SITZUNGSBERICHTE
DER LEIBNIZ-SOZIETÄT
Band 112• Jahrgang 2011

trafo Verlag Berlin

ISSN 0947-5850 ISBN 978-3-89626-282-9

Inhalt

4. Symposium des Arbeitskreises "Allgemeine Technologie"

01 Gerhard Banse: Grußwort

02 *Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher:* Einleitung

03 *Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher:* Ambivalenzen von Technologien - Chancen erhöhen, Gefahren mindern, Missbräuche verhindern

04 *Klaus Hartmann:* Risiken und Chancen der Renaissance "vergessener" Technologien (am Beispiel fossiler Kohlenstoffträger)

05 *Lutz-Günther Fleischer:* Ambivalenzen und Komplexität stoffwandelnder Technologien - Widersprüche aufheben, Chancen entwickeln

06 *Dieter Seeliger:* Ambivalenzen in der Uranwirtschaft - Segen oder Fluch für die Menschheit?

07 *Herbert Hübner, Ernst-Otto Reher:* Ambivalenzen der Kunststofftechnologie - Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts

08 *Christian Kohlert:* Nanotechnologie: Vor- und Nachteile der Anwendung für polymere Folien

09 *Wolfgang Fratzscher:* Zu Risiken und Nebenwirkungen lesen Sie den Sicherheitsbericht oder fragen Sie …

10 *Norbert Mertzsch:* Ambivalenzen erneuerbarer Energien

11 *Dietrich Balzer:* Automatisierung - Fluch oder Segen?

12 *Klaus Fuchs-Kittowski:* Zur Ambivalenz der Wirkungen moderner Informations- und Kommunikationstechnologien auf Individuum, Gesellschaft und Natur. Potenziale und Risiken allgegenwärtiger Datenverarbeitung?

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 5–6*

Grußwort

Meine sehr geehrten Damen und Herren, liebe Mitglieder, Freunde und Gäste der LS,

hiermit begrüße ich Sie im Namen des Präsidenten der LS, Herrn Professor Dr. Dieter B. Herrmann, der leider verhindert ist, und auch in meinem eigenen Namen zum 4. Symposium des Arbeitskreises „Allgemeine Technologie“ der LS „Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch“.

Der Arbeitskreis „Allgemeine Technologie“ der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, gegründet am 12. Oktober 2001, hat in den Jahren 2001, 2004 und 2007 in Kooperation mit dem Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Forschungszentrums Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft (jetzt: Karlsruher Institut für Technologie) drei Symposien zur Allgemeinen Technologie durchgeführt:

- Allgemeine Technologie – Vergangenheit und Gegenwart;
- Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie;
- Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie.

Dabei wurde eine Vielzahl historischer wie systematisch-konzeptioneller Überlegungen vorgestellt und diskutiert. Die Ergebnisse der Tagungen sind in den Bänden 50, 75 und 99 der Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät dokumentiert. Unser Mitglied Klaus Krug hat diese Bände in einer Sammelrezension für die Zeitschrift „Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis“ vorgestellt (Nr. 2/2010, S. 96-100).

Mit dem 4. Symposium am 12. November 2010 wird ein weiterer Aspekt der Allgemeinen Technologie herausgearbeitet: die Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren und Missbrauch. An ausgewählten Material-, Energie- und Informationstechnologien wird der Januskopf der Technik aufgezeigt, auch aus verschiedenen Perspektiven (z. B. Unternehmer, Angestellter, Nutzer, Bürger, …). Ob eine Technologie Fluch oder Segen bedeutet, hängt dabei nicht nur von den Technologieschöpfern ab, sondern wird stark auch durch die Technologiebegleiter einschließlich Politiker, Medien und Öffentlichkeit mitbestimmt. Insofern ergibt sich nach wie vor die Notwendig-

keit einer „technologischen Aufklärung“, wie sie Günter Ropohl bereits in den 1960er Jahren gefordert hat. Dass dazu auch der Bereich der curricularen technischen Bildung gehört, ist naheliegend. Deshalb freue ich mich, dass wir seit dem Leibniz-Tag 2010 mit Herrn Bernd Meier aus Potsdam einen Experten für Technikbildung in unserer Mitgliedschaft haben.

Ich bedanke mich bei den Mitglieder des Arbeitskreises Allgemeine Technologie für die Zusammenstellung des interessanten Symposium-Programms, das als Vortragende neben den „Stamm-Referenten“ Dietrich Balzer, Lutz-Günther Fleischer, Wolfgang Fratzscher, Klaus Fuchs-Kittowski, Klaus Hartmann, Herbert Hübner und Ernst-Otto Reher wie immer auch neue Referenten (in diesem Fall Christian Bauer, Christian Kohlert, Norbert Mertzsch und Dieter Seeliger) umfasst, die z.T. auch neue Institutionen repräsentieren:

- Paul Scherrer Institut, Villigen (Schweiz);
- Klöckner Pentaplast Europa, Montabaur u. St. Petersburg
- Verein Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler e.V.

Ich hoffe, dass daraus intensive Kooperationen zur Weiterentwicklung der AT resultieren werden.

Einstimmend auf die Inhalte des Symposiums – bzw. dieses Bandes – sei eine Überlegung zitiert, die John Ruskin (1819-1900) zugeschrieben wird,[1] die gleichnishaft für manche Widersinnigkeit der Gegenwart steht:

Wie viel ist wenig genug?

Es gibt auf der Welt fast nichts, was man nicht ein wenig schlechter machen und billiger verkaufen könnte. Wer nur auf den Preis achtet, wird zu Recht Beute solcher Geschäftspraktiken.

Es ist unklug, zu viel zu zahlen, aber es ist auch unklug, zu wenig zu zahlen. Zahlt man zu viel, verliert man ein bisschen Geld, mehr nicht. Zahlt man zu wenig, verliert man manchmal alles, weil der gekaufte Gegenstand seinen Zweck nicht erfüllt.

Die Marktgesetze verbieten es, dass man für wenig Geld viel Leistung erhält – das ist unmöglich. Kauft man vom billigsten Anbieter, muss man für den eventuellen Ärger etwas Geld zurücklegen.

Und wenn man das tut, hat man auch genug Geld, um etwas Besseres zu kaufen.

Gerhard Banse
Vizepräsident der Leibniz-Sozietät

1 Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/John_Ruskin.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 7–18*

Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher

Einleitung

Die Allgemeine Technologie bedarf einer multidimensionalen Betrachtung, um lehrbar und anwendbar in der Praxis zu sein. So sollte sie aus der Sicht

- des Reproduktionsprozesses (von der Forschung, Entwicklung, Berechnung, Planung, Entwurf, Projektierung bis zur Gestaltung, dem Betrieb und Rückbau komplexer Prozess-Anlagensysteme),
- der Natur-, Technik-, Sozial- und Geisteswissenschaften,
- der Technologiehierarchieebenen (Nano-, Mikro-, Meso- und Makroebenen) sowie räumlichen und zeitlichen Skalierungen,
- der technologischen Elemente (Arbeitsgegenstand, Arbeitsmittel und Arbeitskraft)

und weiterer Sichtweisen gestaltet werden (siehe Abbildung 1).

Mit den Symposien in den Jahren 2001, 2004 und 2007 (vgl. Banse/Reher 2002, 2004, 2008) wurden die genannten Aspekte partiell und mit unterschiedlicher Intensität behandelt, ohne sie erschöpfend ausformuliert zu haben. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von weiteren Aspekten, die zusätzliche Betrachtungen erforderlich machen.

Im IV. Symposium im Jahr 2010 wurde der „Januskopf" der Technologie behandelt – die Chancen, die möglich sind, die Gefahren, die entstehen können, und der Missbrauch, der verhindert werden soll. Die Auseinandersetzung mit diesen Aspekten der Technologie ist besonders heute wichtig: bei erkennbarer Ressourcenknappheit, bei bevorstehender Klimaerwärmung, hervorgerufen durch den Menschen, bei wachsender Umweltverschmutzung (vor allem radioaktive und synthetische Abfälle) und bei steigender Bevölkerungszahl. Diese Hinterlassenschaften der Industriegesellschaft muss die Wissensgesellschaft, an deren Eintritt wir uns befinden, nachhaltig bewältigen, wenn unser Planet bewohnbar bleiben soll.

Das Symposium hat nicht nur Zustände dokumentiert oder mögliche Perspektiven zu Chancen, Gefahren und Missbrauch der Technologie prognostiziert, sondern hat auch gezeigt, wie Chancen verbessert, Gefahren gemindert und Missbrauch verhindert werden kann (siehe Abbildung 2).

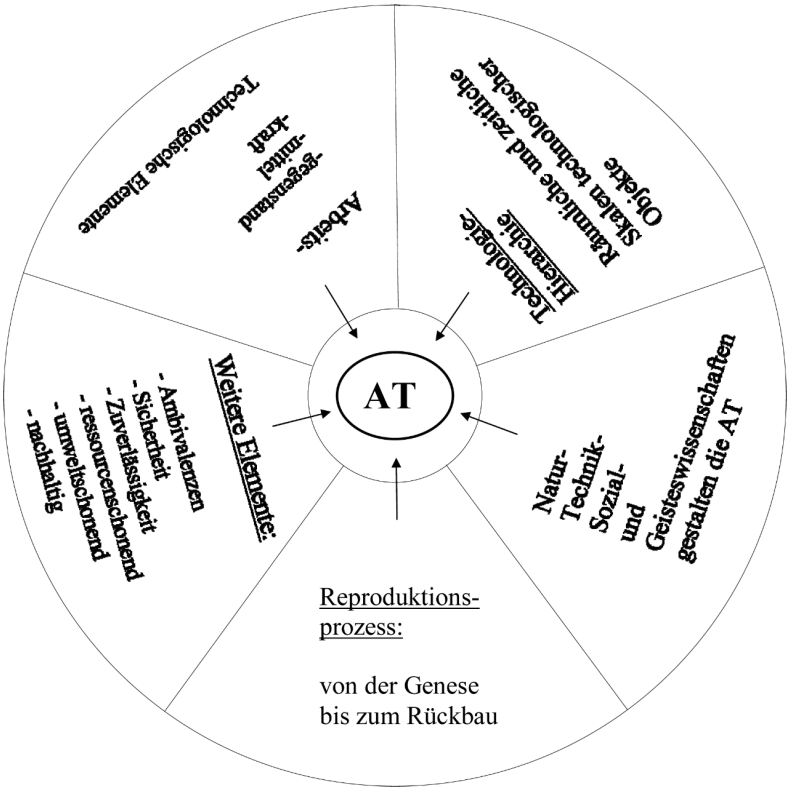


Abbildung 1: Einflüsse auf die Gestaltung der Allgemeinen Technologie
eigene Darstellung

Gerhard Banse und *Ernst-Otto Reher* stellen in ihrem Eröffnungsbeitrag die Vielfalt möglicher Ambivalenzen aus einer übergeordneten Sicht und aus den Blickwinkeln unterschiedlicher Betrachter des sozialen Systems (Unternehmer, Angestellter, Händler, Verbraucher, Greenpeace-Anhänger u.a.) dar. Im Mittelpunkt der Betrachtungen standen die Material-, Energie- und Informationstechnologien. Folgendes Fazit zogen sie aus ihren Analysen, die sie stets mit konkreten Beispielen belegen konnten:

1. Jeder Fortschritt (Technologie, Technik, Erzeugnisse) erzeugt Ambivalenzen – Chancen, Gefahren, Missbrauch.
2. Vordergründig sehen Natur- und Technikwissenschaften in ihrem Handeln die Chancen der Technologie. Die Sozial- und Geisteswissenschaf-

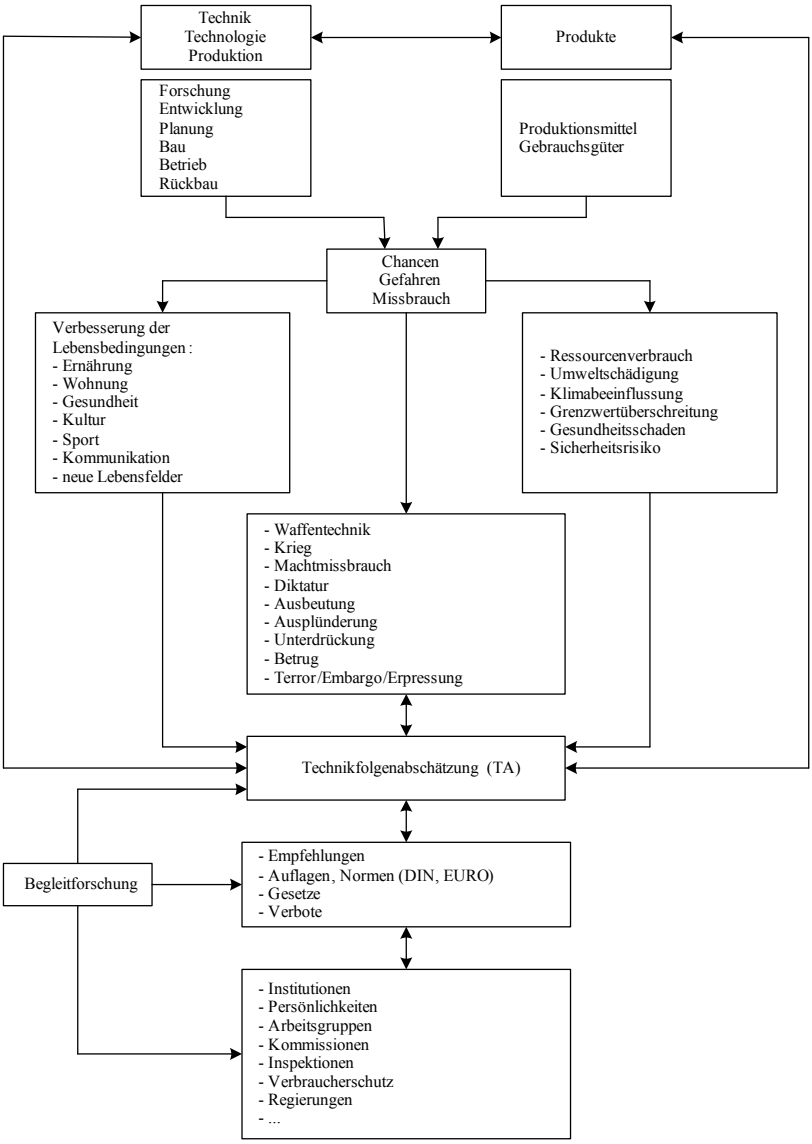


Abbildung 2: Zusammenhänge zwischen Chancen, Gefahren und Missbrauch von Technologien eigene Darstellung

ten beachten stärker die Gefahren und den Missbrauch. Im Zusammenwirken beider Kulturen entstehen Kompromisslösungen. Dieser Umstand resultiert letztlich schon aus den bisherigen Ausbildungen. Die Schlussfolgerung muss lauten: ein verändertes Ausbildungsprofil, das eine Brücke zwischen den Kulturen herstellt.

3. Mit den Methoden der Technikfolgenabschätzungen wurde ein Instrumentarium geschaffen, das optimierte Lösungen entwickeln lässt.
4. Nutzlose Technologien und Erzeugnisse verschwinden vom Markt (Angebot – Nachfrage), schadenbringende nicht (z. B. Waffen).
5. Nicht nur Technologien haben ambivalente Wirkungen, sondern auch ihre Erzeugnisse. Aus diesem Grund müssen auch die Händler (Vertrieb) und die Verbraucher sich mit der Ambivalenz ihrer Erzeugnisse auseinandersetzen. Der Gesetzgeber überwacht die Kennzeichnung der Produkte und formuliert Vorgaben, die einzuhalten sind. Der Verbraucher kann den Absatz der Produkte beeinflussen (Bioprodukte, Plagiate, gesundheitsschädigendes Spielzeug, durch Kinderarbeit erzeugte Produkte, Produkte aus Waldvernichtung u.v.m.).
6. Die in allen Wissenschaftsdisziplinen angewendeten Konzepte des Reduktionismus und der Emergenz (Analyse und Emergenz) konnten auch in der Technologie erfolgreich angewendet werden, nachdem durch andere Wissenschaftsdisziplinen Voraussetzungen dazu geschaffen wurden. Johann Beckmanns Allgemeines Technologiekonzept kann somit aus der verbalen, qualitativen Darstellung auf die Ebene quantifizierbarer Zusammenhänge weiterentwickelt werden und das nicht nur für die naturalen Dimensionen der Technologie, sondern auch für die humanen und sozialen Dimensionen.
7. Die regionalen und globalen Ambivalenzen der Technologie sind objektiv stets präsent, nur die Blickwinkel der Menschen – ob Unternehmer, Politiker, Arbeitnehmer, Umweltschützer, Greenpeace-Anhänger u.v.a. Gruppen – werden in der Bewertung der Chancen, Gefahren und des Missbrauchs unterschiedlich beurteilen. Sie reichen von Ablehnungen bis Befürwortungen der Technologie, je nachdem wie die Zugehörigkeit der Menschen in der sozialen Gesellschaftsstruktur ist. Durch wissenschaftliche und wirtschaftliche Aufwendungen und sozialpolitische Maßnahmen kann das Verhältnis von Chancen und Gefahren grundsätzlich verbessert werden. Der Missbrauch kann nur durch den Gesetzgeber und seine Kontrollorgane verhindert werden. Alle wissenschaftlich-technischen und gesellschaftlichen Bestrebungen müssen auf das „Schwergewicht Chancen“ gerichtet sein.

Klaus Hartmann gibt in seinem Beitrag Gründe an, warum bewährte Technologien in „Vergessenheit" geraten bzw. eine „Verfemung" erfahren: Untergang von Zivilisationen, Erschöpfung der Rohstoffbasis, Produkte werden nicht mehr benötigt oder erweisen sich als schädlich oder umweltbelastend (Verbote) bzw. werden durch andere Produkte abgelöst. Neue, billigere Rohstoffquellen erfordern neue Technologien, neue Bewertungskriterien, oft sind es auch eine restriktive Patentpolitik oder firmenpolitische Geheimhaltungen. Aber auch der Verlust der gesellschaftlichen Akzeptanz der Technologien, politische Präferenzen u.a. können zum Untergang von Technologien führen. Dabei muss dieses „Vergessen" nicht global, sondern kann auf bestimmte Länder oder Regionen (oder auch zeitlich) beschränkt sein. Zahlreiche alte Technologien erfahren im Rahmen der Nachhaltigkeit, der „grünen" Technologien und der „weißen" Biotechnologie ihre Renaissance bzw. erhalten neue Chancen. Es existieren aber auch alte, bewährte Technologien, die „nachhaltig" ignoriert werden – durch langfristig einseitige Orientierungen auf vermeintliche bessere Alternativen. Die daraus resultierenden Konsequenzen für unsere Gesellschaft erläutert er an den Beispielen der Technologien der fossilen Kohlenstoffträger, wie: Kohleverflüssigung, Kohlevergasung, plasmachemische Synthesen auf Kohlebasis, Flüssig-Erdgas-Technologie.

Lutz-Günther Fleischer geht davon aus, dass die sich gegenwärtig rasch entwickelnden und dabei in manchem grundsätzlich – wesensgemäß auch mit widersprüchlichen Ergebnissen – qualitativ verändernden Technologien der Stoffwandlung zahlreiche Industriezweige von maßgeblichem Stellenwert für das gesellschaftliche Produktionsniveau sind und die Lebensqualität mit all ihren materiellen und ideellen Elementen prägen. Das sich differenzierende Spektrum der Biotechnologien, die Lebensmittel-, Pharma-, Kosmetik-, Chemie-, Metall-, Textil- und Baustoffindustrie, die Abfallwirtschaft sowie die Wasser-, Boden- und Luftreinhaltung dominieren in diesem final orientierten Ensemble der Stoffwandlungstechniken. Erwartet werden von diesem hoch potenten dualen Wissens- und Prozesssystem effektiv geschaffene und gewichtige Gebrauchswerte, höchste Perfektion der Funktionalität, Zuverlässigkeit und Sicherheit. Beobachtbar sind beim Wandel des Gegenwärtigen allerdings Innovationen und Destruktionen, sinkendes Vertrauen und wachsendes Misstrauen. Zu den unabweisbaren Realitäten gehören augenscheinlich affektive, voluntäre und intellektuelle Ambivalenzen und folgerichtig Diskurse zum prinzipiell Gestaltbaren, Erstrebenswerten, Gewollten und Tolerierbaren, über Risiken unterschiedlichster Dimensionen sowie existente und befürchtete Fehlentwicklungen. Im Beitrag wird Grundsätzliches und Ex-

emplarisches – besonders aus den zunehmend interagierenden, u.U. sogar konvergierenden, Bio- und Lebensmitteltechnologien – diskutiert. Die Genmanipulation, das genetic engineering, ist wegen seiner gravierenden Eingriffe das avantgardistischste und demgemäß umstrittenste Instrumentarium innerhalb der modernen Biotechnologien. Mit deren Applikationsbreite entfalten sich auch die eher verwirrenden „Farbspiele" um die weiße, grüne, rote, graue, blaue und braune Biotechnologie. Spannungsfelder, scharfe Konfliktlinien und Brüche ergeben sich zudem bei der competetiven stofflichen und/oder energetischen Nutzung von Biomassen (als nachwachsenden Rohstoffen sowie Trägern metabolisch und technisch verwertbarer Energie) bezüglich der Technologien zur Sicherung der unverzichtbaren und umfassenden Lebensmittelqualität, beim Einsatz von Lebensmittel-Zusatzstoffen, bei der Produktakzeptanz, dem product engineering und dem Design funktioneller Lebensmittel: der Konzentrierung von health ingredients bzw.der Integration bioaktiver Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (novel food), dem Einsatz sekundärer Metaboliten in designer food bzw. mit gesundheitsrelevanten Komponenten angereicherten Nahrungs-Ergänzungsmitteln. Die industrielle Produktion von Lebensmitteln international operierender Konzerne kann trotz der objektiv gebotenen besonderen Sicherheits- und Qualitätskriterien schon heute kaum noch von der anderer industrieller Produkte unterschieden werden. Bei Lebensmitteln handelt es sich indes um biotische Produkte pflanzlichen und tierischen Ursprungs mit bestimmten unikalen Charakteristika, ausschlaggebenden „sensiblen" und essenziellen Anforderungsprofilen. Die Ernährungsphysiologie, die Organoleptik und die Lebensmittelhygiene determinieren maßgeblich die nachhaltig zu schützende Lebensmittelqualität. Der Anteil industriell prozessierter, dabei erheblich veränderter, nicht selten aber nur flüchtig getesteter und/oder unzureichend gekennzeichneter Lebensmittel wächst in der „globalisierten Speisekammer" ständig. Zu den markantesten aktuellen Beispielen gehören die umstrittenen, im Handel und der Gastronomie vertriebenen bzw. verdeckt eingesetzten „Lebensmittelaliuts", vorrangig enzymatisch „geklebte" Fleisch-, Wurst- und Fischwaren.

Den Ambivalenzen der Kerntechnik geht *Dieter Seeliger* in seinem Beitrag nach. Gegenwärtig ist die weitere Nutzung von Kernenergie zur Elektrizitätserzeugung erneut Gegenstand einer weltweiten Debatte: Einige Länder erhöhen deren Einsatz beträchtlich, andere wiederum steigen schrittweise aus oder verbieten deren Nutzung per Gesetz vollständig. Nicht immer basieren in der Öffentlichkeit geführte Debatten auf überprüfbaren wissenschaftlich-technischen Fakten, berücksichtigen den untrennbaren Zusammenhang mit

der Klimaproblematik oder gehen in angemessener Weise auf die Bedenken vieler Menschen ein hinsichtlich der Sicherheit von Kernkraftwerken, der Abfallentsorgung oder eines möglichen Missbrauchs von Kernmaterial durch Terroristen. Aus dem umrissenen, insgesamt außerordentlich umfangreichen und vielschichtigen Problemfeld greift der Beitrag ein Teilgebiet heraus – die Uranwirtschaft –, welches beispielhaft unter ausgewählten Aspekten beleuchtet wird: Am Beispiel der Sanierung von Hinterlassenschaften des Uranbergbaus und der Entwicklung moderner Verfahren des Uranabbaus wird auf die Frage eingegangen, inwieweit der Rohstoff Uran im Lichte der diskutierten Ambivalenzen eine wesentliche Rolle bei der langfristigen Elektroenergieerzeugung spielen kann. Ein anderes Beispiel befasst sich mit dem Grad der Ausnutzung von Uran und der daraus resultierenden Anforderungen an die Entsorgung der Rückstände aus seiner energetischen Nutzung in Kernreaktoren – von dem bisher häufig praktizierten offenen Brennkreislauf bis hin zu fortgeschrittenen Verwertungskonzepten in Reaktoren der vierten Generation. Die gewählten Beispiele sollen zeigen, wie sich im Zuge technologischer Entwicklungen Ambivalenzen wandeln und unter konkreten Aspekten neue Bewertungen erfordern können. In laufende Diskussionen über einen im Hinblick auf minimalen Kohlendioxidausstoß optimierten Energiemix aus erneuerbaren Energien und Kernenergie sollte der weltweite technologische Fortschritt als eine dynamische Komponente in die Betrachtung einbezogen werden. Soll ein Entscheidungsspielraum für die praktische Durchsetzbarkeit unterschiedlicher Varianten der Energiestrategie offen gehalten werden, so ergeben sich Forderungen nach ausreichender Breite eigener technologischer Forschung und der Ausbildung von Fachkräften: Nicht, dass diese Technologien – das merken die Herausgeber ausdrücklich an! – eines Tages auch zu den „vergessenen" Technologien gehören.

Herbert Hübner und *Ernst-Otto Reher* betrachten die Kunststofftechnologie – eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Das Ergebnis ihrer Betrachtungen ist in folgenden Thesen zusammengefasst:

1. Zur Kunststofftechnologie gehört der gesamte Lebenszyklus der Kunststofferzeugnisse: Synthese, Verarbeitung, Anwendung und Recycling. Damit gehört diese Materialtechnologie zu den rohstoffsparenden Technologien und ist ein Beispiel für die Kreislauftechnologien.
2. Die Kunststoffsynthese erfolgt heute in großen Anlagenkomplexen mit Millionen-Tonnen-Kapazitäten bei hoher Energieeffizienz und quasi emissionsfrei. Die großen Anlagenkomplexe werden immer öfter in der Nähe der Rohstoffvorkommen (Öl, Gas, Wasser) aufgebaut, um effektiv

produzieren zu können. Spezialkunststoffe werden anfänglich in den Erfinderländern (know how) produziert, dagegen Massenkunststoffe in den Verbraucherländern (siehe Abbildung 2).

3. Die Kunststoffverarbeitung erfolgt in spezialisierten mittelständischen Betrieben bedarfsgerecht bzw. anwendungsbezogen. Diese Betriebe verfügen über hochproduktive Maschinen- und Anlagensysteme, die u. a. von Deutschland weltweit exportiert werden.
4. Die Anwendung der Kunststofferzeugnisse erfolgt in allen Lebensbereichen, sowohl bei Massen- als auch bei High-Tech-Produkten (siehe Abbildung 3). Unsachgemäße Anwendungen führten und führen zu Gefahren, Schäden an Personen und Sachen, Havarien u. a. Der Missbrauch vor allem in der Kriegstechnik ist der schlimmste Aspekt, obwohl dadurch oft Entwicklungen initiiert wurden und werden.
5. Technikfolgeabschätzungen, Begleitforschungen der Kunststofftechnologie und Kontrollorgane optimieren die Chancen für die nicht mehr wegzudenkenden Werkstoffe, indem sie mit Fachkompetenz die Gefahren zu minimieren und den Missbrauch zu verhindern bemüht sind.
6. Der Lebenszyklus der Kunststoffe erfordert Recyclingverfahren mit physikalischer, chemischer und biologischer Aufarbeitung, deren Entwicklung die Anwendung von Kunststoffen maßgeblich mitbestimmt. Kunststoffe sind Wertstoffe und dürfen nicht auf Deponien landen, obwohl die Wiederverwertung zu hochwertigen Erzeugnissen aus Verbundwerkstoffen zur Zeit nicht gelöst ist. Hier fehlen entsprechende Trennverfahren, an deren Entwicklung aber gearbeitet wird.

Christian Kohlert schildert, wie Nanopartikel (bis 100 nm) in und auf Kunststoff-Folien ein- bzw. aufgebracht werden können und eine Vielzahl von neuen Eigenschaften der Folien dadurch erreicht werden können. Die Einsatzmöglichkeiten der Folien können wesentlich durch die Nanopartikel erweitert werden und ermöglichen auch neue Anwendungsfelder (Sicherheitstechnik, Elektronik, Druckerei, vielseitigere Verpackungen). Neben den Erzeugnissen werden technologische Neuerungen (Compoundierung, Beschichtungsdünnschichttechnologie, u.v.m.) dargestellt, die den Bezug zu Nanotechnologie-Ambivalenzen verdeutlichen. Ungeklärt, wie auch bei anderen Kunststoffverbundwerkstoffen, ist die gefahrlose Wiederaufbereitung und Verwertung der Abfälle bzw. genutzter und „unbrauchbarer" Folien (fehlendes Recyclingverfahren). Der Vortrag zeigt die Nutzung von Nanopartikeln zur Eigenschaftsmodifizierung von Kunststoff-Folien, beginnend von der Compoundierung und Einarbeitung in Rezepturen, der Beschichtung über

Dünnschichttechnologie im Produktionsmaßstab an Hochleistungskalandern, den Problemen der messtechnischen Erfassung solcher Schichten und der neuen Eigenschaften bis hin zu Problemen der Nutzung von Nanopartikeln im großtechnischen Maßstab.

Wie die Gesellschaft auf Technologie-Ambivalenzen reagiert, zeigt *Wolfgang Fratzscher*. Bei der Entwicklung der Wärmetechnik führte das etwa zur Bildung der technischen Überwachungsvereine und bei der Kernenergetik über den Sicherheitsbericht zur Bildung der Reaktorsicherheitskommission und damit zu einer neuen Sicherheitskultur. Der Schutz der Arbeitskraft führte zum Arbeitsschutz bzw. zu den Arbeitswissenschaften und Umweltschutz. Aus all diesen Gesichtspunkten lassen sich Verhaltensweisen und Grenzwerte ableiten. Der Umgang mit der hiermit in Verbindung stehenden Technik und den technologischen Gegebenheiten führt aber insbesondere unter dem Einfluss der Ökonomisierung und den neuen gesellschaftlichen Bedingungen auf der Welt zu neuen Ambivalenzen, deren Beherrschung eine neue Dimension erfordert. Von einem anderen Gewicht sind technische und natürliche Katastrophen, die nur über eine Veränderung der Grundeinstellung verarbeitet werden können. Über die Unterscheidung zwischen objektiver und sozialer Rationalität kann ein Bild der derzeitigen Situation entworfen werden. Das lässt die anstehenden Aufgaben kennzeichnen. Neue technologische Herausforderungen werden mit gesellschaftlichen Maßnahmen (siehe Abbildung 2) konfrontiert, die aber durchaus neue, andere Ambivalenzen erzeugen (können).

Das Ende der vorwiegenden Nutzung erneuerbarer Energienquellen kann – so *Norbert Mertzsch* – auf die Mitte des 18. Jh.s datiert werden. Seit dieser Zeit dominieren die fossilen Energiequellen die Bereitstellung von Gebrauchsenergie. Die Ambivalenzen dieser Energiequellen wurden in den letzten Jahren ausreichend diskutiert. Die Frage, wie viel Prozent der erneuerbaren Energien für den Energiebedarf der Menschheit genutzt werden können, ohne dass globale Prozesse beeinflusst werden, wird gestellt. Einige bekannte Ambivalenzen bei der Nutzung der erneuerbaren Energien werden diskutiert. Da bisher bei weitem noch nicht alle Probleme, die sich bei der Nutzung der erneuerbaren Energien auftun werden, bekannt sind, kann dies nur ein Anfang sein. Deshalb ist in jedem Fall gesondert zu betrachten, was vor Ort verantwortbar ist bzw. was unterbleiben sollte. Das Einzige, wo es keine Ambivalenzen gibt, ist das Einsparen von Energiedienstleistungen.

Dietrich Balzer begründet, dass Automatisierungstechnik, Informatik und Telekommunikation in technologischen Prozess-Systemen Erfordernisse un-

serer Zeit sind und dass bei ihrer Bewertung sowohl technische als auch soziale Fragen betrachtet werden müssen. Vom technischen Standpunkt hat die Automatisierung entscheidend zur Optimierung und zur Erhöhung der Produktivität technologischer Systeme beigetragen. Die Entwicklung zeigt, dass bei der erfolgreichen Steuerung und Überwachung von technologischen Prozessen in zunehmendem Maße die Integration von Automatisierungstechnik, Informatik und Telekommunikation eine entscheidende Rolle spielt. Aus dieser Integration ergeben sich aber auch Probleme, die zu Störungen im technologischen Prozess führen können. Durch den Einsatz heterogener Kommunikationsnetze und des Internets sind die Automatisierungssysteme und damit auch die technologischen Prozesse verletzbar gegen gewollte Angriffe von außen. Diese Tendenz wird noch verstärkt durch den Einsatz standardisierter Operationssysteme, durch die Möglichkeit von Parameteränderungen durch das Herunterladen von Software und durch den zunehmenden Einsatz von Mehrebenensystemen. Die hier genannten theoretischen Möglichkeiten von Angriffen auf Automatisierungssysteme werden untermauert durch statistische Auswertungen der Internetnutzung in Automatisierungssystemen. Vom sozialen Standpunkt muss die Automatisierung von ihrem Ansatz her ebenfalls positiv bewertet werden. Der ständig steigende materielle Lebensstandard und die ständig höhere Lebenserwartung ist unter anderem ein Ergebnis ständig steigender Arbeitsproduktivität und ständig verbesserter medizinischer Behandlungsmethoden durch Automatisierung. Der negative Aspekt dieser Entwicklung besteht jedoch darin, dass in naher Zukunft nur noch 20% der Bevölkerung notwendig sind, um die gesamte Menschheit mit materiellen Gütern zu versorgen. Das führt in der Zukunft zu komplett neuen sozialen Strukturen. Allerdings ist dieses Szenario nicht unwidersprochen. Balzer schließt seine Ausführungen mit folgender Aussage: Automatisierungstechnik ist ein Segen, der zum Fluch werden kann.

Wissenschaftlich-technischer Fortschritt wird im Weltbild der westlichen Moderne, so *Klaus Fuchs-Kittowski* in seinem Beitrag, meist positiv belegt. Folgt man dieser kulturoptimistischen Tradition, so ist auch der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien als chancenreich, sind ihre sozialen und gesellschaftlichen Wirkungen grundsätzlich als positiv zu beurteilen. Denn diese Technologien ermöglichen eine Vielzahl neuer Produktfunktionen und Services, sie haben das Potenzial, die Arbeitsproduktivität wesentlich zu steigern, und damit eine qualitative Verbesserung der Lebensbedingungen: mehr Freizeit, mehr Bildung, eine Verbesserung des Gesundheitszustandes der Bevölkerung, zu erreichen. Jedoch ist jeder Fort-

schritt ambivalent, wie Ernst Bloch in seiner Leipziger Zeit in der Schrift „Differenzierung im Begriff Fortschritt“ herausgearbeitet hat. Ambivalenz wissenschaftlich-technischer Entwicklung sagt zunächst nur, dass nicht immer das Gewünschte erreicht wird, sondern dass mit der wissenschaftlich-technischen Entwicklung auch unerwünschte Ergebnisse verbunden sein können, wobei es die positiven Wirkungen zu fördern und die negativen zu vermeiden oder zu kompensieren gilt. Der Blochsche Gedanke des „Verlusts im Vorwärtsschreiten“ (vgl. Bloch 1956, 1985) führt jedoch in einem wesentlichen Punkt noch weiter. Hier wird deutlich, dass wir zugunsten höherer Rationalität oftmals bereit sind, etwas aufzugeben, was in der Vergangenheit durchaus auch gut war, die Aufgabe also einen Verlust darstellt. Die Ambivalenz der Wirkungen ist von bewusstem Missbrauch deutlich zu unterscheiden.

Gegenwärtig erleben wir eine stürmische Entwicklung der modernen Informations- und Kommunikationstechnologien. Mit dem Internet ist es gelungen, fast alle Rechner und PCs der Welt zu vernetzen. Wir beginnen jetzt, in die reale Welt einzugreifen, indem deren Gegenstände informatisiert und zu einem „Internet der Dinge“ vernetzt werden. Die ambivalenten, d. h. positiven und negativen sozialen und gesellschaftlichen Wirkungen einer so geschaffenen Erweiterten Realität („augmented reality“) werden gewaltig sein. Daher gilt es, neben den offensichtlich großen Chancen, die mit dem Einsatz der modernen IKT, mit den allgegenwärtigen Informationstechnologien gegeben sind, auch die Risiken und potenziell negativen Wirkungen der Informatisierung der Arbeit, der Gesellschaft und unseres Alltags systematisch zu untersuchen.

Die technologischen Ambivalenzbetrachtungen im Rahmen des VI. Symposiums zur Allgemeinen Technologie führten zu allgemeinen Ableitungen, die in konkreten technologischen Bereichen der Material-, Energie- und Informationstechnologien präzisiert werden konnten. Unter Beachtung der Zusammenhänge in Abbildung 2 lassen sich „Algorithmen entwickeln“, die auf konkrete technologische Gegebenheiten (Nanotechnologie, Gentechnik, konvergente Technologien u.a.) „punktuell“ bzw. „punktgenau“ angewendet werden können. Andererseits können bzw. sollten die stärker technikwissenschaftlich ausgerichteten Überlegungen wiederum – im Sinne der Allgemeinen Technologie – weiter generalisiert werden.

Literatur

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2002): Allgemeine Technologie – Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Symposium der Leibniz-Sozietät und des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe Technik und Umwelt am 12. Oktober 2001 in Berlin. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät; Bd. 50, 2001, H. 7)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2004): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Symposium der Leibniz-Sozietät und des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft am 14. Mai 2004 in Berlin. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät; Bd. 75)

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2008): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. 3. Symposium der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften und des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe Technik und Umwelt am 12. Oktober 2007 in Berlin. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)

Bloch, E. (1956): Differenzierung im Begriff Fortschritt. In: Sitzungsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Berlin

Bloch, E. (1985): Differenzierung im Begriff Fortschritt. In: Bloch, E.: Gesamtausgabe. Bd. 13. Berlin, S. 116-146

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 19–41*

Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher

Ambivalenzen von Technologien – Chancen erhöhen, Gefahren mindern, Missbräuche verhindern

1. Vorbemerkung

Die Menschheit hat sich daran gewöhnt, jährliche wirtschaftliche Zuwächse zu erleben. Die Jahresbücher und die Wirtschaftsnachrichten weisen diese Zuwächse aus. So werden jährlich 500 Mrd. t Materialien umgeschlagen – d.h. transportiert, verändert, gewandelt, verbraucht –, der fossile Primärenergieumsatz entspricht 125 PWh[1] (vgl. Pfennig 2007) und die Informationsdichte wird ebenfalls größer, und ein Ende der Zuwächse aus allen Technologiebereichen ist nicht zu sehen. So stehen heute noch 2,2 Fußballfelder Land pro Person zur Verfügung für Wohnen, Verkehr und Wirtschaft, davon 1 Fußballfeld für die Landwirtschaft. Durch das Bevölkerungswachstum auf der Welt (2050 ca. 9,19 Mrd. Menschen) werden nur noch ca. 1,5 Fußballfelder zur Verfügung stehen. Auch diese Ressource „Land" wird knapper werden pro Person. Die Bewältigung obiger Anforderungen eines stetigen Bedürfniswachstums und -befriedigung, bei steigender Weltbevölkerung hat seinen Preis, so dass die Forderung nach Technologieeffizienz und Nachhaltigkeit eine durchaus aktuelle Forderung ist. Nicht nur Klimawandel, Minderung des CO_2-Ausstoßes, sondern auch die effektivere Nutzung unserer Böden und Meere sind wichtige Faktoren, die eine Nachhaltigkeit fordern. Die Abfallproduktion hat derzeit 530 kg/Jahr und Person zu bewältigen, um diese Materialien in den Stoff- und Energiekreislauf zurückzuführen.

Mit neuen Technologieentwicklungen sollen diesen Umständen zum Teil Rechnung getragen werden. Dieser Technologiefortschritt zur Bewältigung anstehender Weltprobleme birgt aber wiederum auch Ambivalenzen – Chancen, Gefahren und Missbrauch – in sich (siehe dazu Abbildung 1 in der „Einleitung").

1 Zu Erklärung: 1 PWh (Petawattstunde) sind 1 Billion Kilowattstunden (kWh) bzw. 1 Billiarde Wattstunden (Wh).

Es werden mit den neuen Technologien Arbeitsplätze geschaffen, aber auch andere Arbeitsplätze vernichtet. Nur noch ca. 30% der arbeitsfähigen Bevölkerung in Deutschland findet in der Industrie und Landwirtschaft eine bezahlte Tätigkeit und der Trend zu 15% zeichnet sich ab. In den USA arbeiten nur noch 1% in der Landwirtschaft und 9% in der Industrie (vgl. Bootle 2004). Neue Technologien vernichten Traditionsberufe und schaffen neue, jedoch ist der resultierende Anteil stets geringer. Die Dienstleistungstechnologien (70%) sollen den Verlust an Arbeitsplätzen in den Produktionstechnologien kompensieren, um die Arbeitslosigkeit zu minimieren. Arbeitszeitverkürzung könnte eine Möglichkeit sein, sozialen Ausgleich zu schaffen.

Von modernen Technologien ausgehend soll versucht werden, verallgemeinerte Ambivalenzen im Rahmen der Allgemeinen Technologie aufzudekken, um Führungsgrößen abzuleiten für

- die Technologieentwicklung;
- den Technologiebetrieb;
- den Technologierückbau;
- die hervorgebrachten Erzeugnisse.

Im Weiteren sollen Betrachtungen zum Technologieumbau, zur Technologieentwicklung und zu Technologieambivalenzen aus verschiedenen Blickwinkeln abgeleitet und kritisch betrachtet werden. Maßnahmen zur Minimierung der Gefahren und des Missbrauchs werden erörtert, um Technik- und Technologieentwicklung „menschenwürdiger“ entwickeln und nutzen zu können.

2. Begriffliches

„Ambivalenz“ leitet sich aus lat. „ambo“ („beide“, „beidseitig“) und „valere“ („gelten“, „wertig“) her und meint soviel wie Doppeldeutigkeit, Zwiespältigkeit, Doppelwertigkeit, bedeutet auch „sowohl / als auch“ bzw. „Bürde und Segen“. Bezogen auf Technik ist auch vom „Januskopf der Technik“ die Rede (nach Ianus, dem altrömischen Gott des Anfangs und des Endes, der deshalb zweigesichtig, nach vorne und nach hinten blickend dargestellt wird).

Ambivalenz umfasst auch die Relativität der *Chancen* und *Gefahren* von Technologien bzw. technischen Sachsystemen, denn diese sind immer auf
(a) ein Ziel bzw. einen Zweck („Ziel-Mittel-Relation“);
(b) ein vorgängiges Wertesystem („Kriterien“)
bezogen.

Ein Beispiel soll das belegen. Während der Arbeit am Projekt „Analyse netzbasierter Kommunikation unter kulturellen Aspekten“, in dessen Zentrum die Suche nach einer Antwort auf die Frage „Wie sind die Möglichkeiten

und Auswirkungen des Internets hinsichtlich neuer Formen der Information, Kommunikation und Kooperation in der (Kultur und der) Politik einzuschätzen?“ stand (vgl. Grunwald et al. 2006), wurden unterschiedlichster Vorstellungen entwickelt hinsichtlich demokratischer (d.h. die Demokratie fördernde) Potenziale des Internets im Spannungsfeld von Visionen und Erwartungen einerseits sowie Befürchtungen andererseits (siehe Abbildung 1).

Visionen und Erwartungen	**Befürchtungen**
• „Demokratisierung der Demokratie“ • Zivilgesellschaftliche Erneuerung politischer Kommunikations- und Deliberationsformen • Cyberdemocracy: demokratische Selbstverwaltung „von unten“ • Bildung einer virtuellen „Agora“ • die Weltgesellschaft als virtuelles „globales Dorf“ • Entstehung transnationaler demokratischer Öffentlichkeiten	• Aushöhlung der etablierten demokratischen Prozesse und Institutionen • Informationsüberflutung und Auswahlprobleme aufgrund fehlender Informationsfilter • unzureichende Medienkompetenz bei vielen Bürgern • Verstärkung bestehender Machtverhältnisse und Interessen (Verstärkungsthese) • Neue Ausgrenzungen (Zugangsprobleme, digital divide)

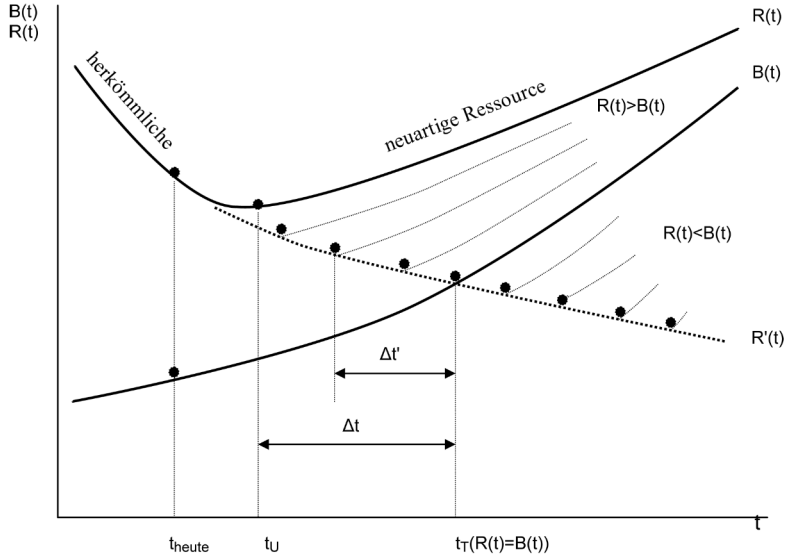
Abbildung 1: Erwartungen und Befürchtungen hinsichtlich netzbasierter Kommunikation Quelle: nach Grunwald et al. 2006

Deutlich wird, dass die Zuordnung in die zwei Spalten nicht apriori erfolgen kann, sondern von vorgängigen Bewertungen (etwa hinsichtlich „gut“ oder „schlecht“) abhängig ist.

Als *Chance* sei die Möglichkeit genannt, dass das „Gewollte“, „Erstrebte“, d.h. das Ziel oder der Zweck erreicht wird (etwa als technische „Funktionserfüllung“). *Gefahr* hingegen meint nicht nur die Möglichkeit, dass das „Gewollte“ nicht erreicht wird, sondern (hier in einem umfassenderen Sinne) die Möglichkeit des Eintritts eines als negativ bewerteten (!!) Ereignisses, die sich nur unter bestimmten räumlichen und zeitlichen Konstellationen verwirklicht. Eine Gefahr liegt vor, wenn eine Sachlage oder ein Verhalten bei ungehindertem Ablauf des objektiv zu erwartenden Geschehens in absehbarer Zeit und mit hinreichender Wahrscheinlichkeit einen Schaden an einem „Schutzgut“ (Technik, Individuum, Natur, Gesellschaft, …) verursacht. *Missbrauch* von Technik ist der Gebrauch technischer Sachsysteme auf eine spezifische Weise: „die Anwendung einer Sache auf eine ihrem Zwecke und ihrer Bestimmung zuwider laufende Art“ (Encyclopädie 1773ff.).

3. Technologieumbau und Technologieentwicklung

Die Bedürfnisse des Menschen B(t) sind von Jahr zu Jahr gewachsen. Das betrifft Ernährung, Wohnen, Gesundheit, Kommunikation, Mobilität, Reisen u.a. Die Bedürfniskurve B(t) ist eine stets ansteigende Kurve, auch schon auf Grund des Wachstums der Weltbevölkerung, dagegen ist die Ressourcenkurve R(t) eine abfallende. Solange zwischen beiden Kurven kein Schnittpunkt erreicht ist, solange wird durch rasante Technologieentwicklungen weitergemacht wie bisher (siehe Abbildung 2).



t_U – Technologieumbaubeginn (technologieabhängig)
t_T – „Technologietod" (Stillstand)
B(t) – wächst alleine schon durch Bevölkerungswachstum auf der Welt
R(t) – wächst wieder durch Technologieumbau unter Nutzung von Material-, Energie- und Informationswandel
Δt – Zeit zum Technologieumbau

Abbildung 2: „Bedürfniskurve"
eigene Darstellung

Ein Technologieumbau wird, wie später gezeigt wird, erst als erforderlich erkannt, wenn beide Kurven sich annähern bzw. schneiden und somit eine Katastrophe sichtbar wird. Dieser Technologieumbau ist für unsere Zeit aber für viele Technologien erforderlich geworden und muss bei den Betrachtungen der Ambivalenzen von Technologien Beachtung finden.

Wichtig ist es, die minimale notwendige Technologieumbauzeit Δt rechtzeitig zu erkennen und Maßnahmen einzuleiten, die eine stetige Weiterentwicklung und Bedürfnisbefriedigung weiterhin sichert. Die Suche nach Auswegen, um R(t) zu beeinflussen und durch neuartige Ressourcen zum Ansteigen zu bringen, wird global und regional angestellt (siehe Tabelle 1).

Industriezweig	**R(t)-Umgestaltung von herkömmlichen zu neuartigen Ressourcenverbrauch und durch Ressourceneinsparung**
Lebensmittelindustrie	Haltbarkeitserhöhung der Lebensmittel, Verwendung bisher nicht beachteter Nahrungsgrundstoffe (z. B. Algen), Fischknappheit überwinden durch Aquakulturen, industrielle Herstellung von Fertigprodukten
Chemische Industrie und artverwandte Prozesstechnologien	Rohstoffgewinnung aus nachwachsenden Stoffen (Stroh, Holz, Laub), Einführung der Kreislaufwirtschaft, Recyclingverfahren, Veredlungs-verfahren für Öl und Gas zu Hightech-Produkten, Wiederbelebung der Kohleverflüssigung
Autoindustrie	Hybridantrieb, Elektroauto, Treibstoffverbrauch, -minimierung, kleine Autos, C_W-Wert-Beeinflussung, Verbundwerkstoffeinsatz
Energietechnologie	Energiegewinnung aus erneuerbaren Ressourcen (Sonne, Wind, Wasser, Erdwärme), Energiereduzierung durch Isolierungen, Abwärmenutzung, Wirkungsgraderhöhung von Kraftwerken
Informationstechnologie	Bauteilminimierungen, Si-Einsparungen, Speicherdichteerhöhung, Multifunktionalität von Informationsmitteln (z.B. Handy)
Landwirtschaft, Forstwirtschaft	Schädlingsresistente Pflanzen, Rohstofflieferant und Energielieferant, Öko-Kulturen, Bioprodukte
Bauwesen	Öko-Hausbau, optimiertes Straßennetz
Dienstleistungsbereiche	Abfallminimierung, Transportoptimierung, optimierte Kundenwünsche befriedigen, Nutzung örtlicher Ressourcen

Tabelle 1: Beeinflussung der Ressourcen-Zeit-Kurve R(t)
eigene Darstellung

Beispiele sind:

- für Materialtechnologien: Kohlenstoffträger aus nachwachsenden Rohstoffen gewinnen, Kreislaufwirtschaft, Abfallverwertung, effektive Produktionsverfahren fördern und realisieren;
- für Energietechnologien: erneuerbare Energien (Wind, Wasser, Sonne, Erdwärme) statt Kernkrafttechnik nutzen, CO_2-reduzierte Kohlekraftwer-

ke betreiben;
- für die Informationstechnologien: Pressereduzierung, dafür mehr elektronische Medien (Internet, Fernsehen, Radio) stärker fördern und nutzen.

Neben den allgemeinen Maßnahmen existiert eine Vielzahl von lokalen speziellen Möglichkeiten, die R(t)-Kurve zum Abknicken zu bringen, um die Bedürfnisbefriedigung zu sichern.

Zudem kann durch staatliche Maßnahmen zum Technologieumbau R(t) und B(t) im Einklang gehalten werden, etwa durch „Nachhaltigkeitswirtschaft" den Material-, Energie- und Informationswandel zu fördern. Neue Technologieentwicklungen lassen sich daraus sehr oft ableiten, um auch die Technosphäre und nicht nur die Biosphäre zu fördern (vgl. Braungart/Mc Donough 2008).

Durch die Technologieschöpfer werden stets neue Artefakte, Sachsysteme (Technologien, Ausrüstungen, Produktionslinien) in die Welt gesetzt, betrieben, genutzt und auch wieder abgerüstet. Mit ihnen werden Produkte (Erzeugnisse) hervorgebracht, die in der Regel von den Menschen gebraucht werden und somit die Lebensqualität verbessern. Die Ergebnisse der Bionik werden genutzt, um Wirkprinzipien der Natur zu nutzen und neuartige optimierte Produkte hervorzubringen (vgl. Blüchel 2006; Cerman et al. 2005). Die Produktgestaltung betrifft die Oberfläche, die Form, die Struktur u.a. (siehe Tabelle 2).

Leider bringen die neuen Artefakte nicht nur Verbesserungen (Chancen), sondern auch neue Gefahren hervor und auch der Missbrauch kann nicht ausgeschlossen werden. In obiger Abbildung 1 sind nur einige wesentliche Chancen, Gefahren und Missbräuche dargestellt. Sie werden unter verschiedenen Blickwinkeln noch präzisiert.

Aus den (organisierten, mehr oder weniger systematischen) Wechselbeziehungen von Technologieschöpfern und Technologiebegleitern, wie sie auf den vorangegangenen Symposien behandelt wurden, können optimierte Artefakte und Produkte entstehen, die den gegenwärtigen Normen entsprechen, d.h., „Nebenwirkungen" werden auf ein erträgliches Minimum reduziert. Eine differenzierte Betrachtung aus den verschiedenen Interessenlagen wird die Kompliziertheit dieses Prozesses verdeutlichen.

Bionik-Gestaltungen → / Technologie-Entwicklungsstufen ↓	Oberflächen-Gestaltung	Form-Gestaltung	Struktur-Gestaltung	Um- und Durchströmungs-Gestaltung	Sensoren-Gestaltung	Schwarm-Gestaltung	Konstruktions-Gestaltung
	Beispiele						
Kognition (Forschung)	Lotusblume Kletten Gecko-Füsse Haifisch	Koffer-Fisch Haifisch	Schnecken-Gehäuse Algen Spinne	Vögel, Fische, Autos Toms-Effekt	Fledermäuse Hunde Schlangen	Struktur Dynamik Vogelschar Fisch-schwärme	Bäume Pflanzen Knochen
Invention (Entwicklung)	Mechanismus	Volumen / Oberfläche → opt. C_W-Werte	Schaltkreise Selbst-organisation Fädengestaltung	C_W-Werte Tragflächen Turbulenz	Sensorik Ultraschall Infrarot Zucker	Modelle	Strukturerkundung Konstruktions-prinzipien
Innovation (Firmen)	Fabrik für Farben BASF	Auto-Gestaltung	Elektronik Geräte Autofelgen Fäden	Flugzeugbau Automobilbau Feuerwehr Pipeline	Gerätebau	Verkehrsfluss	Verbundwerkstoffe
Diffusion (Markt)	Farben • Fassaden • Autos u. a.	Automarken	Handy Computer Autos Gewebe	Flugzeuge Autos Strömungs-apparate	Geräte	Straßenbau	Bauteile
Optimierte Produkte aus den Technologien (Beispiele)	Farben Überzüge Beschichtungen Klebebänder Klettverschluss Stacheldraht	Autos Flugkörper Schiffe	Geräte Speicher Werkstoffe	Schiffe Fahrzeuge Flugkörper Pipeline Blättergestaltung Solarzellen	Messgeräte Funktions-bekleidung (Hemden, Schuhe) Häuserinstallation	Verkehrs-gestaltung	Flugzeugbau Apparate-Gerätebau usw. Bauteile Werkstoffe Prothesen Stacheldraht

Tabelle 2: Bionik als Inspirator für neue Technologien und Produkte
eigene Darstellung

4. Ambivalenzen im Technologie-Lebenszyklus

In allen Phasen des Lebenszyklus von Technologien treten unterschiedliche und vielfältige Chancen, aber auch Gefahren auf, und der Missbrauch kann auch nicht ausgeschlossen werden. Ein differenziertes Bild des Technologie-Lebenszyklus ist in der folgenden Tabelle 3 zusammenfassend dargestellt.

Technologie-	**Chancen**	**Gefahren**	**Missbrauch**
-entwicklung	Zusammenwirken Natur- u. Technikwissenschaften Kognition, Invention	Spionage, Wirtschaftskriminalität, zu späte Mitwirkung der Geisteswissenschaften, Fehlentwicklungen (CO_2)	Rüstungsziele anstreben, Vormachtstellung sichern, Abhängigkeiten durch Industrieförderung, Ergebnismissbrauch
	1.1.	1.2.	1.3.
-planung und -projektierung	optimale Lösung vorbereiten, Konsenssuche, Einbeziehung der Öffentlichkeit	Kostenreduzierung durch Auftraggeber gefordert, Nachbesserungen erforderlich, Fehlplanungen	Einsatz risikobehafteter Werkstoffe, unzureichende Sicherheitstechnik
	2.1.	2.2.	2.3.
-bau	Umsetzung neuer Ideen, Entwicklung neuer Industriezweige	Billiganbieter liefert schlechte Qualität, Ackerlandverluste	Einsatz billiger und schlechter Fertigungs- und Montagetechnik
	3.1.	3.2.	3.3.
-betrieb	Arbeitsplätze, Wohlstand, Ansiedlung weiterer Firmen, TGZ	Ressourcenabbau, Umweltbelastungen	Produktmissbrauch, Waffen, Gifte
	4.1.	4.2.	4.3.
-rückbau	Platz für Neues, Recycling	Versorgungslücke	Preistreiberei
	5.1.	5.2.	5.3.

-umbau	C-Trägereinsparung, Kreislaufwirtschaft, erneuerbare Energien	Ackerlandreduzierung, arme Länder – ärmer reiche Länder – reicher	Hungersnöte weltweit, Nutzflächen der Ernährung, Preistreiberei
	6.1.	6.2.	6.3.
-auslagerung	neue Technologiebereitstellung, neue Verfahren	Arbeitsplatzverluste, veraltete Technologie – Abgase, sog. Dreckschleudern	Abhängigkeit vom „Spender“ – Erpressung, Umweltverschmutzung im Ausland
	7.1.	7.2.	7.3.
-transfer	Niveausteigerung in bisher vernachlässigten Bereichen, Erfahrungsübertragung (Hard- und Software)	ungenügende Anpassung, voreilige Übernahme, Einkommensverluste, Arbeitsplatzverluste	feindliche Übernahme
	8.1.	8.2.	8.3.
-innovation	Kreativitätsschub, Neuerung, Arbeitsplätze	Fehlinvestition, Crash, Insolvenz, unzureichende Erprobung	Fördermittelbetrug, falsche Bilanzen
	9.1.	9.2.	9.3.
-anwendung	Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen, Diffusion der Erzeugnisse	Verlust bewährter Gewohnheiten, Technologieabhängigkeit	zweckentfremdete Anwendung, militärische Produkte, Waffen, Gifte, Munition, Kunstdünger → Sprengstoff, Kanonen, Panzer, politische Erpressung
	10.1.	10.2.	10.3.

Technologie-	Chancen	Gefahren	Missbrauch
-geschichte	Muss noch erarbeitet werden, existiert nur fragmentartig, im Vordergrund steht die Technikgeschichte nur	Fälschungen, Fehlinterpretationen, Parallelentwicklungen in verschiedenen Staaten, Kulturkreisen	Ideologische Beeinflussung, Herrenmenschen, Rassismus fördernd, Propaganda
	11.1.	11.2.	11.3.
-kultur	Neue Lebensbereiche erschließen, materiell, energetisch, informell	Suchterscheinungen, Abhängigkeiten, „Gläserner Bürger“	Meinungsmanipulation der Medien, Überwachung
	12.1.	12.2.	12.3.
-visionen	Ansätze für neue Lösungen diskutieren, Öffentlichkeit einbeziehen	Realitätsverluste	Fehlorientierungen durch Manipulationen, Angst- und Schreckenerzeugung
	13.1.	13.2.	13.3.
-design	Bedienfreundlichkeit, formschöne Ausrüstungsanordnung, Ästhetik	Hohe Kosten, unästhetische Anordnungen, nutzlose Einrichtungen	Mittelverschwendungen, Funktionsverluste
	14.1.	14.2.	14.3.
-kopplung	IFA, neue Produkte, Funktionskopplungen (z.B. Fernseher und Kühlschrank), Hemden mit Chips, Transponder im Schuh u.v.m.	Überwachung, Verletzung der Selbstbestimmung, Lebensqualitätsverluste, komplizierte Trennverfahren	Preistreiberei, Bedürfnismissbrauch, Technikabhängigkeit gefördert, Informations-missbrauch, „Gläserner Bürger“, Gewinner - Verlierer
	15.1.	15.2.	15.3.
-service	Kundenbetreuung, -gewinnung, Instandhaltung, Prioritätssicherung	Ausschaltung des Wettbewerbs	Knebelverträge, Alleinvertretungsanspruch, Diktate, Erpressung, Dumping
	16.1.	16.2.	16.3.

Tabelle 3: Ambivalenzen im Technologie-Lebenszyklus
eigene Darstellung

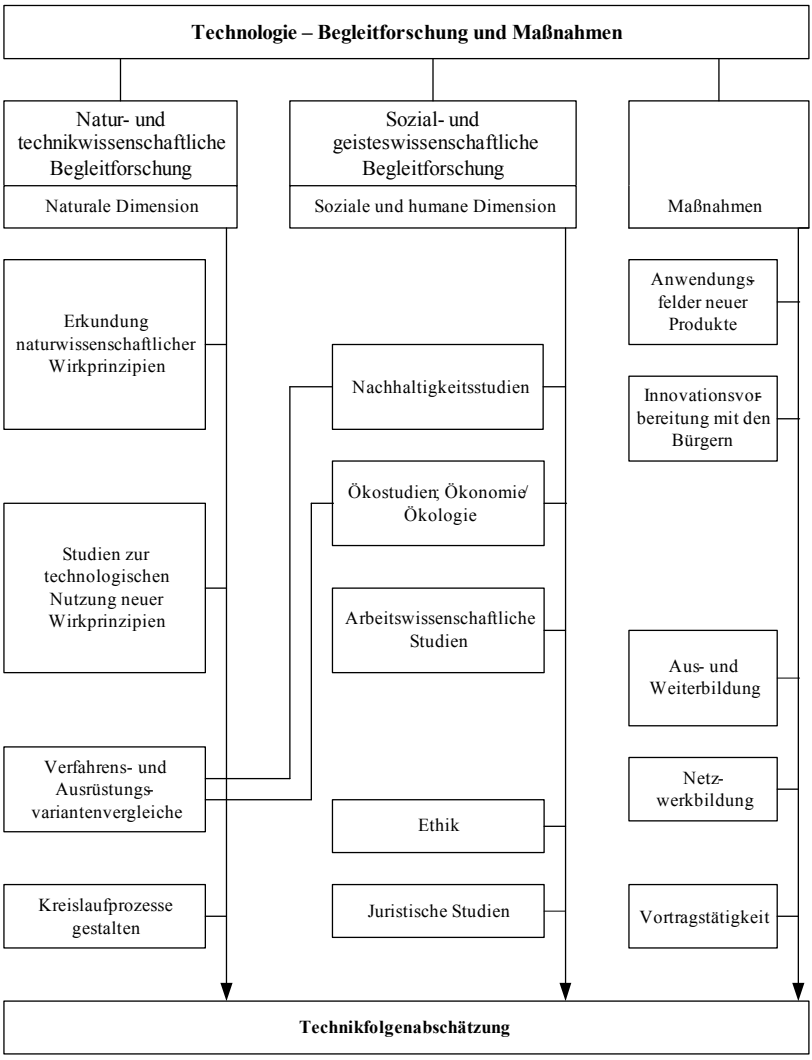


Abbildung 3: Begleitforschung und Maßnahmen
eigene Darstellung

Einige vertiefende Ergänzungen aus der Übersicht werden beispielhaft erörtert, um die Wechselbeziehungen zwischen den Lebenszyklusetappen zu ver-

deutlichen. Deutlich wird, dass eine Ganzheitskonzeption über alle Lebensphasen erforderlich ist, um die Ambivalenzen der Technologie nachhaltig beeinflussen zu können. Diese Ganzheitskonzeption muss das Produkt vieler Wissenschaftsdisziplinen sein, die ihre Methoden, Erfahrungen, Konzepte usw. einbringen können. Diese Begleitforschung liefert Restriktionen, Bedingungen, Maßnahmen u.a., um die Technologiegestaltung optimal realisieren zu können (siehe Abbildung 3).

Einige beispielhafte Ergänzungen zur Tabelle 3 sind:

- *Position 2.2*: Falsche Dimensionierung durch falsche Voraussetzungen (z.B. Wasseraufbereitungsanlagen überdimensioniert, Bürger sparen Wasser; Rohrdimensionierungen im Hausbau – Materialeinsparungen führen zu hohen Wartungskosten, Verstopfungen); Überschätzung der Kapazitäten (z.B. Flusshafen der Saale in Halle hat zu wenig Schiffe, Flugplatz in Cochstedt findet keinen Betreiber trotz Modernisierung); jährlich werden Fehlplanungen und -investitionen aller Landesregierungen und der Bundesregierung nachgewiesen, der Katalog ist lang (vgl. etwa das „Schwarzbuch" der Mittelvergeudung[2]).
- *Position 7.3*: Alte Industrien (z.B. Metallurgie) werden nach China geliefert, danach Kritik wegen Umweltverschmutzung – Auslagerung der „Dreckschleudern" in Entwicklungsländer, Massenpolymerproduktion nach Asien ausgelagert – niedrigere Umweltstandard als in Europa, Schaffung von „Spender"-Abhängigkeit.
- *Position 10.3*: Militärischer Druck, Waffenexport, Kanonenboot-Politik, Embargodrohungen und -realisierungen, Falschinformationen (z.B. Irak-Krieg, Kaukasus-Krise).
- *Position 15.1*: Schweinemastanstalt und lokale Energieerzeugung mit Biogasanlagen, Elektroenergie- und Wärmekopplungsprozesse.

5. Ausgewählte Industriezweige und ihre Bemühungen zur Lösung von Technologieambivalenzen

Derzeit ist eine gesellschaftsrelevante Einstellung erreicht, um Nachhaltigkeitskonzepte in allen Bereichen zu entwickeln und anzuwenden. Ökobilanzen von der „Wiege bis zur Bahre" oder von der Genese bis zum Rückbau werden als methodisches Konzept ebenso wie Technikfolgenabschätzungen zunehmend integriert. Um das jedoch umfassend hinsichtlich Bio- wie Technosphäre (die zunehmend „verschmelzen") zu realisieren, bedarf weiterer

2 Vgl. http://schwarzbuch10.steuerzahler.de/schwarzbuch-themen.php?idtopic=4.

großer Anstrengungen. Aber nur so ist es möglich, den Wohlstand nachhaltig zu bewahren und weiter zu verbessern. Nachfolgend werden exemplarisch diesbezügliche Anstrengungen in ausgewählten Industriezweigen genannt.

Die *Chemische Industrie* leistet große Anstrengungen, um

- in der Ausbildung (Umweltchemie) Methoden zur Diagnostik und Methoden zur Verminderung von Emissionen zu erreichen;
- nachwachsende Rohstoffe zur Herstellung hochwertiger Chemieprodukte einzusetzen (neue Verfahren);
- die Katalyse als Wirkprinzip durch fundamentale Erkenntnisse in der Forschung vielseitig einzusetzen;
- Mikroausrüstungen für Prozesstechnologien zu verwenden, um mannigfaltige Spitzenprodukte für die Forschung und industrielle Anwendung zu erhalten;
- Polymerwerkstoffe und andere Chemikalien zu entwickeln und herzustellen, die nach ihrem Gebrauch nicht „downcycelt" werden müssen, sondern „upcycelt" werden können (vgl. Braungart/Mc Donough 2008) – auf diese Weise können Produkte im industriellen Kreislauf weiter zirkulieren;
- die Gefährlichkeit erzeugter Chemikalien für Mensch und Umwelt zu prüfen und bisher verwendete Stoffe im Kreislauf und in Erzeugnissen durch weniger gefährliche Stoffe zu ersetzen.

Die Chemische Industrie steht, wie kein anderer Industriezweig, unter öffentlicher und staatlicher Kontrolle und Aufsicht.

Automobilindustrie: Wenn auch vor wenigen Jahren der Elektro- oder Hybridantrieb in Deutschland noch abgelehnt wurde und als physikalisch unzweckmäßig verurteilt wurde, so bemühen sich jetzt deutsche Automobilhersteller darum, den Rückstand aufzuholen. Darüber hinaus werden kraftstoffsparende, umweltfreundlichere Autos entwickelt. Die umstrittene „Abwrackprämie" hat sicher dazu beigetragen, dass, soweit vorhanden, asiatische kleinere Autos mit weniger Spritverbrauch in Deutschland auf den Straßen fahren. Der Katalysator hat ganz sicher auch dazu beigetragen, den Schadstoffausstoß zu vermindern.

Energieerzeugende Industrie: Der Wandel in der Energieerzeugung wird staatlich gefördert, um erneuerbare Ressourcen zu erschließen: Sonne, Wind, Wasser, Biomasse. Mit diesen Ressourcen können die Bedürfniskurve B(t) und die Ressourcenkurve R(t) (siehe Abbildung 3) zwar noch nicht grundlegend beeinflusst werden, aber es ist ein Schritt in die richtige Richtung. Auch der Bau von Kohlekraftwerken mit reduziertem CO_2- und NO_X-Ausstoß ist erforderlich, obgleich er den Strompreis erhöht, da der energetische Wir-

kungsgrad reduziert wird. Der Versuch, CO_2 zu verpressen und unterirdisch zu deponieren, ist lohnenswert. Die kurzfristige Abschaltung von Kernkraftwerken ist sicher nicht möglich, wenn derzeit überhaupt zweckmäßig. Für die gefahrlose Abfalldeponie von Brennstäben hat die Gesellschaft bislang zu wenig aufgewendet und die Auswirkungen bisher weitgehend ignoriert. Energieressourcen können auch durch höhere Energieeffizienz in der Anwendung (Gebäudeisolierungen u.a.) eingespart werden.

Land- und Forstwirtschaft: Die Umstellung auf Bioprodukte schreitet voran und wird vom Kunden angenommen. Leider findet oft auch Betrug statt. So wurde kürzlich bekannt, dass sogenannte Bioeier mit „0" gekennzeichnet werden, die nach einer staatlichen Kontrolle diese Kennzeichnung nicht verdient haben. Gentechnologisch modifizierte Produkte erfordern, weniger giftige Schädlingsbekämpfungsmittel anzuwenden (Giftstoffreduzierung). Die Antibiotikavermeidung in Tierzucht und Tierhaltung wird notwendig, da Antibiotika in den Biosphärekreislauf treten und großen Schaden anrichten (Resistenzen gegen Medikamente). Land- und forstwirtschaftliche Abfälle stellen Rohstoff- und Energieressourcen dar (z.B Biogas, Kohlenstoffressource; siehe Tabelle 6).

6. Thesen

(1) *Jeder Fortschritt (Technologie, Technik, Erzeugnisse) erzeugt Ambivalenzen – Chancen, Gefahren, Missbrauch (siehe Abbildung 4)*

(2) *Vordergründig sehen Natur- und Technikwissenschaften in ihrem Handeln die Chancen der Technologie; Sozial- und Geisteswissenschaften beachten stärker die Gefahren und den Missbrauch*

Im Zusammenwirken beider Kulturen entstehen Kompromisslösungen. Dieser Umstand resultiert letztlich schon aus den bisherigen Ausbildungen. Die Schlussfolgerung muss lauten: ein verändertes Ausbildungsprofil, das eine Brücke zwischen den Kulturen herstellt.

Als Beispiel sei auf folgende Einschätzung verwiesen: „Angehörige technischer Berufe neigen […] dazu, nach ausschließlich technischen Lösungen der Energiefrage zu suchen und reagieren oftmals irritiert, wenn in der Öffentlichkeit eine stärkere Berücksichtigung der mit Energiesystemen verbundenen ethischen Probleme eingefordert wird. Umgekehrt hat sich die in den Sozial- und Geisteswissenschaften geführte Debatte um die Vertretbarkeit von Energiesystemen oftmals auf rein qualitative Aspekte der betrachteten Systeme konzentriert und dabei nur unzureichend die na-

turwissenschaftlich-technischen Rahmenbedingungen berücksichtigt“ (Streffer et al. 2005, S. 5).

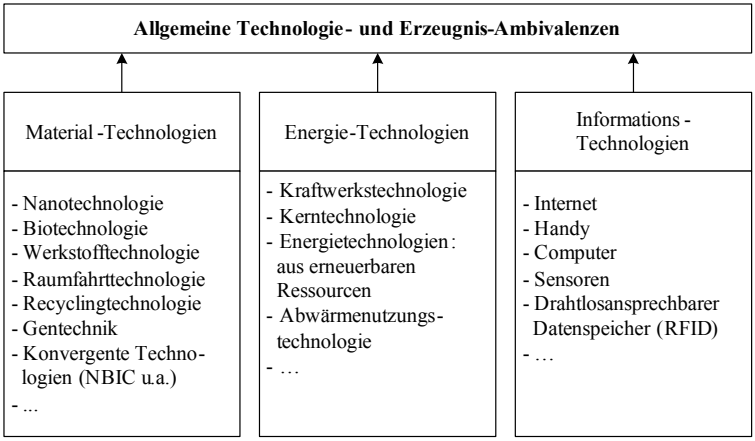


Abbildung 4: Ausgewählte Technologien, die unseren Lebensstandard mitbegründen und dennoch Fluch und Segen verkörpern
eigene Darstellung

(3) *Mit den Methoden der Technikfolgenabschätzungen wurde ein Instrumentarium geschaffen, das optimierte Lösungen entwickeln lässt*

Damit den Technologieschöpfern kein zügelloses und unkontrolliertes Handeln erlaubt wird, haben die Technologiebegleiter mit den Technologiefolgenabschätzungen sich ein Instrumentarium geschaffen, das kritisch, beginnend über den gesamten Entstehungsprozess (Kognition, Invention, Innovation und Diffusion) bis zum Rückbau, Chancen, Gefahren und den Missbrauch bewerten und durch Maßnahmeneinleitung (Empfehlungen, Auflagen, Gesetze, Verbote u.a.) an der Optimierung der Artefakte und ihrer Produkte mitwirken kann (siehe vorne Tabelle 4).

Technikfolgenabschätzung umfasst 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 (vgl. Banse/Lorenz 2007; vgl. umfassend Grunwald 2002).

Behörden, Ämter, Kommissionen

- TÜV, Ethikkommissionen, Verbraucherschutzeinrichtungen, Aufsichtsbehörden (Bergbau, Umwelt, Gesundheit, Bau u.a.), Inspektionen (Hygiene, Sicherheit), Kartellamt, nationale und internationale Normausschüsse (DIN, Euro), internationale Kommissionen (Atom-, Abrüstungs-, Umwelt- u.a.)

Spezialisierte Institute

- Robert-Koch-Institut, Bundesinstitut für Risikoforschung, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Unabhängige Sachverständige

- „Wirtschaftsweisen"; Wirtschafts- und Ökoinstitute

Öffentlichkeit

- Medien (Presse, Fernsehen, Rundfunk), Runde Tische, Bürgerinitiativen, Vereine, Gesellschaften

Alle diese Instanzen sind an optimierten Technologielösungen beteiligt

Tabelle 4: Einrichtungen zur Technologieüberwachung und –beeinflussung (Auswahl) eigene Darstellung

In der VDI-Richtlinie 3780 „Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen" vom März 1991 werden folgende Werte als Bewertungskriterium und Anforderungsstrategie für technisches Handeln als entscheidend ausgewiesen (vgl. VDI 1991):
Funktionsfähigkeit;
– Sicherheit;
– Gesundheit;
– Umweltqualität;
– Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich);
– Wohlstand (gesamtwirtschaftlich);
– Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität.[3]
Diese Kriterien sind mit Blick auf den jeweils zur Diskussion stehenden Technikbereich zu konkretisieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es

3 *Werte* sind mehrstellige Relationen, die die Bedeutung von Sachverhalten für den Menschen bestimmen. Sie kommen in Wertungen zum Ausdruck und sind bestimmend dafür, dass etwas anerkannt, geschätzt, verehrt oder erstrebt (bzw. abgelehnt, verachtet oder nicht erstrebt) wird; sie dienen somit zur Orientierung, Beurteilung oder Begründung bei der Auszeichnung von Handlungs- und Sachverhaltsarten, die es anzustreben, zu befürworten oder vorzuziehen (bzw. auszuschließen) gilt. Der Inhalt eines Wertes kann aus Bedürfnissen hervorgehen. Er konkretisiert sich insbesondere in Zielen, Kriterien und Normen. – Jeder dieser acht Werte kann weiter differenziert werden.

zwischen ihnen neben „Folgebeziehungen“ und „Gleichgerichtetheit“ vielfältige Konkurrenzbeziehungen gibt, die darauf verweisen, dass jeweils Abwägungen vorzunehmen sind, die subjektiv unterschiedlich gewertet werden (können).

Im Arbeitskreis Allgemeine Technologie der Leibniz-Sozietät wurde vor diesem Hintergrund der „technologische Trichter“ eingeführt, mit dem visualisiert wird, dass jede technische Entwicklung einen Bewertungs- und Selektionsprozess durchläuft, in dem sukzessive die 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.

(4) *Nutzlose Technologien und Erzeugnisse verschwinden vom Markt (Angebot – Nachfrage), schadenbringende nicht (z.B. Waffen) (siehe Tabelle 5)*

Jahr / Land	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
USA	15,30	11,40	11,50	5,80	4,90	5,50	6,60	6,80	7,40	7,90	6,20
RUS	2,00	4,00	4,30	5,80	5,60	5,20	6,40	5,50	6,20	4,60	6,00
D	1,80	1,70	1,60	0,80	0,90	1,70	1,00	1,90	2,40	3,30	2,80
F	3,30	1,80	1,10	1,30	1,30	1,30	2,20	1,60	1,50	2,60	1,60
UK	1,40	1,30	1,50	1,20	0,90	0,60	1,20	0,90	0,90	1,10	1,10
E	0,16	0,03	0,05	0,01	0,12	0,16	0,06	0,13	0,76	0,55	0,62
NL	0,60	0,32	0,26	0,19	0,24	0,34	0,21	0,58	1,22	1,24	0,55

Tabelle 5: Rüstungsausgaben (in Mrd. US$)
Quelle: nach http://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCstungsindustrie

(5) *Nicht nur Technologien haben ambivalente Wirkungen, sondern auch ihre Erzeugnisse*

Auszugehen ist von unterschiedlichen „impacts“ von Technologien und

ihren Erzeugnissen auf Mensch, Natur, Gesellschaft, Kultur, Ökonomie, Politik usw., wie sie in Abbildung 5 dargestellt sind.

vorhersehbar	nichtvorhersehbar
intendiert	nichtintendiert

Abbildung 5: Arten von Wirkungen
eigene Darstellung

Produkt	**(angestrebte) Wirkung**	**Nebenwirkung**
Pharmaka	Heilung	Beschwerden
Lebensmittel	Ernährung	Allergien, Konservierungsmittel
Transportmittel	Mobilität	Umweltbelastungen (Lärm, Abgase, Abrieb)
Handy	mobile Kommunikation	Elektrosmog
Verpackungsmittel	Hygiene, Transport	Abfall, Ressourcenmissbrauch
Produktionsstätte	Produkte, Arbeitsplätze	Landflächenverbrauch, Umweltbelastung
Chemikalien	vielseitiger Nutzen (Dünger, Kunststoffe)	Vergiftungen, Abfall, Nebenprodukte
Waffen	Schutz, Verteidigung	Krieg, Mord
Chipanbringung an Erzeugnissen	Identifikation	Überwachung, „Gläserner Mensch“
Häuser	Wohnen	Landflächenverbrauch
Internet	Informationen	Spielsucht, Spam, Pornographie, Datenmissbrauch

Tabelle 6: Produkt-Ambivalenzen
eigene Darstellung

Aus diesem Grund müssen sich auch die Händler (Vertrieb) und die Verbraucher mit der Ambivalenz ihrer Erzeugnisse auseinandersetzen. Der Gesetzgeber überwacht die Kennzeichnung der Produkte und formuliert-Vorgaben, die einzuhalten sind. Der Verbraucher kann den Absatz der Produkte beeinflussen (Bioprodukte, Plagiate, gesundheitsschädigendes Spielzeug, durch Kinderarbeit erzeugte Produkte, Produkte aus Waldvernichtung (Amazonas) u.a. (siehe Tabellen 6 und 7).

Artefakte	**Nebenwirkungen** **⇒ Minderung der Nebenwirkungen**
Materialtechnologien	Rohstoff-Ressourcenverbrauch ⇒ Kreislaufwirtschaft / Abfallverwertung, Technosphäre gestalten
Energietechnologien	Rohstoff-Ressourcenverbrauch ⇒ Alternative Energietechnologien, rationelle Energieanwendung, Energieeffizienz, Koppelprozesse realisieren
Informationstechnologien	Schaffung von Informationsmüll, Suchtgefahr, Informationsmissbrauch, „gläserner Mensch“ ⇒ Virenschutzprogramme, Verbraucherschutz, medizinische Betreuung
Spezielle Technologien und Techniken:	
• Nanotechnologie	Angst vor „grauen Schleim“, unerwünschte Selbstorganisationen, Zerstörung von Organismen (Mensch und Tier) ⇒ Geschlossene Apparaturen, Reinstraumbedingungen, Gasphasenprozesse in Flüssigphasenprozesse wandeln, Katalyse
• Verkehrstechnik	Lärm, CO_2, Abrieb (Reifen), Meere- und Flüsseverunreinigungen ⇒ Schadstoffarme Autos, Elektroauto, Hybridantriebe
• Kunststofftechnologie	recyclierbare Abfallberge, Kohlenstoffträgerverbrauch, Autoreifenabfälle, giftige Inhaltsstoffe ⇒ biologisch abbaubare Kunststoffe, Abfallaufarbeitung für neue Anwendungen
• Lebensmitteltechnologie	Einsatz von Konservierungsmittel, Allergien, vergiftetes Fleisch, Gammelfleisch, BSE, Produktumetikettierungen ⇒ verstärkte Kontrollen, Hygienevorschriften (Beispiel: Fisch – Aquakulturen anlegen)
• Werkstofftechnologie	Hoher Energie- und Rohstoffverbrauch, Emissionen ⇒ Recyclingindustrie, Wiederverwertungstechnologie
• Chemische Technologie	Schadstoffhavarien, Schadstoffausbrüche, Brände, Explosionen ⇒ Warnung der Bevölkerung, Antihavarietraining, Evakuierungen
	⇒ Minderung der Nebenwirkungen Nutzen

Tabelle 7: Minderung von Nebenwirkungen
eigene Darstellung

(6) *Die regionalen und globalen Ambivalenzen von Technologie sind objektiv stets präsent, nur die Blickwinkel der Menschen – ob Unternehmer, Politiker, Arbeitnehmer, Umweltschützer, Greenpeace-Anhänger u.a. Gruppen – führen in der Bewertung der Chancen, der Gefahren und des Missbrauchs zu unterschiedlichen Urteilen*
Diese (Wert-)Urteile reichen von Ablehnungen bis Befürwortungen der Technologie, je nachdem wie die Zugehörigkeit der Menschen in der sozialen Gesellschaftsstruktur ist. Durch wissenschaftliche und wirtschaftliche Aufwendungen und sozialpolitische Maßnahmen kann das Verhältnis von Chancen und Gefahren grundsätzlich verbessert werden. Missbrauch kann in der Regel nur durch den Gesetzgeber und seine Kontrollorgane verhindert werden.
Alle wissenschaftlich-technischen und gesellschaftlichen Bestrebungen müssen auf das „Schwergewicht Chancen" gerichtet sein.

7. Emergenz und Technologie

Die Wissenschaft ist mittlerweile vom Zeitalter des Reduktionismus in ein Zeitalter der Emergenz übergegangen, eine Ära, in der die Suche nach den letzten Ursachen der Dinge sich vom Verhalten der Teile auf das Verhalten des Kollektivs verlagert.

Der Widerstreit zwischen diesen beiden Konzeptionen des Ultimativen – dem Gesetz der Teile oder dem Gesetz des Kollektivs – ist nicht nur sehr alt, er ist auch aktuell. Für einen bestimmten Zeitraum der Geschichte mag einer der Pole stärker sein als der andere, doch dessen Vorherrschaft ist zeitlich begrenzt, weil das Wesen der Handlung der Widerstreit selbst ist (vgl. Laughlin 2009).

Die allgemeinen Feststellungen treffen auch für die Technikwissenschaften und somit auch für die Technologie zu. Johann Beckmann war mit seinem Konzept der „Allgemeinen Technologie" (vgl. Beckmann 1806) sehr vorausschauend obigen Feststellungen vorausgeeilt. Trotzdem überwog anfangs der Reduktionismus auch in der Technologie und erst mit der Entwicklung der Computer konnten komplexere technologische Aufgabenstellungen quantitativ erfolgreich gelöst werden.

Es begann mit der Zerlegung komplexer technologischer Linien in Grundoperationen, die sich in einzelnen Maschinen (z.B. Zentrifugen) und Apparaten (z.B. Trockner, Filter, Mühle) abspielten. Dazu werden die Methoden der Ähnlichkeitstheorie zur Maßstabsübertragung entwickelt und angewendet.

Diese Methoden wurden schon früher in weniger komplexen Prozessen angewendet und entwickelt (z.B. Strömungsmechanik und Wärmelehre).

Mit der Entwicklung der Rechentechnik konnten die noch komplexen Prozesse der Grundoperationen weiter zu sogenannten Mikro- und Teilprozessen aufgelöst (reduziert) und berechnet werden. Gleichzeitig erfolgte die Synthese der Grundoperationen zu kybernetischen Systemen. Die Rechentechnik machte es möglich, quantitative Aussagen über die gesamte technologische Linie zu machen, die früher nur mühsam und unvollständig möglich waren. Aus verbalen Aussagen, wie z.B. über technologische Schaltungen, Strukturierungen des System, Dynamik, Stabilität, Zuverlässigkeit, Sicherheit usw., konnten nun quantifizierte Ergebnisse vorgelegt werden. Dabei existierte kein Widerspruch zwischen den Ansätzen, Elementerkenntnisse bzw. Kollektiverkenntnisse zu erarbeiten, sondern die Elemente gingen im Komplexen auf und erbrachten neue technologische Erkenntnisse und Fortschritte bei der Entwicklung, beim Betrieb, bei der Anwendung und beim Rückbau von Technologien, es kam zur Arbeitsteilung der Technologie-Ingenieure, die in der Ausbildung (Prozess- und Systemtechnik) und im Berufseinsatz wirksam wurde. Darüber hinaus wurden spezialisierte Ingenieure ausgebildet, z.B. Wirtschaftsingenieure, Vertriebsingenieure, Instandhaltungsingenieure, Sicherheitsingenieure, um den komplexen Charakter der Technologie (Einheit von Hard- und Software) abzusichern, in allen seinen Phasen des Reproduktionsprozesses.

Heute ist es möglich, auf Grund der reduktionistischen wie auch der emergenten Erkenntnisse über Technologien, ohne einen Prototyp zu bauen, eine optimal strukturierte Anlage zu entwerfen, zu berechnen und zu gestalten. Neben wissenschaftlich-technischem Wissen liegen heutzutage Erfahrungen der Ingenieur-Praxis vor, die diese Möglichkeit gestatten. Technologische Ordnungsprinzipien – gesammelt, gespeichert, abrufbar und verwendbar aufbereitet – sind über Generationen von Ingenieuren bereitgestellt worden. An ihrer weiteren Vervollständigung wird in beiden Richtungen, d.h. unter Anwendung reduktionistischer als auch emergenter Methoden geforscht und entwickelt (vgl. auch Banse 2011). Letztlich war dieser qualitative Sprung der Technologie nur durch die Entwicklung der Computertechnologie möglich, so dass heute mathematische Modelle und ihre Lösungen erst möglich und mathematische Modelle die Grundlage moderner Technologien wurden (vgl. Hartmann/Reher 2009) und beide Konzeptionen gleichberechtigt nebeneinander angewendet werden (vgl. Hartmann 2008; Reher/Banse 2008).

Prioritäten eines der Konzepte entstehen lediglich (und nur) aus der Aufgabenstellung heraus. Ein Widerstreit der Konzepte bei der Erforschung und Realisierung von Technologien gibt es nicht, sie ergänzen sich zur Erreichung der gestellten Zielfunktionen. Letztlich ist das technologische Paradigma eine Folge emergenter Entwicklungen in der Technologie.

Beckmanns allgemeine Technologie-Konzeption spiegelte den Dualismus von Reduktionismus und Emergenz schon wider, konnte aber erst jetzt aus der Phase der verbalen Darstellung über Modelle quantifizierbar gemacht werden, an der viele Wissenschaftsdisziplinen teilhaben (auch Sozial- und Geisteswissenschaften).

Mit der Behandlung der Ambivalenzen der Technologie in unserem 4. Symposium gehen wir einen weiteren Schritt bei der Ableitung technologischer Ordnungsprinzipien und damit emergenter Eigenschaften der Technologie. Sie betreffen die Mikro- und die Makroebenen der Technologie, beinhalten Einflüsse auf deren naturale, humane und soziale Aspekte.

Die vorstehenden Ausführungen können in bzw. mit der in der „Einleitung“ zu diesem Band enthaltenen Abbildung 1 zusammengefasst werden.

Literatur

Banse, G. (2011): „Nicht so exakt wie möglich, sondern so genau wie nötig!“ – Das Einfachheitsprinzip in den Technikwissenschaften. In: Sommerfeldt, E.; Hörz, H.; Krause, W. (Hg.): Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip. Berlin, S. 93-104 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 108)

Banse, G.; Lorenz, C. (2007): Technikfolgenabschätzung und „Ubiquitous Computing“. Sensosysteme im Spannungsfeld zwischen technischem Fortschritt und gesellschaftlicher Entwicklung. In: Wangermann, G. (Hg.): Theoria cum praxi. Fünf Jahre Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien e. V. (LIFIS). Berlin, S. 237-256 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 90)

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)

Beckmann, J. (1806): Entwurf der allgemeinen Technologie. In: Beckmann, J.: Vorrath kleiner Anmerkungen über mancherley gelehrte Gegenstände. Drittes Stück. Göttingen, S. 463-533

Blüchel, K. G. (2006): Bionik. Wie wir die geheimen Baupläne der Natur nutzen können. 2. Aufl. München

Bootle, R. (2004): Hoffnung auf Wohlstand. Chancen und Risiken der Weltwirtschaft. Hamburg

Braungart, M.; McDonough, W. (2008): Einfach intelligent produzieren. 3. Aufl. Berlin

Cerman, Z.; Barthlott, W.; Nieder, J. (2005): Bionik. Was wir von den Pflanzen und Tieren lernen können. Reinbek b. Hamburg

Encyclopädie (1773ff.): Oeconomische Encyclopädie, oder allgemeines System der Land- Haus- und Staats-Wirthschaft, in alphabetischer Ordnung. Berlin. – URL: http://www.kruenitz1.uni-trier.de/site/a_to_z.htm

Grunwald, A. (2002): Technikfolgenabschätzung. Eine Einführung. Berlin

Grunwald, A.; Banse, G.; Coenen, Chr.; Hennen, L. (2006): Netzöffentlichkeit und digitale Demokratie. Tendenzen politischer Kommunikation im Internet. Berlin

Hartmann, K. (2008): Verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen – Grundlage für die Analyse und Synthese modularer technologischer Systemmodelle. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 105-125 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)

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

Laughlin, R. B. (2009): Abschied von der Weltformel. Die Neuerfindung der Physik. München

Pfennig, A. (2007): Globale Bilanzen als Wegweiser für nachhaltiges Wirtschaften. In: Chemie-Ingenieur Technik, Jg. 70, Nr. 12, S. 2009-2018

Reher, E.-O.; Banse, G. (2008): Der Einfluss der naturalen, sozialen und humanen Dimensionen der Technologie auf den Prozess-Stufenmodul der Materialtechnik mit dem Ziel der Herausbildung einer allgemeinen Prozesstechnik. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 71-103 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)

Streffer, Chr.; Gethmann, C. F.; Heinloth, K.; Witt, A.; Rumpff, K. (2005): Ethische Probleme einer langfristigen globalen Energieversorgung. Berlin/New York

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

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 43–50*

Klaus Hartmann

Risiken und Chancen der Renaissance „vergessener“ Technologien (am Beispiel fossiler Kohlenstoffträger)

1. Aspekte des Vergessens von Technologien

Technologien, d.h. Wissen, wie man etwas macht, d.h. Produkte herstellt, transportiert oder anwendet usw. können tatsächlich vergessen werden – denken wir an die Bautechnik der Pyramiden in Ägypten, oder an den Damaszener Stahl: die berühmte Schmiedetechnik für diesen Stahl ist seit Ende des 18. Jh.s in Vergessenheit geraten.

Andere vergessene Technologien wie die Nutzung der Windenergie haben eine rasante Renaissance erlebt.

Gründe für das „Vergessen“ von Technologien sind verschiedener Natur – der Untergang von Zivilisationen, die Erschöpfung der Rohstoffbasis, bestimmte Produkte werden nicht mehr benötigt oder erweisen ich als schädlich oder umweltbelastend und sind verboten bzw. werden durch andere Produkte abgelöst. Neue, billigere Rohstoffquellen erfordern neue Technologien, neue Bewertungskriterien, oft sind es auch eine restriktive Patentpolitik und Patentsperren, firmenpolitische Geheimhaltungen, Verlust der gesellschaftlichen Akzeptanz der Technologien; politische Präferenzen oder gesellschaftliche Präferenzen u.a. Dabei muss dieses „Vergessen“ nicht global sein, sondern kann sich auf bestimmte Länder oder Regionen (oder auch zeitlich) beschränken. Zahlreiche alte Technologien erfahren im Rahmen der Nachhaltigkeit, der „grünen“ Technologien und der weißen Biotechnologie ihre Renaissance bzw. erhalten neue Chancen. 3Es existieren aber auch alte bewährte Technologien, die „nachhaltig“ ignoriert werden – durch langfristig einseitige Orientierungen auf vermeintliche bessere Alternativen.

2. „Vergessene“ Technologien der Kohlenstoffträgernutzung

Einige Technologien der Stoffwirtschaft, die beginnend mit der Metall- und Salzgewinnung Zeiträume von Jahrtausenden umfasst und Tausende von

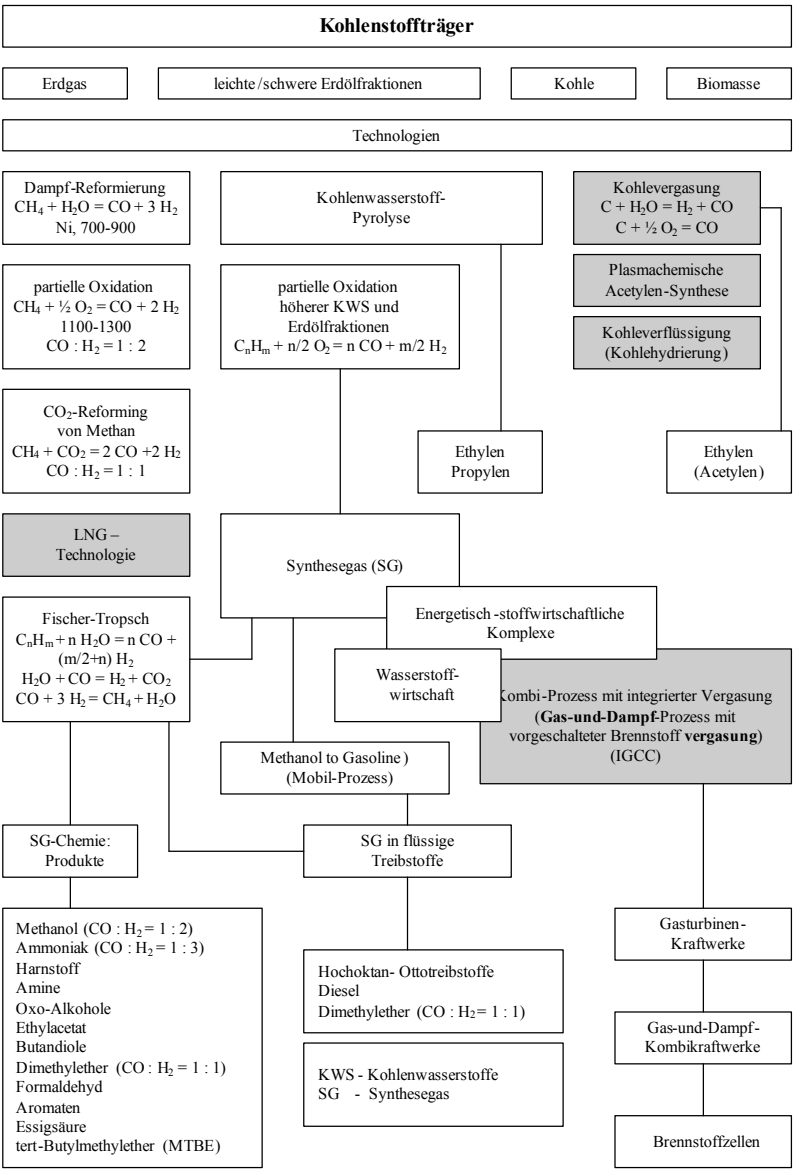


Abbildung 1: Technologiefelder Kohlenstoffträgernutzung
Quelle: nach Hartmann 2006

Stoffen in Mengen von mehr als 1000 t/a herstellt, sollen in diesem Diskussionsbeitrag im Mittelpunkt stehen und zwar solche auf der Grundlage fossiler Kohlenstoffträger, hauptsächlich auf der Basis von Kohle (Stein-und Braunkohle), aber auch Biomassen, die schon Jahrzehnte erfolgreich betrieben worden sind bzw. in einigen Ländern seit Jahrzehnten im Einsatz sind, aber in unserer Gesellschaft durch „Verfemung" vergessen sind bzw. durch billigere fossile Kohlenstoffträger wie Erdgas und Erdöl verdrängt oder nie zur großtechnischen Reife und Wirtschaftlichkeit entwickelt worden sind.

Kohle war von den Anfängen der chemischen Industrie bis zur Mitte des 20. Jh.s Hauptrohstoffquelle und wurde dann rasch durch preisgünstigere Ausgangsstoffe, insbesondere Erdöl und Erdgas, abgelöst, die Kohlereserven in Deutschland haben eine Reichweite von mehreren Hundert Jahren.

Übereinstimmend geht man davon aus, dass der Anteil fossiler Kohlenstoffträger am Energiemix der nächsten Jahrzehnte zwischen 40 und 50% betragen wird (vgl. DPG 2010). In Abbildung 1 sind wichtige stoffliche und energetische Zusammenhänge (Technologien und Stoffe bzw. Stoffgruppen) der Nutzung von Kohle, Erdöl, Erdgas und Biomasse zusammengefasst.

Abbildung 2 zeigt die Kohlepfade detaillierter.

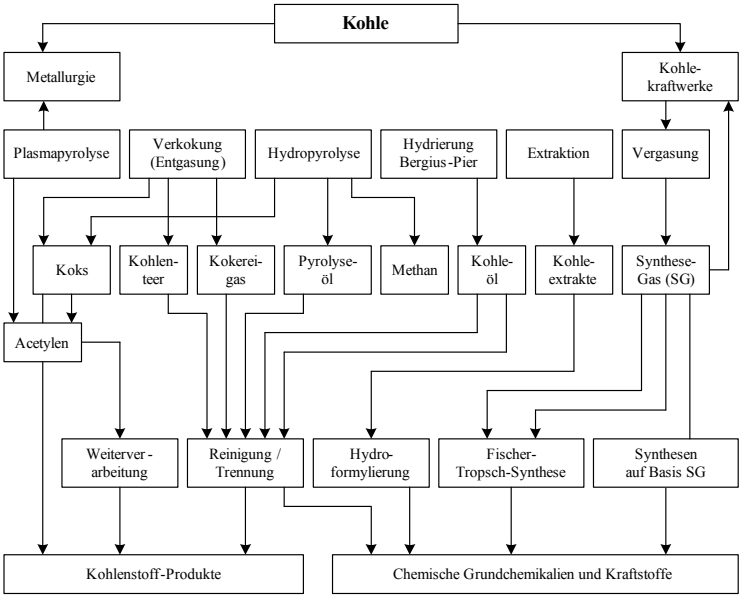


Abbildung 2: Technologiefelder der auf Kohle aufbauenden Prozessketten
Quelle: nach DECHEMA 2009

Einige der „vergessenen“ Technologien, auf die eingegangen wird, sind in Abbildung 1 dunkel unterlegt:

- Kohleverflüssigung;
- Kohlevergasung;
- Plasmachemische Synthesen (auf Kohlebasis).

Diese vergessenen Technologien werden näher beschrieben und Nutzungschancen warden diskutiert.

Die in Deutschland total „vergessene“ Technologie des Transports von Erdgas, die LNG-(liquefied natural gas, Flüssig-Erdgas-)Technologie, gestattet es, billiges Erdgas von sogenannten LNG-Spotmärkten, auf denen Angebot und Nachfrage den Preis bilden, zu importieren. Die LNG-Technologie ist in Abbildung 1 dunkel unterlegt. Bei der Flüssig-Erdgas-Technologie ist der Gaspreis vom Ölpreis abgekoppelt und wird nicht durch sehr langfristige Lieferverträge festgelegt, und Gasproduzenten ohne Pipelineverbindung haben ebenfalls Marktzutritt (vgl. DBT 2009).

Verflüssigtes Erdgas wird noch auf dem Schiff regasifiziert und dann in das Erdgasnetz eingespeist. Die geringeren Kapitalkosten dieses Verfahrens im Vergleich zu herkömmlichen LNG-Anlagen sind vor allem vor dem Hintergrund der derzeit niedrigen Gaspreise auf dem Spotmarkt vorteilhaft. 2010 waren die Spotmarktpreise 10-20 % niedriger als der Preis für das Erdgas, das über Erdgasleitungen aus Russland importiert wurde. Deutschland besitzt kein einziges Anlandeterminal für LNG (ein seit 30 Jahren in Wilhelmshaven geplantes Terminal wurde nie realisiert). 12 Terminals gibt es derzeit in Europa und 200 LNG-Tanker sind verfügbar.

3. Kohleverflüssigung (Kohlehydrierung)

Das Bergius-Pier-Verfahren (Hydrierung von Kohle mit Wasserstoff) wurde von Friedrich Bergius 1913 als Verfahren zur Herstellung von flüssigen oder löslichen organischen Verbindungen aus Steinkohle und dergleichen patentiert, für das er 1931 mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet wurde (siehe Abbildungen 1 und 2). Matthias Pier führte grundlegende Forschungsarbeiten über katalytische Hochdrucksynthesen durch und entwickelte das Verfahren von Bergius zur technischen Reife (vgl. DECHEMA 2009). Die Gesamtkapazität der in Deutschland ab 1935 gebauten Kohlehydrierungsanlagen lag bei 4 Mio. t Kohlenwasserstoffe im Jahr. Die letzten Anlagen wurden 1970 außer Betrieb gesetzt.

Dass moderne Anlagen der Kohlehydrierung wirtschaftlich betrieben werden können, zeigte Sasol (Südafrika). 1955 wurde dort die erste moderne

CtL(Coal-to-liquid)-Anlage in Betrieb genommen, 1980 und 1982 folgten Sasol II und Sasol III mit einer Gesamtkapazität von 104 000 barrel/Tag. Trotz des ab den neunziger Jahren für Südafrika verfügbaren Erdöls wurden 1995 und 1998 weitere Kapazitäten für 124.000 barrel/Tag CtL- und GtL-Kraftstoffe errichtet und wirtschaftlich betrieben. Alle zwischen 1970 bis 1985 in Deutschland neu errichteten Versuchsanlagen (als Folge der Erdölkrise 1973) wurden später stillgelegt, am Institut für Chemische Technologie der AdW wurden bis 1990 umfangreiche Forschungsarbeiten zur Modellierung und Optimierung dieses Verfahrens durchgeführt. In Japan, den USA und China wird weiterhin an Verfahrensverbesserungen der Kohleverflüssigung gearbeitet.

4. Kohlevergasung

Die Überführung von Kohlenstoff aus fossilen Kohlenstoffträgern und Biomasse in brennbare gasförmige Verbindungen, speziell Wassergas (Synthesegas), Generatorgas und Stadtgas wird Kohlevergasung genannt. Dabei wird Kohle mit Sauerstoff oder Luft und Wasserdampf bei sehr hohen Temperaturen (über 1.000 °C) zu einem Synthesegas (SG) umgesetzt (vgl. DECHEMA 2009). Prinzipiell kann jedes kohlenstoffhaltige Material eingesetzt werden. Je nach Verfahren und Betriebsbedingungen kann die Zusammensetzung des Synthesegases unabhängig von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials in gewissen Grenzen variiert werden und ist damit Grundlage für ein breites Spektrum von Synthesen (siehe in Abbildung 1, SG-Chemie: Produkte, und Abbildung 2). Das Verfahren der Kohlevergasung wurde von Franz Fischer und Hans Tropsch in den Jahren bis 1925 zur Industriereife entwickelt (Fischer-Tropsch-Verfahren).

Der großtechnische Einsatz der Vergasungstechnologien wird gut beherrscht. Weltweit werden gegenwärtig rund 45 Mio t Kohle pro Jahr durch Vergasung umgesetzt. Weltweit sind mehr als 25 Anlagen in Betrieb, keine davon in Deutschland. Das Synthesegas eignet sich auch zur Herstellung von Methanol und Wasserstoff. Methanol ist Grundlage für die GtL(Gas to liquid)-Verfahren zur Herstellung von flüssigen Kraftstoffen, z.B. den Mobil-Process (Methanol to gasoline).

Umweltfreundliche kohlebasierte Kraftwerke der Zukunft sind energetisch-stoffwirtschaftliche Komplexe, in denen Kohle über die Vergasung mit Luft bzw. teilweise mit reinem oder angereichertem Sauerstoff aus Luftzerlegungsanlagen in wasserstoffreiche Brenngase umgewandelt und aus denen das Kohlendioxid bereits vor der Verbrennung in den Gasturbinen abgetrennt

wird und nicht in die Atmosphäre gelangt (vgl. Hartmann 2008). Durch die Verwendung von Sauerstoff wird die „Verdünnung“ der Verbrennungsgase durch den Luft-Stickstoff vermieden und die Abtrennung des in höheren Konzentrationen vorliegenden Kohlendioxids ist wirtschaftlicher.

GUD-Kraftwerke mit integrierter Kohlevergasung (IGCC) sind praktisch Chemie-Betriebe mit Energiebereitstellung. Es existieren unterschiedliche Strukturen moderner Kohlekraftwerke, einige Varianten sind in Abbildung 1 aufgezählt.

Der in den energetisch-stoffwirtschaftlichen Komplexen erzeugte Wasserstoff kann auch mit hohen Wirkungsgraden in modernen Brennstoffzellen genutzt werden.

5. Hochtemperatur-Pyrolyse

Ein fast idealer Ausgangsstoff für eine große Palette chemischer Stoffe ist Acetylen (Äthin). Auf Grund seiner Dreifachbindung ist Acetylen sehr reaktiv und reagiert leicht und mit hoher Geschwindigkeit und ist Grundlage für die Reppe-Chemie. Eine Alternative Technologie zu der energetisch extrem aufwendigen Herstellung von Acetylen über Kalziumkarbid könnte großtechnisch die direkte Herstellung aus Wasserstoff und Kohlenstoff (Kohlenstaub) im Plasmareaktor sein. So entsteht im Lichtbogen aus Kohlenstaub und Wasserstoff ab ungefähr 2.500°C über die Reaktion

$$2\,C + H_2 \rightarrow C_2H_2 \quad [H\text{-}C{\equiv}C\text{-}H]$$

ein kompliziertes Gemisch unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe darunter Acetylen. Voraussetzung ist preiswerter Wasserstoff. Die Reaktion erfolgt im Plasmareaktor (z.B. Flammrohr), in dem ein Gleichstromplasma erzeugt wird. Die Reaktanden strömen verwirbelt mit Überschall-Geschwindigkeit durch das Plasma. Durch Abschreckung (Quenchung) der Produkte der teilweisen Verbrennung wird das Gleichgewicht bei einer möglichst hohen Konzentration des Zielprodukts Acetylen eingefroren und das Produktgemisch anschließend getrennt. Ein wertvolles Nebenprodukt dieses Verfahrens ist außerdem wertvoller (aktiver) Ruß. Obwohl bei der Degussa als auch an der TH Leuna-Merseburg viele Jahre Versuchsanlagen zur Plasmapyrolyse betrieben wurden, ist bis jetzt kein großtechnisches Verfahren vorhanden. Eine Variante dieses Verfahrens ist das HTP-Verfahren, bei dem Benzin (Prozesstemperatur 1.500 °C) oder Methan (Prozesstemperatur über 2.000 °C) thermisch gespalten und in ein Kohlenwasserstoffgemisch mit hohen Acetylenanteil umgesetzt wird. Die erforderlichen Energien werden durch

Verbrennung von Heizgasen oder durch einen elektrischen Lichtbogen zugeführt.

6. Thermochemische Kreisprozesse

Thermochemische Kreisprozesse beruhen auf der Ausnutzung (günstiger) Energiequellen, um durch ein- oder mehrstufige chemische Reaktionen Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen. Kreisprozesse werden diese Technologien deshalb genannt, weil der Arbeitsstoff – ein System chemischer Verbindungen – nach Ablauf der Reaktionen wieder in den Ausgangszustand zurückgeführt wird. Die erforderliche Enthalpie muss bei Temperaturem um 1000 K (und höher) zugeführt werden. Neben konzentrierter Sonnenenergie könnten auch Hochtemperaturreaktoren diese Wärme liefern.

Es wurden Hunderte von möglichen Kreisprozessen thermodynamisch untersucht und eine Dutzend experimentell geprüft. Die Europäische Union fördert das HYDROSOL-Projekt, Catalytic Monolith Reactor for Hydrogen Generation from Solar Water Splitting (vgl. Hydrosol 2010). Als Arbeitskörper kommen bei diesem Projekt eisenoxidbasierte Redox-Materialien zum Einsatz. Die Gewinnung billigen Wasserstoffs würde für zahlreiche Verfahren der Kohlechemie eine Renaissance bedeuten.

7. Konsequenzen

In Deutschland werden keine Verfahren der klassischen „Kohlechemie" mehr betrieben, Forschungsarbeiten werden nur in sehr kleinem Maßstab durchgeführt. In einem Positionspapier der DECHEMA zur Kohlenveredlung wird festgestellt:

„Wenn nicht prinzipiell gegengesteuert wird, verschwinden auch noch die letzten Überreste der Wissensgesellschaft „Kohlechemie", d.h. das Wissen, die praktische Erfahrung und die Kenntnis zum Bau von Anlagen zur Nutzung von Kohle im Kraftwerks-, Kraftstoff- und Rohstoffbereich aus Deutschland. Aus Sicht der damit verbundenen verstärkten Abhängigkeit von Rohstoffquellen außerhalb Deutschlands, nicht nur für die chemische Industrie, wäre der Verlust dieser Kernkompetenz nicht mehr zu kompensieren. Mittel- und langfristig wäre es ein großer Fehler, wenn Deutschland das Know-how im Umgang mit dem einzigen nennenswerten verbliebenen Rohstoff verlieren würde" (DECHEMA 2009).

In einer Analyse zu dieser Situation wird im CHEManager kommentiert:

„In einer risikoaversen Gesellschaft ist es sehr schwer, Neues durchzusetzen. So ist eine immobile Sicherheits-Gesellschaft entstanden, die in Immobilien statt in Zukunfts-technologien investiert“ (CHEManager 2004).

Literatur

CHEManager (2004): Redaktionskommentar „Innovationsklima in Deutschland“, Nr. 22, S. 8

DECHEMA (2009): Diskussionspapier „Kohlenveredlung“. Erarbeitet durch den gemeinsamen Initiativkreis „Kohlenveredlung“ von DGMK e.V. und DECHEMA e.V. – URL: www.dechema.de

DPG – Deutsche Physikalische Gesellschaft (2010): Elektrizität: Schlüssel zu einem nachhaltigen und klimaverträglichen Energiesystem, Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Bad Honnef. – URL: www.dpg-physik.de

DBT – Deutscher Bundestag (2009): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Oliver Krischer, Hans-Josef Fell, Bärbel Höhn, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/95 – Die Rolle von Flüssigerdgas (Liquid Natural Gas – LNG) für die Versorgungssicherheit Deutschlands. Drucksache 17/311 vom 18.12.

Hartmann, K. (2006): Systemaspekte der Kohlenstoffträgernutzung. Vorlesungsskript. Technologische Hochschule – TU Sankt Petersburg (russ.)

Hartmann, K. (2008): Verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungwissen – Grundlagen für die Analyse und Synthese technologischer Systemmodelle, In: Banse G.: Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 105-125 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)

Hydrosol – Catalytic Monolith Reactor for Hydrogen Generation by Solar Water Splitting (2010): Project funded by European Commission: Community Research Energy; Environment and Sustainable Development Programme. Ergebnisse. – URL: www.hydrosol-project.org

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 51–81*

Lutz-Günther Fleischer

Ambivalenzen und Komplexität stoffwandelnder Technologien – Widersprüche aufheben, Chancen entwickeln

1. Zur Einordnung des Problems

Die sich gegenwärtig rasch entwickelnden, vor allem qualitativ verändernden *Technologien der Stoffwandlung,* prägen zahlreiche Industriezweige von maßgeblichem Stellenwert für das *gesellschaftliche Produktionsniveau und die Lebensqualität* mit all ihren materiellen und ideellen Elementen.

Die Biotechnologie, die Lebensmittel-, Pharma-, Kosmetik-, Chemie-, Metall-, Textil- und Baustoffindustrie, die Abfallwirtschaft sowie die Wasser-, Boden- und Luftreinhaltung dominieren bezüglich der grundsätzlich neuen, wesensgemäß auch widersprüchlichen Resultate und Wirkungen im final orientierten Ensemble stoffwandelnder Technologien. Beobachtbar sind sowohl Innovationen als auch Destruktionen.

Die *gebrauchswertschaffenden und -steigernden Wandlungen* der meist hoch komplexen, insbesondere mehrkomponentigen und mehrphasigen Stoffsysteme bilden hinsichtlich ihrer stofflichen Eigenschaften und Zusammensetzung unter methodischen und präferiert prozesstechnischen Aspekten den Gegenstand der technologisch exponierten *Verfahrenstechnik* (process engineering).

Ziele sind effektiv geschaffene und obligate Gebrauchswerte, höchste Perfektion der Funktionalität, Zuverlässigkeit und Sicherheit sowie in letzter Konsequenz sozialer Fortschritt.

Es gibt erwiesenermaßen keinen anderen Weg zur *Überführung* empirischen und wissenschaftlichen Wissens in das zielgerichtete, koordinierte, werteschaffende menschliche Denken und Handeln als jenen über Technologien. Nur er kann zu neuen Produkten, Prozessen/Verfahren, steigender Produktivität, Effektivität, Kreativität und Humanität führen.

Der *außerordentliche und unersetzbare Stellenwert* der Technologien erklärt sich grundsätzlich aus ihren vermittelnden, integrierenden, verändernden und stimulierenden Funktionen und Wirkungen. *Technologien sind also*

Ziel und Mittel. Sie fungieren immer in ihrer sich wechselseitig bedingenden Dualität von anwendungsgerechtem, stofflich, energetisch oder informationell akzentuiertem realen *Prozesssystem* sowie einem interagierenden, kooperierenden, adäquaten *Wissenssystem*.

Die *strukturell und funktionell hoch komplexen und demgemäß kooperativen Stoffwandlungssysteme* sind ganzheitliche Beziehungsgefüge mit charakteristischen System-Element- und System-Umwelt-Beziehungen. Sie nutzen – zumeist in zunehmend komplizierteren Kombinationen und zu *typischen Verfahren verflochtenen inneren und äußeren Netzwerken* – simultan und gekoppelt physikalische (mechanische, thermische, elektrische), kernphysikalische, chemische und biotische *Prozesse*, *um die Stoffe/Substrate bis* in die Nanosphäre *in ihrer inneren Struktur, ihrem Zustand und/oder ihrer Zusammensetzung* zu *beschreiben* sowie nach multipolaren Anforderungsprofilen mit konkurrierend und/oder instrumentell verbundenen Elementen innerhalb multidimensionaler Möglichkeitsfelder gezielt *zu verändern*, um neue Gebrauchswerte zu generieren oder präformierte effektiv und effizient zu erhöhen.

Zu fordern sind also neben zweckgerechten Funktionalitäten, hochgradiger Zuverlässigkeit und Sicherheit, die gebührende Berücksichtigung sozialer, ökologischer und ethischer Kriterien. Allein schon diese Komplexität bildet – *wegen der Vielfalt der Verhaltensmöglichkeiten* und der *Veränderlichkeit der zumeist nichtlinearen Wirkungsverläufe* – die *entscheidende Ursache* für *doppelwertige Wirkungen* und *nicht intendierte Nebenwirkungen.* Sie verursacht das „naturgemäße" Nebeneinander widersprüchlicher Ergebnisse: die weiter zu differenzierenden Chancen und Risiken unterschiedlicher Graduierung, vom *ubiquitären Restrisiko* über die *Gefährlichkeit* bis zur *manifesten Gefahr*.

Grenzen des Wissens, prinzipielle Imponderabilien, das Wesen *deterministisch chaotischer Prozesse* bieten Räume für *Zufälligkeiten*, beschränken die Sicherheit, verursachen damit nicht vorhersehbare und kaum operationalisierbare Risiken.

Gesetzmäßig treten *erwartete und unerwartete Fehler* auf. Beide Fehlergruppen haben nicht nur innerhalb der Technik und den Technologien ihre Quelle darin, dass in Aktionen (darunter dem exponierten Denken und Handeln, ja, dem gesamten Verhalten des Menschen) die *Komplexität und ihre charakteristischen Verknüpfungen* mit der Zeit nicht zureichend beherrscht werden. In diesen Zusammenhängen ist insbesondere das *scheinbar zufällige deterministischen Chaos* als Systemzustand und Prozessmerkmal zu nennen.

Ihm kommt eine herausragende und dominierende strukturelle/funktionelle Rolle in vielen Geschehnissen zu.

Unter dem Aspekt des Zeitverhaltens und der Vorhersagbarkeit der Zustandsänderungen lässt es sich, gut begründet als *„gedoppelte Mitte"* (Georg Wilhelm Friedrich Hegel), als dialektisches Zusammenwirken zwischen den begrenzenden, antonymischen Polen der *regulären* und der *stochastischen Prozesse,* einordnen.

Die *deterministisch chaotischen Prozesse* werden von einem irregulären Zeitverhalten sowie den namensgebenden Beschreibungsmöglichkeiten mit deterministischen Differenzen- bzw. Differenzialgleichungen – zumindest in der physikalischen Ebene – charakterisiert. Das aus der Persistenz der Physik resultierende und in höheren Emergenzebenen eigengesetzliche irreguläre Zeitverhalten, die scheinbare Zufälligkeit und die Nichtlinearität der Prozessabläufe werfen wesensgemäß auch für die Technik und Technologien grundsätzliche Fragen nach der prognostizierbaren Sicherheit, der Rektifizierbarkeit der Zufallspfade und den Optionsbewertungen auf.

Die *unerwarteten Fehler* reichen demgemäß bei weitem über prognostizierbare und erfassbare Abweichungen von Normen und Mittelwerten, also prinzipiell und gesetzmäßig *erwartete Differenzen,* hinaus.

Operationalisiertes *Verfügungswissen* (*techné*) – Erfahrungen und Erkenntnisse vom überwiegend kalkulatorisch-algorithmischen Typus – und fundiertes *Orientierungswissen* (*episteme*) – Begründungen und Erkenntnisse vom vornehmlich axiomatisch-deduktiven Typus – zu gewinnen, zu systematisieren und praktisch umzusetzen, bildet die grundsätzlichste Voraussetzung zur Minimierung der Fehlerquellen.

Wegen der Interdependenzen prägen sich mit steigenden Komplexitätsgraden (den Maßstäben der Kompliziertheit sowie der Kooperativität) und höheren Emergenzebenen neben der Systemqualität die auf diese Weise in der Natur der Sache liegenden *Ambivalenzen* stärker aus.

Wahrscheinlich sind die Komplexitätsgrade und die Ambivalenzen selbst inhärente Indikatoren des wissenschaftlichen und technischen Fortschritts und anderer systemischer Evolutionen.

2. Komplexität – ihre Merkmale und deren Charakterisierung

Im Interesse der geschlosseneren Darstellung und der Verständlichkeit sind nachfolgend einige Thesen eingebunden, die im Beitrag „Komplexität, Inter- und Transdisziplinarität" weitergehend und ausführlicher erörtert werden (vgl. Fleischer 2010).

Der *Begriff Komplexität* ist *ubiquitär* und *autologisch*:

- Er umfasst sowohl *ontische* als auch *logische Sachverhalte und Konstrukte* – was bezüglich der dualen Technologie außerordentlich bedeutsam ist.
- Er kennzeichnet generell die *Qualität* einer gegen das „natürliche Unendlich" gehenden Anzahl jeweils *objekt- und/oder prozessspezifscher Systemelemente*, deren *innere* sowie *äußere Interaktionen* und *Relationen*. Sie prägen die *Binnenstruktur,* aber auch die Quantität und Qualität der *systemimmanenten hierarchischen Ebenen oder/und heterarchischen Interaktanten.*

Komplexität besitzt eine reich gegliederte natürliche oder artifizielle *Architektur,* ist – ableitbar aus dem Sinn der involvierten Begriffselemente „techné", „texere" – *Entworfenes*, *Gestaltbares, Gestaltetes,* d.h. *Handlungsfertigkeit* und *latente Wirkfähigkeit*, vereint demgemäß *Aktualität* und *Potenzialität*.

Komplexe Strukturen bestehen aus qualitativ verschiedenartigen, konstituierenden Elementen und zugehörigen Relationen unterschiedlicher Mengen und Wertigkeiten. Sie formieren den *Komplexitätsgrad*, d.h. letztlich die *Kompliziertheit*. Sie begründen und tragen neue *Kooperationsformen*.

Aus der Vielfalt der *strukturellen Möglichkeiten bzw. Organisationsmodelle* seien die Symmetrien, Kombinationen und *Aggregationen*, wie Cluster, Hierarchien und Heterarchien, lediglich genannt.

Netzwerkarchitekturen gehören sehr wahrscheinlich zu den allgemeinen, skaleninvarianten *Struktur- und Funktions-(Organisations-)Prinzipien* natürlicher, technischer, ideeller und anderer komplexer multikomponentiger Systeme im Möglichkeitsfeld von Chaos und Kosmos. Deren meist selbst dynamischen Elemente sind über permanente oder sich zeitlich ändernde Beziehungen natürlich bzw. synthetisch (technisch-konstruktiv) vernetzt.

Natürliche Vernetzungen sind Voraussetzungen und Ergebnisse der systemimmanenten Strategie der Selbstinformation. Selbstinstruktion und Selbstorganisation.

Unbegrenzte Folgen von Prozessen der Selbstorganisation konstituieren unter geeigneten Bedingungen die *Evolution*: den *qualitativen Auf- und Ausbau adaptierter, neuartiger komplexer Strukturen und Systeme.* Sie hinterlassen indes häufig auch störenden Ballast.

Im Umkehrschluss sind *selbstorganisierende Systeme notwendigerweise komple***x**, zudem *selbstreferenziell* (d.h., das Systemverhalten ist rückkoppelnd und determiniert in operationaler Geschlossenheit seinen Zustand), *autonom* (d.h., das System bestimmt seine charakteristischen internen

Relationen und Interaktionen selbst, obwohl es stofflich, energetisch und gegebenenfalls informationell mit der Umgebung interagiert), *redundant* (d.h., die Systemelemente sind ohne Hierarchie und Differenzierung potenziell multifunktionell organisierende, gestaltende, steuernde, regelnde Aktoren).

Jedes *System* (noch treffender: *jeder Organismus bzw. Superorganismus* – im weitesten Sinn jede *funktionsdeterminierte, dazu strukturadäquate Gesamtheit*) repräsentiert auf seiner physikalischen, chemischen, biotischen, sozialen, technischen oder gesellschaftlichen Emergenzstufe ein *komplexes dynamisches, (hierarchisch* und/oder *heterarchisch gegliedertes*), *kausal agierendes*, ganzheitliches System, dessen *Teile gleichzeitig Mittel und Zweck bzw. Ziel der Veränderung in Raum sowie Zeit* sind und in dem Teilfunktionen *selbstorganisierend* oder *zielorientiert implementiert* und „arbeitsteilig" zu *Gesamtfunktionen verknüpft* sind.

Die *Komplexität* erfasst also zugleich die *Modalitäten*, die Bedingungen sowie die Art und Weise, *der quantitativen und qualitativen Änderung des Systemzustandes*, in Teilen und/oder als Ganzes, die linearen oder nichtlinearen *Zusammenhänge von Ursache(n) und Wirkung(en*), *die Interaktionen sowie Kooperationsformen* verschiedener Skalierungen und Wertigkeiten, die *Bewegungen*, deren *Kinetik und Dynamik*, *die Evolution* (gegebenenfalls die Ko-Evolution) und deren *Ontogenien*.

Im Übrigen plädiere ich dafür, die im ontischen oder logischen (gnoseologischen, kognitiven) *Entwicklungsprozess* herausgebildete *faktische Komplexität* konsequent als *Ordnung* zu charakterisieren, um deren *neue Qualität* ausdrücklich zu kennzeichnen. So wird die faktische Information als Zustandsgröße von der *potenziellen Information* als einem Unsicherheit testierenden Strukturindikator der Komplexität getrennt.

Da *zwischen den Ursachen und Wirkungen* der „intervenierende", mehr oder minder steuernde und regelnde Einfluss ganzer Gruppen endogener und exogener Variablen, interner und externer Größen mit inhibierenden oder verstärkenden Mechanismen liegt, resultieren die verursachten Wirkungen aus den hoch dimensionalen Möglichkeitsfeldern in der Regel mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten.

Die *statistischen Gesetze,* denen solche *komplexen Veränderungen in Raum und Zeit* mit ihrer überwiegend *nicht linearen Dynamik* unterliegen, führen zu den bereits erwähnten *Zufällen*, zu generell nicht vermeidbaren *Unsicherheiten und Restrisiken*. Im Gefolge des Wirkens objektiver Zufälle können – abhängig von bestimmten, mit empirischen und theoretischen Bedingungsanalysen mehr oder minder genau erfassten, bereits existierenden

oder im Wirkungsverlauf, in der Kette von der Anfangsursache bis zur Endwirkung, entstehenden Bedingungen – *Ereignisse mit bestimmten a-priori Wahrscheinlichkeiten* $p_i \leq 1$ eintreten, so dass sich *das i-te Risiko* R_i als *Produkt aus der Differenz* des sicheren Ereigniseintritts $p_i = 1$ sowie dem *Erwartungswert der relativen Häufigkeit des i-ten Ereignisses* und der *Ereignisschwere bzw. dem Schadensausmaß* ergibt.

Die *Reduktion der Unsicherheit* der i-ten Nachricht aus einer ergodischen Quelle oder der Ungewissheit des Eintretens eines Ereignisses i

$$I_{pot.,\,i} = - \mathrm{ld}\, p_i$$

bzw. deren Ensemble-Mittelwerte $\langle I_{pot.} \rangle$ (der potenziellen Information) als Erwartungswert der Shannonschen Informationsentropie $\langle I_{pot.} \rangle = H_{Sh.}$

$$H_{Sh.} = - \sum p_i \,\mathrm{ld}\, p_i$$

generiert maßgebende Werte für nutzerorientiertes Wissen, für merkmalbezogene und finale Entscheidungen in Domainen aller Art.

Im Kontext des Diskurses sei darauf hingewiesen, dass sich die *Kolmogorowsche Komplexität* – eigentlich ein Maß der „Unordnung", da sie mit dieser per definitionem wächst, im Wesen nicht von der Shannonschen Informationsentropie unterscheidet.

In diesem Verständnis erweist sich die *Reduktion der Unsicherheit* als Komplexitäts-Reduktion, als Zunahme des faktischen Wissens und der „Ordnung".

Offenbar gehören *Ambivalenzen* vorherrschend zum *Wesen komplexer Systeme und Prozesse*. Sie lassen sich demzufolge nicht als prinzipiell vermeidbare Attribute der technologischen Entwicklung wegdiskutieren. Es gilt vielmehr, diese *Widersprüche* auch für *Stoff wandelnde Technologien* zu denken, sich bietende Chancen zu entwickeln und negative Folgepotenziale dialektisch zu begreifen und aufzuheben.

Die *Komplexität* ist offenbar ein *„Ingredienz"* aller (quasi-)statischen und – in noch höherer Qualität – dynamischen Systeme bzw. Objekte. Sie gehört nicht bloß untrennbar zu ihnen, sondern *modelliert* vielmehr *herausragende Wesenszüge*.

Die *Komplexität* selbst wirkt *generell anhaltend ambivalent*: Sie offeriert einerseits die enorme *Fülle sichtbarer sowie verdeckter* Chancen und konfrontiert uns andererseits mit einem *dynamischen Cluster von* Herausforderung.

Die Komplexität hat, bezogen auf das jeweilige System und dessen Verhalten, objektive und subjektive, reale und virtuelle, interne und externe Komponenten und Wirkungsfelder.

Das bedeutet und widerspiegelt vor allem: Vielfältigkeit, Vielgestaltigkeit, Vielseitigkeit, Vielschichtigkeit, Verschiedenheit – *Variabilität* – in ihrer Dialektik mit den, mehr vereinheitlichenden Aspekten der *Mannigfaltigkeit* und denen, das Differenzierende, das Unterschiedliche, akzentuierenden der *Diversität*.

Bei dieser Beschreibung sind den „natürlichen Sprachen" –in praxi gut nachvollziehbar – leider objektiv enge Grenzen gesetzt.

Die *Komplexität* – der stets interagierenden, u.U. kooperierenden, autonomen oder vernetzten Systeme bzw. Objekte – soll mit ihren sie immerhin *skizzierenden Merkmalen Dimensionalität*, *Systemdynamik* sowie *Mannigfaltigkeit* (im Sinn der dialektischen Synthese von Vielfältigkeit und Verschiedenheit), umschrieben werden.

Jede dieser drei *Multifunktionalitäten* weist variable potenzielle und faktische (aktuelle) *Intensitäten* u.U. mit *Operationalisierungen,* wie Ausmaßen, Ausdehnungen, Ausprägungen, Abstufungen, Graduierungen etc. auf. Sie schließen - auf fortgeschrittenem Erkenntnisniveau skalierte - *Polaritäten* mit Polen, Gegenpolen und gebrochenen (doppelten,neutralen) Mitten sowie charakteristischen Differenzierungs-, Integrationsebenen und –niveaus ein. Derartige Indikatoren kennzeichnen und bemessen den Komplexitätsgrad, die Kompliziertheit und Kooperativität der Systeme.

Die einzuordnenden, einzelnen komplexen Systeme bzw. Objekte, können in einem prinzipiell *metrisierbaren* „Bedingungs-, Anschauungs- und Gestaltungsraum" – in einer Topologie der Komplexität – repräsentiert werden (vgl. Fleischer 2010).

3. Die Komplexität der Technologie

Die Technologie ist ein hoch komplexes wissenschaftliches, technisches und gesellschaftliches Phänomen.

Ihre Komplexität muss unter zwei – sich wechselseitig bedingenden – Aspekten erfasst und beherrscht werden: der *inneren Komplexität* der Strukturen der jeweiligen realen Systeme bzw. Objekte und der Theorienmodule, aber auch des gesamten Theoriengebäudes sowie der *äußeren Komplexität* der physikalischen, chemischen, biotischen, technischen, technologischen und gesellschaftlichen *Rand- bzw. Umgebungsbedingungen*.

Die Komplexität der inneren Strukturen wird mit theoretischen Konzepten erschlossen oder vorwiegend empirisch beschrieben und optimiert.

Der *Oberbegriff Technologie* subsumiert nach meinem Verständnis generell

> das erfahrungsgestützte oder/und theoretisch begründete Gestalten und Beherrschen zielgerichteter menschlicher Handlungen,

bzw., weiter aufgelöst und damit präzisiert,

> das intensionale und finale Zusammenwirken des Menschen mit technischen Artefakten oder operationalen Agentia (Arbeitsmitteln, AM) aller Art zur effektiv gestalteten und effizient zu vollziehenden Einflussnahme auf Stoffe (Materialien), Energien und Informationen sowie andere zu verändernde Entitäten (Arbeitsgegenstände, AG)

Mit dem Oberbegriff sind Bewusstseinstechnologien, Kognitionstechnologie etc. als Ziel und Mittel eingeschlossen.

Zur Grobstruktur der Technologie und *deren produkt- und prozessorientierten Klassen* gehören die Akteure (ggf. Arbeitskräfte AK) mit ihrer Bildung, ihrem Bewusstsein, ihren Motivationen, Intensionen und Interessen, die artefaktischen und operationalen Arbeitsmittel (AM) und die Arbeitsgegenstände (AG). Sie fügen sich ebenfalls in ein kontinuierliches Spektrum der Komplexitätsgrade ein.

Den *Kern*, der den wahrhaftigen Fortschritt der gegenständlichen Produktivkräfte trägt, bilden freilich die flexiblen *Produktionssysteme* und demgemäß die *Produktionstechnologien.*

Die begriffliche Dualität der *Produktionstechnologie* umfasst, analog zu den Technologien im umfassenderen Sinn, einerseits komplexe *produktionspraktische Prozesssysteme* und andererseits die damit korrelierten, empirischen sowie *theoretischen Wissenssysteme,* d.h. die theoretischen Maßstäben zum Erkunden, Erklären und Beherrschen spezifischer Seiten des Objektiv-Realen.

Gegenstand des Prozesssystems ist die produkt- und/oder prozessbezogene Art und Weise, mit der Menschen die Gegenstände ihrer Arbeit (Stoffe, Energien, Informationen) mit Hilfe bestimmter Wirkprinzipien und eigens dafür geschaffener Arbeitsmittel (technischer Artefakte, wie Werkzeuge, Maschinen, Apparate, Anlagen und operationelle Stoffe, Energien und Informationen) unter Nutzung bestimmter Kooperations- und Organisationsformen zielgerichtet, effizient und effektiv verändern.

Umfangreiche und spezifizierbare Gruppen technologischer Operationen dienen der *Ortsveränderung*, der, lediglich die Quantitäten innerhalb einer

Qualität der Arbeitsgegenstände betreffenden, *Parameteränderung* (einschließlich der geometrischen Form) und/oder der *qualitativen Wandlung innerer Strukturen* – der Konversion von Stoffen, Energien und Informationen.

4. Die Rolle der äußeren Struktur- und Funktionsbedingungen der Technologien

Der herausragende gesellschaftliche Stellenwert der Technologie ist unbestritten.

Er erklärt sich aus systemischen Entwicklungen, deren Bedingungen und wechselseitigen, hoch dimensionalen sachlichen, zeitlichen und räumlichen Abhängigkeiten.

Die Innovationen, die heute überwiegend aus einer Vielzahl von Resultaten verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen hervorgehen, äußern sich primär in der Art, Menge, Qualität und den Kosten der Erzeugnisse, in der manifesten Produktionstechnik, der integrierenden Produktionstechnologie und den ökologischen Konditionen.

Technologische Innovationen unterliegen der wissenschaftlichen und einer systemtypischen wirtschaftlichen Logik. Sie sind dominant interessengeleitet, aber auch institutionell überformt und daher nur als sozial strukturierter Prozesse zu verstehen. Das gilt für die Veränderungen der technologischen Produktionsweise selbst und die Modalitäten, unter denen sie sich vollziehen.

Technologien bergen objektiv in einer breit skalierten Widersprüchlichkeit *intendierte und nicht intendierte Resultate/Folgen*, also Chancen, Gefahren und Möglichkeiten des Missbrauchs.

Als Metapher für diese Zwiespältigkeit steht der altrömische Gott Janus. Der Zwiegesichtige verweist in dieser, ihm zusätzlich auferlegten Rolle auf gegensätzliche Ziele und Entwicklungen.

Mit den *gesellschaftlichen Determinanten* und *signifikanten Umsetzungsbedingungen* werden bei der *Entwicklung und Nutzung von Technologien* – neben ihrem inneren Wirkgefüge, das, wie bereits ausgeführt, wesensgemäß Ambivalenzen einschließt – ganz bewusst *verabsolutierte Eigeninteressen*, *Intensionen* der jeweils *gruppenspezifischen*, *endogenen Ethik* sowie *inkompatible* (bis diametrale) *Wertvorstellungen implementiert* und *Präferenzen* realisiert.

Sie können ebenfalls typische *Widersprüche* – bis zum bewussten und vielfältigen *Missbrauch* – bewirken.

In diesem Kontext ist festzuhalten, dass das, was wissenschaftlich und technisch trägt oder sogar prägt, nicht zwangsläufig von Sinn gebenden und ethisch konstruktiven Werten, von einem *moralischen Grundkonsens* und dem *humanistischen Menschenbild* getragen ist und begleitet wird.

Das menschliche Sozialverhalten resultiert generell aus der Natur und der Kultur (mit der Technik als einem ihrer prägendsten Elemente). Sie werden bei der Deutung des real *bio-psycho-sozialen Verhalten* des Menschen leider nicht selten wechselseitig ignoriert oder sogar als unvereinbare Gegensätze apostrophiert, obwohl leistungsfähige evolutionstheoretische Modelle die wechselseitigen Bedingtheiten und Bestimmtheiten verifiziert haben.

Auch die leitende und lenkende *Vernunft* ist ein dynamisiertes Produkt der unaufhörlichen evolutionären Anpassung des Menschen an die objektive Realität mit all ihren interagierenden Teilbereichen. Sie ist insbesondere die Folge des *Informationswechsels*, der, wie der Form- und Stoffwechsel, die *Organismus-Umwelt-Interaktionen* bestimmt.

Beim Informationswechsel bewirken induzierende informationelle Inputs (incoming informations in Form von Daten und Nachrichten) eine koordinative, adaptive und reaktive Neuorganisation des interagierenden komplexen Systems/Organismus. Diese Äquilibration beeinflusst das Verhalten von Elementen des Organismus oder ihn als Ganzheit.

Für das *menschliche Denken* bedeutet Äquilibration insbesondere Anpassung an neue Wahrnehmungsschemata, die Entwicklung der intellektuellen Disposition zur Problemlösung, die Ausbildung neuer Denkstrukturen, das Erarbeiten erweiterter und vertiefter Erkenntnisse mit daraus resultierenden Verhaltensweisen: bedingungsangepassten Haltungen und kompetenten Handlungsmustern.

Unter *Verhalten* seien die von außen beobachtbaren Ein- und Umstellungen des Organismus/Systems sowie die sie verursachenden Bewegungen subsumiert. Es kann nach mehrheitsfähigen verhaltenswissenschaftlichen Auffassungen *orientierend, motivierend und final realisierend* sein.

Aus der kommunikativen Umwelt empfängt der Organismus Informationen mit dem Charakter von Nachrichten, die bereits vom „Sender“ mit Bedeutungen belegt sind. Die „nichtkommunikative Umwelt“ transferiert Informationen (mit dem Charakter von Daten), die der Organismus erst mit Bedeutungen (für sich ggf. auch für andere) belegt. Daneben gibt es direkte Reflexe des Organismus auf strukturell-funktionelle Informationen aus seiner unmittelbarsten Eigenumwelt (vgl. Tembrock 1981, S. 67ff.).

Im widersprüchlichen Geflecht von Chancen, Herausforderungen und Bedrohungen, gilt es, die Chancen zu erkennen, positiv zu selektieren und zu entfalten sowie die *Ursachen* zu *differenzieren.*

Der *Missbrauch* repräsentiert eine Gruppe *bewusst herbeigeführter* – aus der Sicht gesellschaftlicher Majoritäten – negativer Auswirkungen. Sie *resultieren nicht zwingend aus dem Wesen*, aus der innerer Komplexität der Technologien, ihrem Werden und Gewordensein, in dem sich tatsächlich die Umgebung der Vergangenheit als „genetische" Mitgift oder Bürde manifestiert, *sondern aus der direkten zweckbestimmten und zielgerichteten (intentionalen, finalen) Einflussnahme über die äußere Komplexität der* aktualen *Umgebung*.

Dazu gehören als Akteure vor allem *Subjekte*, wie Interessengruppen der jeweiligen Gemeinschaft oder Gesellschaft mit ihrer spezifischen „Wertewelt". *Werte* zählen als externe Faktoren zu den wenigen *systemsteuernden und regelnden Ordnungsparametern*.

Werner Ebeling verdanken wir – im Kontext mit der Konkurrenz und dem Wert als bestimmenden Faktoren der Selbstorganisation und Evolution komplexer Systeme – die Hinweise, dass *erstens* komplexe Systeme in der Regel nur wenige Ordnungsparameter (Maße der Ordnung) haben, an denen eine Steuerung ansetzen kann, und *zweitens*, dass zum „Versuch einer Steuerung gesellschaftlicher Prozesse möglichst einfache Mechanismen verwendet werden sollten, um nicht riskante Instabilitäten auszulösen" (Ebeling 2008, S. 10).

Bezogen auf das Denken und menschliche Handeln heißt das, humanistische Werte als exogene, unabhängige Variable, als Regressoren, aufzurufen, die entweder verpflichtend axiomatisch vorgegeben oder von der mehrheitsfähigen, d.h. umfassenderen, als einer gruppenspezifischen (endogenen) Ethik bzw. den partikulären moralischen Vorstellungen determiniert werden. In kompaktester Prägung sind humanistische Werte nach Herbert Hörz das Wohlergehen und die Sicherheit der Menschen (vgl. Hörz 2002, S. 54).

Im Gegensatz zum objektivierenden *wissenschaftlichen Urteil*, sind *Werturteile* interessengeleitete Objekt-Subjekt-Relationen, deren Subjektivität als Extremum nicht selten dem philosophischen Standpunkt des Pragmatismus frönt, für den das wahr ist, was bedürfnisorientiert dem urteilenden Subjekt nutzt.

Einzufordern ist hingegen der demokratische Modus, dass jene die Dinge entscheiden, die am meisten und Nachhaltigsten davon betroffen sind oder werden.

> „Als *Fehler* bezeichnet ein *Subjekt* angesichts einer Alternative jene Variante, die von ihm – bezogen auf einen damit korrelierenden Kontext und ein spezifisches Interesse – als so ungünstig beurteilt wird, dass sie unerwünscht erscheint“ (Weingardt 2004, S. 234).

Fehler sind kontextuell – also auch hermeneutisch und damit der Subjektivität, der Voreingenommenheit, u.U. der *entstellenden Einseitigkeit*, der *Parteilichkeit,* unterworfene – deplacierte, *inadäquate*, unerwünschte Wahlmöglichkeiten, nicht erfüllte Forderungen.

Im Falle des *Irrtums* sind die Subjekte (d.h. die Individuen, Gruppen, Klassen, Gemeinschaften etc.) von der *Wahrheit ihrer kontextuell falschen Annahmen*, Behauptungen, Schlüsse, Meinungen, Glaubensmaximen, …) außerdem *überzeugt*.

Diese Konstellation unterscheidet die Fehler und Errata und hebt die Kategorie Widersprüche hervor.

Der dialektische Widerspruch vereint bekanntermaßen die Koexistenz und Wechselwirkung zweier Gegensätze im Verhältnis der Einheit und des Widerstreits, des Kampfes, als Ursache der Bewegung/Veränderung. Dialektische Widersprüche finden wir real in Dingen und Erscheinungen und in der Sphäre des Denkens in gedanklichen Verknüpfungen. Alles Wesentliche und Bleibende wird bei den Veränderung im Sinne des Gesetzes der Negation der Negation und der Dialektik des Wortes *„aufheben“,* aufbewahrt (konserviert), trotzdem beseitigt (aufgegeben) und überdies unter den obwaltenden Bedingungen in einem Möglichkeitsfeld weiterentwickelt (auf eine höhere emergente Stufe gehoben).

Möglichkeiten bestehen also aus *objektiv wirkenden Gesetzen* und *objektiv existierenden (äußeren und inneren) Bedingungen.*

Das Ausmaß, der Umfang, in dem die objektiven Gesetze der Natur, der Gesellschaft, des Denkens, der Technik und anderer Cluster objektiver Realitäten über Bedingungen verwirklicht sind oder werden, determiniert die Einordnung in die qualitative Skala der *abstrakten* und *konkreten Möglichkeiten* und damit der qualitativen Entwicklungsstadien.

Reale (konkrete) *Möglichkeiten* und die *Wirklichkeit* eines Objekts/Zustandes/Ereignisses (in ihrer dialektischen Einheit von Möglichkeit und Notwendigkeit) sind in der *Realdialektik* der *Entfaltung der Wirklichkeit zwei quantitativ verschiedene Entwicklungsstadien dieser Entitäten* – des objektiv Realen. Dessen Daseinsweise ist damit übereinstimmend die Entwicklung.

Eine *Quintessenz* lautet: *Unsichere und fehlerbehaftete Folgen von Handlungen* der Subjekte und/oder Ereignissen resultieren in der Regel aus be-

grenztem Wissen und Zufällen, wobei die *Komplexität*, *Nichtlinearität und Asymmetrie* der *Prozesse* dafür entscheidende Ursachen offenbaren.

Die *stochastischen Gesetze*, denen Veränderungen aller Art, insbesondere die Entwicklung- der *Arbeitsgegenstände* in ihren vernetzten materiellen (stofflichen, energetischen und informationellen) Aspekten, unterliegen, führen zu zwar minimierbaren, aber nicht generell vermeidbaren *Unsicherheiten, Restrisiken und Gefährdungen*.

Objektive Zufälle und Ambivalenzen gehören untrennbar zum Wesen solcher Systeme und lassen sich als Attribute der Technik und der technologischen Entwicklung nicht prinzipiell eliminieren. Vielmehr gilt es, derart skalierte, graduierte Widersprüche auch für Technologien denkend zu erfassen, dialektisch zu begreifen, die Chancen zu entwickeln und aktual oder potenziell negative Folgen – im Sinne von tollere, expedire, conservare und elevare – aufzuheben.

5. Exemplarisches aus den Lebensmittel- und Biotechnologien

Zu den *bedeutendsten und auffällig ambivalenten stoffwandelnden Technologien* gehören die *Lebensmittel- und Biotechnologien*. Deshalb sind sie hinsichtlich der konkreten Einzelbelege in dem Beitrag exponiert.

Grundsätzlich sei jedoch zunächst *dreierlei angemerkt*:

- Die Herausbildung und Integration grundlagenorientierter Elemente der – zunehmend interagierenden, in bestimmten Teilen sogar konvergierenden – *Bio- und Lebensmitteltechnologien* konsolidieren, wie erwartet und gezielt zu fördern, neue Qualitäten.
- Die *Bio-* und *Lebensmittelmaterialwissenschaften* erschließen außerordentlich bedeutsame wissenschaftliche und praxisrelevante *Potenziale* für die *Ernährung und die Gesundheit,* die in Speisen sowie Getränken und für Pharmaka genutzt werden.

  Für beide hoch komplexen Stoffklassen gehören die Aufklärung und bewusste Nutzung der Zusammenhänge von Struktur-/Zustandsänderungen der Substrate im Kontext mit der Änderung funktioneller Eigenschaften in Verarbeitungs- und Applikationsprozessen, eingeschlossen vorgelagerte Wachstums-, Ernte- und Lagerungsprozesse, dazu. Daraus begründet sich übrigens die materialwissenschaftlich erklärte Bezeichnung *Lebensmittelfunktionalität*.

  Lebensmittelrelevante funktionelle Eigenschaftsgruppen/-klassen, die ausdrücklich die *metabolisch energetischen* Aspekte ausschließen, sind z.B. das Bindungsvermögen für Wasser, Fett und Aromen, die Strukturie-

rungsneigungen zu Emulsionen, Suspensionen, Gelen, Plaques, Filmen, Schäumen und deren Stabilität sowie emergente Eigenschaften dieser dispersen Systeme.

Solche über die physikalischen, chemischen und biochemischen Eigenschaften hinausgehenden, aus *der kombinatorischen Vielfalt der Strukturelemente resultierenden Charakteristika der Lebensmittel* werden primär von den *energetisch determinierten Wechselwirkungen* der Partikel bzw. Polymere (insbesondere der Proteine und Polysaccharide sowie deren Komposite) untereinander und mit den umgebenden Stoffen geprägt. Die Strukturierung der Komponenten selbst, vollzieht sich über verschiedene Bindungsarten und wird häufig von der Bildung unterschiedlicher Wasserassoziate flankiert.

Einige Eigenschaften disperser Stoffsysteme – darunter der food hydrocolloids – werden erwiesenermaßen (vgl. z.B. Tolstoguzov 2003) weit stärker von den Wechselwirkungen zwischen den Komponenten als von den individuellen stofflichen Eigenschaften der Interaktanten beeinflusst. Zahlreiche dieser Moleküle und Molekülverbünde zeigen Bioaktivitäten mit einem breiten Wirkungsspektrum. Sie fungieren z.B. als Rezeptoren, Promotoren, Inhibitoren, aber auch als biochemische Katalysatoren bzw. Regulatoren auf molekularer Ebene. Das zeichnet sie in besonderer Weise aus.

Jede Dynamik, d.h. die zeitliche Änderung eines Zustandes unter bestimmten Bedingungen, hat zudem ihre Ursache in derartigen internen und externen Interaktionen zwischen Systemkomponenten, aber auch in Aktoren und Akteuren, die selbst Systeme repräsentieren können.

- Mit den wissenschaftlich-technischen und gesellschaftlichen Determinanten sowie den bereits existierenden Umsetzungsbedingungen, werden bei der Entwicklung und Nutzung von *Lebensmittel- und Biotechnologien* neben Unwissenheit, Ungewissheit und Zufällen vom Menschen *über ökologische, soziale, ethische und andere humane Kriterien auch Ziel- und Wertvorstellungen implementiert*, u.U. Präferenzen realisiert, die typische Ambivalenzen in der Wirkungsgeschichte auslösen und den bewussten Missbrauch bewirken können. Das unterscheidet sie grundsätzlich von der eingeforderten technischen Sicherheit. Sie kann, realistisch betrachtet, nur als „begrenztes Risiko“ definiert/gedeutet werden.

Zu dem *exemplarisch* aus den *Bio- und Lebensmitteltechnologien* Vorzustellenden gehören in erster Linie das *genetic engineering*: Die *Genmanipulation* ist, wegen ihrer gravierenden Eingriffe, das avantgardistischste und demge-

mäß umstrittenste Instrumentarium innerhalb der modernen Biotechnologien. Mit deren *Applikationsbreite* entfalten sich außerdem die eher verwirrenden „Farbspiele" um die weiße, grüne, rote, graue, blaue und braune Biotechnologie. Die *Patentierung genetischen Materials*: von genetisch veränderten Tieren und Pflanzen, Saatgut, aber auch von *Wirkstoffisolaten* aus dem Pflanzenpool der Welt wird von den vermutlich oder tatsächlich Geschädigten beanstandet und als *Biopiraterie* gebrandmarkt.

Zu erörtern wären – unter den Aspekten der Chancen, Risiken und des Missbrauchs – im Einzelnen ebenso die

- *scharfen Konfliktlinien und Brüche, die* sich bei der *kompetitiven stofflichen und/oder energetischen Nutzung von Biomassen* (als nachwachsenden Rohstoffen sowie Trägern metabolisch und technisch verwertbarer Energie) in den verschiedensten Stoff und Energie wandelnden Technologien ergeben.
- *Spannungsfelder* bezüglich der Technologien zur Sicherung der unverzichtbaren und umfassenden Lebensmittelqualität.
- *Widersprüche* beim Einsatz von Lebensmittel-Zusatzstoffen (316, teils sehr umstrittene Zusatzstoffe [E's] mit unterschiedlicher Wirkspezifik wurden bereits in der EU genehmigt, weitere beantragt. Allein für Brot, Brötchen und Feinbackwaren sind konventionell 199 Zusatzstoffe zugelassen. Selbst die Öko-Verordnung gestattet in dieser Warengruppe den Einsatz von 36 Zusatzstoffen).
- *Divergenzen* bei der *Produktakzeptanz,* hauptsächlich beim product engineering, dem Design und dem Testen *funktioneller Lebensmittel,* die einen zusätzlichen gesundheitlichen Nutzen aufweisen, zudem lebensmitteltypische Darreichungsformen haben sollen.
- *Probleme* hinsichtlich der *Konzentrierung* von *health ingredients.*
- *kontroverse Auffassungen* bezüglich der *Integration bioaktiver Inhaltsstoffe* in neuartige Lebensmittel (*novel food)* bzw. mit gesundheitsrelevanten Komponenten angereicherten *Nahrungs-Ergänzungsmitteln,* beim Einsatz sekundärer Metabolite und Enzyme in *designer food*, darunter Lebensmittelaliuds.

Den Stellenwert und das gesellschaftliche Gewicht solcher Aufgaben und Probleme verdeutlicht der *grundlegende Tatbestand*: Die *Ernährung* ist *die elementare Voraussetzung* für die Lebenserhaltung und die Gesundheit jedes biotischen Systems. *Ernäherung* bedeutet *geregelte Zufuhr* von *Lebens- bzw. Futtermitteln* oder Nährstoffen in geeigneter *Art, Form, Zusammensetzung und Menge*, d.h. die Aufnahme mehrkomponentiger Stoffe, die der Organis-

mus in „ausgewogenen“ (vom Lebensalter und den Lebensumständen abhängigen) Mengenverhältnissen zum Aufbau und Erhalt seiner Strukturen sowie seiner (Lebens)funktionen benötigt.

Eine hilfreiche Übersicht über die komplexen Funktions-Struktur-Relationen der Stoffgruppen, die vorwiegend den stofflichen und energetischen Enährungsbedürfnissen der Menschen dienen, bietet das Schema in Abbildung 1.

Funktionelle Charakterisierung	**Strukturelle Charakterisierung**
Energiespender	Kohlenhydrate, Fette, (Eiweiße)
Aufbaustoffe	Eiweiße, Mineralstoffe, (Fette)
Reglerstoffe, grob	Ballaststoffe: Cellulosen, Hemicellulosen, Pektine, resistente Stärken u. a.
Reglerstoffe, fein	Vitamine, Enzyme, Spurenelemente, Gewürze, Aromastoffe (Psychoregler)
Genussmittel	Kaffee, Tee, Alkohol, Gewürze u. a.
Zusatzstoffe	natürliche, naturidentische oder synthetische Stoffe: Konservierungs-, Dickungs-Überzugsmittel, Farbstoffe, Enzyme, Emulgatoren, Antioxidantien

Abbildung 1: Funktionelle und strukturelle Charakterisierung von Nahrungsinhaltstoffen
Quelle: modifiziert nach Westphal et al. 1991, S. 9

Beschränken wir uns bei der phänomenologischen „Diagnose“ im Weiteren auf die *menschliche Ernährung* und damit die *Lebensmittel.*

Die *industrielle Produktion von Lebensmitteln* international operierender Konzerne kann, trotz der objektiv gebotenen besonderen Sicherheits- und Qualitätskriterien, schon heute kaum noch von der anderer industrieller Produkte unterschieden werden. Lebensmittel verlieren mehr und mehr ihre zu Recht eingeforderten, weil objektiv unentbehrlichen Alleinstellungsmerkmale.

Industriell prozessierte Lebensmittel, deren Geschmack, Textur und Convenience-Charakter lediglich variiert oder aber weitergehend verändert ist, dominieren die Märkte mit volatilen, allerdings tendenziell steigenden Preisen. Unter den Keywords *Nahrungsmittel, Geschmacksmaskierung, Aktivstoffe, Stabilisierung* suchte beispielweise ein deutsches Unternehmen Partner mit der nachfolgenden Begründung:

Die stetig steigende Zahl an Nahrungsergänzungsmitteln und Zusatzstoffen stellt die Nahrungsmittelindustrie vor wachsende Herausforderungen, neue Technologien zur Geschmacksmaskierung und/oder Stabilisierung von Aktivstoffen zu entwickeln. Beispiele in der Lebensmittelindustrie sind die (Mikro-/Nano-)Verkapselung unterschiedlichster Geschmacksstoffe, die Stabilisierung hydro- und/oder lipophiler Aktivstoffe sowie die gleichzeitige Solubilisierung lipophiler Aktivstoffe.

Die Annonce bedarf keiner weiteren Interpretation. Das absolut dominierende technologische Ziel ist unumwunden angesprochen.

Handlungsleitende *Ziel-Mittel-Relationen* müssten sich indessen aus den folgenden Charakteristika ableiten, begründen und nach dazu adäquaten Kriterien kontrollieren lassen.

Bei *Lebensmitteln* handelt es sich um *essenzielle biotische Produkte* pflanzlichen und tierischen Ursprungs mit bestimmten unikalen Charakteristika, ausschlaggebenden *„sensiblen" und wesentlichen Anforderungsprofilen*.

- *Lebensmittel* sind polyfunktionelle Stoffe und Stoffgemische (mehr- bis multikomponentige, meist mehrphasige disperse Systeme) pflanzlichen und tierischen Ursprungs zur Befriedigung von *Nahrungs- und Genussbedürfnissen*, die – in der Diktion des Lebensmittelgesetzes – in unverändertem, zubereitetem, be- oder verarbeitetem Zustand vom Menschen gegessen, getrunken oder auf andere Weise aufgenommen werden.
- *Lebensmittelinhaltsstoffe fungieren* als Nahrungsmittel, Genussmittel, Reglerstoffe und Zusatzstoffe.(siehe funktionelle und strukturelle Charakterisierung von Nahrungsinhaltsstoffen).
- *Nahrungsmittel sichern* das Wachstum, die Erhaltung und Funktionstüchtigkeit des menschlichen Organismus (einschließlich seines Immunsystems) – befriedigen vorwiegend die stofflichen und energetischen Ernährungsbedürfnisse.
- *Genussmittel stimulieren* die Sekretion, das Nervensystem, insbesondere die Sinnesorgane.

Die Ernährungsphysiologie, die Sensorik und die Lebensmittelhygiene determinieren maßgeblich die nachhaltig zu schützende *Lebensmittelqualität*.

Damit sind in der gebotenen Kürze *objektive Gegebenheiten* und *unabweisliche Notwendigkeiten* dokumentiert.

Schlaglichter und Analysen zeigen aber andererseits: Die *Lebensmittelproduktion und der Lebensmittelhandel* unterliegen – ohne nennenswerte positiv flankierende Maßnahmen – allen Konditionen und Widersprüchen der Weltwirtschaft. Die globale Finanzwirtschaft (Finanz*industrie*) ordiniert

auch über diesen Teil der Realwirtschaft eine „obskure Macht". Verabsolutierte und diametrale *Interessen* von *Wirtschaft*, *Politik und Öffentlichkeit* (der Gesamtheit aller Umstände, die für das Formieren der öffentlichen Meinung wichtig sind) sowie inkompatible, egozentrische „Logiken" führen zu bitteren *Konfliktlinien* und *Bruchstellen*.

Ein symptomatischer *Missbrauchsvorwurf* richtet sich darauf, dass trotz des in der Welt weit verbreiteten Hungers selbst *(Grund-)Nahrungsmittel* als ein bevorzugtes *Spekulationsobjekt* an Rohstoffbörsen fungieren:

- Verabsolutierte *Preis-Profit-Mechanismen* und intensivierte Verteilungskämpfe verschärfen gegenwärtig die Problemlösungs-Situation in den wechselwirkenden Feldern exorbitant.
- Die profitorientierte *Ökonomie* fungiert noch immer als „Scharfrichter" im Ensemble der *Entscheidungskriterien.*
- *Nachhaltigkeit*, die mehr sein will als eine Kategorie, die sich allein oder primär mit den Kriterien der Ressourcenökonomie erfassen und bewerten lässt, also per definitionem *wesentliche Kriterien der Ethik erfüllen muss,* spielt eine nachrangige Rolle.

Grundsätzliche Fragen hinsichtlich der *Wertmaßstäbe und Bewertungen* solcher *komplexer, multikriterieller Prozesse*, der Konkurrenzen und Selektionen sowie resultierender Entwicklungs-Prioritäten, ambivalenter Szenarien und *adaptierter* Pfade müssen ständig neu beantwortet werden. Sie sind offen und schwierig, weil auch diese (polaren bis antagonistischen) *Prozesse komplex, asymmetrisch und nicht linear* verlaufen.

Der *Anteil industriell prozessierter*, dabei erheblich veränderter, nicht selten dennoch nur flüchtig getesteter und/oder unzureichend gekennzeichneter *Lebensmittel* wächst in der *„globalisierten Speisekammer"* ständig.

Zu den auffälligen, unten ausführlicher diskutieren Beispielen gehören die umstrittenen, im Handel und der Gastronomie vertriebenen bzw. verdeckt eingesetzten „Lebensmittelaliuds", vorrangig enzymatisch „geklebte" Fleisch-, Wurst- und Fischwaren.

Einige dieser Entwicklungstendenzen nähren bewusst und unbewusst wirkende Ängste. Versuche und Versprechen, diese *Ängste* aufzufangen und abzubauen, sehen sich selten dem einzig konsequenten Weg verpflichtet, dem der rationalen Aufklärung.

Grundsätzlich zu fordern sind: humane, *ressourcenschonende Technologien*, die *faktische Produktverantwortung* insbesondere für alle, von Menschen konsumierten Substrate, wie Nahrungs-, Genuss- und Arzneimittel, sowie ein *Transparenz-Gebot* für die Lebensmittelindustrie und die *umfas-*

sende Lebensmittelsicherheit nach international verbindlichen, vergleichbaren und kontrollierbaren Standards. Das Nichteinhalten vorgeschriebener technologischer Parameter war bekanntlich die Ursache der verhängnisvollen Verbreitung von BSE.

Unbegrenzt und unerschöpflich reihen sich die historischen und aktuellen Beweise dafür, dass Technologien jedes Typus und jeder Genesis keineswegs nur jene Wirkungen hervorbringen und die Ergebnisse zeitigen, die die *Technologieschöpfer* kreieren sowie projektieren und die die *Technologiebegleiter* – durchaus auch evolutiv – ausführen.

Diese Tatbestände müssen nicht ausgiebig illustriert, wohl aber in ihrer Ursächlichkeit erkundet und aufgeklärt werden. Die anschließenden lebensmittel- und biotechnologischen Beispiele wollen dazu beitragen.

5.1 Revolutionierende genetische Veränderungen und Programmierungen

Mit der strukturellen *Entwicklung der DNA-Doppelhelix* – übrigens ohne eigene Realexperimente, allein im „intelligenten Spiel" von James Crick und Francis Watson mit Molekülmodellen und Röntgenbeugungsbildern im Jahr 1953 – ist ein überragendes Beispiel für die revolutionierende Kraft der Wissenschaft und ein Netzwerk ambivalenter Folgen gegeben.

Die Desoxyribonukleinsäure-Helices aus interagierenden mehrfädigen Makromolekülen mit den nach innen gerichteten, die Hauptstränge über Wasserstoffbrücken bindenden paarigen Nucleobasen Adenin,Thymin, Guanin und Cytosin, bilden – wie wir heute wissen – über die „Emergenzebene" der Nucleotide (aus jeweils einer Phosphorsäure, Desoxypentose und Pyrimidin- bzw. Purinbasen in charakteristischen N-glykosidischen bzw. Ester-Bindungen) bestimmende *Strukturelemente der Gene*. Die Helices und deren Substruktur verhelfen zu entscheidenden Einblicken in die Funktion der Gene als Informations-Speicher (genetischer Code) und Quelle replizierbarer genetischer Strukturen.

Die nachfolgenden und anhaltenden Entwicklungen im sogenannten *„molekulargenetischen Zeitalter"* fundierten die Erkenntnisse zum Lebenden und Leben, brachten einzigartige innovative Verfahren und chancenreiche Technologien der radikalsten Informations- und Stoffwandlung hervor, weckten Begeisterung für das Faszinosum des Erkennens und Gestaltens, *potenzierten* dabei *Hoffnungen und nährten Ängste*, eröffneten logischerweise grundsätzliche Dispute zum prinzipiell Gestaltbaren, Erstrebenswerten, Gewollten und Tolerierbaren.

Zu den unabweisbaren Realitäten gehören offenbar affektive, voluntäre und intellektuelle Ambivalenzen und Diskurse zu Risiken.

Die Genmanipulation, das genetic engineering, ist – selbst wenn, wie hier, die Humangenetik ausdrücklich ausgeklammert wird – wegen der gravierenden Eingriffe, das avantgardistischste und demgemäß umstrittenste Instrumentarium innerhalb der modernen Biotechnologien. Mit deren Applikationsbreite entfalten sich auch die vielmehr verwirrenden als aufklärenden „Farbspiele" um die *weiße, grüne, rote, graue, blaue und braune Biotechnologie.*

Ein Gutteil der vermuteten und tatsächlichen Risiken der *grünen Biotechnologie* resultiert aus den faktischen Unbestimmtheiten. Dennoch stellt sich grundsätzlich die Frage nach abzuwendenden Gefahren und den unschätzbaren Vorteilen der Gentechnik für eine zukunftsfähige Landwirtschaft. Dabei ist z.B. an *genetische Modifikationen* gedacht, die ertragreicher und nutzungsfähiger sind, Resistenzen gegen Schädlinge aufweisen, mit weniger Wasser auskommen oder Frost und Wassermangel in bestimmten Grenzen tolerieren. Immer vorausgesetzt, dass davon keine neuen Gefährdungen ausgehen.

Noch grundsätzlicher sind die bewusst „gestaltenden Eingriffe" der sich gerade herausbildenden, erkenntnisfördernden und anwendungsorientierten *Synthesebiologie*. Ihre Akteure erforschen und nutzen das Erbgut der Zellen, um austauschbare und kombinierbare, standardisierte DNA-Module (*biobricks*) zu designen, die fundamentale biotische Funktionen codieren, um neue Proteine eigenschaftsorientiert zu „konstruieren" und zu synthetisieren oder um existente Proteine für neue Anwendungen zu modifizieren, zu funktionalisieren, selbst Schaltkreise aus biomolekularen Bausteinen und Genen zu kreieren, Lebewesen zu „programmieren" oder gar synthetisches Leben zu erschaffen. Im Jahr 2010 gab der amerikanische Biochemiker/Genetiker Craig Venter bekannt, dass er das natürliche Genom einer Zelle vollständig synthetisch substituiert habe. „Genetiker erschaffen Kunst-Lebewesen", schrieb die Welt am Sonntag vom 23.05.2010 und bewertete dieses Faktum unter der Überschrift „Wir sind Gott!" als „Jahrtausendsensation". Waren das Honneurs an das Pfingstfest?

Solche Resultate und Ziele führen aber auch zu seriöseren Wertungen und Fragestellungen darunter, warum und wie selbst die „life-science" zur Technikwissenschaft mutiert.

Das inter- und transdisziplinäre *Engineering* hat die Ambition „to *design* and *build structures*, machines, devices, systems, materials and *processes* that

safely realize improvements to the lives of people“[1] und wendet dafür alle nutzbaren praktischen und wissenschaftlichen Erkenntnisse an. Das genetic engineering und die Synthesebiologie bewegen sich auf diesen Pfaden.

5.2 Effektive Nutzung agrarischer Biomassen – Kontroversen und Antagonismen

Agrarische Biomassen können als *Lebens- und Futtermittel* der *Ernährung*, der *stofflichen Nutznießung* im Non-Food-Bereich oder der *energetischen Verwertung* als Brennstoffe und Treibstoffe zugeführt werden.

Daraus resultiert ein internationales, ja, globales Dilemma: die ungelösten Prioritätskonflikte. Das Problem der prioritären Nutzung prinzipiell begrenzter Mengen und der „satisfaktionsfähigen“ Entscheidungskriterien polarisiert sich bei Kulturpflanzen, wie den Cerealien, den Ölsaaten, Zuckerrohr und Zuckerrüben.

Die volkswirtschaftlich wichtige stoffspezifische Nutzung der natürlichen Synthesehöhe und die stoffliche Konversion für den Non-Food-Bereich, die zu einer umfassenden Palette wertvoller Produkte führt, wird im interdiziplinären Diskurs der faktisch *triadischen Konkurrenz* um agrarische Biomassen m.E. absolut unzureichend reflektiert. Sachdienliche Erkenntnisse lassen sich allein schon aus dem Einsatz nativer, modifizierter und stofflich gewandelter Stärken gewinnen. Die Anhydroglucose-Struktureinheiten sind prinzipiell reich an funktionellen Gruppen. Sie bieten ein enormes Reservoir für Derevatisierungen.

Inkompatible „Eigenlogiken“ gesellschaftlicher Gruppen, verabsolutierte Eigeninteressen und bedenkenloses Gewinnstreben führen auch in diesem Fall zu Konfliktlinien, politischen, ökonomischen und wissenschaftlichen Bruchstellen von kaum prognostizierbaren Folgen.

Gegenwärtig werden weltweit größere Mengen agrarischer Produkte für die drei *konkurrierenden Einsatzfelder* gebraucht als erzeugt. Die globalen *Anbauflächen* sind zudem aus verschiedenen Gründen regressiv. *Klimaänderunge*n wirken überdies negativ verstärkend: Ernteausfälle infolge von Dürreperioden und großflächigen Überschwemmungen häufen sich.

Es bahnt sich ein *Ernährungsdrama* an: Eine Milliarde Menschen hungert, eine weitere Milliarde Menschen ist tendenziell unterernährt.

Genaue systemische und systematische Analysen sind deshalb ebenso unverzichtbar wie das Eruieren der denk- und realisierbaren Perspektiven mit

1 Engineering. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Engineering (H.d.V.; L.-G.F.).

natur-, technik-, sozial-, wirtschafts- und kulturwissenschaftlicher Expertise, die Erweiterung des funktionsstrukturierten Spektrums der Möglichkeiten (z.B. mit Szenarien) und die Installation integrativer Forschungsprojekte entlang essenzieller *stofflicher*, *energetischer* und *informationeller Prozessketten*.

Erforderlich ist die Selektion im politischen Konsens lösbarer und offener, weil hochpolarer und extrem wertebeladener, Fragen, die Offenlegung der Interessen. Es ist wichtig zu wissen, welche Werte Manifestationen welcher Interessen sind.

Angesichts der Konstellation, dass Kongruenzen und Kooperativitäten weit gehend in der Wissenschaft dominieren,während bei der Applikation ihrer Resultate Konkurrenzen überwiegen, drängen sich Fragen auf: Welche politischen, sozialen, ökonomischen, technologischen und wissenschaftlichen Optionen und Bewertungsmaßstäbe existieren prinzipiell, welche Bedingungen und Ziele haben Priorität (Stabilität des Gesamtsystems, Humanität, Effektivität, Effizienzsteigerung, Nachhaltigkeit, maximierte Gewinne, …)?

Es bleibt kein anderer akzeptabler Weg, als ein hinreichend begründetes, konsensfähiges, dynamisches Ranking nach gesamtgesellschaftlichen Entscheidungen zu bestimmen und dafür u.a. die zivilgesellschaftlichen Funktionen der Kompromisse gezielter zu nutzen.

Betroffen sind hinsichtlich der landwirtschaftlichen *Biomassen* die gesamten, mannigfaltig vernetzten *vertikalen Ketten* von der Erzeugung agrarischer Produkte über die globale industrielle *Lebensmittelproduktion, -distribution* und den *Lebensmittelhandel* mit ihren vielfältigen Prozessen der gewollten und unerwünschten Stoffwandlung unter verschiedensten lokalen, regionalen und globalen Bedingungen und deren Vernetzungen.

Überwiegend unter dem Aspekt der Konkurrenz wird in Deutschland die Primär-Produktion von Nahrungsmitteln in der *bäuerlich-ökologischen* oder *agroindustrielle Landwirtschaft* gesehen und verfolgt. Und das, obwohl in unserem Land zur bäuerlich-ökologischen Landwirtschaft lediglich ca. 350.000 Betriebe mit 850.000 Beschäftigten gehören und der Bedarf an deren Produkten offenkundig ist.

Erinnert sei vor allem aber an die, primär unter finanziellen Aspekten, wählbare, bereits konvergente „Alternative“, *Lebensmittelrohstoffe* als *Nahrungsmittel* oder *Agrotreibstoffe* einzusetzen und zudem das euphemistische Etikett „Biotreibstoff“ zu protegieren. Die Devise „Teller oder Tank“ koppelt

die Lebensmittelpreise faktisch an den Erdölpreis. D.h. außerdem, dass Energiesubventionen und Energiesteuern die Lebensmittelpreise treiben.

Selbst öffentlich-rechtliche Medien bereiteten in ihren Nachrichtensendungen im April 2011 die deutschen Verbraucher auf weitere Preiserhöhungen von mehr als 20% bei Fleisch und Fleischwaren sowie von 15% bei Milch und Milchprodukten als Folge dieser *kompetitiv antagonistischen* energetischen Ressourcennutzung vor. Nach internationalen Recherchen gehen gegenwärtig mindestens 15% der globalen Preiserhöhungen für Lebensmittel auf den Einsatz von Agroprodukten im Energiesektor zurück.

Besonders abnorm ist der Tatbestand, dass primäre *Nahrungsmittel* und prozessierte *Lebensmittel* in einem perfektionierten System an internationalen Börsen als *Spekulationsobjekt*e dienen.

Ein beredtes Beispiel: Weizen, das nach Mais am zweithäufigsten angebauteste Getreide der Welt (2008 laut FAO, Faostat, 690 Mio. t) hat für die globale menschliche Ernährung eine grundlegende und quantitativ herausgehobene Bedeutung. Begründete neuere Schätzungen gehen davon aus, dass weltweit mehr als 40% der Nahrungsmittel auf Weizen zurückgehen. Zudem wird Weizen – ebenso wie Mais – in wachsenden Mengen zur Ethanolproduktion als Treibstoffzusatz eingesetzt. Nicht zuletzt deshalb fungiert Weizen an den *Rohstoffbörsen* als ein *bevorzugtes Spekulationsobjekt*. Auch ohne echte Warenbewegung unterliegt Getreide – selbst zu Zeiten gut gefüllter Speicher – enormen, mit Derivaten zudem überproportional nachvollzogenen Preisschwankungen und hoch virulenten bis explodierenden Preisen.

Die in dieser „Marktwirtschaft" in der Regel. lediglich, virtuell „verschobenen" Mengen übersteigen absurderweise nicht selten die globalen Erntemengen um ein Mehrfaches.

Daneben hat sich u.a binnen eines Jahres der *Zuckerpreis* verdoppelt und Experten sehen weitere „Aufwärtspotenziale". Das macht Zucker zum Objekt von Preiswetten und lohnenden Investments an Rohstoffbörsen. *„Gehebelte" Versionen* verdoppeln in der Zucker-Rallye die Gewinne. Mit anderen Papieren können „Pessimisten" aber fast ebenso profitabel auf fallende Kurse setzen.

Solche „Aktivitäten" an *Derivatebörsen* und Wetten auf Preisentwicklungen verschärfen weltweit zugleich die Hungersnöte. 1% Preiserhöhung für Grundnahrungsmittel auf dem Weltmarkt erhöht die Zahl der Hungernden um 16 Mio. Die Weltbank konstatierte im April 2011, dass innerhalb eines Jahres die Lebensmittelpreise im Durchschnitt um 36% gestiegen sind.

Welches Attribut verdient eine derartige „Marktwirtschaft“ und wer verhindert die Exzesse, die überdies nicht ohne Parallelen zu anderen Anlageobjekten (oder noch zutreffender: Entitäten) obskurer Elemente der Finanzindustrie sind?

Perverse Spekulationen sind offenkundig in nahezu jeder Hinsicht „out of limits“.

5.3 Lebensmittelaliuds – Gebrauch und Missbrauch mikrobieller Transglutaminasen

Zu Recht erwarten die Verbraucher von der Lebensmittelindustrie und den Distributeuren neben gesicherten und weiter steigenden Lebensmittelqualitäten eine der Ernährung förderliche Diversifikation der Produktpalette.

Die Lebensmittelindustrie hat allerdings auch in ihrem produktbezogenem – vor allem am Gewinn orientierten – „Erfindungsreichtum“ kaum Skrupel, wie die wachsenden Mengen und die zunehmende Vielfalt im Handel und der Gastronomie vertriebener bzw. verdeckt eingesetzter Aliuds belegen.

Die Rede ist u.a. von Analog(Kunst)käse, von „geklebten“ Lachs-, Nuss- und Rohschinken, enzymtechnisch ebenso „veredelten“ Steaks, Fischwaren und anderen kostengünstigeren Imitaten und Substituten.

Dabei richten sich die kritischen Einwände nicht grundsätzlich gegen diese *„Produkte eigener Art“*, sondern primär gegen die Verbraucher-Täuschung, gegen die Tatsache zumindest der irreführenden Tarnung der Aliuds gegenüber dem Verbraucher mit traditionellen, erfahrungsgetragenen und definierten Produktnamen, gegen die fehlende Kennzeichnung der „Kunstprodukte“ selbst sowie die ausbleibende Benennung ihrer Eigenart und vorwiegend lebensmitteluntypischen Genesis.

Verletzt sind damit berechtigte Verbrauchererwartungen sowie Grundsätze der redlichen Herstellungspraxis und solider Verkehrsbezeichnungen – also wesentlicher Elemente der leider nicht rechtsverbindlichen, trotz allem maßgeblichen *Verkehrsauffassung*.

Eine Konsequenz *fehlender Rechtsnormen* demonstrierte unlängst in Verbindung mit der Finanz-Katastrophe ein „führender“ deutscher Wirtschaftsberater im öffentlich-rechtlichen Fernsehen mit der Feststellung, dass alles ethisch sei, was nicht ausdrücklich rechtsverbindlich verboten ist.

Worin bestehen die substanzbezogenen Einwände und Probleme? Das derzeit bedeutendste Beispiel für Aliuds im Lebensmittelbereich liefert der skizzierte Einsatz *mikrobieller Transglutaminasen (MTGA*), genauer: vom Bakterium *Streptomyces mobaraensis* stammender *Protein-Glutamin-Gam-*

maglutamyltransferasen. Mit diesen, den namensgebenden Transfer chemischer Gruppen und ihrer Funktionalitäten katalysierenden und demzufolge strukturierenden Enzyme können innerhalb und zwischen den Proteinen der eingesetzten Lebensmittel Quervernetzungen generiert werden. Solche synthetisierenden, relativ stabil verknüpfenden, *intra- und intermolekularen Isopeptidbindungen* beeinflussen u.a. die physikalische Konsistenz und die volumetrische Textur – verfestigen und verkleben, vereinfacht beschrieben, bestimmte proteinhaltige Stoffsysteme – und werten so das Produkt scheinbar oder u.U. faktisch auf.

Unzureichend geklärt sind bisher allerdings die *Wirkungsspektren und –ketten des TGA-Einsatzes*, darunter die Auswirkungen auf die biotische Wertigkeit der nativen tierischen und pflanzlichen Nahrungsproteine, besonders jedoch die möglichen Risiken *physikochemischer Modifizierungen* und solcher *biokatalytischer Stoffwandlungen* in Nahrungsmitteln. Bekannt ist, dass *humane Transglutaminasen* bei einigen neurodegenerativen Krankheiten, wie Morbus Alzheimer, die Bildung cytotoxischer Proteinaggregate (Assoziate) bewirken, im Falle der Zöliakie – einer Überempfindlichkeit bzw. Unverträglichkeit gegen das Getreideprotein Gluten – die Enterocyten- und Antikörper-Produktion anfachen können.

Obwohl die physiologische Funktion der Transglutaminasen (TGA) weitgehend ungeklärt ist, nehmen deren industrielle Anwendungen intensiver seit 1990 zu, weil die *technologischen Potenziale* dieser *operationalen technischen Mittel* (AM) für die Endprodukte und die Lebensmittelverfahrenstechnik erheblich sind. Sie zielen nicht nur auf die volumetrische Textur und wesentliche Teile des Deformationsverhaltens, wie die Festigkeit, die Elastizität und die thermische Beständigkeit von Fleisch- und Wurstwaren.

Die mit MTGA's erreichte Quervernetzung von Casein, Soja- und Molkenproteinen z.B. verbessert daneben deren Löslichkeit (Solubilisierung), die Gelbildungsfähigkeit und/oder Emulgierbarkeit – die Phasenstabilität.

Die analoge Behandlung von Getreideproteinen verändert insbesondere technologisch, nicht jedoch ernährungsphysiologisch maßgebende rheologische Eigenschaften des Teigs, die den technischen Energieaufwand neu „dimensionieren", d.h. erheblich reduzieren.

Das Problem ist demgemäß weit umfassender, vor allem jedoch grundsätzlicher als derzeit in der Öffentlichkeit diskutiert. Die beschwichtigende Aussage, die Aktivität von Transglutaminasen erschöpfe sich von selbst oder sei andernfalls thermisch inhibierbar, sind zwar prinzipiell zutreffend, aber eben nicht hinreichend.

Mit der Reduzierung der Kosten für die biotechnologische Produktion mikrobieller Transglutaminasen fächerte sich deren Einsatz im Bereich der Lebensmittelproduktion schon seit 1989 – dem Jahr der Entdeckung kostengünstigerer technischer Synthesemöglichkeiten – von der Öffentlichkeit weit gehend unbeobachtet auf.

Es sei angemerkt: Ernährungsphysiologisch und organoleptisch relevante Eigenschaften sind meistens nicht das Ziel, sondern bestenfalls angenehme Nebenergebnisse solcher enzymtechnologischer Beeinflussungen. Auch in diesen Applikationsfällen darf indes nicht die Enzymtechnologie, sondern muss der final orientierte, intransparente Umgang mit ihr angeprangert und behoben werden.

Es handelt sich offenbar nicht um inhärente Ambivalenzen, sondern um bewusste Programmierungen, bei denen der „Empfänger" zudem die „Nachrichten" nur nach den Vorgaben des „Senders" entschlüsseln und aufnehmen soll.

Intransparenz ist ein Kernproblem der asymmetrischen, gewinnorientierten Kommunikation von weltweit operierenden Lebensmittelkonzernen mit den Verbrauchern. Jede Intransparenz reduziert die Souveränität der Verbraucher und das heißt, ihre originäre *Entscheidungskompetenz*.

5.4 Funktionelle Lebensmittel – Erwartungen: Chancen und Risiken

Funktionelle Lebensmittel sollen definitionsgemäß einen gesundheitlichen Zusatznutzen aufweisen, insbesondere prophylaktisch wirken, aber eindeutig von Pharmaka zu trennen sein. Hippokrates verlangte vor mehr als zwei Jahrtausenden: „Eure Nahrungsmittel sollen Eure Heilmittel sein. Eure Heilmittel sollen Eure Nahrungsmittel sein".

Heute sind die Erwartungen ebenso groß wie das Spektrum der Krankheitsbilder: Herz-Kreislaufstörungen, Stoffwechselstörungen (bis zum metabolisches Syndrom), Insuffizienzen des Bewegungs- und Stützsystem, Krebs stehen an der Spitze der Hoffnungsliste. Die Erwartungen können lediglich mit Termini benannt werden.

Der *erwartete gesundheitliche Zusatznutzen* betrifft vor allem

- das Wachstum und die Differenzierung zellulärer (auch entarteter) Strukturen;
- die Wachstums- und Aktivitätsförderung bestimmter Bakteriengruppen, der Mikroflora des Besiedlungssubstrates;
- die Stimulation und Regulation des Stoffwechsels von Makronährstoffen;
- die Physiologie des gastrointestinalen Traktes;

- die verbesserte spezifische und unspezifische Stimulation von Immunreaktionen (immun enhancement);
- die Bindung reaktiver Oxidantien;
- das Herz-Kreislauf- sowie das Bewegungs- und Stützsystem;
- das Wachstum und die Entwicklung ganzer Individuen;
- die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit.

Zu den exponierten funktionellen Lebensmitteln gehören *Probiotika*, *Präbiotika* und *Synbiotika*. Ihre Funktionalitäten werden in Abbildung 2 dargestellt.

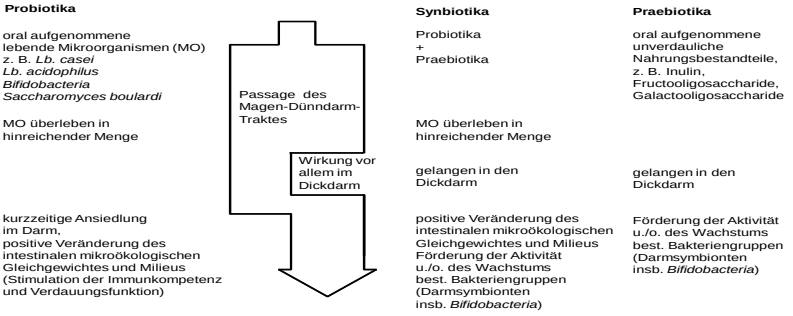


Abbildung 2: Funktionalität der Probiotika, Präbiotika und Synbiotika
Quelle: modifiziert nach Institut Kuhlmann 1996[2]

Die gesundheitsrelevanten Wirkungen *funktioneller Lebensmittel* gehen vom komplexen biotischen Substrat – meist Mikroorganismen (MO), in einigen Fällen von bestimmten bioaktiven Stoffen, den *health ingredients* – aus. Über das *food design* werden solche *health ingredients*, aber auch *food ingredients* in Lebensmittel (*novel food*) integriert. Eine neue (nicht unumstrittene und unproblematische) EU-Verordnung zu *novel food* regelt einige Modalitäten.

In Deutschland sind die zulässigen Werbeaussagen speziell für probiotische Lebensmittel – dessen ungeachtet für alle funktionellen Lebensmittel typisch – im § 18 des LMBG geregelt. In einer zusammenfassenden Darstellungsweise lauten sie (vgl. Spillmann 1997, S. 515ff.):

- Stärkung der natürlichen Abwehrkräfte;
- positive Beeinflussung der Darmflora;
- Unterdrückung unerwünschter Bakterien;
- Anregung der Stoffwechselfunktionen;

2 Vgl. www.institut-kuhlmann.de.

- Beitrag zur gesunden Ernährung.

Ein Vergleich dieser Angaben mit Abbildung 2 „Funktionalität der Probiotika, Synbiotika und Praebiotika“ und Tabelle 1 „Probiotische Wirkungen von Spezies der Ordnung Lactobacillales“ empfiehlt sich, um den „aufklärenden“ Wert derartiger Werbeaussagen für den Verbraucher selbst einzuschätzen.

Zu den Zielen und Methoden des *Funktionalisierens von Lebensmitteln* sowie den *Wirkungen* funktioneller Lebensmittel enthält der Beitrag „Evolutorische Lebensmitteltechnologie und ihre Implikation mit der Allgemeinen Technologie“ ausführlichere Darstellungen (vgl. Fleischer 2004).

Für den erwarteten gesundheitlichen Zusatznutzen von health ingredients unterschiedlichster stofflicher Struktur und Genesis existieren etliche zuverlässige Anhaltspunkte.

Das gilt z.B. für resistente Polysaccharid-Konformationen insbesondere resistente Stärken, immunmodulierende Beta-1,3,1,6 -D-Glucane aus Zellwänden der *saccharomyces cerevisae,* einige „Immunokosmetika“, bestimmte bioaktive Flavanoide sowie eine Reihe von Lactobacilli (siehe dazu Tabelle 1).

(Fast) alle lebensmitteltechnologisch verwendeten *Lactobacilli* sind in Deutschland als sicher (S1) eingestuft.

Zu den angemessen bestätigten *Wirkungen* gehören:
- Förderung der physiologischen Mikroflora
- Fähigkeit zur Zelladhärenz
- Verhindern oder Vermindern pathologischer Adhärenz, insbesondere die Prävention
  Rotavirus-induzierter Durchfälle
- Reduktion der Schwere und Dauer bei Rotavirus-induzierten Durchfällen
- Reduktion der Schwere und Dauer Antibiotika-bedingter Durchfälle
- Reduktion von Symptomen der Lactoseintoleranz

Noch weitergehend und, bezogen auf das Evidenzniveau, genauer zu untersuchen sind:
- Probiotische Wirkmechanismen in vivo, insbesondere am Menschen – Immunologische Stimulation (Interleukin-6, Interleukin-10, TNF-α, ...)
- Präventive Kolonisation im Intestinum (Invasion, Adhäsion, Translokation)
- Metabolismus, Mutagenese (insbesondere des Kolonkarzinoms)
- Produktion antimikrobieller Substanzen, wie Bakteriozine, H_2O_2, ...
- Kausalität gesundheitsrelevanter probiotischer Effekte

Tabelle 1: Probiotische Wirkungen von Spezies der Ordnung Lactobacillales
Eigene Zusammenstellung

Nur in wenigen Fällen sind die unverzichtbaren *kausalen Zusammenhänge* zwischen der stofflichen Struktur, der Einbindung und damit der Bioverfügbarkeit der Wirkkomponenten in die *komplexen Lebensmittelmatrices* sowie die notwendigen Konzentrationen (Dosis) gesichert.

Von den Chancen und Probleme konnten wir uns bei der Entwicklung funktioneller, milchsauer fermentierter Getränke auf cerealer Basis selbst überzeugen. Dieses kooperative Forschungsprojekt einer meiner Arbeitsgruppen begann beim Screening potenziell probiotischer Eigenschaften homofermentativer Milchsäurebakterienstämme aus einer eigenen Sammlung mit 280 nativen Stämmen. Es führte über deren experimentelle Testung hinsichtlich der Wachstumskinetik sowie des „Überlebens" einer hinreichenden Menge Kolonie bildender Einheiten in einem in-vitro Magen-Darm-Modell und endete bei der Sensorik, der Wirksamkeit und der Stabilität der entwikkelten funktionellen Getränke.

Die Komplexität der Stoffsysteme, die Variabilität der verfahrenstechnischen Methoden und der Technologien zur Anreicherung, Isolierung oder gezielten Modifizierung reproduzierbarer Wirkstoffe, die komplizierte Pharmakognostik für sicher verfügbare Komponenten und die umgebenden komplexen Matrices erschweren und verteuern die aufwendigen Humanstudien.

Eine gewisse Ausnahme bilden die Pflanzensterole, mehrere Polysaccharide sowie bestimmte Flavanoide und einige Varietäten von *Lactobacillales. Pflanzensterole* sind sekundäre Metabolite und reduzieren nachweislich die Cholesterinaufnahme im menschlichen Körper und damit einhergehend das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Die absoluten Mengen der lebenswichtigen Zoosterine und die Mengenverhältnisse der HDL- und LDL-Cholesterine gilt es in relativ engen physiologischen Grenzen einzuhalten. Dazu muss das – über komplexe Mechanismen geregelte – Gleichgewicht zwischen dem benötigten, dem im menschlichen Körper synthetisierten und den mit der Nahrung aufgenommenen Cholesterinen reguliert werden. Auch hierbei wirkt, wie vorn generell erörtert, der *steuernde und regelnde Einfluss* ganzer Gruppen *endogener und exogener Variablen*, *interner* und *externer Größen mit inhibierenden oder verstärkenden Gewichten.*

Im Spannungsfeld von Hoffnungen und vermuteten oder als „Anfangsverdacht" indizierten Gefahren steht insbesondere der rasch zunehmende Einsatz von *Nanoteilchen und Nanotubs* in Lebensmitteln und Bedarfsgegenständen. Dieses drängende Problem bedarf einer separaten und ausführlicheren interdisziplinären Diskussion.

Auch ohne ausreichende Kenntnis von Ursache-Wirkungs-Korrelationen als unabdingbare Basis für zuverlässigere Voraussagen und vertrauenswürdigere Risiko-Abschätzungen, ja, selbst bei nicht erwiesenem gesundheitlichen Nutzen werden weltweit Milliarden Euro bzw. Dollar Gewinne mit funktionellen Lebensmitteln und Nahrungs-Ergänzungsmitteln erzielt. Auch die vage umschriebene oder lediglich versprochene Gesundheit wird honoriert.

Zu den grundlegenden fachlichen Problemen gehören die Steigerung der *Bioverfügbarkeit.* die Erhöhung der *Stabilität* und das *Modifizieren* gesundheitsfördernder Lebensmittelinhaltsstoffe sowie effektive und effiziente Methoden zur Anreicherung bzw. Isolierung von food und health ingredients - die Herstellung von Konzentraten und Extrakten über Agro-Food-Biotechnologien bzw. die Lebensmitteltechnologie.

Maßgebend für nachhaltige wissenschaftliche Fortschritte und technologische Innovationen sind vor allem

- die Vertiefung und Erweiterung der wissenschaftlichen Erkenntnisse über Struktur-, Zustandsänderungen → funktionelle Eigenschaften → Verarbeitungseigenschaften und
- die weitere Qualifizierung der strukturellen und funktionellen Analytik komplexer hochmolekularer Strukturen (Proteine bzw. Peptide, Lipide und Kohlenhydrate sowie Symplexe), die den Stoffwechsel sowie die Humanphysiologie tragen, katalysieren bzw. regulieren.

6. Bilanz

Es ist generell festzuhalten, dass das, was wissenschaftlich und technisch trägt oder sogar prägt, nicht zwangsläufig von Sinn gebenden und ethisch konstruktiven Werten und Normen, von einem moralischen Grundkonsens und dem humanistischen Menschenbild getragen ist und begleitet wird.

Im widersprüchlichen, multipolaren Geflecht von Chancen, Herausforderungen, Konflikten und Bedrohungen, kommt es darauf an, interdisziplinär und verantwortungsbewusst mit den Realitäten umgehend, sowohl die Chancen zu erkennen, positiv zu selektieren und konsequent weiter zu entwickeln, als auch reale Gefahren zu diagnostizieren, zu bewerten, einzudämmen oder gänzlich abzuwenden.

Das gilt für das hoch komplexe gesellschaftliche und wissenschaftliche Phänomen, die Technologie, generell sowie deren produkt- und prozessorientierten Klassen im Speziellen und in besonderer Weise für die Gruppe der Lebensmittel- und Biotechnologien.

Literatur

Ebeling, W. (2008): Konkurrenz und Wert als bestimmende Faktoren der Selbstorganisation und Evolution komplexer Systeme. In: Plath, P.; Haß, E. Chr. (Hg.): Vernetzte Wissenschaften. Crosslinks in Natural and Social Science. Berlin, S. 3-14

Fleischer, L.-G. (2010): Komplexität, Inter und Transdisziplinarität. In: LIFIS-ONLINE [15.04.10] – Internetzeitschrift des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS). – URL: www.leibniz-institut.de/archiv/fleischer15_04_10

Fleischer, L.-G. (2004): Evolutorische Lebensmitteltechnologie und ihre Implikationen mit der Allgemeinen Technologie. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 49-67 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)

Hörz, H. (2002): Technologie zwischen Effektivität und Humanität". In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie. Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Berlin, S. 47-77 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd.50, H.7)

Spillmann, H. (1997): Probiotika und probiotische Mikroorganismen: Lebensmittel oder Heilmittel ? – Ein Vergleich. In: Deutsche Molkerei-Zeitschrift, Jg. 12, S. 515-525

Tembrock, G. (1981): Moderne Verhaltensforschung. In: Fleischer, L.-G.; Hess, H. (Hg.): Wissen aus erster Hand. Erkenntnisse, Erfahrungen, Erfolge der Wissenschaft. Berlin, S. 63-80

Tolstoguzov, V. B. (2003): Some Thermodynamic Consideration in Food Formulation. In: Food Hydrocolloids, Vol. 17, pp. 1-23

Weingart, M. (2004): Fehler zeichnen uns aus. Transdisziplinäre Grundlagen zur Theorie und Produktivität der Fehler in Schule und Arbeitswelt. Bad Heibrunn

Westphal, G.; Lipke, B.; Kroh, L. (1991): Lebensmittelchemie. 1. Lehrbrief. Dresden

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 83–101*

Dieter Seeliger

Ambivalenzen in der Uranwirtschaft – Segen oder Fluch für die Menschheit?

1. Hintergrund

Bereits im Brundtland-Report wurde Nachhaltigkeit als Maßstab für vernünftiges technologisches Handeln gesetzt und wie folgt definiert: Nachhaltige Entwicklung „ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“ (Hauff 1987, S. 46). Betrachtet man im Lichte dieser Forderung die Gewinnung von Kernenergie zur Befriedigung des wachsenden Energiebedarfs der Menschheit, so treten Ambivalenzen besonders drastisch zutage:

Einerseits werden weltweit 16% und in Europa sogar 31% der Elektroenergie auf Basis von Kernenergie erzeugt und dabei etwa 2,6 bis 3,5 Mrd. t CO_2-Emission pro Jahr vermieden. Kernkraftwerke (KKW) weisen gegenüber anderen Verfahren eine geringe Mortalität auf, gelten somit als besonders sicher. Darüber hinaus sind sie geeignet für die Sicherung der Grundlastversorgung und damit ideal für die Kombination mit der Elektroenergieerzeugung aus den regenerativen Quellen Sonne und Wind. Bedeutende Erweiterungen der Kernenergienutzung sind derzeit in Südasien und im Fernen Osten vorgesehen. Auch in benachbarten europäischen Ländern wird gegenwärtig die bereits beschlossene Ausstiegspolitik revidiert (Schweden) bzw. der Neubau von KKW geplant (Großbritannien, Italien u.a.). In den USA, wo seit 30 Jahren keine neuen KKW in Betrieb gingen, liegen derzeit 27 neue Genehmigungsanträge vor. Präsident Obama hat zu Beginn des Jahres 2010 einer „Blue Ribbon Commission on America’s Nuclear Future“ den Auftrag erteilt, eine umfassende Studie zu Fragen des Brennstoffzyklus vorzulegen.[1]

1 Vgl. http://brc.gov/commissioned_papers.html.

Andererseits stellt der Einsatz der Kernenergie extreme Anforderungen an die Sicherheit der gesamten Kraftwerkstechnik, indem bereits vergleichsweise geringfügige Ausfälle von Komponenten zu extrem negativen Folgen führen können. Es bleiben unkalkulierbare Restrisiken. Die Gefährdung durch Proliferation von Kernmaterial und Terrorismus wiegt ebenfalls schwer auf der Negativseite der Bilanz. Von besonderem Gewicht ist allerdings die immer noch als ungelöst angesehene Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus Kernreaktoren der 2. Generation. So ist es nicht verwunderlich, dass weltweit über die Zukunft der Kernenergie kontrovers argumentiert wird. Die Palette diskutierter Szenarien reicht vom sofortigen Ausstieg bis zum verstärkten Ausbau und Weiterentwicklung. Inwieweit die mit der Nutzung der Kernenergie verbundenen Risiken als annehmbar angesehen werden können, ist eine Frage der Beurteilung vieler Gesichtspunkte, die auch die spezifischen Risiken alternativer Energieträger in Betracht ziehen muss (vgl. EPS 2007).

Im vorliegenden Beitrag wird ein zentraler Teil der Kernenergiegewinnung herausgegriffen – die Uranwirtschaft – und für dieses immer noch umfangreiche Gebiet anhand von Beispielen bestimmte Aspekte der Ambivalenzen herausgearbeitet. Die Beispiele entstammen insbesondere zwei Tätigkeitsbereichen der General Atomics Gruppe, San Diego, USA,[2] in welcher der Autor tätig war und zu der auch das sächsische Ingenieurunternehmen Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH Dresden (UIT)[3] sowie das australische Bergbauunternehmen Heathgate Resources Pty., Adelaide, Australien,[4] gehören – es handelt sich dabei um die Tätigkeitsbereiche Uranbergbau und Brennstoffwirtschaft.

2. Uranbergbau

Ausgangsstoffe für die Energiefreisetzung aus Kernspaltung sind bekanntlich die Elemente Uran und Thorium, welche in der Erdkruste mit 2,4 mg/kg bzw. 7,2 mg/kg vorhanden sind. Die weltweit bisher erkundeten Vorräte wurden 2007 auf 14,8 Mio. t geschätzt, darunter 4,7 Mio. t an gesicherten Reserven (vgl. EPS 2007). Der Uranmarkt der letzten Jahre weist einen kontinuierlichen Anstieg bei Erschließung, Abbau und Bedarf auf. Infolge der weiteren Exploration, angetrieben durch die Preisentwicklung auf dem Rohstoffsektor,

2 Vgl. www.gat.com.
3 Vgl. www.uit-gmbh.de.
4 Vgl. www.heathgateresources.com.au.

steigen diese Prognosen ständig, so dass zum Monat Januar 2009 die gesicherten Reserven bereits mit 6,3 Mio. t angegeben wurden (vgl. OECD/IAEA 2010). Bei einer erwarteten Bedarfssteigerung bis zum Jahr 2025 auf 82.000 bis 102.000 t pro Jahr reichen die bekannten Reserven selbst bei offenem Brennstoffkreislauf für mehr als 100 Jahre. Dieser Zeithorizont wächst ständig weiter, bisher ohne erkennbares Ende. Uran als Brennstoff ist also noch für längere Zeit verfügbar.

Die Entwicklung des Uranpreises in jüngster Vergangenheit widerspiegelt die Erwartungen der Industrie an die künftige Bedarfsentwicklung: Nach 1986 war, als Folge der Reaktorhavarie in Tschernobyl, der Preis für handelsübliches Yellow Cake U_3O_8 von 25 US$/lbs unter den Wert von 10 US$/lbs gefallen. Es dauerte Jahre, bis sich der Preis wieder erholte, um vor der Rohstoffkrise im Jahr 2007 auf über 100 US$/lbs anzusteigen. Nach kurzzeitigem Verfall steigt der Preis und hat gegenwärtig bereits wieder 50 US$/lbs überschritten – ein untrügliches Zeichen für Zuversicht des Marktes in die künftige Entwicklung (vgl. OECD/IAEA 2010).

Ursachen der Ambivalenz des Uranbergbaus bilden Gesundheitsgefährdungen für Personal und Anwohner sowie ökologische Folgeschäden und die damit verbundenen Folgekosten für die Rehabilitierung der Lagerstätten und Betriebsflächen. Welch gravierende Unterschiede sich infolge des technologischen Fortschritts im Zuge der Entwicklung in dieser Hinsicht ergeben haben, soll anhand folgender zwei Fälle gezeigt werden.

Fall 2.1: Sanierung des ehemaligen Laugungsbergwerks Königstein

Nach Einstellung des aktiven Uranabbaus in den Betrieben der WISMUT GmbH im Jahr 1990 sah sich das Unternehmen des Bundes mit einem enormen Sanierungsbedarf konfrontiert, worüber – ebenso wie von den erzielten Sanierungsfortschritten – wiederholt publiziert wurde (vgl. Hagen et al. 2000; WISMUT 2000/2009). Als besonderer, weil weltweit einmaliger, Problemfall erwies sich das ehemalige Laugungsbergwerk in Königstein, am Rande der Sächsischen Schweiz, über dessen Spezifik nachfolgend kurz berichtet wird.

Die besonderen Umweltrisiken in diesem Fall ergaben sich dadurch, dass – wegen geringer Ergiebigkeit der sekundären Lagerstätte – seit 1967 eine untertägige Laugung des Sandstein-Erzkörpers mit Schwefelsäure vorgenommen worden war. In dessen Folge verblieben zum Zeitpunkt der Einstellung des Abbaus im Jahr 1990 etwa 2 Mio. t verdünnter Schwefelsäure in den Porenwässern des Gesteins, mit einem pH-Wert im Bereich 0,9 bis 2,5 und einer

Mineralisation von 3 bis 25 g/l, darunter 50 bis 500 mg/l Uran. Ein sofortiger Stopp der Wasserhaltung und Flutung der Grube hätte verheerende Folgen für die Kontamination des Grundwassers in den für die Trinkwassergewinnung genutzten Horizonten im weiten Umfeld gehabt.

Um irreparable Umweltschäden auszuschließen, wählte WISMUT, in Abstimmung mit den Aufsichtsbehörden, den Weg der kontrollierten, gesteuerten Flutung der Grube. Das aus dem Flutungsraum abströmende belastete Flutungswasser wurde in einem Kontrolltunnel erfasst, der weiträumig den Grubenraum in den gefährdeten Abströmrichtungen Nord und West umschließt. Daraus ergab sich die Aufgabe, dieses Flutungsmedium zu heben und in einer Aufbereitungsanlage für Flutungswasser (AAF) über Tage zu reinigen, um die maximalen Einleitwerte in den Vorfluter Elbe mit Sicherheit zu unterschreiten (siehe Abbildung 1).

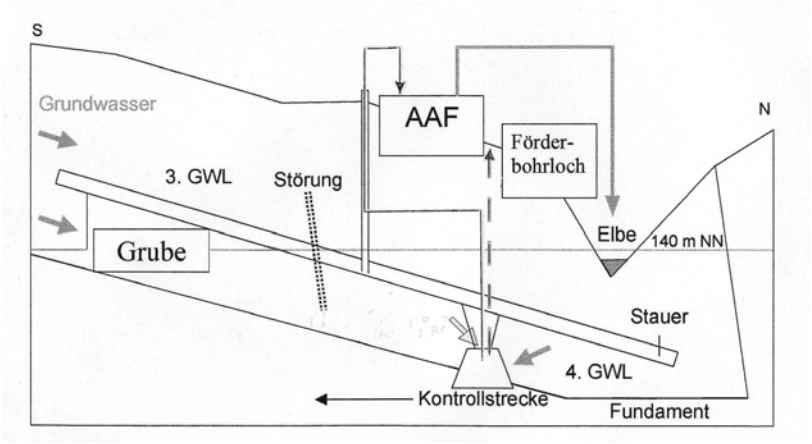


Abbildung 1: Flutungskonzept für die Grube Königstein
AAF– Aufbereitungsanlage für Flutungswasser
GWL– Grundwasserleiter
Quelle: nach Schreyer et al. 2002, p. 757

In den Jahren ab 1993 erhielt UIT den Auftrag von WISMUT GmbH, Konzeption und Technologie für die Behandlung des sauren, stark belasteten Flutungsmediums auszuarbeiten, die kritischen technologischen Verfahrensbausteine in Pilotversuchen zu testen, daraus sukzessive alle Planungsstufen abzuleiten, inklusive erforderlicher Genehmigungen, und schließlich Bau und Inbetriebnahme auszuschreiben und zu überwachen. Die Inbetriebnahme

erfolgte Anfang 2001, dem Beginn der kontrollierten Flutung. Seitdem läuft die Anlage ohne gravierende technologische Probleme und hat bis Ende 2009 ca. 4,2 Mio. m^3 Flutungsmedium gereinigt (vgl. WISMUT 2000/2009).

Um auszuschließen, dass die erwarteten großen Mengen an Uran im Flutungsmedium über Fällschlämme der Wasserreinigung auf die Betriebshalde gelangen, musste ein neues Verfahren gefunden und erprobt werden, mit welchem Uran aus dem stark Sulfat- und Eisen-haltigen Medium abgetrennt, als reines Uranoxid UO_4x2H_2O, einer Vorstufe des Handelsproduktes Yellow Cake U_3O_8, ausgefällt und nachfolgend einer Verwertung zugeführt werden kann. Zu diesem Zweck wurde eine Kombination von zeitlich fraktionierter Elution des Ionenaustauscher-Harzes mit eine fraktionieren Fällung mittels Wasserstoffperoxyd und Natronlauge entwickelt und nach erfolgreichem Einsatz patentiert (vgl. Märten et al. 1999, 2002). Auf diese Weise gelingt es, ein hochreines Uranprodukt zu erzeugen, welches für seine nachfolgende Verwertung keiner weiteren chemischen Umfällung mehr bedarf, sondern nur noch zu U_3O_8 getrocknet zu werden braucht.

Auch die technologisch nachgeschaltete Wasserreinigung erforderte – einerseits wegen der erwarteten großen Mengen (bis über 500 m^3/h) an Flutungsmedium mit hoher Salz- und Schwermetallbelastung und andererseits der Forderung nach hohem Feststoffgehalt des Fällschlamms – die Entwicklung eines neuen Verfahrens. Als geeignet erwies sich die Modifizierung des HDS-Verfahrens (High Density Sludge), das vielfache Schlamm-rezyklierung im Prozess und stufenweise Neutralisation des Mediums vorsieht und ebenfalls patentiert werden konnte (vgl. Heinze et al. 2002). Der in diesem Verfahren anfallende, schadstoffbelastete Fällschlamm kann aus der Wasserbehandlungsanlage kontinuierlich abgezogen, dekantiert und auf der nahegelegenen Bergehalde sicher eingelagert werden.

Zur Überwachung des Flutungsverlaufs erhielt UIT GmbH parallel den Auftrag, das untertägige Monitoring aufzubauen, mit insgesamt 243 Sensoren zur Kontrolle von Parametern der Grubenluft und -wässer sowie der Geomechanik. Schließlich war ein geo-chemisches und geo-hydrologisches Modell über die zeitliche Entwicklung des Flutungsmediums auszuarbeiten (vgl. Kalka et al. 2002). Erst nachdem alles vorlag, gab die Aufsichtsbehörde Anfang 2001 die Flutung der Grube selbst frei (vgl. Schreyer et al. 2002).

Die jüngsten Umweltberichte (vgl. WISMUT 2000/2009) weisen den enormen Fortschritt aus, der im Zeitraum von 2001 bis 2009 auf dem Gebiet der Wasserbehandlung erreicht wurde. So ist der Urangehalt im Flutungsmedium im Mittel unter 1 mg/l gesunken. Der Urangehalt im Abgang in die Elbe

blieb stets unter 0,1 mg/l und unterschritt damit deutlich den Überwachungswert von 0,5 mg/l. Um Übertritte von Kontaminationen in den sensiblen 3. Grundwasserleiter (GWL) zu vermeiden, wurde der Flutungspegel in der Grube zunächst bei 105 m NN konstant gehalten und die Behandlung bei konstantem Pegel fortgesetzt.

Ab dem Jahr 2010 wurde mit der Flutung des bisher offen gehaltenen Kontrolltunnels begonnen, nachdem zuvor zwei Förderbohrlöcher von der Oberfläche direkt in den Tunnel niedergebracht worden waren. Mit dieser Maßnahme entfällt die gesonderte Wasserhaltung zur Trockenlegung bestimmter Teile der Grube, die Schächte werden abgeworfen und der ehemalige Kontrolltunnel übernimmt die Funktion eines Brunnens, aus dem das kontaminierte Wasser zur Behandlung gehoben wird. Der weitere Anstieg des Flutungspegels wird weiterhin gesteuert erfolgen, abhängig von den diversen Messergebnissen der Sonden. Neben einem begleitenden, weiträumigen Monitoring sind zusätzliche Maßnahmen zur Schadstoffimmobilisierung vorgesehen. Damit ist ein Ende der Sanierungsarbeiten terminlich noch nicht in Sicht.

Bedenkt man die einst hohen Aufwendungen für den Abbau, zuzüglich der – bisher bereits zwanzig Jahre lang aufgebrachten – enormen Folgeaufwendungen zur Verhinderung von Umweltschäden und setzt sie in Bezug zu den bekannten Uranmengen, die in dieser Grube gewonnen wurden, so ergibt sich – selbst wenn der hier gewonnene Rohstoff jemals zur Energiegewinnung verwendet worden wäre – sicher kein positiver Beitrag zum ambivalenten Bild des Uranbergbaus. Im Gegenteil: Im vorliegenden Fall war die Gewinnung des Rohstoffs Uran bis 1990 weder unter Beachtung des Kriteriums der Nachhaltigkeit noch unter wirtschaftlich vertretbaren Gesichtspunkten erfolgt. Würde diese Situation generell den Verhältnissen im Uranbergbau entsprechen, so wäre dies bereits ein Sachverhalt, der die Sinnfälligkeit der künftigen Nutzung der Kernenergie in Frage stellt. Positiv zu sehen sind dagegen die Erfahrungen und technologischen Ergebnisse, die beim Sanierungsprozess bisher bereits gewonnen wurden und die auch künftig immer noch anfallen werden.

Fall 2.2: Laugungsbergwerk der Heathgate Resources Pty., Australien

Im Jahr 1998 erhielt UIT den Auftrag, für eine Lagerstätte in Südaustralien, nahe der Gegend Flynders Ranches, die sich Besitz der Gesellschafter der General Atomics(GA)-Gruppe befindet, ein technologisches Konzept vorzulegen für die Gewinnung von handelsüblichem Yellow Cake. Als technische

Basis hierfür diente eine Feldanlage, mit deren Hilfe Pilotversuche vorgenommen werden konnten. Bei der Auswahl und Optimierung der zu realisierenden Technologie waren einerseits der hohe Urangehalt des sekundären Erzkörpers, andererseits aber auch der hohe Chloridgehalt des Grundwassers in der erzhaltigen Gesteinsschicht zu berücksichtigen. Letzterer schloss den Einsatz gängiger Verfahren, wie der Karbonatlaugung, von vornherein aus. Für das vom Bergbau tangierte ökologisch sensible Gelände mussten Umweltverträglichkeitsanalysen vorgelegt und ein geo-chemisches und geo-hydrologisches Modell erarbeitet werden, ehe die behördlichen Genehmigungen erteilt wurden.

Ein Jahr später legte UIT die Ingenieurplanung vor, nach der von der Bergbaufirma Heathgate Resources beauftragte australische Unternehmen die Detailplanung und den Bau vornahmen. So konnte bereits ab 2001 mit der Urangewinnung begonnen werden. Das Laugungsbergwerk funktioniert relativ einfach: In den Erzkörper ragen von der Oberfläche Aufgabebrunnen für Laugungslösung und Förderbrunnen für Reichlösung. Das Laugungsfeld ist weiträumig von Monitoring-Bohrlöchern umschlossen. Tonhaltige Sperrschichten verhindern die Ausbreitung der Lösung in vertikaler Richtung, die geringe Grundwasser-Fließgeschwindigkeit – in horizontaler Richtung. So bleibt der Lösungskörper am Förderort konzentriert. Nach Abschluss der Laugung wird die Lösung im Gestein mittels Wasser ausgespült. Während die Laugung auf benachbarten Arealen fortgesetzt wird, können ausgebeutete Felder bereits wieder saniert werden. Es entstehen weder Halden, noch Schlammdeponien, lediglich Verdampfungsbecken sorgen für die notwendige Wasserbalance, die zur Fortsetzung des Prozesses erforderlich ist. Mit einem Bruchteil des in der Grube Königstein zur Hochzeit der Förderung beschäftigten Personals, wird in bedeutend kürzerer Zeit eine vergleichbar große Uranmenge in Form von verkaufsfähigem Fertigprodukt erzeugt. Die uranhaltigen Lösungen und Produkte bleiben im Routinebetrieb in Leitungen und Behältern abgeschlossen, ohne direkten Kontakt zur Bedienungsmannschaft. Spürbare Umweltgefährdungen entstehen nicht. Die Sanierungskosten werden aus dem Verkaufserlös bestritten, sind Bestandteil der Kalkulation des Verkaufspreises. Dieser Fall der Urangewinnung kann in der Tat als nachhaltig bezeichnet werden.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass der Uranabbau im Zuge der technologischen Entwicklung einen grundlegenden Wandel vollzogen hat: Das ambivalente Erscheinungsbild dieses Teils der Uranwirtschaft ist heute mit dem aus der Vergangenheit kaum noch zu vergleichen.

3. Kernbrennstoffwirtschaft

Alle europäischen Länder, die Kernenergie nutzen, sind der „Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management“[5] beigetreten und haben sich damit zur Einhaltung festgelegter, hoher Sicherheitsstandards verpflichtet. Dennoch bestehen erhebliche Vorbehalte in der Öffentlichkeit gegen die Kernenergie, die sich vor allem aus der Problematik der Abfallentsorgung ergeben: Der Brennstoff besteht in der Regel aus (mit dem Isotop 235-U) angereichertem Uran, als chemische Verbindung UO_2, in Form von Keramik. Die Brennstoffwirtschaft der Kernenergie mit offenem Brennstoffkreislauf besteht aus der technologischen Kette: Bergbau, Aufbereitung, Konversion, Anreicherung, Brennstoffherstellung, Energieerzeugung, (Zwischen-)Lagerung verbrauchter Brennstäbe, Endlagerung. Bei geschlossenem Kreislauf ist noch die Prozessstufe der Wiederaufbereitung eingefügt, deren Produkte wahlweise in die Konversion, die Brennstoffherstellung und die Endlagerung geleitet werden (siehe Abbildung 2).

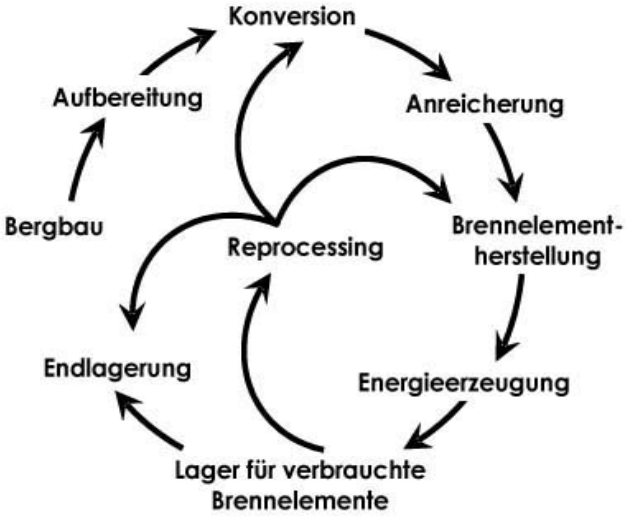


Abbildung 2: Technologische Prozesse des Brennstoffkreislaufs
eigene Darstellung

5 Vgl. http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/1997/infcirc546.pdf.

Durch Neutroneneinfang, vor allem am Hauptisotop 238-U, werden beim Reaktorbetrieb die Transuranelemente (TUE) Neptunium, Plutonium, Americium und Curium gebildet, wobei Plutonium den größten Teil ausmacht. Häufig werden Np, Am und Cm auch minore Aktinide genannt. Einige Isotope dieser Nuklide können nur durch schnelle Neutronen gespalten werden. In den bisher zur Elektroenergieerzeugung eingesetzten Thermischen Reaktoren kommt es daher zur ihrer Akkumulation im Brennstoff, ebenso wie von Spaltprodukten. Beide Komponenten tragen zur Radiotoxizität[6] des verbrauchten Kernbrennstoffs (KB) bei, wobei Spaltprodukte allerdings bereits im Zeitraum bis zu einigen 10^2 Jahren abklingen, während bei TUE der Radiotoxizitätspegel von Natururan erst nach etwa 10^6 Jahren erreicht wird. In den derzeit in der EU betriebenen Reaktoren fallen jedes Jahr etwa 2500 t an abgebranntem KB an, weltweit sind das etwa 10.500 t (vgl. EPS 2007). Da der radioaktive Zerfall der Radionuklide im bestrahlten Brennstoff noch dazu mit erheblicher Wärmebildung verbunden ist, ergeben sich für unterirdische Endlager abgebrannter Kernbrennstoffe enorme Anforderungen an Langzeitstabilität der Gesteinsformation und ausreichende Kühlung.

Fall 3.1: Offener Brennstoffkreislauf

In einer Reihe von Ländern, so in den USA, wird die Nutzung der Kernenergie mit offenem Brennstoffkreislauf betrieben, dabei werden die verbrauchten Brennstoffe ohne Wiederaufbereitung einer Zwischen- und später Endlagerung – zum Beispiel in vitrifizierter Form – zugeführt. Die spezifische Energieproduktion in LWR liegt bei 5 GW_{el} x a pro t Uran. Die aus dem Rohstoff Uran durch Spaltung maximal gewinnbare Energie wird damit nur zu einem Anteil von 0,5% genutzt! Die spezifische Abfallproduktion liegt bei 250 kg TUE pro GW_{el} x a. Die verbrauchten Brennelemente müssen mindestens für 170.000 Jahre eingelagert werden, bis die Radiotoxizität auf den Pegel des Uranbrennstoffs, aus dem sie hergestellt wurden, abgesunken ist. Der Bedarf an Endlagerkapazität ist daher, auch wegen der lang anhaltenden Wärmebildung, riesig. Die Uranvorräte werden auf diesem Weg schnell verbraucht, große Mengen an bereits vorhandenen Beständen an Plutonium, abgereichertem Uran u.a. nuklearen Energieträgern bleiben ungenutzt. Eine US-Studie[7] kommt zu dem Schluss, dass unter Annahme des ausschließli-

6 Radiotoxizität stellt einen Vergleichsmaß für die gesundheitliche Gefährdung des Menschen durch unterschiedliche Radionuklide dar, der aus den Zerfallseigenschaften (Teilchenart, Energie), den radioaktiven Zerfallszeiten und der Verweilzeit im Körper abgeleitet wird.

chen Einsatzes (für die gesamte Elektroenergieerzeugung der USA) von LWR bei offenem Brennstoffkreislauf und einem jährlichen Wachstums des Elektroenergiebedarfs der USA von 2%, die für Anreicherung verfügbaren Uranvorräte der Erde nach weniger als 100 Jahren erschöpft wären und jeweils in Abständen von 10 Jahren neue Endlager mit der Kapazität des derzeit im Bau befindlichen Endlagers Yucca Mountain errichtet werden müssten. Es ist offensichtlich, dass ein solcher Weg der zukünftigen Energiegewinnung weder nachhaltig noch gegen den wachsenden Widerstand der eigenen Bevölkerung oder gegen die Rohstoffkonkurrenz seitens anderer Länder (insbesondere China, Japan, Indien) auf Dauer durchsetzbar wäre!

Werden dagegen 99,9% des Urans und Plutoniums durch Wiederaufbereitung der Brennstäbe entfernt, so verkürzt sich die erforderliche Lagerzeit auf 16.000 Jahre. Eine Entschärfung des Problems also kann durch Wiederaufbereitung verbrauchter Kernbrennstoffe mit Abtrennung von Plutonium und seiner energetischen Verwertung als neuer Mischoxid-Brennstoff UO_2/PuO_2 erreicht werden, wie sie u.a. in Frankreich vorgesehen ist. Gelingt es, auch minore Aktinide zu extrahieren, so verkürzt sich die erforderliche Lagerzeit auf 300 Jahre. Eine drastische Reduzierung der Anforderungen an die Langzeitlagerung lässt sich daher nur dann erreichen, wenn sämtliche TUE aus dem einzulagernden Material zu über 99% entfernt werden. Eine nachhaltige Gestaltung der Nutzung von Kernenergie auf lange Sicht kann somit nur gelingen, wenn es gelingt, sämtliche TUE weitgehend nuklear zu verbrennen und darüber hinaus auch abgereichertes Uran energetisch zu nutzen.

Fall 3.2: Geschlossener Brennstoffkreislauf, 4. Reaktorgeneration

Derzeit befinden sich eine Reihe von Reaktorkonzepten der 4. Generation in der Entwicklung mit dem Ziel, die nukleare Sicherheit gegenüber der 2. und 3. Generation weiter zu erhöhen, die Effektivität der Brennstoffnutzung zu verbessern und durch die Verbrennung von TUE das Abfallproblem zu entschärfen. Für das letztgenannte Ziel sind Reaktoren mit schnellem Neutronenspektrum aus genanntem Grund besonders geeignet. Typische Vertreter der 4. Reaktorgeneration sind Tabelle 1 zu entnehmen (vgl. IAEA 2010; OECD NEA 2009; SNEPT 2009).

In der technologischen Entwicklung am weitesten fortgeschritten sind natrium-gekühlte schnelle Reaktoren, für welche die technologische Machbarkeit mittels großer Versuchsreaktoren in einigen Ländern bereits umfassend

7 Vgl. Gas Turbine-Modular Helium Reactor GT-MHR. – www.ga.com/energy/GT-MHR.

Typ	**Neutronen-spektrum**	**Kühlmittel**	**T /^{0}C/**	**Druck**	**Brennstoff**
GFR	schnell	He	850	hoch	U-238 +
LFR	schnell	Pb-Bi	550-800	niedrig	U-238 +
MSR	epither-misch	Fluoridsalze	700-800	niedrig	UF im Salz
SFR	schnell	Na	550	niedrig	U-238 / MOX
SCWR	thermisch/ schnell	H_20	510-550	sehr hoch	UO_2
VHTR	thermisch	He	1000	hoch	UO_2

Tabelle 1: Typische Kernreaktoren der 4. GenerationGFR(Gas Cooled Fast Reactor): Gas-gekühlter, schneller Reaktor; liefert Elektrizität, Wasserstoff oder Wärme, geschlossener Brennkreislauf, effizienter Umgang mit Aktiniden

LFR (Lead Cooled Fast Reactor): Blei-gekühlter, schneller Reaktor; kleines, fabrikfertiges Kraftwerk; geschlossener Kreislauf mit sehr langen Wiederbeschickungsintervallen (15-20 Jahre), transportierbar zum gewünschten Ort zur Produktion von Energie, Trinkwasser, Wasserstoff; auch größere LFR werden in Erwägung gezogen

MSR (Molten Salt Reactor): Flüssigsalzreaktor; auf effiziente Verbrennung von Plutonium und minoren Aktiniden zugeschnitten; durch Flüssigbrennstoff entfällt die Brennstoffherstellung; inhärent sicher; als nachhaltigster Reaktor eingestuft; am besten für den Thorium-Brennkreislauf geeignet

SFR (Sodium Cooled Fast Reactor): Natrium-gekühlter, schneller Reaktor; effizienter Umgang mit Aktiniden; Umwandlung von fertilem Uran; geschlossener Brennkreislauf

SCWR(Super Critical Water-Cooled Reactor): Superkritischer wassergekühlter Reaktor; effiziente Elektrizitätserzeugung; offener Uran-Brennkreislauf der einfachsten Form; auch geschlossener Kreislauf möglich; Möglichkeit der Handhabung von Aktiniden

VHTR (Very-High Temperature Reactor): Reaktor sehr hoher Temperatur; offener Uran-Brennkreislauf; Elektrizitätserzeugung sowie Wärme für petrochemische Industrie, thermochemische Erzeugung von Wasserstoff

Quelle: nach Angaben aus EPS 2007 und SNEPT 2009

getestet werden konnte. So liegen langjährige Betriebserfahrungen mit diesem Reaktortyp u.a. in Frankreich, Japan und Russland vor. Die verbrauchten Brennelemente werden chemisch aufbereitet (Plutonium-Uran-Rückgewinnung durch Extraktion, PUREX) und das Plutonium und Uran für die weiter Nutzung als Mischoxid (MOX) verwendet.[8] Die Extraktion von Plutonium und Uran aus verbrauchten Brennelementen wird außer Frankreich (La Hague), auch in Großbritannien (Sellafield), Russland (Mayak) und Japan (Rokkasho) durchgeführt. Der geschlossene Brennstoffkreislauf unter Ein-

8 Vgl. www.arevaresources.com/nuclear_energy/datagb/cycle/index REP.htm.

satz von MOX in Schnellen Brütern bietet, neben der bereits diskutierten Verkürzung der Endlagerzeit, einen weiteren Vorteil: Die bisher bekannten Uranvorräte der Erde würden für 5.000 Jahre reichen.

Mit der Entwicklung der oben genannten zukünftigen Reaktoren der 4. Generation wird – neben der Forderung nach inhärenter Sicherheit[9] – teilweise auch die Aufgabenstellung verbunden, minore Aktinide nuklear zu verbrennen und damit energetisch zu nutzen.

Zu dieser Gruppe zählt auch der Helium-gekühlte modular aufgebaute Hochtemperaturreaktor mit direkt angekoppelter Gasturbine (GT-MHR) von General Atomics (vgl. WNA 2010).[10] Die hohe Betriebstemperatur und direkte Ankopplung der Gasturbine ohne Wärmetauscher ermöglichen eine thermische Effektivität von 50%. Die Menge an hochradioaktiven Abfällen pro Elektroenergiemenge ist bereits aus diesem Grund deutlich geringer als in herkömmlichen LWR. Die Brennstoffe sind in mehrfach keramisch beschichteten Brennstoffkügelchen (TRISO) eingeschlossen, welche ein Entweichen von Spaltprodukten sicher verhindern. Ein poröser Kohlenstoffpuffer um den Brennstoffkern vermeidet mechanische Spannungen infolge der Gasbildungsprozesse im Brennstoff. Die TRISO Brennstoffkügelchen sind in Grafitmoderatorelemente eingebettet, die vom Kühlmittel Helium umströmt werden. Diese Reaktoren sind inhärent sicher und lassen darüber hinaus eine höhere Abbrandrate des KB zu. Der GT-MHR gilt als ein bevorzugter Kandidat für US-Reaktoren der nächsten Generation.

Als Brennstoff können – neben angereichertem Uran – wahlweise auch TRISO Partikel aus Plutonium, abgereichertem Uran, Thorium und minore Aktinide zum Einsatz kommen. Auf Grundlage des GT-MHR lässt sich ein geschlossener Brennstoffkreislauf – genannt Deep Burn Prozess – aufbauen, bei dem auch Brennstoff aus abgebrannten Brennelementen von LWR zum Einsatz kommen soll.[11] Die verbrauchten Brennelemente des MHR werden der Wiederaufbereitung (UREX) zugeführt und dort entweder wieder in frische Uranteilchen verarbeitet, oder in Brennstoffteilchen, die Plutonium und minore Aktinide enthalten. Dem UREX Prozess können auch Abfälle aus LWR zugeführt und anschließend verbrannt werden. Damit könnte dieser Reaktortyp langfristig zum Abbau der bereits zwischengelagerten Bestände von

9 Inhärente Sicherheit bedeutet, dass die zugrunde liegenden physikalischen Wirkprinzipien des Reaktors eine Kernschmelze als GAU ausschließen.

10 Vgl. auch Gas Turbine-Modular Helium Reactor GT-MHR. – www.ga.com/energy/GT-MHR.

11 Vgl. Energy Multiplier Module (EM2). – www.ga.com/energy/EM2.

Brennstoffen aus LWR beitragen und das Endlagerproblem entschärfen (siehe Abbildung 3).

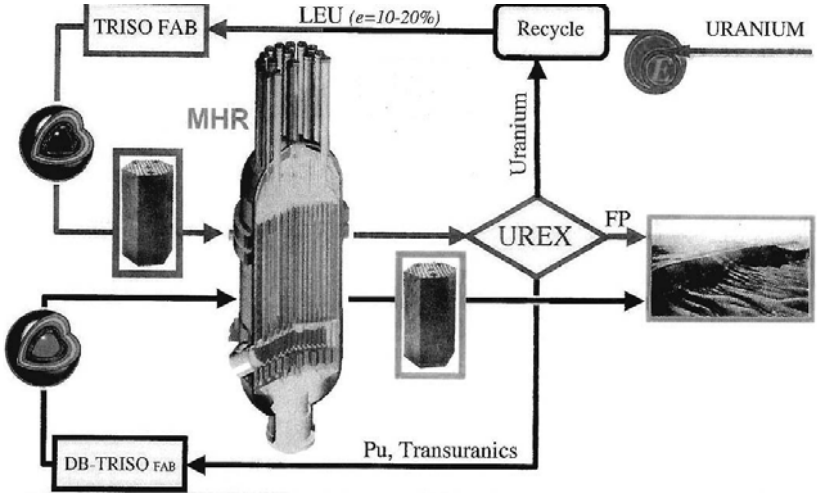


Abbildung 3: Konzept von General Atomics zum Abbau von TUE in einem MHR-Reaktor mittels Deep Burn Prozess
TRISO – beschichtete Brennstoffkügelchen
UREX – Prozess der Extraktion von Uran und TUE aus abgebrannten Brennstoffen
Quelle: www.ga.com/energy/GT-MHR

Eine neuere Konzeption von GA – Energy Multiplier Module (EM^2) genannt – sieht eine mehrfache Wiederaufbereitung und Rezyklierung der Brennstoffe in einem kompakten, gasgekühlten, schnellen Reaktor vor, wodurch ein erheblicher Teil der TUE, inklusive minore Aktinide, verbrannt und der nukleare Energiegehalt des Brennstoffs bei 12-facher Rückführung des Brennstoffs bis zu 50% genutzt werden könnte. Wegen der vielfachen Brennstoff-Rezyklierung beträgt die Abfallproduktion nur ein Bruchteil der eines LWR mit offenem Kreislauf – wie in Abbildung 4 für den Fall eines Reaktors mit 1,2 GW_{el} schematisch dargestellt. Ein weiterer Vorteil dieses Konzeptes besteht darin, dass mit jeder nachfolgenden Rückführung des bestrahlten KB der Einsatz von frischem, angereichertem Uran für die nachfolgende Reaktorbeladung verringert werden kann, so würde langfristig der Bedarf an Urananreicherungskapazität fallen, trotz Zunahme der Elektroenergieproduktion. Durch spezielle Gestaltung einer porösen Brennstoffbeschichtung und angekoppelte Gasreinigung soll erreicht werden, dass der Zeitraum zwischen den

Brennstoffbeladungen bis zu 30 Jahre beträgt.[12] Dieses interessante Konzept wurde kürzlich auch der Blue Ribbon Commision des DOE präsentiert (vgl. Parmentola 2010).

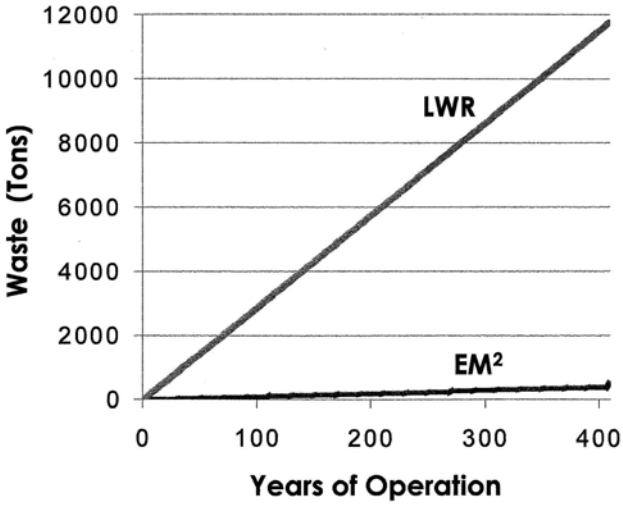


Abbildung 4: Vergleich der produzierten Abfallmengen eines LWR von 1,2 GW_{el} Leistung bei offenem Brennkreislauf mit der Abfallproduktion eines Reaktors gleicher Leistung nach dem EM^2-Konzept, bei einer (hypothetischen) Laufzeit von über zehn Regenerationszyklen des Brennstoffs Quelle: Parmentola 2010

Mit der Einführung in die praktische Nutzung von solchen Reaktorkonzepten, die sich derzeit noch in der Entwicklungsphase zwischen Studien und Pilotprojekten befinden, kann frühestens in 20 bis 30 Jahren gerechnet werden, wobei vermutlich nicht alle derzeitig in Entwicklung befindliche Konzepte sich in der industriellen Praxis tatsächlich durchsetzen werden. Eine endgültige Bewertung der Perspektive einzelner Verfahren für die energetische Praxis ist daher verfrüht.

Schließlich sei noch auf die Möglichkeit hingewiesen, künftig den Thorium-Brennkreislauf aufzubauen. Neben dem Vorzug der größeren natürlichen Verfügbarkeit von Thorium gegenüber Uran besteht sein weiterer Vorteil darin, dass bei diesem Kreislauf weder Plutonium noch andere minore Aktinide

12 Vgl. Energy Multiplier Module (EM2). – www.ga.com/energy/EM2.

entstehen, so dass die Radiotoxizität des verbrauchten Brennstoffs weit unter der beim Urankreiskreislaufs bleibt (vgl. David 2007).

Fall 3.3: Beschleunigergestützte Transmutation (Accelerator Driven Systems ADS)

Eine vollständige Verbrennung aller Isotope der TUE kann nur durch schneller Neutronen erreicht werden, da einige der gebildeten Nuklide im thermischen Neutronenspektrum nicht spaltbar sind. Mit Hilfe eines hochenergetischen Protonenstrahls können beim Beschuss metallischer Targets, beispielsweise aus flüssigem Blei, über den Spallationsprozess hohe Flüsse schneller Neutronen erzeugt werden, die für diesen Zweck geeignet und einsetzbar sind. Die in solchen Feldern bestrahlten Stoffe werden nuklear transmutiert, d.h. in andere Nuklide umgewandelt. Das kann sowohl über Spaltung, wie auch über nukleare Umwandlung unerwünschter Spaltprodukte durch Prozesse vom Typ (n,2n), (n,p), (n,pn) geschehen. Die nukleare Transmutation von verbrauchten KB könnte somit eine aussichtsreiche Methode werden, das Abfall- und Endlagerproblem auf Dauer zu lösen. Eine für die Transmutation geeignete Anlage besteht aus der Kombination eines unterkritischen Reaktors mit angekoppelter Neutronenquelle des Beschleunigers (vgl. EUROTRANS 2010; Müller/Abderrahim 2010).

Das ADS-Projekt der EU befindet sich derzeit in Belgien im Rahmen von EUROTRANS – einem Zusammenschluss von Forschungszentren, Universitäten und Unternehmen – in Arbeit. Die erste Stufe, die ADS-Demonstrationsanlage XT-ADS, soll innerhalb der nächsten Dekade realisiert werden. Ziele dieser Anlage sind: Einen supraleitenden Protonenbeschleuniger (Teilchenenergie 600 MeV, Stromstärke 2,5 mA) mit Spallationstarget (Pb-Bi-Eutektikum) mit einer subkritischen Reaktoranlage (50-100 MW_{th}) zu koppeln, die Transmutation von minoren Aktiniden zu validieren und Grundlagen für die später vorgesehene Errichtung einer European Facility for Industrial Transmutation (EFIT) zu schaffen, in der vor allem die problembehafteten minoren Aktinide transmutiert und somit energetisch genutzt werden (vgl. Müller/Abderrahim 2010).

Ist dieser Weg erfolgreich, so könnten künftig Komplexe, bestehend aus mehreren LWR und einer ADS-Anlage Zellen einer nachhaltigen, weitgehend CO_2-freien Energieerzeugung bilden und gleichzeitig das Endlagerproblem auf praktisch beherrschbare Dimensionen zurückführen, indem 99% des Abfalls vermieden werden. Für Komplexe, bestehend aus LWR, ADS und schnellen Reaktoren der 4. Generation, ergeben sich weitere Chancen,

das insgesamt auf der Erde in den natürlichen Vorkommen von U und Th verfügbare energetische Potential künftig wesentlich vollständiger und zukunftsschonender zu nutzen und so den wachsenden Energiebedarf der Menschheit für mehr als ein Jahrtausend zu decken, ohne dabei das Problem der Abfallentsorgung ungelöst künftigen Generationen zu überlassen.

Es bestehen also berechtigte Hoffnungen, dass auch auf dem Gebiet der Abfallentsorgung für KKW in Zukunft infolge des technisch-technologischen Fortschritts neue Lösungen gefunden werden, welche die Nachhaltigkeit der Elektroenergieerzeugung auf Basis der Kernspaltung positiver bewerten lassen, als das derzeit der Fall ist. Die Umsetzung dieser Pläne in die industrielle Praxis wird allerdings noch mehrere Jahrzehnte sowie beträchtliche Forschungspotentiale und –mittel in Anspruch nehmen. Verständlich sind in diesem Lichte die Schlussfolgerungen einer vielbeachteten Studie des Massachusetts Institute of Technology,[13] dass bei Zunahme der Kernenergienutzung kein Engpass bei der Uranversorgung zu erwarten und verbrauchter KB aus LWR für längere Zeit in zugänglichen Zwischenlagern aufzubewahren sei, bis klar ist, ob und wann die nukleare Elektroenergieversorgung auf Brütertechnologien mit Reaktoren der 4. Generation umgestellt werden kann.

4. Einige Schlussfolgerungen zum Thema Ambivalenzen

- Das zweifellos ambivalente Bild der Uranwirtschaft ist zugleich sehr dynamisch: Getrieben durch den steigenden Bedarf an Elektroenergie – derzeit vor allem in Entwicklungsländern – bewirken die Entdeckung neuer Rohstofflagerstätten weltweit einerseits und die Entwicklung neuer Technologien andererseits seine ständige Veränderung.
- Fortschritte in der Bergbautechnologie – in den vergangenen Jahren betrifft das insbesondere den in-situ Abbau von Uran mittels Laugung – führten bereits zu wesentlich verbesserter Umweltverträglichkeit und stark reduzierten Folgekosten für die Rehabilitierung der Natur. Kontinuierliche Exploration immer neuer Lagerstätten trägt dazu bei, dass bei effizientem Umgang mit dem Rohstoff Uran (und später auch Thorium) die Möglichkeiten künftiger Generationen, diese Energiequelle für die Bedarfsdeckung zu wählen, nicht durch Verknappung der Ressourcen eingeschränkt werden.
- In der Entwicklung befindliche Konzepte der vierten Reaktorgeneration

13 Vgl. http:/web.mit.edu/press/2010/nuclear-report-release.html.

und von beschleunigergestützten Transmutationsanlagen versprechen für die Zukunft nicht nur inhärente nukleare Sicherheit und wesentlich höhere Effizienz bei der Brennstoffnutzung, sondern auch stark reduzierte Anforderungen an die Abfallentsorgung und optimalen Schutz gegen Terroranschläge.

- Wenn es gelingt, auch die genannten Entwicklungen der Kernbrennstoffwirtschaft in der industriellen Praxis der Elektroenergieerzeugung zu implementieren, würde das zugleich eine deutliche Verbesserung im Hinblick auf die Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit dieser Form der Energiegewinnung bedeuten.
- Auf lange Sicht optimierte Energiestrategien sollten nicht allein auf den momentanen Ambivalenzen oder singulären Negativereignissen basieren, sondern die Entwicklungsdynamik der Uranwirtschaft berücksichtigen und ausreichend Variationsmöglichkeiten für die künftig einzuschlagenden Wege der nachhaltigen industriellen Elektroenergiegewinnung zulassen. Das bedeutet auch, unterschiedliche Optionen der Energieerzeugung parallel zu verfolgen, bis hin zur Errichtung von Demonstrationsanlagen, die Schlussfolgerungen über die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Betriebs zulassen.
- Technologische Forschung und Entwicklung sowie die zugehörige Ausbildung von Fachkräften sollten stets mit ausreichender Breite erfolgen, um auch künftig rechtzeitig auf neue technologische Lösungsmöglichkeiten eingehen zu können.
- Nur aus der allseitigen Betrachtung der Ambivalenzen für die verschiedenen Wege der Energiegewinnung und ihrer vergleichenden Bewertung in ihrem dynamischen Wandel können tragfähige, nachhaltige Konzepte für die Zukunft abgeleitet werden.
- Eine bemerkenswerte Initiative startete die Europäische Kommission im Jahr 2006 indem sie die Absicht erklärte, eine gemeinsame Energiepolitik der Mitgliedsländer zu verfolgen, um zukünftigen Herausforderungen gerecht zu werden – ein Weg, gemeinsame Interessen der Mitgliedsländer auf dem Energiesektor im Kontext mit ihren nationalen Interessen nachhaltig zu lösen (vgl. EC 2006; SNEPT 2009).

Literatur

David, S.; Huffer, E.; Nifenecker, H. (2007): Revisiting the Thorium-Uranium Nuclear Fuel Cycle. In: Europhysicsnews, Vol. 38, No. 2, pp. 24-27. –

URL: http://www.europhysicsnews.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/epn/pdf/2007/02/epn07204.pdf

EPS – European Physical Society (2007): Energy for the Future – The Nuclear Option. A Position Paper. Mulhouse. – URL: http://www.energethique.com/fiches_pdf/EPS_PositionPaper%20The%20Nuclear%20Option.pdf

EC – Commission of the European Communities (2006): Green Paper – A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy. Brussels, COM(2006) 105 final. –
URL: http://europa.eu/documents/comm/green_papers/pdf/com2006_105_en.pdf

EUROTRANS (2010): EUROpean Research Programme for the TRANSmutation of High Level Nuclear Waste in Accelerator Driven Systems. Karlsruhe (FZK). –
URL: http://nuklear-server.ka.fzk.de/OFMS/Web%2FMain%2FGeneral-News%2FIPEUROTRANS_ProjectDescription_051005_final.pdf

OECD NEA – Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency (2009): A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. Paris, 21.08. –
URL: http://www.gen-4.org/Technology/roadmap.htm

Hagen, M.; Gatzweiler, R.; Jakubik, A. (2000): Status and Outlook for the Wismut Remediation Project in the States of Thuringia and Saxony, Germany. In: Proceedings of the International Conference "Radiation Legacy of the 20th Century" (RADLEG-2000). Moscow, Oct. 30 to Nov. 2, pp. 233-243

Hauff, V. (Hg.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtlandbericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven

Heinze, G.; Märten, H.; Schreyer, J.; Seeliger, D.; Sommer, K.; Vogel, D. (2002): Flood Water Treatment by Improved HDS-Technology. In: Merkel, B.; Planer-Friedrich B.; Wolkersdorfer, Chr. (eds.): Uranium in the Aquatic Environment. Berlin a.o., pp. 785-792

IAEA – International Atomic Energy Agency (2010): Nuclear Energy Development in the 21st Century. Global Scenarios and Regional Trends. Vienna, November 17 (IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-1.8)

Kalka, H.; Märten, H.; Münze, R. (2002): Flooding and Post-Flooding Scenarios Dynamics and Geochemistry. In: Merkel, B.; Planer-Friedrich B.; Wolkersdorfer, Chr. (eds.): Uranium in the Aquatic Environment. Berlin a.o., pp. 1021-1028

Märten, H.; Seeliger, D.; Sommer, K. (1999): Uranfällung mit Wasserstoffperoxyd aus sauren Bergbauwässern im Rahmen von Sanierungsarbeiten. In: Freiberger Forschungshefte, Nr. A 853 (Grundstoff-Verfahrenstechnik), S. 125-136

Märten, H.; Schreyer, J.; Seeliger, D.; Sommer, K. (2002): Uranium Removal from Flood Water at Königstein Mine. In: Merkel, B.; Planer-Friedrich B.; Wolkersdorfer, Chr. (eds.): Uranium in the Aquatic Environment. Berlin a.o., pp. 763-768

Müller, A.; Abderrahim, H. (2010): Transmutation von radioaktivem Abfall. In: Physik Journal, Jg. 9, November, S. 33-36

OECD/IAEA – Organisation for Economic Co-operation and Development/International Atomic Energy Agency (2010): Uranium 2009: Resources, Production and Demand („Red Book"). Joint Report. Paris

Parmentola, J. (2010): Energy Multiplier Module EM2. Changing the Game for Nuclear Energy. Presentation on BRC Meeting, Washington, August 30-31. – URL: http://brc.gov/Reactor_Fuel_Cycle_Technology_SC/RFCT_SC_08_30_10mtginfo.html

Rubbia, C. (2001): The European Roadmap for Developing ADS for Nuclear Waste Incineration. Ed. by The European Technical Working Group on ADS (Accelerator Driven Systems). Roma. – URL: www.enea.it; www.enea.it/com/ingl/New-ingl/publications/ads.html

Schreyer, J.; Zimmermann; U.; Jenk, U. (2002): Flooding of the Königstein Mine up to 80 m above Sea Level – Prediction and Reality. In: Merkel, B.; Planer-Friedrich B.; Wolkersdorfer, Chr. (eds.): Uranium in the Aquatic Environment. Berlin a.o., pp. 755-762

SNEPT – Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (2009): Strategic Research Agenda. Report. Brussels. – URL: http://www.snetp.eu/www/snetp/images/stories/Docs-AboutSNETP/sra2009.pdf

WISMUT – WISMUT GmbH Chemnitz (2000/2009): Umweltberichte. 2000 bis 2009. – URL: http://www.wismut.de/de/umweltberichte.php

WNA – World Nuclear Association (2010): Small Nuclear Power Reactors. London. – URL: http://world-nuclear.org/info/default.aspx?id=534&terms=small%20nuclear%20reactors

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 103–116*

Herbert Hübner, Ernst-Otto Reher

Ambivalenzen der Kunststofftechnologie – Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts

1. Einführung

1.1 Die stoffliche Basis der Kunststofftechnologie

Kunststoffe sind nicht natürlich vorkommende Stoffe, sie sind Produkte der chemischen Technologie. Nach Herkunft und Aufbau können die Kunststoffe in vier Gruppen dargestellt werden:

- *Kunststoffe aus Naturstoffen*. Ausgangsstoffe sind Milch, Gummibaumsaft (Latex), Holz, Baumwoll-Linters, Vulkanfiber (1859), Celluloid(um1870) und Kunsthorn sind die ältesten Kunststoffe (vgl. Saechtling 1989).
- *Klassische Kondensationsharzkunststoffe*. Ausgangsstoffe sind Kohle, Wasser, Luft und Kalk. Die Verarbeitungstechnologie dieser duroplastischen Kunststoffe als technische Harze mit Füllstoffen beruht auf den Erfindungen Leo H. Baekelands (Bakelite) um 1910 (vgl. Saechtling 1989).
- *Polymerisationskunststoffe*. Ausgangsstoffe sind Erdöl, Erdgas und Kohle. Die Grundlagen für den systematischen Aufbau von thermoplastischen Kunststoffen mit fadenförmigen Makromolekülen durch Polymerisation ungesättigter Verbindungen legten die Arbeiten Hermann Staudingers ab 1922 (vgl. Saechtling 1989).
- *Kunststoffe aus mehrfunktionellen Zwischenprodukten*. Ausgangsstoffe sind Ricinusöl, Teere, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Kohlenoxid und Quarzsand. Diese aus den 1950iger Jahren stammenden Kunststoffe werden über definierte Zwischenprodukte, durch vielfältige Kombinationen weniger Grundreaktionen hergestellt (vgl. Saechtling 1989).
- Kunststoffverbundwerkstoffe mit Fasern und textilen Flächengebilden. Ausgangsstoffe sind Glasfasern, Kohlenstofffasern, Aramidfasern, Polyethylenfasern, Vliese, Geflechte und Gestricke. Sie stellen eine Werkstoffgruppe dar, die viele High-Tech-Produkte erst ermöglichte (vgl. Michaeli/Wegener 1989).

1.2 Charakterisierung der Kunststofftechnologie

Zur Kunststofftechnologie gehören alle Arten der Herstellung, Verarbeitung und Anwendung der oben genannten Stoffgruppen. In Abbildung 1 sind die wesentlichen Bestandteile der Kunststofftechnologie und ihre Wechselbeziehungen dargestellt.

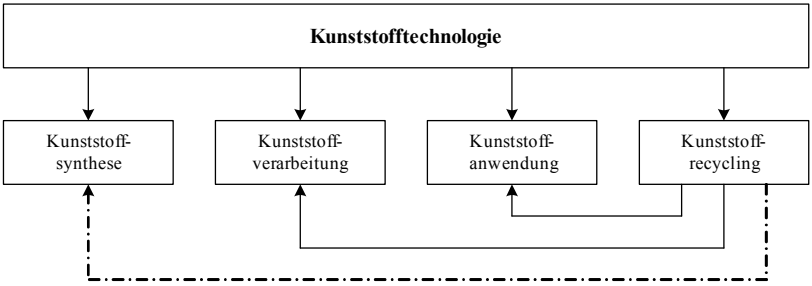


Abbildung 1: Bestandteile der Kunststofftechnologie
eigene Darstellung

Kunststoffherstellung

Kunststoffe sind Konstruktions- und Funktionswerkstoffe, die im 20. Jh. entdeckt und industriell hergestellt wurden und danach weiterentwickelt wurden und werden. Sie sind einerseits Massenprodukte aus Chemieanlagen mit Millionen Jahrestonnen, aber auch Spezialprodukte aus Kleinstanlagen mit wenigen Kilogramm einer Jahresproduktion. Es sind Werkstoffe „nach Maß", die in einem großen Bereich thermomechanischer Beanspruchungen eingesetzt werden können. Die Syntheseverfahren arbeiten selektiv, sodaß Kundenwünsche weitestgehend erfüllt werden können.

Dabei ist ein Rückblick auf die Entwicklung der Kunststoffherstellung interessant. Als Naturstoffe nicht mehr ausreichend verfügbar waren bzw. den Anforderungen nicht mehr genügten, mußte nach Lösungen gesucht werden. Daraus entstand eine

- Produktion nach Anwendungsbedarf,
- dann nach Aufwandsoptimierung,
- dann nach Umweltauswirkungen, gleichzeitig
- mit Möglichkeiten des Recyclings und der Mehrfachnutzung.

Diese Tendenz ist sowohl für die Stoffe als auch für die Technologien zur Herstellung und Verarbeitung gültig.

Die weltweit produzierte Menge an Kunststoffen zeigt Abbildung 2.

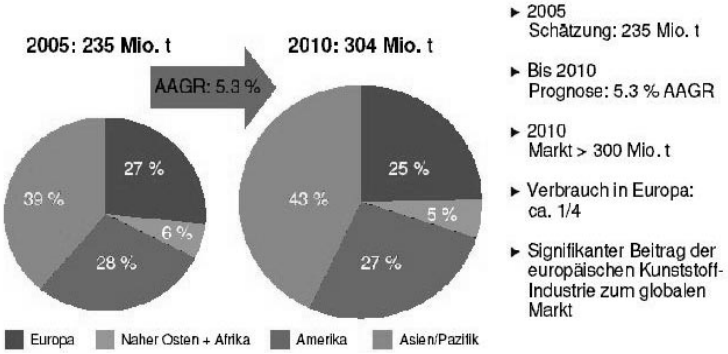


Abbildung 2: Welt-Kunststoffproduktion 2005 – 2010
Quelle: Plastics Europe

Kunststoffverarbeitung

Die Syntheseprodukte werden hauptsächlich im fluidem Zustand und in reiner Form oder in verstärkter Form zu Erzeugnissen verarbeitet. Dazu werden die Ausgangs-stoffe konditioniert, d.h. homogenisiert, entgast und ausgeformt. Präzisionsformteile von << 1 g Gewicht bis Großformteile von > 100 kg Gewicht, Hohlkörper für 20.000 l Inhalt, Rohre bis 1,5 m Durchmesser, Folien bis 8 m Breite, Tafeln bis 3,5 m Breite und v.a.m können hergestellt werden. Der Anlagenbau zur Kunststoffverarbeitung hat in Deutschland eine große Tradition und gehört zu den Weltmarktführern.

Im Lehrbuch „Verarbeitungstechnik“ ist eine ausführliche Verfahrensübersicht in Abhängigkeit von den Verarbeitungsgütern enthalten, auf die hier verwiesen sei (vgl. Autorenkollektiv 1978, S. 70-73).

Kunststoffanwendung

Die Kunststoffe sind in alle Lebensbereiche der menschlichen Gesellschaft eingezogen. Eine Aufzählung einzelner Bereiche ist deshalb müßig. Lediglich eine prozentuale Verteilung der Anwendungsbereiche wird in Abbildung 3 angegeben.

Die Anwendungstechnik erschließt ständig neue Märkte. Sie verbessert stets die Gebrauchswerteigenschaften bekannter Kunststoffe und regt zu Neuentwicklungen an. Das Potenzial der Makromoleküle wird durch die Nano-Bio-Information-Technology, die sogenannten Converging Technologies, in der Zukunft weiter entfaltet werden.

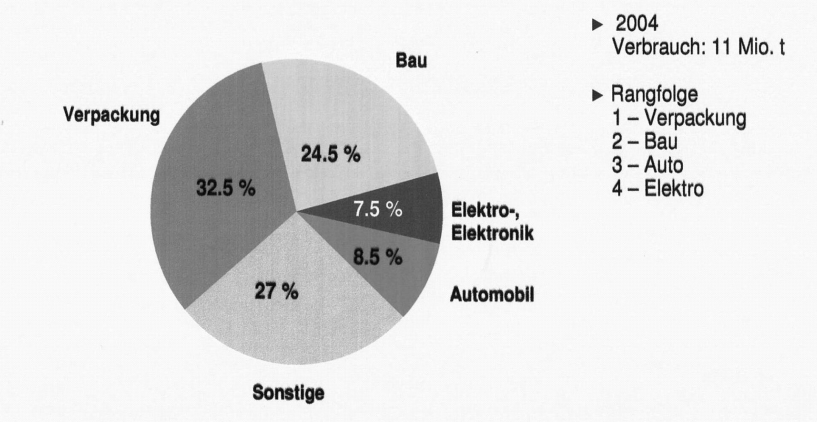


Abbildung 3: Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten (Deutschland 2004)
Quelle: Plastics Europe

Kunststoffrecycling

Gebrauchte Kunststoffe werden einer Wiederverwendung oder Weiterverwertung zugeführt. Das ist schon erforderlich, weil die meisten Kunststoffe sich nicht natürlich abbauen. Man bedient sich dabei des mechanischen Recyclings, der thermischen Verwertung und der stofflichen Neuverwertung durch chemische und/oder biotische Umwandlung. Problematisch ist immer noch die Trennung der Kunststoffe aus Abfällen, vorwiegend aus dem Hausmüll.

2. Chancen durch die Kunststofftechnologie und ihre Erzeugnisse

Der Weltverbrauch an Kunststoffen ist stetig steigend und liegt nach Stahl und Eisen auf dem zweiten Platz. In führenden Industrieländern USA, BRD, Japan, Frankreich liegt der Pro-Kopf-Verbrauch pro Jahr bei 100 kg. In Deutschland sind Millionen Arbeitsplätze durch die Kunststoffindustrie geschaffen worden (siehe Abbildung 1). Der Energieverbrauch zur Herstellung von Erzeugnissen ist im Vergleich zu Metallen nur ein Bruchteil (ca. 10 – 30%). Ausführliche Darstellungen und Vergleiche der Werkstoffgruppen mit den Kunststoffen sind bei Georg Menges (vgl. Menges 1990) und zu Kunststoffeigenschaften bei Hansjürgen Saechtling (vgl. Saechtling 1989) zu finden.

2.1 Kunststofftechnologie

Die Kunsstofftechnologie kann auf einen leistungsfähigen Maschinen-und Anlagenbau (Synthese, Verarbeitung, Anwendung, Recycling) zurückgrei-

fen, der mit den angebotenen Ausrüstungen über den Kunststoffbereich hinaus andere Industriezweige versorgt, wie z.B. die Lebensmittelindustrie, die Glas- und Keramikindustrie, die Elektronikindustrie u.a. Bereiche, in die der Technologietransfer hineinreicht.

Durch die nanotechnologischen Einbringungen in die Kunststoffmatrix werden heute neue Ausrüstungen erforderlich, die einen gefahrlosen Umgang mit Nano-Partikeln gewährleisten. Die Technologiestandorte der Kunststoffe verlagern sich immer stärker zum Rohstoffvorkommen für neue Kunststoffe, während gebrauchte Kunststoffe fast ausschließlich in dezentralen, örtlichen Anlagen verarbeitet werden.

Der spezifische Arbeitskräfteeinsatz in der Kunststofftechnologie ist auf Grund kontinuierlicher Prozeßführungen, eines hohen Automatisierungsgrades der Anlagen sowie einfacher und leicht beherrschbarer Transport-, Umschlag und Lagerprozesse äußerst gering. Die Emissionen aus der Kunststofftechnologie sind äußerst gering. Abfälle werden sofort in den technologischen Kreislauf zurückgeführt. Für spezielle Erzeugnisse, z.B. der Medizintechnik und der Elektronik, sind Reinstraumbedingungen erforderlich, die durch geschlossene Ausrüstungen gewährleistet werden können und damit auch schon Anforderungen nanotechnologischer Prozesse erfüllen. Durch Konzentration der Synthesen (Chemieanlagen) und der Halb- und Fertigerzeugnisherstellung (Kunststoffverarbeitungsanlagen) an einem Standort werden erhebliche energetische Vorteile erreicht. Die Kunststoffschmelze aus der Chemieanlage wird sofort zu Formteilen verarbeitet bzw. in später leicht formbares Granulat überführt.

2.2 Zu Kunststofferzeugnissen

Kunststofferzeugnisse haben folgende wesentliche Eigenschaften: Sie

- sind viskoelastisch verformbar;
- haben ein geringes spezifisches Gewicht;
- haben eine geringe Wärmeleitung;
- sind gegen viele äußere Einflüsse resistent;
- können eingefärbt werden;
- können leicht funktionalisiert werden;
- können modifiziert werden u.a.

Alle diese Eigenschaften lassen sich durch Beigaben, Prozeßführungen in eine gewünschte Richtung verändern (Legierungen und Füllstoffe, Kristallisation, Vernetzung). Somit entstehen Konstruktionserzeugnisse, die unsere Lebensqualität verbessern können.

Kunststoffe lassen sich leicht in eine beliebige Form bringen und haben ein günstiges Leistungs- Masseverhältnis. Durch den Einsatz von Kunststoffen lassen sich optimale Konstruktionslösungen finden, die zu Einsparung von Ressourcen führen (z.B. Energie bei Fahrzeugen, Raketen, Haushaltsgeräten, Maschinenteilen u.a.), die in aggressiven Medien in der Chemie, grundsätzlich in der Technik, im Haushalt, in der Medizin u.a. eingesetzt werden können, wo andere Werkstoffe versagen (z.B. Behälterauskleidungen, Beschichtungen, Zahnräder, Pumpen), die medizinisch unbedenklich sind (Spritzen, Beutel, Kapillaren, Linsen, Prothesen). Aber auch als Funktionslösungen finden Kunststoffe immer mehr Anwendungs-gebiete (Halbleiter, Strom- und Lichtleiter, Isolatoren, Dichtungen, Transportbänder u.a.). Beispielhaft kann erwähnt werden, dass ein Auto, das in der Regel 150 kg Kunststoffe enthält, umweltfreundlicher und ressourcenschonender wird, Treibstoff einspart (durch Gewichtsreduzierung: Kunststoffe anstelle Metall) und den CO2-Ausstoß reduziert, weiterhin den Reifenabrieb verringert und dadurch weniger krebserregende Nanoteilchen in die Luft emittiert.

Dreamliner von Boing	20 % Kerosineinsparung	Faserverbunde mit Kunststoffen
Ultralite Hypercar von General Motors	3-4 mal leichter, Ressourcenersparnis bei Karosse, Reifen; Luftwiderstand geringer, hohe Treibstoffeffizienz	Faserverbunde mit Kunststoffen
Flügel von Windenergie-Anlagen	Gewichtseinsparung, Schwingfestigkeit	Faserverbunde mit Kunststoffen
Bauteile in der Raumfahrt	Gewichtsreduzierung, Wärmedehnung zu Null einstellbar	Faserverbunde mit Kunststoffen
Anlagenbau	chemische Beständigkeit	Faserverbunde mit Kunststoffen
Maschinenbau	geringe Massenträgheit, hohe Schwingfestigkeit, Wartungsarmut	Faserverbunde mit Kunststoffen
Sportgeräte aller Art	Leichtigkeit, Festigkeit, Elastizität, Verschleißfestigkeit	Faserverbunde mit Kunststoffen

Tabelle 1: Ausgewählte High-Tech-Produkte aus Kunststoffen
eigene Darstellung

Von zentraler Bedeutung ist also die Gewichtsreduzierung bei den Artefaktentwicklungen. Autos könnten bei Anwendung modernster Verbund werkstoffe drei- bis viermal leichter werden bei gleicher Funktionserfüllung.

Derartige Beispiele können aus allen Bereichen der Produktion und der Konsumtion nachgewiesen werden (siehe Tabelle 1). Allerdings sind diese Möglichkeiten derzeit noch durch die Aufwendungen für solche modernen Werkstoffe nicht unbedingt „ökonomisch".

Wenn die Gewichtsreduzierung Vorteile bringt, können durchaus andere Eigenschaften, wie z.B. die schlechte Wärmeleitung, Nachteile bringen. Bei Entwicklungsarbeiten, wo Kunststoffe eine Rolle spielen, muss stets eine Polyoptimierung vorgenommen werden. Kunststoffmodifizierungen, wie oben genannt, liefern einen großen Spielraum für optimale Anwendungen.

Ökobilanzen mit Kunststoffen („Von der Wiege bis zur Bahre"!!) fallen in der Regel günstiger aus als mit anderen Werkstoffen, sie müssen aber angestellt werden, um überzeugend die ökonomischen und ökologischen Vorteile der Kunststoffanwendungen nachzuweisen.

3. Gefahren durch die Kunststofftechnologie und ihre Erzeugnisse

So, wie jede Technologie, aber auch besonders durch ihre Erzeugnisse, Gefahren für Mensch, Tier und Umwelt bereiten kann, so stellt auch die Kunststofftechnologie mit ihren Produkten ein Gefahrenpotenzial dar. Auf diese Gefahren soll in den folgenden Abschnitten eingegangen werden.

3.1 Kunststofftechnologie

In Bezug zu Abbildung 1 können Gefahren in allen Bereichen der Kunststofftechnologie, d.h. bei der Synthese, bei der Verarbeitung, bei der Anwendung und beim Recycling der Kunststoffe in den jeweiligen Anlagen auftreten. In der Vergangenheit sind größere Unglücksfälle in den Anlagen bekannt geworden, die insbesondere die Kunststoffherstellung betrafen. Beispielhaft dafür ist die „CBG-Liste" der Unfälle bei der BAYER AG, in der die Störfälle dieses Unternehmens von 1980 bis 2010 aufgeführt sind. Der Schaden hinsichtlich Menschenleben und Sachwerten war in all diesen Fällen erheblich.

Die Chemische Industrie hat aus den Ursachen stets Konsequenzen abgeleitet – sowohl die verfügbare Sicherheitstechnik als auch die Ausbildung (Antihavarietraining) betreffend – mit der Tendenz, die (negative) subjektive Einflußnahme auf Prozesse ständig zu minimieren. Der Übergang von Gasphasenreaktionen zu Flüssigphasenreaktionen war ein großer Schritt zu einer

weniger Gefahrenpotenzial enthaltenden Technologie. Die Katalyseforschung kann einen der wichtigsten Beiträge auch zur Gefahrenminderung leisten. Der Austritt schädlicher Stoffe aus Chemieanlagen in die Atmoshäre oder ihre Einleitung in Gewässer oder in das Erdreich kann auch heutzutage bei der Herstellung von Kunststoffen noch nicht immer ausgeschlossen werden. Es wurde aber besonders in modernen Industriestaaten sowohl durch Förderung entsprechender Entwicklungen wie auch Zulassungsbestimmungen nationaler und internationaler Form eine ständige Verbesserung erreicht. Vor allem die sogenannten Schwellenländer bedürfen in dieser Hinsicht konkreter Hilfe, um Entwicklungsfehler zu vermeiden (vgl. Miserre 2009).

Die Verarbeitungstechnologie birgt Gefahren besonders bei der Maschinen- und Anlagenbedienung und durch verwendete Hilfsstoffe wie auch durch entstehende flüchtige Stoffe (Monomere, Lösungsmittel, Weichmacher, Dispergatoren, Farbstoffe u.a.) aus den Verarbeitungsanlagen. Offene Maschinen wie Walzwerke, Kalander, Pressen sind mit umfangreicher Sicherheitstechnik ausgerüstet, um das Bedienungspersonal, aber auch die Anlagen selbst zu schützen. Sensoren vielfältiger Art sind Stand der Technik. Emmissionen werden vor allem durch geschlossene Systeme minimiert oder verhindert.

Die normierten Anforderungen an Verfahren und Ausrüstungen sind in dieser Hinsicht aber international noch sehr unterschiedlich und wegen damit verbundener möglicher Kostensenkungen ein Anreiz für die Auslagerung von Produktion und Verarbeitung in Länder mit weniger strengen Regelungen zum Nachteil für die Umwelt.

Die Kunststoffrecyclingtechnologie hat in Deutschland einen hohen Stellenwert; trotzdem wird zunehmend Kunststoffabfall exportiert, weil dort vor allem billige Arbeitskräfte für noch unvermeidliche Technologieschritte (Sortierung) verfügbar sind und auch die Deponie weniger aufwändig ist. Leider werden Verbundwerkstoffabfälle mit Kunststoffen oft nur energetisch genutzt, obwohl eine stoffwirtschaftliche Nutzung der Kohlenstoffträger besser wäre. Dazu bedarf es aber auch neuer technologischer Lösungen zum Erhalt dieser Ressourcen.

Die Kunststofftechnologie führt zu einer kohlenstoffverbrauchenden Industrie, die als Rohstoffe Erdöl, Erdgas, Kohle und zunehmend auch nachwachsende Rohstoffe (Holz, landwirtschaftliche Produkte) verbraucht und auch damit die Umwelt belastet. Das ist auch der Fall, wenn aus Kostengründen (besser wegen des Profites) illegale Deponien angelegt und eine Wiederverwertung wertvoller Stoffe verhindert wird.

3.2 Kunststofferzeugnisse

Kunststofferzeugnisse können sowohl als Konstruktionsprodukte wie auch als Funktionsprodukte bei nicht sachgemäßer Anwendung ein großes Gefahrenpotenzial darstellen und zu erheblichen Schäden oder Katastrophen führen. Beispiele dafür sind:

- das Challenger Unglück;
- Schadstoffaustritte bei Bränden (Dioxine, Chlor u.a.) führen zu Vergiftungen;
- Produkte von Billiganbietern (Spielzeug, Kleidung, Verpackung), oft aus dem Ausland durch Verwendung schädlicher Beimengungen in den Kunststoffen;
- Produktversprödungen bei unzulässiger Langzeitnutzung (Autoreifen, Maschinen-und Gebäudekonstruktionen u.a.);
- unsachgemäßer Materialeinsatz aus Kostengründen kann zu Krankheiten (Allergien) führen;
- Schadstofffreisetzung aus Müllverbrennungsanlagen bei unvollständiger Verbrennung der Kunststoffe.

Die Gründe für die Gefahren beim Umgang mit Kunststofferzeugnissen sind in der Regel die Nichtbeachtung der mechanischen und physiko-chemischen Eigenschaften der Erzeugnisse unter ihren momentanen Einsatzbedingungen. Die ungenügende Erfahrung im Umgang mit modifizierten, oft nicht ausreichend gekennzeichneten Kunststoffen (keine Auszeichnungspflicht wie bei Lebensmitteln) stellen stets ein Risiko für Menschen und Umwelt dar. Obwohl die Anwendungstechnik umfangreiche Untersuchungen durchführt, deren Ergebnisse den Anwendern zugänglich macht und in Anwendungsvorschriften mitteilt (Rezepturen), entstehen immer wieder neue, nicht erkannte (Gefahren-)Situationen.

Mensch und Gesellschaft werden bei neuartigen Produkten nicht selten Opfer und Untersuchungsobjekt bei neuen Entwicklungen der Technologie (z.B. bei Medikamenten) mit ihren Erzeugnissen, so auch durch die Kunststofftechnologie. Einen Denkanstoß haben Gerhard Pretting und Werner Boote mit ihrem Film bzw. Buch „Plastic Planet“ gegeben, indem sie in sehr drastischen Beispielen die „dunkle Seite der Kunststoffe“ belegen (vgl. Pretting/Boote 2010).

4. Missbrauch der Kunststofftechnologie und ihrer Erzeugnisse

Der Mißbrauch der Kunststofftechnologie einschließlich ihrer Ausrüstungen kann natürlich auch für andere Erzeugnisse (z.B. Sprengstoffe, Gifte) erfolgen.

Wesentlich aber scheint der Mißbrauch mit Kunststofferzeugnissen zu sein.

So werden Plastikbomben hergestellt oder für Kriegszwecke spezielle Geschosse entwickelt, die zu tödlichen Verletzungen führen. Jugendliche können Kunststoffspielzeug (Waffen) erwerben, um damit „Krieg zu spielen". In der Kriegstechnik ist eine Vielzahl von Kunststoffartikeln im Einsatz, ohne die diese Technik gar nicht funktionsfähig bzw. nicht so effektiv wäre (Fahrzeuge, Waffen, Flugzeuge, Fallschirme usw.). Für Überwachungsstrukturen werden Sensoren (Nanoteilchen, Miniflugkörper) aus Kunststoffen eingesetzt, wobei allerdings bestimmte und (zunächst) nur missbräuchlich gewollte Anwendungen später auch sinnvoll für die Gesellschaft nutzbar werden.

Der Mißbrauch der Kunststoffe im zivilen Bereich erfolgt meistens aus Kostengründen und setzt die Nutzer einem hohen Risiko aus, das nicht selten zu schweren Erkrankungen oder zum Tode führt. In manchen Fällen ist auch Unkenntnis von Entscheidungsträgern ursächlich, obwohl von kompetenten Personen auf die Gefahren hingewiesen wird. Beispiele sind:

- das Challenger-Unglück: Ursache war eine falsche Kunststoffdichtung;
- Unglück der Columbia-Raumfähre: Ursache war ein Kunststoffhartschaumelement. Hier hatte die Ignoranz tödliche Folgen.

Gezielter Missbrauch von Kunststofferzeugnissen ist nicht immer nachzuweisen. Die Beweisführung ist oft kompliziert, und oft läßt sich nur Nachlässigkeit, Sorglosigkeit, Unkenntnis oder Ignoranz der Sachlage belegen. Anders bei der Kriegstechnik, wo Vernichten, Verletzen, Zerstören und Töten Ziel der Anwendung ist.

5. Wege zur Erhöhung der Chancen, zur Minderung der Gefahren und Verhinderung des Missbrauchs der Kunststofftechnologie und ihrer Erzeugnisse

5.1 Technikfolgenabschätzung

In Abbildung 4 sind schematisch die Wechselbeziehungen zwischen Technologie und Kontroll- und Begleitgremien dargestellt. Die Technikfolgenabschätzung sollte vorbeugend, aber mindestens Technologieentwicklungen begleitend, wirksam werden (vgl. dazu den sogenannten „Technologietrichter" in Banse/Reher 2004, S. 7; Reher/Banse 2004, S. 147).

Eine Erweiterung der Technikfolgenabschätzung durch Begleitforschung erscheint uns noch komplexer und wirksamer zu sein. Ulrich Fiedeler und Michael Nentwich benennen zur Begleitforschung die folgenden Aspekte (vgl. Fiedeler/Nentwich 2009):

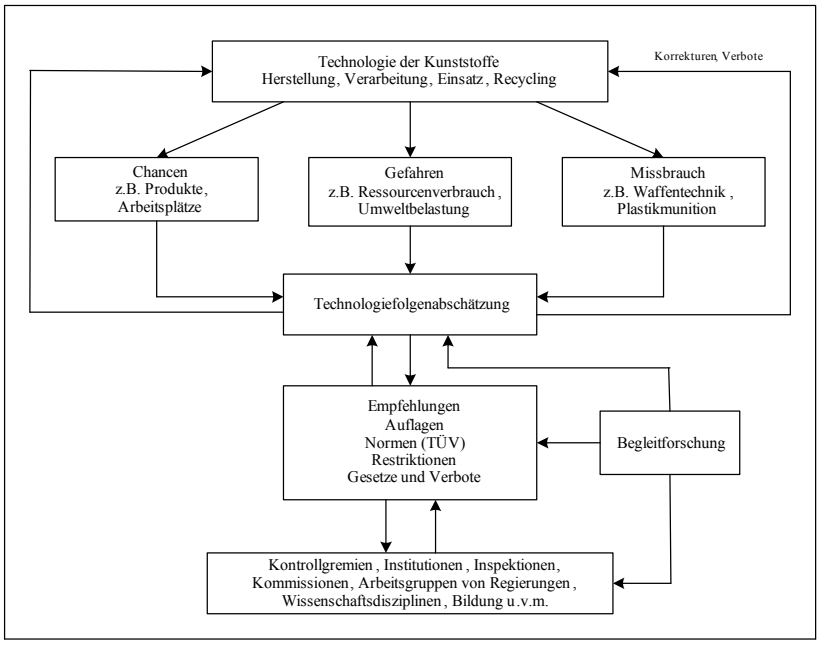


Abbildung 4: Wechselbeziehungen zwischen Technologie und Kontroll- und Begleitgremien eigene Darstellung

- Umwelt -und Gesundheitsauswirkungen, Sicherheitsaspekte;
- ethische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte;
- wissenschaftstheoretische und kultursoziologische Aspekte;
- Technikfolgenabschätzung;
- Risikowahrnehmung, Risikokommunikation;
- Informations- und Kommunikationsprojekte;
- Anwendung der Technologie;
- Aus- und Weiterbildung;
- Aktivitäten zur Vernetzung.

Diese Aufzählung der Begleitforschung zeigt den komplexen Betrachtungsumfang zur Technologieentwicklung, den Betrieb und den Rückbau von Technologien, der mit den naturalen, sozialen und humanen Dimensionen der Technologie charakterisiert wird (vgl. Ropohl 1979, S. 32; 2001, S. 18).

Aus der obigen Aufzählung zur Begleitforschung und bei Beachtung der naturalen, sozialen und humanen Dimensionen der Technologie kann eine

Systematik für die Kunststofftechnologie mit ihren Erzeugnissen entwickelt werden, in der die Technikfolgenabschätzung integrierter Bestandteil ist (siehe Abbildung 5).

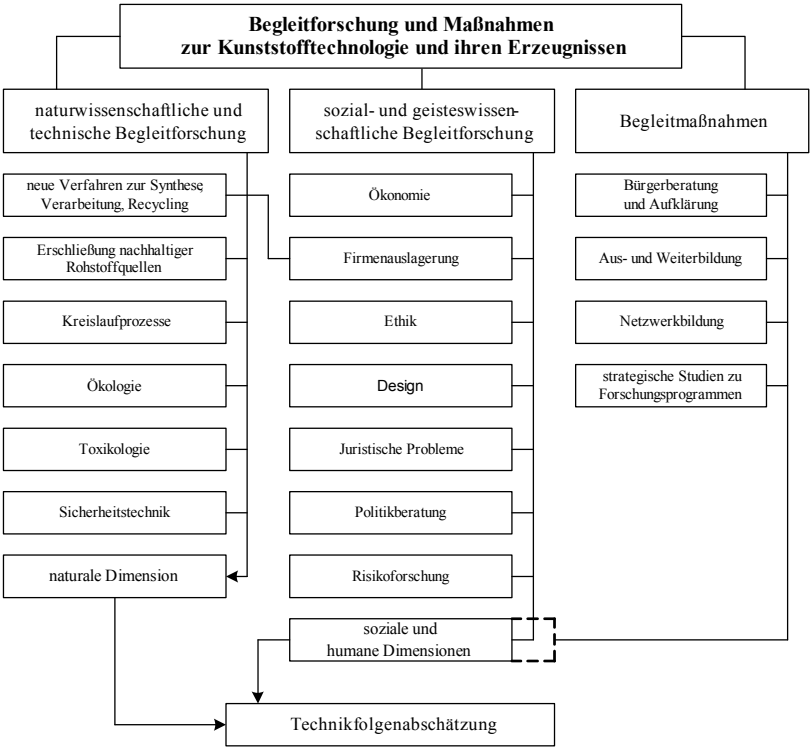


Abbildung 5: Begleitforschung für die Kunststofftechnologie
eigene Darstellung

Bei der Realisierung dieses Konzepts können die Chancen der Kunststofftechnologie mit ihren Erzeugnissen verbessert, die Gefahren vermindert und ein Mißbrauch verhindert werden.

5.2 Kontrollorgane zur Kunststofftechnologie und ihrer Erzeugnisse

In der BRD gibt es eine Vielzahl von staatlichen und privaten Einrichtungen, die sich mit den Ambivalenzen von Technologie und Technik beschäftigen. Sie geben der Politik und der Wirtschaft Auskünfte und Beratungen anhand

von Analysen und Gutachten durch Spezialisten. Auch individuelle Beratungen durch Verbraucherzentralen sind möglich.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit können exemplarisch folgende Einrichtungen genannt werden:

- BfR – Bundesinstitut für Risikoforschung;
- BAM – Bundesanstalt für Materialprüfung;
- ITAS – Institut für Technikfolgeabschätzung und Systemanalyse im Karlsruher Institut für Technologie (KIT);
- TÜV – Technische Überwachungsvereine (z. B. Nordrhein-Westfalen).

Es muss auch auf die aktuelle Gesetzgebung aufmerksam gemacht werden, z.B. Gesetz zur Überprüfung aller Chemikalien, ISO 26000-Internationale Norm mit Leitlinien zur sozialen Verantwortung, die 2010 in Kraft treten soll, Gesetze über Grenzwertfestlegungen bei Erzeugnissen wie Verpackungsmaterial, Spielzeug, Bekleidung u.a. aus Kunststofferzeugnissen.

Aktuell sind derzeit die Diskussionen zum Klimawandel, an dem besonders die Material-, Energie- und Informationstechnologien beteiligt sind, Grenzwerte einzuhalten, die durch den Gesetzgeber gefordert werden.

Es ist nicht möglich, alle Maßnahmen und Kontrollorgane zunennen, die Gefahrenminderung fordern und Technologiemißbrauch verhindern helfen, wie z.B. Export von Waffen. Entscheidend ist, dass sich die Forderung „Wachstum durch Nachhaltigkeit“ realisieren lässt.

Neue Technologien können dabei fundamentale Beiträge leisten, um dieses Ziel zu erreichen, bei Materialtechnologien z.B. durch Kreislaufprozese, Recyclingtechnologien, Verfahren für die Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe u.ä.

Im Beitrag von Gerhard Banse und Ernst-Otto-Reher ist dort in Abbildung 3 der Bedürfnis-Ressourcen-Zeitverlauf dargestellt, der auch für die Kunststofftechnologie zutreffend ist. Das wachsende Bedürfnis B(t) ist schon durch den Bevölkerungszuwachs (ca. 9 Mrd im Jahr 2050) gegeben. Die Umlenkung der Ressourcenkurve R(t) kann durch neue Verfahren zur Bereitstellung von Rohstoffen aus nachwachsenden Materialien erfolgen, wie z.B. das Verfahren biolig^{R} (vgl. Dahmen et al. 2007) und durch neuartige Recyclingverfahren, die auch schwer trennbare Kunststoffe verarbeiten und nicht nur energetisch verwerten müssen, z.B. biotechnologische Verfahren für Altreifen.

Noch ist Zeit, den Umbau zu vollziehen, damit $t_{Katastrophe}$ nicht erreicht wird. Die Energietechnologien können durch einen Mix aus traditionellen und neuartigen Technologien, die Windenergie, Photovoltaik, Erdwärme und

Gezeiten nutzen, einen Beitrag zum Klimawandel leisten und die Kernkraft als Übergangstechnologie nutzen. Kohlekraftwerke müssen den CO_2-Ausstoß drastisch senken. Verfahren sind in Vorbereitung. Die Bundesregierung sollte durchaus die Anregung von Klaus Töpfer aufgreifen, eine Nachhaltigkeitskommission zu gründen, die die in Abbildung 4 genannten Gremien erweitert und damit direkt die Technikfolgenabschätzung inhaltlich stärkt.

Literatur

Autorenkollektiv (1978): Verarbeitungstechnik. Leipzig

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)

CBG-Coordination gegen BAYER-Gefahren e.V., Düsseldorf

Dahmen, N.; Dinjus, E.; Henrich, E. (2007): Synthesis Gas from Biomass – Problems and Solutions en voute to Technical Realisation. In: Oil Gas European Magazin, Vol 33, No. 1, pp 31-34

Fiedeler, U.; Nentwich, M. (2009): Begleitforschung. Zur Klärung eines politischen Begriffes. In: TATuP – Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis, Nr. 2 (September), S. 94-102

Menges, G. (1990): Werkstoffkunde Kunststoffe. München/Wien

Michaeli, W.; Wegener, M. (1989): Einführung in die Technologie der Faserwerkstoffe. München/Wien

Miserre, F. (2009): Aktuelles zur Anlagensicherheit und Störfallverordnung. In: Immisionsschutz und Umwelt aktuell, München, 19. Oktober

Plastics Europe – Portal der europäischen Kunststoffindustrie. – URL: www.plastics-europe.de

Pretting, G.; Boote, W. (2010): Plastic Planet. Die dunkle Seite der Kunststoffe. Freiburg

Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2007 – Kurzfassung. – URL: www.consalting.com

Reher, E.-O.; Banse, G. (2004): Zum Zusammenhang von Empirischem und Theoretischem in den technologischen Wissenschaften – Grundzüge einer allgemeinen Verfahrenswissenschaft. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 121-153 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)

Ropohl, G. (1979): Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie. München/Wien

Ropohl, G. (2001): Das neue Technikverständnis. In: Ropohl, G. (Hg.): Erträge der Interdisziplinären Technikforschung. Eine Bilanz nach 20 Jahren. Berlin, S. 11-30

Saechtling, H. (Hg.) (1989): Kunststofftaschenbuch. 30. Aufl. München/Wien

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 117–129*

Christian Kohlert

Nanotechnologie: Vor- und Nachteile der Anwendung für polymere Folien

> „Nanotechnologie könnte […] die nächste Revolution bei den Grundlagetechnologien bewirken und Europa hat bereits einen beträchtlichen Anteil an ihrer Entwicklung."
>
> (Potočnik 2008)

Diese Aussage seitens eines hohen EU-Repräsentanten, des EU-Kommissars für Wissenschaft und Forschung, bestätigt eine Entwicklungsrichtung, der sich auch Hersteller polymerer Folien mit vielfältigen Entwicklungen stellen.

1. Stand der Technik

Als Nanotechnologie wird die Fähigkeit bezeichnet, Produkte herzustellen, für deren Eigenschaften Komponenten im Nanometerbereich entscheidend sind (vgl. Haas 2009). Als Herstellungsverfahren für Nanopartikel bieten sich an: die chemische Fällung in der Flüssigphase, das Sol-Gel-Verfahren, die Sprühtrocknung, das Hydrothermalverfahren, die Gasphasensynthese und die Schmelzfadentechnologie. Typische *mineralische* Nanonadditive sind auf der Basis von Al_2O_3, SiO_2 und $BaSO_4$ aufgebaut; typische *organische* Nanopartikel sind Dendrimere, hyperverzweigte Polymere und Ruß. Weitere Nanopartikel sind Kristallite und Fibrillen bei Polymeren, Copolymeren und Kernschalepolymeren.

Polymere Folien werden in der Regel im Kalandrier- bzw. Extrusionsverfahren hergestellt (siehe Abbildung 1) und genügen im Allgemeinen den konventionellen Forderungen von Anwendern bezogen auf Dickentoleranz, Schrumpf-, Tiefziehverhalten u.ä. (vgl. Kohlert et al. 1991). Für die Erweiterung der Eigenschaften von Verpackungsfolien bietet die Nanotechnologie gleichermaßen Herausforderung wie Chancen. In Mono- und Mehrschichtfolien können spezielle Eigenschaften – z.B. Barriere gegen Wasserdampf oder

Gas, Bedruckbarkeit, Transparenz u.a. – in weiten Bereichen eingestellt werden.

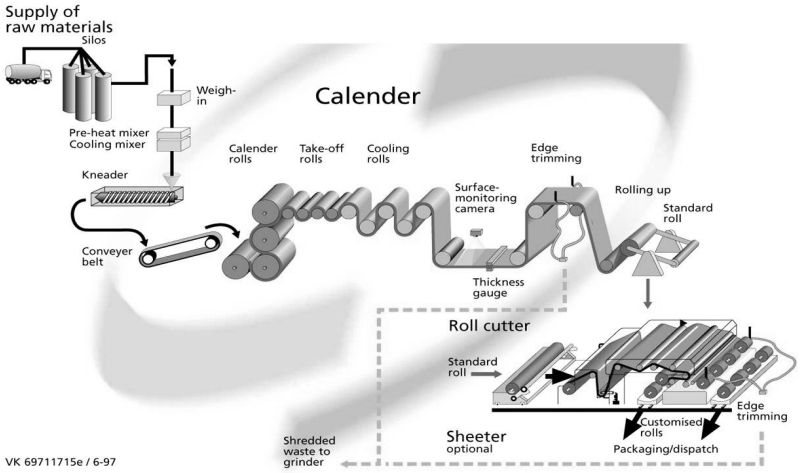


Abbildung 1: Kalanderlinie für die Hartfolien-Produktion
Quelle: Klöckner PentaplastGmbH & Co. KG

Auf Grund ökologischer und ökonomischer Zwänge werden in den letzten Jahren an die Folienindustrie spezielle Anforderungen gestellt zu. So werden, neben der Reduzierung des Materialverbrauchs, u.a. elektrische Oberflächenleitfähigkeit, hohe Kratzfestigkeit und antimikrobielle Oberflächen gefordert. Damit sollen sowohl die Ressourcen geschont als auch neue Anwendungsgebiete für hochfeste dünne Polymerfolien erschlossen werden.

Eine der hauptsächlichen Forderung an Verpackungsfolien besteht in einer – für die Begutachtung verpackter Waren durch den Kunden möglichen – hohen Transparenz. Für Veränderungen der Oberflächeneigenschaften solcher Folien kommen daher nur Nanopartikel in Frage, da diese durch ihre unterhalb der Wellenlänge des Lichtes liegenden Dimensionen erst bei Konzentrationen von über vier bis fünf Masseprozent zu einer sichtbaren Einschränkung der Folientransparenz führen.

2. Mögliche Eigenschaftsvariationen

Klöckner Pentaplast/Montabaur, weltgrößter Hersteller von Verpackungsfolien für die pharmazeutische und Lebensmittel-Industrie, beschäftigt sich seit einiger Zeit mit der Nutzung der Nanotechnologie zur Eigenschaftsverbesse-

rung seiner polymeren Folien. Rücksprachen mit Kunden ergaben als wichtigste zu verbessernde Eigenschaften (siehe Abbildung 2):

- UV-Stabilität;
- Kratzfestigkeit;
- antimikrobielle Oberflächen;
- elektrische Oberflächenleitfähigkeit;
- Bedruckbarkeit;
- Barriereeigenschaften gegen Wasserdampf und Gas.

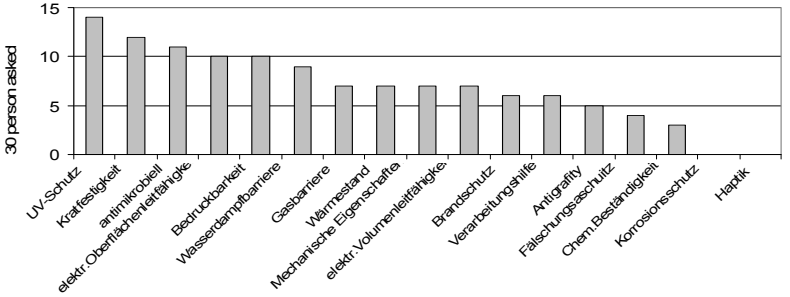


Abbildung 2: Häufigkeit von Kunden gewünschter bzw. möglicher Eigenschaftsverbesserungen eigene Darstellung

Innovationen in Kunststoff-Folien über Rezepturanpassung

- Gas- und Wasserdampfbarriere (2)
- verbesserte mechanische Werte (E-Modul, Zähigkeit, Streifigkeit) (2)
- verbesserte thermische Werte (Wärmestand, Schrumpf) (2)
- Nukleierung (mechanische und optische Eigenschaften von PP, PET) (2)
- UV-Absorber (nanoskaliges TiO_2) (1)
- Brandverhalten (Reduzierung Flammausbreitung und Abtropfverhalten) (2)
- Oberflächeneffekte (Reibung, Rauheit, Glanz, Benetzung) (2)
- biocide Eigenschaften (nanoskaliges Silber) (2)
- elektrisch leitfähige Eigenschaften (Nanotubs) (1)
- magnetisierbare Aadditive (2)
- optische Effekte (Lumineszens Photochromie, Perlglanz) (1)
- rheologische Wirkung (Reduzierung Prozessviskosität) (2)
- Fälschungsschutz (2)

(1) = in Produktion
(2) = im Test

Abbildung 3: Eigenschaftsverbesserungen durch Veränderungen der Rezeptur eigene Darstellung

Verbesserung der Eigenschaften von Polymerfolien können durch Veränderungen der Rezeptur (siehe Abbildung 3) bzw. Oberflächenbehandlung oder -beschichtung (siehe Abbildung 4) erreicht werden.

Innovationen auf Kunststoff-Folien über Oberflächenbehandlung		
Aktiv	**Intelligent**	**Spezial**
Sauerstoffabsorber (1)	Irreversible Indikatoren	Oberflächenhaptik(2)
Antimikrobiell	- Zeit TI (1)	Oberflächenhaptik(2)
- berührend (1)	- Zeit-Temperatur TTI (2)	Druckeigenschaften
- ausgasend (2)	- Feuchtigkeit(2)	- Erhöhung
Antistatic/ Leitfähigkeit(1)	- PH-Wert (1)	Oberflächenspannung(1)
Antikorrosion	- Temperatur (2)	- Senkung
- Rostverhinderung(1)	- UV-Licht (2)	Oberflächenspannung(2)
- Rostbeseitigung(1)	Reversible Indikatoren	Kratzfestigkeit
Barriereeigenschaften	- Temperatur (2)	- Mikrokratzer(2)
- Wasserdampf(1)	- UV-Licht (2)	- Oberflächenhärte(2)
Gas (2)	Luminescenz (1)	Chemische Beständigkeit(2)
UV-Schutz (1)	Dimm-Effekt (2)	Lotus-Effekt (3)
Aromaschutz (2)		Fälschungsschutz

Abbildung 4: Eigenschaftsverbesserungen durch Oberflächenbehandlung
eigene Darstellung

Dafür bildet die Nanotechnologie ausgezeichnete Möglichkeiten: Wegen der erzeugten großen Oberfläche (siehe Abbildung 5), des Einbringens kleinster Mengen und Teilchengrößen, gekoppelt mit großen Eigenschaftsbeeinflussungsmöglichkeiten. Hierbei kommen vielfältige neue Technologien – von der Erzeugung und dem Erhalt der Nanostrukturen, dem Einbringen in andere Stoffmatrixen, der Beschichtung mit Nanoschichten, der Messung der Produktionsmechanismen sowie des gesundheitsbewussten Umgangs – zur Anwendung.

Als Methode zur Veränderung der Rezeptur wird das Einbringen der Nanopartikel in ein Masterbatch, eine vorgefertigte Teilmischung, gesehen, während für die Beschichtung die Sprühbeschichtung und Filzdüsenbeschichtung favorisiert werden.

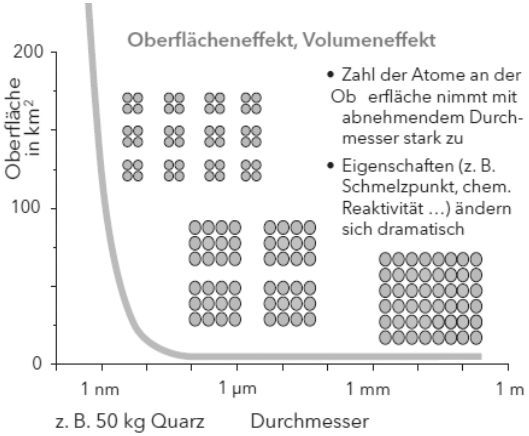


Abbildung 5: Oberflächenvergrößerung durch Durchmesserverkleinerung
Quelle: Heubach et al. 2009, S. 9

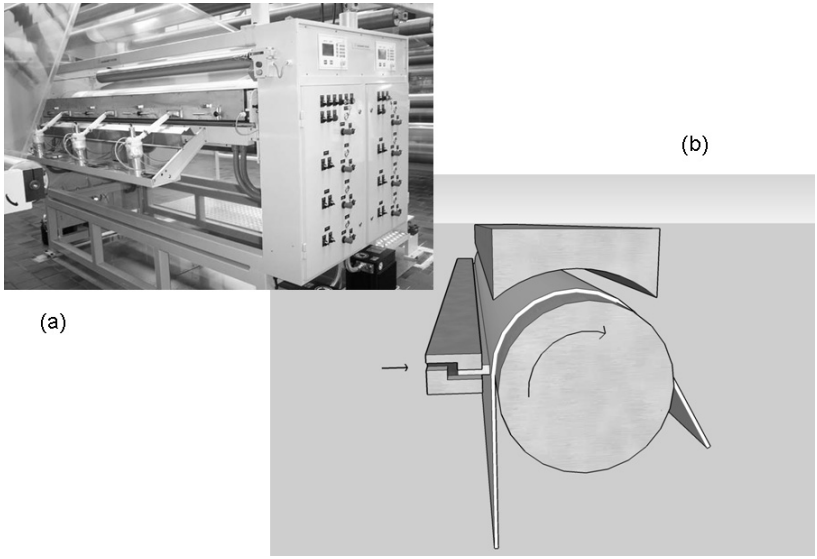


Abbildung 6a: Corona-Aerosol-Anlage zur Oberflächenbehandlung von Folien mit Nanopartikeln
Quelle: Klöckner Pentaplast GmbH & Co. KG
Abbildung 6b: Filzdüsenantrag zur Oberflächenbehandlung von Folien mit Nanosolen
eigene Darstellung

Als Methode zur Veränderung der Rezeptur wird das Einbringen der Nanopartikel in ein Masterbatch, eine vorgefertigte Teilmischung, gesehen, während für die Beschichtung die Sprühbeschichtung und Filzdüsenbeschichtung favorisiert werden.

Für die Oberflächenbehandlung wurde gemeinsam mit der Firma Ahlbrandt/Lauterbach, eine Corona-Aerosol-Anlage entwickelt und an mehreren Kalanderlinien von Klöckner Pentaplast eingesetzt (siehe Abbildung 6a). Dabei wird die Folienoberfläche beim Durchlaufen eines starken Spannungsfeldes aktiviert und an die freien Radikale spezifische Nanopartikel angeflanscht, die über eine Aerosoleinsprühung auf die Oberfläche aufgetragen werden.

Eine Möglichkeit zur Oberflächenbeschichtung mit Nanopartikeln ist die mit der Firma ZeBeS/Wolfen entwickelte Filzdüsenbeschichtung, bei der Nanosole durch einen weichen, auf der Folie schleifenden Filz auf die Folienoberfläche aufgebracht und anschließend durch IR-Trocknung verfestigt werden (siehe Abbildung 6b).

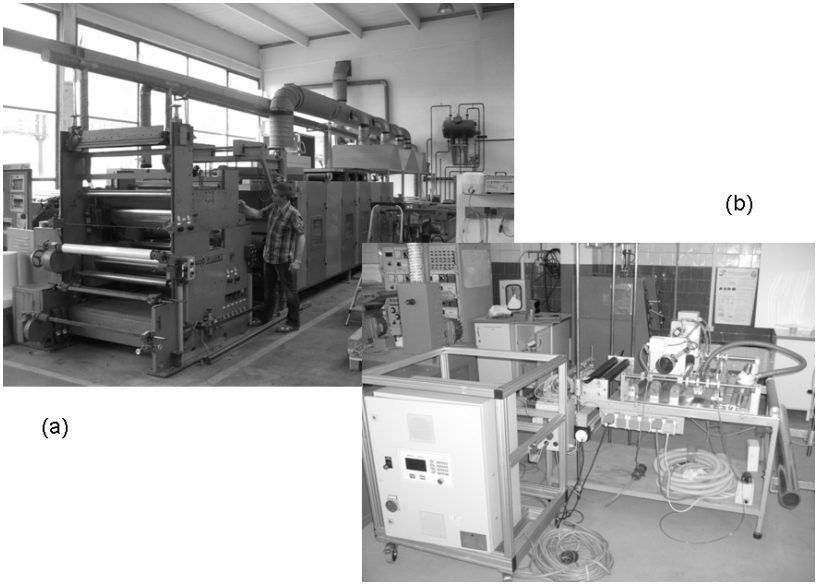


Abbildung 7: Pilot- (a) und Labor-Beschichtungsanlage (b) St. Petersburg
Quelle: Klöckner Pentaplast GmbH & Co. KG

Beide Entwicklungslinien werden durch Klöckner Pentaplast in enger Kooperation mit der Technischen Universität St. Petersburg realisiert (siehe Ab-

bildungen 7a und 7b). Dort wird in einem gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungszentrum über Eigenschaftsveränderungen polymerer Folien mit Hilfe der Nanotechnologie geforscht.

3. Erste nutzbare Ergebnisse – ohne Verminderung der Transparenz

(1) Mit Hilfe nanoskaliger Metalloxide kann der elektrische *Oberflächenwiderstand* von normal 10^{12} Ohm/Fläche – isolierend – auf 10^4 Ohm/Fläche und kleiner – elektrisch leitend – gesenkt werden (siehe Abbildung 8). Diese Werte werden bei der Nutzung polymerer Folien für flexible Solarzellen und in der elektronischen Industrie verlangt.

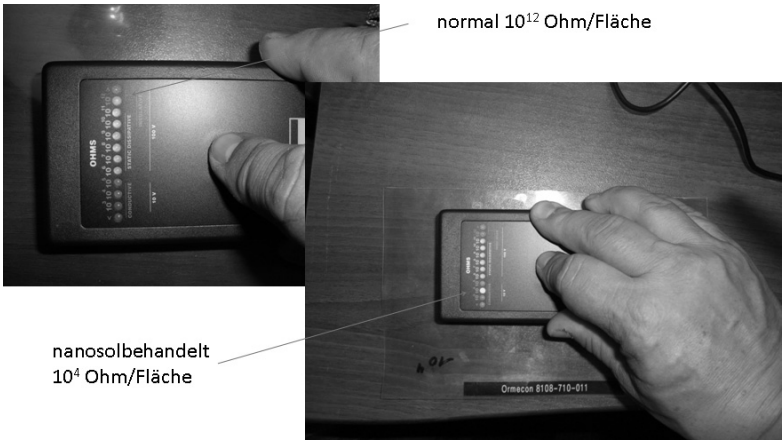


Abbildung 8: Verbesserung der elektrischen Leitfähigkeit durch Nanosolbehandlung
Quelle: Klöckner Pentaplast GmbH & Co. KG

(2) Nanoskalige UV-Absorber gestatten mit wesentlich weniger *Materialaufwand* analoge UV-Stabilitäten polymerer Folien zu erreichen, da der herkömmlich in der Rezeptur eingearbeitete UV-Absorber durch die UV-Absorption an der Folienoberfläche zu mehr als 90% nicht wirksam werden kann und einen unnötigen Materialverbrauch darstellt (siehe Abbildung 9).

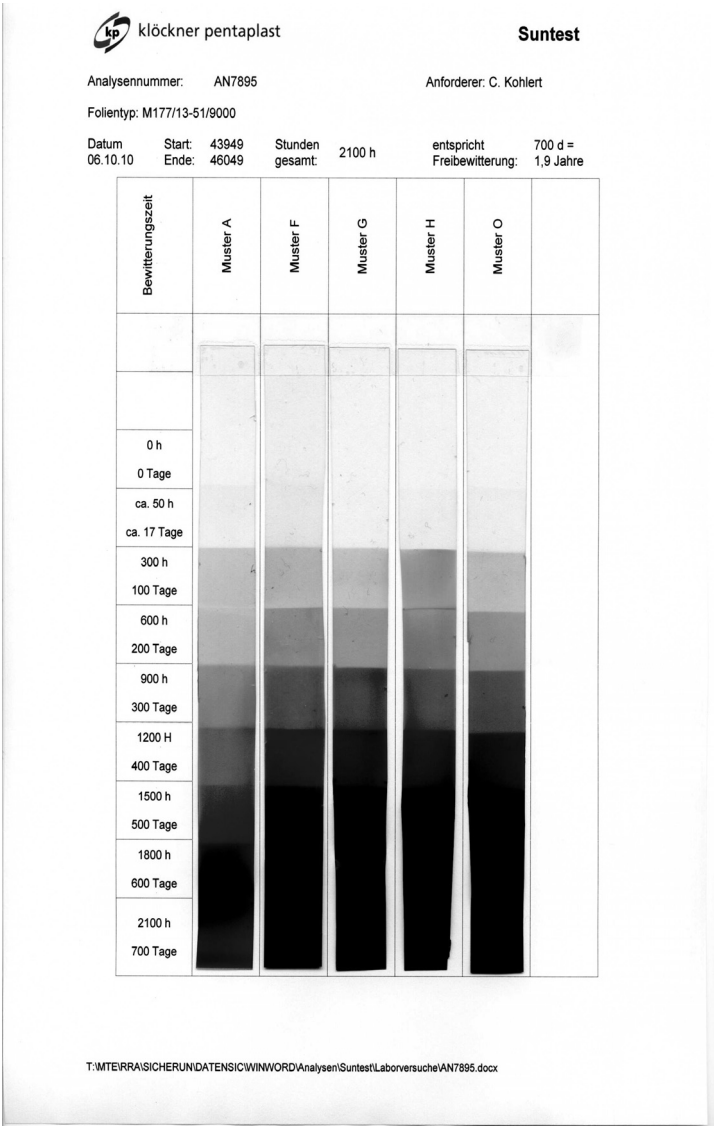


Abbildung 9: Verbesserung der UV-Stabilität durch nanoskalige UV-Absorber (Muster O entspricht 0-Muster ohne UV-Absorber)
Quelle: Klöckner Pentaplast GmbH & Co. KG

(3) *Antimikrobielle* Beschichtungen wirken im Kontakt mit Lebensmitteln und verhindern das Auftreten bzw. das weitere Wachstum von Pilzen und Mikroben. Dabei ist die Einhaltung lebensmittelrechtlicher Bedingungen zu sichern (siehe Abbildung 10).

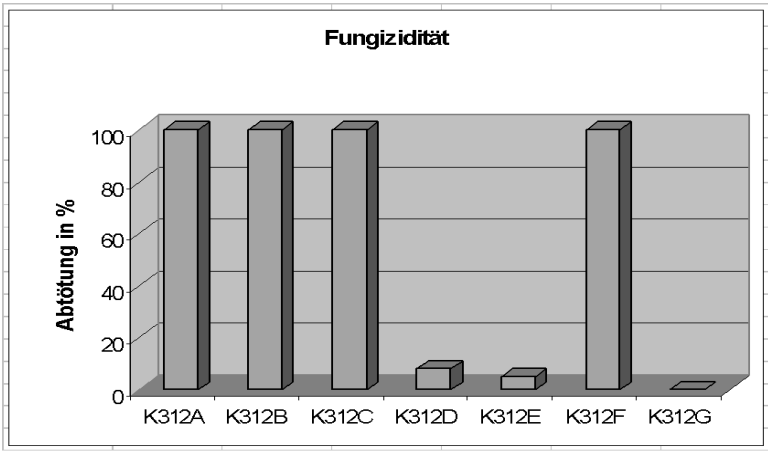


Abbildung 10: Verbesserung u.a. der Antifungizität durch antimikrobielle Wirkstoffe
Quelle: Klöckner Pentaplast GmbH & Co. KG

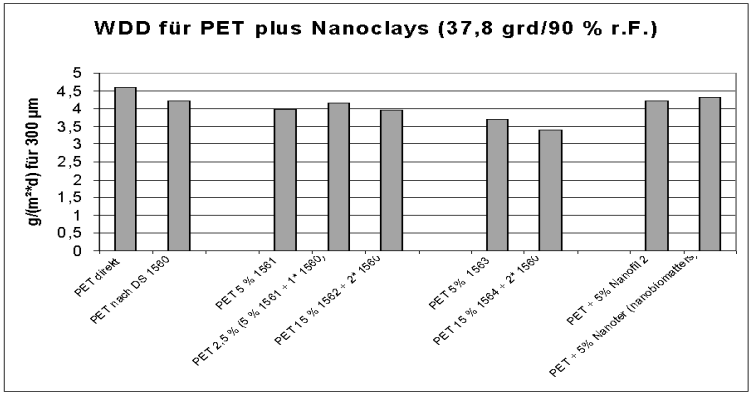


Abbildung 11: Reduzierung der Wasserdampfdurchlässigkeit von PET-Folien durch Nanoclays
(2 linke Säulen sind ohne Nanoclays)
eigene Darstellung

(4) Das Einbringen von Nanoclays verlängert den Weg der Wasserdampf- bzw. Gasmoleküle und erhöht damit die *Barrierewirkung* (siehe Abbildung 11). Diese Barrieren sind vorrangig für pharmazeutische und Lebensmittel-Verpackungen mit Blick auf die Haltbarkeit ihres Inhaltsalts unverzichtbar (vgl. Kohlert 2007).

(5) Ähnlich kann mit dem Aufbringen von Nanopartikeln auf die Folien-Oberfläche deren *Oberflächenspannung* zur besseren Bedruckbarkeit auf längere Zeit erhöht bzw. für eine Nutzung als Anti-Graphity-Oberfläche reduziert werden (siehe Abbildung 12).

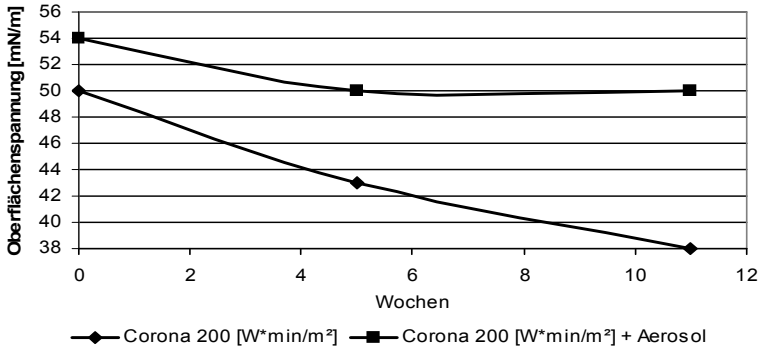


Abbildung 12: Veränderung der Oberflächenspannung durch Corona-Aerosolbehandlung eigene Darstellung

(6) Eine interessante Anwendung nanoskaliger Farbpigmente eröffnet sich auf dem Gebiet der *Fälschungssicherheit* von Verpackungen. Durch Einbringen feinverteilter spezieller fluoreszierender Farbpigmente mit Konzentrationen unter 0,01 Masseprozent kann bei Anregung in ausgewählten IR- oder UV-Bereichen ein Lumineszenzleuchten der Folie erreicht werden, das auf spezielle Herstellungsmethoden des Produzenten schließen lässt (siehe Abbildung 13). Eine Bewertung der Abklingkurve lässt sogar Rückschlüsse auf das verwendete Pigment zu, so dass die Kunden ihre Produkte mit Hilfe spezifischer Abklingkurven ihre Verpackung prüfen können. Durch die niedrige Konzentration und homogene Verteilung sind die Kosten für die Pigmentierung kleiner als 1 ct/kg Folie und mit Hardwarekosten von rund 500 €/Auswerteinheit eine günstige Alternative zu teuren RFID- oder Hologrammvarianten (vgl. Kohlert et al. 2010).

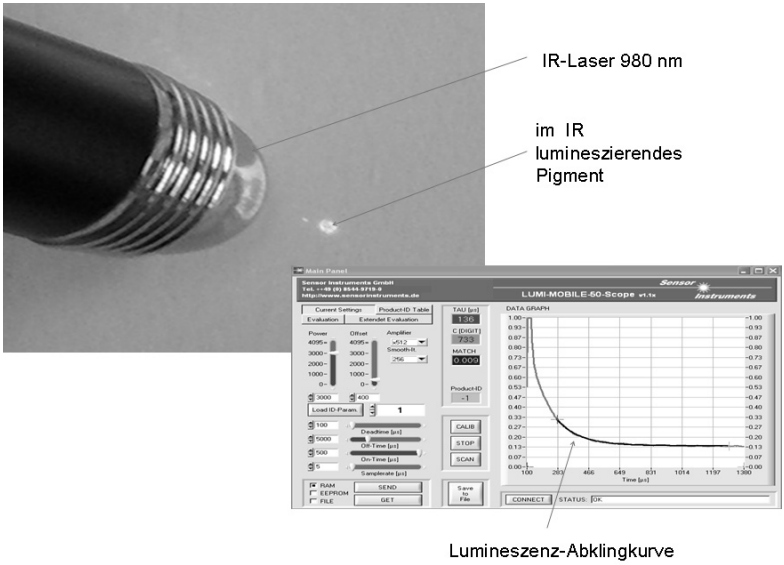


Abbildung 13: Erhöhung der Fälschungssicherheit durch Aufbringung von Nanopartikeln eigene Darstellung

4. Probleme und Nachteile der Nutzung der Nanotechnologie

Neben den Vorzügen der Nanotechnologie existieren Grenzen, die einer weitergehenden industriellen Nutzung entgegenstehen (vgl. Haas 2009). Dazu gehören – neben gesundheitlichen Risiken beim Einsatz von Nanopartikeln – nicht hinreichend qualifizierte Produktionstechnologien, das Preis-Leistungs-Verhältnis der Endprodukte sowie die nicht ausreichende Information über Forschungsergebnisse.

Ein Problem der Nutzung von Nanopartikeln auf bzw. in der Folie ist die Messbarkeit der einzelnen technologischen Arbeitsphasen sowie der erreicht Effekte. Für produktionstechnische Bewertungen von Nanosolbeschichtungen bieten sich Inline-Glanzmessgeräte nutzen, da die aufgebrachte Schicht wässrig oder lösemittelhaltig ist und im feuchten Zustand vor der Trocknung einen höheren Glanz aufweist als die getrocknete Folienoberfläche. Die meisten Eigenschaften lassen sich jedoch nur offline im Labor, dazu teilweise mit erheblichem labortechnischem Aufwand detektieren.

Nanotechnik ist jedoch nicht nur für neue, ohne sie nicht erreichbare Eigenschaften polymerer Folien zuständig, sondern hat auch ihre Probleme bezüglich

- Herstellung im Nanobereich;
- Stabilisierung als Nanopartikel;
- Aufbringung als Nanoschicht;
- Bestimmung der Schichtdicke der feuchten Schicht;
- Bestimmung der Schichtdicke der trockenen Schicht;
- Bestimmung der Wirksamkeit der neuen Eigenschaft;
- gesundheitlicher Fragestellungen.

Für Nanopartikel gibt es keine Membranen zum Aufhalten ihrer Bewegungsabläufe. So können Nanopartikel mit angeflanschten pharmazeutischen Wirkstoffen diese zwar zu jeweiligen Krankheitserreger transportieren, indes bleibt deren weiterer Weg im Organismus (z.B. ins Gehirn?) im Allgemeinen unbestimmt.

Durch die EU sind deshalb bestimmte Verhaltensnormen im Umgang mit Nanopartikeln vorgeschlagen worden (vgl. Potočnik 2008), welche sich beziehen auf

- Bedeutung (Achtung der Grundrechte und Wohlergehen der Bürger);
- Nachhaltigkeit (keine Schädigung von Menschen, Tieren, Pflanzen und Umwelt);
- Vorsorge (Erkennung potenzieller Auswirkungen und Vorsorgemaßnahmen);
- Integration (Transparenz und Zugang zu allen Informationen);
- Excellenz (höchste wissenschaftliche Standards);
- Innovation (Kreativität, Flexibilität und Fähigkeit zur Planung von Innovation und Wachstum);
- Verantwortlichkeit (Verantwortung für soziale, ökologische und gesundheitliche Folgen).

Diese Normen sind bei der weiteren Bearbeitung nanotechnologischer Aufgabenstellungen unbedingt zu berücksichtigen, um die eingangs beschriebenen Möglichkeiten einer „Revolution der Grundlagentechnologien“ verantwortungsbewusst zu nutzen.

Literatur

Haas, K.-H. (2009): Nanotechnologie. Management-Fernlehrgang. Düsseldorf

Heubach, D.; Beucker, S.; Lang-Goetz, C. (2009): Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie. Wiesbaden

Kohlert, Chr. (2007): Barriereeigenschaftsänderungen mit Mehrschichtfolien [Abschnitt 2.1.2.2.4.]. In: Elsner, P.; Eyerer, P.; Hirth, Th. (Hg.): Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendungen. 7. neu bearb. u. erw. Aufl. Heidelberg u.a., S. 387-397

Kohlert, Chr.; Reher, E.-O.; Krasovski, V. N.; Voskresenski, A. M. (1991): Intensivierung des Kalandrierprozesses von Polymeren. Leipzig

Kohlert, Chr.; Schmidt, B.; Egenolf, W.; Zistjakova, T. (2010): Verpackungsfolie für Produktauthentifizierung. Authentifizierungsverfahren und -system. Patent WO 2010/003585 A1

Potočnik, J. (2008): Verhaltenskodex für verantwortungsvolle Forschung in Nanowissenschaft und Technologie. In: Press Release Rapid, IP 08/193

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 131–141*

Wolfgang Fratzscher

Zu Risiken und Nebenwirkungen lesen Sie den Sicherheitsbericht oder fragen Sie …

… den Technischen Überwachungsverein (TÜV) oder die Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GSR). So müsste der Satz vervollständigt werden, wenn man in der fachinternen Terminologie bleiben will.

1. Vorbemerkung

Im Folgenden wird versucht aufzuzeigen, in welcher Form die Gesellschaft auf ambivalente Einflüsse von energetischen Systemen reagiert hat. Die Aufgabe von energetischen Systemen ist die Bereitstellung von Arbeit, als mechanische oder elektrische Energie, als der Edelenergie, die sich vollständig in alle anderen Energieformen umwandeln lässt. Das geschieht derzeitig in überwiegender Weise über die Zwischenenergieform Wärme. Damit verbunden können aber wesentliche Umweltbelastungen und Schäden sein, die eine Reaktion der Gesellschaft erfordern, wenn nicht eine völlige Abkehr oder das Verbot derartiger Entwicklungen ins Auge gefasst werden soll. Am Beispiel der Entwicklung der Wärmetechnik hat dies zur Gründung der Technischen Überwachungsvereine geführt, am Beispiel der Entwicklung der Kernenergetik zur Gründung der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mit entsprechenden juristischen Konsequenzen. Damit verbunden war auch die Herausbildung neuer technischer Disziplinen wie die Sicherheitstechnik und der Komplex der Technikfolgenabschätzung, die zu einem neuen Niveau der Sicherheitskultur geführt haben.

2. Ambivalenz und energetische Systeme

Dem Begriff Ambivalenz ist es ähnlich ergangen wie all den anderen Begriffen, die durch eine spezielle Anwendung, oft auch in Verbindung mit technischen Fragestellungen, einer Verengung und einseitigen Auslegung unterliegen. Er wird jetzt hauptsächlich für die Kennzeichnung von negativen

Folgen technischer Entwicklungen benutzt. An sich bedeutet er einfach Doppelwertigkeit oder allgemeiner Mehrwertigkeit. Das sagt aus, dass zur Beurteilung eines Sachverhaltes nicht nur ein Ziel sondern mindestens zwei, wenn nicht mehrere gleichwertig zu betrachten sind. So ist das z.B. mit dem Verkehr, der die zwei Wertigkeiten – Mobilität und Umweltbelastung – mit sich bringt. Aus einer einseitigen Sicht kann man zwischen dem Hauptziel und den Nebenwirkungen unterscheiden. Bleiben die letzteren unter einem Grenzwert, dann kann das umgebende System in einer Art Selbstheilungsprozess diese Nebenwirkungen auffangen und es reicht demnach eine eindimensionale Betrachtung und Bewertung aus. Liegt dagegen die Nebenwirkung über einem solchen Grenzwert, so ist eben eine zweidimensionale oder ambivalente Betrachtung und Einschätzung erforderlich.

Das ist aber eine allgemeine und in der Technik häufige Aufgabenstellung. Als allgemeines Beispiel hierfür sollen die Energieverluste eines Systems gelten. Eine Verringerung der Energieverluste vermindert den gesamten energetischen Aufwand, ist also eine erstrebenswerte Zielsetzung. Nun ist aber eine Verminderung der Energieverluste immer möglich durch eine Erhöhung des apparativen und anlagentechnischen Aufwandes. Wenn es gelingt diese beiden Aufwandsarten in einem einheitlichen Maßstab abzubilden, kann diese ambivalente Wirkung der Energieverluste quantifiziert werden. In diesem Fall gelingt dies unter Benutzug der Kosten, die dann die anzustrebende Lösung als das Optimum der beiden Kostenarten kennzeichnet.

Verallgemeinert kann festgestellt werden, dass für den Fall der Notwendigkeit von ambivalenten Betrachtungen zwischen den verschiedenen Wertigkeiten ein Kompromiss zu suchen ist.

Das gilt für alle technischen Systeme. Energetische Systeme, insbesondere wenn sie durch die Umwandlung von Wärmeenergie in Arbeit charakterisiert sind, eignen sich in besonderer Weise zur Illustration dieser Zusammenhänge wegen ihrer großen gesellschaftlichen Bedeutung. Diese resultiert aus folgenden Tatsachen:

- Die Quantitäten der fossilen Energieträger liegen um 1 bis 2 Größenordnungen in der Tonnage des jährlichen Verbrauches über den anderen volkswirtschaftlich gehandelten Stoffen. In dieser Größenordnung liegt nur noch Getreide (vgl. Fratzscher/Stephan 2000).
- Es gibt eine ungleiche Verteilung der Energierohstoffe auf der Erde. Das ermöglicht einerseits ihre wirtschaftliche Gewinnung, erzeugt aber andererseits Spannungen hinsichtlich der Zugriffsmöglichkeiten von Staaten

und Nationen.
- Substitutionsmöglichkeit der Energie, die naturgesetzlich sehr vielseitiger als die von Stoffprodukten ist. Heute steht dahinter die Konkurrenz zwischen Einkommens- und Vermögensenergien.
- Größe der Anlagen, in diesem Fall der Kraftwerke z.B. auf Braunkohlenbasis wie Lippendorf oder auf Kernenergiebasis wie Philippsburg, die regional prägend sind.
- In der Dimension der Ausfallkosten bei den Energieanwendern, z.B. der Industrie.

Am Rande sei vermerkt, dass bei den Wärmekraftwerken heute die Kühltürme die dominierenden Bauwerke sind. Sie dienen dem nach den II. Hauptsatz der Thermodynamik notwendigen Entropieexport und sind nicht primär für die Umweltbelastung verantwortlich.

3. Kompromisse bei Wärmekraftwerken

Im Folgenden wird mit zwei Beispielen gezeigt, wie die Gesellschaft zu Kompromissen bei Wärmekraftwerken gelangen kann, bei denen die ambivalenten Auswirkungen – Energieerzeugung auf der einen Seite und Umweltbelastung und -gefährdung andererseits – zu berücksichtigen sind.

Das erste Beispiel betrifft die konventionelle Wärmetechnik. Man wusste schon relativ frühzeitig, dass der Wirkungsgrad des Dampfmaschinenprozesses von der Temperatur des Frischdampfes abhängt. Die Eigenschaften des Wasserdampfes erfordern mit einer Erhöhung der Frischdampftemperatur auch eine Zunahme des Frischdampfdruckes. Das wirkt sich vordergründig im Dampfkessel auf die Konstruktion aus. Die Volumenvergrößerung bei der Verdampfung um das Tausendfache bringt eine entsprechende Belastung der Großwasserraumkessel, gewöhnlich Flammrohrkessel, mit sich, die den Leistungen der Fertigungstechnik damals nicht gewachsen war. Es kam zu Dampfkesselexplosionen mit verheerenden Auswirkungen. Dem zu entgegnen wurde 1866 der Dampfkessel-Überwachungsverein gegründet, der Konstruktionsrichtlinien und Sicherheitsmaßnahmen festlegte und befugt war, deren Einhaltung zu kontrollieren. Tabelle 1 zeigt die Erfolgsbilanz dieser Gründung. Es konnten die Anzahl der Dampfkesselexplosionen mit entsprechenden Verlustzahlen nahezu konstant gehalten werden, obwohl z.B. die Zahl der Dampfkessel von etwa 60.000 im Jahre 1879 auf 140.000 im Jahre 1899 zugenommen hatte. Aus dem Dampfkessel-Überwachungsverein wurden später die Technischen Überwachungsvereine – TÜV –, die durch die Übernahme von einer Vielzahl von weiteren Überwachungsaufgaben zu Un-

ternehmen mit derzeit Milliardenumsätzen herangewachsen sind. Vermerkt sei, dass an dieser Entwicklung die chemische Industrie nicht nur durch ihre eigenen Industriekraftwerke, sondern insbesondere durch die Entwicklung der Hochdrucksynthesen einen maßgeblichen Einfluss hatte.

Jahr	Anzahl der Dampfkessel-explosionen	Hierbei verunglückte Personen	Jahr	Anzahl der Dampfkessel-explosionen	Hierbei verunglückte Personen
1879	18	78	1892	18	41
1880	20	29	1893	10	21
1885	13	22	1894	35	34
1886	16	23	1895	23	74
1887	14	83	1896	21	25
1888	15	11	1897	21	39
1889	16	28	1898	18	31
1890	16	21	1899	14	35
1891	10	19	1900	13	24

Tabelle 1: Dampfkesselexplosionen
Quelle: Lexikon 1906, S. 453

Für die Entwicklung der Technik insgesamt ist wesentlich, dass damit die Herausbildung neuer technischer Teildisziplinen verbunden war, in diesem Fall die Sicherheitstechnik. Sie ist nicht nur gekennzeichnet durch eigenständige Methoden, sondern auch durch ein eigenständiges Gegenstandsinstrumentarium, deren symbolhafter Vertreter das Sicherheitsventil sein kann.

Das zweite Beispiel betrifft die Entwicklung der Kernenergetik. Diese war von vornherein belastet durch die Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki, die sowohl die große spezifische Energieleistung wie auch die verheerende Umweltbelastung mit der radioaktiven Strahlung und hunderttausenden Toten der Welt vor Augen gebracht hatte. Diese Tatsachen belasteten die friedliche Nutzung der Kernenergie schwer. Da die friedliche Nutzung der Kernenergie auch über den Dampfmaschinenprozess erfolgte, waren mit der Anwendung der Kernenergie die folgenden Gefährdungen verbunden:

- Auswirkungen der potenziellen Energie des Wassers. Da diese aus Entwicklungen der konventionellen Wärmetechnik bekannt waren, konnten für erforderliche Sicherungsmaßnahmen von dort Erfahrungen übernom-

men werden (TÜV).

- Entstehung der Kritikalität als eine prinzipiell neue Gefährdung. Es darf auf keinen Fall, auch bei Störfällen nicht, zur Ausbildung einer kritischen Anordnung kommen, da diese sofort zur ungesteuerten Kettenreaktion, d.h. zur Kernexplosion, führen würde. Bei reinem U-235 ist die Kritikalität gegeben mit einer Kugel von 38 cm Durchmesser. Entgegentreten kann man durch geeignete konstruktive Maßnahmen. Ein Sonderfall ist das Auftreten einer Kernschmelze, da durch Phasenänderung andere geometrische und auch physikalische Bedingungen gegeben sein können.
- Radioaktivität, die Strahlenschäden somatischer, aber auch genetischer Art hervorrufen kann. Dem kann durch die Standortwahl, aber vor allem durch den Einbau von Barrieren entgegengewirkt werden. Im Kraftwerk wird eine gesamte Hierarchie von Barrieren aufgebaut, deren letzte Stufe als zentrale Einrichtung das Containment ist. Das Containment ist ein gasdichtes Umschließungsbauwerk, das alle aktiven Teile des Kraftwerkes umfasst.

Für den Betrieb des Kernkraftwerkes, einschließlich der Beherrschung von Störfällen, ist die Leittechnik von entscheidender Bedeutung. Früher war sie durch die analoge Messtechnik gekennzeichnet, heute ist sie weitgehend digital orientiert. Dabei ist eine Unsumme von Messdaten und Sensorenangaben zu verarbeiten. Man vertritt heute das 30-Minuten-Konzept, das besagt, dass alle in der ersten halben Stunde nach einem Störfall zu treffenden Entscheidungen automatisch, d.h. ohne Eingriff des Menschen, gefällt werden müssen. Erst danach kann das Bedienungspersonal eigenständige Entscheidungen in die Prozessführung einbringen.

Wie ist es zu derartigen Konzepten und Vorschlägen für die Errichtung und den Betrieb von Kernkraftwerken gekommen? Man fordert vom Projektanten eines Kernkraftwerkes einen sogenannten Sicherheitsbericht, dessen Endergebnis die Beschreibung des GAU – des größten anzunehmenden Unfalls – ist, und den Nachweis, dass es sich tatsächlich bei der Beschreibung um den größten anzunehmenden Unfall handelt. Weiterhin wird die Beschreibung von Maßnahmen und Einrichtungen gefordert, die eine Gefährdung der Umgebung für diesen Fall ausschließen. Der Sicherheitsbericht enthält deshalb neben einer Beschreibung der Anlage die erforderlichen Angaben für die sicherheitstechnische Beherrschung des Normalbetriebes und die Beschreibung von schwerwiegenden Störfällen bis hin zum GAU. Eine Inhaltsangabe des Sicherheitsberichts zeigt Abbildung 1.

1. Beschreibung der Anlage
2. Darlegung der sicherheitstechnischen Maßnahmen für den Normalbetrieb
3. Unfallanalyse und Darlegung der sicherheitstechnischen Maßnahmen gegen mögliche und denkbare Unfälle
   - Ausfall der Kühlung
   - Ausfall des Kühlmitteltransports
   - Ausfall der Regelung
   - Unfälle durch Reaktivitätsänderungen
   - Austritt radioaktiver Stoffe
   - Größter Anzunehmender Unfall

Abbildung 1: Gliederung des Sicherheitsberichts
Quelle: Archiv des Autors

Das Wesentliche der Aussagen des Sicherheitsberichtes besteht darin, dass nicht nur Angaben zur Störfallvermeidung gemacht wurden, sondern auch solche zur Störfallbeherrschung. Es wird also eine fehlerverzeihende Technik angestrebt. Für die Überprüfung und Einhaltung der hierfür erforderlichen Maßnahmen ist in Deutschland die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) verantwortlich, die für kernenergetische Anlagen neben dem TÜV wirksam werden muss.

Dieses Vorgehen hat zu einer neuen Sicherheitsphilosophie und damit zu einer neuen Sicherheitskultur geführt. So werden zur Beschreibung von Störfällen und deren Beherrschung nicht mehr einzelne denkbare Prozessabläufe verfolgt, sondern Belastungen postuliert, die aus Grenzwertsituationen abgeleitet werden, wie z.B. dem plötzlichen Abriss der Hauptumwälzleitung oder dem schlagartigen Ausgleich des Inhaltes von Anlagen mit ihrer Umgebung nach einer Zerstörung u.ä. Im weitesten Sinn hat ein solches Vorgehen zu technischen und wissenschaftlichen Entwicklungen geführt, die heute unter der Überschrift „Technikfolgenabschätzung“ zusammengefasst werden.

Ein Sonderproblem scheint die Endlagerung der abgebrannten Brennelemente von Kernkraftwerken zu sein, zumindest in Deutschland. Die hier in der Fachwelt vertretene Meinung war die Einlagerung in Salzformationen, die in erdbebensicheren Gegenden liegen und durch Tonschichten nach oben gegen mögliche Wasserbewegungen abgedichtet sind. Derartige Endlager werden in Amerika seit Jahren für die Einlagerung insbesondere militärischer Abfälle genutzt. In Deutschland ist die weitere Untersuchung des hierfür vorgesehenen Salzstock Gorleben seit zehn Jahren verboten. Verboten ist weiter die Auseinandersetzung um die Wiederaufbereitung abgebrannter Brennelemente zur Abtrennung spaltbaren Materials für Schnelle Brüter und damit

verbunden um eine wesentliche Volumens- und Massenverminderung der einzulagernden Endprodukte. Auch wird hierzulande wohl unzureichend über Technologien nachgedacht, die durch Kernreaktionen zu einer Verminderung der radioaktiven Strahlung führen könnten.

Die Leistungsfähigkeit des Sicherheitskonzeptes nach den aufgezeigten Überlegungen lässt sich durch die beiden bisher größten Reaktorunfälle in der Geschichte der Kernenergetik veranschaulichen. Eine Kernschmelze in Three-Mile-Island hat zwar zur Zerstörung der Anlage geführt, aber zu keiner Belastung der Umgebung. Das Containment hat eine Verbreitung von radioaktivem Material unterbunden. Dagegen ist der Unfall von Tschernobyl als die bisher größte Katastrophe der Kernenergetik einzuschätzen, da es nach einer Kernexplosion zum Austrag von erheblichen Teilen des radioaktiven Inventars mit entsprechenden Belastungen der Umgebung gekommen ist.

Der Reaktor in Tschernobyl ist ein Druckröhrenreaktor im Gegensatz zu den Druckkesselreaktoren vom Typ der Druck- und Siedewasserreaktoren. Bei der konventionellen Wärmetechnik war der Übergang vom Druckkesseltyp zum Druckröhrentyp mit einer Verminderung des Gefährdungspotentials verbunden, bei Kernkraftwerken ist das Gegenteil der Fall. Der Druckröhrenreaktor ist sehr groß – die aktive Zone von Tschernobyl hat 7 m Durchmesser und 7 m Höhe –, und für diesen Typ ist kein Containment vorgesehen. Das ist in der anderen Sicherheitsphilosophie der Sowjetunion begründet. Man ging von maximal geringeren Belastungen im Störfall aus, und es wurde auch die Sinnfälligkeit des Sicherheitsberichtes bezweifelt. Tschernobyl hat diese Annahmen ad absurdum geführt. Es werden auch keine neuen Kernkraftwerke dieses Typs in Russland errichtet.

4. Gesellschaftliche Einflüsse

Ambivalenzen bei technischen Systemen entstehen auch durch den Einfluss der Arbeitskraft. Das gilt für alle technischen Systeme, nimmt aber bei energietechnischen Systemen einige spezifische Gesichtspunkte an. Deshalb sollen im Folgenden einige Überlegungen hierzu angestellt werden.

Der Einfluss der Arbeitskraft kommt in technischen Systemen in der Arbeitsorganisation und im Arbeitsschutz zum Ausdruck. Das hat zu den Arbeitswissenschaften geführt, innerhalb deren auch das Arbeitsingenieurwesen eingeordnet ist. Die Arbeitskraft brachte zunächst Wechselwirkungen zum Naturschutz mit sich, der gegen Ende des 19. Jh.s aus häufig romantischen Grundvorstellungen entstanden war und sich gesellschaftlich etabliert hatte. Von dort aus ist es in Verbindung zu technisch-technologischen Syste-

men nicht weit zum Umweltschutz, der sich im 20. Jh. herausgebildet hatte. Das führte schließlich zur Umweltschutztechnik als eine eigenständiger Disziplin mit eigenen Methoden und einem eigenständigen technischen Inventar. Charakteristisch hierfür sind die Schutzmaßnahmen zur Reinhaltung der Luft, des Wassers und des Bodens und zunehmend der Schutz vor Lärm. Hierzu werden, genau so wie beim Arbeitsschutz, Grenzwerte und Randbedingungen festgelegt, deren Einhaltung Grundlage für die Betriebsgenehmigung der jeweiligen Anlagen ist. Diese Grenzwerte sind aus der Erfahrung abgeleitet oder über theoretische Konstruktionen entstanden. Sie sind als Sicherheitszuschläge oder auch sinnvolle Redundanzen aufzufassen und berücksichtigen, dass in technischen Systemen sowohl technisches Versagen als auch menschliches Fehlverhalten zu Störfällen führen kann. Gegenwärtig zeigen viele Beispiele, dass derartige Grenzwerte unterlaufen werden. Das ist zunächst entwicklungsbedingt, da mit dem ständig zunehmenden Erkenntnisstand eine Reduzierung der Grenzwerte möglich erscheint und damit eine „schärfere“ Auslegung der technischen Systeme erfolgt. Das macht wiederum ganzheitliche Systembetrachtungen erforderlich, die häufig nicht in dem notwendigen Maße durchgeführt werden. Ein besonderes Kapitel ist die vorbeugende Instandhaltung, bei der die vorgegebenen Grenzwerte aus ökonomischen Gründen nicht eingehalten werden. Die Bahn AG hat hierzu in der letzten Zeit einige Beispiele geliefert.

Es gilt aber festzustellen, dass eine absolute Sicherheit theoretisch nicht erreicht werden kann. So führen natürliche Einflüsse bis hin zu Naturkatastrophen immer wieder zu Fragen, ob die vorliegenden Grenzwerte ausreichend derartige Einflüsse berücksichtigen. Es sei nur an Sylvester 1978/79 erinnert, nach dem gefordert wurde, die tiefste Auslegungstemperatur für bestimmte technische Systeme von –15° C auf –30° C abzusenken. Oder die Diskussion um die Klimaanlagen in den ICE-Zügen, die nach dem Sommer 2010 dazu führte zu fordern, dass die maximale Auslegungstemperatur der Klimaanlagen von derzeit +32° C auf nach und nach +45° C festzulegen sei. Technisch kann derartigen Forderungen natürlich Rechnung getragen werden. Es ist nur zu berücksichtigen, dass sie gewöhnlich mit erheblichen ökonomischen Aufwendungen verbunden sind. In diesem Zusammenhang ist an ein Wort von Immanuel Kant zu erinnern, das er in Verbindung mit dem verheerenden Erdbeben von Lissabon 1755 ausgesprochen hat: „Der Mensch muss sich in die Natur schicken“. Die Erde ist eben ein dynamischer Planet.

Ein weiteres Problem, das zu Risiken führt, ist der Terrorismus. Das ist aber ausschließlich ein gesellschaftliches Problem, das an dieser Stelle nicht weiter verfolgt werden soll.

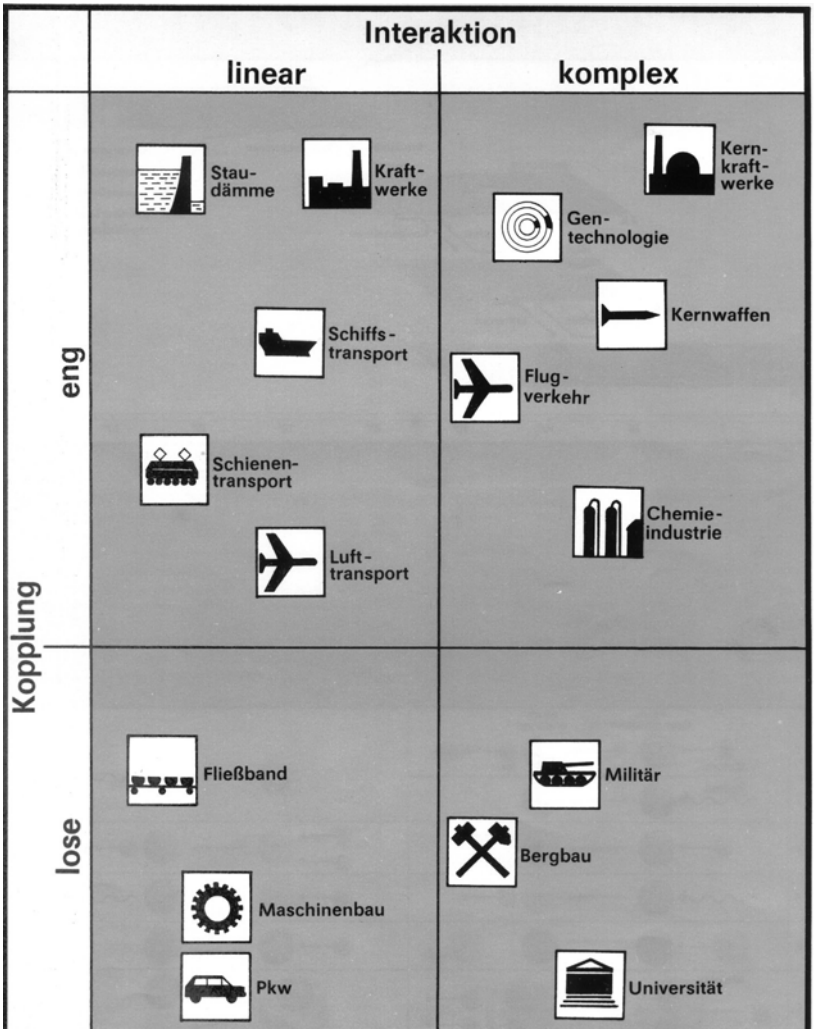


Abbildung 2: Gesellschaftlich empfundene Gefährdungspotenziale von Technologien
Quelle: verändert nach Perrow 1989, S. 138

Die Menschheit muss mit Risiken leben. Zur weiteren Aufhellung dieses Problems hat die Arbeitspsychologie die Unterscheidung zwischen objektiver und sozialer Rationalität vorgeschlagen (vgl. Perrow 1989). Unter objektiver Rationalität versteht man im vorliegenden Zusammenhang die Aussagen zu Risiken, die z.B. mit Hilfe von Zuverlässigkeitsanalysen gewonnen wurden, deren Grundlagen entsprechende statistische Angaben über Ausfallraten sind. Die soziale Rationalität legt die Empfindungen der Menschen zugrunde. Dabei wird offensichtlich, dass die persönlichen und öffentlichen Bedürfnisse unterschiedlich gewichtet werden. Das zeigt sich z.B. an der Einstellung zum Autoverkehr und dem Rauchen einerseits und der Einstellung zu Kernkraftwerken und Gentechnik andererseits. Mit den Begriffen Kopplung, die eine Zeitgebundenheit der Ereignisse zum Ausdruck bringen soll, und Komplexität, die auf mögliche Interaktionen hinweisen soll, ist eine grobe Einschätzung von industriellen und gesellschaftlichen Objekten vorgenommen worden mit dem gezeigten Ergebnis (siehe Abbildung 2). Die Angaben gehen offensichtlich mit bekannten Zielen der Protestbewegung in Deutschland konform. Bei der Einstellung zur Kerntechnik wird argumentiert, dass sie von der Industrie abhängig und ihr deshalb nicht zu trauen sei.

5. Konsequenzen

Welche Konsequenzen sollen aus den ambivalenten Wirkungen großer energetischer Systeme gezogen werden?

Von fundamentalistischer Position wird schnell der Abbruch der entsprechenden Entwicklungen, das Verbot gefordert. So wird z.B. eingeschätzt, dass bis zum Jahre 2020 ca. 40 GW an Kraftwerksleistung zu ersetzen ist. Das sind fast 50% der derzeitigen Engpassleistung. Unter diesem Aspekt sind 37 Projekte derzeitig in der Diskussion. Ganze neun Projekte befinden sich in der Bauphase. Das ist bei den langen Bauphasen von Wärmekraftwerken schon eine besorgniserregende Situation. Dagegen muss sich die Gesellschaft den ambivalenten Auswirkungen stellen, z.B. mit dem Aus- und Aufbau von entsprechenden Institutionen wie dem TÜV oder der GSR mit den zugehörigen juristischen Verantwortlichkeiten. Das gilt auch, wenn sich die zu verfolgenden Auswirkungen technisch-technologischer Systeme in der Gesellschaft nicht nur ambivalent, sondern polyvalent bemerkbar machen. Der anzustrebende Kompromiss zwischen den verschiedenen Einflüssen ist dann durch eine Art Polyoptimierung, z.B. mit Pattern-Methoden, zu bestimmen.

Das erfordert natürlich ein bestimmtes Niveau und Verständnis in der Gesellschaft. Das ist nur durch Aufklärung zur erzielen und setzt ein bestimmtes Bildungsniveau voraus. Denn die Aufgabe der menschlichen Gesellschaft – bei der noch immer anwachsenden Bevölkerungszahl auf der Erde und den nicht absehbaren qualitativen Bedürfnissen – ist anzustreben, diese Bedürfnisse durch technische Systeme und mit den Mitteln und Möglichkeiten, die heute zur Verfügung stehen, bestmöglichst und auf menschenwürdige Art und Weise zu befriedigen. Hubert Markl hat dies einmal aus christlicher Sicht so ausgedrückt: „Mir kann kein Gottverständnis einleuchten, das nicht zuallererst anerkennt, dass der Mensch ein Wesen mit Fähigkeit und Pflicht zur selbstverantwortlichen Lenkung der eigenen Geschicke ist, mit jener Einsichtsfähigkeit, jenem Erfindungsreichtum und jener Willenskraft, die es ihm erlaubte, sich über Jahrhunderttausende hinweg immer mehr von den Schicksalszwängen der Natur zu befreien. Dies genau sind die Eigenschaften, die ihn zu Wissenschaft, Forschung und technischer Erfindungsgabe befähigen, und deshalb ist die Notwendigkeit und Freiheit der Erkenntnissuche zur Bewältigung seiner Lebensprobleme durch Forschung und Entwicklung neuer Erfindungen nicht Ausdruck der Fortschrittshybris verblendeter Wissenschaftler, sondern unverzichtbarer Teil unserer Menschlichkeit und Menschenwürde“ (Markl 2002, S. 54).

Literatur

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

Lexikon (1906): Dampfkesselexplosion. In: Meyers Großes Konversations-Lexikon.6. Aufl. Bd. 4. Leipzig, S. 452-453

Perrow, Ch. (1989): Normale Katastrophen. Über die Risiken der Großtechnik. Frankfurt am Main/New York

Markl, H. (2002): Schöner neuer Mensch? München

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 143–152*

Norbert Mertzsch

Ambivalenzen erneuerbarer Energien

1. Das Problem

Das Ende der vorwiegenden Nutzung der Erneuerbaren Energien kann auf die Mitte des 18. Jh.s datiert werden. Grund dafür war zum Einen der zunehmende Energiebedarf durch den Beginn der Industrialisierung (Stichwort Dampfmaschine) und der starke Anstieg der Bevölkerungszahlen. Ein Beispiel für die Region Berlin-Brandenburg gibt 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).

In Berlin wurde damals die regenerative Energiequelle Holz durch die fossile Energiequelle Torf aus dem Rhinluch abgelöst. Seit dieser Zeit dominieren die fossilen Energiequellen die Bereitstellung von Gebrauchsenergie. Vorrangig genutzt werden dabei heute Kohle – Stein- und Braunkohle –, Erdöl und Erdgas. Hinzu gekommen ist seit etwa 50 Jahren die Kernenergie.

Die Ambivalenzen dieser Energiequellen wurden in den letzten Jahren ausreichend diskutiert. Als Stichworte seien nur genannt: Klimawandel, Folgen des Bergbaus, Tschernobyl.

Wenn man von den fossilen Energieträgern wegen ihrer Begrenztheit und ihrer Ambivalenzen weg will und Kernenergie (Spaltung bzw. Fusion) in keinem Fall eine Option sein soll, so bleiben nur die sogenannten Erneuerbaren Energien. Dazu zählen die Sonnenenergie in den vielfältigsten Formen (Photovoltaik, Solarthermie, Windenergie, Wasserkraft und Bioenergie) und in geringeren Größenordnungen Geothermie und Gravitationsenergie.

Die Notwendigkeit der Nutzung und des Ausbaus der Erneuerbaren Energien ergibt sich aus der begrenzten Reichweite der derzeit vorwiegend genutzten fossilen Energieträger, den Klimaschutzbemühungen, sowie weiteren

Umweltschutzbelangen. Auch Bestrebungen zur Verringerung der Abhängigkeit von Energieimporten spielen eine Rolle.

Zum Thema Erneuerbare Energien stellte die Agentur für Erneuerbare Energien den ersten Potenzialatlas für regenerative Energien vor (vgl. Schmidt/Mühlenhoff 2010). In ihm ist der Flächenverbrauch von heute und bis zum Jahr 2020 für alle Sparten der Erneuerbaren Energien berechnet. Von möglichen Ambivalenzen ist dort nichts zu spüren.

Doch die Aussage von Ortwin Renn „Die Hoffnung auf Vermeidung von negativen Technikfolgen ist trügerisch, weil es keine Technik gibt, nicht einmal geben kann, bei der nur positive Auswirkungen zu erwarten wären“ (Renn 2009, S. 33), gilt auch für die erneuerbaren Energien.

Deshalb sollte der Slogan der Agentur für Erneuerbare Energien „Unendlich-viel-Energie“ hinterfragt werden, um bei der Ablösung fossiler Energieträger und der Kernenergie durch die Erneuerbaren Energien rechtzeitig mögliche Grenzen für den Einsatz und nicht hinnehmbare Ambivalenzen zu erkennen.

Denn es gilt zu bedenken: Der Gesamtleistungseintrag der Sonne auf der Erde liegt bei 121.000 TW. Dem entgegen steht nach Günter Flach ein Primärenergieeinsatz 2004 von 15 TW (vgl. Flach 2006). Somit müssten ca. 0,01% der Sonnenenergie genutzt werden, um den derzeitigen Weltenergiebedarf zu decken. Das hört sich erst einmal sehr wenig an. Doch wie viel Prozent der Sonnenenergie für den Energiebedarf der Menschheit genutzt werden können, ohne dass globale Prozesse beeinflusst werden, ist nach meiner Kenntnis noch unbekannt. Es sei nur daran erinnert, dass das gesamte Weltklima einschließlich Windsysteme, Meeresströmungen, Wasserkreislauf und das Leben auf den 121.000 TW Sonneneinstrahlung beruhen.

Der genannte Primärenergieeinsatz 2004 entspricht nach Flach etwa 4,3 % der kinetischen Energie des Windes (nach anderen Quellen ca. 0,5 % der Windenergie; vgl. Brockhaus 1993a) oder 15 % der Photosyntheseleistung (nach aktuellen Daten (vgl. Wikipedia 2010a) übersteigt der Weltenergiebedarf sogar die Photosyntheseleistung).

An dieser Stelle soll nun versucht werden, auf einige bisher erkennbare Ambivalenzen bei der Nutzung der einzelnen Arten der erneuerbaren Energien hinzuweisen. Da bisher bei weitem noch nicht alle Probleme bekannt sind, kann dies nur ein Anfang sein.

2. Photovoltaik

Die Leistung von Solarzellen ist in unseren Breiten astronomisch bedingt begrenzt. So liegt die eingestrahlte Energie in Mitteleuropa bei etwa 900 bis 1.100 kWh pro Quadratmeter und Jahr und in der Sahara bei etwa 2.300 bis 2.600 kWh pro Quadratmeter und Jahr (vgl. Brockhaus 1993a). Es ist darüber hinaus zu erwarten, dass in ca. 20 Jahren die Nachfrage nach speziellen Dotierungselementen, z.B. für Dünnschichtsolarzellen, nicht mehr zu decken ist (vgl. Angerer et al. 2009).

Unter diesen Aspekten ist zu hinterfragen, ob die breite Anwendung der Photovoltaik in Deutschland beim derzeitigen Entwicklungsstand unter globalen Aspekten zu verantworten ist. Zu bedenken ist auch, dass z.B. starke Vulkanausbrüche über Jahre negative Auswirkungen auf die Sonneneinstrahlung und damit auf die Nutzung von Photovoltaik und Solarthermie sowie die Vegetation und damit die Bioenergie haben können. Als Beispiel soll hier der Ausbruchs des Vulkans Tambora auf der Insel Sumbawa im heutigen Indonesien im April 1815 angeführt werden (vgl. Wikipedia 2010b).

Ein bisher ungelöstes Problem der Photovoltaik ist die kontinuierliche Bereitstellung von Elektroenergie, da bisher geeignete Speichermedien für große Energiemengen fehlen. Das zwingt derzeit dazu, die komplette Kapazität der Photovoltaik in Reserve (z.B. auf Basis fossiler Energie) zu halten. Damit wird die Kohlenstoffdioxideffizienz dieser Kraftwerke deutlich reduziert. Demzufolge müsste eigentlich der Photovoltaik ein Teil der Kohlenstoffdioxidproduktion dieser Reservekraftwerke zugeordnet werden. Nach einer Publikation des Öko-Institutes e.V. (vgl. Fritsche 2007) gibt es dazu aber anscheinend keine Überlegungen, was zumindest beim derzeitigen Stand der Speichertechnologien für elektrischen Strom zu ungerechtfertigten Vorteilen der Photovoltaik gegenüber fossilen Kraftwerken hinsichtlich der Kohlenstoffdioxidbilanz führt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch die Kohlenstoffdioxidbilanz von Speichertechnologien in Abhängigkeit von ihrer Verfügbarkeit auf die einzelnen erneuerbaren Energien umgelegt werden muss.

Zur Speicherung überschüssiger Strommengen bei der Nutzung von Photovoltaik und Windenergie wurde in jüngster Zeit das Konzept des „Erneuerbaren Methans“ vorgestellt (vgl. Sterner et al. 2010). Bei Nutzung dieses Konzeptes sollte die CCS-Technologie unter dem Aspekt der Rückholbarkeit von unterirdisch gespeichertem Kohlenstoffdioxid neu diskutiert werden.

Auch die Nutzung landwirtschaftlich nutzbarer Flächen für Photovoltaikanlagen ist problematisch zu sehen. Dazu gelten die unten beim Punkt Bioenergie aufgeführten Hinweise.

3. Solarthermie

Die Solarthermie nutzt die gleiche eingestrahlte Energie wie die Photovoltaik. Dabei reicht ihr Nutzungsspektrum von der Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus, zum Teil mit Wärmespeicherung, bis zum Solarthermischen Kraftwerk im Konzept Desertec (vgl. Desertec 2010).

Zwischen solarthermischen Anlagen und Photovoltaikanlagen besteht Flächenkonkurrenz. Abhilfe könnten sogenannte Hybrid-Kollektoren bieten (z.B. Solarhybrid AG 2009).

Unklar ist auch hier die Versorgungssicherheit bei vulkanischen Ereignissen, die sich langfristig auf die Atmosphäre auswirken. Beim Aufbau großer solarthermischer Kraftwerke in Wüsten ist die Wirkung der Abschattung der Flächen ebenfalls zu betrachten, denn auch die Wüste ist ein Biotop.

4. Windenergie

Die intensive Nutzung der Windenergie kann das Mikroklima im Bereich von Windparks beeinflussen (vgl. z.B. Keith 2004). Welche Schlussfolgerungen sich daraus langfristig auch global ergeben, bleibt abzuwarten. Sollten sich z.B. Änderungen im Bereich der Windsysteme in der Bodélé-Niederung in der Sahara einstellen, könnte das für den Transport von Nährstoffen aus der Sahara zum Regenwald des Amazonasgebietes von Bedeutung sein (vgl. Koren et al. 2006).

Die Windenergie leidet wie die Photovoltaik unter dem Problem der diskontinuierlichen Bereitstellung. Im Binnenland sind die möglichen Standorte weitgehend erschöpft. Die Probleme mit dem Landschaftsbild sind bekannt. In der Nähe von Ortschaften gibt es Konflikte bezüglich der Geräuschbelästigung und der Schlagschatten. Wie sich die Probleme mit dem Naturschutz bezüglich der Einwirkung auf Tierpopulationen langfristig entwickeln werden, bleibt abzuwarten. Ebenso sind Auswirkungen auf die Tierwelt bei Bau von Windrädern in Wäldern, wie im Land Brandenburg diskutiert, nicht auszuschließen (vgl. Grote 2009).

Bei Windparks auf dem Meer sind bei Bau und Betrieb Auswirkungen, positive wie negative, auf die Meeresbewohner zu erwarten. Wirklich belastbare Ergebnisse einer ökologischen Begleitforschung, die zur Windenergie-

nutzung im Offshore-Bereich der Nord- und Ostsee gestartet wurde, werden sicherlich erst in einigen Jahren zu erwarten sein (vgl. z.B. KLIMZUG 2010).

Bisher wird das Thema Schallausbreitung im Wasser nur beim Bau von Windparks diskutiert. Der Betrieb von Windparks kann jedoch möglicherweise die gleichen Auswirkungen hinsichtlich der Schallausbreitung wie die Schifffahrt haben. Bei der Diskussion dieses Problems muss auch die durch erkannte deutliche Erhöhung der Schallleitfähigkeit im Wasser durch die Versauerung der Meere einbezogen werden (vgl. Ilyina 2009).

5. Bioenergie

Derzeit ist Biomasse die am umfangreichsten genutzte regenerative Energiequelle, wobei deren Nutzung noch ausgebaut werden soll. Doch die forst- und landwirtschaftliche Nutzfläche ist begrenzt. Um diese konkurrieren:

- Nahrungsmittelproduktion;
- Anbau von Energiepflanzen;
- Anbau von Pflanzen für chemische Verwertung;
- Naturschutz;
- Gewässerschutz;
- klassische Holznutzung.

Für die zukünftige Sicherung des Energiebedarfs wird der Anteil der Bioenergie m.E. als zu hoch angesetzt (vgl. auch Holt-Giménez 2007). Es ist zu beachten, dass die Sicherung der Versorgung mit qualitativ hochwertigen und bezahlbaren Nahrungsmitteln für eine weiter steigende Weltbevölkerung Priorität haben muss. Dabei ist zu berücksichtigen, dass besonders infolge klimatischer Unwägbarkeiten in Zukunft mehr Flächen für die Nahrungsmittelproduktion bereitgestellt bzw. vorgehalten werden müssen.

Die Europäische Union hat zwar Vorgaben gemacht, womit verhindert werden soll, dass Biomasse auf schützenswerten Gebieten angebaut wird (vgl. Richtlinie 2009), doch wenn man Veröffentlichungen über das, was z.B. in Indonesien und Afrika Realität ist, ernst nimmt (vgl. Baxter 2010; Gouverneur 2009) kann man an der Wirksamkeit eines solchen Nachhaltigkeits-Zertifikats zweifeln.

Von entscheidender Bedeutung bei der Betrachtung des Potenzials der Bioenergie ist auch die Problematik der Sicherung der Wasserversorgung für die landwirtschaftliche Produktion. So würde sich der jährliche Wasserverbrauch bis 2045 – nach einem Beitrag im Hamburger Abendblatt (vgl. HA 2007) – verdoppeln, wenn die EU und die USA an ihren Ausbauplänen für Biokraftstoffe festhielten. Für den Import von Biomasse bedeutet dies, dass

in beträchtlichem Maße Wasser mit importiert wird, welches den produzierenden Regionen verloren geht.

Im Land Brandenburg heißt das, dass alle Anstrengungen zur Sicherung des Landschaftswasserhaushalts (vgl. Projektgruppe 2003) zum Scheitern verurteilt sein dürften.

Prioritär sollte deshalb eine dauerhafte Sicherung bzw. Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit unter Einsatz von Abfällen der Land- und Forstwirtschaft sein. Dazu könnte die Schaffung von Bodenstrukturen ähnlich der in Amazonien gefundenen „Terra Preta“ besonders bei den Sandböden Brandenburgs eine Hilfe sein (vgl. Engelmann 2010). Abfallbiomasse ist dazu in Kohlenstoffprodukte umzuwandeln, die dauerhaft aus dem Kohlenstoffkreislauf ausscheiden. Ziel muss es sein, die Böden langfristig dahin zu entwickeln, dass Nährstoffe und Feuchtigkeit länger pflanzenverfügbar bleiben, wodurch der Bedarf an Düngemittel verringert, die Qualität des Grundwassers verbessert und der Landschaftswasserhaushalt stabilisiert wird.

Für eine energetische Nutzung von Biomasse werden unter o.g. Prämissen demzufolge nur eingeschränkt Abfälle der Land- und Forstwirtschaft zur Verfügung stehen. Diese sind dann mit dem höchsten Wirkungsgrad zu nutzen. Das sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand die Erzeugung von Biogas und die thermische Verwertung.

6. Wasserkraft

Wasserkraft ist derzeit die wichtigste erneuerbare Energiequelle, die zur Stromerzeugung genutzt wird. Für den Ausbau der Wasserkraft gibt es außer im dichtbesiedelten Europa noch ein großes Potenzial.

Auch wenn die Nutzung von Wasserkraft zur Energiegewinnung meist als besonders ökologisch anerkannt wird, sind mit ihr teilweise erhebliche Eingriffe in die Natur und Landschaft verbunden (vgl. z.B. Brockhaus 1994). Ein aktuelles Beispiel, bei dem die Energiegewinnung durch Wasserkraft gleichzeitig ein gravierender Eingriff in ein Ökosystem bedeutet, ist der Drei-Schluchten-Damm am Jangtsekiang in China (vgl. Wikipedia 2010c). Kleine Wasserkraftwerke werden deshalb im Land Brandenburg wegen der Eingriffe in das Ökosystem wie Anstau oder Verbauungen weitgehend abgelehnt (vgl. Bock et al. 2003). Abhilfe könnte hier, zumindest teilweise, die Nutzung von Flussstrom- oder Schaufelradkraftwerken schaffen (vgl. z.B. Umweltmagazin 2010).

7. Geothermie

Die Geothermie ist global gesehen eine langfristig nutzbare Energiequelle. Allerdings ist nur ein kleiner Teil der gespeicherten Energie technisch nutzbar und die Auswirkungen auf die Erdkruste bei umfangreicher Nutzung der Geothermie sind noch unklar (vgl. Wikipedia 2010d).

Nutzungskonflikte bei der Anwendung der Geothermie können sich durch die verschiedenen Nutzungsanforderungen an die Tiefenstrukturen ergeben. So konkurrieren Druckluftspeicher, Erdgasspeicher, Speicher für Kohlenstoffdioxid, Bergbau, Untertagedeponien und Endlager für radioaktive Abfälle um Platz im Untergrund.

Ein weiteres Problem bei der Nutzung der Geothermie ist der mögliche Eintritt tektonischer Ereignisse. Als Beispiel seien hier die Probleme mit der Geothermiebohrung in Basel angeführt (vgl. Knechtli 2007).

8. Gravitationsenergie

Die Gravitationsenergie ist in Form der Gezeitenenergie an besonders geeigneten Küsten nutzbar. Konflikte können z.B. bei der Absperrung von Buchten für Staudämme, wie bei der traditionellen Wasserkraftnutzung, insbesondere mit dem Naturschutz oder anderen traditionellen Nutzungen der entsprechenden Küsten (Tourismus, Fischerei) entstehen.

Beim Gezeitenkraftwerk La Rance (vgl. Wikipedia 2010e) wurde durch das Absperrbauwerk das Ökosystem der Flussmündung merklich verändert. Der Abtransport von Sedimenten und Schlamm zum offenen Meer wurde so weit behindert, dass es zu einer massiven Verlandung der Flussmündung gekommen ist. Durch die Änderung des Salzgehaltes des Wassers im Bereich des Kraftwerkes hat sich die Zusammensetzung der Fischarten ebenfalls geändert.

Als günstiger könnte sich da vielleicht die Technologie der Strömungskraftwerke erweisen, die wie ein Windrad unter Wasser funktionieren (vgl. z.B. Voith Hydro 2010).

9. Fazit

Als Fazit bleibt, dass es bei der Bereitstellung von Nutzenergie auch unter Nutzung erneuerbarer Energien immer zu Ambivalenzen kommen wird.

Klarheit ist für den weiteren starken Ausbau der Erneuerbaren Energien darüber zu schaffen, in welchem Umfang die Nutzung global und regional

möglich ist und wie bei langfristigen Behinderungen der Sonneneinstrahlung die Versorgungssicherheit gewährleistet werden kann.

Darüber hinaus ist in jedem Fall ist vor Ort gesondert zu betrachten, was verantwortbar ist bzw. was unterbleiben sollte.

Wo die Ambivalenzen am geringsten ausfallen werden, ist beim Einsparen von Energiedienstleistungen.

Literatur

Angerer, G.; Marscheider-Weidemann, F.; Lüllmann, A.; Erdmann, L.; Scharp, M.; Handke, V.; Marwede, M. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Stuttgart. – URL: http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-910079.pdf

Baxter, J. (2010): Wie Gold, nur besser Fette Dividenden aus Afrikas Böden. In: Le Monde diplomatique, Nr. 9089 (15.1.). – URL: http://www.monde-diplomatique.de/pm/2010/01/15.mondeText1.artikel,a0040.idx,11

Bock, R.; Jursch, H.; Köhler, R.; Kühne, M.; Oelze, M. (2003): Aspekte der Wasserkraftnutzung in Brandenburg. Positionspapier des Landesumweltamtes. In: Landesumweltamt (Hg.): Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Nr. 80. – URL: http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2320.de/lua_fb80.pdf

Brockhaus (1993): Sonnenenergie. In: Brockhaus-Enzyklopädie in 24 Bdn. Bd. 20, S. 464

Brockhaus (1994): Wasserkraftwerk. In: Brockhaus-Enzyklopädie in 24 Bdn. Bd. 23, S. 626-627

Desertec (2010): Das Desertec-Konzept. – URL: http://www.desertec.org/de/konzept/ [30.12.2010]

Engelmann, D. (2010): Terra Preta. – URL: http://www.planet-wissen.de/natur_technik/wald/amazonien/terra_preta.jsp [08.06.2010]

Flach, G. (2006): Physikalische Aspekte des globalen Energieproblems. In: Leibniz Online 2/2006 (25.10.2006). – URL: http://www2.hu-berlin.de/leibniz-sozietaet/journal/archive/2_06/EnergieglobalFlach.pdf

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

Fritsche, U. R.; Rausch, L.; Schmidt, K. (2007): Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung. Freiburg u.a. – URL: http://www.oeko.de/publikationen/forschungsberichte/studien/dok/657.php?id=&dokid=318&anzeige=det&ITitel1=&IAutor1=&ISchlagw1=&sortieren=&dokid=318

Gouverneur, C. (2009): Biosprit aus Palmen Indonesien opfert seine Wälder. In: Le Monde diplomatique, Nr. 9062 (11.12.). – URL: http://www.monde-diplomatique.de/pm/2009/12/11.mondeText1.artikel,a0044.idx,13

Grote, K. D.; (2009): Wind aus dem Wald: Künftig sollen sich Windräder auch über Bäumen drehen / Landtag beschließt Mindestabstand. In: Märkische Allgemeine. – URL: http://www.maerkischeallgemeine.de/cms/beitrag/11509048/62249/Kuenftig-sollen-sich-Windraeder-auch-ueber-Baeumen-drehen.html [05.06.2009]

HA – Hamburger Abendblatt (2007): Nachfrage nach Biokraftstoff treibt Wasserverbrauch hoch. In: Hamburger Abendblatt, 17.08. – URL: http://www.abendblatt.de/politik/ausland/article485417/Nachfrage-nach-Biokraftstoff-treibt-Wasserverbrauch-hoch.html [24.01.2010]

Holt-Giménez, E. (2007): Sprit vom Acker. Fünf Mythen vom Übergang zu Biokraftstoffen. In: Le Monde diplomatique, Online-Ausgabe Juni. – URL: http://www.monde-diplomatique.de/pm/.dossier/hunger_artikel.id,20070608a0043

Ilyina, T.; Zeebe, R. E.; Brewer, P. G. (2009): Future Ocean Increasingly Transparent to Low-frequency Sound Owing to Carbon Dioxide Emissions. In: Nature Geoscience No. 3, pp.18-22. – URL: http://www.nature.com/ngeo/journal/v3/n1/abs/ngeo719.html

Keith, D. (2004): Wind Power and Climate Change (Version of 11 November 2004). – URL: http://people.ucalgary.ca/~keith/WindAndClimateNote.html

KLIMZUG (2010): RADOST-Workshop nimmt „Ökosystem-Windpark“ ins Visier (04.11.2010). – URL: http://www.klimzug.de/de/705.php [30.12.2010]

Knechtli, P. (2007): Neues Erdbeben durch Basler Geothermiebohrung. In: Online Reports, 06.01. – URL: http://www.onlinereports.ch/OEkologie.113+M54e65635c9a.0.html [08.09.2010]

Koren, I.; Kaufman, Y. J.; Washington, R.; Todd, M. C.; Rudich, Y.; Martins, J. V.; Rosenfeld, D. (2006): The Bodélé Depression. A Single Spot in the Sahara that Provides Most of the Mineral Dust to the Amazon Forest. In: Environmental Research Letters, Vol. 1, Article 014005

Projektgruppe (2003): Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg. Kurzfassung zum Sachstandsbericht mit Konzeption. Projektgruppe Landschaftswasserhaushalt (Juni 2003). – URL: http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/5lbm1.c.87249.de

Renn, O. (2009): Komplexität, Unsicherheit und Ambivalenz – Vermittlung von TA und ihrer Methoden in der universitären Lehre. In: TATuP – Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis, Jg. 18, Nr. 3 (Dezember), S. 32-40. – URL: http://www.itas.fzk.de/tatup/093/renn09a.htm

Richtlinie (2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. – URL: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:DE:PDF

Schmidt, J.; Mühlenhoff, J. (2010): Erneuerbare Energien 2020. Potentialatlas Deutschland. Hg. v. d. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. – URL: http://

www.unendlich-viel-energie.de/uploads/tx_nawikeebasket/Potenzialatlas_2_Auflage_Online.pdf

Solarhybrid AG (2009): Strom und Wärme mit Hybrid-Kollektor. – URL: http://www.solarhybrid.ag/fileadmin/user_upload/_DOWNLOADS/pressemitteilungen/PM090122_ISH.pdf [22.01.2009]

Sterner, M.; Saint-Drenan, Y.-M.; Gerhardt, N.; Specht, M.; Stürmer, B.; Zuberbühler, U. (2010): Erneuerbares Methan. Ein innovatives Konzept zur Speicherung und Integration Erneuerbarer Energien sowie zur regenerativen Vollversorgung. In: LIFIS ONLINE. Internet-Zeitschrift des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS) [09.07.2010]. – URL: http://www.leibniz-institut.de/archiv/sterner_09_07_10.pdf

Umweltmagazin (2010): Schaufelrad-Kraftwerk auf der Elbe. – URL: http://www.umweltmagazin.de/umwelt/index.php?data[category_id]=111&data%20[article_id]=55893 [28.07.2010]

Wikipedia (2010a): Strahlungshaushalt der Erde. – URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungshaushalt_der_Erde [17.10.2010]

Wikipedia (2010b): Jahr_ohne_Sommer. – URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Jahr_ohne_Sommer [12.09.2010]

Wikipedia (2010c): Wasserkraft. – URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserkraft [17.10.2010]

Wikipedia (2010d): Geothermie. – URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie [17.10.2010]

Wikipedia (2010e): Gezeitenkraftwerk Rance. – URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Gezeitenkraftwerk_Rance [17.10.2010]

Voith Hydro (2010): Ocean Current Technologies. Flyer der Voith Hydro Ocean Current Technologies GmbH & Co. KG. – URL: http://www.voithhydro.com/media/t331_Ocean_Current_Technologies_72dpi.pdf [30.12.2010]

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 153–160*

Dietrich Balzer

Automatisierung – Fluch oder Segen?

1. Einleitung

Unter Automatisierung verstehen wir *erstens* die Übertragung von Arbeit vom Menschen auf Automaten und *zweitens* die Unterstützung des Menschen bei der Ausführung von Arbeit. Wenn wir die in der Überschrift gestellte Frage beantworten wollen, so müssen wir sowohl technische und ökonomische als auch soziale Aspekte der Automatisierung betrachten. Im Einzelnen geht es darum zu beurteilen, wie die Automatisierung in der Gesellschaft wahrgenommen wird und wie sie die menschliche Entwicklung beeinflusst hat und weiter beeinflussen wird. In diesem Zusammenhang müssen wir auch in Übereinstimmung mit dem Generalthema des Kolloquiums den Beitrag der Automatisierung zur Entwicklung der Allgemeinen Technologie benennen.

Der vorliegende Beitrag, der seinerseits auf die Darstellung der technischen Aspekte der Automatisierung weitgehend verzichtet, ist als Fortsetzung eines Vortrages auf dem letzten Kolloquium zur Allgemeinen Technologie zu verstehen (vgl. Balzer 2008), auf den auch im vorliegenden Beitrag Bezug genommen wird.

2. Wahrnehmung in der Gesellschaft

Automatisierungsobjekte sind alle Bereiche der menschlichen Tätigkeit: Produktion, Büro, Dienstleistungen, Transport, Altenpflege, Hauswirtschaft, wissenschaftliche Experimente usw. Um die Stellung der Automatisierung im Bewusstsein der Menschen zu analysieren müssen neben technischen, ökonomischen und sozialen auch historische, kulturelle und politische Fragen behandelt werden.

Die allgemeinbildenden Schulen vermitteln im Wesentlichen positiv gefärbte Grundkenntnisse über die Rolle der Automatisierung in der Gesellschaft. Die Automatisierung erhöht in Kombination mit der Mechanisierung den Lebensstandard. Solche Schlagworte wie „Weniger produzieren mehr“

oder die Einführung des Begriffes „Systemautomatisierung“ und „Herauslösung des Menschen aus dem Produktionsprozess“ für das Eindringen der Automatisierung in alle Bereiche der Gesellschaft haben eine berechtigte positive Grundstimmung geschaffen. Diese Aussage wird auch nicht dadurch außer Kraft gesetzt, dass die Arbeitslosigkeit in der Gegenwart sowie der Weberaufstand und die Maschinenstürmer in der Vergangenheit mit der zunehmenden Automatisierung und Mechanisierung in Verbindung gebracht werden.

In der wissenschaftlichen Welt ist die Automatisierung als eine Integrations- bzw. Systemwissenschaft im wesentlichen ebenfalls positiv belegt, obwohl in der Vergangenheit die Kybernetik als die allgemeine Wissenschaft von der automatisierten Steuerung sowohl von gesellschaftlichen und technischen Prozesse als auch von Naturprozessen von bestimmten gesellschaftlichen Kreisen als „Wissenschaftslüge“ bezeichnet wurde. Automatisierungstechnische Systeme integrieren Komponenten der Technischen Physik, der Angewandten Mathematik und der Betriebswirtschaftslehre. Durch die stürmische Entwicklung der elektronischen Basis der Rechentechnik kommt es zu einer immer stärkeren Integration von Kommunikationstechnik, Informatik und künstlicher Intelligenz. In dem Kunstwort „Telematik“ ist die Automatisierung als Begriff enthalten. Die kognitive Psychologie als eine Gesellschaftswissenschaft findet als wissenschaftliche Basis der Mensch-Prozess-Kommunikation in der Automatisierung immer breitere Anwendung

3. Die Geschichte der Industrialisierung ist auch eine Geschichte der Automatisierung

Durch den Einsatz von Komponenten der Mechanisierung und Automatisierung wurde das technologische Niveau der Produktion ständig erhöht. Es besteht allgemeiner Konsens darin, dass sich in der Geschichte der Technik zwei revolutionäre Entwicklungen nachweisen lassen, die die Arbeitsproduktivität sprunghaft erhöht haben: Die industrielle Revolution und die wissenschaftlich-technische Revolution. Diese Sprünge in der Arbeitsproduktivität führten auch zu revolutionären Veränderungen in der Gesellschaft. Abbildung 1 stellt die geschichtliche Entwicklung der Produktivkräfte schematisch dar.

In den jeweils revolutionären Perioden kommt der Zusammenhang zwischen Gegenstand und Mittel der Automatisierung in besonderem Maße zum Ausdruck (vgl. Iwainsky 2007). Im Vorfeld und im Höhepunkt der Industriellen Revolution bestimmen mechanische Regler als Automatisierungsmittel das höhere technologische Niveau der Automatisierungsgegenstände: Spinnrad (1298), Strickmaschine (1589), Dampfmaschine (1769), Konservendose

(1849), Fliessband (1908). Bei der wissenschaftlich-technischen Revolution erhöhen vor allem elektronische Automatisierungsmittel mit intelligenten Algorithmen das technologische Niveau der Automatisierungsgegenstände: Programmgesteuerte Rechenmaschine (1941), NC-Maschine (1954), Glassfaser (1966), Mikroprozessor (1971), Prozesssystem TCC 2000 (1975), GPS (1995).

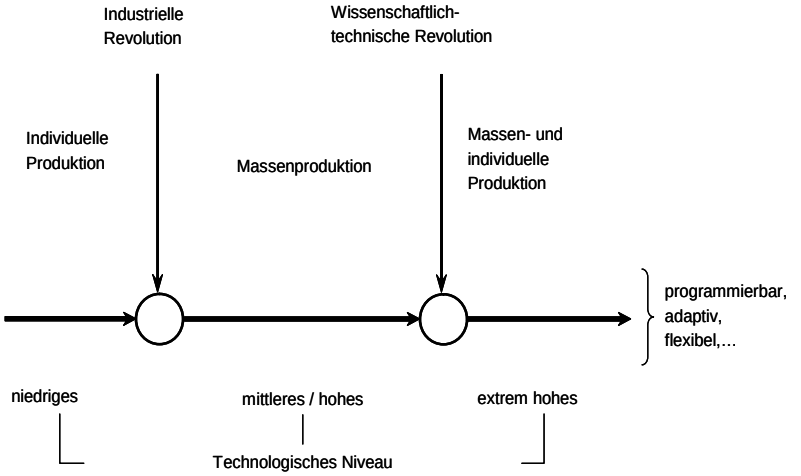


Abbildung 1: Geschichtlicher Zusammenhang zwischen Industrialisierung und Automatisierung Quelle: nach Balzer 1989, S. 5; 1992, S. 1

4. Der Beitrag der Automatisierung zur Allgemeinen Technologie

Der positive Beitrag der Automatisierung zur Gestaltung der Allgemeinen Technologie trägt zweifellos zur positiven Bewertung der Automatisierung bei. In Tabelle 1 sind die technologischen Funktionen dargestellt und beschrieben, die das technologische Niveau der Produktionsprozesse verbessern und gleichzeitig ein Beitrag zur Theorie der Allgemeinen Technologie sind.

Die Automatisierung verwendet zur Herstellung von Automatisierungsmitteln sogenannte technologische Ketten, die in anderen Disziplinen der Technikwissenschaften eingesetzt werden können und damit ein Beitrag zur Allgemeinen Technologie sind. Abbildung 2 zeigt als Beispiel eine solche technologische Kette für die Herstellung der Software von Automatisierungssystemen, die ihrerseits Bestandteil des Arbeitsmittels als Bindeglied zwischen Mensch und Arbeitsgegenstand ist.

Funktion	**verbale Erläuterung des Inhaltes**	**typische technische Lösungen**
Prozess-sicherung	Alarmierung, Notabschaltung bei Gefahrenzuständen, Verwirklichung von Abwehrstrategien, Verhinderung von Fehlbedienungen	Sicherheits-/Schutzverriegelungssystem, Abfahrsteuerungen auf Basis schaltungsprogrammierter Steuerungstechnik, intelligente vorbeugende Prozesssicherung
Prozess-stabilisierung	automatische Kompensation von Störungsauswirkungen, dynamische Entkopplung von Teilsystemen	Regelsysteme, intelligente Prozesskoordinierung
Prozess-optimierung	Bestimmung und Einstellung optimaler Betriebsregime (Arbeitspunkte) Bestimmung und Realisierung optimaler Übergangsvorgänge (Umstellen, Anfahren usw.)	Einsatz von Optimierungsalgorithmen

Tabelle 1: Technologische Funktionen der Automatisierung, Quelle: nach Balzer 1989, S. 91

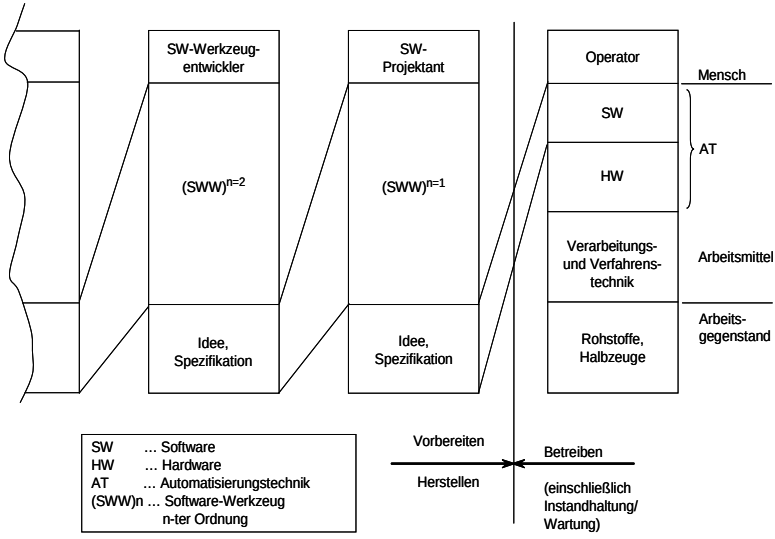


Abbildung 2: Technologische Ketten der Automatisierung, Quelle: nach Balzer 1992, S. 11

5. Integration von Automatisierung, Informatik und Telekommunikation

Die Integration von Automatisierung von Automatisierung, Informatik und Telekommunikation hat entscheidenden Einfluss auf die Arbeitswelt und auf die globale Ökonomie. Das Management ist bemüht, die nun entstandenen Möglichkeiten des Outsourcing zu nutzen, um eine Auslagerung von Tätigkeiten bei gleichzeitiger Fokussierung auf die Kernkompetenzen vorzunehmen. Die weltweite globale Vernetzung, ermöglicht durch die oben genannte Integration, schafft die Voraussetzungen dafür. Das führt zu wesentlichen Kosteneinsparungen im Unternehmen. Eine weitere Tendenz besteht darin, durch das sogenannte Offshoring produzierende Tätigkeiten nach außen zu verlagern um Kosten zu sparen. Auch in diesem Fall ist die globale Vernetzung die Basis dafür. Diese beiden Tendenzen haben im gesellschaftlichen Bewusstsein einen negativen Anstrich, weil sie mit der Entlassung von Arbeitskräften und mit Gehaltsreduzierung verbunden sind. Der Globalisierungsdruck und die ständig steigende Wettbewerbsintensität zwingen die Unternehmen jedoch, diese Wege zu gehen. In Zahlen ausgedrückt heißt das, dass ca. 1,2 Mrd. Menschen auf den internationalen Arbeitsmarkt drängen. Das ist auch die Ursache dafür, dass Indien sich als international agierendes Dienstleistungszentrum und China sich als global tätiges Produktionszentrum etabliert haben und weiter etablieren werden. Als ein weites Beispiel ist Russland zu nennen, für das Mittelasien als Lieferant für Gastarbeiter bei der Modernisierung des Landes dient. Die russische Industrie und Landwirtschaft fördern diese Entwicklung, währen die russische Gesellschaft wenig Verständnis dafür hat. Darüber hinaus sind ethnische Konflikte vorprogrammiert.

Unter Beachtung der oben genannten konkreten Beispiele ist es völlig verständlich, dass ein globales Nachdenken über die ‚Perspektiven der Arbeitsgesellschaft eingesetzt hat. Eine sehr verbreitete Meinung besteht darin, dass wir einem Ende der „Normalarbeitsverhältnisse“ entgegen gehen mit einem Ende der Kontinuität und Stabilität ohne sichere Vollzeitjobs. Das lange vorausgesagte lebenslange Lernen und Weiterbilden wird zur Gewissheit, obwohl genau diese Entwicklung auch sehr positive Effekte aufweist. Die heute bereits vorhandene Spaltung der Gesellschaft in gut bezahlte Wissensarbeiter einerseits und schlecht bezahlte prekäre Beschäftigungsverhältnisse andererseits wird sich weiter vertiefen. Wir haben es mit einer sogenannten „Brasilianisierung der Arbeit“ und mit einer Reduzierung der Mittelschicht als Stabilitätsfaktor zu tun. Diese sozialen Faktoren und die damit verbundenen sozialen Verwerfungen dürften auch die eigentlichen Ursachen für die gegen-

wärtigen Unruhen in der arabischen Welt zu sein und nicht das in die Massenmedien beschriebene Streben nach Demokratie.

6. Wirtschaftliche und soziale Sicherung durch Automatisierung von Prozessen

Wie bereits dargestellt erhöht die Automatisierung die Arbeitsproduktivität und entscheidet damit über den Sieg von Gesellschaftsordnungen. Andererseits wird damit das Problem der Arbeitslosigkeit verstärkt. Das bedeutet, dass die Automatisierung sowohl Segen als auch Fluch ist. Wenn wir vom Charakter der Arbeit reden, so müssen wir sowohl ihre quantitative als auch ihre qualitative Dimension betrachten. Das heißt, dass es sowohl um die Existenzsicherung als auch um die Sozialisierung des Individuums geht. Mit dieser Frage hat sich Günter Spur beschäftigt (vgl. Spur 1997). Arbeit ist die Quelle des Einkommens. Wir alle wissen, dass Arbeitslosigkeit die politische, wirtschaftliche und soziale Stabilität gefährdet. Obwohl diese Erkenntnis im wesentlichen Allgemeingut ist besteht zu den Ursachen und zu den Folgen der Arbeitslosigkeit weder politischer noch wissenschaftlicher Konzens. Die tiefergehende Diskussion dieser Frage wird nicht vordergründig vom Inhalt des Problems, sondern vielmehr von gesellschaftlichen Interessen bestimmt.

Quantitative Analysen zeigen, dass demnächst 20% der Bevölkerung die gesamte Menschheit mit materiellen Gütern versorgen können. Diese Einschätzung scheint realistisch zu sein, wenn man bedenkt, dass in den letzten 10 Jahren folgende Arbeitsplatzverluste in den Industrieländern zu verzeichnen waren: Druckgewerbe 25%, Fertigungsindustrie durch Robotertechnik 50%, Bankgewerbe 30%, Groß- und Einzelhandel 25%. Angesichts dieser dramatischen Entwicklungen existieren widersprüchliche Meinungen bezüglich notwendiger neuer sozialer Strukturen. Man muss allerdings ehrlicherweise sagen, dass das Problem der Arbeitslosigkeit kein Problem nur der Neuzeit ist. Bereits in der Antike hat der römische Kaiser Titus Flavius Vespasianus im Jahr 75 gefordert, keine Wasserkraft für technische Prozesse zu verwenden, um Arbeitsplätze zu erhalten.

7. Nachhaltigkeit (Sustainability) und Automatisierung

Der heute viel und manchmal auch etwas oberflächlich verwendete Begriff der Nachhaltigkeit kann auch mit der Automatisierung in Beziehung gebracht werden, um die Frage „Fluch oder Segen?“ zu beantworten. So hat sich z.B.

Jörg Krüger dieser Frage gewidmet (vgl. Krüger 2010). Wenn wir von Nachhaltigkeit reden, müssen wir ökonomische, ökologische und soziale Kriterien betrachten. Im Sinne der Nachhaltigkeit muss also eine polykriteriale Optimierungsaufgabe (Vektoroptimierung) gelöst werfen. Es geht also um die Bestimmung einer Pareto-Menge. Es liegt auf der Hand, dass die Automatisierung als Schlüssel zu nachhaltigen technologischen Prozessen angesehen werden kann. Unter dem ökonomischen Kriterium verstehen wir die Wettbewerbsfähigkeit, unter dem ökologischen Kriterium die Ressourceneffizienz uns unter dem sozialen Kriterium die physiologischen und psychologischen Arbeitsbedingungen. Die Automatisierung verfügt als integrierende Wissenschaftsdisziplin über alle Voraussetzungen, um diese Polyoptimierungsaufgabe zu lösen. Dazu ist es notwendig die Wechselwirkung von Nachhaltigkeit und Innovation neu zu analysieren. Ziel muss eine Human-orientierte Automatisierung sein. Dabei gehen wir davon aus, dass der Mensch die intelligenteste Ressource ist und durch künstliche Intelligenz nicht ersetzt werden kann.

Eine Nachhaltigkeit der Automatisierung wird auch dadurch erreicht, dass die Automatisierungslösungen und ihre Komponenten adaptierfähig und damit wiederverwendungsfähig gestaltet werden. Das ist eine der Schlussfolgerungen, die aus der Lösung der oben genannten Optimierungsaufgabe zur Bestimmung der Pareto-Menge gezogen werden kann.

8. Schlussfolgerung

Aus den Darlegungen in diesem Beitrag ist deutlich erkennen, dass die in der Überschrift formulierte Frage wie folgt beantwortet werden kann: Die Automatisierung ist ein Segen, der zum Fluch werden kann. Die Automatisierungstechnik verfügt über eine ausreichende Anzahl von Freiheitsgraden, um eine Automatisierungsaufgabe im gesellschaftlichen Interesse optimal zu lösen.

Literatur

Balzer, D. (1989): Wissensspeicher Prozessrechentechnik. Leipzig

Balzer, D. (1992): Wissensbasierte Systeme in der Automatisierungstechnik. München/Wien

Balzer, D. (2008): Technische, ökonomische und soziale Probleme der Automatisierung von Produktionsprozessen. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 203-220 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)

Iwainsky, A. (2007): Zur Rolle der Informatik in der Automatisierung. Vortrag auf einem Ehrenkolloquium der AUCOTEAM GmbH, Berlin, 26.01.

Spur, G. (1997): Wirtschaftliche und soziale Sicherung durch industrielle Produktion. In: Spur, G. (Hg.): Optionen zukünftiger industrieller Produktionssysteme. Berlin, S. 109-130

Krüger, J. (2010): Automatisierungstechnische Systeme in der Produktion. In: elektrotechnik. Das Automatisierungs-Portal. –
URL: www.elektrotechnik.vogel.de/jubilaeum/articles/123893

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *112(2011), 161–184*

Klaus Fuchs-Kittowski

Zur Ambivalenz der Wirkungen moderner Informations- und Kommunikationstechnologien auf Individuum, Gesellschaft und Natur

Wo liegen Potenziale und Risiken allgegenwärtiger Datenverarbeitung?

> „Wir können die Technik nicht aus unserem Leben verbannen, die Verkehrsmittel nicht und inzwischen auch die Computer nicht. Umso wichtiger aber ist es, daß wir darüber nachdenken, wie wir mit den Errungenschaften der Technik in Zukunft umgehen sollen und wollen."
> (Weizenbaum/Häfner 1990, S. 60)

1. Zur Differenzierung im Begriff Fortschritt und zur Ambivalenz der Wirkungen moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

Wissenschaftlich-technischer Fortschritt wird im Weltbild der westlichen Moderne meist positiv belegt. Folgt man dieser kulturoptimistischen Tradition, so ist auch der Einsatz moderner IKT, damit auch der Technologien des „allgegenwärtigen Computing" (Ubiquitous Computing-Technologies) als chancenreich, ihre sozialen und gesellschaftlichen Wirkungen grundsätzlich als positiv zu beurteilen. Denn diese Technologien ermöglichen eine Vielzahl neuer Produktfunktionen und Services. Sie haben das Potenzial, die Arbeitsproduktivität wesentlich zu steigern und damit eine qualitative Verbesserung der Lebensbedingungen: mehr Freizeit, mehr Bildung, eine Verbesserung des Gesundheitszustandes der Bevölkerung zu erreichen.

Jedoch ist jeder Fortschritt ambivalent, wie Ernst Bloch in seiner Leipziger Zeit in der Schrift „Differenzierung im Begriff Fortschritt" herausgearbeitet hat (vgl. Bloch 1956; siehe Abbildung 1). Ambivalenz wissenschaftlich-technischer Entwicklung sagt zunächst nur, dass nicht immer das Gewünschte erreicht wird, sondern dass mit der wissenschaftlich-technischen Entwicklung auch unerwünschte Ergebnisse verbunden sein können, wobei es die positiven Wirkungen zu fördern und die negativen zu vermeiden oder zu kompensieren

gilt (vgl. Fuchs-Kittowski et al. 2005). Der Blochsche Gedanke des „Verlusts im Vorwärtsschreiten“ (vgl. Bloch 1956, S. 5f.) führt jedoch in einem wesentlichen Punkt noch weiter. Hier wird deutlich, dass wir zugunsten höherer Rationalität oftmals bereit sind, etwas aufzugeben, was in der Vergangenheit durchaus auch gut war, die Aufgabe einen Verlust darstellt. Gegenwärtig erleben wir im Zusammenhang mit den Social Networks z.B. eine freiwillige Aufgabe an Privatsphäre zu Gunsten einer sozialen Kommunikation über das Netz.

Die Ambivalenz der Wirkungen ist von bewusstem Missbrauch deutlich zu unterscheiden. Technik ohne Risiko gibt es nicht! Ihre Entwicklung und Einsatz muss aber fachlich, sozial und ethisch verantwortbar sein.

- Wir erleben gegenwärtig die stürmische Entwicklung der modernen IKT.
- Mit dem *Internet* ist es gelungen fast alle Rechner und PCs der Welt zu vernetzen.
- Wir beginnen jetzt, in die reale Welt einzugreifen, indem deren Gegenstände informatisiert und zu einem *„Internet der Dinge“* vernetzt werden.

1 Mit der Schrift „Zur Differenzierung im Begriff Fortschritt“ wird von Ernst Bloch m.W. erstmals die Ambivalenz des Fortschritts philosophisch tiefgehend begründet (vgl. auch Bloch 1985). Dies ist besonders wichtig angesichts eines damals vorherrschenden übersteigerten Technikoptimismus, den man Bloch selbst, bezogen auf verschiedene Ausführungen in „Das Prinzip Hoffnung“ (vgl. Bloch 1959) vorgeworfen hat.

- Die ambivalenten, d.h. positiven und negativen sozialen und gesellschaftlichen Wirkungen einer so geschaffenen „augmented reality“ werden gewaltig sein.

Neben den offensichtlich großen Chancen der Ubiquitous Computing-Technologien gilt es daher auch, die Risiken und potenziell negativen Wirkungen systematisch zu untersuchen (vgl. Mattern 2008; Punie et al. 2006; Rossnagel et al 2008).

Die ambivalenten Wirkungen moderner IKT ergeben sich einmal aus rein materiellen Effekten durch die Bereitstellung oder Nichtbereitstellung der Hardware, z.B. durch den möglichen Ausfall der Netze.

Die Ambivalenz der Nutzungseffekte sowie der gesamtgesellschaftlichen Entwicklungseffekte ergeben sich jedoch wesentlich aus der Reduktion der menschlichen (semantischen) auf die maschinelle (syntaktischen) Informationsverarbeitung und damit aus der Abstraktion von dem allgemeinen Zusammenhang zwischen Form (Syntax), Inhalt (Semantik) und Wirkung (Pragmatik) der Informationsentstehung, ihrer Verarbeitung und Nutzung (vgl. Fuchs-Kittowski 1992a, 1992b; siehe Abbildung 2).

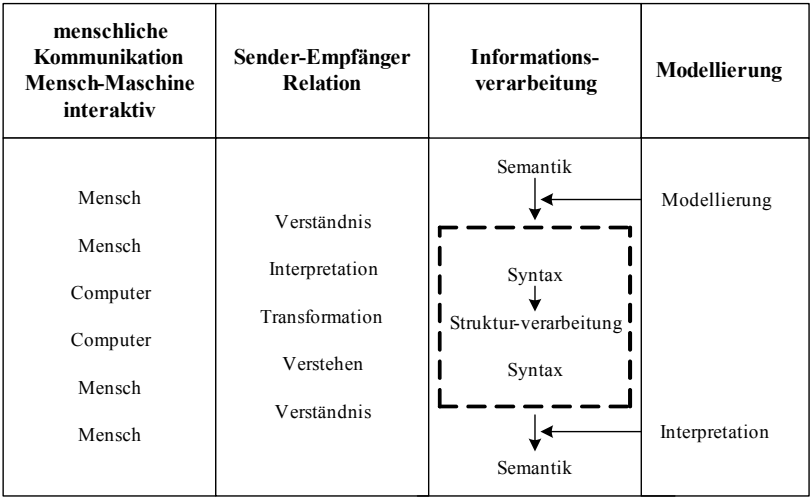


Abbildung 2: Formalisierung der Information durch Abbildung der Semantik auf Syntaxbereiche als wichtige Ursache der speziellen Wirkungen
eigene Darstellung (vgl. auch Fuchs-Kittowski et al. 1975, S. 173)

Die Abstraktion vom allgemeinen Zusammenhang, die Zurückführung der menschlichen (semantischen) Informationsverarbeitung auf maschinelle

(syntaktische) Informationsverarbeitung verleiht der Information jedoch neue Gebrauchswerte, die entsprechend den herrschenden Produktions- und Organisationsverhältnissen, den gewünschten Leistungs- und Persönlichkeitsentwicklung fördernden Arbeitsbedingungen und Inhalten sowie auch entsprechend den persönlichen Bedürfnissen zur Entfaltung der Individualität, selektiert werden. Es gibt demnach keine unausweichlichen technologischen Zwänge.

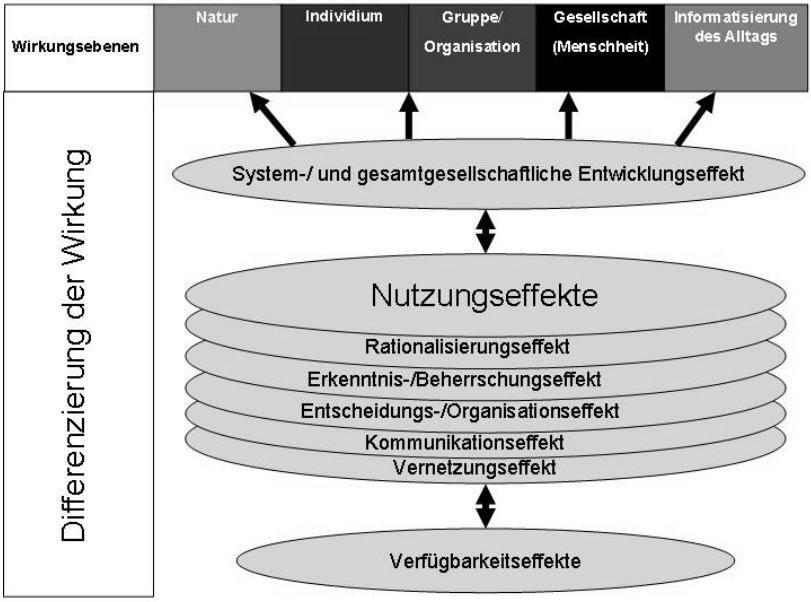


Abbildung 3: Differenzierung der Wirkungen und Wirkungsebenen
eigene Darstellung

Beim Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien kann u.a. zwischen folgenden allgemeinen Wirkungen differenziert werden (siehe Abbildung 3):

(a) Verfügbarkeitseffekte;
(b) Nutzungseffekte (vgl. Steinmüller 1980), wie dem Rationalisierungs-, dem Erkenntnis-/Beherrschungs-, dem Entscheidungs-/Organisations-, dem Kommunikations- sowie dem Vernetzungseffekt. Aus der Gesamtheit ergeben sich
(c) System-/gesamtgesellschaftliche Entwicklungseffekte.

Die genannten Grundeffekte moderner IKT lassen sich zu *grundlegenden gesellschaftlichen Entwicklungseffekten* zusammenfassen: Verringerung des Arbeitsvolumens der Volkswirtschaft, mehr Freizeit und Bildung auf der einen Seite und eine größere Abhängigkeit von den IKT und damit verbunden eine erhöhte Verletzlichkeit der Informationsgesellschaft auf der anderen.

Dabei sind verschiedene Wirkungsebenen zu unterscheiden: Natur, Individuum als Natur- und soziales Wesen, Gruppe/soziale Organisation und Gesellschaft als Ganzes (Menschheit) sowie die Automatisierung des menschlichen Alltags. Dabei sollen jeweils entsprechende Bewertungskriterien – Naturverträglichkeit, Humanentwicklung/Humanverträglichkeit, Sozial- und Gesellschaftsverträglichkeit – zur Geltung kommen.

In Bezug auf die Natur tritt gegenwärtig auch die Einbeziehung der menschlichen Natur in ein Konzept der humanen Gestaltung mit besonderer Schärfe hervor. Im Rahmen der Informatisierung der Gesellschaft ist es die sich gegenwärtig vollziehende Informatisierung unseres Alltags, die Entstehung des „Internets der Dinge" und damit möglichen „totalen" Informatisierung unserer Welt, von der künftig die größten Problembereiche zu erwarten sind. Daher sind die Schemata entsprechend früheren Darstellungen (vgl. Fuchs-Kittowski 2008) entsprechend erweitert worden.

Wenn hier von den Wirkungen der IKT ausgegangen wird, folgen wir jedoch keineswegs einem technologischen Determinismus. Die Wirkungen der Gesellschaft bis hin zu den gängigen Gesellschaftstheorien, aber insbesondere der betrieblichen Organisationstheorien und konkrete Organisationsgestaltung auf die Entwicklung der IKT ist genauso zu beachten (vgl. Fuchs-Kittowski et al. 1999). Dies findet in der von uns vertretenen Einheit von Informationssystem, Arbeits- und Organisationsgestaltung als sich wechselseitig bedingender – koevolutiver – Prozess seinen Ausdruck (vgl. Fuchs-Kittowski 2000, 2006b, 2010; Fuchs-Kittowski/Stary 2011). Der wissenschaftlich technische Fortschritt verlangt sozialen Fortschritt, wenn er nicht in Rückschritt umschlagen soll.

Stellt man die verschiedenen Wirkungen und ihre Ambivalenz auf den unterschiedenen Ebenen dar, erhält man eine umfangreiche Matrix Die Schemata zeigen eine Vielzahl möglicher positiver und negativer Wirkungen sowie auch Möglichkeiten des Missbrauchs durch identifizierbare Interessengruppen. Es sind jedoch sicher nur grobe Schemata, die noch weiterer Ergänzungen bedürfen (vgl. Dompke et al. 2004; Fuchs-Kittowski et al. 2005; ULD/IW HUB 2006). So ist z.B. viel genauer zu bestimmen, wie das Internet das Kommunikationsverhalten der Menschen in Freizeit und Beruf verändert

Positive Grundeffekte durch IKT-Nutzung	Rationalisierungseffekt	Erkenntnis- und Beherrschungs-effekt	Entscheidungs- und Organisationseffekt	Kommunikati-onseffekt	Vernetzungs-effekt	System-/ Entwicklungseffekt
Positive Effekte auf Natur (Naturverträglichkeit)	Senkung des Ressourcenverbrauchs, Minimierung der Umweltbelastung, Vermeidung von Problemstoffen	Beherrschen von komplexen Umweltproblemen möglich	Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Nutzungsdauer von Produkten	Dematerialisie-rung der Produktion, Sicherung des Informations-zugangs	Optimierung der Ressourcenver-waltung, Reduzierung des CO_2-Ausstoßes	Durchsetzung des Prinzips der nachhaltigen Entwicklung
Individuum Mensch als Naturwesen (Humanentwicklung)	das Lebensalter wird signifikant ansteigen, u.a. aufgrund maßgeschneiderter Medikamente	punktuelle Eingriffsmöglichkei-ten für Gen-therapien	Mutter hat breite Wissensgrundlage über die Schwangerschaft, Selbstbestimmung für Heilung und Gesundheit	Verbreiterung von Wissens über bio-logische Prozesse, Verhalten, gesunde Ernährung	gezielte Forschung und Kommunika-tion zwischen weltweiten For-schungsgruppen	Erhöhung des Gesundheitszustandes der Bevölkerung durch bessere Therapeutika, weniger Krankheiten
Individuum Mensch als soziales Wesen (Humanverträglichkeit)	Befreiung des Menschen von schwerer körperlicher und formalisierbarer geistiger Routinearbeit, „elektronische Mobilität“	Erhöhung der Erkennbarkeit und Lenkbarkeit natürlicher, sozialer und gesellschaft-licher Prozesse	Unterstützung der Entscheidungsfindung, Rückversetzung von Planungs- und Ent-scheidungskompetenz	weltweite Kommunikation, relative Unabhängigkeit der Arbeit von Raum und Zeit	Erweiterung der persönlichen Kontakte, Social Networks	Erhöhung der Arbeitsproduktivität der Befriedigung der geistigen und kulturellen Bedürfnisse der Menschen
Gruppe-/ Organisation (Sozialverträglichkeit)	Informatisierung der Arbeit, neue Arbeitsver-hältnisse, lebenslanges Lernen	neue Möglichkeiten der Wissensver-teilung und -erzeu-gung, Dezentralisierung sozialer Organisa-tion	Abbau räumlicher und zeitlicher Barrieren, bessere Vereinbarkeit von Familie und Beruf	Entfaltung von Individualität durch Bereit-stellung des ver-gesellschafteten Wissens	Verstärkte Her-ausbildung koope-rativer Arbeit und netzbasierter, vir-tueller Wert-bildungsformen	neue Lebensstile, neuer gesellschaftlicher Informationsraum, Wandel der Kultur
Gesellschaft Staatsbürger/Kultur/Mensch-heit (Gesellschaftsverträglichkeit)	Erhöhung des Leistungsvermögens, der geistigen Beanspruchung und Verantwortlichkeit in Arbeitsprozessen	Möglichkeiten zur Schaffung kreativ lernender (betrieblicher) gesellschaftlicher Organisation	Vervollkommnung der Demokratie und Mitbestimmung, gesellschaftliche Informationskontrolle im Interesse der Bürger	kulturelle Vielfalt, neue gesellschaft-liche Bezieh-ungen, Sicherung der In-formationsvielfalt	Teilnahme an globalen Diskus-sionsforen und Veranstaltungen	Erhöhung der Trans-parenz der gesell-schaftlichen Prozesse, mehr Freizeit für kulturelle und wissen-schaftliche Tätigkeiten
Informatisierung des Alltags (Human-, Sozial- und Gesellschaftsverträglichkeit)	Subjektivierung der Arbeit, Erhöhung der individuellen Sicherheit (Ermüdungserkennung)	individuelle Wis-sensbereitstellung und Weiterbildung	individuelle Informationskontrolle vertikale, globale Kommunikation	Kommunikation mit Personen und Dingen (Fahrer-assistenzsysteme)	Entwicklung tele-gelenkter Fahr-zeuge bzw. auto-nomer Systeme (Roboter)	globale Kommunikation neue horizontale Formen zur Unterstützung sozialer Bewegungen, „neue, digitale Agora“

Abbildung 4: Zu den positiven sozialen und gesellschaftlichen Wirkungen moderner IKT
eigene Darstellung

Negative Grundeffekte durch IKT-Nutzung	**Rationalisierungseffekt**	**Erkenntnis- und Beherrschungs-effekt**	**Entscheidungs- und Organisationseffekt**	**Kommunikat-onseffekt**	**Vernetzungs-effekt**	**System-/ Entwicklungseffekt**
Negative Effekte auf Natur (Naturverträglichkeit)	Computerschrott und Gifte als negativer Verfügbarkeitseffekt	Verringerung der Öko-Effizienz, keine Förderung öko-effizienter Ressourcen-Produktivität	Wachstumsökonomie, Ressourcenverbrauch, Energieverbrauch, geringe Ressourcen-Produktivität	Spannungsverhältnis zwischen. Globali-sierung und Naturschutz	Eingriff in ökologische Systeme, Steigerung von Ressourcen und Energieverbrauch	globale Zerstörungstrends, keine „nachhaltige Entwicklung"
Individuum Mensch als Naturwesen (Humanentwicklung)	Lebensalter steigt, altersbedingte Krank-heiten, Versorgungs-problem, steigende Kosten für (maßgeschneiderte) Medikamente	Gefahr des Miss-brauchs der Erkennt-nisse über mögliche Erbkrankheiten	Gefahr des Miss-brauchs der Erkennt-nisse zur Genmanipu-lation zur Klonierung von Menschen / Ver-besserung der Menschheit	die Vorhersagbarkeit von möglichen Krank-heiten führt zur Beur-teilung und Vorveur-teilung von Menschen	das Internet und seine Verbindung mit dem „Internet der Dinge" birgt neue Gefahren für den Verlust an Privatsphäre und Gesundheit	Gefahr der Nutzung von Erkenntnissen über genetische Unterschiede für Rassismus, Einschränkung des Genpools
Individuum Mensch als soziales Wesen (Humanverträglichkeit)	veränderter Arbeitsinhalt, erhöhte Monotonie, Dequalifikation der Arbeitskraft, Burnout-Effekte	überhöhte Planungs- und Kontrollkapazität, Beherrschung (Mani-pulation) von Men-schen gegen ihre Interessen	Verringerung der Ent-scheidungsbefugnis, Auflösung fester Arbeitsbeziehungen	Verminderung der sozialen Kommunika-tion am Arbeitsplatz	ständige Bereitschaft, erhöhte Strahlung (Handy, WLAN etc.)	Unabhängigkeit der Ar-beit von Raum und Zeit, Unterminierung sozialer Sicherungssysteme und Wertvorstellungen
Gruppe-/ Organisation (Sozialverträglichkeit)	geringe Einbeziehung der Arbeitenden in den Produktions- und Reproduktionsprozess	überhöhte Zentralisierung, tayloristische Arbeits- und Leitungs-strukturen	Veränderung der Ent-scheidungsbefugnis, neue, flexiblere Ar-beits- und Organisa-tionsformen	Verlust an sinnlicher Erfahrbarkeit im Arbeitsprozess	„Digitale Außen-seiter", bei weltweiter Kommunikation reale Isolation	überhöhte Abhängigkeit der Gesellschaft von IKT, Fehlen sozialer Ziel- und Wertvorstellungen
Gesellschaft Staatsbürger/Kultur/Mensch-heit (Gesellschaftsverträglichkeit)	weitere belastende Beschäftigungseffekte (z.B. Burnout-Syndrom), drastische Erhöhung der Kontrollkapazität	Probleme des Per-sönlichkeitsschutzes, überhöhte Sicher-heitsanforderungen, Vernachlässigung des Datenschutzes	Probleme des Datenschutzes und der Daten-Sicherheit, Begrenzungen gesellschaftlicher Kontrolle (behördlicher) Informationsflüsse	Verringerung der sozialen Kommunika-tion, der Informations- und kulturellen Vielfalt der sozialen Kommu-nikation	Preisgabe von Informationen, ungewollte Speicherung	Reduktion auf techno-logische Rationalität, überhöhte Abhängigkeit von nicht genügend beherrschten Modellen bzw. Technologien
Informatisierung des Alltags (Human-, Sozial- und Gesellschaftsverträglichkeit)	Überhöhung der Mög-lichkeiten zur ständigen individuellen Benach-richtigung und Beauf-tragung	Überhöhung der Mög-lichkeiten zum stän-digen Auffinden und Beobachten von Din-gen und Menschen	Einschränkung der individuellen Informa-tionskontrolle, Erstellung und uner-wünschte Verbreitung von Persönlichkeits-profilen	Überhöhung der Möglichkeiten zur individuellen Kommu-nikation mit Personen und Dingen	verstärkter Zwang zur „freiwilligen" Aufgabe von Privatsphäre	verstärkte Abhängigkeit von der Funktionsfähig-keit der IKT auch im alltäglichen Leben, Technologiezwang
Missbrauch durch identifizierbare Interessengruppen und gesellschaftlichen Strukturen	prekäre Arbeitsverhältnisse, Arbeitslosigkeit zur Profitmaximierung	„Gläserner Mensch", unerwünschtes Auf-spüren des Aufent-haltsortes (Verlust an Privatheit)	Zweckentfremdung von Daten durch präventive Rasterfahndung, Versuche zur Kon-struktion des Menschen	Destruktionsmittel, Datendiebstahl, „Cybermobbing", Fälschung, Massenmanipulation	Wandel d. Krieges (automatisches Schlachtfeld.), Einsatz autono-mer/teilegelenkter Waffensysteme, Kampfroboter	Unterminierung des Rechtsstaates, Zerstörung der sozialen und natürlichen Umwelt

Abbildung 5: Zu negativen sozialen und gesellschaftlichen Wirkungen moderner IKT und ihrem Missbrauch eigene Darstellung

(vgl. Vidal 2010), wie die neue Organisation der Arbeit, speziell ambivalenten Entwicklungen in der Wissens- arbeit, die Qualität des Arbeitslebens verändern (vgl. Stahn 2007).

In Abbildung 5 kann nur auf einige Auswirkungen u.a. bei der Informatisierung der Arbeit und des Alltages eingegangen werden.

2. Chancen und Risiken der Wirtschaftsinformatik – Polarisierung der Arbeit

Ambivalenz:

- Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) entlasten von formalisierbarer Routinearbeit und tragen zur Zusammenführung ehemals tayloristisch getrennter Tätigkeiten bei (Kompetenzgewinn).
- Zugleich aber können sie zu erhöhter Monotonie und zur Vernichtung der Arbeit führen. (Entwertung der menschlichen Arbeitskraft, *burnout*-Situation).

Mit Informatisierung (der Arbeit) soll hier ein qualitativer Sprung in der Technologieentwicklung gekennzeichnet werden, der eine neue Dimension der Erhöhung der Produktivität – speziell der WissensarbeiterInnen – eröffnet (vgl. Schmiede 2006), zum einen durch umfassende, alle Lebensbereiche durchdringende informatische Modellierung und damit Vergegenständlichung des gesellschaftlichen Wissens und zum anderen durch die Herausbildung neuer Formen des Wissens und wissensintensiver Arbeitsprozesse der WissensarbeiterInnen (vgl. Fuchs-Kittowski 2006a).

Die verschiedenen Technologien des Ubiquitous Computing werden sehr wahrscheinlich entscheidende wirtschaftliche Bedeutung bekommen und die Geschäftsprozesse wesentlich verändern: „Generell dürfte die zunehmende Informatisierung von Produkten auch zu einer stärkeren Serviceorientierung führen“ (vgl. Fleisch et al. 2005, S. 3f.). Künftig wird der *„wearable PC“* als ständiger Begleiter das Leben der Menschen in großem Maße verändern. Insbesondere hinsichtlich dessen, was sie lernen. Denn ein wirklich effizienter Wissenserwerb wird möglich, genau zu dem Zeitpunkt, zu dem er erforderlich wird (vgl. Maurer 2004). Aber auch für den IKT-unterstützten Wissensarbeiter gilt offensichtlich immer mehr das Beschäftigungsmodell des Freelancer. Damit wird das soziale Risiko vom Arbeitgeber auf den Arbeitnehmer verlagert. Es ergibt sich eine maximale Flexibilität: Zeitlich und räumlich sowie hinsichtlich von Auftragsspitzen oder Flauten. Wahrscheinlich wird auch deshalb die soziale Kommunikation ein so wichtiger Aspekt. Die Arbeit wird für viele Menschen herausfordernder, flexibler und kreativer, aber zugleich auch für viele wesentlich unsicherer, überfordernder und damit insgesamt sozial polarisierter.

Neben der Unsicherheit der Arbeitsverhältnisses führt besonders auch die spezifische Organisation der Arbeit, die neuen Steuerungsformen der Marktorientierung und Selbstorganisation zu einer Selbstökonomisierung

und Entgrenzung der Arbeitszeiten und damit verstärkt zu Symptomen des *burnout* (vgl. Stahn 2007).

Der Spielraum für die Vergegenständlichung individueller Wesenskräfte ist unter den gegebenen Organisations- und Produktionsverhältnissen oftmals noch zu eng. Der Philosoph Axel Honneth schreibt in seinem Artikel in der Deutsche Zeitschrift für Philosophie „Arbeit und Anerkennung – Versuch einer Neubestimmung“: „Noch nie in den letzten zweihundert Jahren hat es um Bemühungen, einen emanzipatorischen, humanen Begriff der Arbeit zu verteidigen, so schlecht gestanden wie heute. Die faktische Entwicklung in der Organisation von Industrie- und Dienstleistungsarbeit scheint allen Versuchen, die Qualität der Arbeit zu verbessern, den Boden entzogen zu haben. […] Was sich in der faktischen Organisation der Arbeit vollzieht, die Tendenz zur Rückkehr einer sozial ungeschützten Leih-, Teil- und Heimarbeit, spiegelt sich in verquerter Weise auch in der Verschiebung von intellektuellen Aufmerksamkeiten und gesellschaftlichen Interessen: Enttäuscht haben diejenigen, die noch vor vierzig Jahren alle Hoffnung auf die Humanisierung oder Emanzipierung der Arbeit setzten, der Arbeitswelt den Rücken gekehrt, um sich ganz anderen, produktionsfernen Themen zuzuwenden“ (Honneth 2008, S. 327). Er spricht von einem Versagen der Gesellschaftstheorie, da sich kaum noch ein Theoretiker um diese Probleme kümmert. Aber auch in der Informatik ist es wesentlich ruhiger in Bezug auf die Thematik der notwendigen Einheit von Informations-, Arbeits- und Organisationsgestaltung geworden (vgl. Fuchs-Kittowski 2006b, 2009). Das darf aber nicht die Haltung der Informatiker sein!

3. Zur Ambivalenz des Beherrschungseffektes – Datenschutz oder Sammelwut

3.1 Datenschutz und Sicherheit

Schon bislang wurde folgende Ambivalenz des IKT-Einsatzes formuliert:

- IKT erhöhen die Fähigkeit der Gesellschaft zum Selbsterkennen und damit zur Planung und Zieldurchsetzung (Beherrschung natürlicher und sozialer Prozesse).
- Zugleich aber können sie durch Überhöhung der Kontrollkapazität die Integrität des Einzelnen bedrohen (Zerstörung der Privatsphäre).

Die allgegenwärtige Verarbeitung personenbezogener Daten wird jedoch, wie von Aleaxander Rossnagel herausgearbeitet wurde, „nicht nur neue Mög-

lichkeiten des Missbrauchs bieten, sondern zentrale Grundlagen des bisherigen Datenschutzes in Frage stellen“ (Rossnagel 2008, S. 132).

Seit langen stellt sich die Frage, erfolgt der Einsatz von Informations- und Kommunikationssystemen für die innere Sicherheit oder zur Überwachung?

Zur Gewährleistung der inneren Sicherheit erfolgt der Einsatz von: Audio-, Videoüberwachung und Gesichtserkennung, Telefonüberwachung, Global Positioning System (GPS), Überwachungssatelliten sowie der Lauschangriff, Computer-Einsatz, Biometrischer Einsatz.

Im Zusammenhag mit dem Kampf gegen den Terrorismus ist ein Sicherheitsaktivismus versus Menschenrechte zu verzeichnen. Diese Erkenntnis wird von Jutta Limbach, der früheren Präsidentin des Bundesverfassungsgericht, wie folgt zusammengefasst: „Wir werden im Bann der Angst Zeugen einer stetig sich verschärfenden Sicherheitspolitik. In den vergangenen Jahren habe man gelernt, dass man Terrorismus nicht durch den Krieg besiegen und durch teilweises Außerkraftsetzen von Menschenrechten bekämpfen könne“ (Limbach 2006).

3.2 Schutz der Privatsphäre

Der mögliche Verlust an Privatsphäre ist wahrscheinlich der am dringendsten zu bewältigende negative Effekt im Zusammenhang mit dem Ubiquitous Computing. Durch „schlaue Dinge“, auch wenn sie derzeit noch vergleichsweise „dumm“ sind, kann die Privatsphäre sehr leicht verletzt werden, da sie etwas signalisieren können, was nicht für andere Menschen bestimmt war.

Im Vergleich zu den klassischen Datenschutzproblemen brachte schon das Internet mit seiner globalen Vernetzung und Suchmaschinen eine Vielzahl qualitativ neuer, kaum zu bewältigender Datenschutzprobleme. Im Zusammenhang mit dem Ubiquitous Computing wird die Datenschutzproblematik jedoch nochmals wesentlich verschärft (vgl. Langheinrich/Mattern 2002; Rossnagel 2008, S. 123-163; Rossnagel/Müller 2004). Die Lokalisierungstechnologien lassen sich auf vielfältige Weise verwenden. Je genauer und einfacher der Ort z.B. eines Autos oder spielender Kinder ermittelt werden kann, umso vielfältiger und interessanter sind natürlich die möglichen Anwendungen. Viele Eltern würden wahrscheinlich die Möglichkeit nutzen, wenn über die Kleidung der Kinder ihr Aufenthaltsort bekannt wird, wenn vielleicht sogar ein Alarm ausgelöst wird, wenn Kleidungsstücke weit von einander entfernt liegen. Die Kenntnis des Aufenthaltsorts eines anderer Menschen, ja sogar die Kontrolle darüber, kann z.B. auch bei geistig behinderten Menschen durchaus von Nutzen sein. Statt solche Menschen vorsichtshalber einzu-

schließen, könnte man jetzt virtuelle Sicherheitszonen festlegen und Alarm geben, wenn etwas passiert. Innerhalb bestimmter Grenzen könnten diese Menschen ein selbstbestimmteres Leben führen. Die Trennungslinie „zwischen Schutz und Freiheit einerseits und Überwachung und Eingriff in die Privatsphäre andererseits" kann dabei jedoch „einen diffizilen Verlauf annehmen", vermerkt Friedemann Mattern zu Recht (Mattern 2008, S. 22).

Die Möglichkeiten eines *Machtmissbrauchs* gegenüber einem auf Bewährung freigelassenen Sträflings oder eines Regimekritikers eines totalitären Regimes liegen jedoch zugleich auf der Hand.

Lokalisierungstechnologien bergen also Einiges an sozialem Sprengstoff: nicht nur, weil man damit anderen Menschen nachspionieren kann, sondern weil dies auch ein bewusst eingesetztes Kontrollinstrument werden kann. Jerome E. Dobson und Peter Fisher charakterisieren dies in ihrem Artikel „Geoslavery" als „a new form of slavery, characterized by location control" (Dobson/Fisher 2003, p. 47).

4. Umweltinformatik – Zur Ambivalenz des Bereitstellungseffekts

4.1 Ambivalenz der Wirkungen der IKT im Umweltbereich

„Sustainable Development" ist eine Gestaltungsaufgabe der Informatik (vgl. Rolf/Moeller 1996). Durch die IKT-unterstützte Analyse der Auswirkungen von umweltschädlichen Stoffen, als Folge der Industrialisierung, auf den Menschen und die Natur, ist es möglich, Erkenntnisse zu gewinnen, die helfen können, Alternativen zu entwickeln, um die Umwelt und die Menschen nachhaltig zu schonen und zu schützen. So muss z.B. die Autoindustrie alternative und zugleich bezahlbare Antriebe zum Verbrennungsmotor anbieten. Zugleich führt aber der alles durchdringende IKT-Einsatz zu einer verstärkten Umweltbelastung durch giftige Abfälle und erhöhtem Energieverbrauch.

Durch die informationstechnischen Aufrüstung der Welt werden insbesondere weitere negative Wirkungen auf die Umwelt und auf die Gesundheit der Menschen erwartet (vgl. Hilty et al. 2003).

4.2 Allgegenwärtiger, alles durchdringender vernetzter Computereinsatz

Bei den ermittelten Wirkungen des „allgegenwärtigen Computing" (vgl. Köhler/Erdmann 2004) auf die Umwelt werden Umweltwirkungen erster, zweiter und dritter Ordnung unterschieden: Die Umweltwirkungen erster Ordnung müssen den Umweltwirkungen zweiter Ordnung gegenübergestellt

werden, den Umweltbelastungen z.B. eine höhere Ökoeffizienz und die Möglichkeit der Optimierung von material- und energieintensiven Prozessen. Die Umweltbelastungen werden durch Wirkungen zweiter Ordnung verringert. Jedoch können bestimmte Veränderungen in der Nachfrage nach Dienstleistungen (Wirkungen dritter Ordnung) diesen Einsparungen wiederum entgegenwirken. Bei technologischen Innovationen treten oftmals Rebound-Effekte („Bumerangeffekte“) auf, die die erreichte Umweltentlastung wieder zunichte machen.

Da die Entwicklung zum allgegenwärtigen Computing wahrscheinlich kaum zu bremsen ist, denn sie bringt eine Reihe von Vorteilen für die Organisation globaler Arbeitsprozesse, für die Wissenschaftsorganisation wie auch z.B. für die Überwachung des Gesundheitszustandes älterer Menschen, die in ihrem eigenen Heim bleiben wollen, müssen neue technologische Entwicklungen und Entsorgungsmaßnahmen zur Kompensation der negativen Wirkungen realisiert werden, wie sie u.a. durch die Schweizer Studie (vgl. Hilty et al. 2003) veranlasst werden sollen (siehe Abbildung 6).

5. Chancen und Risiken der Bioinformatik – Zur Ambivalenz des Erkenntniseffekts

Auf die Chancen und Risiken der Bioinformatik – des genetic engineering – sind wir an anderer Stelle ausführlich eingegangen. Hier sei nur darauf verwiesen, dass es heutzutage immer mehr Menschen gibt, die ihr Leben den Techniken der Reproduktionsmedizin verdanken.

Bei der Präimplantationsdiagnostik (PID) handelt es sich nicht um einen experimentellen Eingriff in das Genom von Keimzellen, sondern um die Verhinderung der Geburt schwer behinderter menschlicher Wesen, was bekanntlich auch durch Abtreibung erreicht werden kann. Wir plädieren dafür, die jüngste Rechtsprechung des Bundesgerichtshofs zu akzeptieren; das Gericht hatte entschieden, dass es nicht strafbar ist, künstlich befruchtete Eizellen zu untersuchen. Deutschland hat mit einen Verbot der PID „eine sehr isolierte Auffassung“, betont der Begründer dieser Technologie, Alan Handyside (zit. nach Eiger/Hackenbroch 2010, S. 180; zum Problem der Menschenwürde vgl. auch Schlink 2003).

Wir haben deutlich gemacht, dass wir aus medizinischen wie ethischen Gründen einen experimentellen Eingriff in die Keimbahn und den Genpool des Menschen ablehnen**.** Die Befürworter der Keimbahntherapie betonen dagegen natürlich ihre Vorteile und spielen die Risiken herunter. Um beurteilen

bezogen auf / Wirkungsebene	**Humanverträglichkeit (Individuum)**	**Sozialverträglichkeit (Gesellschaft)**	**Naturverträglichkeit (Umwelt)**
Wirkungen der IKT-Bereitstellung **(Effekte 1. Ordnung)**	1.1 *Humanverträglichkeit der IKT-Bereitstellung* Veränderung der Arbeitsbedingungen elektromagnetische Strahlung Körperkontakt mit IKT Anpassung an Nutzerbedürfnisse	1.2 *Sozialverträglichkeit der IKT-Bereitstellung* weltweite ökonomische Verflechtung schwierige Kapitalverwertung Qualitätssicherung Kompetenz Datenzugang / Monopolisierung	1.3 *Naturverträglichkeit der IKT-Bereitstellung* Ressourcenverbrauch Energieverbrauch Gifte Nutzungsdauer Raum und Gebäudebedarf
Wirkungen der IKT-Nutzung **(Effekte 2. Ordnung)**	2.1 *Humanverträglichkeit der IKT-Nutzung* neuartige Beziehungen neue Wissens- und Lernmöglichkeiten Kommunikation und Kooperation Anwendungen in Medizin Komplexität der Anwendungen Vereinbarkeit von Familie und Beruf	2.2 *Sozialverträglichkeit der IKT-Nutzung* neue gesellschaftliche Beziehungen Datenschutz digitale Spaltung Ökonomie und Datenwelt Arbeitsverhältnisse lebenslanges Lernen kulturelle Vielfalt	2.3 *Naturverträglichkeit der IKT-Nutzung* Dematerialisierung durch IKT Nutzung Grenzen der Dematerialisierung Nutzungsdauer von Produkten direkte Induktionseffekte Ressourceneffizienz Umweltinformatik
Systematische Effekte der IKT **(Effekte 3. Ordnung)**	3.1 *Humanverträglichkeit der systemischen IKT-Effekte* neue Lebensstile Internet Abhängigkeit Veränderung von Freiheiten und Abhängigkeiten neue Handlungsspielräume	3.2 *Sozialverträglichkeit der systemischen IKT-Effekte* ein neuer gesellschaftlicher Informationsraum Datenurwald IKT stützt Agenda 21	3.3 *Naturverträglichkeit der systemischen IKT-Effekte* indirekte Induktionseffekte Rebound-Effekte globales Umwelt-Dumping

Abbildung 6: Umweltwirkungen erster, zweiter und dritter Ordnung
Quelle: nach Dompke et al. 2004

des Menschen ablehnen**.** Die Befürworter der Keimbahntherapie betonen dagegen natürlich ihre Vorteile und spielen die Risiken herunter. Um beurteilen zu können, was eine einmalige Änderung eines defekten Gens in den Keimzellen bedeutet, muss man die Komplexität des Lebensgeschehens, die Be-

sonderheit der genetischen Determination genauer verstehen. Unsere Ablehnung von Eingriffen in die Keimbahn des Menschen haben wir in der Zeitschrift „Erwägen – Wissen – Ethik“ (vgl. Fuchs-Kittowski et al. 2005) und an anderen Stellen (vgl. Fuchs-Kittowski et al. 1981, 1983) genauer begründet (vgl. auch Müller-Hill 1981, 2001).

6. Die Verschmelzung vom Menschen mit der Maschine – oder: Brauchen wir den Menschen überhaupt noch? Sind die Computer bessere Menschen?

Der Mensch bzw. die Menschheit bereitet gegenwärtig einen nächsten Evolutionsschritt vor. In der pessimistischen Variante, wie sie von dem Roboterpionier Hans Morovec vertreten wird, werden die Menschen und die ganze Menschheit in absehbarer Zeit durch Roboter ersetzt (vgl. Moravec 1990). Auch der Theoretiker auf dem Gebiet der Nano-Technologien, Bill Joy, meint in seiner Arbeit „Why the future doesn't need us“, dass wir von Robotern ersetzt werden (vgl. Joy 2000). Dagegen wurde von uns immer schon deutlich gemacht, dass sich das Geistige nicht oder nicht vollständig auf syntaktischen Strukturen speichern lässt, sich auch nicht das Ganze Wissen der Menschheit aus den technischen Speichern gewinnen lässt. Joseph Weizenbaum stellt Moravec die Frage, wie er das Lächeln einer Mutter gegenüber ihrem Neugeborenen auf die Speicherplatte bannen will? Im Streitgespräch mit Klaus Haefner führt Weizenbaum aus: „Jeder Mensch ist von seiner eigenen und einzigartigen Lebensgeschichte geprägt. Ein Computer kann einfach keine menschliche Geschichte oder menschliche Erfahrung haben“ (Weizenbaum/ Haefner 1990, S. 90; vgl. Weizenbaum 2001, S. 44ff.; vgl. auch Weizenbaum 1990, 1991).

Dagegen entwickelt der Roboterpionier Rodney Brooks in seinem Buch „Menschmaschinen. Wie uns die Zukunftstechnologien neu erschaffen“ (vgl. Brooks 2002) eine optimistische Zukunftsvision. Nicht Ersetzung, sondern immer stärkere Verschmelzung ist seine Perspektive für die Entwicklung des Menschen und der Menschheit. In dem Institut von Rodney Brooks am MIT entstehen Roboter, die laufen, mit Menschen kommunizieren und sogar so etwas wie Gefühle zeigen sollen. Es handelt sich um einen neuen Schritt in der menschlichen Evolution, denn der Mensch wird die eigene Evolution mit Hilfe der neuen Technologien vorantreiben, durch die Verschmelzung mit der Maschine seine Möglichkeiten Schritt für Schritt erweitern. Es gibt heute schon elektronische Gehörschnecken und aus Silikon Netzhaut. Es wird mög-

lich sein, vom Gehirn aus künstliche Prothesen zu steuern. Die Vision, dass es vielleicht künftig möglich sein würde, dass wir unsere geistige Arbeit mit implantiertem Internetzugang machen werden, wird m.E. auch an dem qualitativen Unterschied zwischen menschlicher (semantischer) und maschineller (syntaktischer) Informationsverarbeitung ihre Begrenzung finden (vgl. Rosenthal 2002).

Auch hier bedarf es noch einer tieferen Einsicht in das Wesen des Lebendigen und Geistigen, will man den künftigen Entwicklungen gerecht werden.

7. Zum Internet der Dinge – Informatisierung des Alltags und von Kampfhandlungen

„Das Internet der Dinge (engl.: Internet of Things) bezeichnet die elektronische Vernetzung von Gegenständen des Alltags. Ausgehend von der Vorstellung, dass Gegenstände mit einer eigenen Intelligenz ausgestattet sind, zielt das Internet der Dinge auf einen selbstständigen Informationsaustausch der Gegenstände untereinander“[2] (vgl. auch Bullinger/Hompel 2007; Fleisch/Mattern 2005; Hompel/Heidenblut 2005).

Verbunden mit den neuen Technologien zur Ortsbestimmung erhalten somit normale Dinge in unserer Umwelt, eine bisher nicht vorhandene Qualität. Sie können signalisieren, wo sie sich befinden, welche weiteren Gegenstände oder Personen nahe bei ihnen sind und was zuvor mit ihnen geschehen ist. Möglicherweise werden sie in der Lage sein, aus ihrem Umfeld Schlüsse über ihre eigene Situation zu ziehen, so dass daraus schrittweise ein lokales und auch globales „Netz der Dinge“, mit ambivalenten Wirkungen auf alle Bereiche unseres Lebens, entsteht.

Künftig sind also extrem miniaturisierte Sensoren, die vielfältige Umgebungsinformation erfassen, Prozessoren mit integrierter drahtloser Kommunikationsfähigkeit zu erwarten. Dies ermöglicht eine Fernidentifikation von Dingen durch passive und praktisch unsichtbare Elektronik. Dies ermöglicht eine präzise Lokalisierung von Gegenständen. Wenn die drahtlos kommunizierenden Prozessoren und Sensoren bald in viele Gegenstände integriert oder auf andere Weise in der Umwelt vorhanden sind, dringt die Informationsverarbeitung verbunden mit der maschinellen Kommunikationsfähigkeit nahezu überall ein.

2 http://de.wikipedia.org/wiki/Internet_der_Dinge [04.04.2011].

Ein Beispiel dazu ist das Forschungsprojekt „Leonie“ der Volkswagen AG. Die aus dem Umfeld und Sensoren gewonnenen Informationen werden mit intelligenter Infrastruktur, wie z. B. Ampelanlagen, gekoppelt. Dadurch wird es möglich, ein Fahrzeug ohne Menschen zu führen.

Da die neuen Fahrzeuge mit sehr vielen Sensoren ausgestattet sind und durch den Betrieb viele Umfeldbedingungen aufnehmen, agieren diese gleichzeitig als bewegliche Informationsquellen. Die Informationen werden auf so genannte Telematik-Server abgelegt, auf denen verschiedene Telematik-Dienste vorhanden sind. Eine weitere Informationsaustausch erfolgt durch Car-2-Car-Kommunikation, in dem die Fahrzeuge mehrere Cluster bilden und die Informationen von vorderen Fahrzeugen nach hinten und andersrum transferieren. Ein Anwendungsfall von vielen ist der Umgang mit Unfall- und Baustellen.

Zu den Telematik-Diensten zählen unter anderem:

- Fernfahrzeugdiagnose bei Pannen;
- Vorwarnung und Terminvereinbarung bei einer Fehlfunktion eines Systems;
- GPS-Ortung bei Diebstahl;
- Flottenmanagement.

Aber offensichtlich funktionieren in Zukunft viele alltägliche Dinge, so z.B. das private Auto, nur noch dann richtig, wenn der Zugriff auf eine Informationsinfrastruktur oder das Internet möglich ist.

Die Führung von unbemannten Fahrzeugen kann als ein Triumph moderner Ingenieurkunst angesehen werden. Die Ambivalenz dieser Entwicklung wird zugleich deutlich, wenn man an die Entwicklung autonomer Kriegsroboter oder ferngelenkter Waffensysteme denkt. Auf einer Konferenz an der Humboldt-Universität wurde erst kürzlich eine Resolution verabschiedet, in der die Konferenzteilnehmer zum Verbot solcher Waffensysteme aufrufen (vgl. Coy 2010, S. 13f.). Hier standen insbesondere auch die Arbeiten zur Diskussion, nach denen man den Kriegsrobotern ethische Entscheidungen beibringen könne, damit sie keine Kriegsverbrechen begehen, ja sogar der Krieg humaner werden könnte (vgl. Arkin 2009; Wallach/Allen 2009). Wäre es überhaupt möglich, dem Computer, auch ohne Gefühle, Recht und Unrecht beizubringen, würden die Kriegsroboter in der Tat zu besseren Menschen. Denn ihnen fehlt, im Unterschied z.B. zu Hunden, ein Instinkt bzw. Programm (Beißhemmung) zum Schonen des Gegners.

Im Gegensatz dazu besteht die reale Befürchtung hinsichtlich der negativen Wirkungen der Ubiquitous Computing Technologies, dass mit zuneh-

menden Kontexterkennen immer mehr Dinge sich so verhalten, wie sie entsprechend ihrem Programm davon ausgehen, dass es für den Menschen in der angenommenen Situation angemessen oder „richtig" ist. Wenn nun aber ein smartes Ding den Kontext falsch erkennt bzw. nicht adäquat interpretiert, ist man dem Verhalten des Gegenstandes mehr oder weniger ausgeliefert und muss sich dem unterwerfen. Unsere immer wieder erhobene Forderung, dass der Mensch Subjekt des Geschehens ist und bleiben muss, gewinnt mit der zunehmenden Informatisierung des Alltags an Bedeutung und Brisanz!

Dass autonome Aktionen smarter Dinge möglicherweise nicht mehr kontrolliert werden können, kann dazu führen, dass die Technik als hinderlich empfunden wird. Sarah Spiekermann und Frank Pallas sprechen von „Technologiepaternalismus" (Spiekermann/Pallas 2006, p. 6).[3] Der automatisch agierende Assistent mag zwar im Interesse des Menschen funktionieren, kann ihm dabei aber wesentliche Entscheidungsfreiheit und Handlungsverantwortung vorenthalten – dies ist sicher nicht in jeder Situation wünschenswert. Das Gefühl der Ohnmacht gegenüber diesen Technologien, der Bedrohung durch diese wissenschaftlich-technischen Entwicklung wird verstärkt (vgl. Bon et al. 2004).

Die Loslösung der Prozesse vom Ort, die Irrelevanz der Entfernungen schafft eine Parallelwelt, die mit der realen Welt nur noch punktuell zusammentrifft. Dabei ist jedoch davon auszugehen, dass der virtuelle Raum aus dem realen sozialen Raum hervorgeht, an diesem gebunden bleibt, aber auf diesen zurückwirkt, ihn weitgehend prägen kann (vgl. Hofkirchner 2007a).

8. Chancen und Risiken aus der weltumspannenden Kommunikation

Es ergeben sich besondere Chancen und Risiken aus der weltumspannenden, jetzt verstärkt auch horizontalen, sozialen Kommunikation: zur Durchsetzung und zum Abbau fundamentaler Menschen- und Bürgerrechte. Spätestens seit der Gründung von *Facebook.com 2004* sind Social Networks zu einem weltweiten Medium der IKT-unterstützten Kommunikation geworden (vgl. Fuchs-Kittowski/Voigt 2010, 2011). Der entscheidende Punkt für die Nutzung dieser Dienste ist die Nutzerzentriertheit. Es bedeutet eine Emanzipation der ehemals passiven Informationssucher zu Akteuren, denn auf der

3 Ein „Technologiepaternalismus liegt z.B. vor, wenn automatisch Fehlverhalten sanktioniert oder dieses gar nicht erst zugelassen wird, z.B. wenn ein Warnsignal im Auto ertönt, wenn der Fahrer sich nicht anschnallt. Der Wagen hat das letzte Wort, denn der Fahrer muss sich anschnallen, wenn er dem Signalgeräusch entkommen möchte. Er hat keine Kontrolle über den Vorgang" (Spiekermann/Pallas 2006, p. 6; Übersetzung durch mich – KFK.).

Grundlage der Web-2.0-Technologien wird eine zunehmende Selbstorganisation der Benutzer möglich. Social Networks haben sich zu einem neuen Massenmedium entwickelt, in dem sich die Mitglieder einer breiten Öffentlichkeit präsentieren und freiwillig einen Teil ihrer Privatsphäre preisgeben. Diese zugleich technischen wie sozialen Phänomene gewinnen nun auch wirtschaftliche Bedeutung. Im Rahmen des betrieblichen Wissensmanagements wird deutlich, dass die bei der Wissensbereitstellung und Wissensschaffung bisher weitgehend unter schätzten sozialen Aspekte, durch die Einbeziehung von Social Software stärker berücksichtigt werden können (vgl. Fuchs-Kittowski/Voigt 2010, 2011). Wissen als Produktivkraft kann noch besser für die Wertschöpfung genutzt werden.

Mit der weltumspannenden Kommunikation nimmt die Vision einer umfassenden „Informatisierung" der Welt, als technisch-organisatorische Grundlage (vgl. Fuchs-Kittowski/Krüger 1997; Häfner 1986), für die Herausbildung einer Noosphäre im Sinne von Pierre Teilhard de Chardin (vgl. Chardin 1959) und Vladimir Vernadsky (vgl. Vernadsky 1945) Konturen an. Es liegt in unserer Hand, ob die Entwicklung der digitalen Medien, des Internets, nur dem Kommerz und einer flachen Unterhaltung oder gar der politischen Verhetzung dient oder ob die digitalen Medien auch bessere Möglichkeiten für eine progressive Einflussnahme auf die Entwicklung der Gesellschaft, für Demokratie und Partizipation bieten (vgl. Fleißner/Romano 2007). Durch das Internet und die Mobilkommunikation wird die zentralisierte Kommunikation von oben nach unten, um eine horizontale Möglichkeit zur Kommunikation in hohem Maße erweitert. Dies bietet sozialen Bewegungen, dem Protest gegen die bestehenden sozialen Ungerechtigkeiten neue Möglichkeiten (vgl. Fuchs 2007).

Unsere Welt wird durch die weltweite digitale Kommunikation zum „global village". Es ist jedoch offen, ob dies zum antiken Marktplatz, zur digitalen Agora (vgl. Vidal 2010) oder wieweit dies eher zur „Schwarmdummheit" statt zur „Schwarmintelligenz" führt. Das Bild vom „Netz" und von der „Vernetzung" als weltumspannende Vereinigung verschüttet leicht die realen Gräben und sozialen Widersprüche die die Menschheit trennen und die es zu überwinden gilt (vgl. Fischbach 2005).

Eine Ethik der Verantwortung für die Zukunft kann entwickelt werden. Das Internet wird für den Menschen zum Medium der „Aneignung seiner eigenen allgemeinen Produktivkraft" (Marx 1953, S. 593) und „kann zum Medium der Selbstbewusstwerdung der Menschheit werden" (Hofkirchner

2007b, S. 151; vgl. Fuchs-Kittowski/Rosenthal 1998). Die Menschheit gewinnt die Fähigkeit, ihre globalen Probleme besser zu lösen!

[Annotation: Der Verfasser dankt dem Wirtschaftsinformatiker Mukayil Kilic, dem Gewerkschaftler und Soziologen Peter Stahn und den Studenten David Koschnick und Tobias Bloching sowie dem gesamten Seminar „Technologiefolgenabschätzung" des Masterstudienganges „Betriebliche Umweltinformatik" 2010/2011 der HTW-Berlin für die intensive Diskussion zu dieser Problematik.]

Literatur

Arkin, C. R. (2009): Governing Lethal Behavior in Autonomous Robots. London/New York

Bloch, E. (1956): Differenzierung im Begriff Fortschritt. In: Sitzungsberichte der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Klasse für Philosophie, Geschichte, Staats-, Rechts- und Wirtschaftswissenschaften, Jg. 1955, Nr. 5

Bloch, E. (1959): Das Prinzip Hoffnung. Frankfurt am Main

Bloch, E. (1985): Differenzierung im Begriff Fortschritt. In: Bloch, E.: Gesamtausgabe. Bd. 13. Berlin, S. 116-146

Bon, J.; Coroama, V.; Langheinrich, M.; Mattern, F.; Roh, M. (2004): Living in a World of Smart Everyday Objects. Social, Economic, and Ethical Implications. In: Journal of Human and Ecological Risk Assesment, Vol. 10, No. 5, pp. 763-786

Brooks, R. (2002): Menschmaschinen. Wie uns die Zukunftstechnologien neu erschaffen. Berlin/New York

Bullinger, H.-J.; Hompel, M. (Hg.) (2007): Internet der Dinge. Berlin u.a.

Chardin, P. T. de (1959): Der Mensch im Kosmos. Berlin

Coy, W. (2010): Zum Bann autonomer Waffensysteme. In: FIfF-Kommunikation, H. 4, S. 13-14

Dobson, J. E.; Fischer, P. F. (2003): Geoslavary. In: IEEE Technology and Society Magazine, Vol. 22, No. 1, pp. 47-52

Dompke, M.; Geibler, J. von; Göhring, W.; Herget, M.; Hilty, L.; Isenmann, R.; Kuhndt, M.; Naumann, S.; Quack, D.; Seifert, E. (Hg.) (2004): Memorandum Nachhaltige Informationsgesellschaft. Stuttgart

Eiger, K.; Hackenbroch, V. (2010): Schwere Schäden. In: Der Spiegel, Nr. 43, S. 180-181

Fischbach, R. (2005): Mythos Netz. Kommunikation Jenseits von Raum und Zeit? Zürich

Fleisch, E.; Crist, O.; Dierkes, M. (2005): Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge. In: Fleisch, E.; Mattern, F. (Hg.): Das Internet der Dinge. Ubiquitious Computing und RFID in der Praxis. Berlin u.a., S. 3-37

Fleisch, E.; Mattern, F. (Hg.) (2005): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis. Berlin u.a.

Fleißner, P.; Romano, V. (Hg.) (2007): Digitale Medien – neue Möglichkeiten für Demokratie und Partizipation? Berlin

Fuchs, Chr. (2007): Cyberprotest und Demokratie. In: Fleißner, P.; Romano, V. (Hg.): Digitale Medien – neue Möglichkeiten für Demokratie und Partizipation? Berlin, S. 57-88

Fuchs-Kittowski, F.; Voigt, St. (2010): Web 2.0 in produzierenden KMU. Eine empirische und vergleichende Studie über den Einsatz von Social Software in kleinen und mittelständischen Unternehmen des produzierenden Gewerbes. Stuttgart

Fuchs-Kittowski, F.; Voigt, St. (2011): Social Software – Enabler für soziales Wissensmanagement. In: Maier, R. (Hg.): 6th Conference on Professional Knowledge Management. From Knowledge to Action, February 21-23, 2011, Innsbruck, Austria. Proceedings. Bonn, S. 57-66

Fuchs-Kittowski, K. (1992a): Reflections on the Essence of Information. In: Floyd, Chr.; Zuellighoven, H.; Budde, R.; Keil-Slawik, R. (eds.): Software Development and Reality Construction. Berlin a.o., pp. 416-432

Fuchs-Kittowski, K. (1992b): Theorie der Informatik im Spannungsfeld zwischen formalem Modell und nichtformaler Welt. In: Coy, W.; Pflüger, J.-M.; Rolf, A.; Seetzen, J.; Siefkes, D.; Stransfeld, R. (Hg.): Sichtweisen der Informatik. Braunschweig, S. 71-82

Fuchs-Kittowski, K. (2000): Wissens-Ko-Produktion – Organisationsinformatik – Verbreitung, Verteilung und Entstehung von Informationen in kreativ-lernenden Organisationen. In: Fuchs-Kittowski, K.; Parthey, H.; Umstätter, W.; Wagner-Döbler, R. (Hg.): Organisationsinformatik und Digitale Bibliothek in der Wissenschaft. Berlin, S. 9-88

Fuchs-Kittowski, K. (2006a): Strategies of the Effective Integration of ICT into Social Organization – Organization of Information Processing and the Necessity of Social Informatics. In: Berleur, J.; Nurminen, M. I.; Impagliazzo, J. (eds): Social Informatics: An Information Society for All? In Remembrance of Rob Kling. Proceedings of the Seventh International Conference on Human Choice and Computers (HCC7), IFIP TC9. Heidelberg a.o., pp. 431-444

Fuchs-Kittowski, K. (2006b) Zur (informatischen) Modellbildung im Methodengefüge der Wissenschaft. In: Parthey, H.; Spur, G. (Hg.): Wissenschaft und Technik in theoretischer Reflexion. Frankfurt am Main, S. 32-77

Fuchs-Kittowski, K. (2008): Widerspruch, Wissen, Entwicklung. Zur Ambivalenz der Wirkungen moderner Informations- und Kommunikationstechnologien auf Individuum, Gesellschaft und Natur. In: Hahn, E.; Holz-Markun, S. (Hg.): Die Lust am Widerspruch. Theorie der Dialektik – Dialektik der Theorie. Berlin, S. 177-201

Fuchs-Kittowski, K. (2009): Selbstorganisation und Gestaltung informationeller Systeme in sozialer Organisation. In: Ebeling, W.; Parthey, H. (Hg.): Selbstorganisation in Wissenschaft und Technik. Berlin, S. 29-53

Fuchs-Kittowski, K. (2010): Information, Organisation und Informationstechnologie. Schritte zur Herausbildung einer am Menschen orientierten Methodologie der Informationssystem-, Arbeits- und Organisationsgestaltung. In: Coy, W.; Schirmbacher, P. (Hg.): Informatik in der DDR. Tagungsband. Berlin, S. 7-36

Fuchs-Kittowski, K.; Fuchs-Kittowski, M.; Rosenthal, H.-A. (1983): Biologisches und Soziales im menschlichen Verhalten. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Jg. 31, H. 7, S. 812-824

Fuchs-Kittowski, K.; Heinrich, L. J.; Rolf, A. (1999): Information entsteht in Organisationen in kreativen Unternehmen: wissenschaftstheoretische und methodologische Konsequenzen für die Wirtschaftsinformatik. In: Becker, J.; König, W.; Schütte, R.; Wendt, O.; Zelewski, S. (Hg.): Wirtschaftsinformatik und Wissenschaftstheorie. Wiesbaden, S. 330-361

Fuchs-Kittowski, K.; Krüger, P. (1997): Die Noosphäre Vision of Pierre Teilhard de Chardin and Vladimir I. Vernadsky in the Perspective of Information and World-Wide Communication. In: World Future, Vol. 50, pp. 757-784

Fuchs-Kittowski, K.; Lemgo, K.; Schuster, U.; Wenzlaff, B. (1975): Man/Computer Communication: A Problem of Linking Semantic ad Syntactic Information Processing In: Workshop on Data Communication, September 15-19, CP-76-9, International Institute for Applied Systems Analysis 2361, Laxenburg, Austria

Fuchs-Kittowski, K.; Rosenthal, H.-A. (1998): Selbstorganisation, Information und Evolution: Zur Kreativität der belebten Natur. In: Fenzel, N.; Hofkirchner, W.; Stockinger, G. (Hg.): Information und Selbstorganisation: Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information. Innsbruck. S. 141-188

Fuchs-Kittowski, K.; Rosenthal, H.-A.; Rosenthal, A. (2005): Hauptartikel – Die Entschlüsselung des Humangenoms – ambivalente Auswirkungen auf Gesellschaft und Wissenschaft. In: EWE – Erwägen Wissen Ethik, Jg. 16, H. 2, S. 149-162; Replik – Geistes und Naturwissenschaften im Dialog, S. 219-234

Fuchs-Kittowski, K.; Rosenthal, H.-A.; Rosenthal, S. (1981): Zu den modernen genetischen Technologien und dem Verhältnis von Wissenschaft und Ethik, Wahrheit und Wert, Rationalität und Humanismus. In: Geißler, E.; Scheler, W. (Hg.): Genetic Engineering und der Mensch. Berlin, S.107-129

Fuchs-Kittowski, K.; Stary, Chr. (2011): Methoden zur Gestaltung sozio-technischer Informationssysteme (in Vorbereitung)

Häfner, K. (1986): Informationsverarbeitung – Evolution ihrer Verfahren und Techniken. In: Computer Magazin, H. 1, S. 46, H. 2, S. 80

Häfner, K. (1992): Evolution of Information Processing. Basic Concept. In: Häfner, K. (ed.): Evolution of Information Processing Systems. An Interdisciplinary Approach for a New Understanding of Nature and Society. New York a.o.

Hilty, L.; Behrendt, S.; Binswanger, M.; Bruinink, L.; Erdmann, J.; Fröhlich, J.; Köhler, A.; Kuster, N.; Som, C.; Würtenberger, F. (2003): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft. Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt. Genf (TA-SWISS)

Hofkirchner, W. (2007a): Das Internet als Raum. Evolutionäre Systemtheorie als Grundlage einer einheitlichen Raumtheorie I. In: Zellinger, D. (Hg.): Vorschein, Nr. 29: Ernst Bloch zu 30. Todestag. Nürnberg, S. 64-77

Hofkirchner, W. (2007b): Das Internet – Medium einer bewussten gesellschaftlichen Entwicklung. In: Fleißner, P.; Romano, V. (Hg.): Digitale Medien – neue Möglichkeiten für Demokratie und Partizipation? Berlin, S. 141-151

Hompel, M.; Heidenblut, V. (2005): Taschenlexikon Logistik. Berlin/Heidelberg

Honneth, A. (2008): Arbeit und Anerkennung – Versuch einer Neubestimmung. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, H. 3, S. 327-341

Joy, B. (2000): Why the Future Doesn't Need Us. In: Wired Magazine, No. 6 (April). – URL: http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy.html.

Kilic, M. (2006): Zum Einsatz moderner Informations- und Kommunikationssysteme für die innere Sicherheit – mit dem Schwerpunkt „elekronischer Pass". Masterthesis im Fachbereich Wirtschaftswissenschaften II im Studiengang Wirtschaftsinformatik der FHTW Berlin

Köhler, A.; Erdmann, L. (2004): Expected Environmental Impacts of Pervasive Computing. In: Human and Ecological Risk Assessment, No. 10, pp. 831-852

Langheinrich, M.; Mattern, F. (2002): Wenn der Computer verschwindet. Was Datenschutz und Sicherheit in einer Welt intelligenter Alltagsdinge bedeutet. In: Digma –Zeitschrift für Datenrecht und Datensicherheit, Jg. 3, H. 2, S. 138-142

Limbach, J. (2006): Rad des Schicksals. – URL: http://rad-des-schicksals.blog.de/2006/05/22/ soziale_menschenrechte~820153/

Marx, K. (1953): Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie. Berlin

Mattern, F. (2008): Allgegenwärtige Datenverarbeitung. Trends, Visionen, Auswirkungen. In: Rossnagel, A.; Sommerlatte, T.; Winand, U. (Hg.): Digitale Visionen. Zur Gestaltung allgegenwärtiger Informationstechnologien. Berlin u.a., S. 3-29

Maurer, H. (2004): Der PC in zehn Jahren. In: Informatik-Spektrum, Jg. 27, H. 1, S. 44-50

Moravec, H. (1990): Mind Children. Der Wettlauf zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz. Hamburg

Müller-Hill, B. (1981): Die Philosophen und das Lebendige. Frankfurt am Main/New York

Müller-Hill, B. (2001): Die Gefahr der Eugenik. Was wissen wir, wenn wir das menschliche Genom kennen? In: Honnefelder, L.; Propping, P. (Hg.): Was wissen wir, wenn wir das menschliche Genom kennen? Köln, S. 218-219

Punie,Y.; Delaitre, S.; Magiros, I.; Wright, D.; Dark (2006): Safeguards in a World of Ambient Intelligence (SWAMI). Deliverable D2: Dark Scenarios in Ambient In-

telligence: Highlighting Risks and Vulnerabilities. – URL: http://publica.fraunhofer.de/documents/N-34007.html

Rolf, A.; Moeller, A. (1996): Sustainable Development: Gestaltungsaufgabe der Informatik. In: Informatik-Spektrum, No. 19, S. 206-213

Rosenthal, H.-A. (2002): Zu einem Aspekt der genetischen Information: Geist und Materie in der frühen biologischen Evolution. In: Floyd, Chr.; Fuchs, Chr.; Hofkirchner, W. (Hg.): Stufen zur Informationsgesellschaft. Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski. Frankfurt am Main, S. 233-240

Rossnagel, A. (2008): Selbst- oder Fremdbestimmung. Die Zukunft des Datenschutzes. In: Rossnagel, A.; Sommerlatte, T.; Winand, U. (Hg.) (2008): Digitale Visionen. Zur Gestaltung allgegenwärtiger Informationstechnologien. Berlin u.a., S. 123-163

Rossnagel, A.; Müller, J. (2004): Ubiquitous Computing – neue Herausforderungen für den Datenschutz. In: Computer und Recht, H. 8, S. 625-632

Rossnagel, A.; Sommerlatte, T.; Winand, U. (Hg.) (2008): Digitale Visionen. Zur Gestaltung allgegenwärtiger Informationstechnologien. Berlin u.a.

Schlink, B. (2003): Die überforderte Menschenwürde. In: Der Spiegel, Nr. 51, H. 1, S. 13

Schmiede, R. (2006): Knowledge Work and Subject in Informational Capitalism. In: Berleur, J.; Nurminen, M. I.; Impagliazzo, J. (eds): Social Informatics: An Information Society for All? In: Remembrance of Rob Kling. Proceedings of the Seventh International Conference on Human Choice and Computers (HCC7), IFIP TC9. Heidelberg a.o., pp. 333-354

Spiekermann S.; Pallas, F. (2006): Technology Paternalism. Wider Implications of Ubiquitous Computing. In: Poiesis and Praxis, Vol. 4, No. 1, pp. 6-18

Stahn, P. (2007): Gestaltung wissensintensiver Geschäftsprozesse aus Arbeitsnehmersicht. Zu ambivalenten Entwicklungen in der Wissensarbeit. In: Bentele, M.; Hochreiter, R.; Riempp, G.; Schütt, P.; Weber, M. (Hg.): Mehr Wissen – mehr Erfolg! 9. Kongress zum IT-gestützten Wissensmanagement. Kongressband zur Know-Tech, 28.-29. Nov. Frankfurt am Main, S. 127-136

Steinmüller, W. (1980): Rationalisation and Modellification: Two Complementary Implecations of Information Technologies. In: Lavington, S. (ed.): Information Processing 80. Amsterdam a.o., pp. 853-861

ULD – Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz Schleswig-Holstein; IW HUB – Institut für Wirtschaftsinformatik der Humboldt-Universität zu Berlin (2006): TAUCIS – Technikfolgenabschätzung: Ubiquitäres Computing und Informationelle Selbstbestimmung. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Kiel/Berlin

Ten Hompel, M.; Heidenblut, V. (2005): Taschenlexikon Logistik. Berlin u.a.

Vernadsky, V. (1945): The Biosphere and the Noosphere. American Scientist, Berlington, Vol. 33, No. 1, p. 1-12

Vidal, F. (2010): Rhetorik des Virtuellen. Die Bedeutung rhetorischen Arbeitsvermögens in der Kultur der konkreten Virtualität. Mössingen-Talheim

Wallach, W.; Allen, C. (2009): Moral Machines. Teaching Robots Right from Wrong. Oxford

Weizenbaum, J. (1990): Das Menschenbild im Lichte der künstlichen Intelligenz. Vortrag im Industrieclub Düsseldorf der Bank Hoffmann AG, Zürich

Weizenbaum, J. (1991): Das Menschenbild im Licht der künstlichen Intelligenz. Vortrag anlässlich einer Veranstaltung der Repräsentanz Düsseldorf der Bank Hoffman AG, Zürich, im Industrieclub Düsseldorf mit anschließender Diskussion im Mai 1990. In: Mitscherlich, M.; Weizenbaum, J.; Sölle, D.; Helder, C.; Hottinger, A.; Lax, R.: Prioritäten. Zürich

Weizenbaum, J. (2001): Computermacht und Gesellschaft. Frankfurt am Main.

Weizenbaum, J.; Haefner, K. (1990): In: Haller, M. (Hg.): Weizenbaum contra Haefner: Sind Computer die besseren Menschen? Zürich

Würtenberge, F. (2003): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft. Auswirkunken des Pervasiv Compution auf Gesundheit und Umwelt, Studie des Zentrums für Technologiefolgenabschätzung. TA-SWISS, TA 46