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

Gerhard Banse, Ernst-Otto Reher

Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen

1 Problemstellung

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

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

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

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

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

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

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

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

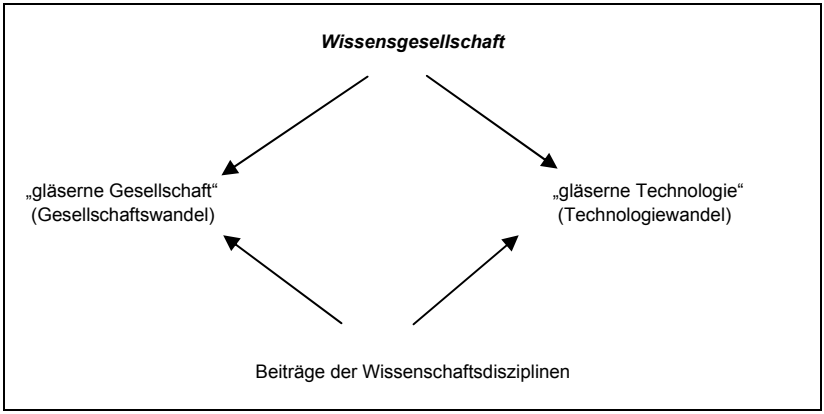
Hinzu kommt folgender Gedanke: Die vielfache Verwendung der Begrifflichkeiten „Wissensgesellschaft" (bzw. „Informationsgesellschaft") deutet zumindest an,

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

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

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

Abbildung 1: Charakteristik der Wissensgesellschaft als „gläserne Gesellschaft“



Eigene Darstellung

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

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

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

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

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

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

Eigene Darstellung

Tabelle 2: Technologiekennzeichnung in unterschiedlichen Gesellschaftssystemen

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

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

Eigene Darstellung

Tabelle 3: Innovationsmerkmale

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

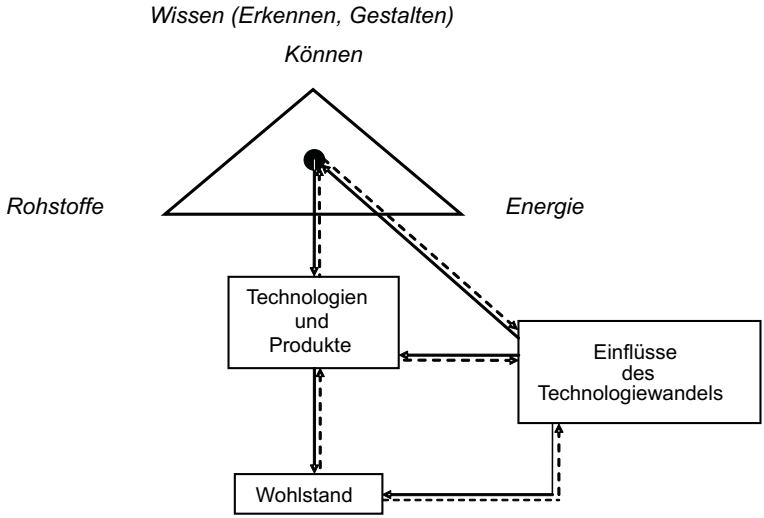
Eigene Darstellung

2 Anmerkungen zu den Wohlstandsquellen der Technologie-Staaten

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

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

Abbildung 2: Wohlstandsbedingungen der „Technologie-Staaten“



Eigene Darstellung

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

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

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

Tabelle 4: Vergleich erfolgreicher Technologie-Länder

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

1 unzureichende Facharbeiterausbildung; 2 Wissensimporte durch Auslandsausbildung
Eigene Darstellung

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

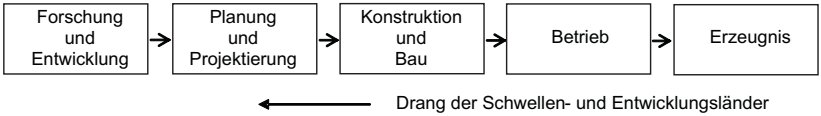
3 Die Wohlstandsquelle Wissen und Können in der Wissensgesellschaft

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

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

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

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



Eigene Darstellung

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

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

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

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

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

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

Tabelle 5: Wissen in der Wissensgesellschaft

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

Eigene Darstellung

Tabelle 6: Gesellschaftssystem und Bildung

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

Eigene Darstellung

4 Wandel der Technologien zur weiteren Wohlstandssicherung

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

Tabelle 7: Technologiewandel: „strategische Technologien"

Top 10 strategische Technologien nach Gartner

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

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

Möglich ist auch folgende Auflistung:

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

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

Tabelle 8: System der Allgemeinen Verfahrensprinzipien

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

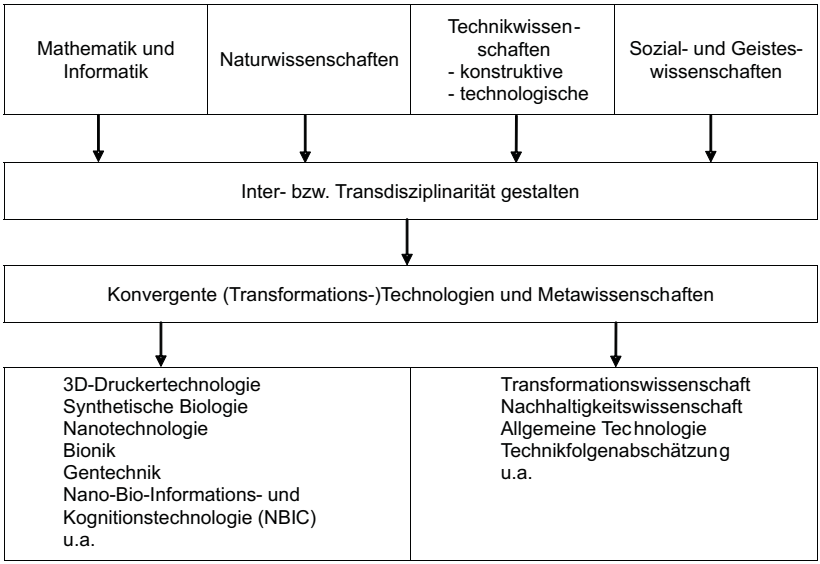
Quelle: nach Wolffgramm 1972, S. 34

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

Wesentliche Merkmale des Technologiewandels sind:

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

Abbildung 4: Technologiewandel durch Inter- und Transdisziplinarität



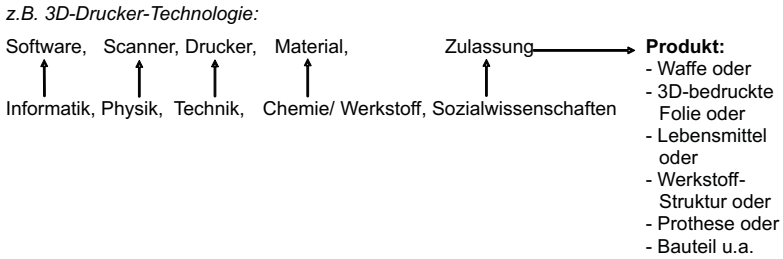
Eigene Darstellung

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

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

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

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



Eigene Darstellung

Folgende Technologien tragen wesentlich zu den gegenwärtigen Wandlungen bei:

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

     } Nano-Mikro-Skalen-Welt

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

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

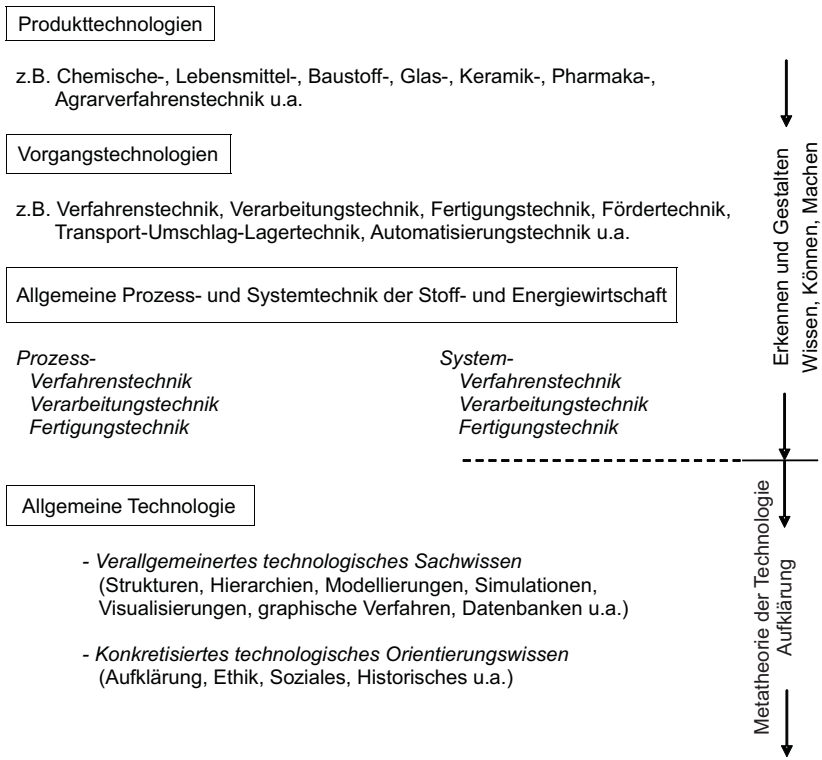
Folgende Veränderungen können an ausgewählten Technologien bzw. Erzeugnissen aus ihnen beobachtet werden:

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

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

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

Abbildung 6: Technologie-Verallgemeinerungen



Eigene Darstellung

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

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

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

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

5 Allgemeines technologisches Sachwissen

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2 Technologie-Software

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

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

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

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

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

Tabelle 9: Technologiewandel

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

Eigene Darstellung

Tabelle 10: Ausgewählte Beispiele des Technologiewandels

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

Eigene Darstellung

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

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

* nach Mitteldeutsche Zeitung vom 8.1.2011, S. 6

Eigene Darstellung

6 Zusammenfassung

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

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

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

Literatur

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kaku, M. (2000): Zukunftsvisionen. München

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

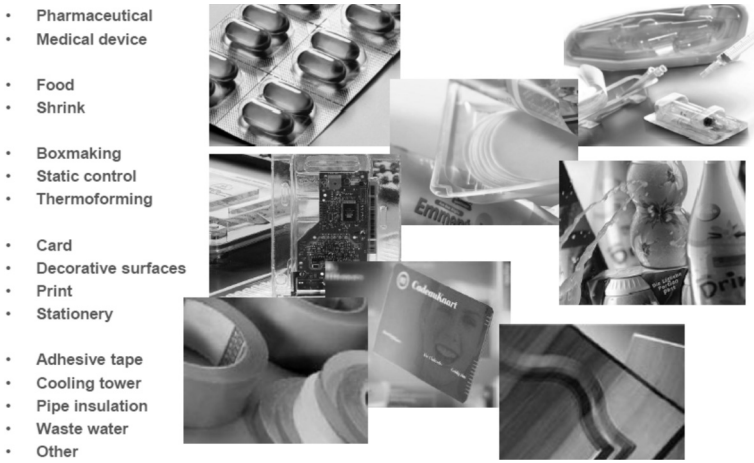
Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *122 (2015), 95–104*

Christian Kohlert

Traditionelle Kalandertechnologie für High-Tech-Produkte

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

Abbildung 1: kp-Produkte



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

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

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

Abbildung 2: Standorte von kp weltweit

Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

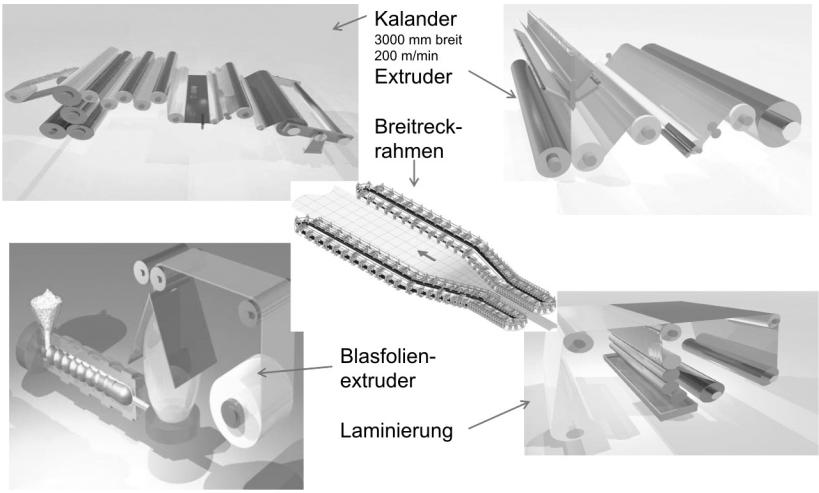
Abbildung 3 zeigt die von kp genutzten Verarbeitungsmaschinen Kalander, Extruder und Blasfolienanlagen zur Herstellung und die Laminieranlagen und Breitreckrahmen zum Veredeln von Folien.

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

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

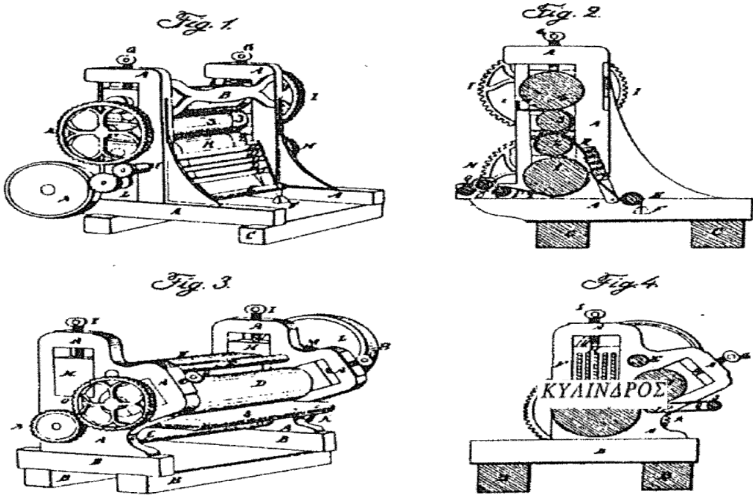
In Abbildung 4 ist der erste patentierte Kalander zum Gummieren von Geweben mit einer Walzenbreite von 1.830 mm und Walzendurchmessern von 457 und 305 mm als US-Patent No. 16 dargestellt.

Abbildung 3: kp-Maschinen



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Abbildung 4: Erste patentierte Kalandervarianten



Quelle: Kopsch 1978, S. 1

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

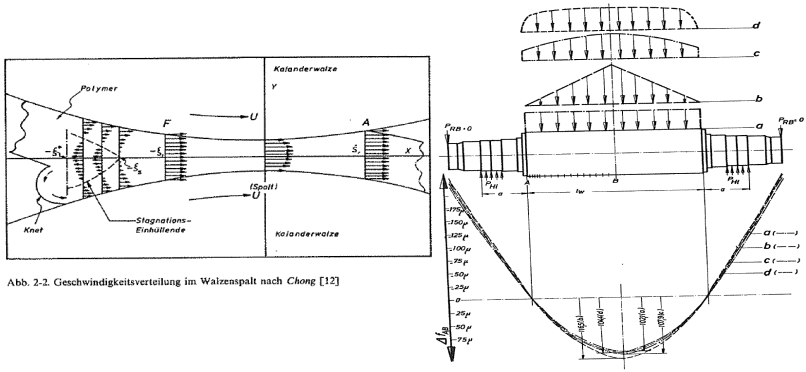
Die Kalanderentwicklung im 20. Jh. wurde vor allem durch die deutsche Maschinenbaufirma Berstorff beeinflusst. So entstanden zu dieser Zeit die ersten bombierten Walzen, bei denen der Walzendurchmesser in der Walzenmitte größer war als am Rand, um einen großen Teil der Walzenverbiegung aufzufangen. Elektromotorische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

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

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

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

Abbildung 5: Erste Berechnungsmodelle für Durchsatz und Druck



Quelle: Kopsch 1978, S. 6

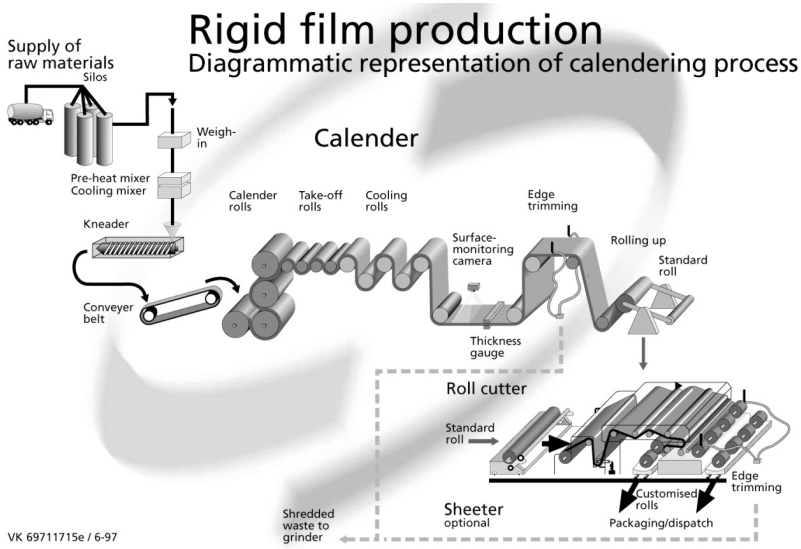
praktisch bewerten konnte. In den 1980er-Jahren wurde der Kalander durch keilförmige Einbauten ergänzt (Heinrich Collin, Christian Kohlert; vgl. Autorenkollektiv 1992), mit denen der Mischprozess in den Kalanderspalten verbessert werden sollte. Die ersten größeren Automatisierungen und Regelungen der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

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

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

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

Abbildung 6: Moderner Hart-PVC-Kalander



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

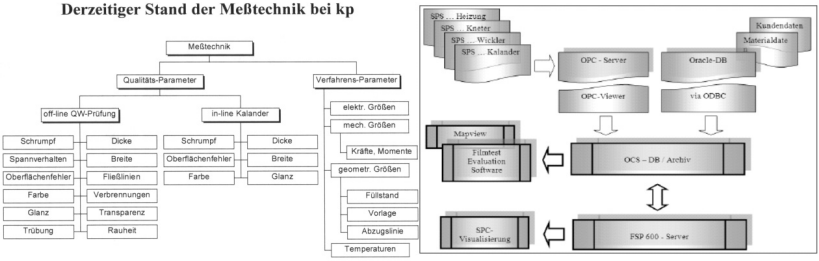
Heute existieren komplexe Kalanderlinien für Foliendicken von 40 bis 1.200 µm, mit Walzengeschwindigkeiten von 200 m/min und Walzenbreiten bis zu 3.500 mm. Damit erreicht man Durchsätze von bis zu 4 t/h. Dies ist möglich durch automatisierte Dosierung der Einzelkomponenten, rechnergestützte Steuerung,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

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

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

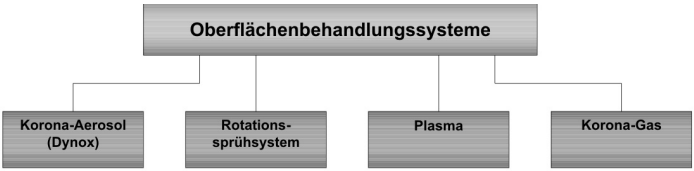
der Regel dann die variablen Kosten. So kann jeder entscheiden, welches System er bei größeren oder kleineren Auftragsmengen nutzen möchte.

Abbildung 7: Stand der Messtechnik und Datenverknüpfung bei kp



Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

Abbildung 8: Möglichkeiten zur Oberflächenbehandlung von Folien



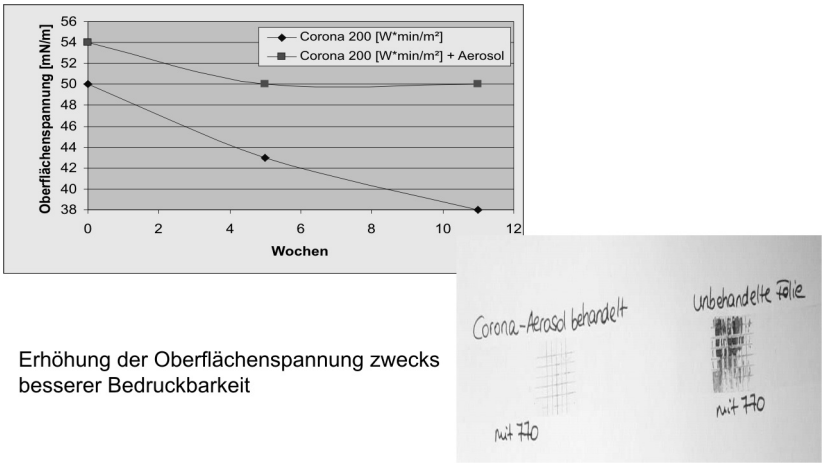
	Korona [€]	Korona-Aerosol [€]	Rotationssprüh-system [€]	Plasma [€]	Korona-Gas [€]
Fix Kosten	~80.000	~160.000	~130.000	>500.000	>280.000

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

Eigene Darstellung

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

Abbildung 9: Verbesserung der Oberflächenspannung durch Corona-Aerosolbehandlung



Erhöhung der Oberflächenspannung zwecks besserer Bedruckbarkeit

Quelle: Klöckner Pentaplast o.J.

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

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

Abbildung 10: Nutzung der Nanotechnologie zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften

nanotechnology

active

Oxygen absorber (2)

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

Anti static / conductivity (1)

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

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

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

Film with aromatic properties (2)

intelligent

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

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

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

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

special

Surface haptics (2)

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

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

Increase chemical resistance (2)

Lotus effect (3)

Anti-counterfeit(1)

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

Eigene Darstellung

Abbildung 11: Entwicklung der Kalandertechnologie

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

Wissenschaftliche Durchdringung

Eigene Darstellung

Literatur

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

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

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