Kalanderwalzen, und die Vorspannung sowie das Roll-Bending als Gegendurchbiegung gestatteten weitere Verbesserungen in der Gleichmäßigkeit der Folien bezüglich Dicken- und Schrumpftoleranz. Um 1960 begann man für größere Durchsätze auf eine kontinuierliche Vorgelierung überzugehen sowie bei Neubauten größere Walzenbreiten (bis 2.000 mm) und größere Geschwindigkeiten zu nutzen. So gelang es damals schon Kalandriergeschwindigkeiten für Hart-PVC von 60 m/min und für Weich-PVC bis 150 m/min zu realisieren.

In den 1970er-Jahren gelang es durch erste Berechnungsmodelle für Durchsatz und Druck (z.B. J. S. Chong), die Walzenformen (Bombage) so an die Wirklichkeit anzunähern, dass 80 bis 90% der Walzendurchbiegung infolge Materialdruckes damit kompensiert werden konnten (siehe Abbildung 5).

Erste Prozessoptimierungen (z.B durch Ernst-Otto Reher, Vladimir Krasovski) gestatteten Genauigkeiten im µm-Bereich bei PVC-Hartfolien zu erreichen. Dies erforderte auch eine Entwicklung der Messtechnik, bei der man mit radiometrisch arbeitenden Dickenmessanlagen diese Genauigkeiten auch

Abbildung 5: Erste Berechnungsmodelle für Durchsatz und Druck



Quelle: Kopsch 1978, S. 6

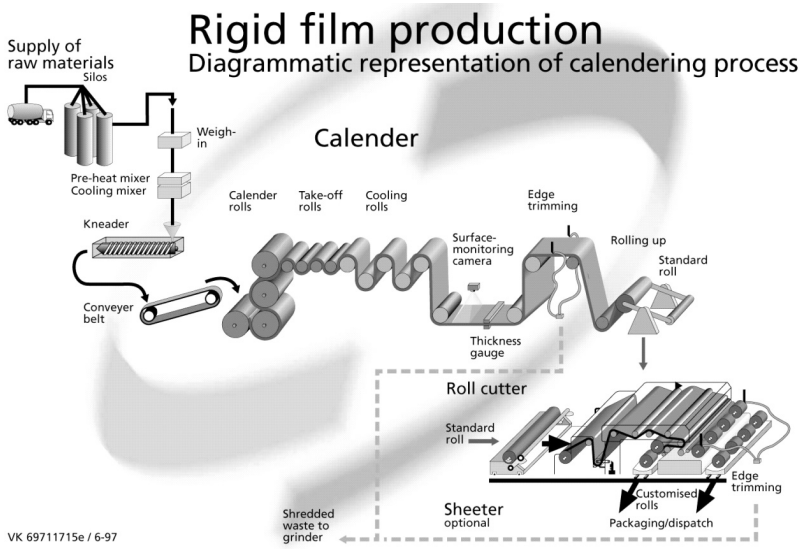
praktisch bewerten konnte. In den 1980er-Jahren wurde der Kalander durch keilförmige Einbauten ergänzt (Heinrich Collin, Christian Kohlert; vgl. Autorenkollektiv 1992), mit denen der Mischprozess in den Kalanderspalten verbessert werden sollte. Die ersten größeren Automatisierungen und Regelungen der Temperaturen und Geschwindigkeiten führten zu verstärkten Systemanalysen über die Einflussparameter und ihre Verknüpfungen in Bezug auf Folienqualitäten (Klaus Hartmann).

Mit dem Einzug der Mikrorechentechnik wurde speziell in den 1990er-Jahren des 20. Jh.s die Inline-Messtechnik in den Vordergrund der Entwicklungen gestellt. Die Qualität der Folienmerkmale sollte dort gemessen werden, wo sie entsteht und durch den Kalanderfahrer beeinflusst werden kann. So entstanden Fehlerinspektionssysteme zur Bewertung der Oberflächenqualität, Schrumpfmessanlagen über polarisiertes Licht, Füllstandsmesssysteme über Ultraschall oder Lichtgeschwindigkeitsmessung sowie Inline-Farb- und Glanzgeräte.

Der Übergang zur heutigen Zeit um den Jahrhundertwechsel war gekennzeichnet durch eine weitere starke Entwicklung der Inline-Messtechnik sowie von Automatisierungslösungen von der Dosierung bis hin zur Wickeltechnik.

In Abbildung 6 ist schematisch eine moderne Kalanderlinie der Firma kp dargestellt.

Abbildung 6: Moderner Hart-PVC-Kalander



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

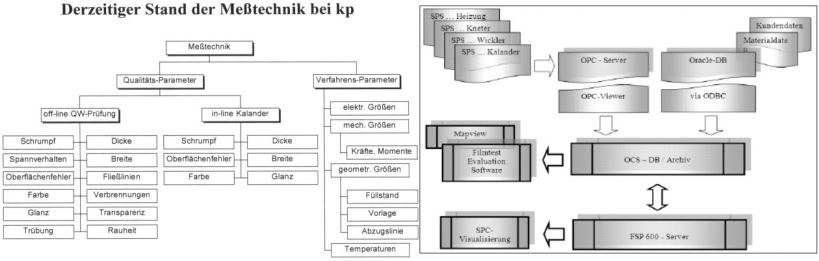
Heute existieren komplexe Kalanderlinien für Foliendicken von 40 bis 1.200 µm, mit Walzengeschwindigkeiten von 200 m/min und Walzenbreiten bis zu 3.500 mm. Damit erreicht man Durchsätze von bis zu 4 t/h. Dies ist möglich durch automatisierte Dosierung der Einzelkomponenten, rechnergestützte Steuerung, Prozessüberwachung mit Steuerungsprogrammen wie WinCC, Trendanalysen und statistischer Prozesskontrolle. Eine Qualitätskontrolle Inline und Offline sowie Energieeffizienzmaßnahmen ergänzen diese moderne Technologie. Zertifizierungen nach ISO 9001 (Qualität), GMP, ISO 14001 (Umwelt), ISO 50001 (Energie) und Hygiene sind heutzutage Standard in den Kalandrierunternehmen.

In Abbildung 7 ist der derzeitige Stand der Messtechnik und der Datenverknüpfung bei kp dargestellt.

Wachsende Aufmerksamkeit in den derzeitigen Entwicklungen wird der Oberflächenveredlung, also der Oberflächenbehandlung durch z.B. Corona oder dem Oberflächenbeschichten mit z.B. Antistatika, gewidmet. Abbildung 8 zeigt verschiedene Möglichkeiten zur Oberflächenbehandlung von Folien mit Preisen von 2010. So, wie die Fixkosten ansteigen, reduzieren sich in

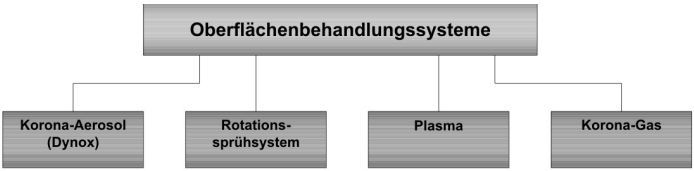
der Regel dann die variablen Kosten. So kann jeder entscheiden, welches System er bei größeren oder kleineren Auftragsmengen nutzen möchte.

Abbildung 7: Stand der Messtechnik und Datenverknüpfung bei kp



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Abbildung 8: Möglichkeiten zur Oberflächenbehandlung von Folien



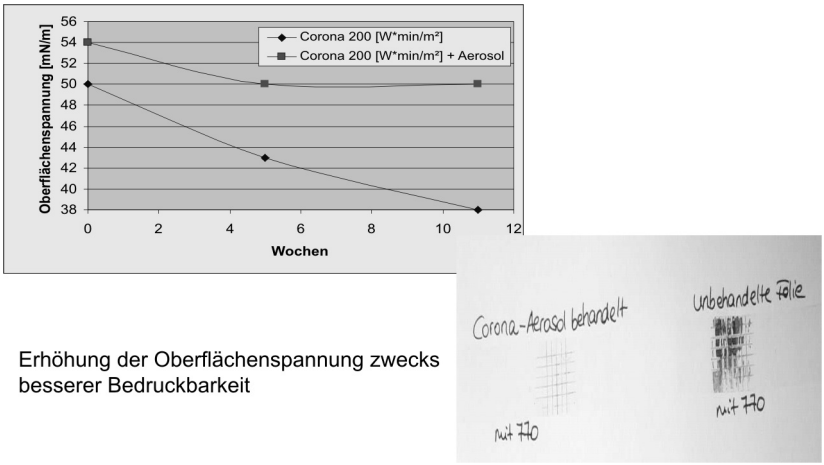
	Korona [€]	Korona-Aerosol [€]	Rotationssprüh-system [€]	Plasma [€]	Korona-Gas [€]
Fix Kosten	~80.000	~160.000	~130.000	>500.000	>280.000

Die Angaben beziehen sich auf eine Anlagenbreite von 2,40m bei einer beidseitigen Beschichtung und einer Geschwindigkeit von 30 bis 150 m/min (Preise von 2010)

Eigene Darstellung

In Abbildung 9 ist ein Beispiel dargestellt für eine Oberflächenbehandlung zwecks besserer Bedruckbarkeit. Wenn eine normale Corona-Behandlung ihre erhöhten Werte der Oberflächenspannung nach sechs bis zehn Wochen wieder verliert, ist eine Corona/Aerosolbehandlung wesentlich langfristiger wirksam und gestattet dem Käufer auch eine spätere drucktechnische Verarbeitung der Folie.

Abbildung 9: Verbesserung der Oberflächenspannung durch Corona-Aerosolbehandlung



Erhöhung der Oberflächenspannung zwecks besserer Bedruckbarkeit

Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Das Morgen der Kalandertechnik wird eine verstärkte Veredlung der Folienoberflächen „inline“, d.h. im Herstellungsprozess über Oberflächenbehandlung (Plasma) und Oberflächenbeschichtungen mit Hilfe der Nanotechnologie mit sich bringen. Damit werden Folieneigenschaften erzeugt, die eigentlich dem Polymer gar nicht zuzuschreiben sind, wie Leitfähigkeit, Bedruckbarkeit oder UV-Stabilität. Durch die stagnierende PVC-Folienproduktion in den westlichen Industriestaaten werden neue Produkte für die existierenden Kalander entwickelt, wie WPC (Holz-Polymer-Verbunde) und andere biologisch basierte bzw. abbaubare Polymere. Die Nutzung der Nanotechnologie über das Aufsprühen von Nanosolen eröffnet ungeahnte Anwendungsmöglichkeiten der Kalandriertechnologie von aktiven Oberflächen (antimikrobiell, antikorrosiv, aromatisch, ...) über intelligente Oberflächen (Zeitindikator, Temperatur-Zeit-Indikator, elektrisch leuchtend, ...) bis hin zu speziellen Effekten wie Lotus-Effekt oder Fälschungssicherheit (siehe Abbildung 10).

Damit wird gezeigt, dass die hochproduktive Kalandriertechnologie sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelte und auch im 21. Jh. einen Platz als Folienherstellungsprozess beibehält (siehe Abbildung 11).

Abbildung 10: Nutzung der Nanotechnologie zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften

nanotechnology

active

Oxygen absorber (2)

Anti microbial
- tangent (1)
- out gassing (2)

Anti static / conductivity (1)

Anti corrosion
- rust prevention (1)
- rust removal (1)

Increase barrier properties
- against gases (2)
- against water vapor (1)

Increase UV protection
- film (1)
- product (2)

Film with aromatic properties (2)

intelligent

Indicator film irreversible
- time TI (1), freshness
- time / temperature TTI (2)
- humidity (2)
- PH-value (1)
- temperature (2)
- UV-light (2)

Indicator film reversible
- temperature (2)
- UV-light (2)

Luminescent film
- self shiny (1)
- activated by UV-light (1)

Dimming film
- electrical (1)
- light (heliomatic) (2)

special

Surface haptics (2)

Change printing characteristics
- increase surface tension (1)
- decrease surface tension (2)

Scratch resistance
- microscratch (2)
- surface rigidity (3)

Increase chemical resistance (2)

Lotus effect (3)

Anti-counterfeit(1)

(1)	**= practicable**
(2)	**= possible**
(3)	**= thinkable**

Eigene Darstellung

Abbildung 11: Entwicklung der Kalandertechnologie

Mechanischer Bau	Anfang 19.Jahrhundert	
Trennung in Kautschuk- und Kunststoffkalander	1930	damals
Konstruktionstechnik ➔ Dickenkompensation	1950	
Elektrotechnik ➔ Antriebstechnik, Steuerungstechnik	1970	
Mikroelektronik ➔ Meßtechnik, Automatisierung Simulationsmodelle	1990	
Beschichtungstechnik ➔ Veredlung, Multilayer Oberflächenbehandlung	2000	heute
Nanotechnologie ➔ neue Eigenschaften	2010	
Neue Polymere ➔ PET, PP, PS, bioabbaubar, WPC	2020	morgen
	Mitte 21. Jahrhundert	

Wissenschaftliche Durchdringung

Eigene Darstellung

Literatur

Autorenkollektiv (unter Leitung von Chr. Kohlert) (1992): Kalandrieren von Polymeren. Leipzig

Klöckner Pentaplast (o.J.): Internes Material. Klöckner Pentaplast GmbH & Co. KG, Montabaur

Kopsch, H. (1978): Kalandertechnik. München/Wien

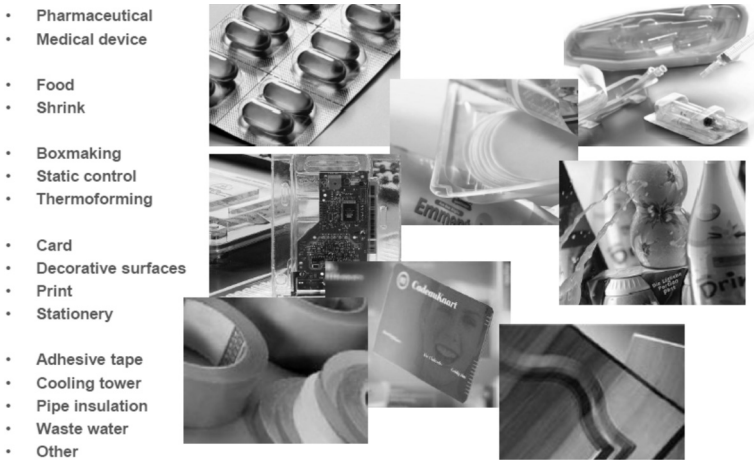
Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 95–104*

Christian Kohlert

Traditionelle Kalandertechnologie für High-Tech-Produkte

Klöckner Pentaplast (kp) ist weltweit führender Hersteller von Folien für Pharma-, Lebensmittel-, Medizintechnik- und Blisterverpackungen sowie Druck- und Spezialanwendungen (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: kp-Produkte



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Gegründet 1965 von den Klöckner Werken beschäftigt kp heute rund 3.000 Mitarbeiter in 18 Produktionsstätten und erwirtschaftet einen Umsatz von über 1,1 Mrd. €. Die Produktionskapazität beim Kalandrieren und Extrudieren beträgt rund 600.000 t pro Jahr.

In Abbildung 2 sind die Produktions-, Verkaufs- und Entwicklungsstandorte von kp dargestellt, womit ersichtlich wird, dass kp ein global agierendes Unternehmen mit Hauptsitz in Montabaur, BRD, ist.

Abbildung 2: Standorte von kp weltweit

Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

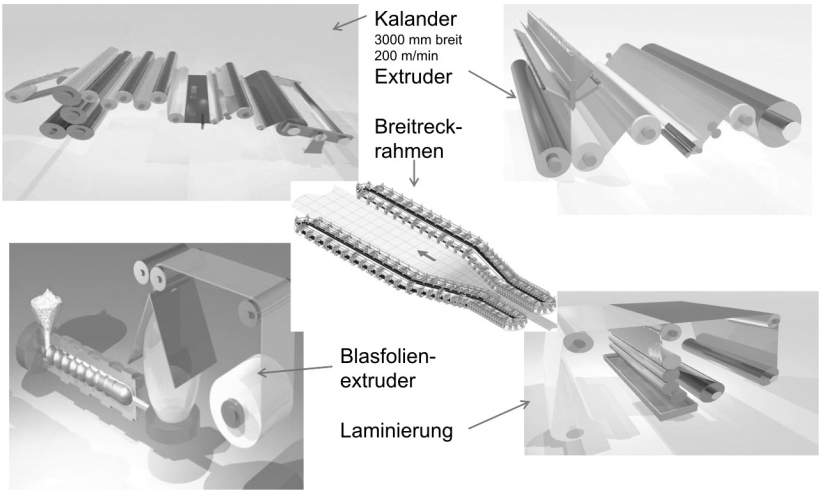
Abbildung 3 zeigt die von kp genutzten Verarbeitungsmaschinen Kalander, Extruder und Blasfolienanlagen zur Herstellung und die Laminieranlagen und Breitreckrahmen zum Veredeln von Folien.

Damit sollte die Kompetenz von kp zur Kalandertechnik belegt und im Weiteren auch der Beitrag zur Entwicklung dieser Technologie in den letzten 50 Jahren vorbereitet werden.

Das Kalandrieren von Papier und Kunststoffen ist eine alte Technologie, die sich im äußeren Schein nicht wesentlich entwickelt hat. Beim genaueren Betrachten fällt einem dann aber doch unendlicher technischer Fortschritt in Maschine und Technologie auf. Das Wort Kalandrieren lässt sich sowohl auf das griechische Wort für Zylinder „κύλινδρος“ (kylindros) als auch auf das französische „calandre“ („Rolle“) zurückführen und wurde 1798 erstmalig erwähnt als Glättkalander für Textiloberflächen (vgl. Kopsch 1978).

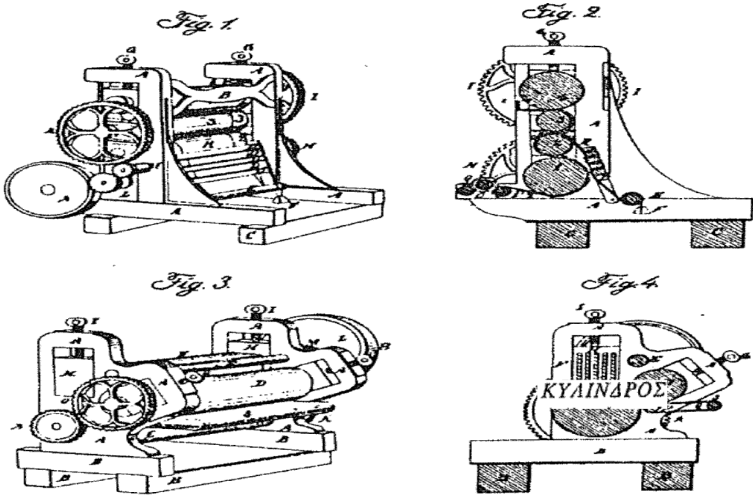
In Abbildung 4 ist der erste patentierte Kalander zum Gummieren von Geweben mit einer Walzenbreite von 1.830 mm und Walzendurchmessern von 457 und 305 mm als US-Patent No. 16 dargestellt.

Abbildung 3: kp-Maschinen



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Abbildung 4: Erste patentierte Kalandervarianten



Quelle: Kopsch 1978, S. 1

Um 1930 kam es dann zur Trennung von Gummi- und Kunststoffkalander mit der Entwicklung von PVC in PVC-Weichkalander durch die Fa. Goodrich, USA, und PVC-Hartkalander durch die Firma IG Farben, Deutschland.

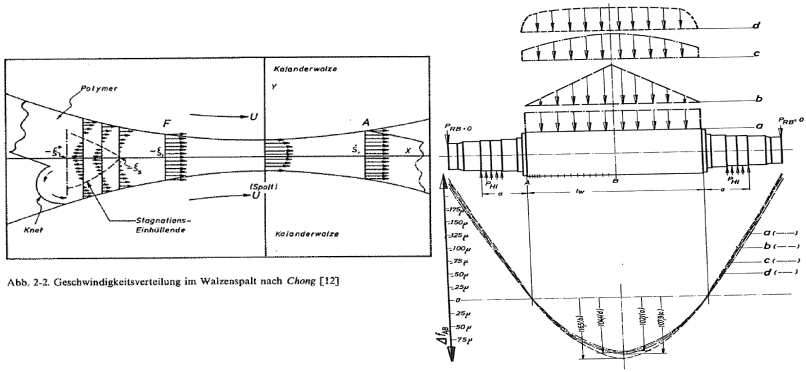
Die Kalanderentwicklung im 20. Jh. wurde vor allem durch die deutsche Maschinenbaufirma Berstorff beeinflusst. So entstanden zu dieser Zeit die ersten bombierten Walzen, bei denen der Walzendurchmesser in der Walzenmitte größer war als am Rand, um einen großen Teil der Walzenverbiegung aufzufangen. Elektromotorische Walzenanstellungen und Schrägverstellungsmöglichkeiten für die mittigen Walzen folgten zwecks schnellerer Umstellungen und Korrekturen der Foliendurchmesser-Ungleichheiten über die Folienbreite. Zwecks besserer Steuerung der drei bis fünf Kalanderwalzen wurde bereits damals vom Getriebe auf Einzelantriebe umgestellt. In den 1940er-Jahren kam das Patent zum Luvithermverfahren, um durch nachgeschaltete Erwärmung bei der den Kalander verlassenden Folie besondere Festigkeiten zu erzielen.

Mit den ersten hydrodynamischen Analysen der Strömungsvorgänge im Walzenspalt durch z.B. Alexandre Ardichvili begann damals bereits die theoretische Durchdringung der Wirkungsweisen eines Kalanderspaltes. In den 1950er-Jahren des letzten Jahrhunderts sorgten peripher gebohrte Walzen für ein besseres Temperaturprofil auf der Oberfläche der Kalanderwalzen, und die Vorspannung sowie das Roll-Bending als Gegendurchbiegung gestatteten weitere Verbesserungen in der Gleichmäßigkeit der Folien bezüglich Dicken- und Schrumpftoleranz. Um 1960 begann man für größere Durchsätze auf eine kontinuierliche Vorgelierung überzugehen sowie bei Neubauten größere Walzenbreiten (bis 2.000 mm) und größere Geschwindigkeiten zu nutzen. So gelang es damals schon Kalandriergeschwindigkeiten für Hart-PVC von 60 m/min und für Weich-PVC bis 150 m/min zu realisieren.

In den 1970er-Jahren gelang es durch erste Berechnungsmodelle für Durchsatz und Druck (z.B. J. S. Chong), die Walzenformen (Bombage) so an die Wirklichkeit anzunähern, dass 80 bis 90% der Walzendurchbiegung infolge Materialdruckes damit kompensiert werden konnten (siehe Abbildung 5).

Erste Prozessoptimierungen (z.B durch Ernst-Otto Reher, Vladimir Krasovski) gestatteten Genauigkeiten im µm-Bereich bei PVC-Hartfolien zu erreichen. Dies erforderte auch eine Entwicklung der Messtechnik, bei der man mit radiometrisch arbeitenden Dickenmessanlagen diese Genauigkeiten auch

Abbildung 5: Erste Berechnungsmodelle für Durchsatz und Druck



Quelle: Kopsch 1978, S. 6

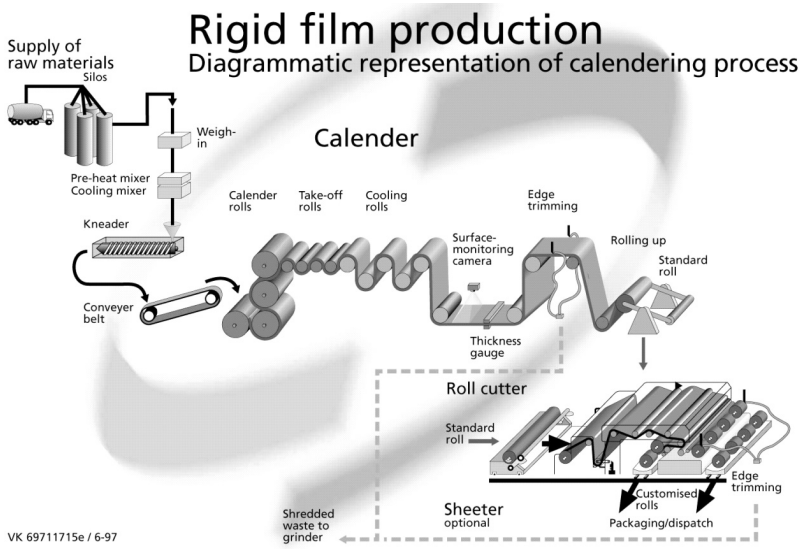
praktisch bewerten konnte. In den 1980er-Jahren wurde der Kalander durch keilförmige Einbauten ergänzt (Heinrich Collin, Christian Kohlert; vgl. Autorenkollektiv 1992), mit denen der Mischprozess in den Kalanderspalten verbessert werden sollte. Die ersten größeren Automatisierungen und Regelungen der Temperaturen und Geschwindigkeiten führten zu verstärkten Systemanalysen über die Einflussparameter und ihre Verknüpfungen in Bezug auf Folienqualitäten (Klaus Hartmann).

Mit dem Einzug der Mikrorechentechnik wurde speziell in den 1990er-Jahren des 20. Jh.s die Inline-Messtechnik in den Vordergrund der Entwicklungen gestellt. Die Qualität der Folienmerkmale sollte dort gemessen werden, wo sie entsteht und durch den Kalanderfahrer beeinflusst werden kann. So entstanden Fehlerinspektionssysteme zur Bewertung der Oberflächenqualität, Schrumpfmessanlagen über polarisiertes Licht, Füllstandsmesssysteme über Ultraschall oder Lichtgeschwindigkeitsmessung sowie Inline-Farb- und Glanzgeräte.

Der Übergang zur heutigen Zeit um den Jahrhundertwechsel war gekennzeichnet durch eine weitere starke Entwicklung der Inline-Messtechnik sowie von Automatisierungslösungen von der Dosierung bis hin zur Wickeltechnik.

In Abbildung 6 ist schematisch eine moderne Kalanderlinie der Firma kp dargestellt.

Abbildung 6: Moderner Hart-PVC-Kalander



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

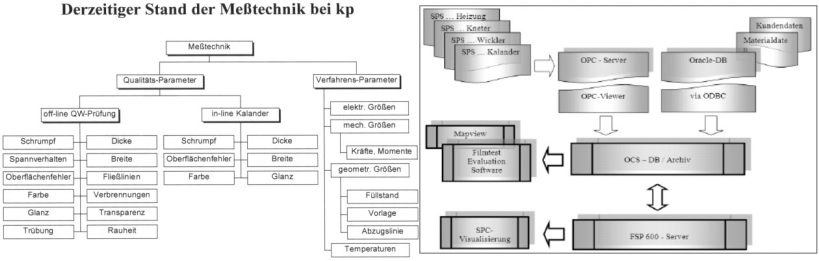
Heute existieren komplexe Kalanderlinien für Foliendicken von 40 bis 1.200 µm, mit Walzengeschwindigkeiten von 200 m/min und Walzenbreiten bis zu 3.500 mm. Damit erreicht man Durchsätze von bis zu 4 t/h. Dies ist möglich durch automatisierte Dosierung der Einzelkomponenten, rechnergestützte Steuerung, Prozessüberwachung mit Steuerungsprogrammen wie WinCC, Trendanalysen und statistischer Prozesskontrolle. Eine Qualitätskontrolle Inline und Offline sowie Energieeffizienzmaßnahmen ergänzen diese moderne Technologie. Zertifizierungen nach ISO 9001 (Qualität), GMP, ISO 14001 (Umwelt), ISO 50001 (Energie) und Hygiene sind heutzutage Standard in den Kalandrierunternehmen.

In Abbildung 7 ist der derzeitige Stand der Messtechnik und der Datenverknüpfung bei kp dargestellt.

Wachsende Aufmerksamkeit in den derzeitigen Entwicklungen wird der Oberflächenveredlung, also der Oberflächenbehandlung durch z.B. Corona oder dem Oberflächenbeschichten mit z.B. Antistatika, gewidmet. Abbildung 8 zeigt verschiedene Möglichkeiten zur Oberflächenbehandlung von Folien mit Preisen von 2010. So, wie die Fixkosten ansteigen, reduzieren sich in

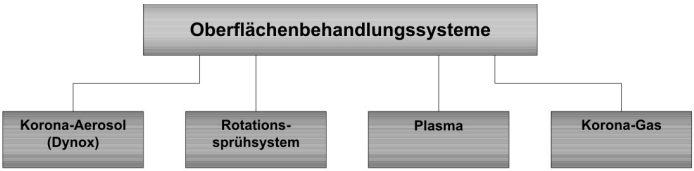
der Regel dann die variablen Kosten. So kann jeder entscheiden, welches System er bei größeren oder kleineren Auftragsmengen nutzen möchte.

Abbildung 7: Stand der Messtechnik und Datenverknüpfung bei kp



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Abbildung 8: Möglichkeiten zur Oberflächenbehandlung von Folien



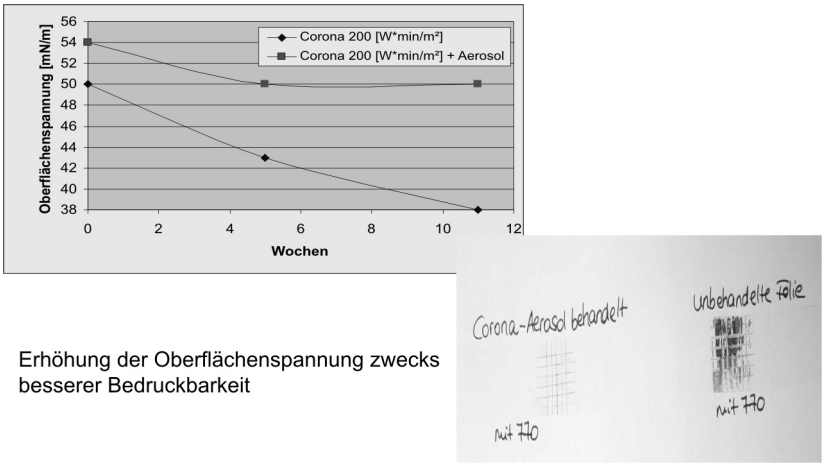
	Korona [€]	Korona-Aerosol [€]	Rotationssprüh-system [€]	Plasma [€]	Korona-Gas [€]
Fix Kosten	~80.000	~160.000	~130.000	>500.000	>280.000

Die Angaben beziehen sich auf eine Anlagenbreite von 2,40m bei einer beidseitigen Beschichtung und einer Geschwindigkeit von 30 bis 150 m/min (Preise von 2010)

Eigene Darstellung

In Abbildung 9 ist ein Beispiel dargestellt für eine Oberflächenbehandlung zwecks besserer Bedruckbarkeit. Wenn eine normale Corona-Behandlung ihre erhöhten Werte der Oberflächenspannung nach sechs bis zehn Wochen wieder verliert, ist eine Corona/Aerosolbehandlung wesentlich langfristiger wirksam und gestattet dem Käufer auch eine spätere drucktechnische Verarbeitung der Folie.

Abbildung 9: Verbesserung der Oberflächenspannung durch Corona-Aerosolbehandlung



Erhöhung der Oberflächenspannung zwecks besserer Bedruckbarkeit

Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Das Morgen der Kalandertechnik wird eine verstärkte Veredlung der Folienoberflächen „inline“, d.h. im Herstellungsprozess über Oberflächenbehandlung (Plasma) und Oberflächenbeschichtungen mit Hilfe der Nanotechnologie mit sich bringen. Damit werden Folieneigenschaften erzeugt, die eigentlich dem Polymer gar nicht zuzuschreiben sind, wie Leitfähigkeit, Bedruckbarkeit oder UV-Stabilität. Durch die stagnierende PVC-Folienproduktion in den westlichen Industriestaaten werden neue Produkte für die existierenden Kalander entwickelt, wie WPC (Holz-Polymer-Verbunde) und andere biologisch basierte bzw. abbaubare Polymere. Die Nutzung der Nanotechnologie über das Aufsprühen von Nanosolen eröffnet ungeahnte Anwendungsmöglichkeiten der Kalandriertechnologie von aktiven Oberflächen (antimikrobiell, antikorrosiv, aromatisch, ...) über intelligente Oberflächen (Zeitindikator, Temperatur-Zeit-Indikator, elektrisch leuchtend, ...) bis hin zu speziellen Effekten wie Lotus-Effekt oder Fälschungssicherheit (siehe Abbildung 10).

Damit wird gezeigt, dass die hochproduktive Kalandriertechnologie sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelte und auch im 21. Jh. einen Platz als Folienherstellungsprozess beibehält (siehe Abbildung 11).

Abbildung 10: Nutzung der Nanotechnologie zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften

nanotechnology

active

Oxygen absorber (2)

Anti microbial
- tangent (1)
- out gassing (2)

Anti static / conductivity (1)

Anti corrosion
- rust prevention (1)
- rust removal (1)

Increase barrier properties
- against gases (2)
- against water vapor (1)

Increase UV protection
- film (1)
- product (2)

Film with aromatic properties (2)

intelligent

Indicator film irreversible
- time TI (1), freshness
- time / temperature TTI (2)
- humidity (2)
- PH-value (1)
- temperature (2)
- UV-light (2)

Indicator film reversible
- temperature (2)
- UV-light (2)

Luminescent film
- self shiny (1)
- activated by UV-light (1)

Dimming film
- electrical (1)
- light (heliomatic) (2)

special

Surface haptics (2)

Change printing characteristics
- increase surface tension (1)
- decrease surface tension (2)

Scratch resistance
- microscratch (2)
- surface rigidity (3)

Increase chemical resistance (2)

Lotus effect (3)

Anti-counterfeit(1)

(1)	**= practicable**
(2)	**= possible**
(3)	**= thinkable**

Eigene Darstellung

Abbildung 11: Entwicklung der Kalandertechnologie

Mechanischer Bau	Anfang 19.Jahrhundert	
Trennung in Kautschuk- und Kunststoffkalander	1930	damals
Konstruktionstechnik ➔ Dickenkompensation	1950	
Elektrotechnik ➔ Antriebstechnik, Steuerungstechnik	1970	
Mikroelektronik ➔ Meßtechnik, Automatisierung Simulationsmodelle	1990	
Beschichtungstechnik ➔ Veredlung, Multilayer Oberflächenbehandlung	2000	heute
Nanotechnologie ➔ neue Eigenschaften	2010	
Neue Polymere ➔ PET, PP, PS, bioabbaubar, WPC	2020	morgen
	Mitte 21. Jahrhundert	

Wissenschaftliche Durchdringung

Eigene Darstellung

Literatur

Autorenkollektiv (unter Leitung von Chr. Kohlert) (1992): Kalandrieren von Polymeren. Leipzig

Klöckner Pentaplast (o.J.): Internes Material. Klöckner Pentaplast GmbH & Co. KG, Montabaur

Kopsch, H. (1978): Kalandertechnik. München/Wien

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 105–123*

Wolfgang Fratzscher

Energietechnik und Energiewende

1 Dialektik von Wissenschaft und Technologie

Das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Technik oder allgemeiner Technologie ist natürlich dialektisch. Es gibt hervorragende Beispiele, insbesondere aus der jüngsten Vergangenheit, wie aus wissenschaftlichen Erkenntnissen ganze technologische bis hin zu gesellschaftlichen Entwicklungen hervorgegangen sind. In letzter Zeit betrifft dies besonders die Informations- und Kommunikationstechnologie. Weiter zurückliegend sind Beispiele die Entwicklung der Elektrotechnik, sowohl die Stark- als auch die Schwachstromtechnik, und auch die chemische Industrie, dort insbesondere die organische Chemie betreffend. Auch die Kältetechnik ist ein schönes Beispiel, da hier aus thermodynamischen Überlegungen heraus interessante technische Entwicklungen bis hin zur Tieftemperaturtechnik abgeleitet worden.

Allerdings gibt es auch interessante Beispiele dafür, wie bestimmte technisch-technologische Anforderungen wissenschaftliche Fragestellungen angeregt haben, die letzten Endes zu neuen Fachdisziplinen geführt haben. Ein solches klassisches Beispiel ist die Erfindung der Dampfmaschine, die schließlich den Anstoß für die Entwicklung der Technischen Thermodynamik gab, wie sie 100 Jahre später von Gustav Zeuner konzipiert worden ist. Gerade dieses Beispiel ist wohl der Hintergrund für das Marxwort gewesen, nachdem ein praktisches Bedürfnis der Wissenschaft manchmal mehr hilft als zehn Universitäten.

2 Terminologie

Wie sieht es nun mit diesem Verhältnis in der Energietechnik zu den Zeiten der Energiewende aus? Nüchtern muss man konstatieren, dass dieses Verhältnis zumindest in Deutschland merkwürdig, wenn nicht unzureichend ausgeprägt ist. Das lässt sich ableiten aus dem Vokabular, das zur Kennzeichnung von Entwicklungstendenzen, die notwendig erscheinen, verwendet wird. So ist der Gebrauch unscharfer Begriffe nicht gefährlich, wenn trotz des Begriffes darunter der richtige physikalische Gegenstand verstanden wird.

Das ist z.B. der Fall bei dem Begriff Kraft. Mindestens seit Hermann von Helmholtz, also vor reichlich 150 Jahren, wissen wir, dass darunter eigentlich Energie gemeint ist, wenn wir von Kraftstoff, Kraftwerk u.ä. sprechen, und nicht von dem physikalischen Begriff Kraft, der ja physikalisch als Masse mal Beschleunigung definiert ist. Energie äußert sich manchmal als Kraft, ist aber sehr viel weitreichender. Ein solches Informationsdefizit scheint aber m.E. in der derzeitigen Situation und Diskussion nicht gegeben zu sein.

Nehmen wir den Begriff „erneuerbare Energien". Dieser Begriff ist physikalisch unsauber. Energie ist eine Erhaltungsgröße, kann also nicht geschaffen, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. Sicher gibt es eine große Anzahl von unterschiedlichen Energiequellen in der Natur, die für unsere energetischen Bedürfnisse eingesetzt werden können. Ich habe prinzipiell zwischen Vermögens- und Einkommensenergien unterschieden. *Vermögensenergien* sind durch solche Energieträger gegeben, die in zwar großen, aber doch letztendlich endlichen Umfang in entsprechenden Lagerstätten oder Herkunftsmöglichkeiten auf der Erde zur Verfügung stehen. Ihre Ausbeute, d.h. der Umfang der von der Gesellschaft in Anspruch genommenen jeweiligen Menge, hängt von der Intensität der Gesellschaft selbst ab. Die *Einkommensenergien* stehen zwar in einer für die menschliche Gesellschaft beliebig langen Zeit zur Verfügung. Ihr Leistungsumfang ist aber naturgesetzlich begrenzt. Auf dem Planeten Erde gehen sie letztendlich auf die Sonnenenergie zurück, die uns an der äußeren Erdatmosphäre mit ca. 1,4 kW/m^2 zur Verfügung steht. Auf der Erdoberfläche ist es entsprechend weniger. Das ist technisch ein sehr geringer Wert, wenn dieser Wert mit Größen in unseren üblichen technischen Anlagen verglichen wird, die bis zu zehntausendmal größer sein können. Er lässt von vornherein erwarten, dass die Ausnutzung dieser Energien einen sehr viel größeren Apparate- und Anlagenaufwand erfordern wird als in unseren konventionellen Ausrüstungen.

Warum wird ein solcher Begriff verwendet, der doch in falscher Weise in Richtung eines perpetuum mobile führt? Man will wohl darauf verweisen, dass diese Rohenergie in der ursprünglichen Form kostenlos zur Verfügung steht und in für menschliche Dimensionen beliebig langen Zeiten, und damit für die Menschen unerschöpflich. Das ist aber nur die eine Seite dieser Energiequellen. Die andere Seite sind die zu erwartenden, für bisher übliche technische Dimensionen sehr großen technischen Aufwendungen und das durch die Tages- und Jahreszeiten sowie die stochastischen Wetter-

einflüsse zeitlich schwankende Angebot der Einkommensenergien, die weitere zusätzliche apparative Aufwendungen zur Bereitstellung einer gleichmäßigen Versorgung der menschlichen Gesellschaft erfordern werden. Das ist alles absehbar, aber soll offensichtlich nicht vordergründig angesprochen werden.

Hier soll der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Rohenergiequellen auf der Grundlage des Platzbedarfes erfolgen, der für eine Leistungseinheit mit der jeweiligen Technologie erforderlich oder gegeben ist. Daraus ist eine erste qualitative Einschätzung der erforderlichen Apparate- und Anlagentechnik möglich, die zur Bereitstellung einer bestimmten Leistung einzusetzen ist.

Zunächst für die Vermögensenergien: Für einen Braunkohlentagebau haben wir aus der insgesamt geförderten Menge und der in Anspruch genommenen Fläche versucht, eine Größenordnung abzuschätzen. Das ergibt ca. 2.400 W/m^2. Für Wärmekraftwerke ergibt sich in der Größenordnung (3–4) x 10^3 W/m^2. Zum weiteren Vergleich können noch 10^3 bis 10^4 kW/m^2 für energieintensive Apparate angegeben werden. Diese Zahlen charakterisieren die konventionelle Technik.

Für die Einkommensenergien ist primär die sogenannte Solarkonstante interessant. Dies ist der Wert an der äußeren Erdatmosphäre. Auf der Erdoberfläche kann man im Durchschnitt mit etwa einem Zehntel der Solarkonstante rechnen. Die durch die Photosynthese erzeugte Bioproduktion lässt sich durch 0,65 W/m^2 kennzeichnen. Er gilt gleichermaßen für die freie Natur wie für die Landwirtschaft. Ein Solarkraftwerk mit Nachführung der Module und bezogen auf die Peakleistung ergibt in der Größenordnung 25 W/m^2.

Wir sehen, man bewegt sich bei der Ausnutzung der Einkommensenergien in gänzlich anderen Größenordnungen im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung. Daraus lässt sich zunächst der Schluss ziehen, dass zur Gewinnung von Einkommensenergien ein um mehrere Größenordnungen höherer Apparate- und Anlagenaufwand erforderlich ist.

Ein weiteres Beispiel für eine unscharfe und damit einseitige Information ist die Angabe der Leistungsfähigkeit von modernen Energiebereitstellungen. Dazu wird im Allgemeinen die Anzahl von Wohnungen benutzt, die mit der betrachteten Anlage versorgt werden können. Dabei wird nicht unterschieden, ob es sich um die Jahresarbeit handelt, die bereitzustellen ist, oder um die erforderliche Leistung. Häufig wird es sich wohl stillschweigend um die erforderliche Jahresarbeit für die Versorgung einer drei- oder vierköpfigen Familie handeln. Wir haben vor einigen Jahren die Versor-

gungsstruktur von Städten und Landgebieten untersucht. Das Ergebnis ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Versorgungsstrukturen

	Ballungsraum – Verwaltungs-großstadt	Ballungsraum – Industrie-großstadt	Mischraum – ländlich mit Zentren	ländlicher Raum
konkretes Beispiel	Düsseldorf	Duisburg	Versorgungs-gebiet Wesel	Spree-Neiße-Kreis
charakteristische Daten				
Fläche in km^2	220	220	560	1.650
Einwohner in 1.000	600	500	250	150
Einwohnerdichte in Einwohner/km^2	2.700	2.300	450	90
Endenergiever-brauch in MW	2.050	8.550	850	300
spezifischer End-energieverbrauch in kW/Einwohner	3,4	17	3,4	2,0
Endenergiebe-darfsdichte in MW/km^2	9,3	39	1,5	0,18
spezifischer End-energieverbrauch für Haushalte in kW/Einwohner	1,1	0,8	1,3	1,4
Anteile am Endenergieverbrauch in %				
Industrie	30	90	44	11
Haushalte	25	4	29	46
Kleinverbraucher	23	2	5	11
Verkehr	22	5	22	32

Quelle: Fratzscher/Stephan 2000, S. 167

Daraus erkennt man, dass der Verbrauch für die Versorgung der Haushalte in allen untersuchten Gebieten in der absoluten Größenordnung etwa gleich ist. Das deutet daraufhin, dass die Ausstattung der Haushalte mit Energieverbrauchern etwa gleich ist, unabhängig davon, ob sie in Stadtgebieten oder in ländlichen Gegenden liegen. Dagegen ist der Anteil des Energiever-

brauches der Haushalte am Gesamtverbrauch sehr unterschiedlich und natürlich in industriellen Gebieten nahezu marginal (4%). Die Industrie ist aber die Grundlage für eine entwickelte Gesellschaft, auf deren Produkte kann und soll nicht verzichtet werden. Sie ist nicht nur Grundlage des Wohlstandes der Gesellschaft, sondern, wie es sich gerade auch in der jüngsten Zeit gezeigt hat, auch Stabilitätsfaktor in Krisenzeiten. Die Angabe der Versorgungsmöglichkeiten von Haushalten zur Kennzeichnung der Leistungsfähigkeit von modernen Energieversorgungsanlagen hat für die Energiebilanz eines Industriestaates kaum oder nur wenig Aussagekraft.

Auch der Umgang mit dem Begriff „Umgebungsenergie“ oder auch „Umgebungswärme“ in der Diskussion um notwendige technische Entwicklungen zur Energiewende ist höchst unscharf, wenn nicht gar falsch. Das zeigt sich z.B. bei der Diskussion um die Wärmekraftkopplung oder, wie heute gesagt wird, Kraftwärmekopplung (KWK). Hierbei wird darauf hingewiesen, dass in dieser Schaltung die Abwärme von Wärmekraftanlagen nutzbar gemacht wird und so ein Gesamtwirkungsgrad in der Größenordnung von 80 bis 90% erreicht werden kann gegenüber den Wirkungsgraden von Wärmekraftanlagen, die ausschließlich der Bereitstellung von Arbeit dienen und damit Werte von 30 bis 40% aufweisen. Aus diesem Grund wird eine solche Maßnahme durch das EEG entsprechend subventioniert.

Ganz so einfach ist dieser Sachverhalt aus der Sicht der Technischen Thermodynamik aber nicht. Die gekoppelte Erzeugung von Kraft und Wärme, oder genauer von mechanischer Energie und Wärmeenergie, ist vordergründig seinerzeit in Chemiebetrieben entstanden in Gestalt der Industriekraftwerke. In der Chemieindustrie liegt zunächst, verursacht durch die Reaktionsbedingungen der Stoffwandlungen, gewöhnlich ein großer Bedarf an Wärmeenergie vor. Der wurde früher durch Industrieöfen gedeckt, die unmittelbar oder mittelbar über Wärmeträgermedien die erforderliche Wärmeenergie aus fossilen Brennstoffen bereitgestellt haben. Das ist thermodynamisch ungünstig, da bei dieser Energieumwandlung aus thermodynamisch hochwertiger Brennstoffenergie nur Energie mit einem Niveau von wenigen hundert Grad bereitgestellt wird. Wenn man unter Benutzung der Aussagen des II. Hauptsatzes der Thermodynamik diese Abwertung der Qualität der Energie quantifiziert, erhält man Wirkungsgrade, die in der Größenordnung von 10 bis 15% liegen. Das liegt an den großen Nichtumkehrbarkeiten, die durch die Verbrennung und vor allem durch die Wärmeübertragung verursacht sind.

Es ist thermodynamisch wesentlich günstiger, wenn die Wärmebereitstellung aus einem Industriekraftwerk heraus erfolgt. Durch Dampfentnahme mittels Gegendruck- oder Entnahmekondensationsmaschinen kann Wärme bei den erforderlichen Temperaturen bereitgestellt werden. Hierdurch werden die großen Abwertungsverluste bei der direkten oder indirekten Wärmeerzeugung durch Industrieöfen vermieden. Der Wärmeentnahme aus dem Industriekraftwerk ist ein Dampfkraftprozess vorgeschaltet, der aus der Brennstoffenergie über die Verbrennung Wärme zugeführt erhält. Damit kann neben der Wärme aus dem Industriekraftwerk auch noch mechanische oder elektrische Arbeit bereitgestellt werden, wofür es im Chemiebetrieb durch die vielen Pumpen und Verdichter sowie die mechanischen Grundoperationen auch hinreichend viele Verbraucher gibt.

Man muss sich aber bei einer solchen Lösung darüber im Klaren sein, dass bei dieser Wärmekraftkopplung, wie man früher sagte, durch die Wärmeauskopplung auf einen bestimmten Betrag an Arbeitserzeugung verzichtet wird. Wenn man aus Wärme Arbeit erzeugen will, so hat Sadi Carnot gezeigt, ist man an die Durchführung von Kreisprozessen gebunden. Der maximale Betrag an Arbeit wird dann erreicht, wenn die Wärmeabgabe bei diesem Kreisprozess bei Umgebungstemperatur erfolgt. Denn Wärme von Umgebungstemperatur hat keinen qualitativen Wert, sie ist nur mit einem perpetuum mobile II. Art umzuwandeln. Da bei der Wärmeauskopplung im Industriekraftwerk die Wärmeabgabe bei höherer als der Umgebungstemperatur erfolgt, vermindert sich in diesem Maße die mögliche Arbeitsabgabe.

Das Prinzip ist später auch in der öffentlichen Energieversorgung angewandt worden und dient über entsprechende Transporteinrichtungen als Fernwärme der allgemeinen Wärmeversorgung. Dabei trägt es noch wesentlicher zur Verminderung der Nichtumkehrbarkeiten bei als bei Industriekraftwerken, da letzten Endes die Wohnraumheizung nur der Bereitstellung von Wärme bei ca. 20°C dient. Der Nutzen der Kraftwärmekopplung, wie man heute sagt, besteht bei Dampfkraftwerken mit der gekoppelten Bereitstellung von Arbeit und Wärme in der Verminderung der Nichtumkehrbarkeiten bei der Wärmebereitstellung. Dem steht aber ein Verzicht auf mögliche Arbeitserzeugung gegenüber.

Deshalb ist es grundfalsch, wenn die Wärmeschwaden, die aus den Kühltürmen von Kraftwerken austreten, bildlich in der Öffentlichkeit als Ausdruck der Energieverluste dargestellt werden. Sie sind nichts anderes als Wassertropfen mit Umgebungstemperatur. Davon kann man sich überzeugen, wenn man in das herabrieselnde Wasser in den Kühlturm hineingreift.

Grundsätzlich anders ist die thermodynamische Situation bei Blockheizkraftwerken, die im Allgemeinen mit Verbrennungsmaschinen arbeiten. Bei diesen Prozessen wird durch die Art der Prozessführung Abwärme bei höherer Temperatur als der Umgebungstemperatur zur Verfügung gestellt, da bei diesen Prozessen die Wärmeabgabe gewöhnlich isobar und nicht isotherm, wie bei Wärmekraftwerken, erfolgt. Eine Auskopplung und Nutzung dieser Wärme bedeutet tatsächlich eine zusätzliche Energienutzung ohne Einbuße der möglichen Arbeitserzeugung. Hierfür ist die Bezeichnung Kraftwärmekopplung richtig und damit auch die möglichen ökonomischen Konsequenzen.

In ähnlicher Weise wird, zumindest unvollständig, mit dem Begriff „Umweltenergie“ in Verbindung mit dem Einsatz von Wärmepumpen umgegangen. Die Bezeichnung Wärmepumpe ist selbst schon unglücklich. Natürlich wird mit einer solchen Einrichtung Wärme entgegen dem natürlichen Temperaturgefälle transportiert, und eine solche Maßnahme besitzt eine gewisse Analogie zum Hochpumpen von Flüssigkeiten. Von der Seite der Energiewandlung her kann mit dieser Einrichtung aber mechanische Arbeit im Grenzfall reversibel in Wärme umgewandelt werden. Dazu muss nach dem Entropiegesetz außer der Arbeitszufuhr eine Wärmeaufnahme bei niedriger Temperatur erfolgen und ein sogenannter linksläufiger Kreisprozess, oder allgemeiner Synproportionierungsprozess, durchgeführt werden. Wenn die Wärmeaufnahme bei Umgebungstemperatur erfolgt, hat diese Wärme keinen qualitativen Wert, und die Arbeit findet sich im Grenzfall vollständig in der Qualitätserhöhung der abgegebenen Wärme wieder.

Da völlig zu Recht die Bedeutung der Wärmepumpe insbesondere mit der Wärmeversorgung von Wohnräumen zunimmt, muss schon aus quantitativer Sicht bei der Festlegung ökonomischer Konsequenzen, z.B. im Vergleich zu konventionellen Heizungen, von derartigen Grundlagen ausgegangen werden. Diesem Sachverhalt wird z.B. in der Schweiz Rechnung getragen, und es sind schon 80 bis 90% der Neubauten mit Wärmepumpen ausgerüstet. Die zum Betrieb der Wärmepumpen erforderliche mechanische oder letztendlich elektrische Energie wird in Wärmekraftwerken erzeugt. Deshalb ist ein Vergleich der Beheizung von Wohnräumen mit Wärmepumpen mit der Wärmebereitstellung durch Fernheizungen aus einer Wärmekraftkopplung sinnvoll. Daraus erkennt man, dass die Wärmepumpenheizung der Wärmeauskopplung aus Kraftwerken im Grenzfall gleichgesetzt werden kann, da die Wärmekraftwerke für den Wärmepumpeneinsatz die Wärmeabgabe bei Umgebungstemperatur realisieren können. Ob aber die derzeiti-

gen Förderinstrumente unter diesem Aspekt sich in ein sinnvolles Ganzes einordnen lassen, ist mindestens einer tieferen Untersuchung wert.

Auch mit dem Einsatz von Ergebnissen der Mikrosystemtechnik sind in der Diskussion unscharfe Begriffe im Umlauf, die mit der Umgebung zusammenhängen. Es ist möglich geworden, Minikraftwerke zu entwickeln, die in der Lage sind, dezentrale Energieverbraucher, wie z.B. Herzschrittmacher oder auch beleuchtete Anzeigen, mit dem erforderlichen Stromverbrauch zu versorgen. Das hat den Vorteil, Batterien einzusparen oder bei technischen Anlagen eine Kabelvernetzung. In diesem Zusammenhang wird in der Öffentlichkeit von der Nutzung von Umgebungsenergie gesprochen. Das ist aber fast Unsinn, denn eine solche Einrichtung wäre dann ein perpetuum mobile II. Art. Richtigerweise müsste man von der Ausnutzung von Potenzialgefällen sprechen, die z.B. durch Temperaturgradienten oder Konzentrationsdifferenzen gegeben sind.

Die Umgebung ist tatsächlich nicht im thermodynamischen Gleichgewicht. Es liegen überall Potenzialgefälle aller Art vor, die mit Mikrosystemen für Energieumwandlungen genutzt werden können. Insbesondere die Bereitstellung von geordneter Energie als mechanische oder elektrische Energie kann für lokale und damit dezentrale Verbraucher gegenüber anderen Versorgungsmöglichkeiten Bedeutung haben. Damit können auch tages- und jahreszeitliche Schwankungen der entsprechenden Potenzialgefälle nachvollzogen werden.

Aufgaben dieser Art unterscheiden sich von grundsätzlichen Untersuchungen allgemeiner energetischer Probleme. Bei diesen ist es zweckmäßig, von einem gehemmten Gleichgewicht in der Umgebung auszugehen, um auf diese Weise einen thermodynamischen Bezugspunkt zu definieren. Aber auch in solchen Zusammenhängen kann es notwendig sein, z.B. zwischen Sommer- und Winterbetrieb für eine sinnvolle Beschreibung von Klimaanlagen zu unterscheiden.

3 Leistungs- und Arbeitsangebote

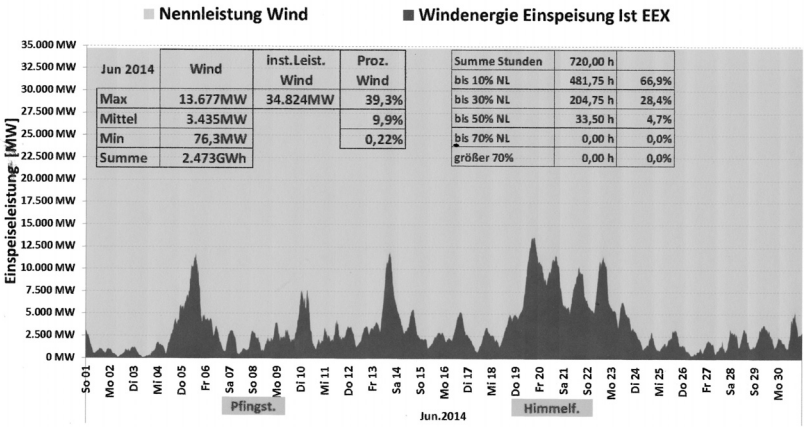
Es muss nochmals auf das Leistungs- und Arbeitsangebot der Einkommensenergien eingegangen werden. Auf die um Größenordnungen höheren Apparate- und Anlageaufwendungen, die erforderlich sind, um vergleichbare Leistungs- und Arbeitsangebote zu den konventionellen Energieumwandlungsanlagen erreichen zu können, war schon hingewiesen worden. Hinzu kommen noch das schwankende Angebot infolge der tages- und jahreszeitlichen periodischen Schwankungen und der stochastische Einfluss des Wetters.

Bei Nutzung der direkten Sonnenstrahlung ist man zunächst an den Tag-Nacht-Zyklus gebunden und außerdem an das Wetter, das durch die Wolkenbildung natürlich großen Einfluss auf die Energieaufnahme hat. Deshalb setzt man häufig größere Erwartungen auf die Nutzung der Windenergie. Derzeitig sind in Deutschland schon mehr als 38 GW an Windleistung installiert. Das Minimum, das in den letzten Monaten angeboten werden konnte, waren aber 24 MW, das sind 0,068% der installierten Leistung. Zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes sind in den Abbildungen 1 und 2 neben der installierten Leistung das tatsächliche Leistungsangebot für den Monat Juni 2014 dargestellt.

Die Ausnutzung mit Offshore-Windkraftanlagen verspricht ein spezifisch höheres und gleichmäßigeres Angebot. Die Erfahrungen mit dem Aufbau derartiger Windparks zeigen, dass die anlagentechnischen Aufwendungen und die Anforderungen an die Wartung und Instandhaltung die Ausnutzung dieser Energiequelle gegenüber den Windkraftanlagen an Land wieder um Größenordnungen erhöhen. In der Reform des EEG-Gesetzes sind jüngstens deshalb die Zielstellungen für den Ausbau der Offshore-Windkraftanlagen wesentlich eingeschränkt worden.

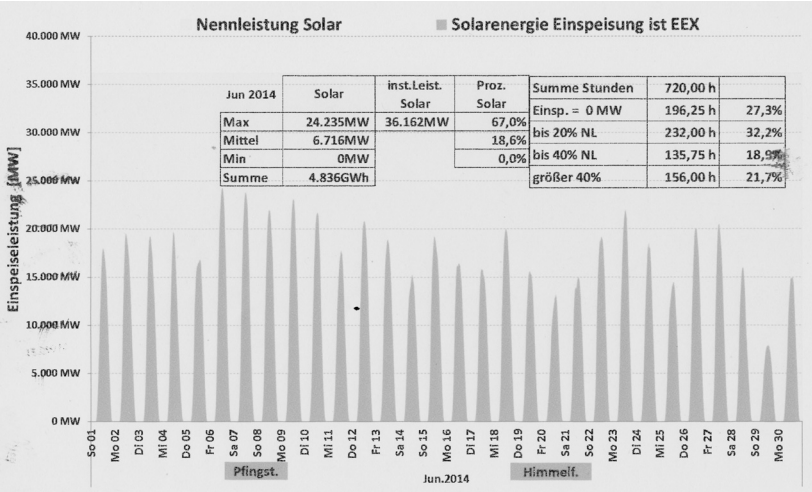
Das stark schwankende Angebot der Sonnen- und Windkraftwerke hat eine Regelfahrweise der konventionellen Wärmekraftwerke zur Folge und

Abbildung 1: Leistungsdaten Wind Juli 2014



Quelle: Alt 2014

Abbildung 2: Leistungsdaten Sonne Juli 2014



Quelle: Alt 2014[1]

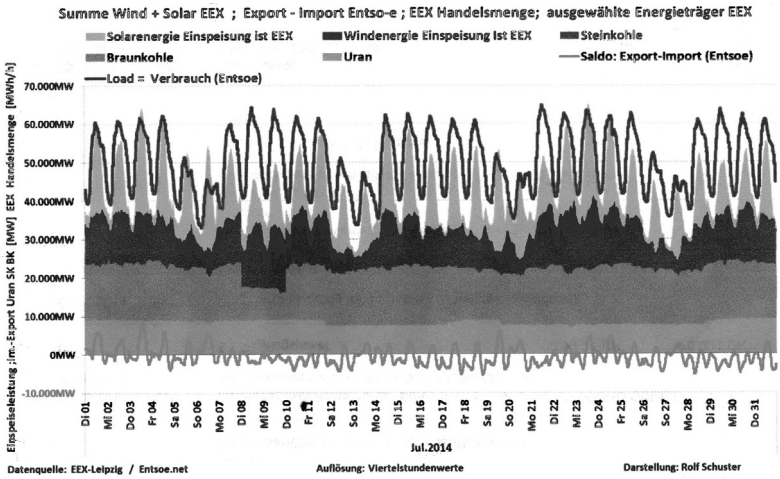
führt so zu einer Verminderung der Netzstabilität. So muss der Netzoperator heute bereits mehr als 1.000 Mal jährlich in den Netzbetrieb eingreifen gegenüber fünfmal in der Vorwendezeit. Die Schwankungen im Versorgungsnetz haben dann weiter zur Folge, dass z.B. aufgrund der Kostenstruktur oftmals die modernen Gaskraftwerke gegenüber Stein- und vor allem Braunkohlenkraftwerken unwirtschaftlich werden. Sie werden dann entsprechend weniger in das Netz einspeisen (siehe Abbildung 3).

Man erhofft sich durch den Einsatz von Speichern einen Ausgleich des schwankenden Angebotes zu erreichen.

Das Problem des zeitlichen Ausgleichs zwischen Energieangebot und -verbrauch ist nicht erst heute mit dem Einsatz von Wind und Sonne als Primärenergien entstanden. Vielmehr stellte es sich schon in der Frühzeit der Energietechnik in Verbindung mit Einzelkraftwerken im Inselbetrieb. In dieser Situation standen sich die zu versorgenden Verbraucher, die ein ausgeprägtes Tagesprofil im Verbrauch aufwiesen, dem nach Möglichkeit kontinuierlich zu betreibenden Kraftwerk gegenüber. Das Verbraucherprofil war

1 http://www.pro-liepnitzwald.de/downloads/Lastganglinien/Hilfsb%20208%20Leistungsganglinie %20Juli%202014-alle.pdf.

Abbildung 3: Verbrauchsdeckung Strom Juli 2014



Quelle: Alt 2014[2]

durch ein Minimum in der Nachtzeit und Spitzenverbräuchen morgens, abends und eventuell auch mittags gekennzeichnet. Vom Kraftwerk her war man bestrebt, den ganzen Tag über mit gleicher Leistung zu arbeiten, da Abweichungen von diesem Zustand stets mit Wirkungsgradeinbußen verbunden waren. Eine optimale Lösung fand man in den zwanziger Jahren mit dem Einsatz von Pumpspeicherwerken. Klassisches Beispiel ist Niederwartha bei Dresden. Mit diesem Kraftwerk konnte der überschüssige Nachtstrom dazu dienen, das Oberbecken zu füllen. Zu den Spitzenzeiten wurde dann durch den Abfluss aus dem Oberbecken zusätzlich Leistung zur Verfügung gestellt. Das Inselkraftwerk konnte unter diesen Bedingungen kontinuierlich mit konstanter Leistung gefahren werden. Auf dieser Grundlage war es möglich, für den Nachtstrom einen preiswerteren Tarif zu berechnen und für den Spitzenstrom einen zusätzlichen Aufschlag zu gewähren. Diese ökonomischen Möglichkeiten resultieren aus dem Gewinn, der vom Kraftwerk erzielt werden konnte durch den kontinuierlichen Betrieb gegenüber dem periodischen oder gar Aussetzer-Betrieb. Auf diese Weise konnte das Pumpspeicherwerk, obwohl es durch die zweimalige Umwandlung von mechani-

2 http://www.pro-liepnitzwald.de/downloads/Lastganglinien/Hilfsb%20208%20Leistungsganglinie%20Juli%202014-alle.pdf.

scher und elektrischer Energie echte Energieverluste aufwies, einen ökonomischen Gewinn erzielen. Das Pumpspeicherwerk ist damit faktisch eine Art ökonomisches perpetuum mobile.

Abgesehen davon, dass es sich heute um ganz andere Größenordnungen handeln würde, die gespeichert werden müssten, und abgesehen davon, dass bestimmte geologische Gegebenheiten vorliegen müssen, kann heute wegen des ungleichen stochastischen Angebotes, insbesondere der Windleistung, ein Pumpspeicherwerk nicht unmittelbar ökonomisch betrieben werden. Aufgrund des stochastischen Charakters des Energieangebotes und der Festlegung der Energiepreise durch Markt und Börse ist ein wirtschaftlicher Betrieb von Pumpspeicherwerken nicht unmittelbar möglich.

Als eine wirksame Maßnahme zum Ausgleich eines zeitlich schwankenden Angebotes und Verbrauchs hat sich unter DDR-Bedingungen der Einsatz regelbarer Verbraucher erwiesen. Das klassische Beispiel war der Karbidprozess. Der Karbidprozess ist ein elektrothermisches Verfahren, wobei die Stoffumwandlung in sogenannten Reaktionsöfen stattfindet, die elektrische Leistungen z.B. von 40 MW und mehr aufweisen können. Aufgrund der Konstruktion dieser Öfen ist es ohne weiteres möglich, diese Öfen kurzfristig abzuschalten, sie auch eine längere Zeit warm zu halten und sie ebenso kurzfristig wieder anzufahren. Mit der Abschaltung von zwei bis drei Öfen dieser Größenordnung steht der Lastverteilung so eine Leistung zur Verfügung, die dem Elektroenergieverbrauch einer Großstadt entspricht.

Der Einsatz derartiger Verbraucher stellt somit ein außerordentlich leistungsfähiges Instrument für den Ausgleich zwischen Energieangebot und -verbrauch dar. Das gilt auch für andere elektrochemische Verfahren. Auch plasmachemische Prozesse können sich prinzipiell für eine solche Fahrweise eignen. Wie bei den Speichern kann man auch den regelbaren Verbraucher ökonomisch belohnen.

Derartige Regelmechanismen könnten theoretisch auch für den Ausgleich bei dem stochastischen und periodischen Anfall von Wind- und Sonnenenergie einerseits und dem Verbraucherprofil andererseits eingesetzt werden. Darüber hat man in Verbindung mit der Energiewende nachgedacht (vgl. Flörken/Täumel 2013). Allerdings nennt man heute den Regelmechanismus nicht mehr regelbare Verbraucher sondern AbLa – abschaltbare Verbraucher. Man unterscheidet SOL – sofort abschaltbare Leistungen – und SNL – schnell abschaltbare Leistungen. Die SOL dienen der Frequenzstabilisierung, die SNL tatsächlich dem Lastenausgleich. Damit entsprechen die SNL den regelbaren Verbrauchern. Die Regelleistungen werden über den Markt

monatlich ausgeschrieben und der Anbieter hat die Wahl zwischen einem Niedrig- und einem Hochtarif sowie zwischen positiver und negativer Regelleistung. Die ersten rechnerischen Erfahrungen mit diesem Modell waren negativ. Aufgrund der Börsensituation erwies sich stets die Regelung des Kraftwerkes als die ökonomisch günstigste Lösung. Eine technisch machbare und ökonomisch tragbare Lösung des Problems des zeitlichen Ausgleiches des schwankenden Angebotes der Einkommensenergien ist somit derzeit nicht absehbar.

4 Glaubensgesellschaft

Nach diesen Bemerkungen zu einigen theoretischen Problemen der Energiewende scheinen noch einige Anmerkungen zur Wissenschaftsgesellschaft notwendig zu sein. Die Grundidee der Wissenschaftsgesellschaft leitete sich offensichtlich aus dem Prozess der Aufklärung ab, nach dem zum Erkennen der Welt das Wissen gegen dem Glauben, im Gegensatz zu den vorausgegangenen Gesellschaftsordnungen, gesetzt wurde. Aber gilt das heute noch so absolut und insbesondere in Verbindung mit den Diskussionen um die Energiewende?

Wie auch schon die dargestellten Zusammenhänge zeigen, scheint diese Aussage nur eingeschränkt zu gelten. Die Grenzen des Wissens gegenüber bestimmten Meinungen, Vermutungen und eben hin zum Glauben werden fließend. Das hat Dieter Simon veranlasst, auf dem Philosophiekongress „Die Zukunft des Wissens“ 1999 einen Beitrag mit dem Titel „Die Glaubensgesellschaft“ zu publizieren (vgl. Simon 2000). Diesen Begriff untermauert er mit fünf Aspekten:

(1) Das Wissen hat insbesondere in der letzten Zeit so zugenommen, dass es nicht mehr von Einzelnen überblickt werden kann. Das lässt sich durch viele Fakten belegen, z.B. die Anzahl der Publikationen, die Zunahme der Computerwelt u.v.a.m. Das alles ist nicht mehr zu übersehen. Statt zu wissen, muss man glauben. Simon sagt: Die Vervielfältigung des Wissens hat den Glauben potenziert.
(2) Das Wissen ist unsichtbar geworden. Die Abstraktion ersetzt die Anschauung, oder allgemeiner: das Modell ersetzt die Realität. Das gilt für die Elementarteichen und Subteilchen wie für die Makroökonomie, nach der unsere Marktwirtschaft funktionieren soll. Wir glauben, weil andere glauben, dass sie ihren Glauben jederzeit in Wissen überführen könn(t)en.

(3) Das Wissen ist suspekt geworden. Es lassen sich z.B. für viele Sachverhalte wissenschaftliche Gutachten der unterschiedlichsten Aussagen erbringen, je nachdem, wie bestimmte Zusammenhänge gewichtet und in allgemeine Dimensionen eingeordnet werden. Simon sagt: Die Bürger lesen *ihre* Zeitung und glauben ihr. Die Zeitung der anderen lesen sie nicht.
(4) Wissen ist bodenlos. Eine Basis der Wissenschaft war die Wiederholbarkeit der experimentellen, empirischen Zusammenhänge. Dieser Sachverhalt kann zunehmend nicht nachgeprüft werden, da die hierzu erforderlichen Mittel aus den verschiedensten Gründen nicht aufgebracht werden können. Das bedeutet, dass das Ende des Wissens erreicht und der Übergang zum Glauben erfolgen muss. Verschiedene Sachverhalte lassen sich nur statistisch erfassen. Statistiken liefern aber keine Wahrheiten, sondern Wahrscheinlichkeiten. Vages Wissen ist auch Wissen, aber, wie Simon sagt, Wissen ohne Bodenhaftung.
(5) Das Wissen ist beängstigend geworden. Hierzu lassen sich viele Beispiele anführen. Die Extrapolation aus der Genbeeinflussung, der Organzüchtung, Krankheiten, Fütterungsmethoden der Nutztiere, der Treibhauseffekt usw. lassen schlimme Zukunftsvisionen theoretisch geschlossen beschreiben. Derartige Zukunftsbilder lassen einen Vertrauensverlust in die Wissenschaft entstehen und daraus entsteht Wissenschaftsfeindlichkeit. Katastrophen wie Hiroshima und Chemieunfälle, die zunehmende industrielle Indienstnahme von Forschungsergebnissen, die unzureichende Selbstreflexion der Wissenschaftler hat diese Tendenzen verstärkt und damit die Öffentlichkeit vom Wissen zum Glauben geführt.

Alle die von Simon genannten Gesichtspunkte lassen sich auch bei den Diskussionen um die Energiewende finden. Jeder, der die allgemein bekannten Zahlen versteht, müsste eigentlich den sofortigen Stopp des weiteren Ausbaus der sogenannten Erneuerbaren Energien fordern, da diese massiv die Kernziele der Energiewende verfehlen lassen. Die Ziele der Energiewende waren und sind:

(1) Die Verminderung des Einsatzes der fossilen Brennstoffe, des Einsatzes von Vermögensenergien, da deren Erschöpfung durch die absehbaren Reichweiten der Vorkommen prognostiziert werden konnten.
(2) Die Verminderung des CO_2-Ausstoßes in die Umgebung, da die Zunahme des Kohlendioxids in der Atmosphäre zu einer Erhöhung der Umgebungstemperatur führen könnte. Der hiermit im Zusammenhang

stehende Klimawandel könnte zu katastrophalen Folgen für die menschliche Gesellschaft führen.

(3) Der Ausstieg aus der Kernenergie. Durch Hiroshima, durch Tschernobyl, durch Fukushima ist die Gefährlichkeit der Nutzung der Kernenergie mit möglichen Folgen für größere Bevölkerungszahlen drastisch vor Augen geführt worden. Aus Sicherheitsgründen soll deshalb ein Ausstieg angestrebt werden.

Zu (1) ist zu bemerken, dass man sich von dem Argument, aus der absehbaren Erschöpfung der Vermögensenergien zu den Einkommensenergien überzugehen, verabschiedet hat. Die derzeitig absehbaren Erweiterungen der vorhandenen Ressourcen verschieben schon jetzt die bisher bekannten Reichweiten dieser Energien. Unter dem Einfluss der Schiefergasvorkommen hat sich z.B. die Energiesituation in den USA qualitativ geändert. Die USA sind auf dem Weg zum Energieexportland. Die Schiefergasvorkommen sollen ungleich größer sein als die bekannten Vorkommen an konventionellem Erdgas. Hinzu kommen noch Vorkommen von Gashydraten in den Weltmeeren. Dabei besaßen die Kohlevorkommen schon immer die größten Reichweiten. Diese Zahlen zeigen insgesamt, dass ein vernünftiger Abbau der Vermögensenergien auch auf eine längere Zeit von dieser Seite möglich erscheint. Deshalb wird dieses Argument in der Diskussion um den Einsatz der sogenannten Erneuerbaren Energien nicht mehr benutzt.

Im Mittelpunkt der Diskussion steht heute dagegen das 2. Argument, nachdem eine steigende Zunahme des CO_2-Anteils in der Atmosphäre zu einer Erhöhung der Umgebungstemperatur führen soll, zu der sogenannten Klimaerwärmung. Die Zunahme der Kohlendioxidkonzentration ist natürlich eine Folge der Verbrennung fossiler Brennstoffe, deren Einsatz mit der Zunahme der Weltbevölkerung und deren auch steigende qualitative energetischen Ansprüche verbunden sind. Damit verbunden wären dramatische Änderungen der Fauna und Flora und durch das Schmelzen der Eisvorräte auf der Erde eine je nach dem Grad der Erwärmung erhebliche Erhöhung des Wasserspiegels der Weltmeere. Das alles zusammen hätte dann auch entsprechende dramatische Auswirkungen auf die Erdbevölkerung. Die quantitativen Änderungen werden auf der Grundlage von Modellrechnungen gemacht. An dieser Stelle setzt die Kritik ein, da der Zusammenhang zwischen dem Kohlendioxidanteil der Atmosphäre und der Umgebungstemperatur experimentell und auch empirisch nicht belegbar ist. Langzeitaussagen z.B. mit Eisbohrkernen haben bisher nicht einen eineindeutigen Zusammenhang nachgewiesen. Der Strahlungseinfluss des CO_2, wie auch übri-

gens des H_2O, in einer Gasatmosphäre ist bekannt. So werden schon seit längerer Zeit die Einflüsse dieser beiden Gase auf die Wärmebilanz der Feuerräume von Dampfkesseln quantitativ richtig erfasst zur Auslegung solcher Kessel. Die Schwierigkeit besteht in der Erfassung dieser Einflüsse in der offenen Atmosphäre neben allen anderen Einflüssen auf das Wetter. So kommt die Kritik an den Modellen u.a. aus Meteorologenkreisen, die sich insbesondere an der Art der Diskussionsführung entzündet. Da die Kritiker von den Befürwortern der Modelle als „Klimaskeptiker“ oder „Klimaleugner“ bezeichnet werden, kann man absehen, dass diese Auseinandersetzung im Stile eines Glaubenskrieg geführt wird, ganz im Sinne von Dieter Simon.

Und: Die Art der Auseinandersetzung wird noch verstärkt durch die Tatsache dass die Ziele der Energiewende auf der Grundlage von unscharfen Begriffen und einer unvollständigen Betrachtung begründet werden, wie weiter vorn gezeigt worden ist. Man kann sich deshalb nicht des Eindruckes erwehren, dass bei all diesen Überlegungen nicht auf auf sauberen eindeutigen physikalischen Grundlagen beruhende Aussagen zurückgegriffen wird, um die Zielsetzungen der Energiewende zu quantifizieren. Das erscheint als ein charakteristisches Merkmal einer Glaubens- und nicht als Ausdruck einer Wissenschaftsgesellschaft.

Schließlich (3) der Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie. Gegenüber der Kernenergie gibt es in der Öffentlichkeit große Voreingenommenheit. Das hängt zunächst mit der radioaktiven Strahlung zusammen, für die der Mensch kein direktes Sinnesorgan besitzt. Dabei muss man sich zunächst rational klar sein, dass ein ständiger Strahlungspegel auf der Erde vorhanden ist und der Mensch selbst in seinem Körper eine Strahlungsintensität von 7.000 bis 8.000 Bequerel hat. Dann kommt hinzu, dass beim Auftreten von Kernexplosionen aufgrund der hohen Energiekonzentration bisher große Bevölkerungszahlen betroffen waren. Das haben die militärischen Einsätze in Hiroshima und Nagasaki gezeigt, aber auch die katastrophalen Unfälle in Tschernobyl und Fukushima. Aus diesen Gründen ist die Öffentlichkeit nicht bereit, den Fortschritt in der Entwicklung bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie zur Kenntnis zu nehmen. Das zeigt z.B. das Festhalten an altertümlichen Begriffen aus der Frühzeit der Kerntechnik, wie an der Bezeichnung Atommeiler. Damit bezeichnete man Kernreaktoren, die Plutonium erbrütet haben, um auf diese Weise z.B. zum Bau einer Atombombe zu kommen. In den heutigen Kernreaktoren wird aufgrund der kernphysikalischen Gesetzlichkeiten auch Plutonium erzeugt. Das ist aber, wenn es nicht zur Kernspaltung genutzt wird, bestenfalls ein Nebenprodukt,

das zum überwiegenden Teil wegen des derzeitigen Verzichts auf die Wiederaufarbeitung gar nicht gewonnen wird. Das Abschalten der Kernkraftwerke soll den Druck zum Einsatz von Einkommensenergien erhöhen. Wegen der periodischen und stochastischen Energieerzeugung bei den Wind- und Sonnenkraftwerken hat dies trotz der schon heute großen investierten Leistung aber zur Folge, dass die Kohlekraftwerke mehr gefordert werden. Das bedeutet eine Zunahme der CO_2-Abgabe, die man eigentlich vermeiden wollte. Das haben schon jetzt die in Jahresbilanzen publizierten Ergebnisse gezeigt (vgl. Ziesing 2014).

Die Voreingenommenheit gegenüber der Kernenergienutzung entsteht auch aus der Grundauffassung, dass größere Unfälle bis hin zu Katastrophen prinzipiell nicht zu vermeiden sind, wie eben Tschernobyl und Fukushima gezeigt haben. Dazu muss aber festgestellt werden, dass Reaktortypen wie in Tschernobyl aufgrund der geltenden Sicherheitsbestimmungen nicht in anderen Ländern gebaut worden sind und auch nicht gebaut werden. Tschernobyl besaß darüber hinaus kein Containment, ein gas- und druckdichtes Umschließungsbauwerk. Ein solches Bauwerk kann die Umgebung auch vor den Auswirkungen einer Kernschmelze schützen, wie der Unfall von Three-Mile-Island nachgewiesen hat. In der Sowjetunion war damals eine andere Sicherheitsphilosophie gültig, wie die Druckraumbauweise bei den Druckwasserreaktoren noch heute erkennen lässt. Auch ist bei diesen Kraftwerken, obwohl sie nicht nur in der damaligen UdSSR sondern auch in anderen Ländern errichtet worden sind, bisher noch kein größerer Unfall aufgetreten.

Zur Katastrophe von Fukushima, der durch Auslegungsfehler verursacht worden ist, ist festzustellen, dass durch größere Evakuierungsmaßnahmen Todesfälle infolge radioaktiver Strahlung vermieden werden konnten. Evakuierungsmaßnahmen sind aber nicht nur an derartige Unfälle gebunden, sondern können auch in Verbindung mit Naturkatastrophen erforderlich sein. Das war wohl auch der Ausgangspunkt, dass Ortwin Renn in seiner Publikation „Das Risikoparadox“ Naturkatastrophen und technische Katastrophen unter der Überschrift „Zahme Tiger“ einordnet gegenüber anderen Risiken (vgl. Renn 2014).

Das gilt auch, wenn die Endlagerungsproblematik in die Diskussion einbezogen wird. In Deutschland wird der Eindruck erweckt, dass es noch keine Lösung gibt. Das ist zunächst objektiv begründet, weil keine Klarheit darüber besteht, ob eine endgültige Lagerung oder eine Lagerung mit einer zukünftigen Rückholbarkeit angestrebt werden soll. Die abgebrannten Brenn-

elemente, die konzentrierte hohe Radioaktivität enthalten, besitzen noch viele Stoffe, die über eine Wiederaufbereitung einer Nutzung zugeführt werden können. Eine solche Aufbereitung wird noch vereinfacht, wenn an die zunächst theoretisch denkbaren Möglichkeiten der Mutation gedacht wird, die eine Reduzierung des Strahlenpegels ermöglichen könnten. In Finnland wird ein Endlager in Granitformationen gebaut. In Frankreich will man ein Endlager in Bure errichten. Eine endgültige Zustimmung ist allerdings noch nicht erreicht worden.

Zusammenfassend muss man wohl einschätzen, dass der Ausstiegsbeschluss für die Kerntechnik nicht aus den Gründen abgeleitet werden kann, die ursprünglich den Zielen der Energiewende zugrunde gelegt wurden. Die Energiewende kann aus all diesen Gründen nicht als eine wissenschaftliche Zielstellung angesehen werden für die Gestaltung der künftigen Energietechnik, sondern muss letztendlich als eine Glaubensvorgabe aufgefasst werden.

5 Schlussfolgerungen

Die angestellten Überlegungen basieren ausschließlich auf der Benutzung naturwissenschaftlich-technischer Kategorien. Es wurden bewusst keine ökonomischen Kategorien zu Illustration bestimmter Sachverhalte eingesetzt. Ökonomische Kategorien können durch Steuern oder Subventionen den technischen Hintergrund verwischen. Zur Erweiterung der technischen Überlegungen lassen sich auch noch kumulierte Begriffe benutzen. Im vorliegenden Zusammenhang liegt es nahe, den kumulierten Energieaufwand oder den kumulierten Energieverbrauch zu benutzen. Diese Begriffe versuchen, außer der Energiesituation für den Betrieb der betrachteten Systeme zu erfassen, auch noch die Situation in den vorgeschalteten Phasen des Reproduktionsprozesses, wie der Fertigung und Herstellung sowie der Errichtung, und nachgeschalteten Phasen, wie dem Abbau und der Beseitigung, quantitativ zu beschreiben. Damit können dann sogenannte Erntefaktoren und energetische Amortisationszeiten abgeleitet werden. In der vorliegenden Arbeit wurden diese Begriffe nicht angewandt, da sie theoretisch und empirisch nicht einfach zu erfassen sind und deshalb häufig subjektiven Sichtweisen entspringen.

Aus dem hier benutzten Begriffssystem glaube ich, schon hinreichend genug qualitativ richtige Schlussfolgerungen ziehen zu können. Um richtig verstanden zu werden, ich will nicht das strategische Ziel der aus vielen Gründen notwendigen zukünftigen Zunahme der Ausbeutung von Einkom-

mensenergien infrage stellen. Ich möchte nur die Art und Weise der derzeitigen Diskussionsführung kritisieren, die zu extremistischen Eingriffen in die Energietechnik führt und unnötige ökonomische Belastungen verursacht. In der öffentlichen Diskussion spielt die Stimme der Wissenschaft nicht die erforderliche Rolle. Das ist äußerlich auch auf die unscharfe und unvollständige Terminologie zurück zu führen. Besser als in Deutschland fühlen sich die Wissenschaftler in der Schweiz in die Politik eingebunden. Das Land plant bekanntermaßen auch den Ausstieg aus der Kernkraftnutzung, hat aber noch keine fixe Roadmap dazu festgelegt.

Einkommens- und Vermögensenergien sind keine gegensätzliche Konkurrenten für die Deckung des ständig steigenden Energiebedarfs auf der Erde, sondern müssen aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften entsprechend der sich ständig verändernden ökonomischen Bedingungen sinnvoll sowohl für den dezentralen als auch für den konzentrierten Verbrauch eingesetzt werden. Ein brachialer, vielleicht aus Glaubenseinstellungen abgeleiteter ökonomischer Eingriff durch Steuern oder Subventionen kann zu technisch und auch physikalisch verursachten Entwicklungsschwierigkeiten führen. Denn jeder Eingriff in die Energiewirtschaft eines Landes führt letzten Endes zu einer irreversiblen Entscheidung für die zukünftige Entwicklung. Dabei kann richtiger Weise von der strategischen Grundeinstellung ausgegangen werden, dass aus der Sicht der fundamentalen Bedeutung der Energie für die menschliche Gesellschaft und ihrem Zivilisationsniveau heute der Preis für die Energie noch immer sehr gering ist.

Literatur

Alt, H. (2014): Ausgewählte Kapitel aus der Energiewirtschaft – Vorlesungsunterlagen. Aachen (FH)

Flörken, O.; Täumel, N. (2013): 100 Tage abschaltbare Leistungen – erste Erfahrungen. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, H. 11, S. 38–40

Fratzscher, W.; Stephan, K. (Hg.) (2000): Strategien zur Abfallenergieverwertung. Wiesbaden

Renn, O. (2014): Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten. Frankfurt am Main

Simon, D. (2000): Die Glaubensgesellschaft. In: Mittelstraß, J. (Hg.): Die Zukunft des Wissens. XVIII. Deutscher Kongreß für Philosophie 1999. Berlin, S. 23–33

Ziesing, H. J.(2014): Steigende CO_2-Emissionen in Deutschland auch im Jahre 2013. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, H. 5, S. 58–67

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 125–132*

Norbert Mertzsch, Ernst-Peter Jeremias

Entwicklungstendenzen in der Wärmeversorgung

1 Vorbemerkungen

In der Jahrtausende währenden Entwicklung der Menschheit seit dem Beginn des Gebrauchs des Feuers konnte der Mensch bis zur Mitte des 18. Jh.s zur Wärmeversorgung nur auf Einkommensenergie zurückgreifen – den nachwachsenden Rohstoff Holz. Als Wärme- und Heizquellen kamen neben offenen Feuerstellen, vor allem in Bauernhäusern, Rundöfen und Kamine, aber auch komplexere Kanal- und Heißluftheizungssysteme zum Einsatz (vgl. Hägermann 1999). Mitte des 18. Jh.s wurde durch den starken Anstieg der Bevölkerungszahlen der nachwachsende Rohstoff Holz vielfach durch fossile Brennstoffe – Vermögensenergie – ersetzt. Auf ein Beispiel für die Region Berlin-Brandenburg verweist Theodor Fontane in seinen 1862 bis 1869 entstandenen „Wanderungen durch die Mark“: „Da zuletzt erging Anfrage von der Kammer her an die Menzer Oberförsterei, wie lange die Forst aushalten werde, wenn Berlin aus ihm zu brennen und zu heizen anfange, worauf die Oberförsterei mit Stolz antwortete: ‚Die Menzer Forst hält alles aus’. ... und siehe da, ehe dreißig Jahre um waren, war die ganze Menzer Forst durch die Berliner Schornsteine geflogen“ (Fontane 1973, S. 93). Anfang des 20. Jh.s waren dann bereits in größeren privaten und öffentlichen Gebäuden Heizungen mit Dampf bzw. Warmwasser auf Basis von Kohleheizung Stand der Technik (vgl. Neudeck 1911, S. 349). Vorherrschend waren jedoch Kachelöfen, die mit Kohle betrieben wurden.

Im Jahre 2011 dominierte Erdgas mit 49%, neben Erdöl mit 29,3% und Fernwärme mit 12,7% die Wärmeversorgung (vgl. BDEW 2012). Kohle, Strom und Elektrizität spielten dagegen eine untergeordnete Rolle. Für Neubauten war 2011 mit 50% Erdgas die beliebteste Heizenergie. Dahinter folgten Wärmepumpen mit 22,6% und Fernwärme mit 16,4%. Holz und Holzpellets kamen als nachwachsende Rohstoffe auf 5,6%. Heizöl und Kohle/Koks spielten mit 1,5% bzw. unter 1% kaum noch eine Rolle. Damit zeichnet sich bei neuen Heizungen bereits der Trend weg von den in den letzten 250 Jahren hauptsächlich genutzten fossilen Energieträgern zurück zu Einkommensenergie an, wobei bisher die Erdgaspreise eine Verstärkung diese Trends behindern.

2 Technologieentwicklung im Bereich der Wärmeversorgung

2.1 Nutzung solarer Wärme

Die Nutzung solarer Wärme erfolgt vorrangig für die Gebäudeheizung. Dazu stehen verschiedene Kollektorsysteme zur Verfügung. Vorrangig verwendet werden Flachkollektoren, die auf Dächern bzw. an Fassaden montierbar sind. Für diese Kollektoren werden Kupferabsorber mit einer Oberflächenbeschichtung auf Titanbasis und Solarglasscheiben verwendet. Zur Wärmeisolierung zum Gebäude werden Mineralwolle oder Schaumglas eingesetzt.[1] Vakuumröhrenkollektoren werden als direkt durchflossene Vakuumröhren oder Heatpipe-Vakuumröhren ausgeführt (vgl. NARVA 2013). Zur Wärmeübertragung wird üblicherweise Wasser eingesetzt. Diesem kann bei Notwendigkeit ein Frostschutzzusatz zugesetzt werden. Als Frostschutzmittel werden Glykol oder hochtemperaturbeständige Mittel auf Basis von 1,2 Propandiol (vgl. Solar-Wissen 2014) verwendet. Der andere Weg der Nutzung solarer Wärme ist die Solararchitektur, mit der sichergestellt werden soll, dass solare Wärme möglichst effektiv im Gebäude genutzt werden kann.

2.2 Nutzung von Bioenergie

Bioenergie lässt sich in verschiedenster Form zur Wärmeerzeugung nutzen. Für Fern- und Nahwärmenetze werden Biomasse Heiz- oder Heizkraftwerke eingesetzt. Als Biomasse werden vorwiegend Altholz und preisgünstige Resthölzer als Hackschnitzel eingesetzt. Daneben werden auch Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Stroh und Schilf genutzt. Für Einzelheizungen werden neben der seit Jahrhunderten bekannten Nutzung von Scheitholz auch Holzpellets, hergestellt zum Beispiel aus Resten der Sägewerke, genutzt. Für Wärmenetze kann auch die Abwärme der Gasmotoren von Biogasanlagen genutzt werden. Ist eine geeignete Abwärmenutzung in der Nähe von Biogasanlagen nicht möglich, kann das Biogas zu Bioerdgas aufgereinigt werden. Dieses kann über das vorhandene Erdgasnetz verteilt werden und für Wärmenetze und Einzelheizungen genutzt werden.

Bei der Nutzung von Bioenergie zur Wärmeversorgung ist zu beachten, dass die Sicherung der Versorgung mit qualitativ hochwertigen und bezahlbaren Nahrungsmitteln für eine weiter steigende Weltbevölkerung gegenüber der Nutzung von Bioenergie Priorität haben muss.

---

1 Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Flachkollektor.

2.3 Nutzung von Umweltwärme

Umweltwärme kann als thermische Energie mit niedrigem Temperaturniveau der Energieträger

- Außenluft,
- Oberflächenwasser,
- Grundwasser,
- Meerwasser,
- Erdreich,

soweit ihre Erwärmung aus der Solarstrahlung oder Erdwärme resultiert, definiert werden (vgl. Umweltlexikon-online 2014)

Um die Umweltwärme für Heizzwecke nutzbar machen zu können, ist sie üblicherweise auf ein höheres Temperaturniveau zu bringen. Dazu werden Wärmepumpen eingesetzt, die vorzugsweise mit Elektroenergie betrieben werden.

2.4 Nutzung von Abwärme

Das Potenzial nutzbarer Abwärme für Heizzwecke hängt maßgeblich vom Temperaturniveau der Abwärme, von der Entfernung zu möglichen Verbrauchern und der Kontinuität des Anfalls der Abwärme ab.

Günstig für die Nutzung von Abwärme ist, wenn diese direkt in ein Wärmenetz eingespeichert werden kann. Da Abwärme vielfach auf einem Temperaturniveau unterhalb der jetzigen Betriebstemperatur von Wärmenetzen zur Verfügung steht, wird diese erst bei einer deutlichen Absenkung der Netztemperaturen für die Nutzung interessant werden. Für die Abwärmenutzung in Bereichen, in denen kein Wärmenetz zur Verfügung steht, sind transformative (latente) mobile Speicher geeignet. Solche werden z.B. von der KTG Energie AG, Niederlassung Oranienburg, eingesetzt, um Abwärme aus Biogasanlagen für Heizzwecke zu nutzen. Hersteller ist die LaTherm Energie AG in Dortmund (vgl. LaTherm Energie AG 2014). Als Speichermedium werden ca. 17 m^3 Natriumacetat-Trihydrat eingesetzt. Damit lassen sich bis zu 2,5 MWh Wärme speichern. Die Aufladedauer eines solchen Speichers beträgt 6 bis 8 Stunden, die Entladedauer 12 bis 15 Stunden.

2.5 Nutzung von Elektroenergie

Durch die Einbindung von Windkraft- und Solaranlagen in die Stromnetze kann zeitweise ein Überangebot an Elektroenergie entstehen. Dieses lässt

sich in technologisch bedeutsamen Größenordnungen zur Erzeugung von thermischer Energie nutzen. Dabei wird der Einsatz anderer Energieträger für die Wärmeerzeugung verringert. Die Technologie, bekannt unter dem Namen „Power-to-Heat“, ist als Maßnahme des Lastmanagements für Stromnetze anzusehen (vgl. Bach 2013; Götz et al. 203; Sterner 2012). Demzufolge wird sie vorrangig als negative Sekundärregelenergie vermarktet.

Um am Sekundärregelenergiemarkt teilnehmen zu können, liegt die anzubietende Mindestleistung bei 5 MW. Um auch kleineren Anbietern die Teilnahme am Sekundärregelenergiemarkt möglich zu machen, besteht die Möglichkeit, Poolanbieter zu Nutzen.

Dabei gibt es die Optionen des Einsatzes einer elektrischen Wärmepumpe, die auch Umgebungswärme nutzen kann, oder der Einsatz eines gewöhnlichen Heizstabes bzw. eines Elektrodenkessels. Diese Technologie stößt vielfach auf Kritik, da reine Exergie (Elektroenergie) in Niedertemperaturwärme mit sehr geringem Exergiegehalt umgewandelt wird. Da bisher keine Stromspeicher in Größenordnungen zur Verfügung stehen, macht die Technologie aus ökonomischer Sicht aber durchaus Sinn (vgl. Groscurth/Bode 2013).

Auch bei der Nutzung von regenerativen Energien zur Eigenstromerzeugung lassen sich Stromüberschüsse, die nicht in Batterien gespeichert bzw. in das Stromnetz eingespeist werden sollen, als Wärme speichern.

In Abhängigkeit von der Entwicklung der Preise für Solarzellen kann Elektroenergie auch direkt zu Heizzwecken eingesetzt werden. Entsprechende Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten photovoltaischer Heizungssystem für Einfamilienhäuser werden an der HTW Berlin durchgeführt (vgl. Tjaden et al. 2013).

2.6 Wärmespeichertechnologien

Über Wärmespeichertechnologien wurde bereits auf dem Kolloquium zu Energiespeichertechnologien im Dezember 2013 berichtet (vgl. Mertzsch 2014), so dass hier nur kurz darauf eingegangen werden soll.

Es gibt die drei Grundarten der Speicher

- kapazitive (sensible) Speicher,
- transformative (latente) Speicher und
- thermochemische Speicher

in den verschiedensten Ausführungsformen. Die Energiedichte nimmt von den kapazitiven (sensiblen) über die transformativen (latenten) zu den ther-

mochemischen Speichern zu. Der Entwicklungsstand ist bei den kapazitiven (sensiblen) Speichern derzeit am höchsten.

Eine besondere Ausführungsform eines sensiblen Wärmespeichers ist der als Erdwärmespeicher konzipierte eTank der deematrix Energiesysteme GmbH aus Fürstenwalde (vgl. eTank 2014). Im Speicher wird Wärme aus Solarthermiemodulen und anderen Abwärmequellen bis zur Nutzung zwischengespeichert. Das Gesamtsystem arbeitet unter Verwendung einer Wärmepumpe nach der offenen, oszillierenden Pufferspeichertechnik (ooPS©), einer Entwicklung der eZeit Ingenieure GmbH, Berlin. Das Wärmemanagement wird durch einen Dynamischen Energie-Manager sichergestellt. Durch Nutzung eines eTanks lässt sich eine Anlagenaufwandszahl (Verhältnis von Aufwand an Primärenergie zu Energiebedarf des gesamten Anlagensystems) ep von < 0,3 erzielen. Der eigentliche Wärmespeicher besteht bis zu einer Tiefe von 1,5 m aus mehreren Schichten Erdreich, in denen beständige Polyethylen-Leitungen verlegt sind. Nach oben und seitlich ist der Wärmespeicher gegen Wärmeverluste isoliert. Nach unten ist er zum angrenzenden Erdreich offen, so dass auch das unter dem eTank liegende Erdreich in den Wärmeaustausch einbezogen werden kann. Das Temperaturniveau im eTank schwankt zwischen mindestens 6° C und maximal 23° C.

3 Auswirkung der Technologieentwicklung auf die Versorgungsstrukturen

3.1 Fernwärmenetze

Fernwärmenetze mittlerer Leistungsdichte besitzen üblicherweise einen definierten Einspeisepunkt für die Wärmeenergie. Zur Wärmeerzeugung wird vorrangig Vermögensenergie mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung eingesetzt. Als Vermögensenergie werden vorrangig Erdgas, aber auch Kohle und Heizöl eingesetzt. Vielfach sind auch Heiz- bzw. Heizkraftwerke auf Basis von Biomasse eingebunden.

Um in Zukunft zur Wärmeversorgung Einkommensenergie effektiv nutzen zu können, besteht die Notwendigkeit, die Rücklauftemperaturen in den Fernwärmenetzen zu senken. Das setzt auf der Seite der Wärmeabnehmer mehrere Maßnahmen voraus, die möglichst im Rahmen der Sanierung des Gebäudebestands durchzuführen sind. So ist im Zuge der Bestandssanierung die Heizfläche deutlich zu vergrößern bzw. es ist ein Flächenheizsystem einzusetzen. Weiterhin sind die Hausanschlussstationen so umzurüsten,

dass für die Warmwasserversorgung die hygienischen Anforderungen sichergestellt werden können. Dazu könnte der Einbau von elektrischen Wärmeerzeugern erfolgen, die dann zur Sicherung der hygienischen Anforderungen in verbrauchsarmen Zeiten über ein SmartGrid zugeschaltet werden. Wann diese zur Verfügung stehen wird ist allerdings noch unklar.

Die technische Sanierung in den Gebäuden sollte immer prioritär zur energetischen baulichen Sanierung sein. In einem weiteren Schritt sind in die Fernwärmenetze zur Zukunftssicherung arbeitspreisneutrale Energieträger (Einkommensenergie) zu integrieren. Um preiswert und sicher versorgen zu können, sind auf absehbare Zeit konventionelle Energieträger weiter zu berücksichtigen. Die Netze werden dazu in verschiedene Temperaturregime strukturiert. Die Maßnahmen dazu sind:

- Signifikante Reduzierung der Wärmenetztemperaturen;
- Einbindung solarthermische Energie;
- Einbindung von Umweltwärme und Bioenergie;
- Einbindung von niederkalorische Rest- und Abfallenergie;
- Einbindung von Elektroenergie „Power-to-Heat“;
- Einbindung von Wärmespeichertechnologien zur saisonalen Speicherung;
- Betrieb der Netze als Kalt- und Niedertemperaturnetze;
- Einbindung der Wärmepumpentechnologie.

Durch die Nutzung eines weit gestreuten Spektrums an Einkommens- bzw. Vermögensenergie zur Wärmeversorgung und die Einbindung von Wärmespeichertechnologien lassen sich Fernwärmenetze kostengünstig und sicher betreiben. Preisschwankungen eines Vermögensenergieträgers wirken sich dann nicht mehr so stark aus.

Positiv auf die Nutzung von Fernwärmenetzen kann sich auswirken, dass Besitzer von Wohneigentum die Fernwärme zur Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) nutzen können, wobei sich bauliche Maßnahmen deutlich verringern lassen oder entfallen können (vgl. TEN eG 2014).

3.2 Nahwärmenetze

Für die Errichtung und den Betrieb von Nahwärmenetzen gilt im Wesentlichen das für Fernwärmenetze ausgeführte. Da die Versorgungsgebiete kleiner sind, kann das die Vielfalt der einzubindenden Energieträger beschränken, so dass die Variabilität gegenüber einem Fernwärmenetz eingeschränkt ist.

3.3 Einzelwärmeversorgung

Für Einzelwärmeversorgung von Gebäuden ist zu erwarten, dass in die üblicherweise mit dem Vermögensenergieträger Erdgas betriebene Wärmeversorgung zusätzlich Solarthermie einbezogen wird. Im Zusammenhang mit der Nutzung der Solarthermie werden auch zunehmend saisonale Wärmespeicher zum Einsatz kommen. Bei Betrieb einer Photovoltaikanlage wird der Trend zur Nutzung von Überschüssen an Elektroenergie für die Wärmeversorgung, neben dem Betrieb von Batteriespeichern, gehen. Dazu können auch direkt photovoltaische Heizsysteme Anwendung finden (siehe Abschnitt 2.5). Der Trend zur Nutzung von Umweltwärme für die Enzeilwärmeerzeugung wird sich ebenfalls verstärken.

4 Zusammenfassung

Der Trend zur Nutzung von Einkommensenergie für die Wärmeversorgung wird zunehmen. Die bestmögliche Nutzung der Einkommensenergie bieten Fern- und Nahwärmenetze. Diese lässt sich in Verbindung mit Wärmespeichertechnologien und Vermögensenergie so kostengünstig und sicher betreiben. Preisschwankungen des Vermögensenergieträgers (üblicherweise Erdgas) wirken sich dann nicht mehr so stark aus. Die rahmenrechtlichen Bedingungen sind für die Durchsetzung dieses technologischen Fortschritts im Elektroenergie- und Wärmemarkt von entscheidender Bedeutung.

Alternative und regenerative Wärmeerzeugungssysteme stehen heute im Wettbewerb mit den Systemen, die auf konventionellen Brennstoffen wie Erdgas und Heizöl beruhen. Die Wirtschaftlichkeit und die Zuverlässigkeit dieser neuen Systeme entsprechen heute im Allgemeinen noch nicht den Marktanforderungen. Hier müssen neben den rahmenrechtlichen Bedingungen zwingend marktregulierende Anreize für die Forschung, Weiterentwicklung und Einsatzförderung der neuen Technologien geschaffen werden.

Literatur

Bach, P.-F. (2013): Einblicke in die Nutzung von „Power to Heat“ im dänischen Energieversorgungssystem – Paul-Frederik Bach. – URL: http://www.pfbach.dk/firma_pfb/pfb_ ikem_ power_to_heat_2013_04_10.pdf

BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2012): Energiemarkt Deutschland – Zahlen und Fakten zur Gas-, Strom und Fernwärmeversorgung – Sommer 2012. Berlin. – URL: http://docs.dpaq.de/2436-energie-markt_2012d_web.pdf

eTank (2014): Funktion. – URL: http://www.etank.de/etank-funktion/

Fontane, Th. (1973): Die Menzer Forst und der Große Stechlin. In: Erler, G.; Erler, Th. (Hg.): Von Rheinsberg bis zum Müggelsee. Märkische Wanderungen Theodor Fontanes. Berlin/ Weimar, S. 92–101

Götz, M.; Böttger, D.; Kondziella, H.; Bruckner, Th. (2013): Economic Potential of the "Power-to-Heat" Technology in the 50 Hertz Control Area. – URL: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_wirtschaftswissenschaften/bwl/ee2/lehrstuhlseiten/ordner_veranstaltungen/ordner_enerday/enerday2013/ed2013download/Gtz%20et.al._Paper_Power%20To%20Heat_Enerday_130415.pdf

Groscurth, H.-M.; Bode, S. (2013): „Power-t-heat" oder „Power-to-gas"? Arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik Hamburg, Discussion Paper Nr. 9, Stand 02.07.2013. – URL: http://www.arrhenius.de/uploads/media/arrhenius_DP_9_-_Power-to-heat.pdf

Hägermann, D. (1999): Technik im frühen Mittelalter zwischen 500 und 1000 – Heizungsbau. In: König, W. (Hg.): Landbau und Handwerk – 750 v. Chr. bis 1000 n. Chr. Frankfurt am Main/Berlin, S. 456–459 (Propyläen Technikgeschichte, Bd. 1)

LaTherm Energie AG (2014): Der LaTherm-Latentwärmespeicher Serie 5. – URL: http://www.latherm.de/index.php?id=73

Mertzsch, N. (2014): Speicherung Erneuerbarer Energien – Versuch eines Überblicks. Leibniz Online 2014, Nr. 16 [8. Januar 2014]. – URL: http://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2014/01/mertzsch.pdf

NARVA (2013): Flyer Vakuumröhren. – URL: http://www.narva-bel.de/clicksystem/csdata/download/1/de/vr_flyer_2013_deutsch_final_799.pdf

Neudeck, G. (1911): Das kleine Buch der Technik (11. Aufl.). Berlin/Leipzig

Solar-Wissen (2014): Hochtemperaturbeständige Solarflüssigkeit. – URL: http://solar-wissen.net/news/news-solarthermie/hochtemperaturbestandige-solarflussigkeit-coracon-sol-5hf/

Sterner, M. (2012): Energiespeicher und -systeme für die Energiewende. Regensburg. – URL: http://cms-dev.de.server1281-han.de-nserver.de/fileadmin/Events/Forum_EspSys/2012/Vortraege/2012_Forum_EspSys_Sterner.pdf

TEN eG (2014): Mit der Fernwärme der TEN eG im grünen Bereich. – URL: https://www.ten-eg.de/privatkunden/waerme/eewaermeg-und-enev

Tjaden, T.; Quaschning, V.; Weniger, J. (2013): Heizen mit PV-Strom – Chance für den Wärmemarkt. – URL: http://www.volker-quaschning.de/artikel/2013-03-Heizen-mit-PV-Strom/index.php

Umweltlexikon-online (2014): Umweltwärme. – URL: http://www.umweltlexikon-online.de/RUBsonstiges/Umweltwaerme.php

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 133–149*

Dieter Seeliger

Über einige qualitative und quantitative Fortschritte der praktischen Nutzung von Nanotechnologie bei der Energieumwandlung

1 Einleitung: Begriffe, Definitionen und grundlegende Eigenschaften

Ihre rasante Entwicklung in den vergangenen Jahren, die bis in die Gegenwart reicht und voraussichtlich weiter anhalten wird, führte die Nanotechnologie in die erste Reihe der großen technologischen Entwicklungslinien, welche den Umbau zur Wissensgesellschaft prägen. Auch dieses Gebiet lässt sich nicht auf seine ökonomischen und technologischen Aspekte reduzieren, sondern betrifft neben interdisziplinärer Wissenschaft gleichermaßen Aspekte von Umwelt, Gesundheit, Bildung sowie Recht und greift damit in viele Bereiche der Gesellschaft ein. Es ist gekennzeichnet durch alle Merkmale von Ambivalenzen, wie sie bereits auf dem 4. Symposium des Arbeitskreises „Allgemeine Technologie“ für unterschiedliche Gebiete des technologischen Fortschritts herausgearbeitet wurden.

Um dieses Gebiet in seiner Entwicklung zu beschreiben, betrachten wir zunächst einige Begriffe und Definitionen: Unter Nanoteilchen (Nanopartikel) werden meist Verbünde von einigen wenigen bis einigen Tausend Atomen oder Molekülen, mit einer typischen Größe im Bereich von 1 bis 100 Nanometern[1] bezeichnet. Nanoteilchen kommen entweder in Naturprodukten vor oder lassen sich gezielt mit besonderen chemischen und physikalischen Eigenschaften synthetisch herstellen. Unter der immensen Vielfalt sind besonders die praktisch bedeutsamsten Klassen von Nanoteilchen hervorzuheben, welche folgende Stoffgruppen umfassen:

- Kohlenstoffhaltige Nanopartikel (Fullerene, Graphene, Nanoröhren, Rußpartikel);
- Metall- und Halbleiteroxide (Si-, Ti-, Al-, Fe-, Zn-Oxide und Zeolithe);
- Halbleiter (Cd-Tellurid, Cd-Selenid, Si und weitere);
- Metallsulfide;

1 1 nm = 10^{-9} m = 10^{-6} mm; Definition siehe http://de.wikipedia.org/eiki/Nanoteilchen

- Polymere.[1]

Nanopartikel zeichnen sich im Vergleich zu kompaktem Material mit gleicher chemischer Zusammensetzung durch ganz besondere chemische und physikalische Eigenschaften aus, stark abhängig von der Größe der Teilchen, d.h. von der Zahl von Atomen oder Molekülen, die im den Teilchen jeweils enthalten sind. Dies ist atomphysikalisch verständlich als Folge des Übergangs von isolierten Energieniveaus einzelner Atome zu kontinuierlichen Energiebändern im Festkörper. Die Hinzufügung einzelner Atome oder Moleküle zum Verbund kann so die Struktur der Energiezustände und damit die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Nanoteilchen verändern. Daraus ergeben sich, kurz gefasst, folgende gravierenden Veränderungen bei den praktisch bedeutsamen Eigenschaften der Materialien:

- Beim Übergang von Kompaktmaterial zu Nanopartikeln mit gleicher Masse erfolgt ein immenser Anstieg der spezifischen Oberfläche,[2] woraus sich wiederum ein Anstieg der chemischen und physikalisch-chemischen Reaktivität sowie ein größerer Einfluss von Oberflächenkräften (van-der-Waals) ergeben. Dies wirkt sich u.a. auf die katalytische Aktivität des Materials aus.
- Infolge des geringen Krümmungsradius der Oberfläche von Nanoteilchen können sich an der Oberfläche extrem hohe Feldstärken elektromagnetischer Felder ausbilden, Oberflächenladung und -ströme sowie Magnetfelder gewinnen größere Bedeutung im Vergleich zu kompaktem Material. Dies hat entscheidende Bedeutung u.a. für die Wechselwirkung von Photonen (Licht) mit Nano-Beschichtungen.
- Im Verbund von aktuell hochentwickelten Methoden zur Berechnung der Energiezustände von Atomen, Molekülen und deren Verbänden mit den modernen Methoden zum Aufbau von Festkörperstrukturen (Implantation, Bedampfen, Epitaxie u.a.) ist die „gezielte Komposition“ von Nanoteilchen mit gewünschten, insbesondere optischen Eigenschaften heute bereits Realität geworden und wird häufig mit dem Begriff „Bandstrukturengineering“ bezeichnet (vgl. Abstreiter 2014).
- Gewünschte photo-physikalische, katalytische oder andere Effekte lassen sich durch Einsatz von Nanoteilchen in der Regel mit wesentlich ge-

1 Polymere Folien aus Nanomaterialien wurden im Rahmen des 4. Symposiums des Arbeitskreises „Allgemeine Technologie“ der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften behandelt – vgl. Kohlert 2011.

2 Der Anstieg der aktiven Oberfläche kann bis zu 10^7 betragen!

ringerem Materialeinsatz der betreffenden Elemente oder chemischen Verbindungen erzielen, was in einer deutlich verbesserten Materialökonomie und folglich Schonung von Ressourcen, aber gegebenenfalls auch zu möglichen Substitutionen kostenintensiver Rohstoffe führt.

Eine große praktische Bedeutung haben in den vergangenen Jahren bestimmte Typen von Kohlenstoff-Nanoteilchen gewonnen, deren ganz besondere Eigenschaften hier kurz erwähnt werden sollen:

- Kohlenstoff-Nanoröhren[3] können sowohl Eigenschaften eines Leiters wie auch eines Halbleiters annehmen, wobei sie als Leiter eine bessere Stromleitung als Kupfer aufweisen. Ihre Belastbarkeit ist 50- bis 100-fach höher als von Stahl und ihre Wärmeleitung besser als die von Diamant!
- Graphen,[4] eine zweidimensionale Struktur aus Kohlenstoffatomen, ist ein hervorragender Leiter auch bei hohen Temperaturen, besitzt eine mechanische Festigkeit fast wie Diamant und eine Zugfestigkeit, welche der 180-fachen von Stahl entspricht. Graphen ist darüber hinaus noch flexibel und transparent (vgl. Seyller 2013).

Nicht so einstimmig und offenbar von den partiellen Interessen bestimmter Institutionen und Verbände geleitet ist derzeit die Definition der verbreiteten Begriffe Nanotechnologie und Nanomaterial. Der Disput darüber ist derzeit noch nicht abgeschlossen (vgl. BMBF 2013). Die Europäische Union verabschiedete im Jahr 2011 eine sehr weit reichende Definition von Nanomaterialien, die auch natürliche Materialien (wie Pigmente, Farbstoffe, Ruß usw.) erfasst:

> „Nanomaterial ist ein natürliches, bei Prozessen anfallendes oder hergestelltes Material, das Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder als Agglomerat enthält, und bei dem mindestens 50% der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von 1 bis 100 nm haben“ (zitiert nach BMBF 2013, S. 102).

Die ISO und der Deutsche Verband für Nanotechnologien gehen von einer stark auf die Anwendung orientierten zweiteiligen Definition aus, die (hier gekürzt) lautet:

> „Das Verständnis und die Kontrolle von Substanzen oder Prozessen auf der Nanoebene, die typischer Weise [...] unterhalb von 100 nm liegen und durch ihre

3 1991 von Sumio Iijima (Japan) entdeckt.

4 Vgl. Novoselov et al. 2004; Konstantin Sergejewitsch Novoselov und Andre Konstantin Geim erhielten 2010 den Nobelpreis.

größenabhängigen Effekte [...] neue Anwendungen hervorbringen. Die Nutzung von Eigenschaften nanoskaliger Materialien, die sich von den Eigenschaften einzelner Atome, Molekül und Bulk-Materialien unterscheiden und dadurch verbesserte Materialien, Anwendungen und Systeme erzeugen, die diese Eigenschaften anwenden."[5]

2 Anwendungsfelder von Nanotechnologie

Die Nanotechnologie hat in den letzten Jahren zahlreiche Anwendungsfelder erschlossen und in diesen zu einem bedeutenden Innovationsschub geführt (vgl. NTEC 2012, 2013, 2014). Gemäß einer Umfrage[6] im Auftrag des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter 173 Unternehmen und Einrichtungen auf diesem Gebiet nach der Bedeutung der Nanotechnologie für derzeitige Anwendungen ergibt sich folgende Reihenfolge in der Bewertung (vgl. BMBF 2013): Elektronik, Medizin und Pharmaindustrie, Automobilbau, Optik, Geräte- und Maschinenbau, Chemie, Energie, Umwelttechnik, Bauwesen, Raum- und Luftfahrt, Textilindustrie, Sicherheitstechnik sowie Haushaltsgeräte und -mittel. Bereits aus der Breite dieser Palette von Industriezweigen wird die enorme Bedeutung der Nanotechnologie für die gesamte Wirtschaft deutlich. Dem entspricht, dass die Zahl von Unternehmen, die sich mit dem Einsatz der Nanotechnologie in Bereichen der Forschung und Entwicklung sowie der Herstellung und Vermarktung kommerzieller Produkte und Dienstleistungen befassen und im Kompetenzatlas Nanotechnologie erfasst sind ständig steigt und im Jahr 2013 bereits die Zahl 1.135 erreicht hat.

Eine gleichzeitig erfolgte Befragung von 159 Forschungsinstitutionen nach den Anwendungsfeldern, welche voraussichtlich in den kommenden fünf bis zehn Jahren am stärksten von den Forschungsergebnissen zur Nanotechnologie profitieren werden, ergab folgende Reihenfolge in der Bewertung: Medizin und Pharmaindustrie, Elektronik, Energie, Chemie, Optik, Umwelt, Maschinenbau, Mobilität und Transport, Sicherheitstechnik, Verbraucherprodukte, Ernährung, Sonstige, Textilindustrie, Bauen und Wohnen. Bemerkenswert ist, dass die Spitzenpositionen auch künftig von Elektronik und Medizin/Pharma eingenommen werden, daneben jedoch der Bereich Energie voraussichtlich stark an Bedeutung gewinnt und sich die Anwendungsbreite vermutlich weiter erhöhen wird.

5 http://www.dv-nano/print/infoportal [20.02.2015].
6 Diese Umfrage erfolgte 2013 durch das VDI Technologie-Zentrum Düsseldorf.

Die rasant steigende ökonomische Bedeutung der Nanotechnologie lässt sich auch anhand der in Tabelle 1 aufgeführten derzeitigen und künftig prognostizierten Werte der weltweit hergestellten Nanotechnologie-Produkte ableiten, die von keiner der führenden Wirtschaftsregionen unbeachtet bleiben kann. Der technische Fortschritt erfolgt in diesem Fall nicht in Form eines eigenständigen neuen Technikzweiges, sondern hauptsächlich in Folge von Innovationen innerhalb der traditionellen Anwendungsrichtungen, wie Elektronik, Maschinenbau, Chemie etc.

Tabelle 1: Marktsegmente und Marktprognosen für einige Anwendungsbereiche der Nanotechnologie

Marktsegment	**Wert bisher Mrd. US$ – Bezugsjahr**	**Wert künftig Mrd. US$ – Bezugsjahr**
Nanomaterialien	15,9 – 2012	37,3 – 2017
Nanobeschichtungen	9,3 – 2011	14,9 – 2016
Nanoanalytik	2,7 – 2011	3,4 – 2016
Nanostrukturierung	4,8 – 2012	11,4 – 2017
Medizin	43,2 – 2011	96,9 – 2016
Verbindungshalbleiter-Elektronik	27 – 2012	47,4 – 2017
Photonik	350 – 2011	615 – 2020
Energie und Umwelt	2,5 – 2012	5,8 – 2017
flexible Elektronik	10,8 – 2012	27 – 2017

Quelle: Die Zahlenangaben wurden einer wesentlich ausführlicheren Tabelle in Kapitel 3 von NREP 2013 entnommen

3 Aktuelle nanotechnologische Anwendungen auf dem Energiesektor

Nanotechnologische Innovationen sind in fast allen Bereichen des Energiesektors zu finden und tragen zu Steigerung der Energieeffizienz sowie zur verbesserten Energiewandlung, wie auch der Energiespeicherung und dem Energietransport bei. Die Zielstellungen werden im Folgenden kurz (und bei weitem nicht vollständig) charakterisiert (vgl. auch Schaf 2014).

3.1 Energiegewinnung und -wandlung

Im Zuge des beschleunigten Übergangs zur Nutzung erneuerbarer Energien soll Nanotechnologie dazu beitragen, den Wirkungsgrad von Photovoltaik-Systemen zu verbessern, deren Herstellungskosten zu senken und neue Materialien für die Photokatalyse zu entwickeln. Um den stärkeren Einsatz von Brennstoffzellen voran zu treiben, soll mittels Nanotechnologie eine wesentliche Erhöhung des Wirkungsgrades dieser Anlagen erreicht werden, der flexible Einsatz von Brennstoffen (Wasserstoff oder Methan) erreicht und Edelmetallkatalysatoren eingespart werden. Die direkte Umwandlung von chemisch gebundener Energie in elektrische Energie durch Brennstoffzellen hat das Potenzial, in Zukunft wesentlich zur Energieversorgung beizutragen. Dabei erscheinen elektrische Wirkungsgrade bis zu 60% und Gesamtwirkungsgrade über 90% im Fall der Kraft-Wärme-Kopplung realisierbar.

Als besonders aussichtsreich werden hierbei Hochtemperatur-Brennstoffzellen mit Festoxid-Elektrolyten (solid oxid fuel cells – SOFC) angesehen, da sie sowohl mit Wasserstoff wie auch mit Kohlenwasserstoff sowie ohne Edelmetalleinsatz betrieben werden können und eine hohe Toleranz gegenüber Gasverunreinigungen besitzen.

Ein erhebliches Potenzial für Energieeinsparung mittels Nanotechnologie liegt in der Nutzung von Wärme oder Abwärme zur Elektroenergieerzeugung. Das betrifft sowohl die Wärme-Strom-Umwandlung in Solarkraftwerken, wie auch Wärme-Kraft-Maschinen sowie Transportmittel, inklusive Senkung des Treibstoffverbrauchs von PKW. Um elektrische Energie direkt aus Abwärme zu gewinnen, braucht man effiziente thermoelektrische Werkstoffe. Spezifische Materialien und Materialstrukturen werden hierfür entwickelt, die stark variierende Anwendungsbereiche hinsichtlich Temperaturbereich und Temperaturdifferenz abdecken können.

Der Temperaturbereich für Thermoelektrische Generatoren reicht bei Hochtemperaturanwendungen von 1.000^0C, die bei solarthermischen Anlagen auftreten, über Werte im Bereich von einigen Hundert Grad, die typisch für Wärme-Kraft-Maschinen sind, bis zu Umgebungstemperaturen für das sogenannte „energy harvesting“. Um kostengünstige Lösungen zu finden, gehören hierzu auch preisgünstige Synthese- und Depositionsverfahren. Auch bei Windkraftanlagen sind Innovationen infolge des Einsatzes von Nanotechnologie zu erwarten, das betrifft einerseits die Entwicklung von Hochleistungswerkstoffen für die Generatoren und Steuerung, andererseits verbesserte Beschichtungen der Rotorblätter. Besonders Rotorblätter für Offshore-Anlagen, die bis über 100 Meter lang, und täglich hoher, stark wech-

selnder Beanspruchung durch Sturmböen und Seeklima ausgesetzt sind, müssen extrem korrosionsbeständig sein. Im Fokus der Werkstoffentwicklung stehen daher die Weiterentwicklung von High-Tech-Stählen und Beschichtungen für Rotoren, Getriebekomponenten und Lager.

3.2 Energiespeicherung

Die Unregelmäßigkeit ihrer Erzeugung macht erneuerbarer Energien schwer kalkulierbar und birgt die Gefahr von Versorgungslücken oder kurzzeitigen Leistungsüberschüssen. Neue oder verbesserte Lösungen zur Energiespeicherung sollen zeitliche und/oder örtliche Diskrepanzen zwischen Bereitstellung und Bedarf von Energie überbrücken. Energiespeicher stellen damit eine wesentliche Komponente bei der Entwicklung künftiger effizienter energietechnischer Systeme dar. Hohe Erwartungen hinsichtlich der Optimierung von Speicherdichte, Speicherleistung und -effizienz sowie deren Kostensenkung bei Speichern von Elektroenergie sind ebenfalls an die Nanotechnologie gerichtet. Das betrifft insbesondere die Lithium-Ionenbatterien, welchen eine tragende Rolle bei der künftigen Elektromobilität zukommt. Derzeit haben diese Speicher immer noch zu viel Volumen und Gewicht. Das hängt davon ab, welche Menge von Li-Ionen im jeweiligen Elektrodenmaterial eingelagert werden kann. Zu den Elektrodenmaterialien mit der höchsten Kapazität gehört Silizium. Dieses Element kann aber in der Praxis bisher nicht eingesetzt werden, da es sich bei Einlagerung von Lithium stark ausdehnt (bis zu 300% des ursprünglichen Volumens) und damit mechanisch schnell instabil wird. Das Ziel besteht daher, auf Basis nanoporöser Siliziumstrukturen, neue Systeme für die Energiespeicherung zu entwickeln, welche die Volumenänderung bei Einlagerung von Lithium innerhalb einer relativ „lockeren“ Si-Struktur auffängt.

Auch das traditionelle Gebiet der *Wasserelektrolyse* gilt als ein Schlüssel zur sicheren, schnellen und effizienten Energiespeicherung für elektrische Leistungen bis in den GW-Bereich. Diese seit langem bewährte Technologie soll durch Einsatz von Nanotechnologie hinsichtlich des Wirkungsgrades verbessert und in ihren Kosten gesenkt werden. Im Zusammenhang mit der Energiewende sind von besonderem Interesse Elektrolysatoren, die kurzzeitig Leistungen im Gigawatt-Bereich aufnehmen, in Wasserstoff umwandeln, welcher – gasförmig, flüssig oder chemisch gebunden – gespeichert und in energetisch nutzbares klimaneutrales Industriegas verwandelt oder vollständig methanisiert („Power to Gas“) und für Heizzwecke genutzt werden kann. Somit könnten anfallende Stromspitzen aus Solar- und Wind-

kraft ökonomisch sinnvoll verwertet werden. Als Gegenstück zu der oben genannten SOFC lässt hierfür die Hochtemperatur-Elektrolysezelle (Solid oxide electrolysis cell – SOEC) eine besonders hohe Energieeffizienz erwarten.

3.3 Energietransport

Die Effizienz des Energietransports bei der Strom- oder Wärmeverteilung wird durch Beschaffenheit und Eigenschaften der Werkstoffe bestimmt. Die Anforderungen reichen von Isolationsmaterialien für Hochspannungsanwendungen über supraleitende Netzkomponenten bis zu nanostrukturierten Wärmeleitern oder Wärmeisolatoren. Auch beim Energietransport kann Nanotechnologie beträchtliche Verbesserungen bringen, das betrifft einerseits Stromleiter, bei denen durch geeignete Materialsubstitution oder Beschichtung erhöhte Leitfähigkeit und/oder Festigkeit, verringerter Kontaktwiderstand und Korrosion sowie Kostenreduzierungen und leichtere Integrierbarkeit neu entwickelter Leitermaterialien in bestehende Systeme angestrebt werden. Eine weitere bedeutsame Entwicklungsrichtung betrifft supraleitende Netzkomponenten, die in Hochleistungsschalten, -transformatoren und -reglern zum Einsatz kommen, darunter auch in Windkraftanlagen.

Nicht unerwähnt bleiben sollen Entwicklungen verbesserter Isolierwerkstoffe zur Senkung von Energieverlusten auf der Grundlage neuer, nanoporöser Materialien, die z.B. als Spezialdämmstoffe im Hochtemperaturbereich und darüber hinaus in Zukunft auch für die Gebäudetechnik im Blickfeld sind. Viele Netzkomponenten wie Schalter, Transformatoren oder Leistungsregler sollen künftig auf Supraleitern basieren. Vorteilhaft ist, dass für deren Kühlung, statt teils giftiger oder brennbarer Stoffe, flüssiger Stickstoff zum Einsatz kommt. Solche Systeme ermöglichen nicht nur höhere Stromdichten sondern vermeiden auch bei Havarie Brände und andere Folgeschäden.

Isolierwerkstoffe haben die Aufgabe, Wärmeverluste zu minimieren, dabei müssen sowohl der Leitungstransport als auch der konvektive und Strahlungswärmetransport berücksichtigt werden. Die Ansätze für nanotechnologische Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet sind anwendungsbezogen: Im Raumtemperaturbereich, beispielsweise für die Gebäudetechnik, stehen Alternativsysteme sowie Stabilitäts- und Dichteaspekte im Vordergrund. Im Hochtemperaturbereich für Prozesstechnik und Abgassysteme sollen die Wärmeleitfähigkeit verringert und der Strahlungstransport minimiert werden.

3.4 Förderschwerpunkte

Diese Zielstellungen spiegeln auch die seitens des BMBF gesetzten Förderschwerpunkte wider (vgl. BMBF 2013), die nachfolgend mit beispielhafter Nennung geförderter F/E-Themen beschrieben werden und die immense Breitenwirksamkeit der Nanotechnologie für die Energietechnik zeigen.

Auf dem Gebiet der *elektrochemischen Speicher* werden insbesondere Lithium-Ionen-Batterien und deren Optimierung durch nanoskalige Materialien wie Graphen oder neuartige Nanokomposite für die Elektroden und andere Zellkomponenten finanziert. Höhere Energiedichten sollen durch sogenannte Hochvoltsysteme mit Zellspannungen bis fünf Volt erreicht werden. Weitere Schwerpunkte bilden die Erhöhung der Betriebssicherheit von Elektrolyt- und Membransystemen. Neben den konventionellen Li-Ionen-Systemen werden neue elektrochemische Materialkonzepte erforscht, insbesondere Alkali-Schwefel-Systeme, von denen wiederum Lithium-Schwefel-Systeme am erfolgversprechendsten hinsichtlich erhöhter Speicherkapazität sind. Noch höhere Speicherdichten versprechen Lithium-Luft-Zellen, bei denen die Kathode durch Luft ersetzt und der für die Reaktion benötigte Sauerstoff aus der Umgebungsluft bezogen wird. Einige der geförderten Forschungsthemen auf diesem Gebiet lauten:

- Materialkonzepte für Alkali-Schwefel-Batterien;
- Einsatz von Graphen in Lithiumbatterien und Brennstoffzellen;
- Entwicklung einer Lithium-Schwefel-Batterie für die Elektromobilität auf der Basis nanostrukturierter Siliziumanoden;
- Entwicklung nanostrukturierter bzw. nanoporöser Elektroden für Lithium-Luft-Batterien mit optimierter Leistung;
- Entwicklung sicherer Elektrolytsysteme für Lithium-Ionen-Polymer-Batterien mit optimierter Langzeitstabilität auf der Basis neuer Molekülstrukturen;
- Entwicklung einer neuen Generation von Lithium-Ionen-Batterien auf Basis neuartiger nanoskaliger Kompositmaterialien.

Höchste Leistungsdichten, wie sie während der Beschleunigungsphasen von Elektrofahrzeugen erforderlich sind, lassen sich nur mit Hilfe von sogenannten *Superkondensatoren* erreichen, deren Optimierung auf der Basis von Nanopartikeln, Graphen oder nanostrukturierten Bauteilen ebenfalls gefördert werden. Auch hierfür einige Beispiele für F/E-Themen:

- Neue Superkondensatoren auf Basis ferroelektrischer Nanoteilchen als Energiespeicher;
- Entwicklung neuartiger elektrischer Energiespeicher-Systeme (Doppelkondensatoren) auf Basis dreidimensionaler Nanostrukturierung;
- Entwicklung innovativer elektrochemischer Superkondensatoren u.a. durch Verwendung von Graphen als neuartiges Elektrodenmaterial.

Nanostrukturierte Systembauteile, insbesondere auf Basis von Graphen oder Kohlenstoff-Nanoröhrchen, sollen auch in der *Brennstoffzellen*technologie zum Einsatz gebracht werden, um Elektrizität direkt aus Wasserstoff oder Methan zu erzeugen. Beispielhafte Themen sind:

- Optimierte Herstellung von PEM[7]-Brennstoffzellen im Spritzguss durch Verwendung von Graphen als neuartiges Elektrodenmaterial;
- Untersuchung von Defektbildungsmechanismen bei der Synthese von Nanostrukturen in Elektroden und Elektrolyten von Feststoffoxid-Brennstoffzellen.

Für den umgekehrten Prozess, die Verwertung von temporär überschüssiger Elektroenergie aus regenerativen Quellen auf dem Wege der Konversion „Power-to-Gas“, sind vor allem effiziente und flexibel betreibbare *Elektrolyseure* und *Wasserstoffspeicher* erforderlich, deren Entwicklung mittels Nanomaterialien ebenfalls ein Förderschwerpunkt ist. Themenbeispiele hierfür lauten:

- Entwicklung leichter, stationärer und mobiler Wasserstofftanks mit hoher Betriebssicherheit, Energieeffizienz und Speicherkapazität auf der Basis neuartiger, nanoporöser Metall-Kohlenstoff-Komposite;
- Entwicklung neuer Membran-Elektroden-Einheiten für alkalischen PEM-Elektrolyse zur flexiblen Wasserstofferzeugung aus regenerativen Energien mit häufigen Lastwechseln;
- Entwicklung großflächiger drei-dimensionaler Nanostrukturierungstechniken zur Realisierung von Hochleistungs-Nano-Bauelementen für Tandem-Solar-Brennstoffzellen, Superkondensatoren, optische Sensoren und organische nichtflüchtige Speicher.

Ein alternativer Weg zur Erzeugung von Wasserstoff als Energieträger ist die ebenfalls geförderte *photo-katalytische Spaltung von Wasser* an nanostrukturierten Oberflächen. In diesem System werden die besonderen opti-

7 PEM – Polymer-Elektrolyt-Membran.

schen Eigenschaften der Nanopartikel dazu genutzt, Sonnenlicht direkt in den Energieträger Wasserstoff umzuwandeln, welcher später in Brennstoffzellen zur Stromerzeugung oder direkt in chemischen Prozessen verwertet werden kann. Themenbeispiele hierfür sind:

- Solar-thermochemische Erzeugung chemischer Produkte aus H_2O und CO_2 mittels nanoporöser und nanopartikulärer Metallkomposite;
- Nanostrukturen zur lichtinduzierten Wasserstoffentwicklung aus der photokatalytischen Spaltung von Wasser.

In der *Photovoltaik* steht die Verbesserung des Wirkungsgrades von Solarzellen und deren Kostensenkung im Vordergrund. Einige ausgewählte F/E-Themen auf diesem Gebiet sind:

- Infrarot-optische Nanostrukturen für die Photovoltaik zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Solarzellen;
- Nanoskalige III-V / Silizium Heterostrukturen für hocheffiziente Solarzellen;
- Neue Absorbermaterialien aus unbegrenzt verfügbaren Rohstoffen für Dünnschichtsolarzellen unter Verwendung von Nanopartikeln;
- Entwicklung neuartiger organischer Solarzellen mit Fullerenen als Elektronenempfänger;
- Entwicklung druckbarer Dünnschicht-Photovoltaik auf Basis organisch-anorganischer (CIGS)[8] Hybridsysteme unter Einsatz von Nanostrukturen und Nanopartikeln.

Auf dem Gebiet der Entwicklung von *Thermoelektrika* liegt im Schwerpunkt die Nutzung der Abwärme aus Industrieanlagen und vor allem auch der Automobile, mit Themen wie:

- Entwicklung effizienter thermoelektrischer Dünnschichtbauelemente auf Silizium- und Germaniumbasis durch Nanostrukturierung;
- Entwicklung druckbarer organischer thermoelektrischer Generatoren u.a. auf Basis von Hybridmaterialien aus organischen Polymeren und anorganischen Nanopartikeln;
- Entwicklung von Hochtemperatur-Thermogeneratoren mit hoher Effizienz für den Kraftfahrzeugeinsatz auf Basis oxidischer Nanopartikel;
- Entwicklung hoch effektiver thermoelektrischer Halbleiter mit niedrig konzentrierten Zusätzen auf der Basis selbstorganisierender Nanostrukturen in Chalkogeniden.

8 CIGS – Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid.

Auch das Gebiet der *Hochtemperatursupraleiter* wird ebenfalls von der Nanotechnologie entscheidend profitieren – ein Themenbeispiel: Entwicklung optimierter Hochtemperatursupraleiter auf Basis verbesserter chemischer Abscheideverfahren zur Erzeugung nanoskaliger Schichtsysteme.

Das Vorstehende ist – wie bereits erwähnt – nur eine Auswahl der vom BMBF im Jahr 2013 geförderten Themen mit Bezug zur Energietechnik. Zieht man in Betracht, dass neben dem BMBF auch andere öffentliche Einrichtungen zur F/E-Förderung und Finanzierung auf Bundes- und Länderebene, auf privatwirtschaftlicher Basis sowie aus Stiftungen bestehen und aktiv genutzt werden, dass weiterhin die Energietechnik bei weitem nicht die umfangreichste Anwendungsrichtung für Nanotechnologie darstellt (siehe z.B. Tabelle 1), so erhält man einen Eindruck vom immensen Umfang und Breite des Innovationspotenzials, dessen Wirkung für die gesamte Wirtschaft und insbesondere auch auf dem Gebiet der Energietechnik in den kommenden zu erwarten ist.

Die wichtigsten nationalen Fördereinrichtungen und Netzwerke der Nanotechnologie in Deutschland sind (vgl. BMBF 2013):

- Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie weitere Bundesressorts;
- Bundesländer;
- Institutionelle Förderer;
- Leibniz Netzwerk Nano (mit 86 Institutionen);
- Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie (mit 20 FhG-Instituten);
- Initiative Nano in Germany (mit 100 Mitgliedern aus Forschung, Industrie und Wissenschaft);
- Deutscher Verband Nanotechnologie (breiter Kreis von Nutzern, Produzenten und Forschern);
- Stiftungen und Sonstige (z.B. VW-Stiftung).

Hinzu kommt eine beträchtliche Förderung international abgestimmter Projekte auf Ebene der Europäischen Union mit Relevanz zur Energietechnik. Insgesamt sind in den vergangenen Jahren abgestimmt in der EU 60 Nanotechnologieprojekte zu regenerativen Energien, insbesondere zu Photovoltaik, Dünnschicht-Solarzellen, Konzentratoren und anderen Themen gelaufen. Hinzu kamen solche energietechnisch relevanten Komplexthemen wie:

- NANOHEX, zur Entwicklung von Wärmetauschern mit fluiden Kühlmitteln;

- SUPRA-BIO, zur Entwicklung nanokatalytischer Verfahren für Werkstoffe, Kraftstoffe, Herstellung chemischer Produkte aus Biomasse;
- EUROTAPES, zur Technologie für die Herstellung langer supraleitender Bänder für die Leistungselektronik und Hochleistungsmagnete.

4 Risiken der Nanotechnologie

Im Jahr 2003 analysierte ein erster Bericht die Chancen und Risiken sowie die Sicherheit für Mensch und Umwelt aus der Nanotechnologie (vgl. Pasche et al. 2003), ein Jahr später erschien in der Royal Society London ein weiterer Bericht, der sehr kritisch zu den Problemen der Sicherheit für Menschen und Umwelt durch synthetische Nanoteilchen Stellung bezog. Heute gibt es in allen Industrieländern nationale Aktionspläne Nanotechnologie, in denen auch die Risiken und der sichere Umgang mit Nanotechnologie eine zentrale Rolle spielen und meist als nationale Forschungsprogramme enthalten sind, so hat das Projekt NanoCare (vgl. Kuhlbusch et al. 2009) Maßstäbe hinsichtlich Aussagekraft auf diesem Gebiet gesetzt. Auch zur Erforschung von Risiken für Mensch und Umwelt wurden seit 2009 bisher 20 Projekte innerhalb der beiden Teilprogramme NanoCare und NanoNature durch das BMBF gefördert, wobei insbesondere die enge Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie dazu diente, marktfähige Produkte hinsichtlich ihrer Risiken zu untersuchen (vgl. BMBF 2003). Die Risikoforschung in den vergangenen zehn Jahren hat den Umgang mit der Nanotechnologie sicherer gemacht und ermöglicht die Abschätzung möglicher Gefährdungen.

Diese Anstrengungen haben dazu geführt, dass der anfängliche Mythos einer generellen nano-spezifischen Toxizität ausgeräumt werden konnte und eine Beruhigung und Versachlichung der Diskussion eingetreten ist. Anstelle dessen ist die Erkenntnis von der Notwendigkeit getreten, für bestimmte Problemstoffe Grenzwerte beim Umgang und Einsatz festzulegen, eine technologie-begleitende Sicherheitsforschung künftig weiterhin durchzuführen und geeignete Methoden zum Nachweis von Nanoteilchen in verschiedenen Produkten zu entwickeln. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) hat im Jahr 2007 einen Leitfaden für den sicheren Umgang mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz veröffentlicht. Der Ausschuss für Gefahrstoffe des Bundesministeriums für Arbeit hat im Mai 2013 in der Bekanntmachung „Hergestellte Nanomaterialien“ auf Grundlage der Gefahrstoffverordnung Empfehlungen zur Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien publiziert. Daraus ergeben

sich differenzierte Empfehlungen für den Umgang mit den verschiedenen Arten und Zusammensetzung von Nanomaterialien, so wie das für andere Gefahrstoffe seit langem in der Praxis gehandhabt wird.

Schließlich hat auch die Europäische Union im Jahr 2012 ihre zweite Überprüfung der Rechtsvorschriften für Nanomaterial veröffentlicht, ergänzt durch Angaben zu den auf dem Markt befindlichen Nanomaterialien, ihrer Verwendung und Sicherheit.[9]

So kann man heute feststellen, dass sich auch das Gebiet der Nanotechnologie hinsichtlich der hohen Sicherheitsstandards hin zu einem „normalen" Arbeitsgebiet entwickelt hat, in dem die spezifischen Gefährdungen verschiedener Stoffe klar aufgezeigt, Grenzwerten für den Umgang mit diesen definiert und erforderliche Vorsichtsmaßnahmen zur Vermeidung bzw. Minimierung von Belastungen für Mensch und Umwelt nach dem jeweils neuesten und durch weitere gezielte Forschung sich ständig vertiefenden Stand der Kenntnis getroffen werden.

5 Zu einigen spezifischen Anforderungen an Forschung und Entwicklung

Die Frage nach den Voraussetzungen und Hemmnissen für eine erfolgreiche Entwicklung von Forschung und Produktentwicklung auf dem Gebiet der Nanotechnologie haben in der Branche tätige Institutionen und Unternehmen wie folgt beantwortet (vgl. BMBF 2013): Zu den Erfolgsfaktoren wurden, neben ausreichender finanzieller Förderung, vor allem die Kooperation zwischen Forschung und Industrie sowie die nationale und internationale Forschungskooperation genannt. Darüber hinaus sind Ausbildung und Nachwuchsentwicklung sowie klare regulatorische Vorgaben seitens der Gesetzgebung von Bedeutung. Demgegenüber wurden als Innovationshemmnisse genannt: Mangel an Fachpersonal und unternehmerischem Know-how sowie an Geschäftsmodellen, hohe Investitionskosten, negative Medienberichterstattungen sowie immer noch unzureichend klare regulatorische Vorgaben. Insofern unterscheidet sich die Nanotechnologie heute kaum von anderen neuen, in der Phase aufstrebender Entwicklung befindlichen Technologiebereichen.

Ein entscheidender Unterschied besteht dagegen in der Komplexität der wissenschaftlichen und technologischen Problemstellungen, die von dem

9 Vgl. http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/second_regulatory_review_on-nanomateria_-_com(2012)_572.pdf.

Gebiet aufgeworfen werden: Klassische Festkörperphysik, Materialwissenschaften, Chemie, Oberflächenphysik und -chemie gehen fließend über und verschmelzen mit den Problemstellungen, die im Bereich von Quantenphysik und Quantenchemie angesiedelt sind, inklusive der dafür angewandten Untersuchungsmethoden. Neue spezifische Teilgebiete der Forschung entstehen: Nanooptik, Physik hoher elektromagnetischer Felder an der Oberfläche von Nanostrukturen. Bei Dimension in der Nanoebene entstehen neue Verzahnungen mit biologischen und medizinischen Problemen usw. Enorme Fortschritte in der Strukturierung, Manipulation und Analyse bis hinunter auf den atomaren Maßstab (vgl. Abstreiter 2014) haben zu einer Vielzahl neuartiger Entwicklungen bei Quanteninstrumenten, Nanosystemen und Sensoren geführt.

Diese enorme Komplexität soll anhand des Beispiels Zentrum für Licht-Materie Interaction (LISA^{+}), Sensoren & Analytik der Universität Tübingen illustriert werden, zu dem sich achtzehn Forschungsgruppen aus Physik und Chemie zusammengeschlossen haben (vgl. NTEC 2012): Die beteiligten Forscher haben sich zum Ziel gestellt, ihre vorhandenen Expertisen in engem Zusammenspiel von Theorie und Experiment sowie durch gemeinsame Nutzung und Erweiterung der experimentellen Techniken und Apparaturen weiter zu bündeln und für die Entwicklung neuer Messmethoden nutzbar zu machen. Das Projekt vereint bereits bestehende Kooperationen aus den Bereichen Center for Collective Quantum Phenomena and their Applications, Center for Light Harvesting and Nanophotonics sowie zu Sensoren. Zu diesem Gesamtkomplex gebündelt tragen 15 Arbeitsrichtungen bei, das sind: Theoretische Festkörperphysik, Quantenchemie, Nano-Atomphysik, Quantenoptik, Quanten-Ionen-Interferometrie, Supraleitende & magnetische Schichtstrukturen, Analytische Chemie, Astrophysik, Nano-Biophysik & medizinische Physik, Physik der molekularen & biologischen Materie, Photosynthese & Einzelmolekülspektroskopie, Oberflächen & Grenzflächen, Dünne Schichten, Nanooptik & Spektroskopie einzelner Quantensysteme, Nanostrukturen & mesoskopische Physik, Computational cold atom physics.

Wie betont, ist das lediglich ein Beispiel für viele andere komplexe Forschungsstrukturen und -kooperationen. die sich herausgebildet haben und es soll zeigen, dass ein besonderes Merkmal der Nanotechnologie nicht nur in der Vielfalt der Anwendungsgebiete sondern auch in der Vielfalt der Forschungsgebiete, ihrer wissenschaftlichen Verzahnung sowie der innewohnenden Potenz zur Geburt immer neuer Forschungszweige im wissenschaftlichen Neuland ist.

6 Kurzes Resümee

Eine physikalische Ursache für ihre besonderen technologischen Eigenschaften geht darauf zurück, dass die Nanotechnologie in Längenskalen vorstößt, bei denen Oberflächeneigenschaften gegenüber den Volumeneigenschaften von Festkörperstrukturen in den Vordergrund treten oder sogar dominieren. Dabei gewinnen spezifische quantenphysikalische und -chemische Effekte eine zunehmende Bedeutung, ebenso wie das bei der weiteren Miniaturisierung der Computertechnik der Fall ist. Neue Erkenntnisse der Quantenphysik und -chemie schlagen schnell um in neue technologische Prozesse mit weitreichenden praktischen Anwendungen – das ist ein Merkmal der modernen Wissensgesellschaft. Der vorliegende Kurzbeitrag zum 6. Symposium für Allgemeine Technologie konnte sich nicht zur Aufgabe stellen, dieses Gebiet mit enormer Breite in auch nur annähernder Vollständigkeit zu beschreiben, sondern lediglich einen Eindruck von dem Innovationspotential der Nanotechnologie für die Wirtschaft, mit dem hier gewählten Schwerpunkt Energietechnik, sowie andere gesellschaftliche Bereiche, insbesondere für die Wissenschaftsentwicklung selbst, zu beleuchten. Die Vorhersage scheint nicht zu hoch gesteckt, wenn man die Erwartung ausspricht, dass durch diese Forschungen im Grenzbereich zwischen Mikro- und Makrokosmos auch künftig gravierende neue wissenschaftliche Erkenntnisse mit weitreichender praktischer Wirksamkeit entstehen werden. Insofern besteht ein eindeutiger Bezug zur Thematik dieses Symposiums, da ein Zusammenhang zwischen den Fortschritten bei der wissenschaftlichen Erkundung und praktischen Implementierung der Nanotechnologie als einem tragenden Element der Wissensgesellschaft und der künftigen Entwicklung der menschlichen Gesellschaft insgesamt besteht, insbesondere hinsichtlich des angestrebten Energiewandels, der Umweltverträglichkeit, Nachhaltigkeit durch Ökonomie der verfügbaren Rohstoffe und Ressourcen sowie der materiellen Absicherung der Bedürfnisse einer weltweit wachsenden Menschheit, inklusive ihres wachsenden Nahrungsmittel- und Energiebedarfs.

Abschließend sei Professor Dr. Martin Strohrmann, Senior Vice President, Material Physics & Analytics, BASF, zu den Perspektiven der Nanotechnologie für die Energiewende in Deutschland zitiert, der diese Erwartungen prägnant fasst:

> „Die Nanotechnologie ist aus unserem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken. Sie ist ein starker Investitionstreiber bei der Entwicklung nachhaltiger Lösungen, die wir benötigen um den großen Herausforderungen unserer Zeit zu begegnen. Ihr Potential hat sie noch lange nicht voll entfaltet. Wie wir unsere hoch ge-

steckten Ziele wie zum Beispiel die Energiewende erreichen – ob mit oder ohne nano – wird zwar letztlich egal sein. Ich bin aber sicher, es geht nicht ohne Nanotechnologie“ (zitiert nach BMBF 2013, S. 21).

Literatur

Abstreiter, G. (2014): Die Dimension macht den Unterschied – niedrigdimensionale Halbleiterstrukturen sind die Basis für viele neue Effekte. In: Physik Journal, Jg. 13, Nr. 8/9, S. 29–34

Kohlert, Chr. (2011): Nanotechnologie: Vor- und Nachteile der Anwendung für polymere Folien. In: Banse, G:; Reher, E.-O: (Hg.): Ambivalenzen von Technologien. Berlin, S. 117–129 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 112)

Kuhlbusch, T. A.; Krug, H. F.; Nau, K. (2009): NanoCare: Health Related Aspects of Nanomaterials. Final Scientific Report. Frankfurt am Main u.a.O.

Novoselov, K. S.; Geim, A. K.; Morozov, S. V.; Jiang, D.; Zhang, Y.; Dubonos, S. V.; Grigorieva, I. V.; Firsov, A. A. (2004): Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. In: Science, No. 306, pp. 666–669

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2014): nano.DE-Report 2013. Status quo der Nanotechnologie in Deutschland. Berlin

NTEC (2012): nanoTechnologie aktuell, Ausgabe 5. Lampertheim (Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen)

NTEC (2013): nanoTechnologie aktuell, Ausgabe 6. Lampertheim (Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen)

NTEC (2014): nanoTechnologie aktuell, Ausgabe 7. Lampertheim (Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen)

Paschen, H.; Coenen, Chr.; Fleischer, T.; Grünwald, R.; Oertel, D.; Revermann, C. (2003): Nanotechnologie. Berlin (Büro für Technikfolgeabschätzung beim Deutschen Bundestag) (TAB-Bericht Nr. 92)

Schaaf, P. (2014): Kleine Werkstoffe für die große Energiewende. In: nanoTechnologie aktuell, Ausgabe 7. Lampertheim (Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen), S. 40–44

Seyller, T. (2013): Graphen – Mulitalent unter den Nanomaterialen. In: nanoTechnologie aktuell, Ausgabe 5. Lampertheim (Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen), S. 16–20

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 151–157*

Horst Goldhahn, Jens-Peter Majschak

Hoch effiziente Maschinensysteme für die individualisierte Massenproduktion

1 Einführung

Verarbeitungsmaschinen stellen aus Natur- und Kunststoffen Massenbedarfsgüter für den täglichen Konsum mit hoher Produktivität her. Je nach Abgrenzung finden sich nach eigenen Recherchen in zentralen Statistiken variierende Angaben, nach denen der Anteil von Verarbeitungsmaschinen am Produktionsvolumen des deutschen Maschinenbaus zwischen 8% und 25% beträgt. In verfahrenstechnischen Prozessen werden aus Rohstoffen Grundstoffe hergestellt, die durch Weiterverarbeitung in Verarbeitungssystemen zu Endprodukten mit geometrisch definierter Form gebracht, gegebenenfalls zusammengefügt und verpackt werden müssen, um dem Kunden als Konsumgüter angeboten werden zu können.

Da die Unterscheidung zwischen teilweise autarken Baugruppen (Modulen), Maschinen und aus verketteten Maschinen bestehenden Anlagen im Zuge der fortschreitenden Modularisierung und Dezentralisierung von Antriebs- und Steuerungstechnik immer schwieriger wird und da die meisten Aussagen ohnehin auf alle drei Kategorien zutreffen, ist es zweckmäßig, von Verarbeitungssystemen zu sprechen. Um jedoch eingeführte Begriffe benutzen zu können, soll im Folgenden stellvertretend der Begriff Verarbeitungsmaschine verwendet werden. Zu den Verarbeitungsmaschinen gehören Kunststoff-, Glas-, Keramik-, Papier-, Papierverarbeitungs-, Nahrungsmittel-, Pharmazeutische, Druck- und Verpackungsmaschinen sowie zahlreiche Sondermaschinen.

2 Besondere Auswirkungen von Verarbeitungsmaschinen in der Wertschöpfungskette am Beispiel der Lebensmittelverarbeitung und -verpackung

In Verarbeitungsmaschinen kreuzen sich komplexe Stoff-, Energie- und Informationsströme. Es werden vorwiegend Verarbeitungsgüter aus biogenen

Stoffen oder Kunststoffen verarbeitet, deren Verarbeitungsverhalten wegen stark vernetzter, schwankender und oft unbekannter Einflussparameter nicht hinreichend oder nur mit erheblichem Aufwand analysierbar und modellierbar ist. Daher ist die Bestimmung der Eigenschaften dieser Verarbeitungsgüter entlang der Wertschöpfungskette zwar im Sinne einer effizienten Verarbeitung und einer final hohen Produkt- und Verbrauchersicherheit sehr wünschenswert, stellt aber heute noch eine große Herausforderung dar. Risiken für die Stabilität der Hochleistungsprozesse müssen dennoch minimal gehalten, Risiken für den Verbraucher nach bestem Wissen ausgeschlossen werden. Da angesichts der hohen Produktivität selbst kurze Stillstände zu hohen Produktionsverlusten führen, sind die Anforderungen an Zuverlässigkeit, Standzeit der Werkzeuge, kurze Stillstandszeiten für Reinigen, Umrüsten, Sterilisieren oder Formatwechsel enorm. Branchenbedingt existieren teilweise schwierige Einsatzbedingungen wie abrasive Stäube, Sterilproduktion, Reinigung mit chemischen, mechanischen, fluidtechnischen und thermischen Mitteln (häufig auch kombiniert eingesetzt) oder durch teilweise niedrig qualifiziertes Bedienpersonal. Hinzu kommt die Komplexität von Systemen, in denen in der Regel große Teile der Herstellung sowie die Verpackung vom unverpackten Produkt bis hin zur beladenen und gekennzeichneten Palette verkettet und durchautomatisiert ablaufen.

Daraus resultieren vielfältige Wechselwirkungen, komplizierte und sehr dynamische Fehlerfortpflanzungsmechanismen, die es zu beherrschen gilt. Nicht selten bewirkt die Überwachung und Beherrschung von Risiken neben dem ohnehin großen Aufwand für die Funktionserfüllung noch einen erheblichen Zusatzaufwand. Beispielhaft sei hier die Gewährleistung eines einwandfreien Hygienezustandes von Lebensmitteln genannt. Sie macht mangels Möglichkeiten eines permanenten Monitorings repräsentative Stichprobenuntersuchungen an hergestellten Produkten ebenso notwendig wie regelmäßige Reinigungs- und gegebenenfalls Sterilisationsmaßnahmen an den Maschinen, Apparaten und relevanten Teilen der Produktionsumgebung.

Dabei ist das Ziel, Produktverunreinigungen durch Vorprozesse, die Maschinen selbst oder die Prozessumgebung sicher auszuschließen und so die entsprechend lautenden gesetzlichen Vorgaben zu erfüllen. Da derartige Maßnahmen immer auch in Verbindung mit Produktwechseln notwendig werden, steigt der Aufwand aufgrund steigender Produktvielfalt und damit sinkender Auftragsgrößen seit Jahren an. So belegten Betriebsdatenanalysen in einer Molkerei bereits 2009, dass in Milchverarbeitungsanlagen die Zeit zum Reinigen und Sterilisieren bis zu 20% der zur Verfügung stehenden

Maschinenarbeitszeit ausmacht (vgl. Weile 2009). Jüngere Untersuchungen erbrachten teilweise noch höhere Werte, und das nicht nur in der Molkerei-, sondern beispielsweise auch in Pharma-Prozessen.

Der Trend zu individuell gestalteten Produkten führt zunehmend zur informationellen Verknüpfung von Bestell-, Produktions-, Auslieferungs- und Abrechnungsprozessen. Sie schaffen zusätzliche Komplexitätsebenen, die zwar insgesamt eine höhere Effizienz zum Ziel haben, die jedoch vom *einzelnen* handelnden Menschen sowohl beim Einsatz der Maschinen (Konsumgüterproduktion) wie auch bei ihrer Entwicklung und Herstellung (Maschinenbau, Automatisierungstechnik usw.) nur noch schwer zu überschauen sind.

3 Entwicklungsstufen

Im Zuge der Entwicklung von Verarbeitungsmaschinen von genialen mechanischen Einzellösungen zu standardisierten hochflexiblen und -effizienten modularen Systemen haben sich die Anforderungen an die Entwickler, Methoden und Werkzeuge deutlich verändert.

Zu Beginn des 20. Jh.s waren die genialen Ideen Einzelner und ihre handwerklichen und unternehmerischen Fähigkeiten zur Umsetzung dieser Idee maßgebend für die Entstehung und Entwicklung der Mechanisierung der Konsumgüterproduktion. Alsbald führten die im Zuge des Wettbewerbs und des gesellschaftlichen Bedarfs wachsenden Anforderungen an Produktivität und Effizienz zu immer höheren Maschinengeschwindigkeiten. Im Zeitalter zentraler Antriebstechnik rückte damit die Mechanismentechnik als Kernkompetenz in den Mittelpunkt des Verarbeitungsmaschinenbaus. Durch Erreichen von physikalischen Belastungsgrenzen der Verarbeitungsgüter, die immer stärkere Prozessverkettung und steigende Qualitätsanforderung nahm dann zunehmend der Prozess der Verarbeitung selbst eine dominierende Rolle in Entwicklungs- und Optimierungsansätzen ein. Es bildete sich die Spezifik der Fachrichtung als interdisziplinäre Verbindung aus verfahrens- und verarbeitungstechnischer sowie maschinenbaulicher Kompetenz heraus.

Ein weiterer Wandlungsprozess trat mit dem Zeitalter mechatronischer Systeme ein: Sie ermöglichten es, in weit besserem Maße, auf Prozessspezifika und Schwankung von Prozessbedingungen dediziert und wirkstellennah zu reagieren, und lieferten eine völlig neue Basis für prozessorientierte Steuerung und Regelung und eröffneten auch in maschinenbaulicher Hinsicht völlig neue Potenziale zur Effizienzerhöhung. Als Beispiel seien Massereduzierung, Minimierung mechanischer Getriebe (mit entsprechender Schmierung) genannt, die wiederum statt Guss- auch rationelle Blechkonstruktio-

nen im Stütz- und Hüllsystem ermöglichte. Gleichzeitig waren aber nun vom Maschinenbauunternehmen weitere Kompetenzen in Verbindung mit Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik und Informatik bereitzuhalten. Umso stärker wuchs auch die Bedeutung der Prozesskompetenz: war es zuvor „nur“ notwendig und möglich, aus den Prozessanforderungen und Verarbeitungseigenschaften abgeleitete Bewegungsanforderungen direkt in „Hardware“, also in Mechanismen abzubilden und so eine direkte Verbindung aus Erfahrung und maschinentechnischer Realisierung herzustellen, machte die Programmierung von elektronischen Steuerungen eine explizite Formulierung von Zusammenhängen und Quantifizierung von Parametern zwingend notwendig.

Dieser Trend setzt sich in Gegenwart und Zukunft fort, wenn Modularisierung, adaptive und selbstkonfigurierende Systeme helfen sollen, die weiter steigenden Anforderungen an Flexibilität, Sicherheit und Effizienz zu erfüllen. Um im Sinne einer Optimierungsmöglichkeit verschiedene Alternativen aufstellen zu können, wird die Funktionsabfolge (im Sinne der VDI-Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“; vgl. VDI 1993) als Funktionsstruktur speziell bezogen auf den Funktionsbereich Stoff, im sogenannten innermaschinellen Verfahren abgebildet.

Die Variation der Topologie bzw. Morphologie des innermaschinellen Verfahrens gestattet prospektive Abschätzungen der Folgen für den Aufbau der übrigen Funktionsbereiche und somit erste Effizienzvergleiche zwischen alternativen Verfahrensvarianten. Diese konsequente Umsetzung einer funktionsorientierten Analyse und Synthese von Verarbeitungsverfahren und -maschinen gewinnt auch in dem Maße an Bedeutung, wie der Entwicklungsprozess in interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Verfahrenstechnik-, Mechanik-, Elektrik-, Software- und weiteren Spezialisten übergeht. Schon heute beträgt der Anteil der Softwareentwicklung bis zu 60% am Arbeitsaufwand bei der Entwicklung einer Verarbeitungsmaschine. Gerade dadurch wird die explizite Beschreibung der zu realisierenden Vorgänge zur Voraussetzung für die Abbildung in Software anstelle festkörpermechanisch festgelegter Funktionszusammenhänge.

In zukünftigen Szenarien (vgl. etwa BMBF 2013) geht man davon aus, dass anstelle vordefinierter Verbindungen zwischen Teilprozessen die beteiligten Module selbst untereinander kommunizieren und sich zu einem optimalen Gesamtverfahren konfigurieren. Basis hierfür sind hochintegrierte elektronische Komponenten (embedded systems), die die Anbindung der einzel-

nen Module und Komponenten an Netzwerke ermöglichen. Über diese Netzwerke werden Informationen zum herzustellenden Produkt, übergeordneten, vor- und nachgelagerten Prozessen (Lebensweg des entstehenden Produktes und ein sich dabei immer weiter vervollständigendes virtuelles Abbild desselben) mit dem virtuellen Abbild der Prozesskomponenten verbunden. Das schrittweise herzustellende Produkt soll praktisch selbst durch den Herstellungsprozess navigieren und die einzelnen Herstellungsschritte inklusive ihrer notwendigen Parametrierung induzieren. Dies ermöglicht maximale Flexibilität für eine nachfragegetriebene Produktion in vollständig vernetzten Produktions- und Distributionsumgebungen. Voraussetzung hierfür ist aber eine weitgehend vollständige Welt an digitalen Material-, Prozess-, Struktur- und Verhaltensmodellen, um die notwendige Effizienz und Sicherheit der Prozesse und letztlich der Produkte zu gewährleisten. Vom heutigen Stand der Technik aus betrachtet stellt das für Verarbeitungsprozesse eine enorme Herausforderung dar. Entwicklungen, die in diese Richtung treiben, sind aber selbst in der Lebensmittelindustrie deutlich sichtbar, wenn man beispielsweise auf die Entwicklung der Lebensmittelmärkte schaut. So wächst der (weitgehend internetbasierte) Versandhandel innerhalb Europas seit einigen Jahren mit zweistelligen Wachstumsraten (vgl. Welt 2013).

4 Herausforderungen und Chancen

Die besonderen Herausforderungen der gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklung liegen in

- einer neuen globalen Arbeitsteilung,
- neuen Möglichkeiten und Anforderungen bezüglich des Umgangs mit Ressourcen,
- individualisierter Massenproduktion: Flexibilität vs. Effizienz,
- Produktsicherheit in volatilen Wertschöpfungsketten,
- grundlegend neuen Konzepten für die Mensch-Maschine-Interaktion (versus Substitution menschlicher Bediener),
- neuen Methoden und Werkzeugen interdisziplinären Entwickelns und damit
- der Ausbildung interdisziplinär agierender Fachkräfte ohne Verlust wichtiger Kernkompetenzen.

Globalisierter Wettbewerb schafft u.a. den Druck zur Differenzierung und damit zur Individualisierung von Konsumgütern. Um dennoch effizient und nachhaltig zu produzieren, bedarf es teilweise gänzlich neuer Verfahren

bzw. neuartiger maschinentechnischer Umsetzungen: hoch parametrierbar, modular, adaptiv/selbst optimierend. Dies trifft sowohl auf die verarbeitungs- und verfahrenstechnischen Grundvorgänge wie auch auf die peripheren Prozesse der Detektion/ Kontrolle (Sensoren, Bildverarbeitung, sensorlose Diagnosesysteme), des Umrüstens (Werkzeugwechsel-, Verstell- und Zuführsysteme), der Reinigung und der Sterilisation zu. Da vom gegenwärtigen Standpunkt schwer absehbar ist, dass eine solch hochflexible und dennoch effiziente und sichere Produktion bedienerlos zu realisieren ist, stellt sich die Frage nach neuen Konzepten für den Umgang des Menschen mit hochkomplexen Automatisierungssystemen noch in verschärfterem Maße. Damit ist sowohl die Mensch-Maschine-Interaktion in der Maschinenanwendung (Konsumgüterproduktion) gemeint, wie auch in der Entwicklung und Herstellung der Produktionssysteme (Verarbeitungsmaschinen) selbst. Letztere wird nicht nur in Deutschland nahezu vollständig von mittelständischen Unternehmen geprägt. Schon heute stehen diese Unternehmen mit mehr als 80% Exportanteil vor der Frage, wie man wirtschaftlich vertretbar global verteilte Zielmärkte bedient, in denen die Systeme auf teilweise große Unterschiede hinsichtlich ihrer Betriebsbedingungen angepasst sein müssen. Insbesondere kulturell wie fachlich völlig unterschiedlich geprägte Bediener sollen mit komplexen Hightech-Systemen effizient und sicher Konsumgüter produzieren, die wie Lebensmittel schon aus Gründen des Verbraucherschutzes hohen und höchsten Qualitätsanforderungen genügen sollen.

Die Summe aller umrissenen Anforderungen verbreitert das Spektrum der im Maschinenbau benötigten Fachkompetenzen auf Spezialisten wie Konstrukteure, Verfahrenstechniker, Mikrobiologen, Strömungstechniker, Elektro-/Automatisierungstechniker, Softwareentwickler, Ergonomen, Werkstoffwissenschaftler, Mediengestalter, ...

Es ist gerade vor dem Hintergrund des steigenden Anforderungsniveaus unwahrscheinlich, dass sich derartige Kompetenzen in Einzelpersonen vereinigen lassen. Einzige Alternative ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Spezialisten. Vor den Forschungs- und Bildungseinrichtungen stehen damit folgende Aufgaben:

- Abbau von Sprach-, Methoden-, Modell-, Wissens- und Erfahrungsdefiziten;
- Bereitstellung von formalisiertem Wissen (Idealform digitales Modell), wobei eine besondere Herausforderung die Verarbeitung von Natur- und Kunststoffen ist;

- Interdisziplinäre Netzwerke in sowie zwischen Wissenschaft und Industrie ermöglichen bzw. befördern interdisziplinäres Denken, Finden, Kommunizieren und Kooperieren;
- Fachübergreifende Werkzeuge und Arbeitsplattformen auf der Basis von integrierenden Sprachen, Methoden und Werkzeugen.

Sowohl für Maschinenbauer, ihre Lieferanten wie auch ihre Kunden stellen sich zudem neue Fragen über interdisziplinäre Wertschöpfungsmodelle:

- Wer verkauft das Produkt, wer die Maschine, wer die Technologie samt der dazu benötigten Modelle?
- Wer versteht den Prozess, der Maschinenbauer oder -betreiber, der Lieferant von Automatisierungskomponenten oder ein Engineering-Dienstleister?
- Kommen Prozess- oder Materialmodelle aus dem Datawarehouse und wer betreibt oder beliefert dieses?

Wenn auch viele dieser Fragen für den Bereich der Massenverbrauchsgüterproduktion zunächst noch irrelevant scheinen, liefert die jüngere Entwicklung spezieller Branchen wie der Softwareindustrie oder der Druck- und Medienindustrie interessante Anschauungsbeispiele.

Literatur

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.) (2013): Zukunftsbild Industrie 4.0. Berlin. – URL: www.bmbf.de/pubRD/Zukunftsbild_Industrie_40.pdf

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (1993): Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“. Düsseldorf (VDI)

Weile, F. (2009): Condition Monitoring aus Sicht des Anwenders. Vortrag VDMA-Workshop „Condition Monitoring“, Frankfurt am Main, 08.05.

Welt (2013): Der Lebensmittel-Versand wächst zweistellig. In: DIE WELT, 12.7. – URL: http://www.welt.de/wirtschaft/article117989580/Der-Lebensmittel-Versand-waechst-zweistellig.html

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 159–167*

Peter Schwarz

Technologiewandel und Nachhaltigkeit beim Übergang von der Industriegesellschaft zur Wissensgesellschaft

1 Der Übergang von der Industrie- zur Wissensgesellschaft

Für meine Betrachtungen bin ich von den bekannten Definitionen für die Industrie- und Wissenschaftsgesellschaft ausgegangen. Wie lässt sich nun unsere Gesellschaft aktuell charakterisieren? Es werden je nach Sichtweise unterschiedliche Begriffe gebraucht, wie

- Industriegesellschaft,
- Risikogesellschaft,
- Klassengesellschaft,
- Dienstleistungsgesellschaft,
- Kommunikationsgesellschaft,
- Erlebnisgesellschaft,
- Multioptionsgesellschaft oder auch
- Wissensgesellschaft.

Wenn man die Entwicklung unserer Gesellschaft betrachtet, so hat sie weder einen stetigen noch einen linearen Verlauf. Die Betrachtung der aktuellen Lage in der Welt verdeutlicht diese Aussage, wir erkennen unterschiedliche Entwicklungsdynamiken. Hier schließe ich mich für meine Ausführungen der aktuellen Bewertung des Instituts für Technikfolgeabschätzung und Systemanalyse (ITAS) an, die da lautet: „[...] der Übergang zur Wissensgesellschaft wird gegenwärtig als zentrale gesellschaftliche Entwicklung angesehen“.[1]

Als Wissensgesellschaft wird eine Gesellschaftsformation in hoch entwickelten Ländern bezeichnet, in denen individuelles und kollektives Wissen und seine Organisation vermehrt zur Grundlage des sozialen und ökonomischen Zusammenlebens wurde.[2] Der Übergang selbst umfasst alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens, wie

1 https://www.itas.kit.edu/wuw.php.
2 Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Wissensgesellschaft.

- die Wirtschaft,
- die Technologie,
- die Konsumenten,
- die Umwelt,
- die Sozialsysteme,
- die Länder und Kommunen.

Dieser Übergangsprozess hat eine hohe Veränderungskraft. Sein Gegenstandsbereich ist die globalisierte Welt. In den hoch industrialisierten Volkswirtschaften unterscheidet sich die Entwicklungsdynamik stark von der in den Schwellenländern und in den Entwicklungsländern.

Die globale Entwicklung lässt sich durch so genannte Groß- oder Megatrends charakterisieren wie

- die Globalisierung als andauernder Prozess,
- die Entwicklung einer neuen politischen Weltordnung,
- die stetig wachsende globale Bedrohung der Sicherheit,
- das Umsteuern bei Energie- und Ressourcenverbrauch (aktuell: Energiewende),
- der Klimawandel und die Umweltbelastung,
- der Wandel in der Arbeitswelt,
- die Konvergenz von Technologien, d.h. die fachübergreifende Zusammenarbeit,
- das digitale Leben,
- neue Mobilitätsmuster,
- demografischer Wandel,

um nur einige der 20 aktuell definierten Megatrends zu nennen. Sie sind die Triebkräfte der gesamtgesellschaftlichen Entwicklung (vgl. FhG-ISI 2013; Horx 2012). Als Hauptmerkmale des Überganges zur Wissensgesellschaft lassen sich identifizieren:

- Wissen wird zum strategischen Faktor für Produkte und Dienstleistungen;
- Wissen wird immer stärker vernetzt; dezentrale Wissenspotenziale werden in interdisziplinärer Zusammenarbeit zusammengeführt und so in ihrer Wirkung verstärkt;
- das Wissen selbst und seine effektive Nutzung ist der entscheidende Faktor im internationalen Wettbewerb: „Wissen ist Macht“ – diese auf Francis Bacon zurückgehende Aussage, die Wilhelm Liebknecht 1872 aufgriff, ist aktueller denn je;

- die wissenschaftlichen Ergebnisse werden zur strategischen Ware und u.U. auch zur Waffe im internationalen Wettbewerb.

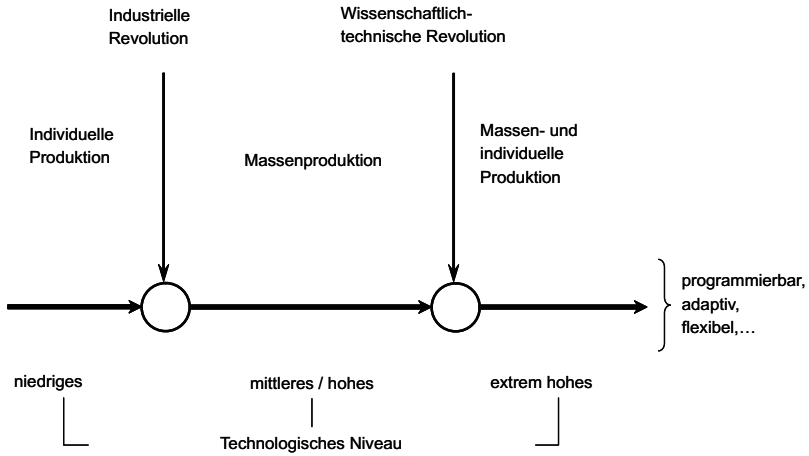
Die wissenschaftliche und technische Weiterentwicklung in allen Bereichen ist Voraussetzung für die Entwicklung der Gesellschaft. Motor des Überganges zur Wissensgesellschaft ist wiederum der wissenschaftlich-technische Fortschritt. Dieser bewirkt die Weiterentwicklung u.a.

- der technologischen Prozesse,
- die bessere Ausnutzung der Arbeitsgegenstände und
- die Vervollkommnung der Produkte

auf der Basis bekannter Verfahren bzw. der Entwicklung völlig neuer Technologien.

Nach Arnim Bechmann erfolgte bereits im 20. Jh. eine unumkehrbare Verschiebung des Primates der Produktionssektoren (vgl. Bechmann 2004). Dieser Wandel wurde von Peter Weingart in seiner Arbeit „Die Stunde der Wahrheit? Zum Verhältnis der Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft“ schon 2001 sehr prägnant dargestellt (vgl. Weingart 2001). Die mit dieser Verschiebung verbundene stetig weitergehende Automatisierung ist nicht ohne gesellschaftliche Wirkungen (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Geschichtlicher Zusammenhang zwischen Industrialisierung und Automatisierung



Quelle: nach Balzer 2011, S. 155

Es ist und bleibt eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, den wissenschaftlich-technischen Fortschritt optimal zu organisieren, um negative Folgen weitestgehend zu vermeiden. Ich denke dabei an solche Aspekte wie z.B.

- Wirtschaftswachstum und wissenschaftlich-technischer Fortschritt,
- Arbeitsentlastung und Steigerung der Lebensqualität durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt,
- Effizienzsteigerung des Ressourceneinsatzes mit Hilfe des wissenschaftlich-technischen Fortschritts,
- Zuwachs an Wissen und Können,
- bessere Nutzung der verfügbaren Zeit,

aber auch an

- Arbeitslosigkeit infolge des wissenschaftlich-technischen Fortschritts (vgl. Skirke 1997).

2 Allgemeine Technologie und Technologiewandel

Beim Übergang zur Wissensgesellschaft kommt es zu einem Orientierungswechsel des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, wie Tabelle 1 zeigt.

Die Wissensgesellschaft ist nicht nur eine Gesellschaft, in der stetig neues Wissen generiert wird, sondern ist sie auch in der Lage, dieses Wissen zu

Tabelle 1: Orientierungswechsel des wissenschaftlich-technischen Fortschritts beim Übergang zur Wissensgesellschaft

Industriegesellschaft	Wissensgesellschaft
Untersuchung der materiellen Strukturen des Naturgeschehens (Entwicklung von Mechanik, Physik, Biophysik, Chemie, Biochemie, Energietechnologie, Atomkraftnutzung, ...).	Nutzung der Errungenschaften der Industriegesellschaft. Fokus das Erkennen der die Naturgesetze „steuernden“ Gesetzmäßigkeiten. (Die neuen Wissenschaften sind die Systemtheorie, die Kybernetik, die Informationswissenschaften.) Informationsermittlung und Informationsverarbeitung spielen in der Wissensgesellschaft eine zentrale Rolle.
Erkenntnismäßige Durchdringung der materiellen Prozesse.	Das Erkenntnisinteresse liegt auf der Wirksamkeit des Geistigen in der Materie und damit des Geistigen in der Welt.

Quelle: nach Bechmann o.J., S. 25ff.

handhaben. Dazu ist ein effektives Wissensmanagement erforderlich, das zum einen die Entwicklung des Humankapitals sicherstellt und zum anderen die erforderliche Infrastruktur zur Nutzung des Wissens bereitstellt.

Der Bezug auf die „Allgemeine Technologie“ wird von Dietrich Balzer im geschichtlichen Zusammenhang zwischen Industrialisierung und Automatisierung dargestellt (vgl. Balzer 2011, S. 154f.). Der Technologiewandel ist eine Folge des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und mit dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt als Triebkraft.

Ein Ausdruck für den neuen Umgang mit Wissen, dessen vernetzte Anwendung und seine Durchdringung aller Gesellschaftsbereiche ist z.B. die Anwendung der Cluster-Strategie. Hierbei werden durch die vertikale und horizontale Vernetzung komplexe Aufgabenstellungen mit hoher Effektivität bearbeitet und die dezentralen Wissenspotenziale global genutzt. Beispiele dafür sind z.B.:

- Cluster Chemie – Kunststoffe Mitteldeutschland;
- Cluster Metropolregion Mitteldeutschland;
- Cluster IT Mitteldeutschland;
- Bio Economy Cluster Mitteldeutschland
- Clusterstrategie Energietechnik.

Sie sind Beispiele dafür, dass der Übergang in die Wissensgesellschaft im vollen Gange ist und eine Vielzahl von Akteuren zu gleichen und ähnlichen Themen arbeitet. Die notwendige Vernetzung zum Erzielen einer hohen Effektivität liegt noch als Aufgabe vor uns. Für die Übergangsphase ist dieser Umstand sicher nicht unnormal.

3 Nachhaltigkeit und Technologiewandel

Diesem Abschnitt stelle ich die „Definition“ aus dem Bericht der „Weltkommission für Umwelt und Entwicklung“ (auch „Brundtland-Kommission“ genannt) von 1987 voran: Nachhaltig ist eine Entwicklung

> „die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, daß künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“ (Hauff 1987, S. 46).

In dieser Definition sind zwei Aspekte wesentlich, *erstens* der Begriff Bedürfnis (hier müssen die Grundbedürfnisse der Ärmsten in der Welt das Primat haben) und *zweitens* der Gedanke von Beschränkungen, die der Stand des technologischen Niveaus und die soziale Struktur der Länder auf die

Umwelt ausüben, um gegenwärtige und zukünftige Bedürfnisse zu befriedigen. Das müsste der eigentliche Maßstab für die künftige wirtschaftliche und soziale Entwicklung in allen Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern sein. Der Bevollmächtigte der Bundesrepublik in der Brundtland-Kommission, Volker Hauff, schrieb in seinem Vorwort zum Bericht es gehe um:

> „eine Entwicklung, die den Bedürfnisse der heutigen Generationen entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen. Die Forderung, diese Entwicklung ‚dauerhaft' zu gestalten, gilt für alle Länder und alle Menschen" (Hauff 1987, S. XV).

Eine 1987 als sicherbar betrachtete Aussage – die Handlungen bis in die heutige Zeit zeigen ein anderes Bild:

- Der bisher ungebremste Klimawandel,
- die Energiewende in Deutschland mit ihren bekannten Problemen,
- die Ausbeutung der Ressourcen der Entwicklungsländer durch die Industrieländer,
- die Vormachtpolitik der Industriestaaten gegenüber den Entwicklungsländern,

um nur einige zu nennen.

Das Rahmenprogramm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung FONA sowie die Themen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

- Wirtschaft und Umwelt,
- Produkte und Umwelt und
- Ressourceneffizienz

sind indes der richtige Rahmen, um die Problematik der Nachhaltigkeit voran zu bringen. Ich hoffe, dass in unserer Wissensgesellschaft die Vernetzung zwischen den Ministerien funktioniert und wir die Grundsätze der Nachhaltigkeit gezielt umsetzen.

Der Technologiewandel erfordert aus meiner Sicht neue Konzepte, um die Nachhaltigkeit von Verfahren und Produkten sicherzustellen. Ich sehe dazu folgende vier Handlungsfelder:

- Konzepte für die Nachhaltigkeit in Industrie und Wirtschaft;
- Nachhaltige Nutzungskonzepte für Regionen;

- Konzepte für die nachhaltige Nutzung von natürlichen Ressourcen;
- Konzepte für gesellschaftliches Handeln zur Gewährleistung der Nachhaltigkeit.

Diese Handlungsfelder müssen vertikal und horizontal vernetzt bearbeitet werden. Es werden dann Probleme wie

- die Grenzen der Biogaserzeugung in Verbindung mit dem verstärkten Anbau von Raps und Mais („Vom Landwirt zum Energiewirt"),
- das Schleifen der Altstandorte in der Industrie in Verbindung mit der Steigerung des Neuverbrauchs von Landwirtschaftsflächen für neue Industrieansiedlungen,
- das Wandern der Industrie an die Autobahnen und der Leerstand in Altstandorten,
- die immer weiter fortschreitende Verlagerung des Gütertransportes von der Bahn auf die Straße und deren Überlastung,
- die Entsorgung von Abfällen und Abprodukten mit dem Ziel, die natürlichen Ressourcen zu schonen und die Umwelt zu entlasten.[1]

unweigerlich in den Focus rücken. Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) könnte, um in der IT-Sprache zu bleiben, der Systemadministrator dafür sein und durch eigene wissenschaftliche Arbeit auch Grundlagen für Lösungen schaffen.

Der Technologiewandel – so gewollt und notwendig er ist – erhöht die Anforderungen an die Nachhaltigkeit. Das bedeutet, dass die Entscheidungsprozesse für die Einführung neuer Technologien und Verfahren sowie neuer Produkte einer neuen Qualität bedürfen. Das Argument der Arbeitsplatzsicherung oder deren Neuschaffung kann bei der Entscheidung, eine neue Technologie oder ein neues Verfahren einzuführen bzw. ein neues Produkt herzustellen, nicht wie bisher das „Totschlag-Argument" sein, wenn wir es mit Nachhaltigkeit und Umweltschutz ernst meinen wollen.

Die Sicherung der Nachhaltigkeit wird wohl eines der schwierigsten Probleme der Zukunft sein. Erfolgreich können wir diesbezüglich nur sein, wenn in der Gesellschaft ein Umdenken im Sinne des Brundtland-Berichtes eintritt. Die Frage ist sicher „Wie?". Dazu ist es notwendig, auf allen Entscheidungsebenen in Gesellschaft und Wirtschaft die Theorie des stetigen Wachs-

1 Dazu gibt es aktuell einen interessanten Abschlussbericht der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen im Auftrag des Bundesumweltamtes mit dem Titel „Sachstand zu alternativen Verfahren für die thermische Entsorgung von Abfällen"; Schlussbericht vom 01.09.2014.

tums zumindest zu hinterfragen und die Konsequenzen von Handeln entgegen der Nachhaltigkeit immer wieder aufzuzeigen. Wir müssen davon abkommen, den Begriff der Nachhaltigkeit als Modewort zu verwenden.

Wenn wir in der heutigen Zeit über Nachhaltigkeit sprechen, sind immer die ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte zu betrachten. Wir haben dann nach Balzer eine Vektoroptimierungsaufgabe mit der die Parateo-Menge bestimmt werden kann, also eine Aufgabenstellung, die mit den Möglichkeiten des wissenschaftlich-technischen Fortschritts lösbar ist (vgl. Balzer 2011, S. 158f.).

4 Zusammenfassung und Ausblick

- Das 21. Jh. ist gekennzeichnet durch den Übergang zur Wissensgesellschaft.
- Die Entwicklungsdynamik der Industriestaaten unterscheidet sich stark von der in den Schwellen- und Entwicklungsländern
- Technologiewandel und Wissensmanagement stehen im direkten Zusammenhang zur Evolution der Menschen und der Entwicklung der Natur- und Technikwissenschaften.
- Der wissenschaftlich-technische Fortschritt ist der Motor des Technologiewandels.
- Mit dem Übergang zur Wissensgesellschaft kommt es zu einem Orientierungswechsel des wissenschaftlich-technischen Fortschritts.
- Der Technologiewandel stellt neue Anforderungen an die Sicherung der Nachhaltigkeit bei Technologien, Verfahren und Produkten.
- Die Automatisierung als Ausdruck des wissenschaftlich-technischen Fortschritts ist der Schlüssel für die Entwicklung nachhaltiger Verfahren und Produkte.

Literatur

Balzer, D. (2011): Automatisierung – Fluch und Segen. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch. Berlin, S. 153–160 (Sitzungsbericht der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 112)

Bechmann, A. (o.J.): Das Aufkommen der Wissensgesellschaft. – URL: http://www.uvp-wissensarbeit.orientierungsnetzwerk.de/03_handlungsmanagement/PDF/UVP-QM_03-05.pdf

FhG-ISI – Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2013): Gesellschaftliche Entwicklung 2050. 60 Trendprofile der gesellschaftlichen Entwicklung. Zwischenergebnis 2013. Karlsruhe (FhG-ISI)

Hauff, V. (Hg.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven

Horx, M. (2012): Megatrend Dokumentation. Kelkheim (zukunftsInstitut)

Skirke, U. (1997): Technologie und Selbstorganisation zum Problem eines zukunftsfähigen Fortschrittsbegriffs. Dissertation. Hamburg (Universität Hamburg, Fachbereich Philosophie)

Weingart, P. (2001): Die Stunde der Wahrheit? Zum Verhältnis der Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft. Weilerswist 2001

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 169–175*

Johannes Briesovsky

Technologische Prozessintensivierung durch resonante Pulsationen

1 Einführung

Die Resonanzpulsationstechnik (RPT) ist ein radikal innovatives Prinzip für die Verbesserung verfahrenstechnischer Prozesse und Apparate im Sinne der Prozess-Intensivierung (PI) (vgl. Stankiewicz/Moulijn 2004). Das Fluid bzw. der fluidisierbare Stoff (z.B. Pulver) werden als Fluidsäule zu Eigenschwingungen (Resonanz) im Infraschallfrequenzbereich erregt. Die Infraschallwellen (Eigenschwingungsfrequenz unter 20 Hz) breiten sich mit Schallgeschwindigkeit als Druckänderung aus, wobei diese im Gegensatz zu Ultraschallwellen kaum gebremst werden. Dieser und andere Effekte, z.B. der Annulareffekt (vgl. Richardson/Tyler 1929; Sexl 1930), bewirken radikale Prozessverbesserungen. Die RPT wurde für Flüssigkeiten (vgl. Baird1964) und für Pulver (vgl. Ostrovsky 2000) entwickelt.

Da die Pulsation ohne mechanisch angetriebene Ein- und Anbauten (wie Rührer, Vibratoren, Rüttler oder Schüttler) erreicht wird, erfolgt eine medienschonende und energiesparende Fahrweise. Einsatzbereiche sind vorzugsweise Flüssigphasenprozesse mit Grenzflächen und Wänden sowie die Pulverbehandlung.

Bei dieser Technik wird das Fluid, vorzugsweise eine Flüssigkeit, in ein schwingfähiges System (Modell: U-Rohr-Schwingung, auch Wasserpendel genannt) durch Erregung zur Eigenschwingung (Resonanz) als Feder(Gaspolster)-Masse(Fluid)-Feder(Gaspolster)-System angeregt. Der Apparateboden wird nicht bewegt, was dieses Prinzip von anderen (vgl. etwa Krishna/Ellenberger 2002; Waghmare 2008) prinzipiell unterscheidet.

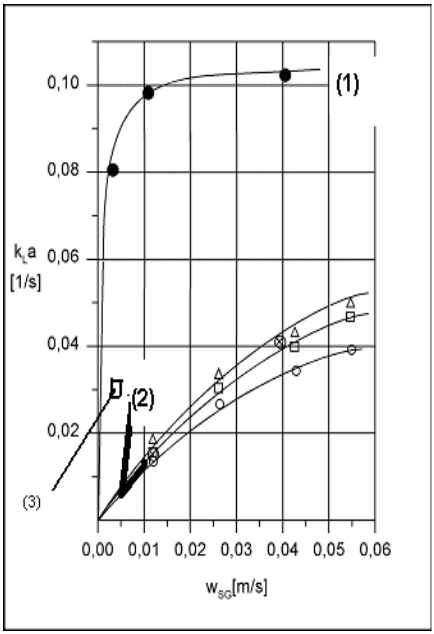
Nachfolgend werden die Prozesse der Flüssigkeitsbelüftung, der Bleicherde-Trocknung und der Flüssig-Flüssig-Extraktion an Beispielen beschrieben.

2 Flüssigkeitsbelüftung

Bei der Pulsationsbelüftung von Reinwasser wurden im Vergleich zur konventionellen Blasensäulenbelüftung wesentliche Steigerungen des Luftsauer-

stoffeintrages erreicht, was auf der Verkleinerung und der Vergleichmäßigung der Blasengrößen und somit der Erhöhung des Gasgehaltes sowie der Grenzschichterneuerung beruht. Die Abhängigkeit des volumenbezogenen Sauerstoffübergangs (kLa-Wert) bei der Luftbegasung von Reinwasser von der Leerrohrgasgeschwindigkeit mit Resonanzpulsation zeigt in Abbildung 1 eine Steigerung von bis zu Eintausend Prozent in dem biotechnologisch interessanten Gasgeschwindigkeitsbereich bis 0,01 m/s bei einer Erregerfrequenz von 28 Hz (Kurve (1) nach Ostrovsky 1990). Diese Steigerungen konnten in einer Versuchsanordnung mit Schwingungen des Apparatebodens (Kurve (2) nach Ellenberger/Krishna 2003) bei einer Frequenz von 60 Hz und einer Amplitude von 0,5 mm, und Versuchspunkt (3) nach Waghmare 2008) bestätigt werden. Blasensäulen ohne Pulsation ergaben wesentlich geringere Werte (untere Kurven nach Ellenberger/Krishna 2002; Ostrovsky 1990; Yu 1994).

Abbildung 1: Abhängigkeit des volumenbezogenen Sauerstoffübergangs bei der Luftbegasung von Reinwasser von der Leerrohrgasgeschwindigkeit ohne (untere Kurven) und mit Schwingungen



Eigene Darstellung

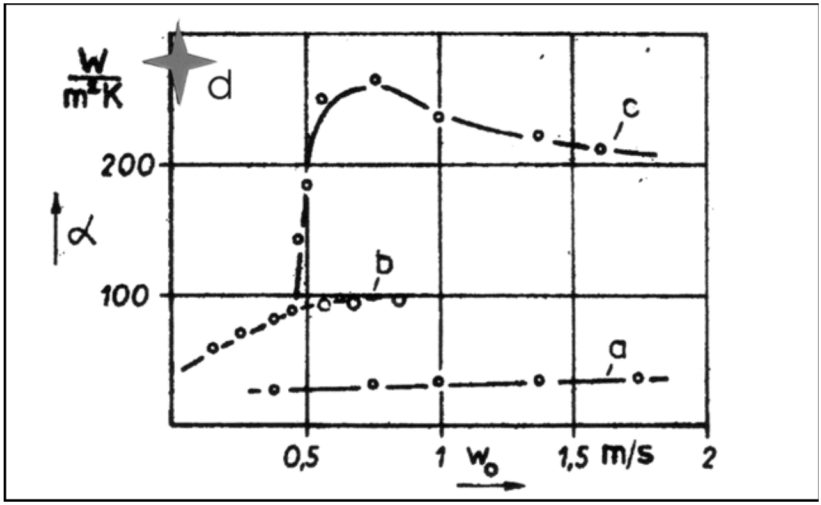
3 Pulvertrocknung

Es wurde die Bleicherde-Trocknung (mittlerer Korndurchmesser 140 µm) in einer elektrisch beheizten Kolonne (Durchmesser 150 mm) durchgeführt. In einer klassischen Wirbelschicht kann das Gut nur unter ganz besonderen Bedingungen getrocknet werden. In Resonanzpulsation entsteht bei einem sehr geringen Fluidisierungs-Luftstrom und einer aufgeprägten Pulsation eine sehr kompakte Wirbelschicht mit einer sehr intensiven Gutbewegung.

Obwohl bei der Resonanzpulsation des Gutes auch immer Gutfontänen auftreten, die das Gut ein Stück in den Gasraum wirbeln, ist die Mitreißrate von Gut durch den Gasstrom sehr gering. Der Grund ist die äußerst niedrige Gasgeschwindigkeit über der pulsierenden Schicht. Dadurch wird die Handhabung des feinkörnigen Produktes in einer Wirbelschicht überhaupt erst möglich. Durch die drastische Verringerung der Wirbelluft wird eine beachtliche Energiemenge für die Luftförderung auch unter Berücksichtigung des zusätzlichen Energieaufwandes für die Erzeugung der Pulsationen eingespart. Die Effektivität dieses Prozesses wird durch die erzielbare Intensitätsgröße für den Wärmeübergang von den Heizflächen an das Gut beschrieben. Diese Größe ist der Wärmeübergangskoeffizient: Je größer dieser Wert ist, umso besser ist der Wärmetransport von den Heizflächen an das Schüttgut. Ein guter Wärmetransport zum Gut ist die Voraussetzung für eine schnelle Trocknung.

Abbildung 2 zeigt eine aus der Fachliteratur (vgl. Heschel/Klose 1971) entnommene Darstellung der Abhängigkeit eines Wärmeübergangskoeffizienten (von Heizflächen an das Wirbelgut) und der Gasgeschwindigkeit in der Wirbelkammer in einem klassischen Wirbelschichtapparat. Die Abbildung zeigt, dass das Gut ab einer Gasgeschwindigkeit von $w_0 \approx 0{,}4$ m/s in den Wirbelzustand übergeht (Kurve c), der mit einer schnellen und deutlichen Verbesserung des Wärmeübergangskoeffizienten verbunden ist. Etwa bei einer Gasgeschwindigkeit von $w_0 = 0{,}7$ m/s bis 0,8 m/s wird der beste Wert des Wärmetransportes von der Heizfläche an das Wirbelgut mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von etwa 260 W/(m^2 K) erzielt. Bei weiterer Erhöhung der Gasgeschwindigkeit sinkt der Wert wieder. Der Stern charakterisiert das Ergebnis der eigenen Messungen für die Wärmeübergangszahl bei einer in Resonanz schwingenden Pulsationschicht. Die Fluidisierungsluft strömte dabei mit einer Geschwindigkeit von $w_0 < 0{,}01$ m/s durch die Apparatur. Aus den Messergebnissen verschiedener Versuchsserien wurde ein Mittelwert des Wärmeübergangskoeffizienten von den Heizstäben an das Gut von 270 W/(m^2 K) ermittelt.

Abbildung 2: Wärmeübergangskoeffizient α bei der Bleicherde-Trocknung in Abhängigkeit von der Leerrohrgasgeschwindigkeit im Pulsationstrockner (d) im Vergleich zur konventionellen Wirbelschicht (c) und einem Festbett (b)

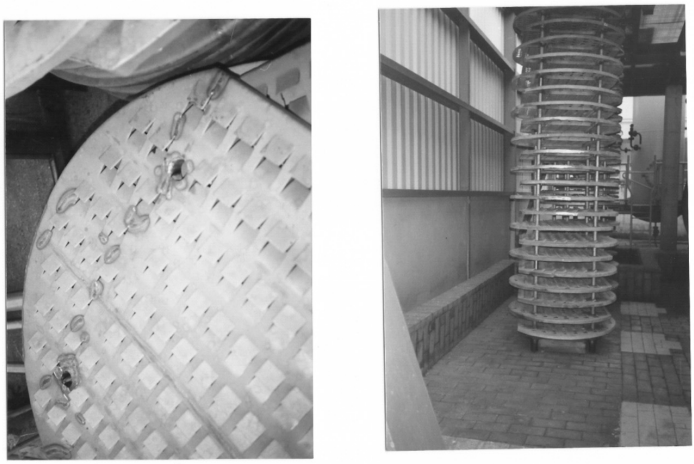


a – Leerrohr; b – Festbett; c – Wirbelschicht; d – Pulsationstrockner
Quelle: nach Heschel/Klose 1971

4 Caprolactam-Extraktion

Caprolactam wird in den Leunawerken bei Leipzig seit den 1940er-Jahren hergestellt (vgl. Pester 2014). Die Extraktion erfolgt seit 1975 in Vibrationsextraktoren (entwickelt von GIAP Moskau). Diese Extraktoren sind Kolonnen von ca. 20 m Gesamthöhe und einer Arbeitsbereichshöhe von 12 m. Darüber und darunter befinden sich Abscheidebehälter der beiden Phasen. Zur Verbesserung des Stoffübergangs von der Kontiphase zur dispersen Wasserphase sind im Arbeitsbereich ca. 100 Böden mit einem Abstand von 150 mm an einem Gestänge aufgehängt (siehe Abbildung 3, rechte Seite), das durch einen Exzentermotor in eine Schwingbewegung gebracht wird. Die Längsbewegung wird durch Gleitlager stabilisiert. Nachteilig ist, dass die Lager verschleißen und die Böden an den Aufhängungen bzw. an den Stegen zwischen den Öffnungen ermüden und reißen. Deshalb müssen die Lager von Zeit zu Zeit erneuert und die Schlitzböden ausgewechselt oder repariert werden (siehe Abbildung 3, linke Seite).

Abbildung 3: Bodenpaket (rechte Seite) und geschweißter Boden (linke Seite) des Vibrationsextraktors



Quelle: Archiv des Verfassers

Es wurde ein U-Rohr-Pulsationssystem konzipiert, das aus dem Schenkel des Industrie-Extraktors und des DN 200-Rohres bestand (siehe Abbildung 4). Für die drucklose Kolonne mit 20 m Füllhöhe wurde eine Resonanzfrequenz von 0,11 Hz errechnet und in den Versuchen 0,09 Hz gemessen. In den Jahren 2001 bis 2003 wurden Tests an drei der insgesamt vier Extraktoren durchgeführt. Diese Tests, die teilweise über mehrere Wochen verliefen, wurden bei laufender Produktion ohne vorherige Pilotversuche durchgeführt und waren sehr erfolgreich. Nach den Tests konnte wieder ohne Produktionsunterbrechung auf die Vibrationseinrichtungen umgeschaltet werden.

Die Antriebsleistung für die Vibrationseinbauten wurde mit 3,5 kW berechnet, im Original sind jedoch Motoren mit 7 kW eingebaut. Das ist normal, denn es wird der Motor häufig mit zweifacher Sicherheit bzw. Reserve verwendet. Die berechneten Werte für den Pulsationsextraktor ergaben 35 W als erforderliche Antriebsleistung. Wenn man einen Wirkungsgrad von nur 10% annimmt, wäre die Leistung immer noch nur 10% der berechneten Leistung des Vibrationsextraktors. Der Hauptvorteil der Pulsationstechnik besteht darin, dass keine beweglichen Teile im Extraktor vorhanden sind.

Abbildung 4: Extraktoren im Apparategerüst und angebautem U-Rohrschenkel (Rohr DN 200) über dem Transporter

Quelle: Archiv des Verfassers

Literatur

Baird, M. H. I. (1964): Patent GB 1.106.453

Ellenberger, J.; Krishna, R. (2003): Shaken, not Stirred, Bubble Column Reactors: Enhancement of Mass Transfer by Vibration Excitement. In: Chemical Engineering Science, Vol. 58, pp. 705-710

Heschel, W.; Klose, E (1971): Beitrag zum Entwurf thermischer Fließbettreaktoren. In: Chemische Technik, Jg. 23, Nr.3, S.138-145

Krishna, R.; Ellenberger, J. (2002): Improving Gas-liquid Contacting in Bubble Columns by Vibration Excitement. In: International Journal of Multiphase Flow, Vol. 28, pp. 1223-1234

Ostrovsky, G. M. (2000): Prikladnaja Mechanika neodnorodnych sred [Angewandte Mechanik heterogener Medien]. Verlag Nauka. St. Petersburg (russ.)

Ostrovsky, G. M.; Malyschew, P. A.; Axjonova, E. G. (1990): Über die Arbeit von Pulsationsapparaten im Resonanzregime. In: Teoretitsheskije Osnovy Khimitsheskoi Tekhnologii [Theoretische Grundlagen der Chemischen Technologie], Jg. 24, S. 835-839

Pester, R. (2014): Caprolactam – Eine Leuna-Geschichte. In: Merseburger Beiträge zur Geschichte der chemischen Industrie Mitteldeutschlands, Jg. 19, H. 1, S. 5-39

Richardson, E. G.; Tyler, E. (1929): The Transverse Velocity Gradient Near the Mouths of Pipes in which an Alternating or Continuous Flow of Air is Established. In: Proceedings of the Physical Society, Vol. 42, Part 1, No. 231, pp. 1-15

Sexl, Th. (1930): Über den von E. G. Richardson entdeckten „Annulareffekt“. In: Zeitschrift für Physik A, Vol. 61, S. 349-262

Stankiewicz, A.; Moulijn, J. (eds.) (2004): Re-Engineering the Chemical Processing Plant: Process Intensification. New York

Waghmare, Y. G. (2008): Vibrations for Improving Multiphase Contact. Dissertation. Baton Rouge (Louisiana State University, U.S.)

Yu, B. (1994): Untersuchungen zum Stoffaustausch in Airlift-Schlaufenreaktoren mit suspendierten Feststoffen. Dissertation. Dortmund (Universität Dortmund) (VDI-Fortschrittsberichte, Reihe 3: Verfahrenstechnik, Nr. 352)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 177–189*

Hans-Joachim Laabs

Ist der 3D-Drucker die „Dampfmaschine“ der digitalen Revolution oder eine überschätzte Innovation?

1 Einführung

Von den knapp 14.000 in Zschopau produzierten Motorrädern „ETS 250“ sind nach über 40 Jahren noch ca. 200 für den Straßenverkehr zugelassen. Vielleicht restauriere ich gerade die 201te Maschine. Zur Aufnahme der Hinterradschwinge fehlt mir eine Distanzscheibe aus Plastik. Ein Pfennigartikel, der in diesen Abmessungen jedoch nirgends mehr aufzutreiben ist. Ich erstelle mit einem CAD-Programm[1] in wenigen Minuten die technische 3D-Zeichnung für dieses Bauteil und drucke mir eine neue Plastikscheibe in exakt den geforderten Abmessungen aus.[2] Was in den 1980er-Jahren in Gang gesetzt wurde, erlebt mit fallenden Preisen und komfortableren Ausstattungen einen regelrechten Boom. Fast täglich eröffnen sich neue Anwendungsfelder für 3D-Drucker, die es mittlerweile in einer unüberschaubaren Vielzahl von Ausführungen für die unterschiedlichsten Tätigkeitsfelder gibt. Wird er damit aber schon die zukünftige „Dampfmaschine“?

2 Was sind Drucker?

Drucker sind technische Einrichtungen zum Drucken. Dass Drucken ist im Brockhaus-Lexikon von 1988 ein „mechanischer Vorgang zur Wiedergabe von Informationen (Bild und/oder Text) in beliebiger Anzahl durch Übertragung von Druckfarbe (oder färbenden Substanzen) auf einen Bedruckstoff (Papier, Karton, Gewebe, Glas, Folien aus Metall oder Kunststoff o.ä.) unter Verwendung eines Druckbildspeichers (z.B. Druckform)“ (Brockhaus 1988). Es beschreibt also eine Verfahrensgruppe, mit der Grafiken, Texte, Zahlen, Fotos, Symbole und andere, in der Regel zweidimensionale Muster auf ein Trägermedium gebracht werden.

---

1 3D-Software „123D Design“.

2 Der 3D-Drucker produzierte bereits Beutelklammern, Kartenboxen, Spielfiguren, Vasen, Modelllokomotiven und anderes mehr.

Überliefert sind Drucke schon vor rund 2.000 Jahren in China. Auf einen Stein (Druckbildspeicher) mit erhaben herausgearbeiteten Zeichen und Bildern wurde nasses Papier aufgelegt. Durch das Aufbürsten einer pulvrigen schwarzen Farbe konnten Kopien in unbegrenzter Zahl hergestellt werden.[1] Dieses Verfahren wurde ständig verbessert, erst im 7. Jh. durch ein effizienteres, dem Holzdruck ersetzt. Das Druckbild war nun und in den nachfolgenden Druckverfahren spiegelverkehrt angeordnet.

Ob privat oder industriell, die Druckaufträge liegen heute fast ausschließlich als Daten vor. Über Eingabegeräte oder nach vorgegebenen Algorithmen selbst generierend gelangen sie in den Computer, in dem sie verarbeitet, gespeichert und für den Ausdruck aufbereitet werden. Das ursprüngliche Ziel des Druckens galt ausschließlich der *Visualisierung*. Daran änderte sich auch nichts, als die Computer die Schreibmaschine verdrängte und Drucker digital ansteuerten. Das visuelle Drucken erzeugt die Printmedien, einzelne, gefaltete, geklebte oder gebundene Blätter aus Papier in Form von Plakaten, Büchern, Visitenkarten etc.

Druckerzeugnisse sind aber auch Versandtaschen für CDs, Tüten, Bastelbögen oder Ansichtskarten mit klingenden Urlaubsgrüßen für den Plattenspieler. Das Drucken hat in vielen Anwendungen ergänzend eine *funktionale Bedeutung* erlangt.[2] Gedruckt werden aber auch Stroboskop-Scheiben zur Drehzahleinstellung an Plattenspielern, Leiterplatten zur Aufnahme elektronischer Bauelemente, elektrisch leitende Bahnen im Silizium zum Herstellen von integrierten Schaltkreisen, Antennen, RFID[3] und OLED[4]. Das Visuelle ist hier deutlich dem Funktionalen sogar untergeordnet, in vielen Fällen sogar völlig verzichtbar. Eindrucksvoll bestätigt dies die Erfindung von Louis Braille (1825) mit der Blindenschrift. Der Druck erhält eine räumliche Dimension, die Informationen mit den Fingern ertastbar macht.

Freilich, der 3D-Druck ist mehr als die kleinen Beulen der Braille-Schrift auf Papier und Karton. Er ist gewissermaßen die *räumliche und zeitliche Emanzipation* von digitalen Daten, das Tor zu ihrer Gegenständlichkeit.

---

1 Vgl. Die Geschichte des Druckens – von den Anfängen mit Stein- und Holzdruck bis hin zum heutigen Laserdrucker. 19.04.2010. – URL: http://www.markt24.de/druckermagazin/Geschichte-des-Druckens/ [22.9.2014].

2 Vgl. Einführung in die Druck- und Medientechnik, 4 Definition Drucken. – URL: http://www.idd.tu-darmstadt.de/media/fachgebiet_idd/studium_und_lehre/vorlesungen_4/einfuehrung_in_die_druck_und_medientechnik/ws201011_3/EDMt_WS1011_08_Drucken_1_V1_s.pdf [22.9.2014].

3 RFID: Radio Frequency Identification.

4 OLED: Organic Light Emitting Diode.

3 Schichtweise in die dritte Dimension

Was gedruckt werden soll, liegt zunächst als virtuelles Modell in einer dreidimensionalen Zeichnung vor. Als CAD-Datei ist sie in einen maschinenlesbaren Code abgelegt. Der Drucker empfängt, dekodiert und verarbeitet diese Daten. Das Druckergebnis ist die Vergegenständlichung des virtuellen Druckbildes.

Das zu druckende Objekt kann man sich als übereinander gestapelte, hauchdünne Scheiben vorstellen. In der horizontalen x-y-Ebene wird zunächst die unterste „Scheibe" gedruckt. Der Druckkopf fährt in der Dicke des Gedruckten in z-Richtung hoch und druckt die zweite „Scheibe". Wieder fährt der Druckkopf in der Dicke des Gedruckten in z-Richtung hoch und druckt die dritte „Scheibe". Dieser Vorgang wiederholt sich, bis alle „Scheiben" als fertiger Gegenstand oder Gegenstände auf dem Druckertisch vorliegen.

Mit dem Auftragen von Druckmaterialien zum Herstellen von Gegenständen wird auch das Drucken zu einem Fertigungsverfahren. Dreidimensional und computergestützt arbeiten allerdings auch moderne Fräs-, Bohr-, Dreh- oder Schleifmaschinen. Im Unterschied zum 3D-Drucken bearbeiten die klassischen Verfahren jedoch ein kompaktes Rohmaterial als Ausgangsstoff, von dem zum Erreichen der Endform gezielt Werkstoff entfernt wird. Man spricht vom sogenannten *subtraktiven Verfahren*. Beim *additiven* oder *generativen Verfahren* wird Material bis zum Erreichen der Endform zugeführt. Es entstehen keine Materialverluste.

Außerdem sind bei den klassischen Verfahren die realisierbaren Geometrien zwangsläufig mehr oder weniger begrenzt. Mit dem 3D-Druck lassen sich sehr komplizierte und komplexe Formen verwirklichen. Selbst geschlossene Hohlräume können geometrisch exakt gestaltet werden, was für alle bisherigen Verfahren ausgeschlossen ist.

„Aber was ist das eigentlich genau dieses Drucken in 3D? Eigentlich ist schon die Frage falsch", meint Martin-Jung, „denn mit Drucken hat die Sache nur wenig zu tun. Zumindest nicht bei professionellen Maschinen, die schnell mal einige Hundert oder auch Millionen Euro kosten. Die arbeiten nämlich oft mit dem Laser-Sintering-Verfahren" (Martin-Jung 2014). Warum aber, so stellt sich aus dem bisherigen Kontext heraus die Frage, soll das selektive Lasersintern kein Drucken mehr sein? Ein konventioneller Laserdrucker funktioniert sogar sehr ähnlich. Durch elektrische Ladungen wird aus dem pulverförmigen Toner das Druckbild auf die Bildtrommel gebracht, das dann aufs Papier gewalzt und mit höherer Temperatur fixiert wird. Auch im zweidimensionalen Druck unterscheidet man eine Fülle von mitunter krass

abweichenden Verfahren beispielsweise zum Herstellen von Solarzellen oder zum Ausdrucken von elektrischen Schaltungen auf Papier. Dies stellt aber nicht das Drucken in Frage.

Nach erarbeitetem Verständnis sehen wir die begriffliche Zuordnung des 3D-Druckers zu der Gruppe der Drucker legitimiert. Auch beim 3D-Druck gilt: „Der *Vorgang* der Druckerzeugung wird als ‚Drucken' bezeichnet, das *Ergebnis* (das Druckerzeugnis) wird ‚Ausdruck', ‚Druckwerk' oder ‚Druckergebnis' genannt".[5] Der 3D-Druck druckt in eine dritte Ebene und macht in generativer Weise die digitale Welt gegenständlich.

4 3D-Druckverfahren

Es gibt nicht *das* 3D-Druckverfahren. Tatsächlich gibt es bereits so viele, dass man der Übersicht halber um Gruppierungen bemüht ist. Bisherige Verfahren lassen sich nach Mathilde Berchon in drei Gruppen zusammenfassen, wenn man alle übrigen Druckverfahren, die sich hier nicht einordnen lassen, als Hybride, Mischformen oder Spezialisten akzeptiert (vgl. Berchon 2014).

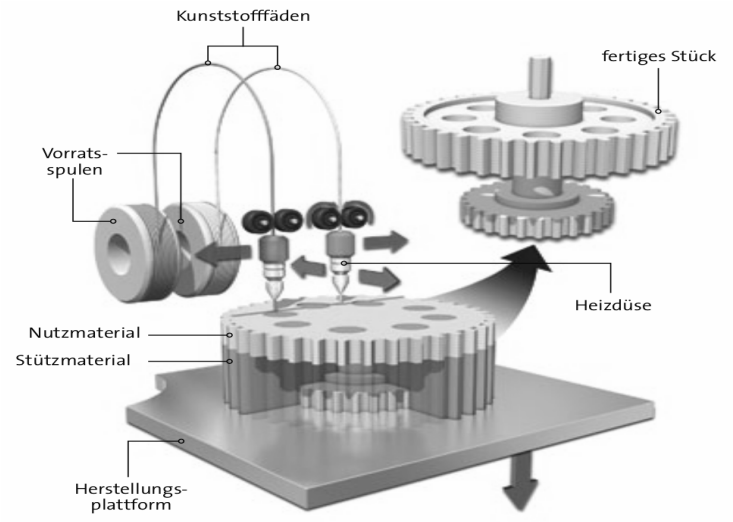
4.1 3D-Druck durch Schmelzen

Das Funktionsprinzip kennt man hinlänglich von der Klebepistole. Der durch Erwärmen verflüssigte Plastikwerkstoff wird durch eine Düse auf die Klebestelle gebracht. Der Plastikwerkstoff kühlt ab und erstarrt beim Auftreffen an der Klebestelle (siehe Abbildung 1).

> „Bei der Schmelzschichtungsmethode führt ein computergesteuertes Räderwerk einen Kunststofffaden[6] einem Heizkopf zu. Der schmilzt das Material, presst es durch eine Düse, die enger ist als die ursprüngliche Fadendicke, und deponiert es auf dem Träger, wo es erstarrt. Durch horizontale Bewegung, gleichsam Schraffieren, erzeugt die Heizdüse eine komplette Schicht des herzustellenden Objekts. Danach wird der Träger um eine Schichtdicke abgesenkt oder der Heizkopf samt Düse entsprechend angehoben, und die nächste Schicht entsteht. Neben dem eigentlichen Werkstück deponiert bei Bedarf eine weitere Düse Stützmaterial, das später weggeworfen wird, damit Material, das sonst ‚in der Luft hängen' würde, eine Unterlage hat" (Berchon 2014, S. 86).

5 http://de.wikipedia.org/wiki/Drucker_%28Ger%C3%A4t%29 [22.9.2014].
6 Acrylnitril-Butadien oder Polylactid, ein Polymer der Milchsäure.

Abbildung 1: Schmelzschichtung



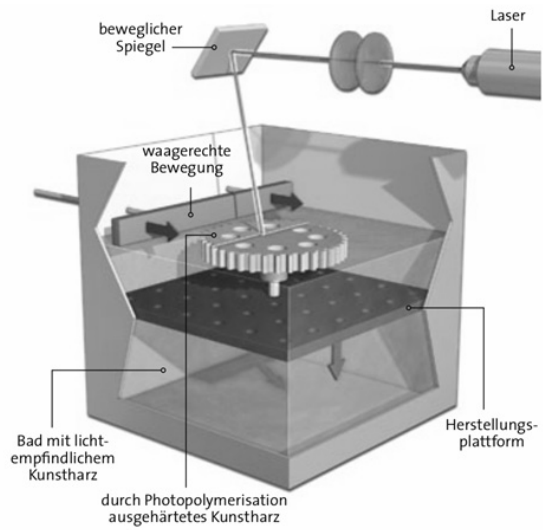
Quelle: Berchon 2014, S. 86

4.2 3D-Druck mit flüssigen Materialien

In einen Behälter wird eine hauchdünne Schicht mit einer Flüssigkeit gefüllt. Es handelt sich um ein UV-empfindliches Polymer. An den Stellen, wo gedruckt wird, trifft ein Laser- oder Lichtstrahl auf. Das Material erstarrt durch Polymerisation. Auch hier lassen sich wieder mehrere Untergruppen unterscheiden (siehe Abbildung 2).

> „Bei der Photopolymerisation fällt ein computergesteuerter Lichtstrahl auf eine Schicht aus flüssigem Kunstharz. An den belichteten Stellen polymerisiert das Material und härtet dadurch aus. Nachdem eine Schicht fertig gestellt ist, wird der Träger abgesenkt; flüssiges Kunstharz strömt auf das anwachsende Bauteil und wird in manchen Fällen durch eine spezielle Vorrichtung gleichmäßig verteilt“ (Berchon 2014, S. 86).

Abbildung 2: Photopolymerisation



Quelle: Berchon 2014, S. 86

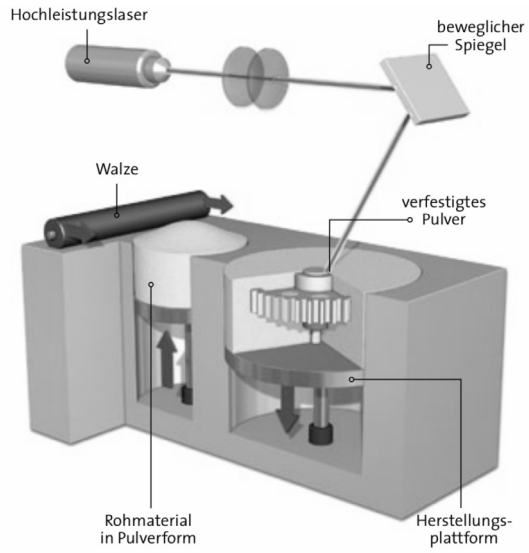
4.3 3D-Druck mit Pulver

Da das erhitzte Material beim 3D-Schmelzdrucken nicht sofort zur Starre abkühlt, müssen dort bei Überständen Stützen eingebaut werden, die nach Fertigstellung wieder entfernt werden müssen. Dies ist beim 3D-Pulverdrucken nicht erforderlich. Jede noch so diffizile Konstruktion liegt sorgsam im Pulver gebettet (siehe Abbildung 3).

Ausgangsmaterial ist ein Pulver, das zunächst auf einer Ebene gleichmäßig aufgetragen wird. An den Stellen nun, wo es schichtweise auf den Körper aufgetragen werden soll, wird dieses Pulver verfestigt. Das kann sehr unterschiedlich erfolgen:[7]

7 Vgl. http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-2-uebersicht-der-aktuellen-3d-druckverfahren-462146/ [27.9.2014].

Abbildung 3: Lasersintern



Quelle: Berchon 2014, S. 87

1. Beim Additiven Layer-Manufacturing wird das Pulver durch Kleben verbunden, womit sehr viele Materialien für den Druck in Frage kommen.
2. Pulver aus Kunststoff, aber auch aus Sand, Keramik oder diversen Metallen kann auch mit einem Laserstrahl schichtweise aufgeschmolzen werden.
3. Das Elektronenstrahlschmelzen ist dem vorherigen Verfahren sehr ähnlich, nur dass die Erwärmung in einem Vakuum erfolgt. Der Ausschluss von Sauerstoff den metallischen Verbindungen extrem große Festigkeit.

„Bei den Lasersinter-Verfahren verschmilzt ein starker, gezielter Laserstrahl Pulverpartikel an den getroffenen Stellen. Jede neue Pulverschicht wird durch eine Walze gleichmäßig auf dem anwachsenden Stück verteilt“ (Berchon 2014, S. 87).

4.4 Sonstige 3D-Druckverfahren

Zu den bereits erschlossenen und bekannten 3D-Druckverfahren zählen ferner das *Laserauftragsschweißen* und das *Laminatverfahren*. Wie beim Löten wird ein Draht aus einem Metall (Edelstahl, Titan, ...) geführt und punkt-

genau im x-y-Koordinatensystem schichtweise mit einem Laser verflüssigt aufgetragen. Beim Laminatdrucken werden die Schichten aus Folien oder Blättern von Papier geklebt und jeweils durch Cutter-Messer in die gewünschte Ausgangsform gebracht.[8]

Die Drucker können auch *zwei oder mehrere Druckköpfe* haben. Das beschleunigt nicht allein die Druckzeit, sondern erhöht auch die Palette des Machbaren. Jede Düse kann eine andere Farbe ausgeben und das Produkt farbig ausgeben. Sogar unterschiedliche Materialien können in einem Druckverfahren verarbeitet werden. So werden beispielsweise in den steifen Gehäusen von Handys gleich die elastischen Tasten hinein gedruckt. Für die Edelmetalle Gold und Silber wurde auch ein indirektes Druckverfahren entwickelt. Das Produkt wird zunächst als Wachsmodell ausgedruckt. In einer verlorenen Form entweicht das Wachs, wenn die Schmelze hinein gegossen wird.[9]

5 Aktuelle Situation des 3D-Drucks

Momentan erleben wir einen regelrechten Hype auf die 3D-Drucktechnik. Das verwundert angesichts der Tatsache, als die Anfänge des 3D-Drucks immerhin auch schon wieder 30 Jahre zurückliegen.

Manche 3D-Anwendungen mauserten sich fast unbemerkt und treten dann unverhofft im reiferen Stadium den Markt erobernd nach außen. Modelle zum Beispiel wurden in der Vergangenheit meistens aus Schaumstoffen und anderen leicht bearbeitbaren Materialien von Hand gefertigt. Modellbauer ist ein anerkannter Beruf! Mit der computergesteuerten Produktion und dem 3D-Druck verbesserte sich sukzessive die Qualität der Modelle bei sogar zunehmend geringerem wirtschaftlichem Aufwand. Immer leistungsfähigere Hard- und Software führten dazu, dass Modelle und Prototypen bald den Anforderungen der Endprodukte entsprachen. Diese schwindende Grenze zwischen Modell und Prototyp auf der einen Seite und dem Endprodukt auf der anderen Seite macht sich die Wirtschaft mit neuen Produktionsmethoden, dem *Rapid Manufacturing* (schnelle Produktion; vgl. Gebhardt 2007) beziehungsweise dem *Direct Manufacturing* (direkte Produktion), zunutze.[10]

---

8 Vgl. http://3druck.com/grundkurs-3d-drucker/teil-2-uebersicht-der-aktuellen-3d-druckverfahren-462146/ [27.9.2014].

9 Vgl. König, P.: Einführung für Einsteiger: So funktionieren 3D-Drucker. – URL: http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/3d-drucker-einfuehrung-fuer-einsteiger-a-977405.html.

10 Vgl. Grundkurs 3D-Drucker. Teil 1: Entwicklung und Geschichte der 3D-Drucktechnologie. – URL: Entwicklung und Geschichte der 3D-Drucktechnologie http://3druck.com/

Ähnlich autarke, mehr oder weniger umwälzende Entwicklungen gab es bereits in einigen Industriezweigen, Wirtschafts- und Gesellschaftsbereichen, andere schicken sich an hier einzusteigen. In jüngster Zeit sind um den 3D-Druck rankend regelrechte Machtkämpfe ausgebrochen. Es geht schließlich um die Sicherung von Know-how und Patenten, um Marktvorteile und -beherrschung. Seit ein paar Jahren mischt auch hier die GNU-Gemeinde kräftig mit.

Wenn die momentane Faszination also auch eine nicht zu unterschätzende Erklärung für die stürmisch gewordene Entwicklung ist, so gibt es noch eine Reihe schwergewichtigerer Erklärungen für diese Erscheinung.[11] Der heute schon beachtliche Markt von 3D-Druckern mit dem Schmelzverfahren[12] war vor wenigen Jahren noch durch Patente geschützt. Erst ihr Auslaufen gab nicht nur anderen Produzenten grünes Licht, sondern beflügelte die *Open Source Gemeinde* sich in dieser Angelegenheit breit aufzustellen mit eigenen Initiativen zu engagieren. Begünstigend wirkt sich dabei der große Preisverfall der 3D-Schmelzdrucker aus. Man kann sich solche Drucker privat leisten und spart noch mehr mit Eigenbauten aus Bausätzen. Die Software dazu gibt es gratis dazu. Eines der Welt umspannenden Projekte der GNU-Gemeinde ist *RepRap*[13] 3D-Drucker sind in der Lage, sich selbst zu reproduzieren. Sowohl die Hardware, als auch die Software stehen dafür unter der GNU General Public License. Das besondere Engagement der Open Source Gemeinde erklärt sich auch in der damit vermeintlichen Möglichkeit der Dezentralisierung und Demokratisierung der Produktion. Begünstigt wird das breite Interesse insbesondere für additive Fertigungsverfahren unter Anwendung von Computern auch durch die fortgeschrittene Computerisierung und dem vereinfachten Zugang über immer leistungsfähigere Rechner und Benutzer freundlichere Software. Damit einhergehend haben auch die Hemmschwellen und Berührungsängste im Umgang mit Computern und neuen Technologien spürbar abgenommen.

Wenn der Privatkunde mit ca. 500 Euro bereits einen 3D-Drucker erwerben kann, so stehen diese Kosten in keinem Vergleich zu den professionellen Systemen. Da gehen die Kosten schnell in die Millionen. Dies hat verschie-

---

grundkurs-3d-drucker/teil-1-entwicklung-und-geschichte-der-3d-drucktechnologie-342079/ [25.09.2014].

11 Vgl. ebd.

12 FDM: Fused Deposition Modeling.

13 Replicating Rapid-prototyper. Die Idee eines Open Source 3D-Drucker kam von Adrian Bowyer im Jahre 2004. Am 28.Mai 2008 präsentierte er als erster Open Source 3D-Drucker unter der offenen GNU Lizenz.

dene Auswirkungen. Kleinere Betriebe können sich solche Drucker schlicht nicht leisten. Auf dem Markt entstehen *3D-Dienstleister*, die solche additiven Fertigungsmaschinen in Maschinenparks aufstellen und Aufträge sogar privater Personen annehmen. Die hohen Kosten der professionellen Systeme führen aber auch zu einer Zentralisierung von 3D-Druckmaschinen.

Abbildung 4: Alexandra und ihr geschrumpftes Ich

Quelle: Ich, aus dem 3D-Drucker. Hilfe, eine Maschine hat mich geschrumpft. – URL: http://www.bild.de/regional/berlin/3d-drucker/druck-store-eroeffnet-in-berlin-33575788.bild.html [28.9.2014]

Mit dem 3D-Druck eröffnet sich nach verbreiteter Auffassung die Möglichkeit, unter Einsparung von Lohn-, Material- und Energiekosten im eigenen Land wieder das zu produzieren, was man der Kosten wegen ins Ausland delegierte. Damit und wegen der erwarteten Innovationskraft hat das additive Fertigen längst auch eine politische Dimension erlangt. Regierungen in China, den USA und der EU, aber auch private Investoren fördern mit Forschungsgeldern und Investitionsvorteilen die Entwicklung der additiven Fertigung.

Aber es gibt eine weitere Triebkraft, die zusehends auch die größten Zweifler ruhiger werden lassen. Es sind dies nicht mehr nur eine Handvoll faszinierender Anwendungen, sondern weit mehr. Ganze Häuser werden mit Beton gedruckt, in der Medizin werden individuell angepasste Prothesen gedruckt, kreative Süßwaren verlassen den Drucker, mit der Röntgenauf-

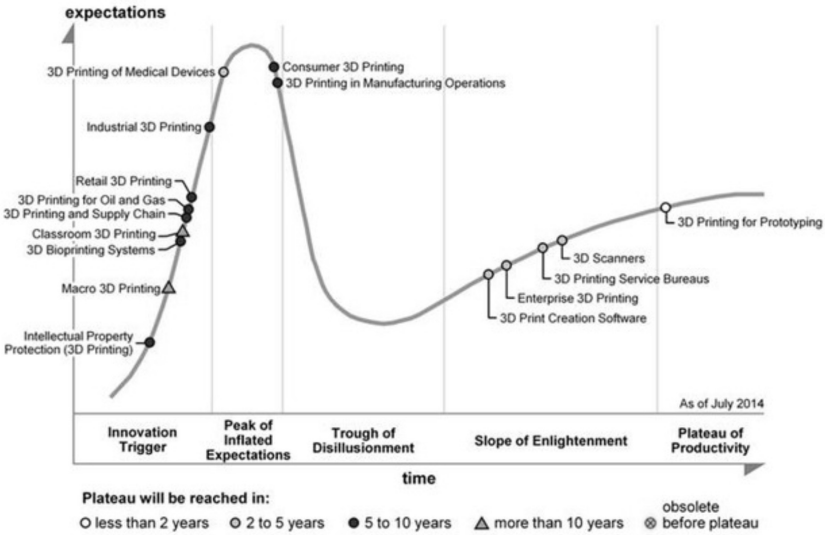
nahme bekommt der Patient gleich die makellos passende Zahnprothese, gedruckt werden Modeschmuck, Kleidungsstücke und Schuhe, selbst Autokarosserien verlassen bereits den Drucker.

6 Aussichten für den 3D-Druck

Analysten des Marktforschungsinstituts „Gartner“ begleiten die Entwicklung der 3D-Technik schon mehrere Jahre, was sie auch veranlasst, diesbezügliche so manche Vorhersagen abzuleiten (siehe Abbildung 5). Niemand stellt den 3D-Druck noch grundsätzlich in Frage. Für die Produktion von Modellen und Prototypen ist er jetzt schon nicht mehr wegzudenken. Aber es wird noch einige Zeit dauern, bis diese Drucker auch anderenorts zu einer realen Wirtschaftsgröße werden.

Dabei lässt auch der Vergleich von professionellem Druckern und adäquaten Heimanwendungen aufhorchen. Nach Pete Basiliere experimentieren auch Betriebe viel mit Heimdruckern, bis sie verstehen, dass diese keine Alterna-

Abbildung 5: Kurve der Erwartungen an 3D-Drucktechnik



Quelle: Meulen/Rivera 2014

tive für den professionellen Einsatz darstellen.[14] Zudem „verdunkelt der Hype um den Einsatz zu Hause, dass 3D-Druck ein komplexes Ökosystem aus Software, Hardware und Materialien erfordert, deren Nutzung nicht so einfach ist wie der Klick auf den Druckknopf eines Papierdruckers“ (Meulen/ Rivera 2014). Man wird sich zunächst um die deutliche Verbesserung der Qualität der Druckergebnisse bemühen, erst dann in den folgenden Schritten sich um das gesamte Ökosystem kümmern.

7 Meine Annahme statt eines Fazits

Letztlich werde ich eine Antwort auf die von mir selbst aufgeworfene Frage schuldig bleiben, ob der 3D-Drucker tatsächlich die „Dampfmaschine“ in der digitalen Revolution ist.[15] Ich weiß ja nicht einmal, ob die digitale Revolution überhaupt schon begonnen hat, oder ob sie vielleicht erst mit dem Quantencomputer eingeleitet wird, dem a priori eine gewisse Allmacht zugesprochen wird. Die 3D-Technik erfordert jedenfalls ungeheure Rechenleistungen, die wir augenblicklich mit viel Zeit und Geduld erkaufen, letztlich auch eine Bremse für viele Innovationen ist.

Aber immerhin, die Digitalisierung schreitet im rasanten Tempo voran und macht vor niemanden und nichts halt. Sie erweist sich einerseits als ein Nährboden des 3D-Drucks, anderseits entfesselt der 3D-Druck in der Digitaltechnik völlig neue Kräfte, macht die bis dato abstrakte Digitaltechnik zum Anfassen. Die Innovation Dampfmaschine liegt nun 300 Jahre zurück. Aus dieser zeitlichen Entfernung heraus erhält man natürlich einen abgeklärten Blick über ihr soziales und ökonomisches Wirken. Demgegenüber nehmen sich die knapp 30 Jahre 3D-Druck sehr bescheiden heraus.[16]

Die Antwort auf die künftige Bedeutung des 3D-Druckers müsste die Zukunftsforschung liefern. Maximal 30 Jahre Vorausblick billigt man ihr eingedenk aller Unsicherheiten zu. Aus welcher Perspektive heraus will man aber solche weitreichenden Aussagen heute treffen? Was das generative Produzieren betrifft, da gibt es nicht viel zum Vergleichen. Das meiste ist

14 Marktforscher: 3D-Druck sorgt für Milliardenverluste. In: Handelsblatt, 29.01.2014. – URL: http://www.handelsblatt.com/technik/forschung-innovation/marktforscher-3d-druck-sorgt-fuer-milliardenverluste/9403148.html [3.10.2014].

15 Die erste Dampfmaschine wurde vom Deutschen Thomas Newcomen 1712 für das Abpumpen des Wassers in Bergwerken konstruiert. 1776 nahm die erste größere Dampfmaschine in einem englischen Wasserwerk ihren Betrieb auf. Gut hundert Jahre waren nötig, bis die Dampfmaschine einer der treibenden Faktoren in der Industriellen Revolution wurde.

16 Der 3D-Druck geht auf eine Erfindung des US-Amerikaners Chuck Hull im Jahre 1983 zurück, der diese Technologie als Stereolithografie 1986 patentierte.

plötzlich da und ganz anders als zuvor. Von der Sache her ist das 3D-Drucken vielleicht eher im Wachstum der Pflanzen- und Tierwelt angesiedelt. Vielleicht wird es einmal gerade angesichts der Ressourcenknappheit die einzige Lösung sein, um aus den Folgen des Jahrhunderte andauernden Missmanagements mit unserem Erdball einigermaßen glimpflich noch herauszukommen. Jedenfalls denke ich ganz sicher, dass der 3D-Drucker die Bedeutung der Dampfmaschine übertreffen wird, so unwissenschaftlich diese verfestigte Annahme auch zu sein scheint.

Literatur

Berchon, M. (2014): Drucken in drei Dimensionen. In: Spektrum der Wissenschaft, H. 6 (Juni), S. 84–91

Brockhaus (1988): Drucken. In: Brockhaus Enzyklopädie in vierundzwanzig Bänden. Bd. 5. Mannheim, S. 690

Gebhardt, A. (2007): Generative Fertigungsverfahren. Rapid Prototyping – Rapid Tooling – Rapid Manufacturing. München/Wien

Martin-Jung, H. (2014): Schichtweise in die Zukunft. In Süddeutsche Zeitung, 12. März. – URL: http://www.sueddeutsche.de/digital/-d-druck-schichtweise-in-die-zukunft-1.1910033 [3.10.2014]

Meulen, R. van der; Rivera, J. (2014): Gartner Says Consumer 3D Printing Is More Than Five Years Away. – URL: http://www.gartner.com/newsroom/id/2825417 [3.10.2014]

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 191–202*

Hermann Grimmeiss

Die Verbindung von Wissenschaft und Gesellschaft – eine Voraussetzung zur Lösung des Europäischen Paradoxons I: Sicht des Wissenschaftlers

Es ist allgemein bekannt, dass effektive Innovationsökosysteme wichtige Komponenten für eine *stabile Wirtschaftsentwicklung* sind. Innerhalb dieser Prozesse spielen neue Technologien für die wirtschaftliche Entwicklung eine entscheidende Rolle, insbesondere auf Gebieten wie Umwelt, Gesundheit, Kommunikation und Transport. Für die Wirtschaftsstrategie Europas ist es deshalb von entscheidender Bedeutung, dass technologisch wichtige Forschungsgebiete mit entsprechenden Industriesektoren zusammenarbeiten, um das Innovations- und Wirtschaftswachstum zu aktivieren. Barack Obama hat dies erst kürzlich hervorgehoben, indem er betonte:

> „Our success in creating the conditions that spur new ideas, and our commitment to investing in the education, research and development priorities that help shape our country's innovation infrastructure, will determine the opportunities of future generations."[1]

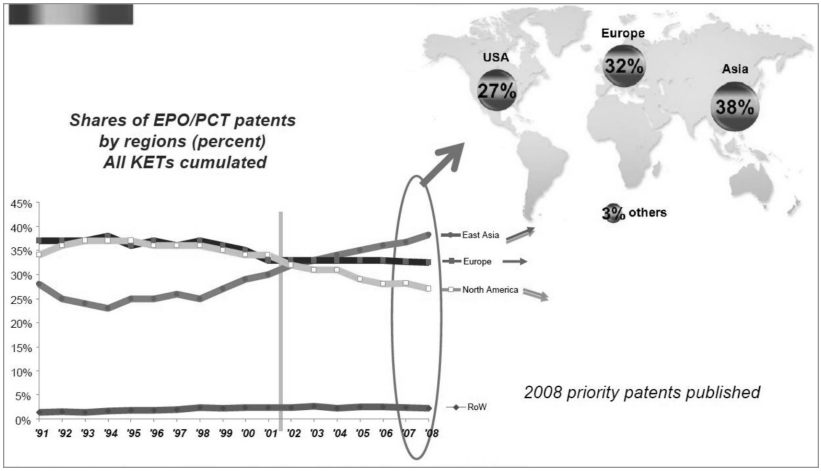
So überzeugend diese Botschaften klingen mögen, haben wir es in Europa nach sieben europäischen Rahmenprogrammen und der Gründung von mehr als 1.000 Forschungsinfrastrukturen mit Investitionen von fast zwei Milliarden Euros immer noch nicht geschafft, eine der größten Schwächen Europas zu überwinden, nämlich das Europäische Paradox.

Der Begriff „Europäisches Paradoxon" bezieht sich auf die Tatsache, dass wir in Europa zwar hervorragende Forschung betreiben, aber nicht in der Lage sind, die sich daraus ergebenden Erkenntnisse in neue Produkte zu überführen (vgl. dazu auch Grimmeiss 2014). Obgleich auf globaler Basis der Anteil der europäischen EPO/PCT-Patente 2008 mit einem Wert von 32% immer noch hoch war (siehe Abbildung 1), hat ihr Einfluss auf die industrielle Produktivität in Europa in bedeutendem Maße abgenommen.

---

1 http://www.commerce.gov/news/press-releases/2011/09/16/president-obama-signs-america-invents-act-and-announces-new-steps-hel.

Abbildung 1: Patentaktivitäten im Vergleich



Quelle: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/hlg_report_final_en.pdf

In einem in „Newsweek“ veröffentlichten Artikel unterstreicht Gordon Brown, dass Europas „Anteil an der Weltproduktion in letzter Zeit von einem Höchstwert von 40% auf unter 20% gesunken ist. In den kommenden zwei Jahrzehnten wird dieser Wert sogar noch einmal halbiert“ (Brown 2011). Dem Derwent World Patent Index 2012 zufolge sind Patente ein eindrucksvoller Indikator für Innovation, weil die Anzahl von Patenten einen guten Einblick in die Innovationslandschaft gibt unabhängig vom wirtschaftlichen Erfolg einer Erfindung. Eine kürzlich veröffentlichte Zusammenstellung zeigt, dass innerhalb der zwölf Spitzentechnologien weltweit zwei Drittel der angemeldeten Patente in den Bereichen Rechner, Telekommunikation, Transport und Halbleiter zu finden sind (siehe Abbildung 2).

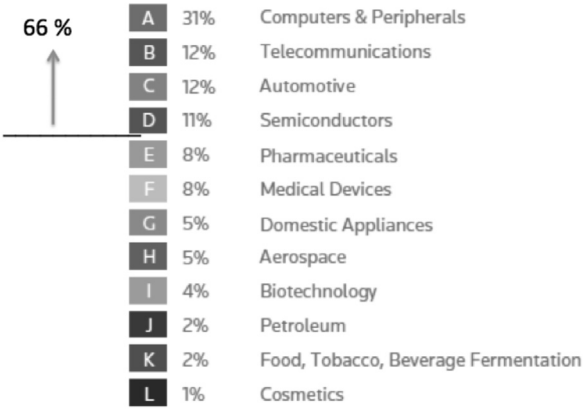
Beachtenswert ist jedoch die Tatsache, dass z.B. auf dem Gebiet der Halbleiter-Materialien und -Prozesse die asiatisch-pazifischen Patentanmeldungen deutlich überwiegen (siehe Abbildung 3). Samsung, zum Beispiel, erhielt im Jahr 2012 mehr Patente als die entsprechenden zehn europäischen Spitzenfirmen zusammen.

Zu beachten ist auch, dass z.B. die chinesischen Patente sehr viel mehr Bereiche decken als die Patente von Chinas Konkurrenten Japan und die USA (siehe Abbildung 4). In den nächsten vier Jahren werden sich die chinesischen Patentanmeldungen pro Jahr sehr wahrscheinlich noch einmal auf

über eine Million verdoppeln, während sich die europäischen Anmeldungen kaum verändern werden.

Hinzu kommt, dass gegenwärtig nur 15% der innovativen Produkte weltweit in Europa hergestellt werden. Dies zeigt deutlich, dass die europäische Wirtschaftsstrategie trotz jahrzehntlangen Diskussionen es nicht geschafft hat, sich diesen Herausforderungen zu stellen, zumindest was den Innovationsprozess betrifft. Es ist daher verständlich, dass der neugewählte EU-Präsident Jean-Claude Junker in seinem 10-Punkte-Plan für Europa kürzlich betonte, dass Europas Wirtschaft wieder wettbewerbsfähiger werden muss:

Abbildung 2: Patentanmeldungen und Spitzentechnologien



Quelle: Derwent World Patents Index 2012 State of Innovation

„Europa braucht eine breit aufgestellte Reformagenda“.[1] Wenn sich die europäische Konkurrenzkraft auf dem globalen Industriemarkt verringert und dadurch die Staatseinnahmen zurückgehen, dann wird es schwierig für die akademische Forschung und somit für die Wissenschaft, weil der größte Teil der öffentlichen Forschung mit Steuergeldern bezahlt wird.

Genau wie „nano“ ist der Begriff „Innovation“ inzwischen zu einem Modewort geworden. Was leider zu oft übersehen wird ist die Tatsache, dass Innovation ein komplexer Prozess ist, der mindestens aus drei verschiedenen Stufen besteht (siehe Abbildung 5). In der ersten Stufe dieses Prozesses bedarf es neuer Ideen, die sich häufig durch Spitzenforschung und nicht nur

1 http://www.heute.de/jean-claude-juncker-wird-eu-kommissionspraesident-david-cameron-gilt-als-verlierer-34046572.html.

durch Verbesserungen von bereits existierenden Ideen ergeben, weil eine neue Idee oder eine Erfindung ein kreativer Prozess ist, der von einem offenen und von Neugierde getriebenen Geist verlangt, über das hinaus zu sehen, was bereits bekannt ist. Geschäftsleute fassen dies oft wie folgt zusammen: „Invention is the conversion of cash into ideas. Innovation is the conversion of ideas into cash“.

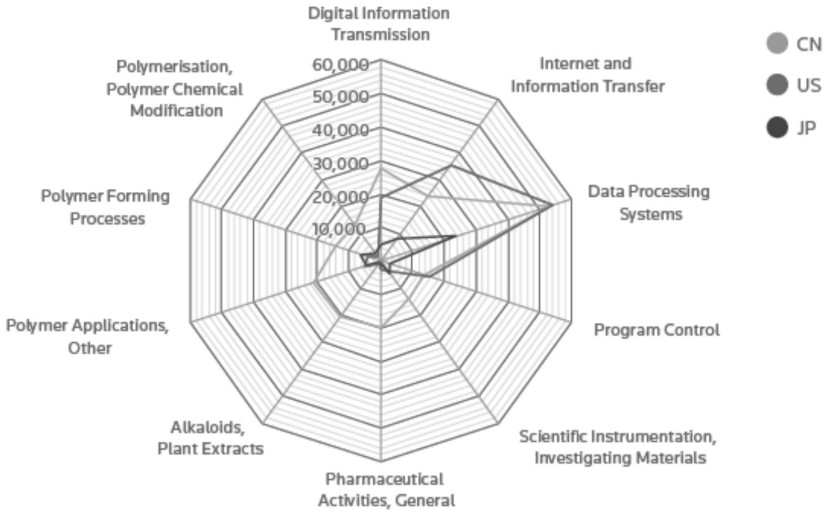
Abbildung 3: Halbleiter-Patentanmeldungen: Top 10 jeweils in Europa und in Asien

	Unternehmen	**Land**	**Patent-Anzahl**
1	Globalfoundries	DE	224
2	Infineon Technologies	DE	213
3	Stmicroelectronics	CH	203
4	Osram	DE	180
5	ASML	NL	125
6	Commissariat à l'Énergie Atomique	FR	110
7	Robert Bosch	DE	108
8	Carl Zeiss	DE	102
9	Merck Patent	DE	96
10	Soitec	FR	77

	Unternehmen	**Land**	**Patent-Anzahl**
1	Samsung	KR	1.485
2	Toshiba Corporation	JP	1.068
3	LG	KR	1.008
4	Hynix Semiconductors	KR	869
5	Shanhai Huali Micro-Electronics	CN	758
6	Renesas Electronics	JP	652
7	Panasonic Corporation	JP	649
8	Tokyo Electron, Ltd.	JP	572
9	Semiconductor Manufacturing International	CN	527
10	Taiwan Semiconductor Manufacturing	TW	503

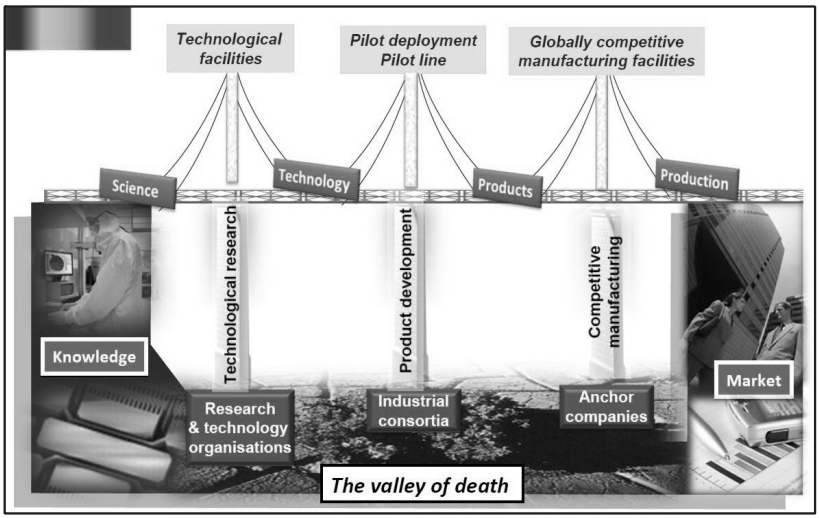
Quelle: Derwent World Patents Index 2012 State of Innovation

Abbildung 4: Chinesische Patentanmeldungen im Vergleich mit Japan und den USA



Quelle: Derwent World Patents Index and Thomson Innovation

Abbildung 5: Drei-Stufen-Modell der Innovation



Quelle: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/kets/hlg_report_final_en.pdf

Leider muss immer wieder festgestellt werden, dass in Europa die zweite und dritte Stufe des Innovationsprozesses, nämlich die Überführung von kreativen Ideen in neuartige Produkte, beachtliche Schwierigkeiten aufweist, die einer der Hauptgründe für die Schwächen des Innovationsprozesses in Europa sind und somit wesentlich zum „Europäischen Paradox" beitragen.

Eingedenk der Tatsache, dass die europäische Forschung auf vielen Gebieten international konkurrenzfähig ist, sollte man meinen, dass dies kein Problem sein sollte. Aber wenn man die Rapporte der EU-Kommission z.B. bezüglich des neuen Rahmenprogramms „Horizon 2020" liest, dann kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass dies keineswegs der Fall ist. Damit stellt sich die Frage, warum? Hierfür bedarf es praxisrelevanter Beziehungen, d.h. einer Brücke zwischen der Wirtschaft und der Wissenschaft im Allgemeinen. Die Schaffung einer solchen Zusammenarbeit ist daher eines der Hauptziele des neuen europäischen Forschungsprogramms „Horizon 2020" mit einem Budget von 80 Mrd. € während der Jahre 2014 bis 2020.

Die akademischen Forschungsinstitutionen können jedoch in den meisten Fällen diesen Überführungsprozess nicht selber durchführen, weil hierfür nicht vorhandene Kompetenzen erforderlich sind. Im Gegensatz zu den USA ist in vielen europäischen Ländern die Anzahl der Professoren mit Erfahrungen aus der Industrie sehr gering. Erfahrungen dieser Art sind jedoch von entscheidender Bedeutung für eine effektive Kommunikation und Zusammenarbeit, angesichts der Tatsache, dass sich die Zielsetzungen in der Industrie und die Vorgehensweise, wie diese erreicht werden, ganz wesentlich von denen an Universitäten unterscheiden. Es besteht jedoch die Hoffnung, dass neue Initiativen, wie z.B. EMIRI (Energy Materials Industrial Research Initiative), mit neuen Konzepten die praxisrelevanten Beziehungen verbessern können.

Leider ist „Horizon 2020" ein sehr komplexes Forschungsprogramm. Es umfasst z.B. alle existierenden Forschungs- und Innovationsförderungen, d.h. auch den Europäischen Forschungsraum EFR (European Research Area, ERA). Auf dessen Internetseite kann man lesen:

> „Die Entwicklung eines EFR ist erforderlich, um die *Fragmentierung* der Forschung in Europa entlang nationaler und institutioneller Grenzen zu überwinden. Die *Fragmentierung* verhindert, dass Europa das europäische Forschungs- und Innovationspotenzial voll ausschöpfen kann, was auf Kosten der europäischen Steuerzahler, Verbraucher und Bürger geht."[2]

2 http://ec.europa.eu/research/infrastructures/index_en.cfm?pg=eric1 (H.d.V.; H.G.).

Insbesondere wird betont, dass

> „die nationale und regionale Finanzierung von Forschung weiterhin zu großen Teilen *unkoordiniert* ist. Dies führt zu einer Streuung von Ressourcen, übermäßigen *Doppelarbeiten* und insgesamt zu einer *ineffizienten* Nutzung der Ressourcen, die in Europa gemeinsam für Forschung und Entwicklung bereitgestellt werden.“[3]

Eines der Hauptziele von „Horizon 2020“ ist deshalb

> „to ensure the implementation, long-term sustainability and efficient operation of the research infrastructures identified by the European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) and other world-class research infrastructures such as ERA (European Research Area).“

Gleichzeitig jedoch betont die EU-Kommission: „today‘s infrastructure in Europe does not always meet the requirements of industry“.[4]

Es ist daher nicht überraschend, dass die geforderte Zusammenarbeit zwischen der Wissenschaft und der Industrie bisher nicht übergreifend realisiert worden ist, nicht einmal in Deutschland, obwohl Deutschland mit seinen verschiedenen Forschungsgesellschaften eine sehr leistungsstarke Forschungsstruktur hat. Die Unwilligkeit der Industrie, Risiken einzugehen, wird als einer der Gründe hierfür angegeben. Interessanterweise wurden bisher kaum Kosten-Nutzen-Analysen oder Priorisierungen von Forschungsinfrastrukturen durchgeführt, um einen Vergleich von Nutzen und Kosten der Projekte zu erhalten. Wegen der Komplexität des Europäischen Forschungsraums, der verschiedene Kategorien von Partnerschaften beinhaltet, wären solche Evaluierungen jedoch im höchsten Grade notwendig, weil, wenn es um Kosten geht, die Programme noch unübersichtlicher werden.

Für zwischenstaatliche Organisationen, wie zum Beispiel ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), belaufen sich die Kosten auf ungefähr 4,6 Mrd. €, wobei ESA (European Space Agency) mit 3,6 Mrd. € den Löwenanteil erhält. Man erwartet, dass die Kosten für ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) bei ungefähr 15 Mrd. € liegen werden, und dass zur Durchführung der ESFRI Programme über einen Zeitraum von zehn Jahren wahrscheinlich jährlich bis zu 14 Mrd. € benötigt werden.

Nach zweijähriger Arbeit war das von der EU-Kommission geförderte MERIL (Mapping of the European Research Infrastructure Landscape)-Pro-

---

3 http://ec.europa.eu/research/era/understanding/why/why_do_we_need_era_en.htm (H.d.V.; H.G.).

4 Brussels, 30.11.2011 COM(2011) 811 final.

jekt immer noch nicht in der Lage, eine vollständige Liste der europäischen Forschungsinfrastrukturen zu erstellen. Im neuesten Rapport werden knapp 500 Infrastrukturen aufgeführt, ohne Aussagen über deren Effektivität und Gesamtkosten.[5] In einem Rapport der Schwedischen Akademie der Wissenschaften haben wir bereits über 1.500 Infrastrukturen aufgelistet, in die vermutlich über 100 Milliarden Euro investiert werden.[6] Weder die Summe noch die Gesamtzahl der Infrastrukturen ist der EU-Kommission offenbar bekannt. Man fragt sich deshalb, warum es für die EU-Kommission so schwierig ist, eine solche Liste zu erstellen. Die Antwort ist, weil das gesamte System selbst für die EU-Kommission zu komplex und unübersichtlich ist! Aber ohne eine solche Liste ist es nicht möglich, *Evaluierungen* und *Priorisierungen* durchzuführen, um Fragmentierungen und Duplizierungen zu vermeiden.

Eine Abschätzung von uns hat gezeigt, dass wegen Duplizierungen und Ineffektivität und mit mehr Koordinierung sehr wahrscheinlich die Hälfte der Infrastrukturen gestrichen werden kann. Das würde bedeuten, dass ungefähr 50 Milliarden Euro für neue und notwendige Projekte (z.B. Solarzellen, Biophysik, fab labs und Start-ups) zur Verfügung stünden, ohne den Steuerzahler zusätzlich zu belasten.

Das Problem mit der gegenwärtigen Strategie, Forschungsinfrastrukturen als Treibmittel für den Innovationsprozess zu benutzen, besteht jedoch darin, dass Analysen und Gutachten von Forschungsinfrastrukturen zwar Probleme identifizieren, aber keine Vorschläge zu deren Lösung anbieten. Da keine Vorschläge angeboten werden, haben die meisten Analysen und Gutachten nur zur Folge, dass immer teurere und komplexere Systeme installiert werden und es nicht zur Bildung einer rationalisierten und transparenten Struktur kommt. Wie von der EU-Kommissarin Geoghegan-Quinn immer wieder betont wird,

> „it‘s not just how much you spend, it‘s how effectively you spend it that counts. There is no point in pouring money into underperforming research and innovation systems. Reforms are necessary at all levels – regional, Member State and EU level! [...] We need to make these investments more effective by modernising our university systems and strengthening collaboration between academia and industry.“[7]

5 Vgl. http://www.esf.org/serving-science/ec-contracts-coordination/meril-mapping-of-the-european-research-infrastructure-landscape.html.

6 Vgl. http://www.kva.se/en/Science-in-Society/Research-policy/Committee for Research Structure of the Academy's Class for physics.

7 http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-11-240_en.htm?locale=en.

Da technologische und wissenschaftliche Fortschritte zentrale Punkte des Wirtschaftswachstums sind, ist jedoch ein übergreifendes Verständnis erforderlich, wie wissenschaftliche und technologische neue Erkenntnisse unterstützt werden müssen und welche Bedeutung diesen Technologien zukommt. Oftmals haben diese Themen einen direkten Bezug auf die europäische Forschungs- und Entwicklungspolitik und die entsprechenden Strukturen, die benötigt werden, um diese Technologien allgemein zugänglich zu machen. Viele der Fragen, mit denen sich das EU-Parlament zu befassen hat, haben deshalb eine wissenschaftliche oder technologische Dimension.

In Europa ist STOA (The Assessment of Scientific and Technological Policy Options for the European Parliament) das offizielle Organ, das für den technologischen Zugriff verantwortlich ist. Seine Aufgabe ist es, für das Europäische Parlament unabhängige Expertenbeurteilungen bezüglich des Zugriffs auf neue Technologien durchzuführen sowie langzeitliche und strategische Policy-Alternativen zu erarbeiten, die für die verschiedenen Komitees des Parlaments und deren Beurteilungen von entscheidender Bedeutung sind. STOAs Arbeit erfolgt deshalb in Zusammenarbeit mit externen Experten, bei denen es sich oftmals um Lobbyisten handelt.

In einem kürzlich veröffentlichten Artikel in der schwedischen Tageszeitung „Sydsvenska Dagbladet“ konnte man lesen, dass es mehr als 30.000 Lobbyisten in Brüssel gibt. 766 von ihnen arbeiten im EU-Parlament.[8] Wenn man bedenkt, dass das EU-Parlament 751 Mitglieder aus 20 verschiedenen Ländern hat, dann bedeutet dies, dass auf jeden Parlamentarier 40 Lobbyisten kommen. Hinzukommt, dass das Lobby-Büro DODS EU Monitoring Interessengruppen (z.B. Firmen) die Möglichkeit anbietet, für einen Preis von 65.00€ die von ihnen geschriebenen Artikel von EU-Politikern in den Medien veröffentlichen zu lassen. Es wäre wirklich an der Zeit, dass die europäische Wissenschaftsgesellschaft gegen solche Betriebsamkeiten etwas unternehmen würde. In vielen Fällen sind Lobbyisten für die ineffiziente und nicht immer erfolgreiche europäische Forschungspolitik bezüglich Innovation und Wirtschaftswachstum verantwortlich. Typische Beispiele hierfür sind die europäischen Forschungsinfrastrukturen und das KET-Projekt.

Vor einigen Jahren hat die EU-Kommission ein Expertenkomitee etabliert, dessen Aufgabe es war, Vorschläge für sogenannte „key enabling technologies“ (KET) zu machen. Das Komitee bestand zum größten Teil aus Lobbyisten, und die Ergebnisse waren entsprechend. Als die für Europa wichtigsten fünf Technologien wurden vorgeschlagen:

---

8 Vgl. Sydsvenskan, 30. April 2014, S. A11.

1. Nanotechnologie,
2. Photonik (einschließlich Solarzellen),
3. Mikro- und Nanoelektronik,
4. Wichtige Materialien und
5. Biotechnologie.

Die Kommission hat Milliardenbeträge für dieses KET-Programm veranschlagt, jedoch ohne größere Ergebnisse, was nicht überraschend ist, denn erstens waren die Überlappungen zu groß, weil Nanoelektronik, Photonik und Biotechnologie bereits zur Nanotechnologie gehören, und zweitens wurde die Anzahl der KETs inzwischen auf über ein Dutzend erweitert. Diese Geldverschwendung hatte drastische Folgen, nicht nur für eine Reihe von anderen Projekten, sondern vor allem auch für die europäische Wirtschaft und den Arbeitsmarkt.

Diese wenigen Beispiele bezeugen bereits die enge Verknüpfung von Wissenschaft, Forschung und nationaler Wirtschaft. Leider wird nur allzu oft vergessen, dass die Wissenschaft als unverzichtbare Quelle für die Produktivitätsentwicklung in allen Bereichen deshalb eine besondere Verantwortung übernimmt.

Es sollte daher im Interesse aller und nicht nur der Wissenschaftsgesellschaft sein, dass die politischen Entscheidungsträger in Europa objektiv und neutral über neue Fortschritte der Wissenschaft und deren Bedeutung für die Produktivitätssteigerungen in der Wirtschaft informiert werden, und zwar in einer Form, die auch von Nicht-Experten verstanden wird. Die Erfahrung zeigt, dass dies nicht einfach ist, aber, wie ich immer wieder selber erlebe, von den meisten Politikern sehr geschätzt wird. Die entscheidende Frage ist somit, wie soll die Wissenschaft mit dieser Verantwortung umgehen?

Ich komme leider mehr und mehr zu der Überzeugung, dass sich die nationalen (und europäischen) Wissenschaftsgesellschaften dieser Verantwortung nicht bewusst sind. Obwohl gewisse Wissenschaftsorganisationen, wie z.B. Akademien oder ähnliche Organisationen, oft darüber reden, fühlt sich der einzelne Wissenschaftler nicht angesprochen, weil er oder sie der Meinung ist, dass seine oder ihre Aufgabe in erster Linie ist, gute Forschung zu betreiben und sich nicht in die Politik einzumischen, weil es zeitraubend ist und meistens keine Erfolge bringt. Und dem kann ich nur zustimmen.

Aber, wie Laura Hopkins in einem inspirierenden Artikel schreibt,

> „es ist für die Wissenschaftsgesellschaft bei weitem zu einfach, die Schuld für die Enttäuschung der Gesellschaft über die Wissenschaft auf das Erziehungssystem, die Medien oder die politischen Entscheidungsträger zu schieben. Aber

> indem die Wissenschaftsgesellschaft dies tut, vergisst sie eine wichtige Komponente, nämlich dass wir als Wissenschaftler die Verantwortung haben, unser Wissen nicht nur mit uns, sondern auch mit der Öffentlichkeit und insbesondere den politischen Entscheidungsträgern zu teilen.“[9]

Dieser Kommunikationsaustausch muss zweiseitig sein. Wissenschaftler sollten sich wesentlich mehr anstrengen, den Dialog mit Nicht-Wissenschaftlern zu verbessern und zu intensivieren, um damit in objektiver Weise den Einfluss von Wissenschaft und Technologie auf die EU-Politik zu verstärken mit dem Ziel, die Effektivität und Transparenz der EU-Forschungspolitik zu verbessern.

In einem Artikel, veröffentlicht von World Scientific in „Asia Pacific Biotech News“, kann man lesen:

> „Einstein took advantage of his fame to speak out on nuclear weapons, nuclear power, militarism and other vital issues through lectures, essays, interviews, petitions and letters to world leaders. [...] It is hard to imagine any modern scientist, physicist or biologist, being lionized the way Einstein was.“[10]

Es wäre daher meiner Meinung nach sehr zu begrüßen, wenn es in der Leibniz-Sozietät eine Arbeitsgruppe gäbe, die diese wichtige Aufgabe zum Nutzen und Wohle der europäischen Forschung und Wissenschaft übernehmen könnte. Mögliche Ziele dieser Arbeitsgruppe könnten sein:

1. Sehr allgemeinverständliche Artikel in europäischen Tageszeitungen zu veröffentlichen, mit der Zielsetzung, nicht nur neue wissenschaftliche und technische Errungenschaften bekannt zu machen, sondern vor allem auch Vorschläge zu unterbreiten bezüglich klarerer und deutlicherer Kriterien für Evaluierung, Priorisierung und Kooperation etc.
2. Forschungspolitische Sitzungen (zusammen mit Journalisten) mit anschließenden Presskonferenzen zu organisieren.
3. Ähnlich wie in den USA an Sitzungen des Parlaments und der Kommission teilzunehmen und analoge Artikel wie die in APS (American Physical Society) News zu veröffentlichen.
4. Herauszufinden, warum wir nicht von den USA lernen können, die eine sehr viel besser koordinierte und effektivere Infrastruktur ohne allzu viel Duplizierung haben (siehe deren Anträge).

---

9 Physics Today, Vol. 65(12), No. 15 (2012); doi: 10.1063/PT.3.1805.

10 Scientific Communication: In Search of One-Handed Scientists. In: Asia Pacific Biotech News, Vol. 17 (2013), No. 10/12 (November), p. 29. – URL: www.asiabiotech.com.

5. Finanzielle Unterstützung und Spenden von Freunden und Interessenten der Leibniz-Sozietät zu initiieren, ähnlich wie in Oxford, Cambridge oder Harvard.

Ich bin der Ansicht, dass sich Institutionen wie die Leibniz-Sozietät oder die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften von der Tagespolitik und dem *professionellen Lobbyismus* fernhalten sollten, um ihre Neutralität und Unabhängigkeit beizubehalten. Dennoch sollten wir nicht vergessen, dass die Wissenschaft als unverzichtbare Quelle für die Produktivitätsentwicklung in allen Bereichen eine besondere Verantwortung übernimmt, die niemand anders übernehmen kann. Die Frage ist nur, wie kann so etwas dennoch effektiv und mit Erfolg durchgeführt werden?

Literatur

Brown, G. (2011): A Stagnant Union Let Down by Its Leaders. In: Newsweek, 13.11. – URL: http://www.newsweek.com/gordon-brown-stagnant-union-let-down-its-leaders-66359

Grimmeiss, H. (2014): Innovation and European Research Infrastructures. Weaknesses of the European Research Area. In: Banse, G.; Grimmeiss, H. (Hg.): Wissenschaft – Innovation – Technologie. Berlin, S. 401–410 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 37)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 203–210*

Bernd Junghans

Die Verbindung von Wissenschaft und Gesellschaft – eine Voraussetzung zur Lösung des Europäischen Paradoxons I: Sicht des Unternehmers

Die Beobachtungen und Aussagen von Herrn Grimmeiss[1] teile ich voll und möchte sie aus Sicht eines langjährigen Unternehmers in der Industrie durch eigene Beobachtungen und Überlegungen ergänzen. Mein persönlicher Erfahrungsschatz bezieht sich allerdings nur auf eine spezielle Industrie, nämlich die Elektronikindustrie, der aber heute in Zeiten der „digitalen Revolution" eine besondere Bedeutung zukommt und die sehr gut geeignet ist, das europäische Paradoxon beispielhaft zu illustrieren, da diese Industrie in besonderem Maße von Wissenschaft und Innovation lebt und darüber hinaus eine überragende Rolle für die künftige gesellschaftliche Entwicklung Europas und der Welt spielt.

Betrachten wir zunächst kurz die Rolle der Elektronikindustrie für die Gesellschaft in Zeiten der digitalen Revolution. In Ihrem Buch „The Second Machine Age" (vgl. Brynjolfsson/McAfee 2014) zeigen die Autoren an zahlreichen statistischen Daten, dass wir bereits am stürmischen Beginn einer weiteren industriellen Revolution stehen, die bezüglich ihres eruptiven Veränderungspotenzials für unsere Gesellschaft mit der ersten industriellen Revolution verglichen werden kann. Sie schreiben:

> „Computers and other digital advances are doing for mental power – the ability to use our brains to understand and shape our environment – what the steam engine and its descendants did for muscle power" (Brynjolfsson/McAfee 2014, p. 7).

Die Rolle der Elektronik geht aber über die Potenzierung unserer eigenen Fähigkeiten zur Informationsverarbeitung weit hinaus. Sie verleiht den mit Kraft und Informationsverarbeitungspotenzial ausgestatteten Artefakten auch die Möglichkeit, ihre Umwelt mittels Sensoren zu erkennen, deren Leistungs-

1 Vgl. Grimmeiss, H.: Die Verbindung von Wissenschaft und Gesellschaft – eine Voraussetzung zur Lösung des Europäischen Paradoxons I: Sicht des Wissenschaftlers. In diesem Band.

tungsfähigkeit die der menschlichen Sinnesorgane um ein Mehrfaches übertreffen kann. Aber auch die schiere Quantität dieser Sensoren zeugt von einem Umschlag in eine neue Qualität. Allein die Anzahl der in Konsumgütern (SmartPhones eingeschlossen) eingesetzten Sensoren hat sich von zehn Millionen Stück im Jahre 2007 auf zehn Milliarden im Jahre 2013 erhöht und soll sich im Laufe der kommenden Dekade nochmals um das zehnfache auf eine Billion erhöhen.[2] Und schließlich ermöglicht es die Elektronik diesen Artefakten, auch über drahtlose Kommunikationstechniken untereinander und mit den Menschen Informationen auszutauschen. Das alles bildet die Grundlage für das Internet der Dinge, das Kernstück der digitalen Revolution, das unsere Art zu leben und zu arbeiten völlig umstoßen wird.

Der Zustand der europäischen Industrie auf diesem zukunftentscheidenden Wirtschaftsgebiet ist eine alarmierende Illustration des europäischen Paradoxons. Obwohl in Europa in großer Zahl bahnbrechende Entdeckungen und Erfindungen auf dem Gebiet der Elektronik gemacht wurden und werden, ist diese Industrie zunehmend nach Asien abgewandert. Hier nur einige Beispiele:

Der Giant-magnetoresistance (GMR)-Effekt wurde 1988 von zwei europäischen Wissenschaftlern (Albert Fert und Peter Grünberg) entdeckt und 2007 mit dem Nobelpreis gewürdigt. Dieser spin-elektronische Effekt, der mit kleinsten Strukturen allerkleinste magnetische Felder nachzuweisen gestattet, ist bis heute die entscheidende Grundlage für den anhaltenden Siegeszug immer kleinerer, leistungsfähigerer und billigerer Festplattenspeicher bis in den Terrabyte-Bereich. Wo aber werden diese Festplattenspeicher in hunderten Millionen Stück pro Jahr gefertigt? In Asien. Der GMR-Effekt ist zugleich auch die physikalische Grundlage für magnetische Festkörperspeicher, die MRAMs, die gegenwärtig die aussichtsreichsten Kandidaten für die nächste Generation von Schreib-Lese-Speichern für den Massenmarkt sind und alle Aussicht haben, die heute in allen Rechnern dominierenden DRAMs abzulösen, deren Wirkprinzip der ständigen Strukturverkleinerung bis an die physikalischen Grenzen im Bereich einiger Nanometer nicht mehr standhält. Auch dieser künftige Milliardenmarkt wird nur von asiatischen und neuerdings auch wieder von amerikanischen Herstellern erschlossen. Ein wahrhaft europäisches Paradoxon!

Neben den Speichern gibt es weitere Beispiele für europäische Erfindungen auf entscheidenden Gebieten der Elektronik, die zu keiner Wertschöp-

2 Vgl. http://tsensorssummit.org/.

fung in Europa geführt haben und führen werden. Ein solches Beispiel sind die OLED-Displays. OLEDs sind die Grundlage für die nächste Generation nahezu alle Arten von Displays – angefangen von Displays in mobilen Geräten bis zu Groß-TVs. Diese OLEDs wurden entscheidend vom Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme (FhG-IPMS) und der TU in Dresden entwickelt und in ein Start-up, die Firma Novaled, eingebracht. Eine nennenswerte Produktion hat diese Firma nicht in den Markt bringen können, weil in Europa die entsprechenden Gerätehersteller nicht mehr präsent sind. Aber ihr in rund 500 Patenten gebündeltes Know-how war der Firma Samsung immerhin 260 Mio. € wert. Nach dem Verkauf der Firma Novaled an Samsung im vergangenen Jahr findet nun die milliardenschwere Display-Produktion mit OLEDs in Asien statt (vgl. Langhoff/Junghans 2014).

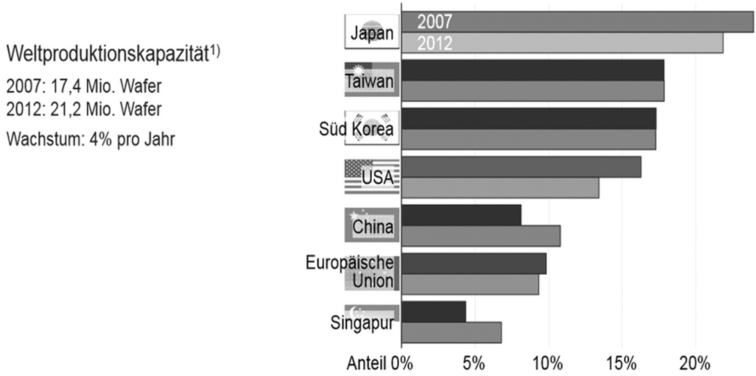
Und schließlich noch ein aktuelles Beispiel: Mit dem Erreichen der physikalischen Grenzen für die weitere geometrische Verkleinerung der Strukturen in der Mikroelektronik, die heute bereits bei den modernsten Halbleitertechnologien 14 nm (INTEL) in der Produktion erreichen, kann die Erhöhung des Integrationsgrades von elektronischen Systemen künftig mit der gewohnten Verdoppelung aller zwei Jahre (Mooresches Gesetz) nur noch über die dritte Dimension erfolgen. Technologien, die eine solche 3D-Integration ermöglichen, sind also bereits in naher Zukunft entscheidend für den technologischen Fortschritt auf dem Gebiet der Elektronik. Auch hier erbringen europäische Forscher im Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC) in Leuven/Belgien und im Fraunhofer-Institut All Silicon System Integration Dresden (FhG-ASSID) internationale Spitzenleistungen. Erste 3D-Bauelemente werden bereits produziert, aber ausschließlich in Asien. Während die USA aus strategischen Gründen eine 3D-Produktionsstätte in Albany/New York vorbereiten, ist eine europäische Produktionsstätte für diese neue Technologiegeneration nicht einmal geplant.

Die Reihe dieser Beispiele ließe sich nahezu beliebig fortsetzen. Volkswirtschaftlich bedeutet dies, dass Europa bei der Produktion elektronischer Technologien immer weiter zurückfällt. Die Forschung und Entwicklung wird vorzugsweise mit Steuermitteln immer noch sehr erfolgreich in Europa durchgeführt, die zu Steuereinnahmen führende Wertschöpfung durch die Produktion findet für diese Entwicklungsergebnisse allerdings zunehmend in Asien und den USA statt.

Ein guter Maßstab für den Stand der Elektronik in einem Land ist dessen Marktanteil an der Herstellung und dem Verbrauch von Halbleiterbauelementen, da diese die Schlüsselelemente moderner Elektronik sind. Heute

liegt der weltweite Marktanteil europäischer Halbleiterhersteller unter 9% (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Verteilung der weltweiten Produktion von Halbleiterbauelementen



1) Waferstarts pro Monat, normiert auf 200mm-Wafer

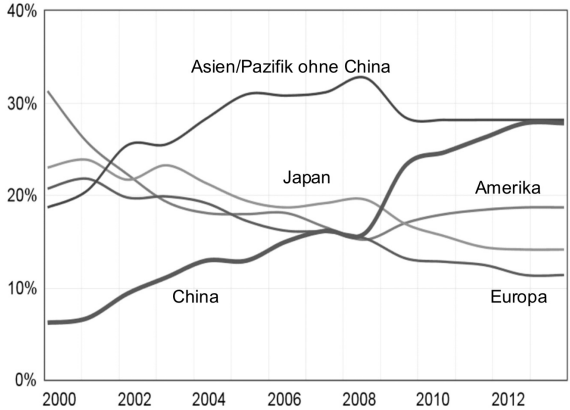
Quelle: http://www.zvei.org/Publikationen/2013-04-Mikroelektronik-Trendanalyse-bis-2017.pdf

Das ist weniger als der Marktanteil am Verbrauch von Halbleiterbauelementen (Bild 2) in Europa, der trotz ebenfalls stark sinkender Tendenz noch bei reichlich 11% liegt.

Hohe Vorleistungen bei Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronik haben nicht zu einer Stärkung des Produktionsstandortes Europa geführt und seinen fortgesetzten qualitativen und quantitativen Abstieg nicht aufhalten können. Die von den Politikern erhofften Innovationen treiben also den entscheidenden Produktionsbereich für die digitale Revolution in Europa nicht ausreichend voran. Wie ist dieses Paradoxon zu erklären?

Herr Grimmeiss hat in seinem Vortrag darauf hingewiesen, dass Innovation ein komplexer Prozess ist, der in Stufen verläuft und hat verschiedene Defizite aufgezeigt, die es insbesondere in der ersten Stufe und der Überführung der Erfindungen in die nachfolgenden Stufen gibt. Warum hinkt also Europa trotz ausgezeichneter Forschungsergebnisse bei Innovationen so sehr hinter den USA her? Viele der erfolgreichsten Innovationen in den USA wurden durch Start-ups realisiert, wofür in Amerika eine lebendige Szene

Abbildung 2: Entwicklung des weltweiten Marktes von Halbleiterbauelementen



Quelle: http://www.zvei.org/Publikationen/2013-04-Mikroelektronik-Trendanalyse-bis-2017. pdf

existiert. Aus Sicht eines Unternehmer und Gründers, der nach 1990 drei Start-ups in Deutschland auf den Weg gebracht hat, davon das letzte im Jahre 2013, muss ich feststellen, dass die Überführung neuer Ideen in die Praxis durch eine Unternehmensgründung in Europa eine Herausforderung ist, die zum geringsten Teil von inhaltlichen Problemen geprägt ist, sondern vor allem unter unzulänglichen wirtschafts- und finanzpolitischen Rahmenbedingungen leidet.

Ein Vergleich des in den USA, Europa und Deutschland eingesetzten Risikokapitals für Start-ups macht diesen Mangel deutlich. Im Jahre 2012 wurde Risikokapital in folgender Höhe aufgebracht:[3]

- USA: 19,1 Mrd. € (26,5 Mrd. US$)
- EU: 3,2 Mrd. €
- Deutschland: 0,36 Mrd. €

Für die EU entspricht diese Summe 1,8% des BIP, was etwas mehr ist, als die 2 Mrd. €, mit denen die EU den Tabakanbau subventioniert. Während es für Start-ups mit vergleichsweise geringem Kapitalbedarf (z.B. Entwicklung von Software für Smartphons) auch in Deutschland gelingt, Risikokapital zu akquirieren, ist es insbesondere für Start-ups auf anspruchsvolleren Gebie-

3 Vgl. https://www.freitag.de/autoren/auerbach/deutschland-usa-ein-vergleich.

ten mit höherem Finanzbedarf (Pharmazie, Mikroelektronik u.a.) nahezu ausgeschlossen, Risikokapitalgeber für den Start eines Unternehmens (speziell in der „Seed"-Phase) zu finden. Selbst Banken verleihen an Unternehmen in Europa immer weniger Geld, erst Recht nicht an Start-ups und schon gar nicht in der entscheidenden Seed-Phase. Die Höhe der von Banken in der EU an Unternehmen außerhalb des Finanzsektors vergebenen Kredite hat sich von 270 Mrd. € im Jahre 2007 kontinuierlich auf 160 Mrd. € im Jahre 2013 verringert.[4] Die Bedingungen für Sicherheiten, die die Gründer von Start-ups den Banken für handelsübliche Kredite zu gewähren haben, schließen besonders in Ostdeutschland die Mehrzahl der Gründer von vornherein für diese Art der Finanzierung aus. Die zu diesem Zweck eigentlich gegründeten staatlichen Bürgschaftsbanken verlangen bei Start-ups ebenfalls Sicherheiten in der Höhe des zu verbürgenden Kredits, sind also auch keine Lösung des Problems.

Staatliche Förderprogramme zur Unterstützung von Unternehmensgründungen – auch Start-ups – existieren zwar, sind aber wegen ihres bürokratischen Aufwandes und seitenlangen Voraussetzungen und Nebenbedingungen für schnelle und ambitionierte Start-ups ebenfalls weitgehend ungeeignet. Für mehr private Investitionen in High-Tech-Unternehmen, einschließlich Start-ups, fehlt die notwendige Planungssicherheit in Folge einer fehlenden Wirtschaftspolitik der Europäischen Union (darunter auch speziell der Bundesrepublik Deutschland). Während die erfolgreichen asiatischen Länder China, Taiwan und Südkorea klare Strategien erarbeitet haben, wie sie strategisch wichtige Industrien ansiedeln und entwickeln, fehlte bisher ein entsprechendes Konzept in der Europäischen Union völlig. Auch die USA haben unter der Re-Industrialisierungs-Agenda der Obama-Administration erfolgreich begonnen, Schlüsselindustrien im Land zu halten und neu aufzubauen. Um Innovationen auf dem Gebiet der Mikroelektronik in industrielle Großproduktionen zu überführen, sind gewaltige Investitionen erforderlich. So kostet heute eine Halbleiterfabrik für die modernste Wafertechnologie im 10 nm-Strukturbereich ca. 10 Mrd. €. Ohne verlässliche wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen, wie sie die erfolgreichen Länder in Asien bieten, werden private Investoren diese Gelder nicht aufbringen.

Seit vergangenem Jahr gibt es jedoch die Hoffnung, dass ein Umdenken in der EU-Spitze begonnen hat, wie die Initiative der EU-Kommissarin Neelie Kroes zeigt, die eine neue Strategie unter dem Namen „A European

4 Vgl. The Economist, 16.8.2014, p. 53.

Strategy for Micro- und Nanoelectronic Components and Systems“ angestoßen hat. Ziel der Initiative ist es, in Europa wieder eine wettbewerbsfähige Elektronikindustrie aufzubauen, die u.a. in zehn Jahren den gegenwärtigen Weltmarktanteil bei Halbleiterschaltkreisen von heute unter 9% auf 20% mehr als verdoppeln soll. Dieses Vorhaben hat dazu geführt, dass in vergleichsweise kurzer Zeit ein konkretes Programm ausgearbeitet wurde, dass das Ziel hat „...to boost Europe’s manufacturing competitiveness by bringing research closer to industrial needs“.[5] Im Juni 2014 wurde eine Roadmap verabschiedet, die die Politik, die Wirtschaft und die Wissenschaft in einem langfristigen Plan zusammenbringt.[6] Auf dieser Basis hat sich die europäische Industrie zu einer entsprechenden langfristigen Strategie bekannt, die für jeden von der EU aufgewendeten Euro vier Euro Privatinvestitionen zusichert, und ist mit dem Programm „Electronic Components and Systems for European Leadership‘ (ECSEL)“ eine langfristige Partnerschaft mit der Wissenschaft eingegangen.[7] Es bleibt zu hoffen, dass damit ein Ansatz gefunden wurde, das europäische Paradoxon für die Elektronik zu überwinden, und damit ein Beispiel für die erfolgreiche Zusammenführung der Forschungspolitik mit einer noch auszuarbeitenden Wirtschaftspolitik der EU insgesamt geschaffen wird.

Nur durch eine effiziente pan-europäische Forschungsinfrastruktur, die sich einfügt in eine zukunftsweisende europäische Wirtschaftspolitik, ist die Lösung des europäischen Paradoxons möglich. Dennoch bleibt es eine ständige Herausforderung, die Anliegen der Gesellschaft, der Wirtschaft und der Wissenschaft durch interdisziplinäre Diskussionen für die Öffentlichkeit verständlich und transparent darzustellen, um in einer so dynamischen Zeit, die durch die digitale Revolution geprägt ist, die Ziele der Forschungs- und Wirtschaftspolitik im gesellschaftlichen Konsens zum Wohl der Gesellschaft auszuarbeiten. Ich unterstütze deshalb sehr den Vorschlag von Herrn Grimmeiss, sich im Rahmen der Leibniz-Sozietät (LS) gezielter den Fragen der Diskussion und Kommunikation mit der Gesellschaft zu stellen. Das Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien (LIFIS) ist gern bereit, zunächst einen Workshop zu organisieren, der die von Herrn Grimmeiss genannten Aufgaben der Arbeitsgruppe des LS konkretisiert und einen Plan zu deren

5 https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/pillar-v-research-and-innovation/action-131-action-plan-electronics-industry-europe-further-2012

6 Vgl. https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/european-industrial-strategic-roadmap-micro-and-nano-electronic-components-and-systems-0.

7 Vgl. http://www.zvei.org/Presse/Presseinformationen/Seiten/ECSEL-Germany-Schulterschluss-der-Deutschen-Wirtschaft-und-Wissenschaft-fuer-Elektroniksysteme.aspx.

Umsetzung erarbeitet. In diesem Rahmen kann das LIFIS durchaus die Rolle übernehmen, die ihm mit seiner Gründung von der Leibniz-Sozietät zugedacht war, also den Mittler zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu spielen.

Literatur

Brynjolfsson, E.; McAfee, A. (2014): The Second Machine Age. Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. New York/London

Langhoff, N.; Junghans, B. (2014): Wissenschaft als Dienstleistung. In: Banse, G.; Grimmeiss, H. (Hg.): Wissenschaft – Innovation – Technologie. Berlin, S. 389–399 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 37)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 211–217*

Ernst-Otto Reher, Gerhard Banse

Schlusswort und Ausblick

Das Symposium verdeutlichte, wie sich die Technologie-Evolution in der Wissensgesellschaft vollzieht, die vor allem durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist: Miniaturisierung, steigende Komplexität der Systeme, zunehmende Durchdringung von technischen Systemen mit Informations- und Kommunikationstechnologie, „Verschränkung" von Biotischem mit Technischem sowie rasche Entwicklung und umfassende Nutzung der Kommunikationstechnologien in allen gesellschaftlichen Sphären (vgl. näher Öhlmann 2014; Steinmüller/Steinmüller 2006).

Alle Prozesse in der menschlichen Gesellschaft werden durch diese Entwicklung einerseits „gläserner" und andererseits offener für Veränderungen. Die Gestaltung dieses Transformationsprozesses stellt neue und höhere Anforderungen an die Gesellschaft, in der Wirtschaft, an Bildung, Politik und Kultur.

Aus technologischer Sicht lassen sich folgende technologischen Gesetze (Regeln) formulieren, die diesen Transformationsprozess begleiten:

(1) Je tiefer die technologischen Prozesse wissenschaftlich aufgelöst und erkannt werden (Makro → Mikro → Nano), d.h. „gläserner" werden, desto größer wird die Vielzahl an Artefakten zu ihrer optimalen Realisierung.
(2) Aufgedeckte Prozessmechanismen bestimmen die Artefaktgestaltung und Artefaktfolge in einer technologischen Linie.
(3) Das System ist mehr als die Summe seiner Elemente:

$$S > \sum_{i=2}^{\infty} E_i \,.$$

(4) Nach wie vor gilt: Nicht so genau wie möglich, sondern so genau wie nötig.

Alle vier technologischen Gesetze erfüllen die oben genannten Merkmale der technologischen Evolution und erhalten ihre volle Entfaltung in der Wissensgesellschaft, die die Herausbildung von konvergenten Technologien ermöglicht und fördert. Charakteristisch dafür sind die folgenden Überlegungen:

1. Zur Nanotechnologie:

   „Hier verbindet sich ein naturwissenschaftlich-reduktionistisches mit einem mechanisch-technischem Weltbild, dem zu Folge die Natur auch nur ein Ingenieur ist [...] Da wir uns nun angeblich ihre Konstruktionsprinzipien zu Eigen machen können, sehen wir überall nur noch Maschinen – in den menschlichen Zellen einerseits, in den Produkten der Nanotechnologie andererseits“ (Nordmann 2007, S. 221).

2. Zur synthetischen Biologie:

   „Synthetische Biologie ist die Anwendung von Prinzipien der Ingenieurwissenschaften auf die Biologie. Dies kann den Umbau eines lebenden Systems beinhalten, das dann etwas leistet – z.B. die Herstellung einer spezifischen Substanz –, das es normalerweise nicht leisten würde. Noch ambitionierter sind Versuche, nicht nur lebende Systeme zu verändern, sondern gänzlich neue herzustellen, also Leben ‚an sich‘ aus nichtlebenden Material hervorzubringen“ (EASAC/ Leopoldina 2011, S. 3).

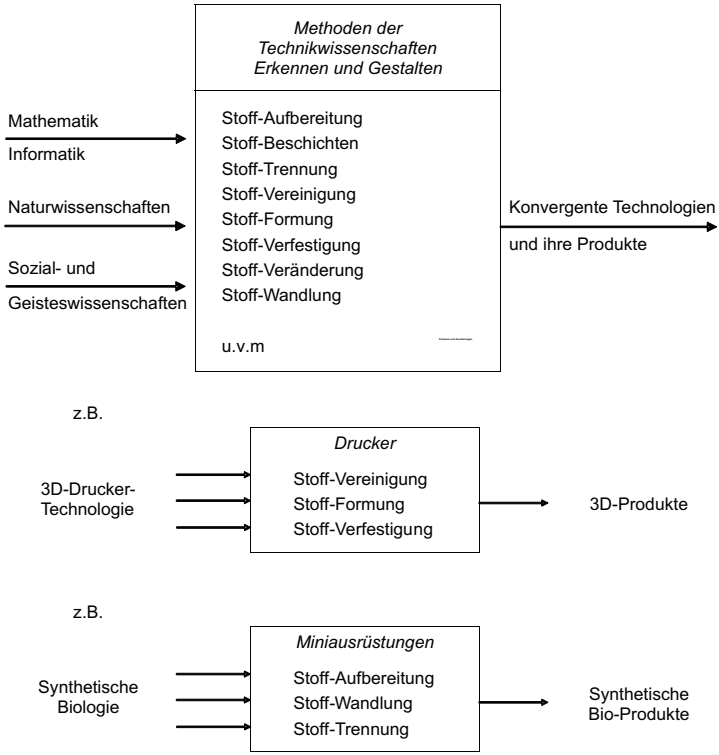
Beide konvergente Technologien stellen hohe Erwartungen an die Technikwissenschaften, als zentrales Element der Herausbildung der konvergenten Technologien (siehe Abbildung 1). Die Wissenschaft, die Bildung und die Wirtschaft müssen sich als erste auf diese Entwicklung einstellen. Die Allgemeine Technologie kann hierbei eine fördernde Rolle spielen.

Die Miniaturisierung äußert sich bei Verfahren, bei Ausrüstungen und bei Produkten:

- bottom-up-Verfahren (naturwissenschaftlich dominierende Methoden);
- top-down-Verfahren (technikwissenschaftlich dominierende Methoden);
- Mikroausrüstungen;
- Nanostrukturierungen (Handhabungsprozesse);
- Nanoprodukte (< 100 nm), Teilchen, Strukturen;
- Mikroprodukte (> 100 nm), Teilchen, Strukturen.

Auf allen Ebenen der Technologie-Kette (siehe Abbildung 2 und das Fallbeispiel) wird heutzutage diese Miniaturisierung deutlich sichtbar. Das Angebot von kommerziellen Ausrüstungen zur Technologiegestaltung mit Mikroausrüstungen ist sehr vielfältig und betrifft die Herstellung der Produkte bis zu ihrer Wiederverwertung. Besonders verbreitet ist die Anwendung in der Biotechnologie, in der chemischen und pharmazeutischen Technologie, in der Pyrotechnik, in der medizinischen Diagnostik u.a. Darüber hinaus spielen die Verfahren und Ausrüstungen in der Ausbildung eine bedeutende Rolle.

Abbildung 1: Die Technikwissenschaften mit ihren Methoden als zentrales Element der konvergenten Technologien



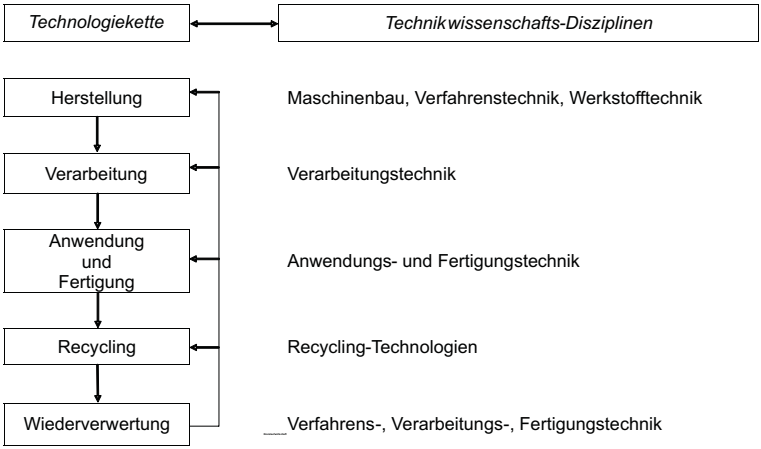
Anmerkung: Das hier Dargestellte gilt analog für Energie und Information.
Eigene Darstellung

Die steigende Komplexität der Systeme äußert sich bei der Herstellung multifunktionaler, komplexer Produkte, z.B. Computer, Handys, Prothesen, Funktionswerkstoffe, Diagnosegeräte der Technik und Medizin. In diesen Produktionsverfahren laufen verfahrenstechnische und fertigungstechnische Prozessabläufe in den Linien (Ausrüstungen) gleichzeitig ab. Neben fluidmechanischen Vorgängen überlagern sich Stückgutprozesse, die den Einsatz der Robotertechnik ermöglichen (erfordern). Diese „heterogenen“ Technologien sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- abschnittsweise kontinuierliche und diskontinuierliche Prozessabläufe;

- Fließ- und Handhabungsprozessabschnitte (entsprechende Mess- und Steuerungstechnik, TUL-Prozesse für fluid und fest);
- Prozesse für Reinstraumbedingungen, Einkapselung von Teil- und/oder ganzen Ausrüstungen.

Abbildung 2: Technologische Prozesskette und Technikwissenschafts-Disziplinen



Eigene Darstellung

Material- und Energietechnologien haben schon immer die Informationstechnologie benötigt. Durch die Entwicklung der IKT in den letzten Jahrzehnten ist es möglich geworden, neue, umfangreichere, qualitativ höhere Problem- und Aufgabenstellungen in Angriff zu nehmen.

So können heute sowohl in der Mikro- wie in der Makrowelt der Technologien (Prozesse und Systeme) Quantifizierungen vorgenommen werden, die früher nicht möglich waren (vgl. Hartmann/Reher 2009). Darüber hinaus können virtuell und im Echtzeitbetrieb alle technologischen Schritte, Ausrüstungen, Fabriken usw. visuell am Bildschirm verfolgt werden (vgl. Balzer/Thierse 2014). Die IKT kann heute mit ihren Produkten (Soft- und Hardware) die Material- und Energietechnologien im gesamten Reproduktionsprozess, d.h. von der Forschung und Entwicklung bis zum Rückbau, begleiten sowie Einfluss nehmen auf diese Technologien und ihre Produkte, z.B. auf Computer und Sensoren in Autos, Flugzeug und Haushaltsgeräten, auf Chemieprodukte und Lebensmittelverpackungen, auf lebende Organismen u.a.m.

Um die zunehmende Durchdringung von technologischen Systemen mit IKT weiter voranzubringen, sind interdisziplinäre/transdisziplinäre Anstrengungen erforderlich, die zu neuen Wissenschaftsdisziplinen führen können, z.B. Bioinformatik oder NBIC.

Während Physik und Chemie schon eine längere Tradition in der Verschränkung mit dem Technischen nachweisen können (es gab sogar eine Zeit, die nicht lange her ist, als die Technikwissenschaften als angewandte Naturwissenschaften deklariert worden sind), beginnt nun die Biologie, sich ebenfalls in dieser Richtung zu entfalten (siehe Abbildung 1). Dass äußert sich in den folgenden Fachgebieten wie

- Bionik;
- Gentechnik;
- Biotechnologie;
- Synthetische Biologie;
- Bio-Medizin-Technik;
- Nano-Bio-Informations- und Kognitionstechnologie (NBIC).

Die Kommunikationstechnologie erfährt eine Entwicklung im Range der jetzigen Material- und Energietechnologien und wird sie wie auch alle anderen Bereiche des gesellschaftlichen und persönlichen Lebens durchdringen. Sie gestaltet die „gläserne Gesellschaft“, erfasst jedes Individuum und erfordert neue Rahmenbedingungen aus der Sicht der naturalen, sozialen und humanen Dimensionen. Studiengänge an Universitäten und Hochschulen entstanden und entstehen weiter, die die IKT entwickeln, anwenden und Serviceleistungen in allen Lebensbereichen der Gesellschaft anbieten. Studienabgänger der IKT haben derzeit große Chancen in der Wirtschaft oder im Dienstleistungsbereich, eine Anstellung zu finden. Auch werden die Studiengänge der Material- und Energietechnologien sowie der Sozial- und Geisteswissenschaften immer stärker durch die IKT durchdrungen.

Fallbeispiel: Evolution der Technologie am Beispiel der Kunststoff-Linie

Herstellung

Polymere werden nach Wunsch im Makromaßstab und Mikromaßstab produziert. Durch selektive Polymerisationsprozesse und ihre Steuerung werden Polymere in Anlagen hergestellt, die den Kundenwünschen entsprechen.

Anwendungsgerechte Herstellung, z.B.

- keine Fädenziehen (3D-Drucker-Technologie);
- hohe Klebekraft (Tesa-Bänder);
- biologisch abbaubar (Verpackungen);
- hohe Wärme- und Chemikalienbeständigkeit;
- Vielzahl physikalisch-chemischer Eigenschaften u.a.

Verarbeitung

Polymerisations-Verarbeitungs-Prozess-Einheit als Mikro- und Makroausführungen, z.B.:

- Extruderschneckendurchmesser von 1–70 cm für Einschneckenextruder;
- Spritzgießeinheiten von Gramm bis Kilogramm;
- Mischer und Walzwerke von Gramm bis Kilogramm.

Anwendung und Fertigung

Wiederverwendungsgerechte Fertigung, Montage- und demontagefreundliche Produkte, Robotereinsatztechnik, Produkte für alle Lebensbereiche anwendbar, z.B.:

- Wickelroboter bei verstärkten Kunststoffen;
- Handhabungsprozesse;
- Hochleistungs-Verbund-Werkstoffe.

Recycling

Industrielle Trennverfahren zur stofflichen Verwertung der Polymere.

Wiederverwertung

Wiederverwertungstechnologien entwickeln; z.B. werden aus Autoreifen biotechnologisch umgewandelte neue Gummiprodukte.

Ausblick

(1) In Fortführung der Auseinandersetzung mit der Wissensgesellschaft sollte angeregt werden, in unserer Klasse oder/und im Plenum die Diskussionen zu dem Thema zu vertiefen.

(2) Für das Jahr 2016 könnte das Thema des VII. Symposiums lauten: „Ressourcenschonende technologische Prozesse und Ausrüstungen – ein Beitrag zur Nachhaltigkeit“.
(3) Wünschenswert ist, eine zweite, erweiterte (bzw. veränderte) Auflage der „Beiträge zur Allgemeinen Technologie“ in den Abhandlungen der Leibniz-Sozietät zu erarbeiten.
(4) Wünschenswert ist, auf der Homepage der Leibniz-Sozietät Beiträge im Rahmen der Enzyklopädie „Allgemeine Technologie“ zu veröffentlichen.

Literatur

Balzer, D.; Thierse, P. (2014): Überwachung und Steuerung technologischer Prozesse und Systeme. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 205–262 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)

EASAC – European Academies Science Advisory Council; Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften (2011): Synthetische Biologie. Eine Einführung. – URL: http://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/201106_EASAC_Synthetische_Biologie_Eine_Einfuehrung_DT1.pdf [09.09.2014]

Hartmann, K.; Reher, E.-O. (2009): Mathematische Modelle – Grundlage für moderne Technologien. In: Banse, G.; Küttler, W.; März, R. (Hg): Die Mathematik im System der Wissenschaften. Berlin, S. 131–145 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 24)

Nordmann, A. (2007): Entflechtung – Ansätze zum ethisch-gesellschaftlichen Umgang mit der Nanotechnologie. In: Gazsó, A.; Greßler, S.; Schiemer, F. (Hg.): Nano – Chancen und Risiken. Wien, S. 215–229

Öhlmann, G. (2014): Technologien im 21. Jahrhundert. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 379–444 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)

Steinmüller, K. H.; Steinmüller, A. (2006): Die Zukunft der Technologien. Hamburg

Anschriften der Autoren

Professor Dr. sc. phil. Professor e.h.
Gerhard Banse, Präsident der
Leibniz-Sozietät
Theodorstraße 13
12623 Berlin
gerhard.banse@partner.kit.edu

Professor Dr.-Ing. habil.
Johannes Briesovsky
BB ResoPuls Ingenieurbüro
Ruhrweg 9
06217 Merseburg
briesovsky@resopuls.com

Professor Dr. sc. techn.
Lutz-Günther Fleischer, MLS
Paul-Junius-Straße 68
10369 Berlin
fleischer-privat@gmx.de

Professor Dr.-Ing. habil.
Wolfgang Fratzscher
Marsstraße 13
06118 Halle
wolfgang.fratzscher@t-online.de

Professor Dr.-Ing. habil.
Horst Goldhahn
Am Leutewitzer Park 42
01157 Dresden
goldhahn-horst@t-online.de

Professor Dr. rer. nat.
Hermann Grimmeiss, MLS
University of Lund
Solid State Physics
Box 118
22100 LUND / SCHWEDEN
hermann.grimmeiss@ftf.lth.se

Dr.-Ing. Ernst-Peter Jeremias
tetra ingenieure GmbH
Rosa-Luxemburg-Straße 30
16816 Neuruppin
jeremias@tetra-ingenieure.de

Professor Dr.-Ing.
Bernd Junghans, MLS
Theresienstraße 9d
01097 Dresden
berndjunghans@t-online.de

Professor h.c. Dr.-Ing.
Christian Kohlert, MLS
Rotsteinerstraße 14
56414 Oberahr
c.kohlert@kpfilms.com

Professor Dr. paed. habil.
Hans-Joachim Laabs
Universität Potsdam
Professur für Technologie und
berufliche Orientierung
Lehreinheit für Wirtschaft-Arbeit-
Technik
Karl-Liebknecht-Straße 24-25
14476 Potsdam
hajlaabs@uni-potsdam.de

Professor Dr.-Ing.
Jens-Peter Majschak
Technische Universität Dresden
Institut für Verarbeitungsmaschinen
und Mobile Arbeitsmaschinen
01062 Dresden
jens-peter.majschak@tu-dresden.de

Dr. rer. nat. Norbert Mertzsch
Menzer Straße 39
16831 Rheinsberg
mertzsch@t-online.de

Professor Dr. sc. techn. Professor h.c.
Dr. h.c. Ernst-Otto Reher, MLS
Am Bruchsee 7
06122 Halle
otto.reher@gmx.de

Dr.-Ing. Peter Schwarz
Rudolf-Breitscheid-Straße 21
06729 Elsteraue
ibs.schwarz@gmail.com

Professor Dr. rer. nat. habil.
Dieter Seeliger, MLS
Stresemannplatz 6
01309 Dresden
dieterseeliger@web.de