Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *99(2008), 71-103*

Ernst-Otto Reher, Gerhard Banse

Der Einfluss der naturalen, sozialen und humanen Dimensionen der Technologie auf den Prozess-Stufenmodul der Materialtechnik mit dem Ziel der Herausbildung einer allgemeinen Prozesstechnik

Vorbemerkung

Um die Allgemeine Technologie lehrbar und anwendbar für die Praxis zu machen, ist es erforderlich, die Wissenschaftsdisziplinen zu aktivieren, die zumindest unter den von Günter Ropohl genannten Dimensionen – naturale, soziale, humane – der Technologie benannt wurden (vgl. Ropohl 1979, 2001). Deshalb soll auch in dem Beitrag die aktive Rolle verschiedener Fachdisziplinen gefordert werden und wir deshalb von der: naturwissenschaftlichen Fundierung, Technisierung, Ökonomisierung, Ökologisierung, Humanisierung, Politisierung u. v. m. der Technologie sprechen und handeln wollen (vgl. Reher 2005).

Da der Einfluss der verschiedenen Fachdisziplinen sehr differenziert ausgeprägt ist und auch sein wird, wird versucht, einen Bezug zu den unterschiedlichen Hierarchieebenen der technologischen Artefakte herauszuarbeiten. Die Mitwirkung verschiedener Fachdisziplinen wird durch Abbildung 1 angedeutet (Mikroebenen technologischer Artefakte). Eine Fortsetzung der Betrachtungen erfolgt an anderer Stelle auf den Makroebenen (Anlage, Verbund, Fabrik, Konzern usw.).

In unserem Beitrag wird nun versucht, beginnend mit der technologischen Prozess-Stufe bis hin zu den Mikro-, Nano- und molekularen Prozessen, Zusammenhänge zur naturalen, sozialen und humanen Dimension zu entwickeln, die sich in Modellen, Regeln, Gesetzen, Heuristiken, Restriktionen u. v. m. bei der optimalen Prozess- und Ausrüstungsentstehung, -gestaltung und -anwendung sowie in der Beseitigung dieser Artefakte widerspiegeln (siehe Abbildung 2). Dabei können nur ausgewählte Fachgebiete vertieft behandelt werden, da die Autoren nur für einige wenige ausgewählte Fachgebiete kompetentes Wissen einbringen können. Die Einbeziehung

weiterer Fachwissenschaftler ist unbedingt erforderlich, um das vorliegende Konzept wirksam ausgestalten zu können.

1 Naturwissenschaftliche Fundierung der Technologie

1.1 Ebene der Grundeinheiten (Grundoperationen, Maschinen etc.)

Siehe Abbildungen 1 und 2: Für eine Grundeinheit in einer technologischen Linie (Prozesskette) ist charakteristisch, dass

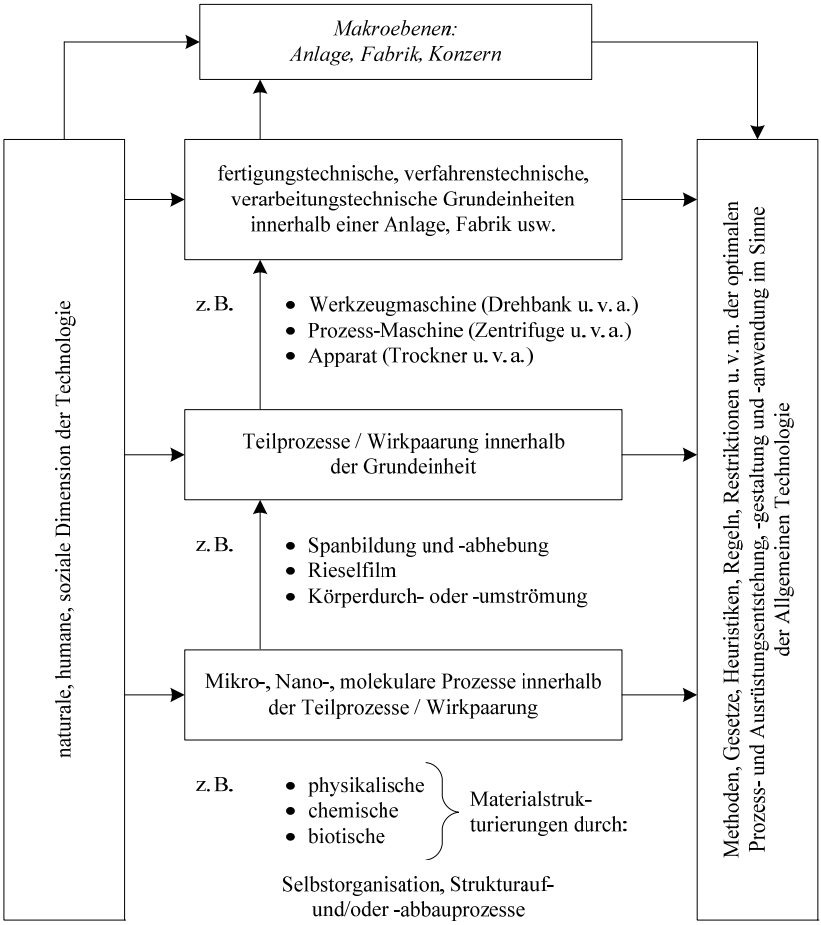
Abbildung 1: Die naturale, soziale und humane Dimension der Technologie auf den technologischen „Mikroebenen“

<table>
<tr><td colspan="5">Technologie-Hierarchieebene Mikroebenen</td><td colspan="3">Dimension</td></tr>
<tr><td>Technologische Grundeinheiten (Grund-operationen)</td><td>Wirkpaarungen</td><td>Teilprozesse</td><td>Mikro- Nano- Pro-zesse molekulare</td><td></td><td>naturale</td><td>soziale</td><td>humane</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="5">Wird von den Natur- und Technikwissenschaftlern traditionsgemäß stets bearbeitet
→
(Ökologie ist in den letzten Jahrzehnten erst stärker in das Blickfeld gerückt)</td><td>Naturwissen-schaftliche Fundierung</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5"></td></tr>
<tr><td>Mathema-tisierung</td></tr>
<tr><td>Technisierung</td></tr>
<tr><td>Ökonomisierung</td></tr>
<tr><td>Ökologisierung</td></tr>
<tr><td colspan="5" rowspan="4">Wird von den Sozialwissenschaftlern zunehmend beachtet
→</td><td rowspan="4"></td><td>Sozialisierung</td></tr>
<tr><td>Politisierung</td></tr>
<tr><td>Jura</td></tr>
<tr><td>Historie</td></tr>
<tr><td colspan="8" rowspan="6">Wird von den Geisteswissenschaftlern nicht mehr unbeachtet bleiben können (siehe Technologien des 21. Jahrhunderts)
→</td><td>Humanisierung</td></tr>
<tr><td>Ethik</td></tr>
<tr><td>Ästhetik</td></tr>
<tr><td>Psychologie</td></tr>
<tr><td>Physiologie</td></tr>
<tr><td>Anthropologie</td></tr>
</table>

Quelle: Eigene Darstellung

a) die ablaufenden Prozesse durch charakteristische Transportphänomene und Kinetiken erfasst sowie
b) die Prozessmechanismen (Prozess-Stadien) erkannt werden können.

Abbildung 2: Einfluss der naturalen, humanen und sozialen Dimension auf die technologischen Prozessstufen- und Ausrüstungs-entstehung, -gestaltung und -anwendung (Mikroebenen)



Quelle: Eigene Darstellung

Nicht selten verlaufen mehrere naturwissenschaftliche Grundprozesse in einer Ausrüstung ab. Geschwindigkeitsbestimmende Mechanismen werden erkannt und zur Grundlage der Maßstabsübertragung durch abgeleitete Modellgesetze realisiert. Die Basis für alle Vorgänge auf dieser Ebene sind in der Regel determinierte naturwissenschaftliche Grundgesetze mit ihren Stoffparametern bzw. -funktionen. Im Ergebnis werden kinetische Zusammenhänge gefunden, die für die Auslegung, den Bau und den Betrieb der Prozesseinheit erforderlich sind. Naturwissenschaftlich begründete Prozessgrenzen sind dabei mit eingeschlossen (z. B. „elastische" Turbulenz viskoelastischer Fluide, dissipative Erhitzung und thermische Zersetzung, Stabilitätsgrenzen, Explosions- und Festigkeitsgrenzwerte u. v. m.).

1.2 Ebene der Wirkpaarungen

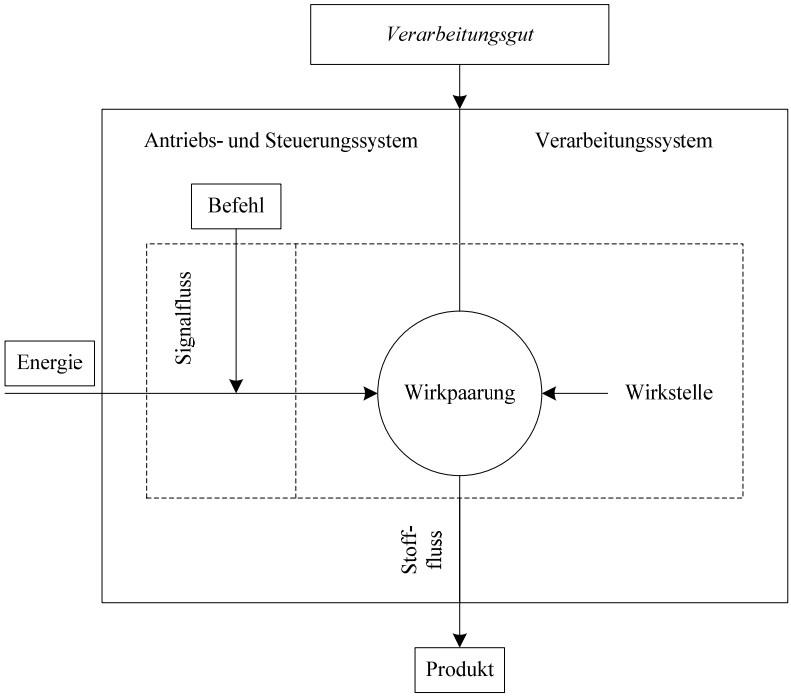
Die Wirkpaarungstechnik entstammt der Verarbeitungstechnik und ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt (vgl. Umschlagseite 1976). Sie beschreibt das verarbeitungstechnische Zusammenwirken von Stoff und Arbeitsorgan an der Wirkstelle während eines im Gesamtprozess ablaufenden Verarbeitungsvorganges.

Die Wirkpaarungstechnik

a) hat die Aufgabe, die prozessgestaltenden Verarbeitungsvorgänge zu untersuchen, sie vom Stoff zu abstrahieren, Gemeinsamkeiten aufzudecken und durch Analogiebetrachtungen vielgültige Erkenntnisse zu schaffen;
b) verbindet die Gestaltung der Prozesse und die ihrer Ausrüstung und stellt damit die Einheit von Technologie und Konstruktion her (siehe Abbildung 4);
c) zwingt zur interdisziplinären Zusammenarbeit mit den Naturwissenschaften bei der Ermittlung, Aufbereitung und Sammlung verarbeitungstechnischer Kennwerte (vgl. Tränkner 1976).

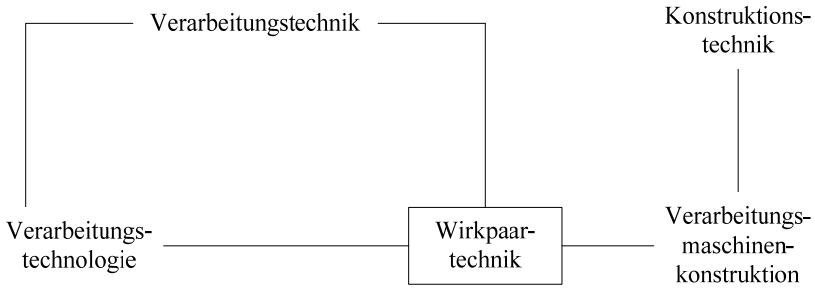
Die naturwissenschaftliche Fundierung der Wirkpaarungstechnik schafft universelle Voraussetzungen für Berechnungs- und Auslegungsverfahren für die Technologie- und Konstruktionsentwicklung, für den Bau und den Betrieb von verarbeitungstechnischen Systemen (Maschinen und Anlagen).

Abbildung 3: Wirkpaarung



Quelle: Nach Umschlagseite 1976

Abbildung 4: Wirkpaartechnik – Bindeglied zwischen Technologie und Konstruktion



Quelle: Nach Umschlagseite 1976

1.3 Ebene der Teilprozesse

Technologische Teilprozesse sind sowohl in den Grundoperationen der Verfahrenstechnik als auch in der Wirkpaarungstechnik der Verarbeitungs- und Fertigungstechnik ableitbar (siehe Abbildung 3). Sie stellen reduzierte Elemente komplexer Strukturen dar. Sie werden mit kontinuumsmechanischen und/oder partikelmechanischen Grundgleichungen beschrieben, für die die naturwissenschaftlichen Grundlagen (Stoffgleichungen, Kinetiken) erforderlich sind. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, die Teilprozesse modellieren zu können (Beispiele: Körperdurch- oder -umströmung, Filme, Phasengrenzen, Oberflächen u. v. m.). Die Prozesskombinationsmöglichkeiten der Teilprozesse in unterschiedlichen technologischen Ausrüstungen wachsen ständig. Die Teilprozesse stellen eine gewisse technologische „Universalität“ dar (vgl. Reher 2001). Die Synthese der Teilprozesse zu komplexen Einheiten (Grundoperationen) wird in zunehmendem Maße erfolgreich betrieben (vgl. Reher/Banse 2004).

1.4 Ebene der Mikro-, Nano- und molekularen Prozesse

Die Transporttheorien für den Impuls, die Energie und den Stoff werden mittels molekularkinetischer, statistischer Methoden entwickelt. Die Verbindung zwischen Eigenschaften und Strukturen der Materialien wird erkundet und durch technologische Maßnahmen werden sie zielgerichtet hergestellt. Zusätzliche Kraftfelder bzw. Steuerungsmechanismen der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen werden in technologischen Verfahren eingebracht. Die Selbstorganisation zur Strukturierung der Materialien wird bedeutungsvoll eingesetzt und wird technologisch relevant. Der top-down-Weg und der bottom-up-Ansatz (vgl. Thassu/DeLeers/Pathak 2007, p. 4) sind technologische Verfahren zur Materialstrukturierung, die sich in vielen Fällen noch im Entwicklungsstadium befinden und das Zusammenwirken der Naturwissenschaftler und Technikwissenschaftler erfordern.

2 Mathematisierung der Technologie

2.1 Ebene der Grundoperationen

Die Grundoperationen werden in der Regel als „black box“ untersucht, und damit spielt die Versuchsplanung und die mathematische Statistik eine entscheidende Rolle. Die gewonnenen Korrelationen werden sowohl für die

Dimensionierung und zum Betrieb als auch als Element für die Systemanalyse angewendet. In Ausnahmefällen können mathematische determinierte Modelle formuliert werden, die mittels analytischer, numerischer oder ähnlichkeitstheoretischer Verfahren gelöst werden können (vgl. Autorenkollektiv 1979). Umfangreiche Software-Pakete liegen vor (vgl. Reher/Banse 2004) bzw. werden ständig entwickelt.

2.2 Ebene der Wirkpaarungen

Hier gilt das zu den Grundoperationen Gesagte ebenfalls, jedoch werden durch Reduktion des Gesamtprozesses schon öfter determinierte mathematische Modelle mit komplizierten Materialfunktionen und komplexen Randbedingungen erarbeitet und gelöst (z. B. Spanbildung, Schneckenkanalströmung u. v. m.). Die Anwendung partieller Differentialgleichungssysteme ist dominierend auf dieser Hierarchieebene zur Prozessbeschreibung.

2.3 Ebene der Teilprozesse

Determinierte mathematische Modelle sind dominierend. Mathematisierte ingenieurtechnische Grundlagendisziplinen (Mechanik, Thermodynamik, Wärme- und Stofftransport, Informatik u. a.) liefern ständig erweiterte Problemlösungen, die adaptiert bzw. direkt angewendet werden können. Es werden physiko-chemische Felder berechnet, die durch Integration technologische Prozessaussagen gestatten. Enge Bezüge zwischen den technologischen Prozessparametern und Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Erzeugnisse werden erhalten (vgl. Autorenkollektiv 1979).

Eine Synthese der Teilprozesse in den Grundoperationen und Wirkpaarungen wird angestrebt und ist in einer Vielzahl von Fällen auch möglich geworden (vgl. Hensen/Knappe/Potente 1989).

2.4 Ebene der Mikro-, Nano- und molekularen Prozesse

„A. Einsteins Voraussagen [Brownsche Bewegung, Thermodynamik, Atomistik, Suspensionsviskosität u. v. m.; E.-O.R./G.B.] wurden vielfach experimentell überprüft, diese experimentellen Arbeiten bildeten den Ausgangspunkt für eine neue experimentelle Technik der Mikrountersuchungen, die Theorie bildete den Ausgangspunkt für die Entwicklung des großen Gebietes der physikalischen Stochastik“ (Ebeling 2005, S. 32).

Die moderne physiko-chemische (biologische) Technik erlaubt heute experimentelle Untersuchungen, die bis in den Nano- und molekularen Bereich

vordringen, um damit Voraussetzungen für die Formulierung mathematischer Strukturen zu entwickeln, die mit „Supercomputern“ gelöst werden können. Diese Ergebnisse der Simulationen werden in technologisch-relevante Handlungen im Rahmen der Technisierung der Mikro- und Nanotechnologien umgesetzt (siehe Fallbeispiel 2).

3 Technisierung der Technologie

3.1 Ebene der Grundoperationen

An anderer Stelle ist bereits eine umfangreiche Auflistung zur Technisierung von Prozesstechnologien vorgenommen worden (vgl. Reher 2005). Dazu gehören die Grundausrüstungen der Stoff-, Energie- und Informationswandlungen, Automatisierungs-, Sicherheits-, Lager-, Transporttechnik u. v. m. Derzeit erleben wir, wie im Rahmen z. B. der Nanotechnologie diese Instrumentarien angepasst oder entwickelt werden, um aus den Laboranlagen Produktionsanlagen zu gestalten (siehe Fallbeispiel 2).

Während früher die Grundausrüstungen der Prozesseinheiten vorrangig aus Makroausrüstungen mit Tonnen Durchsätzen pro Stunde bestanden (Reaktoren, Mischer, Mühlen, Filter u. v. m.), gibt es heute daneben auch Mikroausrüstungen (Reaktoren, Mischer, Filter u. v. m.) mit Gramm bzw. Kilogramm pro Stunde Durchsatz. Beide Dimensionen erfordern spezielle Entwicklungs-, Betriebs- und Entsorgungsstrategien im Rahmen der Technisierung auf der Ebene der Prozesseinheiten. So lässt die mathematische Prozessbeschreibung, Modellierung und Simulation eine Reihe von Vereinfachungen in Mikroausrüstungen gegenüber Makroausrüstungen auf Grund der geometrischen Abmessungen nicht zu (z. B. Strömungskomponenten, Druckverteilungen, Wärmetransport u. v. m.). Die Ausrüstung mit Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Sicherheitstechnik u. v. a. unterscheidet sich merklich zwischen Mikro- und Makroausrüstungen. So muss z. B. die Messtechnik in den Makroausrüstungen bevorzugt im Echtzeitbetrieb funktionieren, um nicht tonnenweise Ausschuss zu produzieren. Dagegen ist die Montage und Inbetriebnahme von Mikroausrüstungen unproblematischer als bei Makroausrüstungen; das betrifft auch die Instandhaltung und Reparatur (vgl. Kirschner/Marr 2005).

Weitere Tendenzen werden bei der Technisierung der technologischen Prozesseinheiten deutlich:

- Fluidisierung der Prozessabläufe;
- Integration mehrerer Prozesseinheiten in einer Ausrüstung (Maschine, Apparat);
- Überlagerung äußerer Felder zur Intensivierung der Transportprozesse für den Impuls, die Energie und den Stoff, Beschleunigung der Stoffwandlungskinetiken;
- Ausrüstungstransfer zwischen den verschiedenen Materialtechnologien.

Es kann festgestellt werden, dass ein großes Reservoir an Technik vorhanden ist, das stets durch Ingenieursleistungen verbessert wird, und dass neue kreative Lösungen erforderlich sind, die durch Erfindergeist gestaltet werden, sehr häufig durch eine enge Kooperation zwischen Natur- und Technikwissenschaftlern.

3.2 Ebene der Wirkpaarungen

In Tscheuschner 1986 ist eine Ordnung der Arbeitsweise von Wirkpaarungen dargestellt. Die teilweise Überlappung zwischen Grundoperationen (Verfahrenstechnik) und Wirkpaarungen (Fertigungstechnik) wird in der Ordnung deutlich, ist aber aus unseren Technologiebetrachtungen hier unproblematisch. Das Prinzip dieser Ordnung basiert auf den Bewegungen des Verarbeitungsgutes durch die Wirkstelle und der Bewegung der Arbeitsorgane. Über die ablaufenden technologischen Prozesse in der Wirkpaarung wird damit nichts ausgesagt. Erst durch Prozessanalyse, Modellierung, Simulation und Experimente lassen sich die Prozessverläufe und daraus integrale Maschinenparameter bestimmen (vgl. z.B. Reher 2001).

In der industriellen Praxis und in Forschung und Entwicklung werden Wirkpaarungs-Prototypen entworfen, gebaut, mit Sensoren versehen und dann technologische Informationen gewonnen, die mit Modellrechnungen verglichen werden (z.B. Bewegungen, Drücke, Spannungen, Temperaturen, Verschleiß, Toleranzen u.v.m.). Als Ergebnis werden Dimensionierungsgrundlagen für die Wirkpaarung erarbeitet, mit denen die industrielle Fertigung und der Betrieb (Installation in einem System) realisiert werden.

Allgemeine technisch-technologische Anforderungen an eine Wirkpaarung sind vor allem Funktionalität, Präzision, Sicherheit, Zuverlässigkeit, Langzeitverhalten und Verschleißfestigkeit.

In Abbildung 4 ist die Stellung der Wirkpaarungstechnik zur Technologie und Konstruktion verdeutlicht (vgl. Tränkner 1976). Beide Aspekte

müssen bei der Konzipierung, Bemessung und Nutzung der Wirkpaarung Beachtung finden.

3.3 Ebene der Teilprozesse

In einer früheren Veröffentlichung wurde bereits eine Übersicht über Teil- oder Elementprozesse und ihre technologische Zuordnung gegeben (vgl. Reher/Banse 2004). In der Regel werden prozessbestimmende Teil-(Element-)Prozesse aus komplexen technologischen Ausrüstungen durch ein Reduktionsverfahren (Dekomposition) abstrahiert (vgl. Reher 2001). Seltener werden durch Syntheseverfahren komplexe Ausrüstungen aus Teilprozessen gestaltet, obgleich auch dieser Weg beschritten wird (z. B. Schneckenmaschinen, Schneckengestaltung – vgl. Hense/Knappe/Potente 1989; Reher/Banse 2004). Die Synthese wird dann häufiger anwendbar, wenn mehr zuverlässige Software-Module mit ihren technologischen Überprüfungen zur Verfügung stehen werden (Datenbanken für erprobte Module). Ein derartiges Baukastensystem, in dem auch derartige Elemente Eingang gefunden hätten, wurde schon in früheren Zeiten angedacht, scheiterte damals aber an den fehlenden Rechnerkapazitäten (vgl. Fratzscher 2004). An anderer Stelle sind weitere Merkmale der Technisierung unter anderem auch für Teilprozesse zusammengestellt (vgl. Reher 2005).

3.4 Ebene der Mikro-, Nano- und molekularen Prozesse

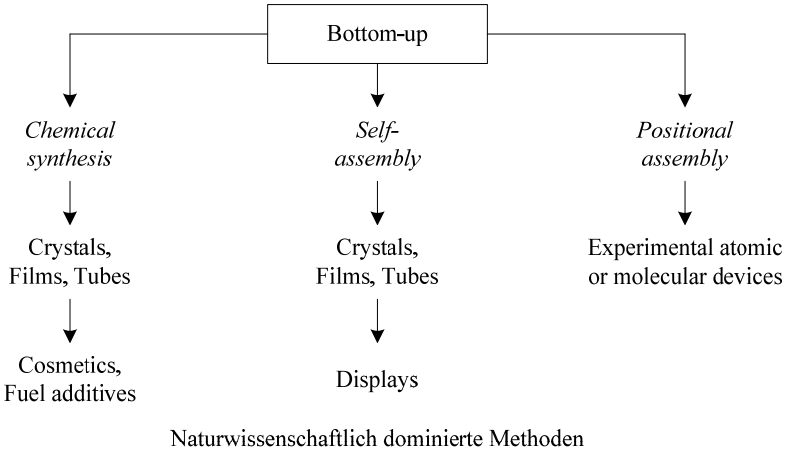
Die Technisierung zur Erzeugung kleinster Strukturen (Produkte) erfolgt sowohl mit konventionellen Ausrüstungen als auch mit speziellen, neuartigen, den Prozessen entsprechenden Ausrüstungen (siehe z. B. Fallbeispiel 2).

Derzeit werden zwei Wege verfolgt:

(1) bottom-up-Weg: aus dem Mikro-(Nano-)Kosmos werden in Reaktionsräumen durch Selbstorganisation Strukturen aufgebaut (siehe Abbildung 5)
(2) top-down-Weg: aus dem Makrokosmos werden durch Dünnschichttechnologien, Lithographie, Nutzung von äußeren Feldern, Viren u. v. m. Strukturen aufgebaut (siehe Abbildung 6).

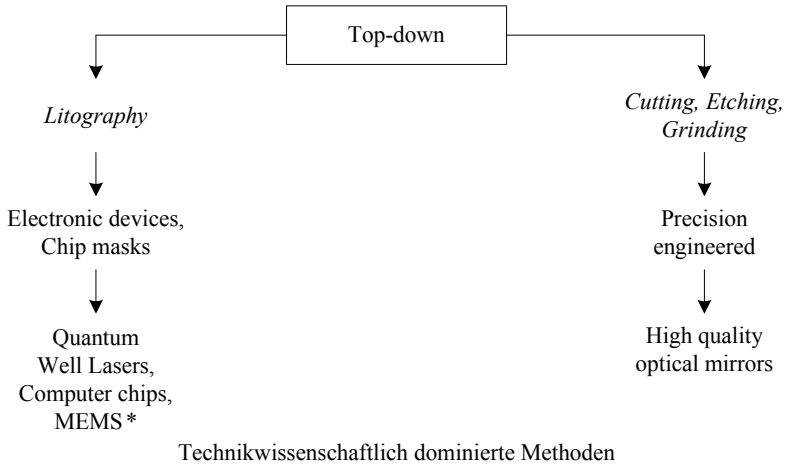
Im Fallbeispiel 2 wird aus Literaturangaben (vgl. Dai et al. 1998; Su et al. 2006) der Versuch unternommen, einen Ablauf zur Herstellung von Kohlenstoff-Nano-Röhrchen darzustellen.

Abbildung 5: Bottom up-Verfahren



Quelle: Nach Thassu/DeLeers/Pathak 2007, p. 4

Abbildung 6: Top down-Verfahren



* MEMS – microelectro mechanical system

Quelle: Nach Thassu/DeLeers/Pathak 2007, p. 4

4 Ökonomisierung der Technologie

4.1 Ebene der Grundoperationen

Für Stoff-(Energie-)Wandlungsprozesse existiert eine Vielzahl konkurrierender Grundoperationen und es steht eine noch größere Anzahl von Ausrüstungen zur Verfügung. Die Ökonomie (neuerdings auch die Ökologie) ist neben der Technik ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl und Festlegung

a) der Grundoperationen und
b) der Ausrüstung.

Eine Vielzahl heuristischer Programme wurde schon frühzeitig entwickelt, um den technisch-ökonomischen Auswahlprozess durch das Entwicklung von Entscheidungs- und Bewertungskriterien zu rationalisieren und zu objektivieren (vgl. z. B. Conrad/Schaffer 1974).

Die ständige Rationalisierung (Energie-, Materialeinsparungen – vgl. Weizsäcker/Lovins/Lovins 1997) der Ausrüstungen der Grundoperationen bzw. die Neuentwicklung von Ausrüstungen unter bevorzugten ökonomischen Forderungen (Fertigungskosten einsparen) ist eine ständige Aufgabenstellung der Ingenieurtätigkeit und wird durch den Wettbewerb (Konkurrenz!) vorangetrieben (vgl. z. B. den Anlagenbau oder den Maschinen- und Gerätebau).

Auf Fachmessen beobachten die Wettbewerber einander und holen sich nicht selten neue Anregungen für ihre Erzeugnisse.

Leider gibt es auch Beispiele für unethisches Verhalten, wo Geld (Ökonomie) gegen Menschenleben aufgerechnet wird (vgl. Lenk/Maring 1998).

- Beispiel 1: Tankverstärkung beim PKW – Modell Pinto. Der Einbau der Tankverstärkung würde teurer werden als Zahlungen für Unfälle (180 verbrannte Personen, 180 Verletzte).
- Beispiel 2: Das Verschweigen einer Fehlkonstruktion eines Ladetürverschlusses bei Flugzeugen des Typs DC 10 führte zum Flugzeugabsturz über Paris im Jahre 1974, bei dem 346 Menschen starben.
- Beispiel 3: das Challenger-Unglück.

Die Beispiele zeigen, dass der Ingenieur von keiner Instanz von seiner Verantwortung befreit werden kann und beachten sollte, dass Technik vor der Ökonomie steht. Nicht selten steht er unter ökonomischem Zwang, um wettbewerbsfähige Produkte zu schaffen. Das darf nicht zu Lasten der Sicherheit gehen. Unethische Beispiele in den Prozesstechnologien sind ebenfalls

bekannt: Reaktorexplosionen, Überschreitung der Leistungsgrenzen von Ausrüstungen (Brücke) u. v. m. In der Gegenwart wurden Bauschäden im privaten Bau deutlich, da die Bauaufsicht staatlicherseits entbehrlich wurde.

4.2 Ebene der Wirkpaarung

Die Ökonomisierung erfolgt in der Auswahl oder Neugestaltung der Wirkpaarung selbst aus einer Vielzahl vorhandener bzw. neu gestalteter Wirkpaarungen und in der Einbindung in die Maschine bzw. Ausrüstung.

Dabei werden fertigungstechnische, werkstofftechnische, sicherheitstechnische, zuverlässigkeitstechnische, betriebstechnische, tribologische u. v. a. Aspekte zu berücksichtigen sein.

Wie wichtig diese Fragen sind, zeigen die oben genannten Unglücksfälle im Abschnitt 4.1 (Tankverschluss, Ladetürverschluss, Dichtungen).

4.3 Ebene der Teilprozesse

Die Teilprozesse können in der Regel sehr zuverlässig mittels analytischer („weißer“) Modelle für den Impuls-, Energie- und Stofftransport beschrieben werden. Umfangreiche Software hierzu ist vorhanden und wird stets weiterentwickelt. Daraus lassen sich optimale technisch-ökonomische Parameter ermitteln und die günstigste Variante auswählen. Die Optimierung zielt auf Energie- und Zeitersparnisse (z. B. Formfüllvorgang beim Spritzgussprozess, optimale Kanalgeometrie beim Materialtransport, optimale Schneckengeometrie beim Misch- und Extrusionsprozess u. v. m.).

4.4 Mikro-, Nano- und molekulare Prozesse

Der Übergang dieser Prozesse von der Gasphase in die Fluidphase bringt ökonomische Vorteile bei den technologischen Ausrüstungen und beim Betrieb.

5 Ökologisierung der Technologie

5.1 Ebene der Grundoperation

Maschinen und Apparate der Prozesstechnologien (Fertigungs-, Verfahrens- und Verarbeitungstechnik) müssen nach ökologischen Gesichtspunkten entwickelt, konstruiert, gestaltet, betrieben und reguliert werden. Das betrifft

in erster Linie: die Maschinen und Apparate selbst, den Werkstoffeinsatz, die Emissionsauswirkungen, Lärm, die Verschmutzung der Umwelt, die Wartungsfreiheit, die Recyclierbarkeit u. v. m.

Dass es nicht immer der Fall ist, dass über den Einsatzzweck und seine Wirkungen ausreichend komplex nachgedacht wird, zeigt das Fallbeispiel des Laubsaugers (vgl. Ropohl 1998). Dieses Instrument soll die Gartenarbeit erleichtern, beeinträchtigt aber die menschliche Gesundheit und das natürliche Ökosystem. In diesem Fall ging Ökonomie vor Ökologie, was zu absehbarem Gesamtschaden führte. Wenn nicht im Projektstadium die komplexeren Auswirkungen beachtet werden und nur der wirtschaftliche Erfolg gesehen wird, richten derartige Artefakte mehr Schaden als Nutzen an (Technikfolgenabschätzung beachten).

5.2 Ebene der Wirkpaarung

Da die Wirkpaarungstechnik (siehe oben Abbildung 4) das Bindeglied zwischen Technologie und Konstruktion darstellt, sollten durch sie geräuscharme, wartungsfreie bzw. wartungsarme, verschleißfeste, leicht auswechselbare und erneuerbare Wirkpaarungen gestaltet werden, die material- und energiesparend funktionieren und damit umweltschonend sind.

5.3 Ebene der Teilprozesse

Die Einkapselung besonders umweltschädlicher Teilprozesse, z. B. Ent- und Belüftung oder mit Schutzgas bedeckte Teilprozesse, ist zu gestalten. Die Separierung umweltschädlicher Produkte durch Entsorgungstechniken aus den Teilprozessen der Grundoperationen wird konzipiert und zur Anwendung gebracht. Dadurch werden auch ökonomische Kennzahlen verbessert.

5.4 Ebene der Mikro-, Nano- und molekularen Prozesse

Nanopartikel können eine Gefahr für Mensch, Tier und Umwelt bedeuten, da sie mitunter direkt in die Zellen eindringen können. Das Austreten von Partikeln und Gasen in die Atmosphäre ist zu verhindern bzw. zu minimieren (Reifenabrieb, Abgase von Autos und Flugzeugen, Industriedämpfe u. v. m.). Die Gestaltung technologischer Abläufe für Nanotechnologien muss ökologische Überlegungen beinhalten (siehe Fallbeispiel 2).

Die Öffentlichkeit muss über die neuen Technologien informiert und in die Diskussionen einbezogen werden, denn sie muss mit den Konsequenzen des technologischen Fortschritts leben und gegebenenfalls die „Nebenwirkungen“ akzeptieren.

6 Sozialisierung und Humanisierung der Technologie

Sozial- und geisteswissenschaftliche Überlegungen beziehen sich bislang kaum auf die Ebenen

- Grundeinheiten (Grundoperationen, Maschinen etc.),
- Wirkpaarungen,
- Teilprozesse,
- Mikro-, Nano- und molekulare Prozesse

bei technischen Sachsystemen.

Ob das jedoch immer so sein muss, ist indes fraglich. Die Sozial- und Geisteswissenschaften können allerdings erst dann „aktiv“ werden, wenn sich eine Problemsituation (bzw. eine – um Heinrich Parthey auf diesem Symposium etwas vorzugreifen – Forschungssituation) ergibt oder auch andeutet, die die Mitwirkung dieser Wissenschaften ermöglicht und erforderlich macht. Das ist (erst) dann der Fall, wenn offensichtlich oder absehbar Individuum und/oder Gesellschaft in ihren „Schutzgütern“ betroffen sind: (individuelle, öffentliche, nationale) Sicherheit, Wohlstand, Gesundheit, Wohlbefinden, (Verteilungs-)Gerechtigkeit, soziale/kulturelle Standards, Persönlichkeitsrechte (wie Privatheit) oder natürliche Existenzbedingungen. Dabei handelt es sich vor allem um die so genannten Nutzungs- bzw. Verwendungszusammenhänge technischer Sachsysteme und weniger um deren Entstehungszusammenhänge. Das bedeutet nun nicht, dass nicht auch diese Entstehungszusammenhänge und vor allem zukünftige technologische Möglichkeiten – gleich, auf welcher Ebene – z. B. einer (interdisziplinär angelegten) Technikfolgenabschätzung und Technikbewertung unterzogen werden können (wie im technologischen Trichter angedeutet), um Chancen wie Gefahren zu verdeutlichen. Allerdings ist darauf zu verweisen, dass seitens der Sozial- und Geisteswissenschaften (etwa im Bereich der Wissenschafts- und Technikethik) generelle Einsichten verfügbar sind (so zu sagen als Wissens-Vorrat), die für spezielle technologische Zusammenhänge „nur“ ange-

wendet, d.h. konkretisiert zu werden brauchen. (Allerdings ist dieser „Anwendungs-“ und „Konkretisierungsprozesse“ dieses generellen Wissens, seine „Kontextualisierung“, kein trivialer Prozess!!)

Ob allerdings aus der Möglichkeit oder auch aus der Notwendigkeit dann auch Wirklichkeit wird, hängt sowohl von technikinternen als auch von technikexternen Faktoren ab. Technikintern geht es vor allem sowohl um eine Relevanz- als auch um eine Machbarkeits-Einschätzung, technikextern vor allem um eine Prioritätensetzung. D.h., nicht alles, was wissenschaftlich – auch interdisziplinär – möglich ist, ist auch gesellschaftlich sinnvoll, erforderlich, machbar, gewollt usw. Allerdings könnte man eine diesbezügliche Einsicht verallgemeinern: Je weiter eine Technologie noch von ihrer breiten gesellschaftlichen Nutzung entfernt ist (also kaum belastbare empirische Erkenntnisse hinsichtlich Sozial- und Humanverträglichkeit vorliegen), desto konträrer können die Ansichten über zukünftige Nutzungs- bzw. Verwendungszusammenhänge sein (man denke etwa an die Nano- oder auch die Gentechnologie). Und dabei ist es unabhängig davon, auf welche der o.g. Hierarchie-Ebenen sich das bezieht. Man sieht das daran, dass über die gesundheitlichen Auswirkungen von Nano-Tubes debattiert wird, während die Mikroprozesse bei der Herstellung etwa der für Schrauben gebräuchlichen Titan-Legierung TiAl6V4 kein Interesse bei Sozial- und Geisteswissenschaftlern finden (müssen). Diese würden (erst) dann relevant werden, wenn der Herstellungsprozess etwa gesundheitliche Beeinflussungen hätte oder die Nutzung dieser Schrauben in einer konkreten Situation (in einem konkreten Anwendungs„kontext“) sicherheitsrelevant wäre, wie z.B. bei Rotoren von Gaszentrifugen zur Urananreicherung.

Im Folgenden sollen exemplarisch kurz drei Themen angesprochen werden, die sich inhaltlich zwar auf das o.g. Beispiel Nanotechnologie beziehen, aber nicht ausschließlich daraus abgeleitet, sondern breiter dargestellt werden:

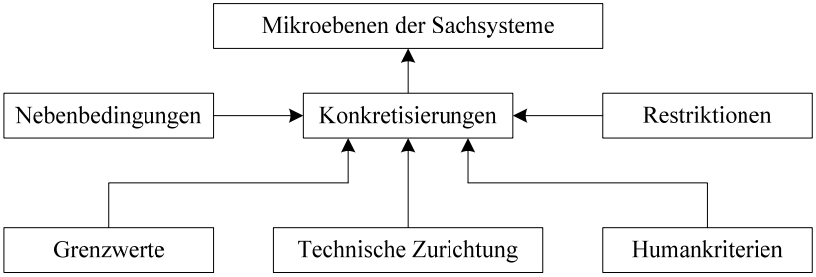
(1) in Bezug auf gesundheitliche Schädigungen das Grenzwert-Problem;

(2) in Bezug auf technische Veränderungen bzw. Ergänzungen des menschlichen Organismus das Problem der „technischen Zurichtung“;

(3) in Ergänzung dazu das Problem von Humankriterien.

Damit sollen zugleich unterschiedliche Möglichkeiten (aber auch die Schwierigkeiten) der Konkretisierung von technologischem Orientierungswissen angedeutet werden (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7: Beispiele zur Sozialisierung und Humanisierung der Technologie



Quelle: Eigene Darstellung

6.1 Beispiel 1: Grenzwerte

Einen Schwerpunkt der Diskussion im Bereich der Nanotechnologie bildet die Frage nach den gesundheits- und umweltrelevanten Auswirkungen einer unkontrollierten Freisetzung bzw. Aufnahme von Nanopartikeln bei Herstellung wie Nutzung (vgl. Paschen et al. 2004, S. 22). Es ist davon auszugehen, dass es über kurz oder lang zur Festlegung von Grenzwerten für Entstehung, Emissionen, Einträge usw. von Nanopartikeln (auch als Restriktion im o. g. Sinne!) kommen wird.

Grenzwerte und (technische bzw. Umwelt-)Standards (z. B. für Schadstoffemissionen) geben einen gesetzten Verhaltensrahmen an, innerhalb dessen sich der Adressat bewegen muss. Sie beziehen sich auf die Gestaltung, die Handhabung und die Folgen von Technik, dabei vor allem die negativen Auswirkungen für die natürliche Umwelt und den Menschen verhindernd oder begrenzend.[3] Ihre Setzung erfordert

- *erstens* Wissen über die Beziehungen zwischen Schadstoff(dosis) und Schadstoffwirkung,
- *zweitens* eine abwägende Bewertung divergierender Interessen und Schutzgüter (Güterabwägung), die auf notwendigen vorgängigen Wertentscheidungen basiert (vgl. Gusy 1986), sowie
- *drittens* eine nachfolgende (politische) Entscheidung.

3 Vgl. ausführlicher Akademie 1992; Mayntz 1990; Streffer et al. 2000; Winter 1986.

In der Regel sind zwischen Schadstoffquelle und Schadstoffwirkung verschiedene, teilweise verschlungene und – vor allem bei mehreren Schadstoffen – komplexe (auch kumulative und synergetische) Belastungspfade und -grade möglich. Infolge dessen kann häufig die schädigende Wirkung nur abgeschätzt werden. Diese Abschätzungen sind auf vielfältige Weise subjektiv beeinflusst und basieren überdies auf folgenden Prämissen:

a) es ist möglich, die Gefährlichkeit von Stoffen für Schutzobjekte annähernd exakt anzugeben;
b) es existiert für jeden Stoff eine Schwelle, unterhalb derer er ungefährlich für das Schutzobjekt ist;
c) der Stoff wirkt für sich isoliert schädigend, Wirkungskopplungen werden nicht erfasst.

Analysen des Grenzwertkonzepts haben sichtbar gemacht, dass diese Prämissen nicht in vollem Umfang aufrecht erhalten werden können, dass sie auf Vermutungen und Verallgemeinerungen vorhandenen Wissens basieren, die sich von heute auf morgen als zu pauschal, korrekturbedürftig oder gar falsch herausstellen können (vgl. Kortenkamp et al. 1989; Reiter 1990). Neben Sachaussagen fließen in Grenzwerte wertende Entscheidungen ein, z. B. wenn Schutzgüter und Schutzobjekte gegeneinander abzuwägen oder mehrere (häufig gegenläufige) Entscheidungskriterien zu berücksichtigen sind, wenn Nutzen und Gefahren bilanziert oder wenn betriebswirtschaftliche Vertretbarkeit, rechtliche Kompatibilität und praktische Durchführbarkeit festgelegt werden.

Somit gibt es auch keine einheitliche Vorgehensweise, mit der sich derartige Entscheidungen im Sinne eines errechenbaren „richtigen“ Resultats objektiv ableiten oder begründen ließen (vgl. Peine 1990). Das wird an folgender Aussage mehr als deutlich: „Das augenfälligste Indiz […] ist die Abweichung der zentralen Belastbarkeitsgrenzen in unterschiedlichen Staaten. Abweichungen bei Standardbelastungen wie z. B. Schwefeldioxid um mehr als 300 % veranlassen immer wieder zu der ironischen Frage, ‚ob es schadstoff-resistentere Nationen gibt‘. Erklärbar wird ein Teil dieser Unterschiede bereits durch divergierende normative Definitionen von menschlicher ‚Gesundheit‘ und anderen ökologischen Schutzzielen“ (Wolf 1987, S. 373f. – bei der Frage bezieht sich Wolf auf Weidner/Knoepfel 1979, S. 160).

Auf der Basis der Einsicht, dass der gegenwärtige Erkenntnisstand ein historischer ist und Kenntnislücken aufweist, ist in einem (demokratisch vollzogenen) Abwägungsprozess ein Grenzwert festzusetzen, der sich einer-

seits am Schädigungspotenzial, andererseits an den technischen Möglichkeiten zur Schadensminderung oder -begrenzung orientieren muss.

Einer rein wissenschaftlichen Bestimmung solcher Grenzwerte sind aus den bereits genannten Gründen (vor allem die Komplexität von Umweltsystemen und ihre Wechselbeziehungen, additive, kumulative oder synergetische Wirkungen anthropogener Belastungen) Grenzen gesetzt. Aber auch wenn es gelänge, für alle Systeme derartige Belastungsgrenzwerte wissenschaftlich fundiert zu bestimmen, stellt sich das Problem (z. B. in Hinblick auf finanzielle Durchführbarkeit) in der Abschätzung und vergleichenden Bewertung der Bedeutung bzw. der Risiken verschiedener Überschreitungen von Grenzwerten.

Deutlich wird, dass die Festlegung von Grenzwerten Verfahren erfordert, die normative und beschreibende Methoden einschließen, und die Politik, Wissenschaft, gesellschaftliche Zielgruppen und die Öffentlichkeit einbeziehen, da über sie einerseits nicht „rein“ wissenschaftlich entschieden werden kann, und andererseits auch immer eine Abwägung ökonomischer, ökologischer, sozialer und individueller Belange eingeschlossen ist.

6.2 Beispiel 2: Technische Zurichtung

„Durch den Einsatz der Nanotechnologie werden u. a. Verbesserungen bei medizinischer Diagnose und Therapie, Leistungssteigerungen beim Menschen und Ertragssteigerungen bei Tieren und Pflanzen erwartet“ (Paschen et al. 2004, S. 7). Aber: „In Visionen zur Nanotechnologie tauchen immer wieder Aspekte auf, die die Grenze zwischen dem verwischen, was Menschen sind, und dem, was sie mit Hilfe technischer Errungenschaften und Anwendungen erschaffen. Solche Aspekte betreffen z. B. die Durchdringung und Veränderung des menschlichen Körpers durch Versuche, seine biologischen Bestandteile durch nanotechnische zu ergänzen bzw. zu ersetzen und ihn mit externen Maschinen oder anderen Körpern zu vernetzen“ (Paschen et al. 2004, S. 23). Hintergrund ist die Erkenntnis, dass sich Techniknutzung dabei nicht nur als dem Mensch „äußerlich“ erweist, sondern ihn auch „innerlich“ erfasst, und zwar nicht nur in der bekannten Weise, dass seine „Wesenskräfte“ verändert und erweitert werden, sondern dass zunehmend auch seine „Körperlichkeit“ Gegenstand bzw. Ort der Techniknutzung ist, die man zielgerichtet beeinflusst, verändert, manipuliert, technisiert. Leben in einer derartig technisierten Welt heißt auch technische „Zurichtung“ des

Menschen im weitesten Sinne auf unterschiedliche Weise (vgl. näher Banse 2005, S. 59):

- Zurichtung durch die „technische Hülle“, die „Technosphäre“ im „Nah-“ und „Fernbereich“ des Menschen, die von Wohnung und Transportmitteln über Werkzeuge, Kommunikationstechnik und Kleidung bis zu solchen „Accessoires“ wie Regenschirm oder Schmuck reicht.
- Zurichtung über die Technik „an uns“, klassisch als Prothetik, die vom Gehstock und der Brille bis zu künstlichen Gliedmaßen reicht.
- Zurichtung über die Technik „in uns“, etwa als künstliche „Organe“ (z. B. Herzschrittmacher) oder Teile (z. B. Keramikgelenke), als Transplantation von Organen (z. B. Herz oder Niere) oder Geweben, als Implantate (z. B. in der Zahnmedizin oder bei der Vergrößerung weiblicher Brüste); hierzu zählt sicherlich auch ein Großteil der plastischen Chirurgie, zu erwähnen sind jedoch auch „zugerichtete“ Nahrungsmittel.
- Zurichtung über Veränderungen der „Schnittstelle“ („Interface“) zwischen Mensch und Technik, da das Einfluss auf Wahrnehmungs- und Handlungsmöglichkeiten bzw. -muster bzw. -schemata sowie auf Denkgewohnheiten hat.
- (Technische) Zurichtung i. e. S., etwa über Züchtung und Auslese (auf biotischer wie auf sozialer Ebene), „Konditionierung“ (körperlich und psychisch, „natürlich“ und medikamentös), „Fordismus“ und technische „Abhängigkeiten“ (von alltäglich notwendiger Techniknutzung bis zu Suchtverhalten).
- Zurichtung über Technisierung der biotischen „Ursprungsbedingungen“ (des Menschen), etwa über Sterilisation (Eugenik), in-vitro-Fertilisation, Gentechnik und Klonierung (wobei sich hier deutlich ein fließender Übergang zur „technischen Reproduzierbarkeit“ des Menschen andeutet).

Deutlich werden hier die Möglichkeiten des biomedizin-technischen Fortschritts, ohne bereits ein Urteil über „gut“ oder „schlecht“ gefällt zu haben.

Das Beispiel verweist auf die komplizierten Beziehungen von Humanitätserweiterung und Effektivitätssteigerung (vgl. auch Hörz 2002): Technische oder technikbasierte Lösungen im Bereich der Medizin werden als effektivitätssteigernde Mittel angesehen. Humanitätsgewinn ist damit zwar möglich, aber nicht notwendig oder zwingend. Das ist aber unbefriedigend, nicht ausreichend. Es gilt, Möglichkeiten für differenziertere Bewertungen auszuloten.

6.3 Beispiel 3: Humankriterien

Bezieht man das Gesagte auf bio-medizinische Entwicklung (BME), dann gilt (vgl. auch Banse 2008, S. 15ff.):

(1) Die Entwicklungen im/durch BME bedürfen spezifischer Handlungsorientierungen, normativer „Vorgaben", die mit der Ethik zu begründen sind und sich an grundlegenden rechtlichen Normen orientieren.

(2) Humanismus ist als Zielfunktion, Anforderungsstrategie und Bewertungskriterium für BME zu konkretisieren, vor allem über Humanitätskriterien.

Zu (1) sei nur angemerkt, dass damit eine ethische (wie eine rechtliche) „Techniksteuerung" möglich ist – allerdings in erster Linie vermittels gesellschaftlicher Verständigungs- und Entscheidungsprozesse (vgl. z. B. Grunwald 2001). Darin eingeschlossen sind (a) die Forderung, dass Ethik einen Praxisbezug herstellen, d. h. (auch ökonomisch!) „anschluss-" und „umsetzungsfähig" sein muss (ansonsten bleibt sie praxislose Theorie bzw. „moralisierend"), sowie (b), dass ein (auch kultureller) Kontextualismus für zeitgemäßer gehalten wird als ein ethischer Universalismus. Nicht angesprochen bzw. geklärt ist indes mit dieser Aussage, wie diese normativen Vorgaben gesellschaftlich „entstehen" und wie die Bedingungen für Konsense bzw. Dissense sind.

Auf (2) soll etwas näher eingegangen werden, weil es Vorschläge gibt, die zur Diskussion gestellt wurden. Ich möchte nur zwei herausgreifen, zum einen den mehr generelleren Ansatz von Herbert Hörz auf dem 1. Symposium zur AT, zu anderen den Abschlussreport des Projekts „Zukunft Medizin Schweiz".

Herbert Hörz nennt folgende Kriterien (vgl. Hörz 2002, S. 66ff.; vgl. auch Hörz 1994, S. 210ff.):

- kulturell und individuell sinnvolle Tätigkeit der Individuen;
- persönlichkeitsfördernde Kommunikation für jeden Menschen;
- individuell spürbare Erhöhung des Lebensniveaus für alle Glieder des sozialen Systems;
- garantierte und geförderte Entwicklung der Individualität;
- Integration der Behinderten.

Daraus werden folgende „Humangebote" abgeleitet (vgl. Hörz 2002, S. 71f.):

- Gebot zur menschenwürdigen Gestaltung der Natur;

- Gebot zur Erhaltung der menschlichen Gattung;
- Gebot zur Erhöhung der Lebensqualität;
- Gebot zur Achtung der Menschenwürde.

Das Problem dieser (wie auch anderer!) Kriterien bzw. Gebote besteht wohl in erster Linie in der Schwierigkeit ihrer Operationalisierung bzw. der Ausweisung entsprechender Indikatoren.

Im Bericht „Zukunft Medizin Schweiz“ werden im Kapitel IV. „Werte und Ziele der Medizin“ aufgelistet. Abschnitt 1.3 „Berufsethische Kodizes in der heutigen Zeit“ nennt u.a. folgende Verpflichtungen (vgl. Projekt 2004, S. 28):

- fachliche Kompetenz;
- Wahrhaftigkeit im Umgang mit Patienten;
- Vertraulichkeit;
- Pflege angemessener Beziehungen zum Patienten;
- gerechte Verteilung begrenzter Mittel im Gesundheitswesen;
- angemessenes Verhalten bei Interessenkonflikten.

Im Abschnitt 1.4 finden sich folgende „zentrale Werte der Medizin“ (vgl. Projekt 2004, S. 29):

- Beachtung der Menschenwürde;
- Respektierung der Selbstbestimmung;
- Primat des Patientenwohls;
- Gebot der Nicht-Schädigung;
- Solidarität.

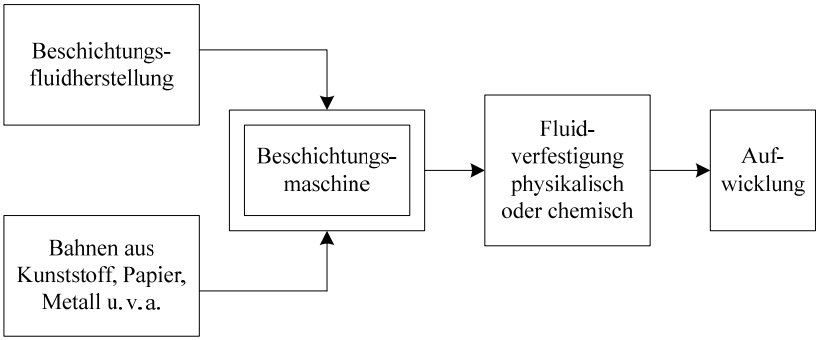
Auf die mit diesen Verpflichtungen und Werten verbundenen Probleme (etwa als Konkurrenzbeziehung und so genannter Normkonflikte) kann hier nur hingewiesen, nicht jedoch eingegangen werden.

7 Fallbeispiele

7.1 Fallbeispiel Traditionelle Technologie: Beschichtungstechnologie von Bahnen mit Fluiden

Das technologische Grundschema der Anlage ist in Abbildung 8 dargestellt.

Abbildung 8: Beschichtungstechnologie von Bahnen mit Fluiden



Quelle: Eigene Darstellung

7.1.1 Prozesseinheit

Die zentrale *Prozesseinheit* dieser Anlage ist die Beschichtungsmaschine.

Naturwissenschaftliche Fundierung und Mathematisierung

Von Naturwissenschaftlern werden die Beschichtungsfluide entwickelt, die später die Funktionsschicht auf den Bahnen ergeben (z. B. keimtötende Oberfläche, chemikalienabweisende Oberfläche u. v. m.).

Die Mathematisierung bezieht sich auf die Beschreibung der Stoffeigenschaften (Stoffgleichungen) und auf die Erstellung des mathematischen Prozessmodells sowie seine Lösung.

Technisierung

Die Festlegung des Beschichtungsverfahrens erfolgt aus

- stofflichen (Beschichtungsfluide),
- technisch-technologischen (Wirkprinzip),
- ökonomischen und in der Gegenwart auch
- ökologischen (lösungsmittelhaltige Fluide)

Überlegungen und Abschätzungen.

Für diese Entscheidungen existieren in der Ingenieurpraxis heute so genannte Arbeitsdiagramme für die unterschiedlichen Beschichtungsverfahren, die aus Berechnungen und experimentellen Untersuchungen resultieren (vgl. Czer-

wonatis/Reher 2006), z. B. Prozess-Stabilität, Prozess-Grenzen, Schichtdicken, Schichtqualität, Durchsätze, Geschwindigkeiten, Zugkräfte u. v. m.

7.1.2 Die Wirkpaarung in der Prozesseinheit der Beschichtungsmaschine

Naturwissenschaftliche Fundierung und Mathematisierung

Stoffliche Eigenschaften der Beschichtungsfluide bestimmen ganz wesentlich das Wirkprinzip der Fluid-Beschichtung (z. B. Walzenantrag, Düsenantrag, Rakelantrag, Sprühantrag, Druckantrag, Tauchantrag u. v. m.).

Mathematische Modelle unterschiedlicher Qualität („weiße“, „graue“, „schwarze“) werden zur Berechnung der Wirkpaarung verwendet. Nicht selten werden konkurrierende Wirkpaarungen getestet. Die effektivste Wirkpaarung wird aus technisch-technologischen Gründen favorisiert. Sind es mehrere Wirkpaarungen, werden andere Kriterien zusätzlich zur Wirkpaarungsfestlegung herangezogen (ökonomische, schutzrechtliche u. a.).

Technisierung

Die favorisierte Lösung wird konstruktiv und technologisch für den geforderten Arbeitsbereich ausgelegt und getestet.

7.1.3 Teilprozesse der Prozesseinheit oder Wirkpaarung

Naturwissenschaftliche Fundierung und Mathematisierung

Die Teilprozesse (z. B. im Walzenspalt, unter dem Rakel, an der Benetzungsstelle, im Fluidvorhang u. v. m.) bestimmen wesentlich die integralen Größen der Beschichtungsmaschine wie den Durchsatz, die Beschichtungsqualität u. v. a. Das Wechselverhältnis zwischen Beschichtungsfluid und Bahn wird zum prozessbestimmenden Einfluss. Grenzflächenphysikalische Phänomene müssen modelliert werden, um aktiv die Prozessgrenzen in Richtung höherer Beschichtungsgeschwindigkeiten zu verändern. Physikochemisch-mechanische Prozessmodelle und ihre Lösungen zeigen den Weg der Prozessintensivierung.

Technisierung

Spezielle Beschichtungsfluid-Modifizierungen, aber auch die Präparierung der Bahnoberfläche ermöglichen eine optimale Teilprozessauswahl und -gestaltung. Die technischen Mittel werden gestaltet und auf ihre Leistungs-

fähigkeit hin erprobt. Das Firmen-Know-how wird in firmeninternen Dokumentationen oder seltener in Schutzrechtsanmeldungen (Patente) dargestellt. Die Teilprozessbeherrschungen sind das „Nadelöhr“ des Gesamtverfahrens und begründen den guten Ruf der Firma. Der Beschichtungsmaschinenbau übernimmt häufig die technologischen Ergebnisse und begründet damit seine Selbstständigkeit.

7.1.4 Mikro-, Nano-, molekulare Prozesse

Naturwissenschaftliche Fundierung und Mathematisierung

Wenn bisher kontinuumsmechanische Eigenschaften der Fluide und entsprechende Grenzflächenphänomene dominierten, so spielen nun die molekularen Prozesse eine dominierende Rolle an den Kontaktflächen zwischen Fluid und Bahn. Durch „Molekül-Architekturen“ werden Benetzungs-, Scherungs- und Dehnungsprozesse auf molekularer Ebene modelliert, berechnet und gestaltet. Durch Selbstorganisation wird die beschichtete Oberfläche strukturiert und neuartige Schichteigenschaften werden hervorgebracht (z. B. keimtötende Oberflächen, fremdstoffabweisende, halbleitende, optische u. v. a. Eigenschaften werden erzeugt).

Technisierung

Damit Mikro- oder Nanostrukturen auf der beschichteten Bahn entstehen können, sind im Fluidauftragsprozess und im Erstarrungsprozess des Fluids Voraussetzungen zu schaffen, die

- eine Selbstorganisation,
- einen Strukturaufbau (bottom-up-Ansatz),
- einen Strukturabbau (top-down-Ansatz)

zulassen. Diese Voraussetzungen werden durch stoffliche und technologisch-technische Maßnahmen (Stoffspurenzusätze, Wärme- und Stofftransport, äußere physikalische Feldeinflüsse u. v. m.) geschaffen, die wiederum ein Feld für Schutzrechtsmaßnahmen darstellen.

Die Originalität, das Know-how der Firma mit der Technologie sowie die Anwendung neuartiger Produkte sichern einen hohen Gewinn und sind oft längere Zeit konkurrenzlos.

Ökologische Maßnahmen werden auf Grund der Firmenkultur oder durch äußere Zwänge (Gesetzgeber) beachtet. Sie verteuern aber oftmals das Erzeugnis.

Unter eintretenden Konkurrenzbedingungen entstehen ökonomische und ökologische Zwänge, die auf die technologisch-technischen Prozesse zurückwirken und zu Effektivitätssteigerungen führen müssen (z. B. Verwendung lösungsmittelfreier Fluide, Senkung der Material- und Energiekosten).

Das Fallbeispiel verdeutlicht, wie die naturale und partiell die soziale und humane Dimension auf die Beschichtungstechnologie Einfluss nehmen.

7.2 Fallbeispiel Neue Technologie: Nanotechnologie – halbleitende Kohlenstoffröhrchen-Herstellung

Aus Literaturdaten soll in Abbildung 9 eine mögliche Technologieabfolge dargestellt werden (vgl. Dai et al., p. 974; Heram et al., p. 60; Su/Chen 2006).

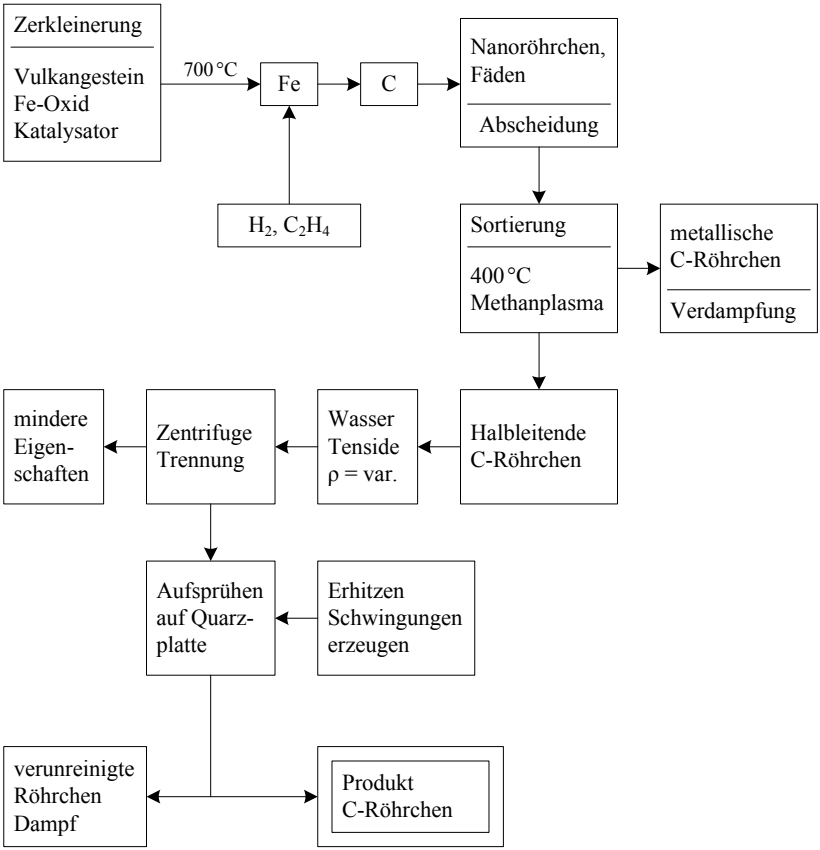
Dieses, aus verschiedenen Publikationen erstellte, technologische Schema hat sich bisher aus Laboruntersuchungen ergeben. Wir erkennen aber durchaus schon jetzt, dass klassische Grundoperationen gestaltet werden müssen. Das Stadium der naturwissenschaftlichen Fundierung dieser Technologie ist derrzeit in Arbeit und erste technologische Erkenntnisse werden unter Laborbedingungen gewonnen. In Kürze ist die Mitwirkung weiterer wissenschaftlicher Disziplinen, die die naturale, soziale und humane Dimension verkörpern, erforderlich. Die Anwendungen der sogenannten CNT (Carbon Nano Tubes) erfolgen in Kunststoff-Verbundwerkstoffen, für Windschutzscheiben, Außenspiegel, Motorradgriffe, Fußbodenheizungen, Skie, Golfschläger u. v. m.

8 Zusammenfassung

Die einzelnen Fachdisziplinen, die die naturale, soziale und humane Dimension repräsentieren, haben ein eigenständiges, umfangreiches, disziplinäres Grundlagenwissen erarbeitet, das sie zur Anwendung und zum Nutzen der Menschen einbringen möchten. Die Technologie (auch die Medizin) ist ein Objekt, das Integrationsmöglichkeiten und -notwendigkeiten bietet, um dieses Grundlagenwissen nutzen zu können. Zu diesem Zwecke sind viele sogenannte „Bindestrich-Disziplinen“ (vgl. Spur 1998) entstanden, die ihre Tätigkeit darauf konzentrieren, den Rahmen ihrer Fachdisziplinen zu sprengen und damit Technologieentwicklungen fördern. Erst wenn es gelingt, diese „Bindestrich-Disziplinen“ mit ihren Leistungen fruchtbar zu machen, kann mit weiterem vertieftem Wissen zur Allgemeinen Technologie operiert

werden. Ansätze dazu konnten im Vorstehenden verdeutlicht werden. Natürlicherweise spielte die naturale Dimension in den Hierarchieebenen (Mikroebenen) eine dominierende Rolle. Weitere Hierarchieebenen (Makroebenen) werden stärker durch die soziale und die humane Dimensionen geprägt (vgl. Tabelle 1).

Abbildung 9: Nanotechnologie – halbleitende Kohlenstoffröhrchen-Herstellung



Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 1: Wesentliche differenzierte Beiträge der Wissenschaftsdisziplinen auf den technologischen Mikroebenen

I: naturale, soziale und humane Dimension der Technologie
II: technologische Mikroebenen

II \ I	*Naturwissen-schaften*	*Mathematik Informatik*	*Technik*	*Ökonomie*	*Ökologie*	*Sozialwis-senschaften*
mole-kulare Pro-Nano- zesse Mikro-	- Kinetik - Wirkprin-zipien - Strukturen - Stoff-Gleichungen	- Lösung mathema-tischer Modelle (z. B. DGL-Systeme, Statistik, Software, Simula-tionen, Optimie-rungen)	- techno-logische Stoffdaten - technische Wirkprin-zipien	- Katalyse - Wieder-verwertung	- Flüssig Phasen - katalyt-ische Prozesse	- Neue Berufs-bilder
Teilprozesse Apparate-elemente	- Transport-prozesse (mathe-matisches Modell)		- Teil-module-Berech-nung - Synthese	- optimale Gestaltung - Raum-Zeit-Ausbeute	- aus-tausch- und regene-rierbare Elemente-Einsätze	
Wirk-paarungen Maschinen-elemente	- Wirkprin-zipien (mathe-matisches Modell)		- Funktions-module-Berech-nung	- optimale Gestaltung - Raum-Zeit-Ausbeute		
Prozess-einheiten (Grund-operationen) Apparate, Maschinen	- Laboraus-rüstung - Stoffdaten - Kinetik (mathe-matisches Modell)		- Versuchs-räume - Pilot-Anlagen - Versuche - Maßstabs-übertragung - Auswahl-heuristiken - Schlüssel-prozess-Einsatz	- Varianten-vergleich - Kosten-Analyse - ressour-censcho-nender Material- und Ener-gie-Einsatz	- abfall-arme und -freie Kreislauf-Prozesse - geräusch-arme, war-tungsfreie Prozesse	- Firmen-grün-dungen - Arbeits-plätze - sozialer Wohl-stand

Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 1: – Fortsetzung –

Politik-wissen-schaften	*Rechts-wissen-schaften*	*Geschichte*	*Human-wissen-schaften*	*Ethik*	*Ästhe-tik*	*Psy-cho-logie*	*Anthro-pologie*	*Kultur*
- Techno-logie-führer - Einfluss auf Innen- und Außen-politik - Handels-embargo, Techno-logieför-derung	- neues Patent-recht - Miss-brauchs-Verhin-derung - Rechts-schutz	- Geschich-te der Natur-wissen-schaften	- Medizi-nische Unbedenk-lichkeit - Grenz-werte	- Technik- und Tech-nologie-ethik - Verant-wortung - Miss-brauchs-Verhin-derung	- Ma-schi-nen-, Appa-rate- und Ge-räte-design	- Ar-beits-psy-cho-logie	- men-schen-freund-liche (-ge-rechte) Tech-nolo-giege-stal-tung (z. B. Be-dien-freund-lich-keit)	- Kultur der Tech-nolo-giege-schich-te
		- Technik-geschichte - Techno-logiege-schichte	- Human-kriterien - „Zurich-tung“ (Enhan-cement)					

Die Berücksichtigung von Sozial- und Humanverträglichkeit technologischer Artefakte oder Lösungen ist nicht nur notwendig, sondern auch möglich. Seitens der Sozial- wie Geisteswissenschaften liegen zahlreiche generelle Erkenntnisse und nutzbare Methoden in dieser Hinsicht vor. Zurückgegriffen werden kann auch auf entsprechende Erfahrungen (z. B. im Bereich der Technikfolgen-Abschätzung, aber auch etwa im Bereich der Abschätzung von Verfassungs-Verträglichkeit). Inwieweit das für die einzelnen Hierarchie-Ebenen und Hierarchie-Module passfähig ist bzw. passfähig gemacht werden kann (und muss!), ist weiter zu klären. Hinzu kommt: Für die interdisziplinäre Wissenssynthese sind auch die unterschiedliche Perspektivität und Sprachlichkeit von Natur-, Technik-, Sozial- und Geisteswissenschaftlern zu berücksichtigen. „Damit die Nanotechnologie gelingt, müssen sich die Wissenschaften wieder vereinen. Die Anfänge dazu sind bereits klar sichtbar. In der Nanowissenschaft begegnen sich Chemiker, Biologen, Mediziner und Informatiker bereits heute viel intensiver als in irgendeinem anderen Bereich. Andere Wissenschaften, auch geisteswissenschaftliche Bereiche, werden später dazukommen“ (Binnig 2007, S. 7).

Literatur

Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Arbeitsgruppe Umweltstandards (1992): Umweltstandards. Grundlagen, Tatsachen und Bewertungen am Beispiel des Strahlenrisikos. Berlin/New York

Autorenkollektiv (1979): Prozessverfahrenstechnik. Leipzig

Banse, G. (2005): Reproduktion und Technik. In: Engel, G.; Karafyllis, N. C. (Hg.): Re-Produktionen. Berlin, S. 55-67

Banse, G. (2008): Haben wir das Wissen, das wir brauchen? – Brauchen wir das Wissen, das wir haben? In: Fischer, M.; Schrems, I. (Hg.): Ethik im Sog der Ökonomie. Was entscheidet wirklich unser Leben? Frankfurt am Main u. a., S. 11-26

Binnig, G (2007): Vorwort. In: Boeing, N.: Alles Nano?! Die Technik des 21. Jahrhunderts. Reinbek b. Hamburg, S. 7-9

Conrad, S.; Schaffer, J. (1974): Untersuchungen zur Entscheidungsfindung bei der Auswahl verfahrenstechnischer Apparate. Dissertation. Merseburg (TH Leuna-Merseburg)

Czerwonatis, N.; Reher, E. O. (2006): Curtain Coating for Solvent Based Acrylic Adhesives. In: AFERA Technical Seminar Proceedings, Brussels, Belgium 5.-7. April, 2006, pp. 92-105

Dai, H.; Kong, J.; Soh, H. T.; Cassell, A.; Quate, C. F. (1998): Synthesis of Single Single-Walled Carbon Nanotubes on Patterned Silicon Wafers. In: Nature, vol. 395, pp. 878ff.

Ebeling, W. (2005): Einstein und die Brownsche Bewegung. In: Kautzleben, H.; Hamel, J. (Hg.): Albert Einstein in Berlin. Berlin, S. 27-32 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 78/79)

Fratzscher, W. (2004): ESAV – Einheitssystem der automatisierten Verfahrenstechnik. In: Banse, G.; Reher, E. O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 179-184 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)

Grunwald, A. (2001): The application of ethics to engineering and the engineer's moral responsibility: Perspectives for a research agenda. In: Science and Engineering Ethics, no. 3, pp. 415-428

Gusy, Chr. (1986): Wertungen und Interessen in der technischen Normung. In: Umwelt- und Planungsrecht. Zeitschrift für Wissenschaft und Praxis, H. 7, S. 241-250

Hensen, F.; Knappe, W.; Potente, H. (1989): Kunststoff-Extrusionstechnik. Bd. I: Grundlagen. München/Wien

Hörz, H. (1994): Selbstorganisation sozialer Systeme. Ein Verhaltensmodell zum Freiheitsgewinn. Münster/Hamburg

Hörz, H. (2002): Technologien 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)

Kirschnek, D.; Marr, R. (2005): Anlagenkonzepte in der Mikroverfahrenstechnik. In: Chemie-Ingenieur-Technik, Jg. 77, Nr. 12, S. 29-38

Kortenkamp, A.; Grahl, B.; Grimme, L. H. (Hg.) (1989): Die Grenzenlosigkeit der Grenzwerte. Zur Problematik eines politischen Instruments im Umweltschutz. Karlsruhe

Lenk, H.; Maring, M. (1998): Einleitung: Technikethik und Wirtschaftsethik. In: Lenk, H.; Maring, M. (Hg.): Technikethik und Wirtschaftsethik. Opladen, S. 7-19

Mayntz, R. (1990): Entscheidungsprozesse bei der Entwicklung von Umweltstandards. In: Die Verwaltung, H. 2, S. 137-151

Paschen, H.; Coenen, C.; Fleischer, T.; Grünwald, R.; Oertel, D.; Revermann, C. (2004): Nanotechnologie. Forschung, Entwicklung, Anwendung. Berlin/Heidelberg

Peine, H. G. (1990): Zur Vielfalt bestehender Grenzwertsysteme. In: UmweltMagazin, H. Juli, S. S 5-6

Projekt (2004): Projekt „Zukunft Medizin Schweiz". Ziele und Aufgaben der Medizin zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Bericht einer ExpertInnengruppe der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften (SAMW), der Verbindung der Schweizer Ärztinnen und Ärzte (FMH) sowie der fünf medizinischen Fakultäten. Basel (SAMW)

Reher, E. O. (2001): Ansätze zur Entwicklung einer Allgemeinen Prozesstechnik der Stoffwandlung. In: Banse, G.; Reher, E. O. (Hg.): Allgemeine Technologie. Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Berlin, S. 87-101 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 50, H. 7)

Reher, E. O. (2005): Einige Betrachtungen zur Konzeptualisierung der Allgemeinen Technikwissenschaft, ergänzt durch das Beispiel der Kunststofftechnologie. In: Petsche, H.-J.; Bartíková, M.; Kiepas, A. (Hg.): Erdacht, gemacht und in die Welt gestellt: Technikkonzeptionen zwischen Risiko und Utopie. Berlin, S. 49-66

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)

Reiter, J. (1990): Die Grenzen der Grenzwerte. In: UmweltMagazin, H. Juli, S. S 33-36

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

Ropohl, G. (1998): Wider den Sektoralismus in der Praktischen Philosophie. In: Lenk, H.; Maring, M. (Hg.): Technikethik und Wirtschaftsethik. Opladen, S. 275-292

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

Spur, G. (1998): Technologie und Management. Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaft. München/Wien, S. 60

Streffer, C.; Bücker, J.; Cansier, A. (Hg.) (2000): Umweltstandards. Kombinierte Expositionen und ihre Auswirkungen auf den Menschen und seine Umwelt. Berlin/Heidelberg

Su, D. S.; Xiao, F.-S.; Wang, L.; Yin, Ch.; Lin, K.; Di, Y.; Li, Xu, R.; Schlögl, R.; Yokai, T.; Tatsumi, T. (2006): Catalytic Properties of Hierarchical Mesoporous Zeolites Templated with a Mixture of Small Organic Ammonium Salts and Mesoscale Cationic Polymers. In: Angewandte Chemie International Edition, no. 19, pp. 3093-3097

Thassu, D.; DeLeers, M.; Pathak, Y. (eds.) (2007): Nanoparticulate Drug Delivery Systems. New York/London

Tränkner, G. (1976): Verarbeitungstechnik – Prototyp einer fortschrittlichen Ingenieurdisziplin. In: Maschinenbautechnik, Jg. 25, H. 9, S. 394-396

Tscheuschner, H.-D. (1986): Lebensmitteltechnik. Leipzig

Umschlagseite (1976): Maschinenbautechnik, H. 9, Umschlagseite

Weidner, H.; Knoepfel, P. (1979): Politisierung technischer Werte – Schwierigkeiten des Normbildungsprozesses an einem Beispiel (Luftreinhaltung) der Umweltpolitik. In: Zeitschrift für Parlamentsfragen, Nr. 2, S. 160-170

Weizsäcker, E. U. von; Lovins, A. B.; Lovins L. H. (1997): Faktor Vier. Doppelter Wohlstand – halbierter Naturverbrauch. Der neue Bericht an den Club of Rome. München

Winter, G. (Hg.) (1986): Grenzwerte. Interdisziplinäre Untersuchungen zu einer Rechtsfigur des Umwelt-, Arbeits- und Lebensmittelschutzes. Düsseldorf

Wolf, R. (1987): Zur Antiquiertheit des Rechts in der Risikogesellschaft. In: Leviathan. Zeitschrift für Sozialwissenschaft, H. 3, S. 357-391