SITZUNGSBERICHTE

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften

Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung

9. Symposium des Arbeitskreises "Allgemeine Technologie" der Leibniz-Sozietät in Kooperation mit dem Verein Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler und der Professur für Grundschulpädagogik Sachunterricht der Universität Potsdam am 13. November 2020 in Potsdam-Griebnitzsee

> Herausgegeben von Gerhard Banse & Norbert Mertzsch

Mit Beiträgen von Gerhard Banse, Kerstin Becker, Elke Hartmann, Christian Hein, Ernst-Peter Jeremias, Bernd Meier, Norbert Mertzsch Uwe Pahl, Gerhard Pfaff



BAND 146

JAHRGANG 2021

Leibniz-Sozietät: Sitzungsberichte

SITZUNGSBERICHTE BAND 146 JAHRGANG 2021



Diese Publikation erfolgte mit freundlicher Unterstützung durch die Rosa-Luxemburg-Stiftung Berlin.

Impressum

Herausgeber: Lutz-Günther Fleischer, Vizepräsident, und Dorothée Röseberg, Vizepräsidentin der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. Briefanschrift: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin Homepage http://www.leibnizsozietaet.de

Briefanschrift der Redaktion: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V., Redaktionskollegium, Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin

Im Auftrag der Leibniz-Sozietät e.V. erschienen im trafo Wissenschaftsverlag

Dr. Wolfgang Weist, Finkenstr. 8, 12621 Berlin
Telefon: 030/61 29 94
Fax: 030/61 29 94 21

e-mail: info@trafoberlin.de

Druck: Rosch-Buch, Scheßlitz

Bezugsbedingungen: Die Reihe "Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät" erscheint in unregelmäßigen Abständen etwa viermal jährlich. Bestellungen sowie fortlaufender Bezug bitte über Ihre Buchhandlung oder direkt beim

Bestellungen sowie fortlaufender Bezug bitte über Ihre Buchhandlung oder direkt beim trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist

Redaktionelle Durchsicht dieses Bandes: Gerhard Banse, Norbert Mertzsch

Redaktionsschluss: 2.3.2021

ISSN 0947-5850 ISBN 978-3-86464-223-4

Inhalt

Gerhard Banse, Norbert Mertzsch Einführung	7
Gerhard Banse Horst Wolfgramm (1926–2020) – Einer der "Väter" der modernen Allgemeinen Technologie	15
Elke Hartmann, Christian Hein Allgemeine Technologie – Bilanz über 50 Jahre Forschungsarbeit für die Allgemeine Technische Bildung	23
Norbert Mertzsch Der Lebenszyklus von Technologien im Rahmen der Allgemeinen Technologie I	41
Gerhard Banse Der Lebenszyklus von Technologien im Rahmen der Allgemeinen Technologie II	53
Gerhard Pfaff Der Lebenszyklus von Technologien am Beispiel der Entwicklung und Produktion von Effektpigmenten	67
Uwe Pahl Erfahrungen mit dem Arbeitsmittel Inbetriebnahme-Management für komplexe technische Anlagen in Theorie und Praxis	81
Kerstin Becker Eine Energieerzeugungsanlage im Wandel der rahmenpolitischen und gesetzlichen Vorgaben am Beispiel der Wärmeerzeugung der Stadtwerke Rheinsberg GmbH	87
Ernst-Peter Jeremias Einkommensenergien und Recycling – Wichtige Voraussetzungen für eine nachhaltige Elektromobilität Eine persönliche Stellungnahme	99

6	Inhalt
Norbert Mertzsch Rückbau von technologischen Anlagen	111
Bernd Meier Der Produktlebenszyklus im Unterricht über Arbeit und Technik	123
Norbert Mertzsch Schlusswort	143
Autorinnen und Autoren	146

Gerhard Banse, Norbert Mertzsch

Einführung

Der vorliegende Band der "Sitzungsberichte" enthält Beiträge des 9. Symposiums des Arbeitskreises "Allgemeine Technologie" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin (LS), das am 13. November 2020 gemeinsam mit dem Verein Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler e.V. (VBIW) und der Professur für Grundschulpädagogik Sachunterricht der Universität Potsdam im Campus Griebnitzsee der Universität Potsdam mit dem Titel "Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung" durchgeführt und von der Rosa-Luxemburg-Stiftung finanziell gefördert wurde.

Der Arbeitskreis "Allgemeine Technologie" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften widmet sich seit 2001 verschiedenen Facetten und Fragestellungen einer Allgemeinen Technologie, vor allem in Form von bislang acht Symposien mit nachfolgenden "Protokollen" in den "Sitzungsberichten der Leibniz-Sozietät".²

Auch mit dem 9. Symposium wurde wiederum an Überlegungen von Johann Beckmann in seinem im Jahre 1806 veröffentlichten "Entwurf der algemeinen Technologie" angeknüpft, diesmal insbesondere an seiner Forderung, "zum Verständnis und zur Beurtheilung" (Beckmann 1806, S. 480) technischer Systeme beizutragen. Im Mittelpunkt stand die systematische Betrachtung aller Phasen des Lebenszyklus ("From cradle to grave") von Technologien und technischen Sachsystemen ("Artefakte"). Zur Lebenszyklusanalyse gehört auch die Einbeziehung und Bewertung sämtlicher ökonomischer, sozialer, ökologischer, kultureller und weiterer Wirkungen während der Produktion (Herstellung), der Nutzungsphase und der Stilllegung

Der Dank der Herausgeber gilt Herrn Professor Dr. Björn Egbert, Professur für Grundschulpädagogik Sachunterricht der Universität Potsdam, sowohl für sein Engagement beim Finden einer Räumlichkeit, die den im November 2020 angesichts der Corona-Pandemie geltenden staatlichen Hygiene-Maßnahmen entsprach, als auch für seine stringente Moderation des Symposiums.

² Vgl. n\u00e4her zum Arbeitskreis Allgemeine Technologie der Leibniz-Soziet\u00e4t der Wissenschaften https://leibnizsozietaet.de/sozietaet/arbeitskreise/

bzw. Entsorgung ("Auflösung") eines technischen Sachsystems sowie der damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe). Zu den Umweltwirkungen zählt man sämtliche umweltrelevanten Entnahmen aus der Umwelt sowie die Emissionen in die Umwelt (Umwelt als Quelle und Senke). Dass das keine einfache Aufgabe ist, machen die nachfolgenden Beiträge deutlich. Aber unseres Erachtens führt daran kein Weg vorbei, wenn es – wie auf dem 7. Symposium herausgearbeitet – um zukunftsfähige, nachhaltige technikbasierte Lösungen geht (vgl. Banse/Reher 2017). Deshalb wurde im 8. Symposium dann Kreativität ins Zentrum der Überlegungen gerückt, genauer: der Weg von der Idee zum technischen Artefakt bzw. zur Technologie (vgl. Banse/Mertzsch 2019). Ging es also im 7. Symposium um das Ziel und im 8. Symposium um Mittel der Zielerreichung, so ging es im 9. Symposium um die technischen Sachsysteme selbst, also um – eine Ropohl'sche Adaptation eines Gedanken von Ernst Haeckel nutzend – die "technische Ontogenese" und ihre Phasen.

Ausgehend von Überlegungen, die in "Beiträge zur Allgemeinen Technologie" (vgl. Banse/Reher 2014) sowie in "Technologie und nachhaltige Entwicklung" (vgl. Banse/Reher 2017) dargelegt wurden, war es Ziel des 9. Symposiums, den Lebenslauf von Technologien und der zugehörigen Artefakte chronologisch unter dem Blickpunkt der Allgemeingültigkeit (bezogen insbesondere auf technische, ökonomische, ökologische, rechtliche, soziale und humane Aspekte) zu betrachten. Dazu gehören vor allem:

- in der Herstellungsphase: Ressourcenbereitstellung und -verbrauch, Energieverbrauch, Toxizität, Raum- und Gebäudebedarf, Transportbedarf (Entfernungen);
- in der Nutzungsphase: Energieverbrauch, Nutzungsdauer und -muster, direkte und indirekte Induktions- sowie Rebound-Effekte;
- in der "Auflösungsphase" (Zerlegung, Recycling, Deponierung): Transport-, Energie-, Platzaufwand, Toxizität, Nachnutzung des Standorts.

Im ersten Beitrag würdigt Gerhard Banse unter dem Titel Horst Wolfgramm (1926–2020). Einer der "Väter" der modernen Allgemeinen Technologie den am 10. Februar 2020 verstorbenen Erziehungswissenschaftler Horst Wolfgramm. Wolfgramm gehört neben Günter Ropohl (1939–2017) zu den bedeutendsten und einflussreichsten "Vätern" der modernen Allgemeinen Technologie. Spätestens seit seiner Berufung zum Professor mit Lehrauftrag für Polytechnische Bildung und Erziehung an der Universität Halle-Wittenberg im Jahr 1964 hat er sich systematisch mit Elementen, Strukturen und

Einführung 9

Gesetzmäßigkeiten technologischer Systeme befasst, seine Einsichten im Konzept der Organstruktur technischer Systeme verallgemeinert und zur inhaltlich-theoretischen Grundlegung der Ausbildung von Polytechnik-Lehrern genutzt. Im Rahmen des 2. Symposiums des Arbeitskreises Allgemeine Technologie im Jahr 2004 "Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie" hielt er einen Vortrag zu "Gegenstandsbereich und Struktur einer Allgemeinen Techniklehre".

Eine Würdigung von Horst Wolffgramm ist auch der Beitrag von Elke Hartmann und Christian Hein mit dem Titel Allgemeine Technologie – Bilanz über 50 Jahre Forschungsarbeit für die Allgemeine Technische Bildung. Dabei handelt es sich um einen Nachdruck aus der "Festschrift" anlässlich seines 80. Geburtstages. Es wird der Stand der Ausarbeitung einer Allgemeinen Technologie dargestellt, wie sie über 50 Jahre maßgeblich durch und unter Federführung von Wolffgramm geschaffen wurde. Gezeigt werden ihre unterschiedlichen Aspekte und Entwicklungsrichtungen. Deutlich wird dabei das Potenzial der Allgemeinen Technologie als eine systemtheoretisch angelegte Theorie auch für die Fachdidaktik einer technischen Allgemeinbildung bzw. allgemeintechnischen Bildung.

Die nächsten zwei Beiträge widmen sich dem Thema Der Lebenszyklus von Technologien im Rahmen der Allgemeinen Technologie. Im Teil 1 geht Norbert Mertzsch auf generalisierte Überlegungen zu Lebenszyklusbetrachtungen ein, insbesondere auf die Teilgebiete bzw. Phasen Inbetriebnahme von Technologien, Betrieb von Technologien und Außerbetriebnahme und Rückbau von Technologien. Im Teil 2 behandelt Gerhard Banse Aspekte der systematischen Erfassung und umfassenden Bewertung der vielfältigen Effekte ("Impacts") von Technologien, bezogen auf diese einzelnen Phasen, insbesondere jedoch auf die gesamte Lebensdauer. Dazu gibt es mehrere bewährte und zum Teil standardisierte Methoden ("Werkzeuge"), vor allem verschiedene Varianten der Technikfolgenabschätzung ("Technology Assessment"), die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), die Lebenszyklus-Ana-(Life-Cycle-Assessment, LCA) oder Öko-Bilanzierung, verschiedenen "Fußabdrücke" (z. B. ökologischer, CO2- und Wasser-Fußabdruck) sowie den sogenannten ökologischen Rucksack. Deren Anwendung ist indes - wie exemplarisch am Smartphone dargestellt wird - mit unterschiedlichen Problemen verbunden (z. B. dem Wissens-, dem Werteund dem Interdisziplinaritäts-"Dilemma").

Der Lebenszyklus von Technologien am Beispiel der Entwicklung und Produktion von Effektpigmenten ist das Thema von Herrn Gerhard Pfaff. Die Entwicklung und Produktion moderner Effektpigmente, aber auch die aller anderen Pigmente und vieler chemischer Produkte erfolgt heute auf der Basis eines modernen Projektmanagements. Hierbei werden konkrete Anforderungen in Bezug auf das zu entwickelnde Produkt, die dafür benötigten Technologien, die erwarteten Herstellmengen sowie die Umsatz- und Gewinnentwicklung im Verlauf des Produktlebenszyklus und des Technologielebenszyklus formuliert. Die Entwicklung von Effektpigmenten vom Labor bis zum Markt und der zu deren Herstellung benötigten Technologien ist ein geeignetes Beispiel, um die Lebenszyklen von chemischen Produkten und deren Technologien aufzuzeigen, denn der Lebenszyklus von Produkten steht in engem Zusammenhang mit dem Lebenszyklus von Technologien.

Uwe Pahl berichtet über Erfahrungen mit dem Arbeitsmittel Inbetriebnahme-Management für komplexe technische Anlagen in Theorie und Praxis. Dabei geht er auf Projekte zur Errichtung von Gebäuden mit einer komplexen technischen Gebäudeausrüstung (TGA) - wie Laborgebäude und Krankenhausbauten - sowie von Industrieanlagen und Kraftwerken ein. Diese stehen in der Regel unter einem hohen Zeit- und Kostendruck. Die Gebäude und Anlagen werden in der Folge häufig mit zahlreichen mehr oder minder schweren Mängeln in Betrieb genommen und an den Nutzer übergeben. In der Folge ergeben sich zähe Mängelbeseitigungs-Verfahren mit vielfach unzufriedenen Nutzern, erhöhten Betriebskosten oder einer unzureichenden Energieeffizienz auch dann, wenn im Planungsverfahren im Grundsatz solide gearbeitet wurde. Hier setzt das Instrument des Inbetriebnahme-Managements an, das in der theoretischen Betrachtung der DIN 6039 zunächst mit viel Papier verbunden zu sein scheint. Wird es jedoch bereits in der Planungsphase – spätestens mit Beginn der Ausführungsplanung – konsequent angewandt, können die in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) und in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) enthaltenen Schwächen bezüglich der Gewerke-Koordination und der Gewerke-übergreifenden Leistungen ausgeglichen werden. Es entsteht eine ganzheitliche Organisation insbesondere hinsichtlich des Gewerke-übergreifenden Inbetriebnahme-, Abnahme- und Übergabeprozesses.

Kerstin Becker zeigt in ihrem Beitrag Eine Energieerzeugungsanlage im Wandel der rahmenpolitischen und gesetzlichen Vorgaben am Beispiel der Wärmeerzeugung der Stadtwerke Rheinsberg GmbH, dass energiewirtschaftliche Gesetze und politische Vorgaben sich in komplexen energetischen Anlagen manifestieren. Die technologische Funktionalität ist nicht mehr die hinreichende Bedingung für den wirtschaftlichen Erfolg. Die technischen Nutzungsdauern der Anlagen sind heute um ein Vielfaches länger als die Geltungsdauer der meisten Gesetze. Die Anforderungen an Energieerzeu-

Einführung 11

gungsanlagen haben sich um die Dimension der Anpassungsfähigkeit an gesetzliche und klimatische Veränderungen erweitert. Auch Energieerzeugungsanlagen können zu "strandet Investments" werden. Es wird dargestellt, wie sich die energiepolitischen Veränderungen von 1989 bis zur Gegenwart am Beispiel der Wärmeversorgung der Stadt Rheinsberg anlagentechnisch widerspiegeln.

Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit von Elektromobilität - so Ernst-Peter Jeremias in Einkommensenergien und Recycling – Wichtige Voraussetzungen für eine nachhaltige Elektromobilität – stehen aktuell im Fokus der öffentlichen und fachlichen Diskussion. Deren Nützlichkeit für eine Klimawende im Sektor Verkehr wird dabei oft in Frage gestellt. Es ist unter den gegebenen Bedingungen unstrittig, dass die Beschaffung der notwendigen Rohstoffe in Verbindung mit der Nutzung des verfügbaren, vermögensenergielastigen Strommix in der Produktion von Elektrofahrzeugen und Batterien noch nicht ausreichend nachhaltig ist. Es wird die Position vertreten, dass das elektrische Kraftfahrzeug auf der Kurzstrecke bis ca. 250 km in Verbindung mit einer neuen Mobilitätsphilosophie unverzichtbar ist. Ein 1:1 Ersatz unseres heutigen motorisierten Individualverkehrs mit Verbrennungskraftfahrzeugen wird aber nicht möglich und sinnvoll sein. Die Schaffung der politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für ein nahezu einhundertprozentiges Recycling, insbesondere der heute gebräuchlichen Lithium-Ionen-Batterie, auf europäischer und nationaler Ebene ist eine weitere wichtige Voraussetzung - so das Fazit des Autors.

Um den Rückbau von technologischen Anlagen geht es Norbert Mertzsch. Für diesen lässt sich bei aller Unterschiedlichkeit technologischer Anlagen ein allgemeiner Verfahrensablauf entsprechend der Arbeitsschritte Planung der Rückbautätigkeit, Rückbau der technischen Anlage und der Gebäude, Entsorgung der Abfälle sowie Sanierung des Standorts beschreiben. In dem Beitrag wird auf die einzelnen Arbeitsschritte näher eingegangen. Um den Rückbau einer technischen Anlage effizient zu gestalten, sollten die Anforderungen des Rückbaus bereits bei der Planung neuer Anlagen Berücksichtigung finden.

Im abschließenden Beitrag Der Produktlebenszyklus im Unterricht über Arbeit und Technik zeigt Bernd Meier, dass technische Bildung als Element einer zeitgemäßen Allgemeinbildung defizitär ist. Ursache ist einerseits eine immer noch dominante Orientierung des Bildungsverständnisses am traditionellen humanistischen Bildungsideal und andererseits ein nicht immer widerspruchsfreies Konzept einer allgemeinen technischen Bildung. Insbesondere fehlt offensichtlich immer noch eine klare curriculare Linienfüh-

rung für einen Unterricht über Arbeit und Technik. Mit dem Beitrag wird der Versuch unternommen, mögliche Linienführungen unter Berücksichtigung des Konstrukts "Produktlebenszyklus" aufzuzeigen. Dabei wird der Lebenszyklus sowohl aus technischer als auch aus ökonomischer Perspektive betrachtet und anhand ausgewählter Unterrichtsbeispiele illustriert.

In Schlusswort und Ausblick fasst Norbert Mertzsch das Anliegen des Symposiums mit dem Verweis zusammen, dass Lebenszyklusanalysen mindestens eine dreifache Bedeutung zukommt: Erstens werden diese zur systematischen Untersuchung der Umweltauswirkungen von Produkten während ihres Lebensweges. Damit lassen sich dann Produkte in ihren Umweltwirkungen vergleichen und diese Umweltwirkungen gegebenenfalls durch Änderungen im Herstellungsprozess bzw. bei der Nutzung verringern. Zweitens werden unter betriebswirtschaftlichen Aspekten Lebenszyklusanalysen für die operative und strategische Planung genutzt, um den gewünschten Gewinn zu erzielen. Aus Sicht der Allgemeinen Technologie können Lebenszyklusanalysen drittens Technologieschöpfern Hilfestellung bei der Gestaltung einer Anlage bieten, damit Schnittstellen für mögliche spätere Erweiterungen der Produktion eingeplant werden und ein späterer Rückbau mit bedacht wird. Auch dem Personal, das den eigentlichen Betrieb durchführt, sowie den Planern und Durchführenden eines Rückbaus von Anlagen nach Nutzungsende geben Lebenszyklusanalysen wichtige Hinweise. Da viele Maßnahmen und Handlungen im Lebenslauf von Technologien technologieübergreifend sind, könn(t)en sie fachübergreifend gelehrt werden. Abschließend werden drei inhaltliche Vorschläge für das in zwei Jahren durchzuführende 10. Symposium zur Allgemeinen Technologie unterbreitet.

Dieser "Protokollband" wäre nicht zustande gekommen, wenn die Autorin und die Autoren nicht bereit gewesen wären, den zahlreichen Wünschen der Herausgeber – z. B. hinsichtlich Terminstellung, Manuskriptumfang, Präzisierungen – nachzukommen. Dafür herzlicher Dank. Unser Dank gilt auch Herrn *Georg B. Kaiser*, BMB-BuchManufacturBerlin, bei dem die "formale" Vereinheitlichung und Gestaltung dieses Bandes wiederum in besten Händen lag. Last – but not least – sind die Herausgeber sowohl der Rosa-Luxemburg-Stiftung als auch dem Berliner Senat, insbesondere der Abteilung Forschung der Senatskanzlei, zu Dank verpflichtet, denn ohne deren finanzielle Unterstützung hätte einerseits das Symposium, aus dem diese Publikation hervorgegangen ist, nicht durchgeführt werden können, andererseits wäre der Druck dieses "Protokollbandes" so nicht möglich gewesen.

Einführung 13

Literatur

Banse, G.; Mertzsch, N. (Hg.) (2019): Von der Idee zur Technologie – Kreativität im Blickpunkt. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 138)

- Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2014): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)
- Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2017): Technologie und nachhaltige Entwicklung. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 130)
- Beckmann, J. (1806): Entwurf der algemeinen Technologie. In: Vorrath kleiner Anmerkungen über mancherley gelehrte Gegenstände. Drittes Stück. Göttingen, S. 463–533 Auszugsweiser Nachdruck. Hg. v. M. Beckert. Leipzig 1990, S. 137–207; auch: Nachdruck. Hg. v. B. Meier u. H. Meschenmoser. Berlin 2011

Gerhard Banse

Horst Wolfgramm (1926–2020) – Einer der "Väter" der modernen Allgemeinen Technologie

Am 10. Februar 2020 starb Horst Wolffgramm im Alter von 93 Jahren in Frankfurt (Oder). Mit ihm verlieren der Bereich der allgemeintechnischen Bildung in Lehre und Forschung einen stets ebenso konstruktiven und wie kritischen Wissenschaftler und ich einen langjährigen Kollegen und Freund. Er kann mit Recht – neben Günter Ropohl (1939–2017) – als einer der "Väter" der modernen, auf einem systemtheoretischen Konzept beruhenden Allgemeinen Technologie bezeichnet werden.

Horst Wolffgramm wurde am 24. Oktober 1926 in Stettin geboren. ¹ 1945 beginnt er seine berufliche Laufbahn als Neulehrer in einer Landschule und wechselt bereits 1947 als Lehrer an eine Oberschule in Frankfurt (Oder). In einem kombinierten Direkt- und berufsbegleitenden Lehrerstudium belegt er an der Humboldt-Universität zu Berlin von 1949 bis 1954 die Fächer Chemie und Geographie.

Vom Deutschen Pädagogischen Zentralinstitut in Berlin (DPZI) bekommt er das Angebot, die wissenschaftlichen und konzeptionellen Grundlagen der polytechnischen Bildung für eine neue Schule in der DDR zu entwickeln. Aus dieser Tätigkeit heraus entsteht seine Dissertation "Die Prinzipien der chemischen Produktion und ihre Berücksichtigung im Chemieunterricht der allgemeinbildenden Mittelschule – ein Beitrag zur Verwirklichung der polytechnischen Bildung", mit der er 1958 an der Humboldt-Universität zu Berlin promoviert wird.

1959, mit der Einführung der zehnklassigen allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule, erhält Horst Wolffgramm den Auftrag, an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg die Lehrerausbildung für polytechnische Bildung und Erziehung aufzubauen. Er übernimmt 1960 als Leiter und Dozent die Abteilung für polytechnische Bildung und Erziehung am Institut für Pädagogik, vereint sie mit der Abteilung für den Werkunterricht und grün-

Vgl. auch https://de.wikipedia.org/wiki/Horst_Wolffgramm [30.10.2020]; https://dgtb.de/ 2020/06/10/nachruf/ [30.10.2020].

16 Gerhard Banse

det 1962 in der Philosophischen Fakultät ein eigenes Institut für polytechnische Bildung und Erziehung. Durch Strukturänderungen an der Universität 1963 und 1968 gelingt es ihm, sein Institut in die Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät zu integrieren. Es entsteht die Sektion Polytechnik, wie ich sie dann Anfang der 1970er Jahre kennengelernt habe.

1966 verteidigt Horst Wolffgramm erfolgreich seine Habilitation "Fließdarstellungen von Produktionsprozessen als Mittel der polytechnischen Bildung – ein Beitrag zur Methodik des Technologieunterrichts". Im gleichen Jahr wird er zum ordentlichen Professor berufen.

Im Zentrum der wissenschaftlichen Denkbemühungen von Horst Wolffgramm stand die Grundlegung einer "Mutter-Disziplin" für den Polytechnik-Unterricht – etwa analog zu Mathematik für den Mathematik-Unterricht oder Biologie für den Biologie-Unterricht. Zur Begründung dieser "Polytechnik" griff er auf den Ansatz der Allgemeinen Technologie von Johann Beckmann aus dem Jahr 1806 zurück:

"Wer sich ein Studium daraus gemacht hat, viele Handwerke und Künste kennen zu lernen, und wer sich geübt hat, viele mit einem Blick zu übersehen, der muß bemerken, daß sehr viele Handwerke, so verschieden auch ihre Materialien und Waaren sind, dennoch manche Arbeiten zu einerley Absichten zu verrichten haben; oder daß sie einerley Absicht auf sehr verschiedene Weise zu verrichten wissen. [...] Nun wünsche ich ein Verzeichniß aller der verschiedenen Absichten. welche die Handwerker und Künstler bey ihren verschiedenen Arbeiten haben, und daneben ein Verzeichnis aller der Mittel, durch welche sie jede derselben zu erreichen wissen. So einem Verzeichnisse würde ich den Namen der algemeinen Technologie, oder des ersten oder algemeinen Theils der Technologie geben. [...] Jener müßte die gemeinschaftlichen und besondern Absichten der im andern Theile aufgeführten Arbeiten und Mittel anzeigen, die Gründe erklären, worauf sie beruhen, und sonst noch dasjenige kurz lehren, was zum Verständniß und zur Beurtheilung der einzelnen Mittel, und zu ihrer Auswahl bey Uebertragungen auf andere Gegenstände, als wozu sie bisjetzt gebraucht sind, dienen könte. Dies würde den Künstlern und Handwerkern gründliche und algemeine Begriffe von den Gegenständen, welche sie bearbeiten, und von dem dazu gebräuchlichen Verfahren, erleichtern, und überhaupt eine Uebersicht gewähren, welche erfinderische Köpfe zu neuen nützlichen Verbesserungen hinleiten könnte." (Beckmann 1806, S. 464, 465, 480)

In Wolffgramms in mehreren Auflagen erschienenen Publikation, in der dieses programmatische Konzept systematisierend ausgeführt wird, in der "Allgemeinen Technologie" (siehe Abb. 1), findet sich folgende Bestimmung des Gegenstandes:

"Die allgemeine Technologie betrachtet die Vielfalt der technologischen Sachverhalte in den unterschiedlichsten Produktionsprozessen unter einheitlichen, systemübergreifenden Gesichtspunkten. Sie abstrahiert von den Besonderheiten des technologischen Geschehens in den einzelnen Produktionszweigen und versucht, die Gemeinsamkeiten, die Invarianzen der technologischen Prozesse aufzudecken und in Form allgemeiner Prinzipien, Gesetze und Strukturen darzustellen." (Wolffgramm 1978, S. 11)



Abb. 1: Drei Auflagen der "Allgemeinen Technologie"

Eigene Zusammenstellung

Dazu wählt Horst Wolffgramm das Modell der Organstruktur als grundlegende Gemeinsamkeit aller TS. Er orientiert sich dabei an Karl Marx' Feststellung, dass alle

"entwickelte Maschinerie aus drei wesentlichen Teilen, der Bewegungsmaschine, dem Transmissionsmechanismus, endlich der Werkzeugmaschine oder Arbeitsmaschine" (Marx 1971, S. 393)

² In der zweiten Auflage heißt es "definitorisch": "Die allgemeine Technologie abstrahiert weitgehend von den konkreten Bedingungen der Arbeitsgegenstände, der Produkte und der Produktionsprozesse. Mit vorwiegend generalisierenden und vergleichenden Methoden untersucht sie das Gesamtsystem der Bearbeitungsvorgänge sowie die Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien der Verknüpfung und Kombination der Elemente des Produktionsprozesses unter Systemaspekt. Gegenstand der allgemeinen Technologie sind die Invarianzen der Produktionsprozesse, ihre Gemeinsamkeiten hinsichtlich der technologischen Elemente, Strukturen und Kopplungen" (Wolffgramm 1994, S. 31).

18 Gerhard Banse

besteht. Diese funktionale Analyse nutzt Horst Wolffgramm, um sieben technologische Grundfunktionen zu unterscheiden:

Bearbeitungsfunktion;
 Stützfunktion;
 Übertragungsfunktion;
 Optimierungsfunktion.

- Führungsfunktion;

Jede dieser Funktionen wird innerhalb des technischen Sachsystems von einem entsprechenden Teilsystem realisiert, d. h. durch sogenannte *Funktions-organe* (im Sinne "funktionserfüllender Strukturen") zu (siehe auch Abb. 2):

Arbeitsorgane;
 Stützorgane;
 Übertragungsorgane;
 Optimierungsorgane.

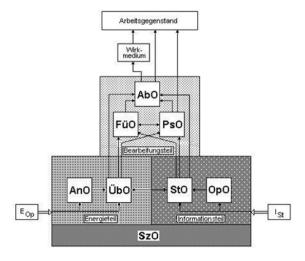
Führungsorgane;

Funktionsorgan	Symbol	Funktionen
Arkeitsorgan	AbO	Bearbeiten
Stützorgan	SzO	Stützen, Verbinden, Kräfte aufnehmen
Übertragungsorgan	ÜbO	Weiterleiten, Umformen von Energie
Führungsorgan	FüO	Begrenzen der Freiheitsgrade von AbO und Wirkmedien
Positionierungsorgan	PsO	Fixierung und Zwangsführung des Arbeitsgegenstandes
Antriebsorgan	AnO	He vorbringung der prozeßgerechten Operationsenergie
Steuerungsorgan	StO	Einstellen, Prüfen, Meßwerterfassen, Abruf gespeicherter Informationen
Optimierungsorgan	ОрО	Verarbeitung von Prozeßinformationen, Bestimmung optimaler Prozeßbedingungen

Abb. 2: Organstruktur technischer Sachsysteme I

Quelle: Wolffgramm 1994, S. 48

Damit ergibt sich für beliebige technische Sachsysteme die in Abbildung 3 dargestellte generelle Organstruktur.



Funktionen des Bearbeitungsteils

- * Einwirken (direkt / indirekt) auf den Arbeitsgegenstand
- * Positionieren des Arbeitsgegenstandes
- * Führen des Arbeitsorgans

Funktionen des Energieteils

- * Bereitstellen der Operationsenergie
- * Umformen, Anpassen, Weiterleiten der Operationsenergie

Funktionen des Informationsteils

- * Einstellen, Prüfen, Meßwerterfassen, Abruf gespeicherter Informationen
- *Verarbeitung von Prozeßinformationen zur Optimierung des Gesamtprozesses

Funktionen des Stützorgans

- * Stützen, Verbinden und Fixieren der Teilsysteme in bestimmter Lage
- * Kräfte aufnehmen

Abb. 3: Organstruktur technischer Sachsysteme II

Quelle: Wolffgramm 1994, S. 50

Komplettiert wurde das Modell der Organstruktur durch Überlegungen zu technologischen Wirkprinzipien³ (siehe Abb. 4), zu allgemeinen Prinzipien über die Veränderungen von Stoff-, Energie- und Datenflüssen in technischen Sachsystemen (etwa in Form der sogenannten Neun-Felder-Matrix; siehe Abb. 5) sowie über die technologische Evolution.

³ Ein technologisches Wirkprinzip "drückt das Wesen technologischer Vorgangsabläufe aus, indem es die im Prozess wirkenden Elemente (die Wirkfaktoren) charakterisiert und in ihrem gesetzmäßigen Zusammenwirken beschreibt" (Wolffgramm 1994, S. 52).

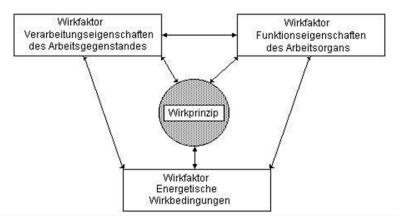


Abb. 4: Wirkprinzip Quelle: Wolffgramm 1994, S. 53

Art des Arbeits-	Art der Veränderung			
gegenstandes	Formänderung	Strukturänderung	Ortsänderung	
Stoff	Stofformung	Stoffwandlung	Stofftransport	
Energie	Energieumformung	Energiewandlung	Energietransport	
Information	Informations- umformung	Informations- wandlung	Informations- transport	
	Verfahren	Prozesse	Operationen	

Abb. 5: Systematik technologischer Grundvorgänge – die "Neun-Felder-Matrix"

Quelle: Wolffgramm 1994, S. 70

Damit hat Horst Wolfgramm einen eigenständigen, umfassenden, man kann sagen universellen allgemeintechnischen Ansatz entwickelt. ⁴ Grundlage dafür waren auch die Ergebnisse aus der Gutachter- und Beratungstätigkeit bei 81 Diplomarbeiten, 28 Dissertationen sowie 23 Habilitationsverfahren.

⁴ Weiterführendes kann dem Beitrag von Elke Hartmann und Christian Hein in diesem Band entnommen werden.

Als Abschluss dieser kurzen wissenschaftlichen Würdigung von Horst Wolffgramm seien aus meiner vielfältigen Kooperation mit ihm nur drei Beispiele genannt (vgl. näher Banse 2008, S. 43ff.):

- 1996 initiierte und organisierte ich an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus das Symposium "Allgemeine Technologie zwischen Aufklärung und Metatheorie". Dieses Symposium wurde nicht nur ein Zusammentreffen von an technischer Bildung Interessierten aus den "neuen" und den "alten" Ländern der Bundesrepublik, sondern sein Höhepunkt war das erstmalige (!!) "Zusammenwirken" der zwei Hauptprotagonisten einer Allgemeinen Technologie in Deutschland Horst Wolffgramm und Günter Ropohl in einer Podiumsdiskussion (vgl. Banse 1997, S. 111ff.).
- Im Jahr 2000 konzipierten bzw. organisierten Bernd Meier, Horst Wolffgramm und ich das Fachgespräch "Technikbilder und Technikkonzepte im Wandel. Eine technikphilosophische und allgemeintechnische Analyse", das im Pädagogischen Landesinstitut Brandenburg in Ludwigsfelde-Struveshof stattfand. Horst Wolffgramm führte mit "Zur Konzeption eines allgemeinen Technikbildes" in das Fachgespräch ein, ich in dessen Schwerpunkt I "Fachwissenschaftlich-philosophische Gesichtspunkte" und Bernd Meier in dessen Schwerpunkt II "Fachdidaktische Gesichtspunkte" ein. Das "Protokoll" wurde von uns gemeinsam herausgegeben (vgl. Banse et al. 2002).
- 2004 führte der Arbeitskreis Allgemeine Technologie sein 2. Symposium durch, mit dem Titel "Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie" (vgl. Banse/Reher 2004). Horst Wolffgramm hielt auf diesem Symposium einen Vortrag zu "Gegenstandsbereich und Struktur einer Allgemeinen Techniklehre" (vgl. Wolffgramm 2004). Da Günter Ropohl das Eröffnungsreferat hielt (vgl. Ropohl 2004), war dies das zweite (und auch letzte) Zusammentreffen von Ropohl und Wolffgramm.

Mit den vorstehenden Ausführungen wurde deutlich gemacht, dass Horst Wolffgramm zu Recht als einer der "Väter" der modernen Allgemeinen Technologie bzw. – was sich gegenwärtig stärker durchsetzt – einer Allgemeinen Technikwissenschaft bezeichnet werden kann bzw. gewürdigt werden muss. – Der Arbeitskreis Allgemeine Technologie der Leibniz-Sozietät versteht sich auch als Sachwalter des Wolffgramm'schen Erbes. Wir würdigen ihn, indem wir es nicht nur bewahren, sondern in seinem Sinne weiterführen.

22 Gerhard Banse

Literatur

Banse, G. (Hg.) (1997): Allgemeine Technologie zwischen Aufklärung und Metatheorie. Johann Beckmann und die Folgen. Berlin 1997

- Banse, G. (2008): Die Bedeutung der Allgemeinen Technologie aus Sicht der Technikphilosophie. In: Hartmann, E.; Theuerkauf, W. E. (Hg.): Allgemeine Technologie und Technische Bildung. Frankfurt/M. u.a.O., S. 35–48
- Banse, G.; Meier, B.; Wolffgramm, H. (Hg.) (2002): Technikbilder und Technikkonzepte im Wandel eine technikphilosophische und allgemeintechnische Analyse. Karlsruhe (Forschungszentrum Karlsruhe)
- Banse, G. Reher, E.-O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)
- Beckmann, J. (1806): Entwurf der algemeinen Technologie. In: Beckmann, J.: Vorrath kleiner Anmerkungen über mancherley gelehrte Gegenstände. 3. Stück. Göttingen 1806, S. 463– 533 (zit. nach Johann Beckmann: Entwurf der Allgemeinen Technologie. Hg. v. B. Meier u. H. Meschenmoser. Berlin 2011)
- Marx, K. (1971): Das Kapital. Erster Band. In: Marx, K.; Engels, F.: Werke. Bd. 23. Berlin
- Ropohl, G. (2004): Die Dualität von Verfahren und Sachen in der Allgemeinen Technologie.
 In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 21–34 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)
- Wolffgramm, H. (1978): Allgemeine Technologie. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten technologischer Systeme. Leipzig 1978 (= 1 Aufl.)
- Wolffgramm, H. (1994): Allgemeine Technologie. Teil 1. Hildesheim (= 2. Aufl.)
- Wolffgramm, H. (1995): Allgemeine Technologie. Teil 2. Hildesheim (= 2. Aufl.)
- Wolffgramm, H. (2004): Gegenstandsbereich und Struktur einer Allgemeinen Techniklehre. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 69–80 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)

Elke Hartmann, Christian Hein

Allgemeine Technologie – Bilanz über 50 Jahre Forschungsarbeit für die Allgemeine Technische Bildung

1 Zur Situation der Allgemeinbildung in den 1950er Jahren

Um die Entstehung der Allgemeinen Technologie als moderne Wissenschaftsdisziplin zu verstehen, ist es notwendig, die Entwicklung der Gesellschaft in dieser historischen Epoche zu betrachten.

In der Zeit nach dem 2. Weltkrieg begann der Wettlauf beider Gesellschaftssysteme. Er zeigte sich neben dem militärischen Rüstungswettlauf vor allem in den miteinander konkurrierenden wirtschaftlichen Entwicklungen. Beide Problemfelder erforderten eine progressive Anwendung der Wissenschaften als Produktivkraft. Zum Beispiel löste der "Sputnikschock" eine starke Einflussnahme auf das Bildungssystem der Vereinigten Staaten aus. Im Ostblock hatte man in den Bildungssystemen von Anfang an auf naturwissenschaftliche Bildung orientiert, da hier vor allem im Aufbau einer leistungsstarken Industrie und in der Entwicklung der Produktivkräfte eine wesentliche Voraussetzung für die Entscheidung in der Systemauseinandersetzung gesehen wurde. Zudem setzte sich die Einsicht durch, dass vor allem technische Bildung als Beschleuniger für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt verstanden wurde. Mit besonderer Schärfe wurden die politisch-ideologischen und wirtschaftlichen Auseinandersetzungen vor allem in Deutschland geführt. Die beiden konkurrierenden deutschen Staaten etablierten sehr verschiedene Bildungssysteme. Das Problem war, dass für eine allgemeine technische Bildung keine wissenschaftlichen Konzepte existierten. Der Widerspruch zwischen der gesellschaftlichen Entwicklung und dem Zustand des Bildungssystems war offensichtlich. In Ostdeutschland wurde Horst Wolffgramm mit der Ausarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen für eine allgemeine technische Bildung beauftragt. In Westdeutschland spielte in späteren Jahren die Theorie von Günther Ropohl eine vergleichbare Rolle.

2 Die bildungstheoretischen Grundlagen eines allgemeinen technischen Unterrichts

Die Notwendigkeit, Technik als Bildungsgut auch in nicht technischen Berufen zu erschließen, war auch in den 50er Jahren nicht ganz neu. Johann Beckmann entwickelte bereits in der zweiten Hälfte des 18. Jh.s für die Ausbildung von Staatsbeamten im Rahmen der Kameralistik eine Lehre über die Technologien der Handwerke, die er in dem Vorwort seiner ersten Ausgabe am 17. März 1777 folgendermaßen begründet:

"Die Kentniß der Handwerke, Fabriken und Manufacturen ist jedem, der sich der Polizey und Cammeralwissenschaft widmen will, unentbehrlich. Denn was man veranstalten, anlegen, anordnen, beurtheilen, regieren, erhalten, verbessern und nutzen soll, wird man doch wenigstens kennen müssen. [...] Wo sie [die Kenntnis; d.V.] fehlt, da werden die Gewerbe ihrem eigenen Schicksale überlassen, oder [...] sie erhalten Vorschriften und Gesetze [...], bey denen sie völlig zu Grunde gehen müssen. Da entstehen Schauämter, die den Fleiß aufhalten, und die Industrie ersticken." (Beckmann 1984, S. 26f.)

Er beschrieb und systematisierte die Handwerke nach der Art der Verfahren, die zur Produktbildung verwendet wurden. Die Bezeichnung seiner neuen Lehre war "Allgemeine Technologie". Rund ein Jahrhundert später wurde infolge der industriellen Revolution deutlich, dass diese neu entstandene Qualität der Produktion und Lebenswelt der Menschen eine allgemein ausgerichtete technische Bildung für jeden notwendig machte.

Karl Marx kommt in seiner Analyse der großen Industrie zu der Erkenntnis, dass es ein "objektives Skelett" und "wenige große Grundformen der Bewegung" in den industriellen Produktionsprozessen gibt. Er bezeichnet diese als die allgemeinen wissenschaftlichen Grundsätze der industriellen Produktion, die er als Gegenstand einer "polytechnischen Erziehung" für möglich und notwendig erachtet. Er plädiert dafür, ein generalistisches Technikverständnis im Rahmen der Bildung für alle zu vermitteln, um die Menschen auf die Tätigkeit in der Produktion und die sich ständig verändernden Anforderungen durch die Produktionstechnik vorzubereiten.

Auf der Lehre von Beckmann und den Erkenntnissen aus der Analyse der großen Industrie von Marx aufbauend entwarf Horst Wolffgramm die Grundzüge einer Theorie über die Prinzipien der Produktion, die er als "Polytechnik" bezeichnet und in einer wissenschaftlichen Schrift anlässlich des 5-jährigen Bestehens des Instituts für Polytechnische Bildung und Erziehung an der Universität Halle 1968 veröffentlichte (vgl. Wolffgramm 1968).

Fragen eines neuen Bildungsverständnisses wurden auch von der Akademie der Pädagogischen Wissenschaften vorangetrieben. Wenn als unab-

dingbare Bestandteile der Allgemeinbildung die drei großen Bereiche der Wirklichkeit Natur – Gesellschaft – Technik gelten, so plädiert Heinz Frankiewicz dafür, dass in der polytechnischen Bildung der Technikbegriff über den der Produktion hinaus zu erweitern sei, um zu einem umfassenden Technikverständnis zu gelangen (vgl. Wolffgramm 1968, S. 8f.):

"Es ist evident, dass sich der allgemeintechnische Unterricht nicht auf die Vermittlung technischer, technologischer und ökonomischer Einzeltatsachen beschränken kann." (Wolffgramm 1968, S. 9)

3 Der systemtheoretische Ansatz der Polytechnik

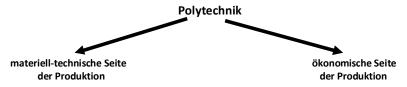
Die wissenschaftliche Aufgabe bestand darin, die Prozesse und Strukturen der Produktion mit ihrer materiell-technischen und ökonomischen Seite systematisch abzubilden. In Anlehnung an Marx entwickelt Wolffgramm das System der Prinzipien der Produktion, das die allgemeinen wissenschaftlichen Grundsätze aller Produktionsprozesse enthält.

Das methodische Instrumentarium seiner Theorie entlehnt Wolffgramm der Systemtheorie. Zunächst entwickelt er ein Ordnungssystem in Form einer zweidimensionalen Matrix. Die Zeileneingänge werden von den Erscheinungen der Produktion gebildet, das sind die Prozesse, Gebilde und Relationen. Als Bestimmungsgrößen dieser Erscheinungen definiert er Elemente, Strukturen und Funktionen, die als Spalteneingänge mit den Zeileneingängen verknüpft werden. Die Felder dieser Verknüpfungsmatrix erfassen und ordnen technische und ökonomische Wissenschaftsdisziplinen und stellen sie in ihre Zusammenhänge (siehe Abb. 1).

Mit diesem System ist die Grundlage für die Entwicklung der Teildisziplinen der Polytechnik gelegt. Die Elemente, Strukturen und Funktionen von Prozessen werden Gegenstand der Allgemeinen Technologie sein. Die Elemente, Strukturen und Funktionen von Gebilden werden zum Inhalt der Theorie technischer System und die der Relationen eröffnen das Feld der Theorie ökonomischer Systeme (vgl. Wolffgramm 1972, S. 12).

Die Prinzipien der Produktion sind die theoretischen Grundlagen für ein ganzes Forschungsprogramm, das Wolffgramm und seinen Mitstreitern für einen Zeitraum von über 50 Jahren eine systematische wissenschaftliche Arbeit ermöglicht hat und zukünftig für die Gestaltung allgemeiner technischer Bildung Leitgedanke sein wird.

Entwurf einer Wissenschaft von den Prinzipien der Produktion



Das System der Prinzipien der Produktion

	Elemente	Strukturen	Funktionen
Prozesse	System der	Strukturen	Allgemeine
	technologischen	technologischer	Verfahrens-
	Grundverfahren	Verfahren	prinzipien
Gebilde	System der	Strukturen	Funktionsprinzipien
	Funktionselemente	technischer	technischer
	und -organe	Systeme	Systeme
Relationen	System der Grundrelationen	Strukturen ökonomischer Systeme	Prinzipien der Optimierung ökon. Systeme

Abb. 1: Entwurf der Wissenschaft Polytechnik

Quelle: nach Wolffgramm 1968, S. 12

4 Die Grundmodelle der Allgemeinen Technologie

4.1 Struktur des Produktionsprozesses

Wolffgramm strukturiert den Produktionsprozess in seine technologischen Verfahrensstufen. Dazu wird die Produktbildung als Folge von Zustandsänderungen am Arbeitsgegenstand dargestellt, die sich als Wechselwirkungen von Arbeitsgegenstand, Arbeitsmittel und Mensch vollziehen. In jedem Produktionsprozess wirken drei Hauptfaktoren zusammen:

- die menschliche Arbeitskraft.
- der Arbeitsgegenstand und
- das Arbeitsmittel (siehe Abb. 2).

4.2 Die Phasenstruktur des Produktionsprozesses

Die Organisationsstruktur der Produktbildung besteht aus drei Phasen (siehe Abb. 3). Jede der Phasen kann aus einem oder mehreren technologischen Grundverfahren bestehen, die der Realisierung einer technologischen Funktion dienen.

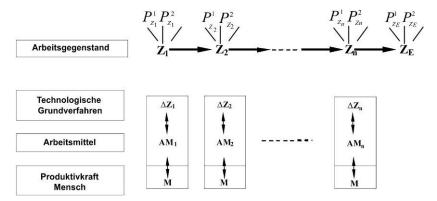


Abb. 2: Strukturschema der technologischen Vorgänge in einem Produktionsprozess

Quelle: nach Wolffgramm 1968, S. 16

In der Vorbereitungsphase werden die Parameter der stofflichen, energetischen oder informationellen Arbeitsgegenstände so verändert, dass in der Hauptphase das technologisch gewollte Ergebnis entsteht. Die Schlussphase dient der Herstellung der Marktfähigkeit des Produktes.

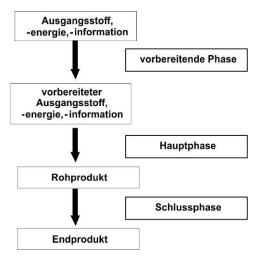


Abb. 3: Phasenstruktur von Produktionsprozessen

Quelle: Wolffgramm 1968, S. 17

4.3 Das System der Bearbeitungsvorgänge

Mit dem System der Bearbeitungsvorgänge wird die Vielfalt der technologischen Grundverfahren erfasst. Das bietet die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Grundverfahren Analogien aufzudecken, bei Wolffgramm als Invarianten bezeichnet. In die Matrix werden als Zeileneingänge die aus der Kybernetik übernommenen Größen Stoff, Energie und Information als die drei Klassen von Arbeitsgegenständen eingeführt. Die Bestimmungsgrößen der Spalteneingänge sind die drei grundsätzlich möglichen Änderungen der Arbeitsgegenstände Form-, Struktur- und Ortsänderung (siehe Abb. 4).

	Formänderung	Strukturänderung	Ortsänderung
Stoff	Stoffumformung	Stoffumwandlung	Stofftransport
Energie	Energieumformung	Energieumwandlung	Energietransport
Information	Informationsumformung	Informationsumwandlung	Informationstransport

Abb. 4: System der Bearbeitungsvorgänge

Quelle: nach Wolffgramm 1968, S. 22

Die Felder der Matrix repräsentieren keine Wirtschaftsbereiche. Vielmehr geht es hier um technologische Veränderungen durch einzelne Grundvorgänge. Die Ortsänderungen umfassen auch die Vorgänge der Speicherung.

Wie wir heute wissen, hat sich gezeigt, dass Analogien zwischen den Grundverfahren der drei Klassen von Arbeitsgegenständen nicht immer möglich sind. Vor allem der Bereich der informationsändernden Vorgänge hat seine Spezifik. Information als Arbeitsgegenstand verstanden unterscheidet sich erheblich von Stoff und Energie. Während für Stoff und Energie Erhaltungssätze gelten, können Informationen erzeugt, vernichtet und kopiert werden. Das schränkt analoge Modellbildungen entsprechender Grundvorgänge und ihre Einordnung in das System erheblich ein.

4.4 Die Hierarchie und Struktur technologischer Grundvorgänge

Die Darstellung von technologischen Vorgängen mit stufenweise zunehmendem Abstraktionsgrad erfolgte mit der Absicht, vom speziellen in der Produktionswirklichkeit ablaufenden Vorgang mit seinen vielen spezifischen Parametern zum Wesentlichen (Kernfragen) zu gelangen. Das induktive Vorgehen von der jeweils niederen Stufe zur höheren erfolgt für die Vorgänge aller Klassen von Bearbeitungsvorgängen auf analoge Weise (siehe Tab. 1).

Diese Hierarchisierung bildete später eine der Grundlagen zur Formulierung des Strukturmodells technologischer Grundvorgänge als einen Typ technischer Gesetze.

Tab. 1: Hierarchiestufen technologischer Vorgänge

Abstraktionsstufen	Technologische Vorgänge
5. Ordnung	Klasse von Bearbeitungsvorgängen
4. Ordnung	Typ von Vorgängen
3. Ordnung	Gruppe von Vorgängen
2. Ordnung	Grundvorgänge
1. Ordnung	Spezielle Vorgänge

Quelle: nach Wolffgramm 1968, S. 24

5 Die Grundmodelle der Theorie technischer Systeme

Während in der Allgemeinen Technologie die technologischen Vorgänge der Gegenstand wissenschaftlicher Analysen waren, richteten sich in der Theorie technischer Systeme die theoretischen Untersuchungen auf die Geräte, Maschinen und Apparate, also auf die Gebilde des Produktionsprozesses. Als unabhängig von der konkreten Ausführung des jeweils als System betrachteten technischen Gebildes erkannte Wolffgramm in Weiterführung der Marx'schen Analyse der klassischen Maschine immer wieder vorkommende Elemente mit gleicher Funktion. Die Analyse von Funktionssystemen ergab, dass sie jeweils aus einer begrenzten Anzahl von Teilsystemen bestehen, die eine charakteristische Funktion unabhängig von der konkreten technologischen Aufgabe ausüben.

Diese Elemente bezeichnete Wolffgramm als Funktionsorgane, im Einzelnen sind es Arbeits-, Stütz-, Übertragungs-, Führungs- Antriebs-, Steuerungs- und Optimierungsorgan.

5.1 Das Strukturmodell technischer Systeme

Die Funktionselemente und ihre Relationen zueinander bilden das Strukturmodell technischer Systeme.

Arbeitsorgane wurden als die wesensbestimmenden Teilsysteme in technischen Funktionssystemen herausgestellt. Mit dem Arbeitsgegenstand bilden sie ein Wirkpaar. Es zeigte sich, dass Arbeitsorgane direkt oder indirekt über ein Wirkmedium bzw. eine Wirkenergie auf den Arbeitsgegenstand einwirken. Zur Aufrechterhaltung der Wechselwirkung zwischen Arbeits-

gegenstand und Arbeitsorgan muss kontinuierlich Operationsenergie zugeführt werden.

Der 1968 veröffentlichte Entwurf der Prinzipien der Produktion enthielt vorerst nur eine Aufzählung und Beschreibung der Funktionsorgane. Der damalige Stand der Struktur- und Funktionsanalysen technischer Systeme kannte auch noch kein Positionierungsorgan. Ein erstes Strukturmodell entwarf Wolffgramm 1978 (siehe Abb. 5). Die Untersuchungen zur Präzisierung der Modellbildung wurden von Manfred Perwitzschky, Christian Hein u. a. weitergeführt.

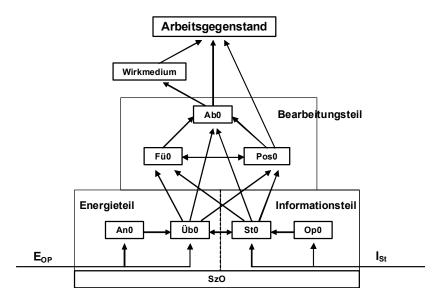


Abb. 5: Strukturmodell technischer Systeme

Quelle: nach Wolfgramm 1980, S. 18

5.2 Die Hierarchie technischer Systeme

Das Kriterium für die Entwicklung der Hierarchie technischer Systeme war die unterschiedliche Komplexität der vielen in der Realität nebeneinander existierenden technischen Gebilde. Zunächst entstand eine Hierarchie technischer Systeme, die stark an die Systemtheorie angelehnt war (siehe Tab. 2).

Diese Hierarchie spielte in der Folge keine entscheidende Rolle. An ihre Stelle trat nach weiteren Untersuchungen zu den Funktionselementen und ihren Wechselwirkungen eine neue Hierarchisierung der technischen Systeme. Erst die detaillierte Kenntnis der gegeneinander abgrenzbaren Funktionen der Teilsysteme führte zum in Abbildung 5 beschriebenen Strukturmodell und aus diesem heraus zur Hierarchie der technischen Systeme.

Tab. 2: Hierarchie von Funktionssystemen

Hierarchieebene	Technische Systeme
5. Ordnung	vernetztes Funktionssystem
4. Ordnung	verkettetes Funktionssystem
3. Ordnung	Funktionssystem
2. Ordnung	Funktionsgruppe
1. Ordnung	Funktionselement

Quelle: nach Wolffgramm 1968, S. 24

Tab. 3: Hierarchieebenen von Funktionssystemen

Hierarchieebene	Funktionssysteme	Organstruktur	Beispiel
1	Werkzeuge	AbO, SzO	Hammer
2	Geräte	AbO, SzO, ÜbO	Handbohrgerät
3	einfache Maschinen	AbO, SzO, ÜbO, FüO	fußgetriebene Nähmaschine
4	klassische Maschinen	AbO, SzO, ÜbO, FüO; AnO	Drehmaschine
5	programmgesteuerte Maschinen	AbO, FüO; SzO, ÜbO, FüO; AnO, StO	Hydrokopiermaschine
6	kybernetische Maschinen	AbO, SzO, ÜbO FüO; AnO, StO, OpO	Prozessrechner-gesteuerte Erdölverarbeitungsanlage

Quelle: nach Wolffgramm 1997, S. 71

6 Die Spezifik der technischen Wissenschaften und die Gesetze der Technik

Die noch heute geführten Diskussionen darüber, ob die technischen Wissenschaften angewandte Naturwissenschaften sind oder ob sie eine eigene Spezifik besitzen, ist eine alte Streitfrage. Von der Klärung dieser Frage hängt noch heute die Legitimation des Schulfaches Technik ab. In beiden deutschen Staaten rangen Ingenieure, Technikphilosophen, Techniksoziologen

und Technikdidaktiker um die gesellschaftliche Akzeptanz der Technik als Gegenstand einer eigenständigen Wissenschaft und damit auch als Bildungsgegenstand im Bereich der Allgemeinbildung. Jede Wissenschaft definiert sich über ihren Gegenstand. Für die technischen Wissenschaften definierte den Gegenstand Wolffgramm folgendermaßen:

"Die Technik umfasst die Gesamtheit der Verfahren und Mittel, die der Mensch sich mit dem Ziel der Befriedigung seiner materiellen und kulturellen Bedürfnisse schafft und dienstbar macht. Sie ist das durch den Einsatz künstlicher materieller Mittel erzwungene komplexe und zielgerichtete Zusammenwirken von Naturvorgängen, durch das die Gegenstände der menschlichen Tätigkeit zweckentsprechend und gemäß den gesellschaftlichen Zielen verändert werden." (Wolffgramm 1978, S. 22)

6.1 Die Spezifik der Technik

Die 3. Konferenz 1978 zum Thema "Technikgesetze und Polytechnischer Unterricht" richtete sich auf die Klärung des Verständnisses des Technikund Technologiebegriffs und der Spezifik der Technik. Die Kernaussagen waren:

- Technische Wissenschaften sind eigenständig,
- in ihnen vereinen sich natürliche und gesellschaftliche Komponenten,
- Technik ist final determiniert.
- Technik ist eine spezifische Erscheinungsform des gesellschaftlichen Seins,
- die Entwicklung der Technik verläuft mit zunehmender Komplexität ihrer Funktionen,
- in der Technik vereinen sich objektiv Mögliches und ökonomisch Vertretbares und
- es existiert eine Lösungsvielfalt technischer Probleme.

Die technischen Wissenschaften verfügen über eigenständige Gesetzmäßigkeiten. Auf der Basis der dargestellten Positionen zur Spezifik der Technik begriff Wolffgramm auch die Technologie als Disziplin der technischen Wissenschaften:

"Die Technologie ist eine Technikwissenschaft. Ihr Gegenstand sind die mittels technischer Systeme an Arbeitsgegenständen innerhalb des Produktionsprozesses durchgeführten Bearbeitungsvorgänge." (Wolffgramm 1978, S. 25)

6.2 Struktur- und Funktionsgesetze der Technik

Die Klärung der Spezifik der Technik und der Technischen Wissenschaften hat deutlich gemacht, dass diese nicht auf bloße Anwendung von Naturgesetzen zu reduzieren waren. Damit wurde auch die Frage nach spezifischen Gesetzen der Technik aufgeworfen. Die Forschungen zur Theorienbildung der Prinzipien der Produktion führten immer stärker zu gesetzmäßigen Zusammenhängen. Aus der Komplexität der Technik folgte der Schluss, dass Technikgesetze Systemcharakter besitzen müssen. Gesetzesaussagen über technische Sachverhalte beinhalten das komplexe Zusammenwirken von natürlichen und gesellschaftlichen Komponenten.

Nach dem damaligen Erkenntnisstand wurden Strukturgesetze und Funktionsgesetze unterschieden. Sie korrelieren zwar eng, sind jedoch in ihren Aussagen klar zu unterscheiden.

Strukturgesetze decken die bestimmenden Elemente, ihre Wechselbeziehungen sowie ihre Funktion innerhalb des Systems auf. Als ein typisches technisches Strukturgesetz gilt die Organstruktur technischer Systeme, die mit dem in Abbildung 5 dargestellten Strukturmodell abgebildet ist. Ein weiteres Strukturgesetz stellt die Phasenstruktur von Produktionsprozessen dar (siehe Abb. 3).

Funktionsgesetze enthalten Aussagen über Wirkfaktoren und Wirkbedingungen sowie deren Kopplungen zur Erzielung technologischer und technischer Vorgänge. Ein solches typisches Funktionsgesetz ist das technologische Wirkprinzip (siehe Abb. 6).

Die Darstellung zeigt die Struktur des technologischen Grundvorganges. In ihm ist das technologische Wirkprinzip ein Strukturelement. Es beinhaltet eine Funktion, die sich in der Erzielung des gewollten technischen Vorgangs ausdrückt. Nur bestimmte Eigenschaften der Wirkfaktoren und bestimmte Wirkbedingungen führen zum Ergebnis. Untersuchungen zum Wirkprinzip ermöglichten die Spezifizierung der Strukturelemente des technologischen Wirkprinzips. Sie führten zur Erkenntnis, dass die Verarbeitungseigenschaften des Arbeitsgegenstandes, die Funktionseigenschaften des Arbeitsorgans und die energetischen Wirkbedingungen Voraussetzung für die effiziente Wechselwirkung sind und damit das Wirkprinzip realisieren. Wirkprinzipien haben ihre Gültigkeit auf der Ebene der Vorgangsgruppe innerhalb der Hierarchieebenen technologischer Vorgänge (siehe Tab. 1) und haben Gültigkeit für alle Klassen von Bearbeitungsvorgängen.

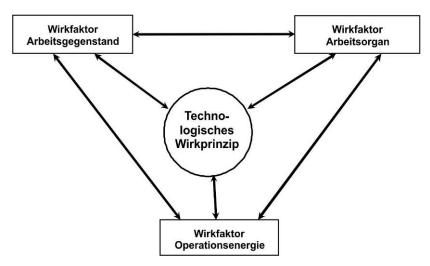


Abb. 6: Struktur technologischer Grundvorgänge

Quelle: nach Wolffgramm 1980, S. 14

Die Aufdeckung von Strukturen in Produktionsprozessen führte auch dazu, Grundsätze zu untersuchen, nach denen technologische Vorgänge in Produktionsprozessen miteinander verknüpft sind. In einigen Produktionszweigen, insbesondere in der chemischen Industrie, war eine Zwangsverkettung der Systeme unabdingbar. Die Untersuchungen des Organisationsgefüges gerade in diesem Bereich ergaben bestimmte, immer wiederkehrende Prinzipien und Regeln. Sie werden als Allgemeine Verfahrensprinzipien bezeichnet und sind ein Teilbereich der Allgemeinen Technologie.

Eine systematische Ordnung dieser wissenschaftlichen Grundsätze erfolgte wiederum mit einer zweidimensionalen Matrix. Als Bestimmungsgrößen für die Zeileneingänge wird das beabsichtigte Ziel, von Wolffgramm als Funktion bezeichnet, gewählt. Die Bestimmungsgrößen der Spalteneingänge sind die Elemente des technologischen Vorgangs, bei Wolffgramm hier als Wirkungsaspekt oder Betrachtungsaspekt bezeichnet. Alle Funktionen dieser Prinzipien zielen letztlich auf die Reduzierung des ökonomischen Aufwandes in den Produktionsprozessen. Bei einigen Funktionen ist die Qualitätsverbesserung der Produkte das Ziel, was letztlich auch von ökonomischer Bedeutung ist.

Der erste Entwurf zur Systematisierung von Organisations- und Entwicklungsprinzipien 1972 war eine Matrix, die sowohl Prinzipien der Ver-

fahrensführung als auch der Aufwandsminimierung abbildete (siehe Abb. 7). Die weiteren Untersuchungen führten zur Differenzierung der Prinzipien nach ihren Wirkungen im Gesamtprozess und damit zur Gruppenbildung in solche mit vorwiegend maschinen- und anlagentechnischen Gestaltungsmerkmalen und solchen, die auf ökonomische und/oder ökologische Wirkungen zielen bzw. innovative wissenschaftliche Erkenntnisse zur Anwendung bringen sollen.

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
Aufwands- minimierung	Prinzip der maximalen Nutzung des Arbeits- gegenstandes	Prinzip der Verkürzung der technologischen Kette	Prinzip der Minimierung des Aufwandes an technischen Systemen

Abb. 7: System der Allgemeinen Verfahrensprinzipien

Quelle: nach Wolffgramm 1972, S. 34

Mit der zunehmenden Automatisierung der Produktion konnten die Verfahrensprinzipien als eine unabdingbare Gestaltungskomponente empirisch belegt werden. Auf Grund dieser allgemeinen Erscheinung wurden sie in der Techniktheorie als Gesetzmäßigkeit eingestuft und in die Klasse der Funktionsgesetze eingeordnet.

Nicht alle Felder der Matrix waren anfangs ausreichend belegt. Später wurden die Bestimmungsgrößen durch solche erweitert, die zur Intensivierung und Ökologisierung der Prozessabläufe in der Praxis beitragen. Daraus ergaben sich weitere Untersuchungen in allen Bereichen der Wirtschaft, die allgemeine Grundsätze zur wissenschaftlichen Gestaltung von Produktionsprozessen aufdecken sollten. Diese wurden auch als Schlüsseltechnologien, in der nachfolgenden Zeit als Entwicklungstendenzen bezeichnet. Diese Entwicklungstendenzen wurden für fünf Bereiche aufgedeckt:

- Tendenzen, Strategien und Prinzipien der Technologieentwicklung;
- Strategien und technologische Prinzipien der Verfahrensintensivierung;
- Strategien und technologische Prinzipien der rationellen Materialnutzung;

- Strategien und technologische Prinzipien der rationellen Energienutzung;
- Strategien und technologische Prinzipien der Ökologisierung von Produktionsprozessen.

Diese Tendenzen sind Ausdruck des Einflusses aktueller gesellschaftlicher Forderungen.

7 Die Weiterentwicklung der Prinzipien der Produktion

Der Stand der bisherigen Forschungsergebnisse zu den Prinzipien der Produktion war das Thema der Konferenz 1985. Prinzipien der Produktion wurden als Gemeinsamkeiten (Invarianten) bestimmter Klassen von Erscheinungen und Vorgänge der Produktionsprozesse verstanden. Sie sind die Abstraktion konkreter Erscheinungsformen der einzelnen Produktionsprozesse, von ihren Besonderheiten und spezifischen Bedingungen.

"Ihr Aussagenbereich erfasst sowohl die materiell-technischen wie auch die sozial-ökonomischen Komponenten des Produktionsprozesses." (Wolffgramm 1986, S. 15)

Gegenüber dem Bearbeitungsstand von 1968 sind folgende Weiterentwicklungen des Systems der Prinzipien der Produktion sichtbar (siehe Abb. 8):

- Die Zeileneingänge der Bestimmungsgrößen für die materiell-technischen Komponenten wurden um das Strukturelement Arbeitsgegenstand erweitert.
- Die anfänglich ausschließlich ökonomische Komponente wurde in den Zeileneingängen um den sozialen Aspekt Arbeitskraft erweitert.
- Der Spalteneingang Funktion wurde in die Bestimmungsgrößen Organisation und Entwicklung differenziert.

Dieses modifizierte System der Prinzipien der Produktion macht den Weg frei, die Welt der Technik in bisher nicht gekanntem Umfang abzubilden.

Im Bereich der sozial-ökonomischen Komponenten existiert gegenwärtig der größere Forschungsbedarf. Obwohl Wolffgramm hierzu Forschungsarbeit initiiert hat, war es letztlich nicht sein Fach- und Aufgabengebiet.

Syster Faktoren des Produktionsprozesses	Syste Art Art gegen				Komponenten Arbei
Systemaspekte	System der Arbeits- gegenstände	technische Systeme	Technologi- sche Systeme	ökonomische Systeme	Arbeitskraft
Elemente	Arbeitsgegen- stände	technische Gebilde	technologische Vorgänge	ökonomische Relationen	Arbeitsvermögen
Strukturen	Strukturen der Arbeits- gegenstände	Strukturen technischer Systeme	Strukturen technologischer Systeme	Strukturen ökonomischer Syste me	Strukturen des Arbeitsvermögens
Organisation		Verkettungs- prinzipien technischer Systeme	Allgemeine Verfahrens- prinzipien	Prinzipien der Organisation ökonomischer Systeme	Prinzipien der Arbeits- organisation
Entwicklung	E-tendenzen der Arbeits- gegenstände	E-tendenzen technischer Systeme	E-tendenzen technologischer Systeme	E-tendenzen ökonomischer Systeme	E-tendenzen des Arbeits- kräftesystems

Abb. 8: Prinzipien der Produktion oder die Strukturierung der Wissenschaft Polytechnik Quelle: nach Wolffgramm 1986, S. 20

8 Schlussbemerkungen

Wer die Absicht hat, Wolffgramms Werk zusammenzufassen und angemessen zu präsentieren, der steht vor einer sehr schwierigen Aufgabe. Es ist kaum möglich, alle seine Ideen und Arbeitsergebnisse in einem Beitrag zusammenzufassen. Die Autoren haben das in den Vordergrund gestellt, was aus ihrer persönlichen Erfahrung und Sicht das Wesentliche ist. Wir als seine Schüler bitten ihn deshalb um Nachsicht für Unterlassungssünden.

Wolffgramm hat uns ein Instrumentarium in die Hand gegeben, mit dem wir in die Lage versetzt sind, allgemeine technische Bildung auf systematischer wissenschaftlicher Grundlage zu organisieren und zu gestalten. Das bedeutet, dass Jugendlichen ein umfassendes technisches Weltbild vermittelt werden kann – eine unverzichtbare Notwendigkeit des 21. Jahrhunderts. Bis heute ist das in Deutschland leider noch nicht der Fall.

Unter Wolffgramms Regie konnte der Bereich der materiell-technischen Komponenten der Technik weitgehend wissenschaftlich geklärt werden.

Die Bilanz der von ihm betreuten wissenschaftlichen Arbeiten ist stattlich. An der Universität Halle betreute er

- 28 Dissertationen:
- 23 Habilitationen:
- 81 Diplomarbeiten.

An anderen Hochschulen war Horst Wolffgramm bei

- 11 Dissertationen und
- 4 Habilitationen

als Gutachter wirksam.

Literatur

Beckmann, J. (1984): Anleitung zur Technologie [1777]. In: Anleitung zur Technologie. Auswahl u. hg. v. M. Füssel. Hildesheim (reprinta historica didactica, Bd. 6)

Wolffgramm, H. (1968): Grundpositionen des allgemeintechnischen Unterrichts. In: Wolffgramm, H. (Hg): Zu wissenschaftlichen Grundlagen des Polytechnischen Unterrichts. Halle, S. 7–33

Wolffgramm, H. (1972): Wissenschaftliche Grundlagen der Polytechnik. In: Kleinau, M. (Hg.): Zur Lehrerbildung für den polytechnischen Unterricht. Halle (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), S. 3–40

Wolffgramm, H. (1975): Zur Spezifik der technischen Wissenschaften und ihrer Konsequenzen für die Theorie und Methodik des polytechnischen Unterrichts. In: Bösenberg, A. (Hg.):

- Sozialistische Produktion Allgemeinbildung Persönlichkeit. Thesen der Beiträge. Halle (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), S. 7–10
- Wolffgramm, H. (1978): Allgemeine Technologie. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten technologischer Systeme. Leipzig
- Wolffgramm, H. (1980): Gesetze der Technik und ihr Platz im Inhalt der Polytechnischen Bildung. In: Kleinau, M. (Hg.): Sozialistische Produktion Allgemeinbildung Persönlichkeit. III. Konferenz. Halle (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), S. 8–24 (Wissenschaftliche Beiträge 1980 / 21 [E 30])
- Wolffgramm, H. (1982): Der Wissenschaftlich-Technische Fortschritt als Gegenstand des polytechnischen Unterrichts. In: Kleinau, M. (Hg.): Wissenschaftlich-Technischer Fortschritt und polytechnische Bildung. Halle (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), S. 23–35 (Wissenschaftliche Beiträge 1982 / 36 [E 46])
- Wolffgramm, H. (1986): Prinzipien der Produktion Fachwissenschaftliche Grundlage für das polytechnische Profil der Fachausbildung. In: Kleinau, M.; Wolffgramm, H. (Hg.): Prinzipien der Produktion objektive Grundlage des polytechnischen Profils der Fachausbildung. Halle (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), S. 10–25 (Wissenschaftliche Beiträge 1986/11 [E 76])
- Wolffgramm, H. (Hg.) (1989): Schlüsseltechnologien im Überblick. Leipzig (Polytechnische Bibliothek)
- Wolffgramm, H. (1994): Allgemeine Technologie. Teil 1. Hildesheim (Allgemeine Techniklehre, Bd. 1)
- Wolffgramm, H. (1995): Allgemeine Technologie. Teil 2. Hildesheim (Allgemeine Techniklehre, Bd. 2)
- Wolffgramm, H. (1997): Technische Systeme. Teil 1. Hildesheim (Allgemeine Techniklehre, Bd. 3)
- Wolffgramm, H. (1998): Technische Systeme. Teil 2. Hildesheim (Allgemeine Techniklehre, Bd. 4)

[Leicht veränderter Nachdruck aus Hartmann, E.; Theuerkauf, W. E. (Hg.): Allgemeine Technologie und Technische Bildung. Frankfurt/M. 2008, S. 19–34]

Norbert Mertzsch

Der Lebenszyklus von Technologien im Rahmen der Allgemeinen Technologie I

1 Vorbemerkungen

Die systematische Betrachtung aller Phasen des Lebenszyklus ("From cradle to grave") von Technologien und der dazugehörigen Artefakte erfolgt entsprechend der von Klaus Hartmann aufgeführten Phasen des Lebenslaufs von Technologien (vgl. Hartmann 2014). Diese sind:

- Entwurf:
- Aufbau;
- Betrieb;
- Beseitigung.

Aus Sicht der Allgemeinen Technologie sind Lebenszyklusanalysen einer technologischen Anlage geeignet, Technologieschöpfern Hilfestellung bei der Gestaltung einer Anlage zu bieten und dem Betriebspersonal sowie Planern des Rückbaus der Anlage nach Nutzungsende wichtige Hinweise für ihre Aufgaben zu geben.

In diesem Beitrag, der auf einer umfangreicheren Arbeit aus dem Jahr 2017 basiert (vgl. Mertzsch 2017), soll der Schwerpunkt auf folgenden Punkten liegen:

- Inbetriebnahme von Technologien;
- Betrieb von Technologien;
- Außerbetriebnahme und Rückbau von Technologien.

Für die Schaffung neuer technischer Artefakte und ihrer Technologien sprechen vor allem wirtschaftliche Gründe:

- Herstellung eines neuen Produktes;
- Ersatz einer verschlissenen Anlage;
- Nutzung eines neuen Herstellungsverfahrens.

42 Norbert Mertzsch

Auch rechtliche/politische Gründe können für die Inbetriebnahme einer neuen Technologie verantwortlich sein, z. B. wenn die bisher genutzte Technologie nicht mehr zulässig/gewollt ist. Als Beispiel kann der Ersatz von Kern- und Kohlekraftwerken durch von der Politik/Gesellschaft akzeptiertere Formen der Erzeugung von Elektroenergie, z. B. durch Windkraft und Photovoltaik, dienen.

Vor der Erst-Inbetriebnahme und dem Betrieb eines technischen Artefakts liegen die Methoden zur Technologievorbereitung sowie Konstruktion, Bau und Errichtung der notwendigen Technologie. Forschungs- und Entwicklungsmethoden zur Gestaltung von Technologien werden z. B. von Ernst-Otto Reher beschrieben (vgl. Reher 2014). Auf die dafür bedeutsamen Fragen der Kreativität wurde anlässlich des Symposiums "Von der Idee zur Technologie – Kreativität im Blickpunkt" ausführlich eingegangen (vgl. Banse/Mertzsch 2019).

Neben technikwissenschaftlichen Aspekten spielen dabei auch naturwissenschaftliche, geisteswissenschaftliche und ökonomische Aspekte eine große Rolle. Dazu zählen u. a.:

- Bereitstellung der natur- und technikwissenschaftlichen Grundlagen für die Technologie;
- Bereitstellung naturwissenschaftlicher Grundlagen für Grenzwerte zugelassener Emissionen im Boden- und Gewässerschutz sowie Immissionsschutz und Arbeitsschutz sowie die Diskussion und Festlegung dieser Grenzwerte;
- Nachhaltigkeit der Produktion und des Produktes;
- Erreichbarkeit des wirtschaftlichen Erfolges.

Der Technologieentwicklung folgend erfolgen die Schaffung und der Aufbau des technischen Artefakts entsprechend des Standes der natur- und technikwissenschaftlichen Erkenntnisse.

2 Inbetriebnahme von Technologien

Mit der Erst-Inbetriebnahme beginnt der eigentliche Lebenslauf eines technischen Artefakts und damit der dazugehörigen Technologie.

In jedem Fall hat die Inbetriebnahme einer neuen Technologie und im Weiteren deren Betrieb vielfältige Konsequenzen, auch über die eigentlichen technischen/technologischen Schritte zur Inbetriebnahme hinaus, die bei der Planung zu berücksichtigen sind.

Zum einen ist rechtzeitig geeignetes Personal für die in Betrieb zu nehmende Anlage bereitzustellen und zu qualifizieren. Dieses Personal sollte

auch bei allen vorbereitenden Tätigkeiten eingesetzt werden, um so eine für den Betrieb notwendige Anlagenkenntnis zu erwerben. Als Möglichkeiten sind in Betracht zu ziehen, Personal von Vorgängeranlagen bzw. ähnlichen Anlagen umzusetzen oder neueingestelltes Personal in ähnlichen Anlagen zu qualifizieren.

Andererseits sind für die neue Anlage die notwendigen Logistikketten aufzubauen. Dazu gehören vor allem die Versorgung mit Roh- und Hilfsstoffen sowie der Abtransport der Erzeugnisse und deren Vermarktung. Ebenso ist die Versorgung der Anlage mit Energie, Wasser und anderen Medien sicherzustellen. Für entstehende Betriebsabfälle sind Entsorgungswege abzustimmen. Für Nebenprodukte, die in anderen Anlagen als Rohstoffe genutzt werden können, sind entsprechende Nutzungsmöglichkeiten zu erschließen.

2.1 Vorbereitung der Erst-Inbetriebnahme

Die Vorbereitung der Erst-Inbetriebnahme ist ein komplexer Prozess, der viele Facetten aufweist und bereits während der Montage der Anlage beginnen sollte (vgl. Weber 2006, S. 184–263).

Im Rahmen der Vorbereitung einer späteren problemlosen Inbetriebnahme der betreffenden Anlage sind bereits während der Montage der Anlage Kontrollen hinsichtlich einer ordnungsgemäßen Montage durchzuführen, um rechtzeitig Fehler und Mängel zu erkennen und abzustellen. Dabei geht es um Kontrollen der Montagedokumentation und der Bauausführung (z. B. Leitungsführung, eingesetztes Material, Schweißnähte, Einbau von Mess-, Steuer- und Regelungstechnik).

Wie eine Inbetriebnahme ausgeht, wenn so etwas nicht konsequent ausgeführt wird, konnte man an der um Jahre verspäteten Inbetriebnahme des Berliner Flughafens BER sehen.

Nach Abschluss der Montagearbeiten hat eine Reinigung der gesamten Anlage zu erfolgen. Im Weiteren erfolgen dann Funktionsprüfungen aller Anlagenteile. Das betrifft sowohl sämtliche verfahrenstechnische Komponenten wie auch die elektrotechnischen Anlagen und die Prozessleittechnik. Spätestens ab diesem Zeitpunkt ist das spätere Service-Personal des Anlagenbetreibers einzuarbeiten.

Parallel zu den Funktionsprüfungen sind die für den Anlagebetrieb notwendigen Betriebsstoffe in die betreffenden Aggregate zu füllen. Herstellervorgaben sind unbedingt zu beachten (z. B. für Schütthöhen und Mengen). Die Einhaltung der Herstellervorgaben ist zu dokumentieren. Anschließend sind die Reaktoren zu verschließen. Danach sind Adsorbentien bzw. Kataly44 Norbert Mertzsch

satoren, soweit möglich, für den Einsatz vorzubereiten. Zum Befüllen mit Betriebsstoffen gehört auch das Auffüllen von ölführenden Systemen mit Öl. Nach Ausführung vorstehend genannter Arbeiten wird die Anlage verschlossen und es erfolgt eine Dichtheitsprüfung der gesamten Anlage.

Nach bestandener Dichtheitsprüfung ist die Anlage als mechanisch fertiggestellt zu betrachten. Alle Maßnahmen zur Vorbereitung der Inbetriebnahme sind damit abgeschlossen.

2.2 Eigentliche Inbetriebnahme

Ab diesem Zeitpunkt beginnt die eigentliche Inbetriebnahme der Anlage, die letztendlich in den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage übergeht. Bei aller Unterschiedlichkeit der Verfahren und Anlagen können nach Klaus H. Weber für unterschiedliche Anlagen auch hier Gemeinsamkeiten dargestellt werden (vgl. Weber 2006, S. 274–350).

Das Anfahren der Anlage ist der Beginn der Inbetriebnahme der Anlage mit Rohstoffen bis zum Produkt. Die Anlage wird dabei üblicherweise in einen stabilen Teillastbereich gebracht. Ist ein stabiler Anlagenbetrieb erreicht, können kleinere technisch-technologische Mängel behoben und Funktionsprüfungen unter Betriebsbedingungen durchgeführt werden.

Anschließend wird der Durchsatz der Anlage auf Nennlast erhöht. Sind die Parameter des vorgesehenen Normalbetriebs erreicht, erfolgen die vollständige Inbetriebnahme und Optimierung des Prozessleitsystems, die Einstellung der Produktqualität, die Ermittlung und Bilanzierung spezifischer Verbräuche, die Ermittlung von Anlagenmängeln und die Einarbeitung des Betriebspersonals. Läuft die Anlage im Normalbetrieb stabil, werden in der Phase der Erst-Inbetriebnahme die Kapazitätsreserven der Anlage ermittelt sowie Messungen bei verschiedenen Betriebszuständen und Überprüfungen zur späteren Absicherung des Leistungsnachweises der Anlage durchgeführt.

Zur technischen Vorbereitung des Garantieversuchs werden an der Anlage festgestellte Mängel, z. B. an den Ausrüstungen der Anlage, behoben. Anschließend wird die Anlage ohne weitere zusätzliche Zwischenschritte in den Normalbetriebszustand gebracht und der Leistungsnachweis der Anlage erbracht.

Mit der erfolgreichen Durchführung des Leistungsnachweises endet die Erst-Inbetriebnahme der Anlage. Diese geht in das Eigentum des Auftraggebers über und nimmt den Normalbetrieb auf. Um Rechtssicherheit für alle Beteiligten der Erst-Inbetriebnahme einer Anlage zu gewährleisten, sind alle Arbeitsschritte und Abnahmen der Vorbereitung der Inbetriebnahme und der eigentlichen Inbetriebnahme der Anlage zu dokumentieren. Ebenso

sind die Verantwortlichkeiten und Befugnisse für die einzelnen Arbeitsschritte der Erst-Inbetriebnahme klar zu regeln.

3 Betrieb von Technologien

Der Betrieb des technischen Artefakts und der dazugehörigen Technologie beinhaltet nach der Übernahme der Anlage durch den Betreiber vor allem den Normalbetrieb der Anlage. In diesem erfolgt die Herstellung des Produkts, für das die Anlage vorgesehen ist. Er ist entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg der getätigten Investition. Dabei ist die Anlage regelmäßig zu kontrollieren und zu warten. Die Versorgung mit Ausgangsstoffen, Betriebsstoffen und Energie muss ständig gewährleistet sein. Gleiches gilt für den Abtransport des Produktes sowie der Nebenprodukte und Betriebsabfälle.

An- und Abfahrvorgänge werden vorrangig für Kontroll-, Wartungs- und Reparaturmaßnahmen ausgeführt, die nicht bei laufendem Betrieb erfolgen können. Diese sind dann unter Beachtung wesentlicher Maßnahmen, die auch bei der Erstinbetriebnahme auszuführen sind, durchzuführen. In diese planmäßigen Anlagenstillstände sind dann auch Erneuerungen von Betriebsstoffen und gegebenenfalls von Adsorbentien bzw. Katalysatoren einzuordnen.

Abfahrvorgänge können auch bei Betriebsstörungen, die einen Normalbetrieb nicht mehr gewährleisten, erfolgen, denen sich dann die entsprechenden Reparaturen anschließen. Um solche Betriebsstörungen möglichst gut zu beherrschen, setzen Betreiber großer verfahrenstechnischer und energietechnischer Anlagen für diese Trainingssimulatoren ein (vgl. z. B. Hentschel 2000; SKW 2020a).

Um den Betrieb einer Anlage über einen möglichst langen Zeitraum zu gewährleisten, werden nach Ernst-Otto Reher für laufende Anlagen in vielen Fällen ausgeführt (vgl. Reher 2014):

- Betriebsforschung und -entwicklung;
- Substitution technologischer Elemente (Rationalisierungsmaßnahmen);
- Kapazitätserweiterungen durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Als Beispiel für eine ständige Modernisierung eines technischen Artefakts innerhalb seiner Lebensdauer können die 1973/1974 errichteten Ammoniakanlagen am Chemiestandort Piesteritz dienen. So wurde bereits in den 1980er Jahren durch umfangreiche Anlagenänderungen eine Leistungssteigerung um 10 % bei gleichem Erdgasverbrauch erreicht. Ebenso wurde das Prozessleitsystem von analog auf digital umgestellt (vgl. Lenz 2015). Nach weiteren Rationalisierungsmaßnahmen, die 2017 abgeschlossen wurden,

46 Norbert Mertzsch

kann mit weiter verringertem Energieeinsatz mehr Ammoniak produziert werden (vgl. SKW 2020b).

Während des Betriebes einer Anlage und in Instandhaltungszeiten sind ständig die für den Anlagenbetrieb geltenden Anforderungen aus Genehmigungen und Vorschriften einzuhalten. Änderungen in diesen Bereichen können sich auf den Anlagenbetrieb nachhaltig auswirken (z. B. Nachrüstpflichten in den Bereichen Arbeitsschutz, Gewässerschutz oder Immissionsschutz).

Auch bei zukünftigen Industrie 4.0-Anwendungsszenarien ist die Sicherheit der Beschäftigten beim Betrieb von Anlagen und in der Instandhaltung in jedem Fall zu gewährleisten. Dazu müssen auf Grund des hohen Vernetzungsgrades neben den bisher berücksichtigten sicherheitstechnischen Aspekten der funktionalen Sicherheit in verstärktem Maße die industrielle Angriffssicherheit (Security) sowie deren Wechselwirkungen untereinander betrachtet werden (vgl. Kasper/Voss 2018).

4 Außerbetriebnahme und Rückbau von Technologien

Die dauerhafte Außerbetriebnahme und der anschließende Rückbau einer technologischen Anlage beenden den Lebenslauf eines technischen Artefakts und damit der dazugehörigen Technologie (vgl. Fratzscher 2008).

Für die dauerhafte Außerbetriebnahme einer Technologie und den Rückbau der technischen Anlagen gibt es vielfältige Gründe. Die wichtigsten werden sein:

- Wirtschaftliche Gründe, z. B.:
 - Das erzeugte Produkt ist nicht mehr verkaufbar;
 - das Produkt kann durch innovative Technologien kostengünstiger hergestellt werden;
 - Geschäftsaufgabe des Unternehmens;
- technische Gründe, z. B.:
 - Die Anlage hat ihre geplante Lebensdauer erreicht und eine Modernisierung lohnt nicht;
 - die Anlage hat sich nicht bewährt;
- rechtliche/politische Gründe, z. B.:
 - Die rechtlichen Anforderungen an den Betrieb haben sich soweit geändert, dass eine Nachrüstung wirtschaftlich nicht vertretbar ist;
 - politische Entscheidungen machen eine Außerbetriebnahme zwingend (z. B. im Bereich der Kerntechnik und der Kohleverstromung).

In jedem Fall haben die dauerhafte Außerbetriebnahme und der Rückbau einer technischen Anlage vielfältige Konsequenzen, auch über die eigentliche Maßnahme hinaus, die bei der Planung des Vorhabens zu berücksichtigen sind.

Zum einen ist zu klären, wie das bisher für die Anlage zuständige Personal weiter einzusetzen ist. Als Möglichkeiten sind in Betracht zu ziehen die Beschäftigung beim Rückbau der Anlage (dieser Weg wird in der Kerntechnik vielfach gegangen), die Qualifizierung für den Betrieb einer möglichen Nachfolgeanlage oder Umsetzung zu einer anderen Aufgabe im Betrieb. Im Fall einer anstehenden Betriebsaufgabe kann auch als letzte Konsequenz die Entlassung der Mitarbeiter stehen.

Zum anderen ändern sich alle bestehenden Logistikketten. Die Versorgung mit Rohstoffen sowie der Abtransport der Erzeugnisse entfallen für den Standort der Anlage. Die Versorgung der Anlage mit Energie, Wasser und anderen Medien wird nicht mehr benötigt. Ebenso entfallen Betriebsabfälle oder Nebenprodukte, die in anderen Anlagen als Rohstoffe genutzt wurden. Bestehende Wartungsverträge für die Anlage bzw. Anlagenteile sind rechtzeitig zu kündigen.

4.1 Außerbetriebnahme

Während die Pflichten der Betreiber von Anlagen für die Inbetriebnahme und den Betrieb durch die Betriebssicherheitsverordnung (vgl. BetrSichV 2015) festgelegt sind, werden an die dauerhafte Außerbetriebnahme keine konkreten Anforderungen gestellt, obwohl hierbei zum Schutz der Arbeitnehmer und der Umwelt die gleichen Anforderungen zu stellen sind.

Für erlaubnis- und genehmigungsbedürftige Anlagen können jedoch die zuständigen Behörden konkrete Anforderungen an die Betreiber stellen (vgl. BbgWG 2017; BImSchG 2016). In jedem Fall ist die Außerbetriebnahme einer genehmigungspflichtigen Anlage bei der zuständigen Behörde anzuzeigen.

Für Kernkraftwerke, deren Errichtung und Betrieb nach dem Atomgesetz genehmigt wurde, ist auch die dauerhafte Außerbetriebnahme genehmigungbedürftig (vgl. AtG 2020).

Die dauerhafte Außerbetriebnahme einer Anlage für den Rückbau wird als Überführung der Anlage aus dem Dauerbetriebszustand/Nennzustand in einen Endzustand definiert. Die Anlage wird kalt gefahren, drucklos gemacht und entleert (vgl. Weber 2006, S. 339). Das Entleeren der Anlage betrifft nicht nur Einsatzstoffe, Zwischenprodukte und Endprodukte, sondern auch Betriebsmedien wie Wärmeübertrager und Öle. Mit dem Ab-

48 Norbert Mertzsch

schluss der Arbeiten muss der Nachweis erbracht werden, dass der Rückbau der Anlage gefahrlos möglich ist.

Bei allen Unterschieden von technischen Anlagen lässt sich für die dauerhafte Außerbetriebnahme eine zu verallgemeinernde Verfahrensweise ableiten:

- Beendigung des Leistungsbetriebes;
- Kaltfahren und drucklos machen der Anlage; dabei gegebenenfalls weitere Vorbereitungen zur Entleerung (z. B. Oxidation von Katalysatoren, Ausführung von Dekontaminationen);
- Entleerung der Anlage (Entfernung von Betriebsmedien, Einsatzstoffen, Zwischenprodukten, Endprodukten, Katalysatoren oder Kernbrennstoffen);
- Spülung von Rohrleitungen und Behältern in Vorbereitung auf den Rückbau.

Diese Maßnahmen, die im Rahmen der dauerhaften Außerbetriebnahme einer Anlage durchzuführen sind, sind im Vorfeld genau zu planen, damit diese möglichst effektiv durchgeführt werden können.

4.2 Rückbau

Beim Rückbau von technischen Anlagen ist aufgrund der notwendigen Einbeziehung von Aspekten des Arbeitsschutzes, der Ökologie und der Ökonomie immer der Einfluss der naturalen, sozialen und humanen Dimension der Technologie gegeben (vgl. Reher/Banse 2008), so dass sich bei aller Unterschiedlichkeit der Anlagen ein allgemeiner Verfahrensablauf beschreiben lässt. Die entsprechenden Arbeitsschritte sind:

- Planung der Rückbautätigkeit;
- Rückbau der technischen Anlage und der Gebäude;
- Entsorgung der Abfälle.

Um den Rückbau einer technischen Anlage effizient zu gestalten, sollten die Anforderung des Rückbaus bereits bei der Planung neuer Anlagen Berücksichtigung finden. Das ist bisher noch nicht verwirklicht, da bisher immer der optimale Anlagenbetrieb im Focus stand.

Am Anfang der Planung der Rückbauarbeiten steht die Ermittlung aller zu erwartenden Gefährdungen (vgl. Rehtanz 1994). Verantwortlich für die Durchführung dieser Arbeiten ist der Bauherr.

Abbruch- und Rückbauarbeiten gehören zu den gefährlichsten Tätigkeiten, die im Baugewerbe ausgeführt werden (vgl. Gabriel et. al. 2010). Ab-

brucharbeiten sind deshalb nur von erfahrenen Fachleuten unter sachkundiger Leitung auszuführen. Um Personal für solche Arbeiten zu qualifizieren, wurde der Beruf "Bauwerksmechaniker/in für Abbruch und Betontrenntechnik" als dreijähriger anerkannter Ausbildungsberuf in der Industrie eingeführt.

Die Planung von Arbeiten zum Rückbau technischer Anlagen hat die Anforderungen der verschiedensten Rechtsgebiete, wie z. B. Arbeitsschutzrecht und der verschiedenen Gebiete des Umweltschutzrechtes, zu erfüllen. Um den Rückbau einer technischen Anlage unter Beachtung aller gesetzlichen Anforderungen ausführen zu können, müssen Auftraggeber, Planer und Auftragnehmer aller Maßnahmen eng zusammenarbeiten. Auf der Basis dieser Erkenntnisse ist dann die Vorgehensweise beim Rückbau zu planen. Diese ist in einer schriftlichen Abbruchanweisung festzuhalten (vgl. DGVU Vorschrift 38, 2020), in der für jeden Rückbauschritt die anzuwendende Technologie, alle notwendigen Sicherheitsmaßnahmen sowie die Entsorgungswege festgelegt sind.

Für den Rückbau technischer Anlagen stehen umfangreiche Abbruchverfahren zur Verfügung, die entsprechend der vorliegenden Einsatzbedingungen ausgewählt werden (vgl. Toppel 2003).

Dem Rückbau der betroffenen Anlage schließt sich in viele Fällen eine Sanierung des Standortes an, da besonders bei älteren Anlagen schädliche Bodenveränderungen nicht auszuschließen sind (vgl. BBodSchG 2017).

Literatur

AtG (2020): Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz – AtG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Art. 239 V v. 19.06.2020 I 1328. – URL: https://www.gesetze-im-internet.de/atg/BJNR008140959.html

Banse, G.; Mertzsch, N. (Hg.) (2019): Von der Idee zur Technologie – Kreativität im Blickpunkt. Berlin (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 138)

BbgWG (2017): Brandenburgisches Wassergesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 02. März 2012, GVBl. I/12 Nr. 20, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 04.12.2017. – URL: https://bravors.brandenburg.de/gesetze/bbgwg

¹ Vgl. https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index;BERUFENETJSESSIONID= vrUACfLU4IcFEQQeNcxkLwnbIH15ky6BtzLiQ0zXMKpzpE_FV0fZ!1225561035?path= null/suchergebnisse/kurzbeschreibung&dkz=27304&such=bauwerksmechaniker.

BBodSchG (2017): Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 3 der Verordnung vom 27.09.2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist. – URL: https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BBodSchG.pdf

- BetrSichV (2015): Betriebssicherheitsverordnung BetrSichV –. Gültig ab 01. Juni 2015. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/betrsichv 2015/index.html
- BImSchG (2019): Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830) zuletzt geändert durch Gesetz vom 08.04.2019 (BGBl. I S. 432) m. W. v. 12.04.2019. URL: https://dejure.org/gesetze/BImSchG
- DGVU Vorschrift 38 (2020): Unfallverhütungsvorschrift Bauarbeiten. Gültig ab 01. April 2020. URL: https://www.bgbau.de/fileadmin/Medien-Objekte/Medien/DGUV-Vorschrif ten/38 BGV C22 /38.pdf
- Fratzscher, W. (2008): Technikwissenschaften und Technologie. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin 2008, S. 127–135 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)
- Gabriel, St.; Hofert, R.; Steinborn, V. (2010): Arbeitsschutz bei Abbrucharbeiten. Hg. v. d. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Dortmund. URL: https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A22.pdf? blob=publicationFile&v=1
- Hartmann, K. (2014): Technologien Elemente der Produktionssphäre. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 51–82 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)
- Hentschel, G. (2000): Kernkraftwerk Rheinsberg. In: Liewers, P.; Abele, J.; Barkleit, G. (Hg.): Zur Geschichte der Kernenergie in der DDR. Frankfurt/M., S. 163–220
- Kasper, B.; Voss, S. (2018): Neue Anforderungen an die Sicherheitsnachweisführung von Maschinen und Anlagen im Kontext von Industrie 4.0. In: sicher ist sicher, Nr. 09, S. 368–371
- Lenz, L. (2015): Die Entwicklung der Ammoniakerzeugung in Mitteldeutschland eine Erfolgsgeschichte. In: SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH (Hg.): 100 Jahre Chemiestandort Piesteritz Prozesse und Produkte. Lutherstadt Wittenberg, S. 129–158
- Mertzsch, N. (2017): Lebenslauf technischer Artefakte und dazugehöriger Technologien. In: Fleischer, L.-G.; Meier, B. (Hg.): Technik & Technologie – techne cum episteme et commune bonum. Berlin, S. 147–164 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 131)
- Reher, E.-O. (2014): Forschungs- und Entwicklungsmethoden zur Gestaltung von Technologien. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 83–128 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)
- Reher, E.-O.; Banse, G. (2008): Der Einfluss der naturalen, sozialen und humanen Dimension der Technologie auf den Prozess-Stufenmodul der Materialtechnik mit dem Ziel der Herausbildung einer allgemeinen Prozesstechnik. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 71–103 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 99)
- Rehtanz, H. (1994): Arbeits- und Umweltschutzanforderungen bei Rückbau, Demontage und Abriß von gefahrstoffbelasteten Industrieanlagen. In: Umwelttechnik FORUM, Jg. 9, Nr. 3, S. 14

- SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH (2020a): Entwicklung des Chemiestandortes Piesteritz. Piesteritz. URL: https://www.skwp.de/unternehmen/unternehmensprofil/historie/
- SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH (2020b): Wir modernisieren unsere Anlagen ständig. Piesteritz. – URL: https://www.skwp.de/unternehmen/investitionen/in-ein-modernes-unternehmen/
- Toppel, C. O. (2003): Technische und ökonomische Bewertung verschiedener Abbruchverfahren im Industriebau. Darmstadt. URL: http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/epda/000439/dissertation.pdf
- Weber, K. H. (2006): Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen. Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen. Berlin u.a.O.

Der Lebenszyklus von Technologien im Rahmen der Allgemeinen Technologie II

Lebenszyklen und Zeitdimension

Die Betrachtung von Lebenszyklen bedeutet immer auch die Berücksichtigung der Zeit-Dimension (siehe Abb. 1). Damit ist zunächst ein (genereller) Zeitbezug als grundsätzliche Bindung von (technischen) Vorgängen an die Zeitdimension gemeint (etwa Dynamik; Veränderung, Entwicklung; Geschwindigkeit, Tempo; Beschleunigung, Verlangsamung). Erfasst ist damit prinzipiell auch ein möglicher Zeitverlust (z. B. bei Entscheidungen, Wirksamwerden von Maßnahmen).

Der Zyklus von Technologien kann einerseits als (geplanter, planvoller, zielgerichteter, ...) Ablauf, andererseits als lediglich "zeitabhängiges" Ge-

Herstellung

- Planung (Forschung, Entwicklung, Konstruktion)

- Erprobung
 Produktion
 Produktionsplanung
 Fertigung & Montage (inkl. aller Zulieferungen)
 Vertrieb
 Verwendung
 Inbetriebnahme
 Betrieb/Nutzung
 Außerbetriebnahme/Stilllegung
 Außerbetriebnahme/Stilllegung

Abb. 1: Phasen des Lebenszyklus technischer Sachsysteme Eigene Darstellung

schehen verstanden bzw. interpretiert werden. ¹ Lebenszyklen in der Technik können "kurzzeitig" (Tage oder Wochen) sein, zumeist sind sie "mittelzeitig" (Jahre oder Jahrzehnte), aber auch "langzeitig" (Jahrhunderte oder mehr). Diese Zeit-Dimension hat auch Einfluss auf die Möglichkeit umfassender Lebenszyklusanalysen und -bewertungen. Nun geht es aber bei der Zeit-Dimension nicht nur um die Gesamtdauer eines Lebenszyklus, sondern wichtig und deshalb zu beachten sind weitere zeitliche Aspekte, die hier lediglich unkommentiert aufgelistet seien (zumal sie in den nachfolgenden Beiträgen in unterschiedlicher Weise thematisiert werden):

(a) Zeitpunkt

- des Auftretens bzw. Eintretens bestimmter Faktoren, Bedingungen, Situationen usw.;
- des Wirksamwerdens bestimmter technischer Lösungen, rechtlicher Regelungen, ökonomischer Mechanismen usw.;
- des Erkennens bestimmter Phänomene, Zusammenhänge, Beziehungen usw.;
- des Formulierens bestimmter Ziele, Optionen, Präferenzen usw.;
- des Zusammentreffens ereignisauslösender Ursachen;
- einer Entscheidung (als Abbruch von kognitiven, normativen, prozeduralen und kommunikativen Akten).

(b) Zeit,, lauf"

- als Zeitdauer
 - Grundlage für die Wahrnehmung, Identifizierung, Analyse, Bewertung usw. von (tatsächlichen oder möglichen) Handlungsfolgen;
 - Bedingung für die "Evolution" von Folgen (z. B. von Produktionsergebnissen) oder ereignisauslösender Faktoren (z. B. Gewöhnung, Kumulation);
 - Moment des "Folgen-Managements" (z. B. Training, Limitierung, rechtliche Regelungen);

¹ Letzteres zeigt sich häufig in bzw. bei Pannen, Havarien oder gar Unfällen im Bereich der Technik, denn dann "wird vor allem der Verlust von Kontrolle über solche Zusammenhänge erfahren, deren Beherrschung man angenommen hatte" (Vester 1988, S. 746). Bisher nicht bekannte oder bislang unberücksichtigt gebliebene Eigenschaften und Verhaltensweisen von Systemen und ihren Elementen, Randbedingungen für Funktionsfähigkeit und Betriebssicherheit, ungeprüfte oder unüberprüfbare Annahmen hinsichtlich Funktionszusammenhängen oder Belastungsfähigkeiten (etwa in extremen Situationen) sowie Inkompatibilitäten im Mensch-Maschine-System werden im Unfall schlagartig aktualisiert, mit teilweise nicht beherrschbaren Abläufen.

- als Zeitspanne (z. B. Entwicklungszeit, Projektdauer, Reaktionszeit, Stabilität eines Systems);
- als Zeitverlauf (z. B. in Form kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Abläufe, zunehmender oder abnehmender Aktivitäten, kumulierender oder synergetischer Effekte);
- als Zeitfenster (bewusst oder unbewusst zeitlich begrenzter "Ausschnitt" der "Wirklichkeit", z. B. als Planungs"horizont");
- als Zeit*rhythmus* (z. B. im Zusammenhang mit periodischen Prozessen –
 z. B. Wartung oder menschlichen Fehlleistungen);
- als Zeitdruck (z. B. im Rahmen von Handlungsabläufen bei Projektierungs- und Montagephasen).

(d) Zeit,, gestaltung"

"Kalkulation" bzw. (bewusste) "Beeinflussung" zukünftiger Ereignisse oder deren Folgen auf der Basis vergangener (beobachteter, analysierter, …) Ereignisse und ihrer Folgen, theoretischer Einsichten und Erwägungen sowie vermuteter (möglicher) zukünftiger Effekte.

(e) (individuelle) Eigenzeit

"Hintergrund" für die Wahrnehmung und Einordnung von Ereignissen, die Planung von Notwendigem, die Wertung von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft usw. (auch als "Zeit*gefühl*" und "Zeit*verständnis*").

Soweit kurz zur (mehr oder weniger formalen) Zeitdimension bei Lebenszyklus-Analysen. Führt man diese zum "Assessment" weiter, beinhalten sie (auch) (Technik-)Bewertungen als mehr oder weniger systematisches und weitgehend umfassendes Erfassen (Beschreiben) und Beurteilen (Bewerten) der Voraussetzungen sowie der Nutzungs- und Folgedimensionen (Wirkungen) technisch instrumentierten Handelns unter gesellschaftlichen, politischen, ökonomischen, ökologischen, technischen, wissenschaftlichen, militärischen und humanen (einschließlich ethischen) Aspekten in praktischer Absicht und nachvollziehbarer Weise (vgl. VDI 1991).

2 Technikbewertung

Technikbewertung ("Technology Assessment", Technikfolgenabschätzung, Technikfolgenbeurteilung)² umfasst

² Ausgangspunkt ist die angelsächsische Begriffsbildung "Technology Assessment", die zu Beginn der neunzehnhundertsiebziger Jahre in den USA zur Kennzeichnung eines Kon-

(1) die themen- und entscheidungsorientierte "Bündelung" des verfügbaren Wissens;

- (2) das Erkennen von Technisierungsfolgen für das individuelle und soziale Leben einschließlich der Behandlung dabei auftretender kognitiver Probleme;
- (3) die Beurteilung dieser Technisierungsfolgen hinsichtlich ihrer Akzeptabilität (Wünschbarkeit) einschließlich der Behandlung dabei auftretender normativer Fragestellungen.³

Unterstellt ist dabei, dass Technikfolgen stets Folgen des technikgestützten Handelns unterschiedlicher Handlungssubjekte, Akteure sind, und dass es angesichts der quantitativen wie qualitativen Dimension dieser Technikfolgen gerechtfertigt ist, sie – möglicherweise im Unterschied zu anderen Effekten sozialen Handelns – einer spezifischen systematischen Denkbemühung in Form von TA zu unterziehen.

Technikbewertung versucht, zwei miteinander verbundenen (weil aufeinander bezogenen) Anliegen gerecht zu werden (vgl. Gethmann/Grunwald 1996, S. 12ff.): *erstens* die entscheidungsbezogene Erstellung einer Zusammenschau sowohl des aktuellen technischen Entwicklungsstandes, der vorhandenen Handlungsoptionen und ihrer mutmaßlichen Effekte sowie deren Bilanzierung als auch möglicher (gesellschafts-)politischer Aus- und Rückwirkungen (politisches Rahmenkonzept), der nur entsprochen werden kann, wenn *zweitens* sowohl die Komplexität moderner Technik (einschließlich ihrer Folgen) und deren Umgebung als auch beider Wechselbeziehungen und abseh- bzw. abschätzbarer zukünftiger Veränderung in einer Problem angemessenen Weise Rechnung getragen wird (systemanalytischer Anspruch).

zepts der wissenschaftsgestützten Politikberatung im Bereich der technischen Entwicklung eingeführt wurde. Die Übersetzung mit "Technikfolgen-Abschätzung" ist insofern nicht "exakt", da "Technology" auch Technik ohne eine scharfe Abgrenzung zu den Naturwissenschaften bedeutet, und "Assessment" auch rationale Beurteilungsprozeduren nahe legt. Im deutschen Sprachgebrauch hat sich (wohl nicht sehr glücklich) "Technikfolgenabschätzung" weitgehend durchgesetzt; diese Benennung ist nach wie vor aber u. a. auch deshalb in der Diskussion, weil (m. E. kurzschlüssig) aus der Begriffsbildung und -verwendung auf konzeptionelle Grundlegungen (vor allem Einengungen) geschlossen wird.

³ Im Arbeitskreis "Allgemeine Technologie" wurde vor diesem Hintergrund der "technologische Trichter" eingeführt, mit dem visualisiert wird, dass jede technische Entwicklung einen Bewertungs- und Selektionsprozess durchläuft, in dem sukzessive die komplexe Frage zu beantworten ist, ob das, was naturwissenschaftlich möglich, technisch-technologisch realisierbar und ökonomisch machbar ist, sich auch als gesellschaftlich wünschenswert und durchsetzbar, ökologisch sinnvoll sowie human vertretbar erweist (vgl. näher dazu Banse/Reher 2004, S. 6f.).

In der VDI-Richtlinie 3780 "Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen" werden Werte ausgewiesen, die als Bewertungskriterium und Anforderungsstrategie für technisches Handeln entscheidend sind (vgl. VDI 1991). Werte sind mehrstellige Relationen, die die Bedeutung von Sachverhalten für den Menschen bestimmen. Sie kommen in Wertungen zum Ausdruck und sind bestimmend dafür, dass etwas anerkannt, geschätzt, verehrt oder erstrebt (bzw. abgelehnt, verachtet oder nicht erstrebt) wird; sie dienen somit zur Orientierung, Beurteilung oder Begründung bei der Auszeichnung von Handlungs- und Sachverhaltsarten, die es anzustreben, zu befürworten oder vorzuziehen (bzw. auszuschließen) gilt. Der Inhalt eines Wertes kann aus Bedürfnissen hervorgehen. Er konkretisiert sich insbesondere in Zielen, Kriterien und Normen. Genannt werden folgende Werte ("Werte-Oktogon"), die jeweils weiter differenziert werden können (siehe Abb. 2):

- Funktionsfähigkeit;
- Sicherheit;
- Gesundheit:
- Umweltqualität;
- Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich);
- Wohlstand (gesamtwirtschaftlich);
- Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität.

Diese Werte bzw. Bewertungskriterien sind mit Blick auf den jeweils zur Diskussion stehenden Technikbereich zu konkretisieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es zwischen ihnen neben "Folgebeziehungen" und "Gleichgerichtetheit" vielfältige Konkurrenzbeziehungen und Priorisierungen gibt, die darauf verweisen, dass jeweils Abwägungen vorzunehmen sind, die subjektiv unterschiedlich gewertet werden (können) (siehe Abschnitt 4). Zudem geht es um die Operationalisierung bzw. (generelle) Operationalisierbarkeit dieser Werte mittels geeigneter Indikatoren (vgl. exemplarisch zum "Wert Sicherheit" Belyová/Banse 2013, S. 26ff.).

Der Nutzer der "Methode" Technikfolgenabschätzung ist mit mindestens folgenden drei Problemen konfrontiert (vgl. auch Grunwald 2002):

- das Wissensproblem: Wie kann das erforderliche Wissen über politische, rechtliche, ökonomische, soziale u. a. Rahmenbedingungen, über Konsumentenverhalten, über Techniknutzung und -folgen (Langzeitarchivierung!) u. ä. generiert werden?
- das Bewertungsproblem: Wie ist die erforderliche multikriterielle, dimensionenübergreifende Bewertung realisierbar, welche Konsense und Dissense über Kriterien und deren Hierarchie sind zu berücksichtigen?

- das Umsetzungsproblem: Wie kann Akzeptanz für und die Realisierung von (neuen) Technologien, die gesellschaftliche wie individuelle Zielstellungen befördern können, erreicht werden?

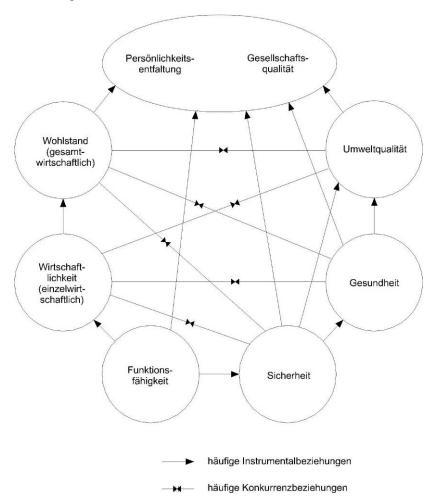


Abb. 2: Kriterien der Technikbewertung

Quelle: VDI 1991

3 Ökologische Bewertungen

In der oben genannten Richtlinie zur Technikbewertung ist "Umweltqualität" ein relevanter Wert. ⁴ Dieser nimmt in seiner Bedeutung zu (Stichworte: Klimawandel, Klimaneutralität). Für ökologische Analysen und Beurteilungen stehen mehrere – zum Teil standardisierte – Methoden ("Werkzeuge") zur Verfügung, die hier nicht ausführlich(er) dargestellt werden können (vgl. näher Hauptmann/Majschak 2017, S. 103ff.). Hervorgehoben seien insbesondere:

- Lebenszyklus-Analyse (LCA) oder Öko-Bilanzierung: systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges ("from cradle to grave", "von der Wiege bis zur Bahre");
- ökologischer Fußabdruck: erfasst alle Ressourcen, die für den Alltag benötigt werden, zeigt auf, wie viel Fläche benötigt wird, um all die Energie und Rohstoffe zur Verfügung zu stellen, und vergleicht das mit der verfügbaren Fläche;
- CO₂-Fußabdruck: Menge an CO₂-Emissionen, die direkt oder indirekt durch Aktivitäten von Personen oder Lebensstadien von Produkten in einer bestimmten Zeit entstehen bzw. verursacht werden (z. B. Organisations-, Gebäude-, Transport-, Produkt-bezogen);
- Wasser-Fußabdruck: Wassermenge, die von Personen (etwa Einwohnern eines Landes) beansprucht oder für die Herstellung von Produkten genutzt wird; unterschieden werden "grünes Wasser" (aufgenommenes und wieder verdunstetes), "blaues Wasser" (verbraucht und nicht wieder zurückgeführt) und "graues Wasser" (genutzt und verschmutzt abgegeben);
- "Ökologischer Rucksack": "Vergleichsmaßstab, mit dem der Naturverbrauch eines Produkts bei der Rohstoffgewinnung, der Weiterverarbeitung bis zum funktionstüchtigen Gegenstand, bei dessen Gebrauch und seiner Entsorgung berechnet werden kann"⁵ bzw. "Menge an Ressourcen, die bei der Herstellung, dem Gebrauch und der Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung verbraucht werden".⁶

Die Anwendung dieser "Werkzeuge" ist indes mit mehreren Problemen verbunden. Genannt seien:

 Die Unsicherheit der genutzten Datenbasis (insbesondere durch den Rückgriff auf Durchschnittswerten aus Datenbanken, durch das Alter

⁴ Dieser Abschnitt basiert auf Banse 2020.

⁵ http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/umwelt/mobilfunkendgeraete [22.01.2020].

⁶ https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96kologischer Rucksack [22.01.2020].

von Daten, durch Messunsicherheiten, durch die Vertrauenswürdigkeit und Vergleichbarkeit von Quellen sowie durch die Verfügbarkeit und Änderung der Bewertung von Daten hinsichtlich ihrer Relevanz innerhalb des Lebenszyklus).

- Die Subjektivität von Systemgrenzen und Bewertungen (insbesondere durch [differierende] Präferenzen bzw. Priorisierungen, unterstellte [und oftmals nicht explizierte] Werthierarchien sowie darauf basierenden Abwägungen).
- Nichtberücksichtigung sozialer Implikationen (infolge der Schwierigkeit ihrer Erfass- und Messbarkeit).
- Die Nichtabschätzbarkeit und der nachfolgenden Nichtberücksichtigbarkeit von Wirkungen "höherer" Ordnung, von Langzeit- sowie von kumulativen oder synergetischen Effekten.

Der Umgang mit diesen Schwierigkeiten führt zu Kompromissen und suboptimalen Lösungen. "Eigentlich" bedarf es für Lebenszyklus-Analysen und -Bewertungen eines umfassende(re)n multifaktoriellen Ansatzes, in den neben ökologischen, ökonomischen, sozialen, politischen, kulturellen, ethischen u. a. Überlegungen und Bewertungen auch emotionale Aspekte (vgl. z. B. Ganthaler et al. 2009) in angemessener Weise einzubeziehen sind. Das können die vorhandenen Methoden nicht leisten. Aber: Es gibt derzeit keine besseren! Und: Sie bilden trotzdem eine wichtige Grundlage für wissen (-schaft)sbasierte Entscheidungen und Handlungen.

4 Abwägungen

Wenn relevante Werte miteinander konkurrieren können, dann zwingt das dazu, zwischen ihnen abzuwägen – ein Verfahren, dass methodisch bislang wenig aufbereitet ist, aber nicht "intuitiv" erfolgen sollte.⁷ Es ist analog der Güterabwägung, die aus den Rechtswissenschaften bzw. der Rechtspraxis bekannt ist. Güterabwägung

"ist eine Methode der Konfliktlösung. Bei Kollisionen zwischen Rechtsgütern wird dem höherrangigen Rechtsgut(wert) der Vorrang gegenüber dem niederrangigen gegeben. [... Es wird] nichts darüber aus(gesagt), nach welchen Maßstäben festgestellt werden soll, welches Gut das höherwertige ist." (Lexikon 1987)

Güterabwägung ist somit eine Methode, die immer dann angewendet werden muss, wenn ein Mensch vor einer unausweichlichen Entscheidung steht und dabei zwei oder mehr gleichwertige "Güter" in Konkurrenz zueinander

⁷ Vgl. n\u00e4her Banse 2018, S. 85ff.

stehen, d. h. nicht gleichzeitig verwirklicht werden können und somit eine Kollision vorliegt. Um dabei Willkürlichkeiten oder "Bauchgefühle" weitgehend auszuschließen, bemüht sich die Ethik um begründete Vorgehensweisen. Dabei ist zweierlei zu berücksichtigen:

- "Wo Güter miteinander konkurrieren [...] werden, um zu sicheren und konsensfähigen Entscheidungen zu gelangen, für den Abwägungsprozeß neben den maßund richtungsgebenden Prinzipien und Kriterien allgemein handhabbare Vorzugsregeln und Abwägungsmaximen benötigt." (Feldhaus 1993, S. 693)
- "Von vergleichsweise höherem oder niederem Gewicht können Prinzipien [...]
 nicht unabhängig von ihrer Relation im Verhältnis zu einem spezifischen Abwägungsproblem sein. [...] Es handelt sich [...] wenigstens um eine dreistellige
 Relation zwischen dem Sachproblem und den konfligierenden Prinzipien." (Somek 1998, S. 1)

Dabei wird – bewusst oder unbewusst – nach Regeln verfahren:

"Es geht um Unterscheidungen, die sich auf die möglichen Ausmaße der jeweiligen inkaufzunehmenden Nebenwirkungen beziehen und aufgrund derer sich entsprechende Vorzugsregeln formulieren lassen." (Feldhaus 1993, S. 693)

Zugleich gilt:

"Eine Abwägung von Prinzipien ist dann allgemein akzeptabel, wenn sie auf einer allgemein akzeptablen Abwägungsregel basiert. [...] Eine Abwägungsregel enthält die Bedingungen, nach denen sich das relative Gewicht konfligierender Prinzipien bestimmt." (Somek 1998, S. 5)

Dabei könnten die traditionellen ethischen "Abwägungsstrategien" Laxismus, Probabilismus, Probabiliorismus und Rigorismus bzw. Tutorismus (vgl. z. B. Summa 1957, S. 214ff.), die in der modernen – formalisierten – Entscheidungstheorie kaum explizit Berücksichtigung finden, für komplizierte Güterabwägungsprozesse sowie für unterschiedliche Entscheidungsdimensionen und -situationen sinnvoll genutzt werden, da sie das Verhalten in Wahlsituationen transparenter und nachvollziehbarer machen (können). Erweitert geht es um das Verhältnis von Wahlmöglichkeit ("Freiheit" der Entscheidung) und Festlegung durch ein Prinzip – Verbot, Gebot, "Gesetz".

5 Exemplarisches: Handy / Smartphone

Am Beispiel des Smartphones seien exemplarisch ökologische "Impacts" in ihrer Vielgestaltigkeit gezeigt. ⁸ Um diese erfassen und bewerten zu können, bietet sich eine "Bestandsaufnahme" entlang der oben genannten Lebens-

⁸ Dieser Abschnitt basiert auf Banse 2020.

phasen technischer Produkte ("technische Ontogenese") an. Da bei Smartphones offensichtlich deren Nutzung den Fokus bildet, ihre tatsächliche "Allgegenwart" (durch fast habitualisierte Nutzungspraxen und -muster), bietet es sich an, folgende drei Phasen im Lebenszyklus zu unterscheiden: (1) die Prae-Nutzung, (2) die (eigentliche) Nutzung (einschließlich Wartung) und (3) die Post-Nutzung. (Sie entsprechen prinzipiell den Phasen "Herstellung", "Verwendung" und "Auflösung" aus Abbildung 1, bringen aber eine spezifizierte Sichtweise ein.)

In der Phase der *Prae-Nutzung* sind Ressourcenbereitstellung und -verbrauch, Energieverbrauch, (mögliche) Toxizität, Raum- und Gebäudebedarf sowie Transportbedarf (Entfernungen) wichtige Einflussgrößen. Für die Phase der *Nutzung/Wartung* sind Energie- und Materialverbrauch, Nutzungsdauer von Produkten, Nutzungsmuster, direkte und indirekte Induktionssowie Reboundeffekte relevant. In der Phase der *Post-Nutzung* sind der Transport-, Energie- und Platzaufwand sowie die (mögliche) Toxizität in ihrer Bedeutsamkeit zu berücksichtigen. Leider ist die Datenlage nicht sehr umfangreich und nur bedingt aussagefähig. Aus den folgenden Zahlen und Zitaten zu den drei Phasen lässt sich aber die Problematik zumindest erahnen, vor allem vor dem Hintergrund der Produktion, Verbreitung und Nutzung von Mobiltelefonen:

- Produktion bzw. Absatz weltweit⁹: 2010 ca. 300 Mio. Stück, 2018 ca.
 1,4 Mrd. Stück;
- 1,4 Mrd. Stück;

 Nutzer weltweit 10: 2016 rund 2,5 Mrd., 2019 rund 3,2 Mrd.;
- Nutzer (Anschlüsse) in Deutschland: 2014 ca. 38 Mio., 2018 ca. 55 Mio.;
- im Jahr 2018 betrug die durchschnittliche Nutzungszeit in Deutschland etwa 177 Minuten pro Tag. ¹²

(1) Prae-Nutzung

 Ressourcenbereitstellung und -verbrauch: Generell ist zu bedenken, dass die Anzahl der industriell genutzten Metalle in den zurückliegenden 100 Jahren enorm zugenommen hat, auch durch die Mobiltelefon-Produk-

⁹ Vgl. https://de.statista.com/themen/581/smartphones/ [22.01.2020].

Vgl. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/309656/umfrage/prognose-zur-anzahl-dersmartphone-nutzer-weltweit/ [22.01.2020].

¹¹ Vgl. https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-02/Bitkom-Pressekonferenz%20Smart phone-Markt%2020%2002%202019%20Pr%C3%A4sentation_final.pdf [20.01.2020].

¹² Vgl. https://app-entwickler-verzeichnis.de/app-news/2-market-trends/672-infografik-smart phone-handynutzung-in-deutschland- [22.01.2019].

tion. In einem Smartphone (Gewicht etwa 110 g) sind u. a. etwa 56 % Kunststoff, 16 % Glas und Keramik sowie 25 % Metalle, darunter ca. 305 mg Silber, ca. 30 mg Gold und ca. 11 mg Palladium, enthalten. ¹³

"In einem durchschnittlichen Smartphone werden um die 70 verschiedene chemische Elemente verbaut, viele der in den Smartphones genutzten Substanzen stammen aus Schwellen- und Entwicklungsländern. Ihre Herstellung ist in den allermeisten Fällen energieaufwändig und verursacht in den betroffenen Regionen starke ökologische Probleme. Vor allem der Abbau von Seltene Erden – eine Gruppe von Metallen, ohne denen in den Smartphones gar nichts geht – ist äußerst problematisch: Sie müssen zunächst aus den Erzen, in denen sie sich als Beimengung befinden, durch aufwendige Trennverfahren separiert werden."¹⁴

Energieverbrauch, Toxizität, Raum- und Gebäudebedarf, Transportbedarf (Entfernungen):

"Insbesondere Chips und Leiterplatten zu fertigen ist aufwendig und dadurch energie- und ressourcenintensiv. Bei der Produktion dieser Elemente können ebenfalls giftige Chemikalien ins Abwasser gelangen. Auf den meist weiten Transportwegen wird viel Energie verbraucht, was zu hohen Treibhausgasemissionen führt – etwa um die fertigen Telefone von Asien nach Europa zu transportieren."¹⁵

(2) Nutzung/Wartung

Energieverbrauch, Nutzungsdauer von Produkten: Zu beachten sind die drei "Energieverbraucher" erstens das eigene Endgerät, zweitens die Daten- und Rechenzentren mit ihren Servern und Kühlaggregaten sowie drittens die Kommunikationsnetze inklusive Mobilfunkstationen und Internet-Routern. Deshalb benötigt ein Smartphone in seiner (vernetzten) Nutzung 20 Mal so viel Energie und CO₂, wie das eigentliche Gerät braucht; ¹⁶ jährlich entfallen auf jeden Nutzer direkt (Batterieladen und Rechenzentren!) ca. 50 kWh, indirekt (W-LAN und Mobilfunknetz) nochmals ca. 50 kWh Elektroenergie. Und: Verbraucher wechseln ihr Handy nach 18 bis 24 Monaten.

¹³ http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/umwelt/mobilfunkendgeraete/herstellung [22.01.2020].

¹⁴ Vgl. https://gruenkraft.design/webdesignblog/oekobilanz-negativ-die-dunkle-seite-der-smart phones/ [22.01.2020].

¹⁵ https://www.wissenschaftsjahr.de/2012/die-rohstoff-expedition/die-rohstoff-expedition/lebenszyklus-eines-handys.html [22.01.2020].

¹⁶ Vgl. https://www.zdf.de/nachrichten/heute/smartphones-2040-groesste-klimakiller-100.html [22.01.2020].

¹⁷ Vgl. http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/umwelt/mobilfunkendgeraete/nutzung [22.01.2020].

Nutzungsmuster, direkte und indirekte Induktions- sowie Reboundeffekte: Viele "Onlinekonzerne [tun] so ziemlich alles [...], um uns möglichst viel und oft ins Netz zu holen"; ¹⁸ das Streamen von Online-Videos verursacht 300 Mio t CO₂-Ausstoß jährlich (das entspricht 1 % der globalen Emission); in den USA, in China, Großbritannien, Japan und Deutschland nutzen bis zu 70 % der Bevölkerung Online-Handel (vgl. WBGU 2019, S. 178); Umwelteffekte hängen auch mit Verpackung und Transport (generelle Zunahme und suboptimale Zustellungen!) der Lieferungen sowie mit verändertem Freizeit-, Konsum- und Kaufverhalten ("fast fashion") zusammen.

(3) Post-Nutzung (Deponierung, Zerlegung, Recycling)

- Generell ist von einer Wertsteigerung des elektronischen Abfalls (a) durch die steigende Menge von elektronischen Geräten, (b) durch die kürzere Produktlebensdauer (sowohl durch physische als auch durch "symbolische" Obsoleszenz, d. h. durch unterschiedliche Formen des "Veraltens") und (c) durch die steigende Anzahl verwendeter, hochwertiger Metalle auszugehen (vgl. dazu Müller 2014);
- die Menge an Elektroschrott belief sich im Jahr 2016 weltweit auf 44,7 Mio. t, und für 2021 wird mit einem Anstieg auf 52,2 Mio. t gerechnet; vom globalen Elektroschrott werden nur 20 % gesammelt und recycelt (in Europa ein Drittel), 4 % sind Hausmüll, der Verbleib des Rests ist unbekannt (möglicherweise illegal deponiert, exportiert und/ oder recycelt) (vgl. WBGU 2019, S. 185).

Schlussfolgernd ergibt sich aus diesen Fakten, dass der gesamte Lebenszyklus eines Smartphones mit einem gewichtigen, aber für den Nutzer weitgehend verborgen bleibenden "ökologischen Rucksack" verbunden ist, denn für ein ca. 80 Gramm schweres Mobiltelefon beispielsweise setzt er sich wie folgt zusammen:

Rohstoffgewinnung: 35,3 kg;

Produktion: 8,2 kg;
Nutzung: 31,7 kg;
Entsorgung: 0,1 kg. 19

18 https://blog.wdr.de/digitalistan/bildschirmzeit-so-viel-zeit-verbringst-du-am-handy/ [22.01.2020].

¹⁹ Vgl. http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/umwelt/mobilfunkendgeraete [21.01. 2020] – allerdings scheint der für "Entsorgung" angegebene Anteil meines Erachtens zu niedrig zu sein.

Das hier nur kurz und exemplarisch Dargelegte belegt bereits eindringlich die Notwendigkeit wie die Sinnhaftigkeit von Lebenszyklusanalysen und -bewertungen, mithin Betrachtungen "From Cradle to Grave" – auch und gerade im Bereich der Allgemeinen Technologie.

6 Fazit

- 1. Lebenszyklus-Betrachtungen, -Analysen und -Bewertungen sind ein wichtiges "Werkzeug" zur Beurteilung und zum Vergleich von technischen Sachsystemen (Artefakte und Technologien).
- 2. Die Beurteilung ist auf der Grundlage unterschiedlicher Kriterien möglich (und notwendig!): ökonomisch, ökologisch, räumlich (lokal regional global), zeitlich, Kompetenz-basiert, ...
- Zu berücksichtigen sind neben erkenntnistheoretisch-methodologischen Schwierigkeiten vor allem individuelle Wahrnehmungs- und Beurteilungsmechanismen, soziale Kommunikations- und Entwicklungsprozesse sowie politische Handlungs- und Entscheidungsmuster.
- 4. Relevanz haben dafür bzw. dabei auch die "typischen" Schwierigkeiten jeder Technikfolgenbeurteilung z.B. in Form des Prognose-, Pluralismus-, Werte-, Interdisziplinaritäts- und Realisierungs-Dilemmas (vgl. näher dazu Banse 2018, S. 83; Banse/Friedrich 1996).

Literatur

- Banse, G. (2018): Dilemma der Gesellschaft unter wissenschaftlich-philosophischen Gesichtspunkten. Ernährung und Energie Nutzung der Wertstoffe Nutzung nachwachsender Rohstoffe. In: Banse, G.; Fleischer, L.-G. (Hg.): Energiewende 2.0 im Fokus Bewährtes, Problematisches, Notwendiges, Kontroverses –. Berlin, S. 79–93 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 47)
- Banse, G. (2020): IKT und NE (k)eine "Harmonie a priori"?! In: Erdmann, J.; Egbert, B. (Hg.): Menschliche Praktiken und Beziehungen in der mediatisierten Welt Wandel, Nachhaltigkeit und Verantwortung. Berlin, S. 87–108 (e-Culture / Cultural Diversity and New Media, Bd. 27)
- Banse, G.; Friedrich, K. (1996): Sozialorientierte Technikgestaltung Realität oder Illusion? Dilemmata eines Ansatzes. In: Banse, G.; Friedrich, K. (Hg.): Technik zwischen Erkenntnis und Gestaltung. Philosophische Sichten auf Technikwissenschaften und technisches Handeln. Berlin, S. 141–164
- Banse, G.; Reher, E.-O. (2004): Einleitung. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 5–16 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 75)

Belyová, L.; Banse, G. (2013): Sicherheit und Sicherheitskultur. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Technik – Sicherheit – Techniksicherheit. Berlin, S. 21–31 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 116)

- Feldhaus, St. (1993): Ethische Einflüsse in Entscheidungssituationen. In: atomwirtschaft, Oktober, S. 692–696
- Ganthaler, H.; Neumaier, O.; Zecha, G. (Hg.) (2009): Rationalität und Emotionalität. Wien, Münster
- Gethmann, C. F.; Grunwald, A. (1996): Technikfolgenabschätzung: Konzeptionen im Überblick. Bad Neuenahr-Ahrweiler (Europäische Akademie) (Graue Reihe, H. 1)
- Grunwald, A. (2002): Technik nachhaltig gestalten Herausforderung für die Technikfolgenabschätzung. In: Berg, Chr. Tulbure, I.; Charbonnier, R. (Hg.): Folgenabschätzungen – Resonanzen zum 65. Geburtstag von Michael F. Jischa. Clausthal (Forum Clausthal), S. 101–113
- Hauptmann, M.; Majschak, J.-P. (2017): Die Rolle der Nachhaltigkeit in der Konsumgüterproduktion, ihre Einschätzung und Kommunikation am Beispiel der Verpackungstechnik. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Technologie und nachhaltige Entwicklung. Berlin, S. 99–129 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 130)
- Lexikon (1987): Güterabwägung. In: Münchner Rechts-Lexikon. Bd. 2: G-Q. München, S. 306
- Müller, A. (2014): Urban Mining von elektronischem Abfall Herausforderungen aus der Sicht eines Geologen. – URL: https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2014/04/12-Mueller.pdf [21.01.2020]
- Somek, A. (1998): Abwägungsregeln. Schritte zu einer egalitären Rekonstruktion der grundrechtlichen Güterabwägung. Wien 1998 (Vienna Working Papers in Legal Theory, Political Philosophy, and Applied Ethics, No. 5). URL: http://www.univie.ac.at/juridicum/[01.09.2005]
- Summa (1957): Summa theologiae moralis. Vol. I: De Principiis. Bearb. v. G. Heinzel. Oeniponte
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (1991): VDI-Richtlinie 3780 "Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen". Düsseldorf, März
- Vester, H.-G. (1988): Die wiederkehrende Vergänglichkeit von Katastrophen. In: Universitas. Zeitschrift für Wissenschaft, Kunst und Literatur, Jg. 43/Heft 7, S. 745–756
- WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2019): Unsere gemeinsame digitale Zukunft. Hauptgutachten. Berlin (WBGU)

Gerhard Pfaff

Der Lebenszyklus von Technologien am Beispiel der Entwicklung und Produktion von Effektpigmenten

1 Produkt- und Technologielebenszyklus

Der Produktlebenszyklus ist ein Marktreaktionsmodell, das die Absatz- und Umsatzentwicklung eines neu eingeführten Produktes über einen bestimmten Zeitraum beschreibt. Einführungen von neuen Produkten am Markt beginnen in der Regel mit der Phase der Produktentwicklung, an deren Ende meist ein Prototyp des Zielproduktes steht. Für die Phase der Produktentwicklung, aber auch der Markteinführung hat sich ein konsequentes Projektmanagement bewährt. Beide Phasen stehen am Beginn des Lebenszyklus eines Produktes.

Der Produktlebenszyklus kann durch die Phasen

- Produktentwicklung (Projektmanagement),
- Markteinführung (Projektmanagement),
- Wachstum,
- Reife,
- Sättigung und
- Rückgang des Umsatzes (letzter Teil des Produktlebenszyklus)

beschrieben werden. Abbildung 1 zeigt schematisch die einzelnen Phasen des Lebenszyklus eines Produktes.

Es wird deutlich, dass nach den Phasen der Produktentwicklung, der Markteinführung, des Wachstums und der Reife die Phase der Sättigung einsetzt. In dieser Phase kommt es oft zu einem Produkt-Relaunch, um ein Produkt noch über einen längeren Zeitraum profitabel zu vermarkten. Bereits in der Phase der Sättigung setzt häufig auch schon die Entwicklung eines Nachfolgeproduktes ein. In der letzten Phase des Produktlebenszyklus wird im besten Fall schon das Nachfolgeprodukt am Markt eingeführt. Schließlich wird das Produkt vom Markt genommen (Marktaustritt), während sich das Nachfolgeprodukt bereits in der Wachstumsphase befindet.

68 Gerhard Pfaff

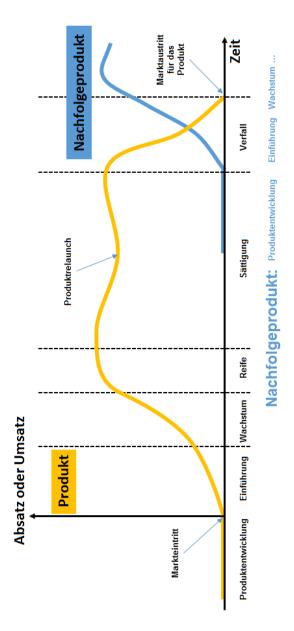


Abb. 1: Phasen des Produktlebenszyklus unter Einbeziehung der Ablösung eines Produktes durch ein Nachfolgeprodukt

Quelle: https://www.business-wissen.de/kapitel/produktlebenszyklus-planen/

Die Lebenszyklen von Produkten und Technologien stehen in engem Zusammenhang, beginnend von der Produktentwicklung bis zum Marktaustritt des Produktes. Drei Fälle sind zu unterscheiden:

- Produktneuentwicklungen, bei denen vorhandene Technologien verwendet werden können;
- 2. Produktneuentwicklungen, bei denen vorhandene Technologien in modifizierter Form verwendet werden können;
- Produktneuentwicklungen, bei denen eine neue Technologie entwickelt werden muss.

Die Verwendung einer Technologie in bereits genutzter oder modifizierter Form ist oft von Vorteil. Bei der Entwicklung, Einführung und Nutzung von Technologien sind unterschiedliche Faktoren zu berücksichtigen. Dazu zählen

- Anforderungen an die Qualität des Produktes sowie an die Herstellkosten:
- Bereitstellung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie deren Verbrauch, Energieverbrauch, CO₂-Fußabdruck, Transportaufwendungen;
- Umweltwirkungen (umweltrelevante Gewinnung von Ressourcen, Entsorgung und Weiterverwendung von Nebenprodukten, Emissionen, Fragen der Toxizität);
- Weiterverwendung der Technologie für andere Produkte, Recycling, umweltgerechte Entsorgung, Rückbau, Nachnutzung der Anlagen und des Standorts.

Bei der Entwicklung von neuen Effektpigmenten spielen alle hier genannten Faktoren eine wichtige Rolle. Das trifft auch für alle anderen Farbmittel (Pigmente und Farbstoffe) zu. In jedem Fall wird zunächst geprüft, ob vorhanden Technologien genutzt oder gegebenenfalls modifiziert werden können, bevor die Entwicklung einer neuen Technologie initiiert wird.

2 Pigmente: Grundlagen und technische Bedeutung

Pigmente sind aus Teilchen bestehende, im Anwendungsmedium praktisch unlösliche Substanzen, die als Farbmittel oder wegen ihrer korrosionshemmenden oder magnetischen Eigenschaften verwendet werden. Sie unterscheiden sich dadurch von den ebenfalls zu den Farbmitteln zählenden Farbstoffen, die in Anwendungsmedien löslich sind. Zu den Anwendungsmedien gehören vor allem Auto- und Industrielacke, Anstrichstoffe, Kunststoffe, Druckfarben, kosmetische Formulierungen und Baustoffe.

70 Gerhard Pfaff

Eine besonders große technische Bedeutung besitzen anorganische Pigmente. Mehr als 96 % aller Pigmente sind anorganischer Natur. Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung zum Weltmarkt für Pigmente, die in dekorativen Anwendungen eingesetzt werden. Die produzierte Gesamtmenge liegt bei weit über 10 Mio. Tonnen. Mit mehr als 50 % der hergestellten Menge haben Titandioxid-Pigmente (Weißpigmente) die größte Bedeutung. Besondere technische Wichtigkeit haben auch Eisenoxid-Pigmente (Gelb-, Rot- und Schwarzpigmente), Zinkoxidpigmente (Weißpigmente) und Ruß-Pigmente (Schwarzpigmente). Organische Pigmente haben demgegenüber eine geringere Bedeutung, da sie häufig weniger stabil und in der Herstellung kostenintensiver sind. Viele andere Pigmente, darunter auch die Effektpigmente, erreichen Produktionsmengen, die unter 1 Mio. Tonnen liegen (vgl. Pfaff 2017).

Tab. 1: Weltmarkt für Pigmente (dekorative Anwendungen) für das Jahr 2019

Pigment-Klasse	Produzierte Menge pro Jahr (t)	%
Titandioxid-Pigmente	6.300.000	54,9
Eisenoxid-Pigmente	1.600.000	13,9
Zinkoxid-Pigmente	1.400.000	12,2
Ruß-Pigmente	1.000.000	8,7
Zinksulfid-Pigmente	250.000	2,2
Organische Pigmente	350.000	3,1
Chromoxid-Pigmente	100.000	0,9
Bismutvanadat-Pigmente	90.000	0,8
Komplexe anorganische Buntpigmente	60.000	0,5
Bleichromat-Pigmente	40.000	0,4
Eisenblau-Pigmente	40.000	0,4
Ultramarin-Pigmente	60.000	0,5
Cadmium-haltige Pigmente	10.000	0,1
Metalleffektpigmente	85.000	0,7
Spezielle Effektpigmente (Perlglanzpigmente)	85.000	0,7
	11.470.000	100,0

Eigene Darstellung – geschätzt nach Angaben aus Fachzeitschriften wie Farbe + Lack, European Coatings Journal und aus Smithers-Rapra Reports

Pigmente haben häufig sehr lange Produkt- und Technologielebenszyklen. Industrielle anorganische Pigmente werden heute noch zum großen Teil nach Verfahren hergestellt, die bereits im 19. und frühen 20. Jh. entwickelt und eingeführt wurden. Die Technologien wurden und werden dabei zwar im Laufe der Zeit modifiziert und modernisiert, beruhen aber grundsätzlich auf den bei der Einführung der Synthesen genutzten Prozessen. Als Beispiele können hier die heute genutzten großtechnischen Verfahren zur Herstellung von Titandioxid-Pigmenten und Eisenoxid-Pigmenten genannt werden:

Titandioxid: (TiO ₂ , Weißpigment)	Sulfatverfahren	1915
Titandioxid: (TiO ₂ , Weißpigment)	Chloridverfahren	1960
Eisen(III)-oxid: (α-Fe ₂ O ₃ , Rotpigment)	Röstverfahren	1880
Eisen(III)-oxidhydroxid: (α-FeOOH, Gelbpigment)	Penniman-Verfahren	1917
Eisen(III)-oxidhydroxid: (α-FeOOH, Gelbpigment)	Laux-Prozess	1925

Nur bei der Entwicklung neuer Effektpigmente gab es in den letzten 30 Jahren auch Technologieneuentwicklungen, die einen Durchbruch erreicht haben. Diese wurden erforderlich, da die angestrebten neuen Farb- und Glanzeffekte mit vorhandenen Technologien nicht mehr darstellbar waren (vgl. Pfaff 2019).

3 Produkt- und Technologielebenszyklen bei speziellen Effektpigmenten

Pigmente werden in unterschiedlicher Weise in Klassen eingeteilt. Eine häufig genutzte Klassifizierung ist die in Weißpigmente, Buntpigmente, Schwarzpigmente, lumineszierende Pigmente, funktionelle Pigmente und Effektpigmente (vgl. Pfaff 2017). Die vom menschlichen Auge wahrgenommene Erscheinung eines Pigmentes (Farbe, Glanz, irisierender Effekt, Farb-Flop) geht auf die Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung aus dem sichtbaren Spektralbereich mit den Pigmentteilchen zurück. Abbildung 2 stellt diese Wechselwirkung anhand von Pigmentteilchen, die in ein Anwendungsmedium eingebettet sind, vergleichend dar. Spezielle Effektpigmente (Perlglanzpigmente, Interferenzpigmente), Metalleffektpigmente, Buntpig-

72 Gerhard Pfaff

mente (Absorptionspigmente) und Weißpigmente sind dabei mit ihrer jeweils spezifischen Wechselwirkung mit sichtbarem Licht gegenübergestellt. Spezielle Effektpigmente und Metalleffektpigmente unterscheiden sich in ihrer Teilchengröße und ihrer Teilchenform signifikant von Buntpigmenten und Weißpigmenten. Sie bestehen aus plättchenförmigen Partikeln, deren Durchmesser meist im Bereich von 5 bis 100 μm liegt. Die Dicke der Plättchen beträgt typischerweise 0,2 bis 0,6 μm. Buntpigmente, Weißpigmente, aber auch Schwarzpigmente besitzen dagegen eher gleichmäßig geformte Partikel im Durchmesserbereich von 0,05 bis 1,0 μm.

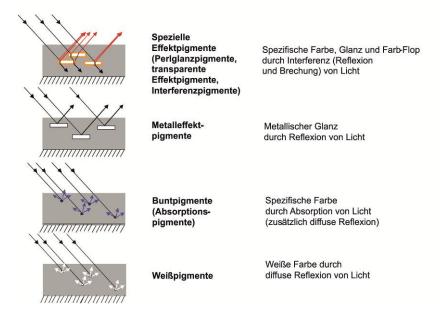


Abb. 2: Optische Wechselwirkung von sichtbarem Licht mit Teilchen verschiedener Pigmentklassen in einem Anwendungsmedium, z. B. in einem Lack

Quelle: Pfaff 2019

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich auf spezielle Effektpigmente, die in Bezug auf Produkt- und Technologielebenszyklen grundlegende Ähnlichkeiten zu anderen Pigmenten aufweisen, die sich aber in vieler Hinsicht auch von jenen unterscheiden. Die industrielle Herstellung von speziellen Effektpigmenten geht auf die Zeit um 1900 zurück. Über viele Jahr-

zehnte trugen die Pigmente die Bezeichnung "Perlglanzpigmente", da sie in ihren Anwendungen den Glanz natürlicher und künstlicher Perlen nachahmen können. Die weitere Entwicklung dieser Pigmentklasse führte aber auch zu Produkten, die sich weniger durch Perlglanz als durch farbchangierende oder kristallähnliche Effekte auszeichnen. Daher wird heute vorwiegend die Bezeichnung "Spezielle Effektpigmente" anstelle von "Perlglanzpigmente" verwendet. Zur Unterscheidung von den lichtundurchlässigen Metalleffektpigmenten (vorwiegend Aluminium-, Kupfer- und Kupfer/Zink-Plättchen) wird teilweise auch die Bezeichnung "transparente Effektpigmente" benutzt. Zusätzlich verwendet man auch die Bezeichnung "Interferenzpigmente", da viele der optischen Effekte dieser Pigmente auf dem Phänomen der Interferenz beruhen.

Abbildung 3 zeigt die unterschiedlichen, bei speziellen Effektpigmenten vorkommenden Strukturprinzipien (vgl. Pfaff 2017). Grundsätzlich können die plättchenförmigen Pigmentteilchen aus einem optisch homogenen Material ("Einschichter", substratfreies Pigment) oder aus Schicht-Substrat-Strukturen ("Mehrschichter", Monoschicht-Pigment oder Multischicht-Pigment) bestehen. Substratfreie Pigmente bestehen aus einem optisch hochbrechenden Material, während Schicht-Substrat-Pigmente aus optisch hochbrechenden und niedrigbrechenden Materialien aufgebaut sind. Auf diesen Strukturen beruht die Wechselwirkung mit sichtbarem Licht, die für das menschliche Auge in Form von Glanz sowie von irisierenden und changierenden Farbeffekten zum Ausdruck kommt (vgl. Pfaff 2007).

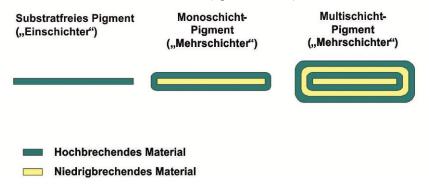


Abb. 3: Unterschiedliche Strukturprinzipien bei speziellen Effektpigmenten Ouelle: Pfaff 2017

74 Gerhard Pfaff

3.1 Natürliches Fischsilber

Natürliches Fischsilber, das eine Brechzahl von etwa 1,8 aufweist, ist das erste industriell erzeugte Perlglanzpigment. Es gehört wie basisches Bleicarbonat und Bismutoxidchlorid zu den klassischen Perlglanzpigmenten, die ihrer Struktur nach zu den substratfreien Pigmenten ("Einschichter") zählen. Bereits um 1900 wurde das Pigment hergestellt. Bei der Produktion isoliert man die natürlich vorkommenden Proteine Guanin und Hypoxanthin in Form dünner Plättchen aus den Schuppen von Weißfischen (Hering, Ukelei, Sardine). Für die Herstellung von 2 kg Pigment benötigt man etwa 100 Tonnen Fisch. Wichtige Prozessschritte sind das Entschuppen der Weißfische, das Herstellen einer wässrigen Schuppensuspension, das Auswaschen der Schuppensuspension mit organischen Lösungsmitteln, der Transfer der Schuppen von der wässrigen in die organische Phase, das Extrahieren der Pigmentkristalle mit organischen Lösemitteln und das Überführen der Pigmentpartikel in Nitrocellulose. Natürliches Fischsilber kommt nur in Form von Suspensionen mit meist 22 bis 25 % Feststoffgehalt unter dem Namen "Perlessenz" oder "Essence d'Orient" in den Handel (vgl. Pfaff 2007).

Natürliches Fischsilber wurde vor allem im Zeitraum von 1900 bis 1950 in der Kosmetik vermarktet. Die Technologie zur Herstellung des Pigmentes blieb über den Produktlebenszyklus unverändert. Entscheidend dafür, dass das sich natürliches Fischsilber nach 1950 am Markt kaum noch absetzen ließ, waren folgende Faktoren: aufwändige Technologie, damit verbunden hohe Herstellkosten und ein hoher Preis, Stabilitätsprobleme in verschiedenen Anwendungsmedien außerhalb der Kosmetik, Markteinführung von neuen Perlglanzpigmenten, die auf Basis verbesserter Technologien hergestellt werden konnten und attraktivere Effekte ermöglichten.

3.2 Basisches Bleicarbonat

Basisches Bleicarbonat (Pb(OH)₂ • 2PbCO₃) mit einer Brechzahl von etwa 2,0 stellt man als Perlglanzpigment in Form dünner Plättchen durch Einleiten von Kohlendioxid in verdünnte Bleiacetatlösung und unter Einhalten geeigneter Reaktionsparameter her (vgl. Pfaff 2007):

$$3Pb^{2+} + 2CO_2 + 4H_2O \rightarrow Pb(OH)2 \cdot 2PbCO_3 + 6H^+$$
 (1)

Produktion und Vermarktung von Perlglanzpigmenten auf Basis von basischem Bleicarbonat erfolgten vorwiegend im Zeitraum von 1950 bis 2000. Einzelne Hersteller in Asien produzieren die Pigmente bis heute, während sich fast alle anderen Produzenten auf Grund des Bleigehaltes und der damit verbundenen Toxizität aus dem Geschäft mit basischem Bleicarbonat zu-

rückgezogen haben. Die Technologie zur Herstellung der Pigmente, die gut beherrschbar ist, blieb über den gesamten Produktlebenszyklus nahezu unverändert. Im Gegensatz zur Produktion von natürlichem Fischsilber gibt es bei der Synthese von basischem Bleicarbonat kein Herstellkostenproblem. Neben der mit dem Bleigehalt verbundenen Zulassungsproblematik für mehr und mehr Anwendungen spielte beim Marktaustritt der Pigmente vor allem eine Rolle, dass neue, nichttoxische Perlglanzpigmente in der zweiten Hälfte des 20. Jh.s als Nachfolgeprodukte auf den Markt drängten.

3.3 Bismutoxidchlorid

Bismutoxidchlorid (BiOCl) mit einer Brechzahl von 2,15 ist neben natürlichem Fischsilber und basischem Bleicarbonat das dritte klassische Perlglanzpigment. Bei Zugabe von Salzsäure zur wässrigen Lösung eines Bismutsalzes kristallisiert unter geeigneten Reaktionsbedingungen BiOCl in Form dünner Plättchen aus (vgl. Pfaff 2007):

$$Bi^{3+} + HCl + H_2O \rightarrow BiOCl + 3H^+$$
 (2)

Die Produktion und Vermarktung von BiOCl-Effektpigmenten begann etwa 1960 und dauert seither an. Die Technologie zur Herstellung der Pigmente, die gut beherrschbar ist, blieb über den bisherigen Lebenszyklus unverändert. Die Herstellkosten der Pigmente sind vergleichsweise hoch, stellen aber kein ernstes Problem dar. Ein Nachteil der BiOCl-Pigmente ist die geringe Fotostabilität, die für viele Anwendungen, vor allem im Außenbereich, nicht ausreicht.

3.4 Metalloxid-Glimmerpigmente

Mit der Produktion und Markteinführung von Metalloxid-Glimmerpigmenten begann um 1970 die Zeit der Schicht-Substrat-Pigmente ("Mehrschichter"). Die ersten dieser neuartigen Effektpigmente bestanden aus Glimmerplättchen, die mit einer dünnen Schicht von Titandioxid umhüllt waren. Bis heute stellen Pigmente mit diesem Aufbau die wichtigste Gruppe der speziellen Effektpigmente dar. Die TiO₂-Schichten besitzen Dicken im Bereich von 50 bis 250 nm. Die Dicke dieser Schichten bestimmt die Interferenzfarbe der Pigmente (vgl. Pfaff 2007). Der Glimmer als Substratmaterial ist niedrigbrechend (Brechzahl 1,5 bis 1,6), während das Titandioxid hochbrechend ist (die Brechzahlen für die beiden relevanten TiO₂-Modifikationen betragen 2,5 für Anatas und 2,7 für Rutil). Anstelle von TiO₂ kommen auch andere hochbrechende Metalloxide wie α-Fe₂O₃, Fe₃O₄, Cr₂O₃ als Schichtmaterialien in Betracht.

76 Gerhard Pfaff

Bei der Synthese der Metalloxid-Glimmerpigmente wird zumeist natürlicher Glimmer (Muskovit) eingesetzt. Seit einigen Jahren kommt auch synthetischer Glimmer (Fluorophlogopit) zum Einsatz. Die folgenden Prozessschritte spielen bei der Synthese der Pigmente eine wichtige Rolle:

- Mahlen (mechanisches Spalten) des Glimmers in dünne Plättchen;
- Klassieren der Glimmerplättchen (Zerlegen in Kornfraktionen);
- Herstellen einer wässrigen Glimmersuspension;
- Beschichten der suspendierten Glimmerplättchen mit Titandioxidhydrat oder einem anderen Metalloxidhydrat durch Zugabe einer Metallsalzlösung und Natronlauge;
- Filtrieren, Waschen und Trocknen der beschichteten Glimmerplättchen;
- Kalzinieren der getrockneten Plättchen, dabei Umwandeln des Metalloxidhydrates in das Metalloxid sowie Fixieren des gebildeten Metalloxides auf der Glimmeroberfläche.

Am Beispiel der TiO₂-Abscheidung auf Glimmer lassen sich die beiden wichtigsten Prozessschritte wie folgt formulieren:

$$TiOCl_2 + 2 NaOH + H_2O + Glimmer \rightarrow TiO_2-Hydrat/Glimmer + 2 NaCl$$
 (3)

$$TiO_2-Hydrat/Glimmer \rightarrow TiO_2/Glimmer + H_2O$$
 (4)

Reaktion (4) findet bei Temperaturen im Bereich von 700 bis 1.000 °C statt. Am Ende des Prozesses liegt das Pigment in Form von mit TiO₂ beschichteten Glimmerplättehen vor.

Die Produkt- und Technologielebenszyklen dieser Pigmentgruppe reichen von der ersten Markteinführung und der damit verbundenen Produktion bis heute. Die Technologie zur Herstellung wurde in den letzten 50 Jahren immer wieder modifiziert und verbessert. Die technologischen Weiterentwicklungen betrafen vor allem die Glimmer-Technologie (Mahl- und Klassiertechnik), die Beschichtung (Sulfatverfahren, Chloridverfahren) sowie die Qualitätskontrolle (Farbmesstechnik, Analytik). Im Laufe der Jahrzehnte ist es gelungen, die Herstellkosten so zu senken, dass Pigmentpreise möglich wurden, die für die meisten der Kunden vertretbar sind. Die Technologie ist grundsätzlich gut beherrschbar. Eine Herstellkostensenkung ist aber weiterhin wichtig, da sich die Pigmente im Lebenszyklus am Übergang von Hochleistungspigmenten zu Commodities befinden und ein kontinuierlicher Preisdruck besteht.

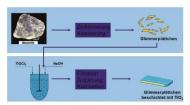
Die Suche nach neuen Effekten, die mit Metalloxid-Glimmerpigmenten nicht mehr zugänglich sind, führte zu Produktneuentwicklungen auf Basis anderer Substratmaterialien. Die wichtigsten in den letzten 20 Jahren hinzu-

gekommenen Effektpigmente basieren auf Siliciumdioxid, Aluminiumoxid und Borosilikatglas. Diese drei Materialien eignen sich in Form dünner Plättchen (Flakes) in gleicher Weise wie Glimmer als Substrat für Pigmente. Farbchangierende (Siliciumdioxid), kristallähnliche (Aluminiumoxid) oder besonders farbreine (Borosilikatglas) Effekte sind damit für die verschiedenen Anwendungsmedien möglich. Für jedes der drei plättchenförmigen Substrate wurde eine eigene Technologie entwickelt. Im Falle der Siliciumdioxid-Flakes handelt es sich um eine Bandtechnologie, bei den Aluminiumoxid-Flakes um eine Kristallisation aus der Salzschmelze und bei den Borosilikat-Flakes um eine Herstellung aus der Glasschmelze (vgl. Pfaff 2007; Rüger et al. 2004; Teaney et al. 1999). Zusätzlich zu den transparenten Substraten Glimmer (natürlich und synthetisch), Siliciumdioxid, Aluminiumoxid und Borosilikatglas wurden ab 1990 auch Schicht-Substrat-Pigmente produziert und vermarktet, deren Substrat optisch intransparente Aluminiumplättchen sind. Sie stellen einen Pigmenttyp dar, der zwischen den speziellen Effektpigmenten und den Metalleffektpigmenten einzuordnen ist (vgl. Pfaff 2007, 2017). Für die 1. Generation dieser Pigmente befinden sich Produkt- und Technologielebenszyklus bereits in der Phase des Verfalls, während die 2. Generation schon entwickelt ist und seit wenigen Jahren vermarktet wird.

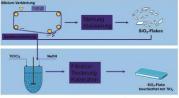
Abbildung 4 stellt die Technologien für Glimmer-, Siliciumdioxid-, Aluminiumoxid- und Borosilikat-basierte Effektpigmente gegenüber. Es wird deutlich, dass für jedes Substratmaterial eine eigenständige Technologie notwendig ist, während die Beschichtung mit Metalloxiden jeweils mit den gleichen, zunächst für die Glimmerpigmente entwickelten Prozessschritten erfolgt. Letzteres ist technologisch gesehen ein ausgesprochen großer Vorteil für Pigmenthersteller, die mehrere oder sogar alle bekannten Schicht-Substrat-Pigmente produzieren.

Bei der Herstellung moderner Effektpigmente liegt der Fokus nicht nur auf dem Erreichen der geforderten Qualität in Bezug auf Farb- und Anwendungseigenschaften. Das kostengünstige Produzieren hat ebenfalls einen hohen Stellenwert. Maßnahmen für die Senkung der Herstellkosten sind unter anderem die Produktion im größeren Maßstab, die Nutzung von gleichen Apparaturen und technologischen Schritten für mehrere Produkte sowie die Reduktion des Energieverbrauchs. Wichtig ist zudem die Bereitstellung umweltgerechter Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe. Eine zunehmende Bedeutung, auch für spezielle Effektpigmente, hat in den letzten Jahren die CO₂-Bilanz (CO₂-Fußabdruck, Carbon footprint, Treibhausgasbilanz) erlangt. Sie ist ein

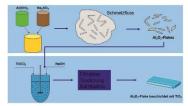
78 Gerhard Pfaff



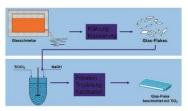
Metalloxid-Glimmerpigmente



Pigmente auf Basis von SiO2-Flakes



Pigmente auf Basis von Al₂O₃-Flakes



Pigmente auf Basis von Glas-Flakes

Abb. 4: Technologievergleich für unterschiedliche Schicht-Substratpigmente

Eigene Darstellung

Maß für alle Kohlendioxid-Emissionen (Gesamtbetrag), die direkt oder indirekt durch Aktivitäten oder Lebensstadien von Produkten oder Personen entstehen. Die Pigmenthersteller sind diesbezüglich sehr aktiv, um durch geeignete Maßnahmen in der Produktion die CO2-Bilanz nach unten zu bringen und damit zum Erreichen der globalen Klimaziele beizutragen. Große Anstrengungen werden auch unternommen, um anfallende Nebenprodukte wiederzuverwerten oder sachgerecht zu entsorgen, um Emissionen auf ein Minimum zu senken und um Fragen des Recyclings vom Beginn des Technologielebenszyklus an in die Betrachtungen einzubeziehen. Eine große Bedeutung haben Themen, die mit der Toxizität von Produkten (von den Rohstoffen bis zu den Endprodukten) sowie mit dem Arbeitsschutz (Regulierungen zum Einsatz und zum Umgang mit Chemikalien) in engem Zusammenhang stehen. Die Einstellung der Produktion von bleihaltigen Pigmenten (basisches Bleicarbonat), aber auch die generelle Nichtverwendung von toxischen Schwermetallen für spezielle Effektpigmente ist Ausdruck für umweltbewusstes und auf Sicherheit ausgerichtete Produkt- und Technologielebenszyklen.

Tabelle 2 stellt die Technologie-Entwicklungen bei speziellen Effektpigmenten zusammen. Neben den einzelnen Pigmenttypen sind jeweils der Zeitraum der Vermarktung und der Technologielebenszyklus erfasst. Es wird deutlich, dass einige der in der Vergangenheit entwickelten, produzierten und vermarkteten Effektpigmente ihren Lebenszyklus bereits abgeschlossen haben. Sie wurden von den Schicht-Substrat-Pigmenten vom Markt verdrängt. Von den einschichtigen speziellen Effektpigmenten konnte sich nur Bismutoxidchlorid in bestimmten Anwendungen behaupten. Neue Pigmente mit ihren Produkt- und Technologielebenszyklen dominieren inzwischen den Markt der speziellen Effektpigmente und erschließen sich immer neue Anwendungsfelder.

Tab. 2: Technologie-Entwicklungen bei speziellen Effektpigmenten^{a)}

Pigment-Typ	Zeitraum der Vermarktung	Technologielebenszyklus
Natürliches Fischsilber	1900 – 1950	Abgeschlossen
Basisches Bleicarbonat	1950 – 2000	Abgeschlossen
Bismutoxidchlorid	1960 fortlaufend	Reif
Metalloxid-Glimmerpigmente	1970 fortlaufend	Reif
Pigmente auf Basis von SiO2-Flakes	2000 fortlaufend	Frühphase / reif
Pigmente auf Basis von Al ₂ O ₃ -Flakes	2000 fortlaufend	Frühphase / reif
Pigmente auf Basis von Borosilikat-Flakes	2005 fortlaufend	Frühphase / reif
Metalloxid-Aluminiumpigmente (1. Generation)	1990 fortlaufend	Reif
Metalloxid-Aluminiumpigmente (2. Generation)	2015 fortlaufend	Frühphase

a) Zusätzlich wurden hier die zwischen den speziellen Effektpigmenten und den Metalleffektpigmenten einzuordnenden Metalloxid-Aluminiumpigmente mit aufgenommen.

Eigene Darstellung

4 Zusammenfassung

Am Beispiel der vergleichsweise jungen Klasse der Effektpigmente lassen sich die wesentlichen Merkmale von Produkt- und Technologielebenszyklen vieler Farbmittel darstellen. Produktlebenszyklus und Technologielebenszyklus sind eng miteinander verbunden. Die vom Markt ausgehenden Anforderungen für neue oder aber etablierte Produkte verlangen eine ständige Überprüfung der zu deren Herstellung genutzten Technologien. Dabei sind nicht nur Qualitätskriterien und Herstellkosten von Wichtigkeit, sondern

80 Gerhard Pfaff

auch die Bereitstellung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie deren Verbrauch, der Energieverbrauch, der CO₂-Fußabdruck sowie Transportaufwendungen und Umweltwirkungen (umweltrelevante Gewinnung von Ressourcen, Entsorgung bzw. Wiederverwertung von Nebenprodukten, Emissionen, Fragen der Toxizität). Zudem spielen Fragen der Weiterverwendung von Technologien für andere Produkte, Recycling, umweltgerechte Entsorgung sowie Rückbau und Nachnutzung der Anlagen und des Standorts eine zunehmend wichtigere Rolle.

Produktlebenszyklen von konventionellen Pigmenten (Weiß-, Bunt- und Schwarzpigmente) befinden sich meist in der reifen Phase bzw. der Phase der Sättigung (Commodities). Nur in wenigen Fällen wird an echten Nachfolgeprodukten und dazugehörenden neuen Technologien gearbeitet. Produktmodifizierungen sind im Fokus. Einzelne Produkte erreichen den Punkt des Marktaustritts (Einstellung der Vermarktung). Das gilt sowohl für anorganische als auch für organische Pigmente.

Spezielle Effektpigmente auf Basis des Schicht-Substrat-Prinzips befinden sich zumeist in der Frühphase des Technologielebenszyklus, aber zum Teil auch, wie im Fall der Glimmerpigmente, bereits in der reifen Phase. Neue Produkte und Technologien mit ihren Lebenszyklen sind hier zu erwarten.

Literatur

- Pfaff, G. (2007): Optische Prinzipien, Herstellung, Eigenschaften und Typen von speziellen Effektpigmenten. In: Pfaff, G. (Hg.): Spezielle Effektpigmente. Grundlagen und Anwendungen (2. Aufl.). Hannover, S. 5–91
- Pfaff, G. (2017): Inorganic Pigments. Berlin
- Pfaff, G. (2019): Anorganische Pigmente aktueller Stand und neue Erkenntnisse. In: Leibniz Online. Zeitschrift der Leibniz-Sozietät e.V., Nr. 36 (10.05.2019), S. 1–16. URL: https://leibnizsozietaet.de/category/publikationen/leibniz-online/
- Rüger, R.; Oldenburg, N.; Schulz, E.; Thurn-Schneller, A. (2004): Star Effects from Borosilicates. In: Cosmetics and Toiletries Manufacture Worldwide, No. 5, pp. 133–137
- Teaney, S., Pfaff, G., Nitta, K. (1999): New Pearlescent Pigments Using Innovative Substrates. In: European Coatings Journal, No. 4, pp. 90–96

Uwe Pahl

Erfahrungen mit dem Arbeitsmittel Inbetriebnahme-Management für komplexe technische Anlagen in Theorie und Praxis

1 Ausgangspunkt: Erfordernis des Inbetriebnahme-Managements

Die Planung komplexer Gebäude wie Büro- und Laborgebäude, Krankenhäuser, Industrieanlagen erfolgt durch Architekten und Fachplaner der technischen Gebäudeausrüstung entsprechend der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) üblicherweise gewerkeweise. Auch die Errichtung erfolgt gewerkeweise nach den Regelungen der Vergabeordnung für Bauleistungen (VOB).

Zusätzlich erschwerend wirkt sich die Vergabe der Leistungen an verschiedene Fachplaner für die verschiedenen Gewerke. Die Koordinierung der Planung liegt dann beim Architekten bzw. den Fachplanern für den Hochbau, die selbst oft wenig Bezug zur Fachspezifik der Fachplaner für die technische Gebäudeausrüstung (TGA) haben.

Gewerkeübergreifende Betrachtungen sind oft Sonderleistungen der Planung und von den Bauherren meist nicht beauftragt. Die Folge sind ungenügende Schnittstellenabstimmungen in der Planung bezüglich gewerkeübergreifender Prozesse. Diese gewerkeübergreifenden Leistungen und Prüfungen fehlen häufig in den Ausschreibungen. Daraus resultieren Nachtragspotenziale der Ausführungsfirmen und teils erhebliche Kostenüberschreitungen.

Die Inbetriebnahme endet mit der Inbetriebsetzung und unzureichenden gewerkeübergreifenden Prüfungen. Die Gebäude werden unter Termindruck "unfertig" übergeben und starten mit Fehlfunktionen.

Hier gilt es also, die Planungs- und Arbeitsweisen der Inbetriebnahme komplexer Gebäude vom Organisieren des Zuschaltens auf ein nachhaltiges Inbetriebnahme-Management umzustellen. Aus Sicht des künftigen Betreibers ändert sich damit die Gebäudeübergabe vom Zurücklassen mürrischer Betreiber hin zu zufriedenen Betriebshandwerkern.

Die Inbetriebnahme muss ganzheitlich in einem in sich geschlossenen technischen Anlagensystem system- und gewerkeübergreifend geplant und durchgeführt werden.

82 Uwe Pahl

2 Inbetriebnahme-Management – Kontinuität von Planung bis Betrieb

Die Grundlagen des Inbetriebnahme-Managements sind in der VDI-Richtlinie 6039 "Facility-Management – Inbetriebnahmemanagement für Gebäude – Methoden und Vorgehensweisen für gebäudetechnische Anlagen" definiert (vgl. VDI 2011).

Ein optimaler Prozess des Inbetriebnahme-Managements beginnt bereits mit Grundlagenuntersuchungen spätestens im Rahmen der Entwurfsplanung eines Gebäudes und begleitet alle Phasen der Projektrealisierung von der Planung und Errichtung über die eigentliche Inbetriebnahme bis hin zur Nutzungsaufnahme. Dies verdeutlicht Abbildung 1.

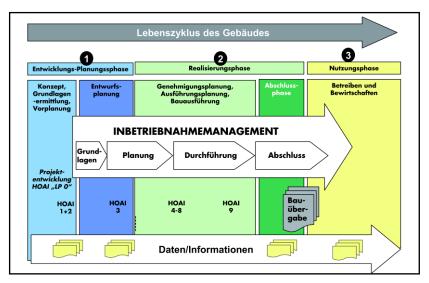


Abb. 1: Prozess des Inbetriebnahme-Managements

Quelle: VDI 2011

3 Aufgaben des Inbetriebnahme-Managers

Das Inbetriebnahme-Management wird als eigenständige Leistung beauftragt. Bei Gebäuden mit einem hohen und komplexen Anteil an Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung sollte dies ein Unternehmen mit hoher gewerkeübergreifender Fachkompetenz über alle Anlagengruppen der TGA sein.

Wichtig ist dabei, dass die Beauftragung unabhängig von den Planern und Architekten erfolgt. Im Rahmen des Inbetriebnahme-Managements erfolgt eine Koordinierung und Kontrolle der gewerkeweise auszuführenden Planungs- und Ausführungsleistungen, so dass mit dem Inbetriebnahme-Management eine gewisse Weisungsbefugnis gegenüber Planern und Ausführungsfirmen verbunden sein sollte.

Ansonsten lassen sich die Aufgaben des Inbetriebnahme-Managements wie folgt zusammenfassen:

- Beratung des Bauherren;
- Koordinierung gewerkeübergreifender Nutzer- und Planungsthemen;
- Ableitung der Planungsvorgaben je Gewerk;
- Prüfung der Planungsleistungen und Ausschreibungen je Gewerk auf gewerkeübergreifende Themen und Funktionsprüfungen;
- Mitwirkung (!!!) bei der gewerkeweisen Projektrealisierung und baubegleitenden Prüfungen (die Verantwortung verbleibt beim Gewerk);
- Steuerung der gewerkeübergreifenden Inbetriebnahmen und Funktionsprüfungen;
- Sicherstellen einer vollständigen Dokumentation über alle Gewerke mit einheitlichen Anforderungen;
- Bündelung aller für den Abnahme- und Übergabeprozess des Gesamtgebäudes erforderlichen Nachweise;
- Sicherstellen der Bauherren- und Nutzeranforderungen bei Erstellung und Betrieb;
- Einbeziehung des Betreibers in Funktionstests bereits in deren Planung.

Daraus ergeben sich folgende Vorteile für Bauherren und die Projektsteuerung:

- Reibungslose Funktionssicherheit der technischen Anlagen und Abläufe;
- gerichtsfester Nachweis der Betriebssicherheit und Wirksamkeit von Anlagen mittels Dokumentation der Funktionsprüfungen;
- konkrete Festlegungen zum Übergang der Betreiberverantwortung;
- Möglichkeiten zur Trennung von organisatorischer, kaufmännischer und technischer Übergabe;
- Sicherstellen einer vollständigen Dokumentation, der Dokumentationsaufbau erfolgt während der Planungs- und Bauphase mit zeitlicher Entzerrung vom Übergabe-/Übernahmeprozess;
- Reduktion Energieverbrauch und Kosten während der Nutzungsphase;
- Sicherstellung von Zertifizierungsanforderungen.

84 Uwe Pahl

4 Hauptarbeitsmittel: Inbetriebnahme-Konzept

Hauptarbeitsmittel des Inbetriebnahme-Managements ist das Inbetriebnahme-Konzept. Die Erstellung erfolgt in der Planungsphase – spätestens parallel zur Ausführungsplanung der Gewerke. Es beinhaltet Prozessbeschreibungen und Abläufe über den gesamten Realisierungszeitraum.

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt alle Phasen des Projektablaufs, die im Inbetriebnahme-Konzept mit konkreten Details zu beschreiben sind.

Untersetzt wird das Inbetriebnahme-Konzept mit folgenden Details und Listen:

(a) Anlagenliste

Die Anlagenliste beschreibt alle Einzelanlagen über alle Gewerke, die im Projekt zu errichten sind. Dabei werden auch die für Inbetriebnahme und Prüfungen relevanten Anlagenkomponenten aufgezeigt.

(b) Inbetriebsetzungsmatrix

Die Inbetriebsetzungsmatrix beschreibt zu jeder der in der Anlagenliste benannten Anlagen die Verantwortlichkeiten:

- Ausführende Firma;
- beteiligte Ver- und Entsorger.
- Wie ist der Bauherr beteiligt (informativ, mitwirkend oder verantwortlich)?
- Wie ist die Fachbauleitung beteiligt?
- Welche Sachverständigen sind erforderlich?
- Wie ist der Nutzer einzubeziehen?
- Wie sind Behörden einzubeziehen?

(c) Anlagenbezogene Prüfmatrix

Die anlagenbezogene Prüfmatrix beschreibt zur unter (a) benannten Anlagenliste alle Prüfungen, die in den einzelnen Errichtungsphasen durchzuführen sind:

- Prüfungsschwerpunkte der Werks- und Montageplanung;
- baubegleitende Prüfungen der Installationsphase;
- anlagenbezogene Prüfung der Inbetriebnahmephase;
- anlagenbezogene Prüfungen der Probebetriebsphase;
- Voraussetzungen f
 ür die Abnahme je Gewerk.

Tab. 1: Phasen des Projektablaufs

	Montageplanung				
	Montagefreigabe				
1. ln:	stallationsphase				
	Installation				
	qualitative Prüfungen				
	installationsbegleitende Prüfungen				
	vorgezogene Prüfungen				
Erge	bnis: Betriebsfertig montierte Anlagen				
2. Inl	betriebsetzungsphase				
	Inbetriebsetzung je Gewerk				
	grundsätzliche Funktionsprüfungen				
	Einregulierung				
Erge	bnis: Betriebsbereite Anlagen je Gewerk				
3. Üt	pergreifende Inbetriebnahmephase				
	vorbereitende Tests für Probebetrieb				
	qualitative Prüfungen				
	Anlagen-Funktionstests				
	Anlagen-Leistungstests				
	gewerkeübergreifende Funktionstests				
	gewerkeübergreifende Leistungstests				
	1:1 Funktionsbetätigungen				
Erge	bnis: Betriebsbereite Gesamtanlage				
4. Pr	obebetriebsphase				
	Probebetrieb				
	Nutzereinweisung				
	Probe organisatorische Abläufe				
	Probe betrieblicher Abläufe				
	Probe Notfallszenarien				
	Erstellung Gefährdungsbeurteilungen				
	Betreibereinweisungen				
	Anlagen-Leistungstests				
Erge	bnis: Abnahmebereite Anlage				
5. At	onahmephase				
	Förmliche VOB Abnahme				
	Behördliche Abnahmen				

Eigene Darstellung

86 Uwe Pahl

(d) Anlagenübergreifende Prüfmatrix

Die anlagenübergreifende Prüfmatrix stellt alle Funktionsprüfungen dar, bei denen mindestens zwei Gewerke beteiligt sind. Außerdem sind hier vielfach die nutzerspezifischen Prüfungen zu finden. Dazu beschreibt diese Prüfmatrix:

- Welche Anlagen aus (a) sind an der Prüfung beteiligt?
- Welches Gewerk ist federführend?
- Welche Gewerke müssen mitwirken?
- Wie ist der Bauherr einzubeziehen (informativ, mitwirkend oder verantwortlich)?
- Wie ist der Nutzer einzubeziehen?
- Welche Sachverständigen sind erforderlich?
- Welche Betriebsvoraussetzungen müssen gegeben sein?

(e) Ablaufplan des Probebetriebs

Im Probebetrieb sollen alle Anlagen möglichst unter Last störungsfrei laufen. Dazu ist in der Regel eine Grundlast der Anlagennutzung erforderlich. Somit bietet es sich an, den Probetrieb mit Nutzertests und Nutzungssimulationen zu verbinden. Damit die koordiniert abläuft und bereits in der gesamten Zeitkalkulation berücksichtigt werden kann, sind hier frühzeitige Nutzerabstimmungen zu empfehlen.

(f) Inbetriebnahmeterminplan gesamt

Abschließende Krönung des Inbetriebnahme-Konzepts ist der Inbetriebnahmeterminplan über den gesamten Inbetriebnahmeablauf. Die Chancen auf dessen Einhaltung und damit auf die termingerechte Fertigstellung und Nutzungsaufnahme eines komplexen Gebäudes steigen mit der Qualität der vorgenannten Unterlagen.

Literatur

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2011): Richtlinie 6039 "Facility-Management – Inbetriebnahmemanagement für Gebäude – Methoden und Vorgehensweisen für gebäudetechnische Anlagen". Düsseldorf (VD). – URL: https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-6039-facility-management-inbetriebnahmemanagement-fuer-gebaeude-methoden-und-vorgehensweisen-fuer-gebaeudetechnische-anlagen

Kerstin Becker

Eine Energieerzeugungsanlage im Wandel der rahmenpolitischen und gesetzlichen Vorgaben

1 Rahmenrechtliche Einflussfaktoren auf die Errichtung und den Betrieb von Energieerzeugungsanlagen

Funktionsfähige Technik als solche ist keine hinreichende Grundlage für den Erfolg oder Misserfolg von Technologien.

Die Energieversorgung wurde in Deutschland bis zur Mitte der Neunziger Jahre als Daseinsvorsorge begriffen. Sie lag in den Händen einiger monopolistisch agierender Energieversorgungsunternehmen (EVU). In der zweiten Hälfte der Neunziger Jahre setzte sich der Gedanke durch, dass diese Struktur verändert und auch die Energieversorgung möglichst weitreichend nach rein marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten gestaltet werden sollte. Der Grundgedanke war eine Liberalisierung des Strommarktes zur Schaffung von mehr Wettbewerb.

Dieses Ansinnen mag in einer sozialen Marktwirtschaft zwar verständlich sein. Unter den Bedingungen des Klimawandels sieht sich die Regierung jedoch gezwungen, diesen marktwirtschaftlichen Ansatz durch eine Vielzahl von gesetzgeberischen Eingriffen zu regulieren. Aus diesem Widerstreit resultiert nun eine nahezu undurchschaubare Flut von Vorschriften und Paragrafen, die längst nicht mehr (nur) auf den Umweltschutz durch die Vermeidung bzw. Begrenzung schädlicher Umwelteinflüsse durch die Anlagen gerichtet sind.

In der Annahme, durch staatliche Reglementierungen eine Quasi-Marktwirtschaft installieren und steuern zu können, wurde ein System erschaffen, das ständig nachjustiert wird, um unerwünschte, aber mit der Marktwirtschaft eben auch verbundene Effekte, wie z. B. die Ausnutzung von Regelungslücken zur Gestaltung besonders profitabler Geschäftsmodelle, zu korrigieren (vgl. BVerfG 2009; Klinski 2009). Dieses System besitzt eine eigene Dynamik, die die Geschwindigkeit der Entscheidungs-, Planungs- und Genehmigungsprozesse in der Energiewirtschaft mittlerweile deutlich übersteigt.

Grundlegende gesetzliche Regelungen wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) werden mittlerweile halbjährlich und öfter geändert (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Das EEG 2017 und seine Änderungen

EEG 2017 (Stand v. 08.08.2020)	08.08.2020
EEG 2017 (Stand v. 25.05.2020)	25.05.2020
EEG 2017 (Stand v. 20.11.2019)	20.11.2019
EEG 2017 (Stand v. 13.05.2019)	13.05.2019
EEG 2017 (Stand v. 17.12.2018)	17.12.2018
EEG 2017 (Stand v. 14.11.2018)	14.11.2018
EEG 2017 (Stand v. 21.06.2018)	21.06.2018
EEG 2017 (Stand v. 17.07.2017)	17.07.2017
EEG 2017 (Stand v. 22.12.2016)	22.12.2016
EEG 2017 – Urfassung (Stand v. 13.10.2016)	13.10.2016

Quelle: www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/eeg2017 [10.11.2020]

Das (erste) EEG aus dem Jahr 2000 hatte 12 Paragrafen, einen Anhang und fand auf dreieinhalb Seiten des "Bundesanzeigers" Platz (vgl. EEG 2000). Das EEG von 2017 hat in der aktuellen Fassung 177 Paragrafen, vier Anlagen und nimmt 139 Seiten ein (vgl. EEG 2017). Das zeigt, dass der Gesetzgeber vom ursprünglichen Ansatz, politische Rahmenbedingungen zu gestalten, dazu übergegangen ist, sehr detailliert in die Marktmechanismen einzugreifen.

Gerade für kleinere Unternehmen, wie z. B. kommunale Stadtwerke in Städten mit 3.000 bis 30.000 Einwohnern, stellt dieses Vorgehen des Gesetzgebers eine besondere Schwierigkeit dar. Hier sind keine Betriebsabteilungen vorhanden, die sich mit der Auslegung der wechselnden gesetzlichen Regelungen befassen können. Die Anlagengrößen, die von diesen Unternehmen betrieben werden, fallen außerdem in der Regel in Größenordnungen, wie sie auch in mittleren Industriebetrieben vorhanden sind. Im Anspruch des Gesetzgebers, besonders "gerecht" zu regeln, werden Anlagen der Industrie meist als ohnehin profitabel eingestuft und daher allein aufgrund ihrer Größe von bestimmten Förderungen ausgeschlossen.

Die Folge ist, dass heute wieder Anlagen errichtet werden, die möglichst nicht unter diese gesetzlichen Regelungen fallen. Zum Beispiel werden erneuerbare Energien in Form von Holz wieder zunehmend nur für die Wärmeerzeugung eingesetzt, auf eine Kraft-Wärme-Kopplung wird verzichtet (vgl. Becker et al. 2019; ZfK 2020). Das ist gerade in Anbetracht der Her-

ausforderungen der Sektorenkopplung und der Ergänzung der fluktuierenden Beiträge von Photovoltaik (PV) und Wind in der Stromerzeugung durch steuerbare Energieerzeugungsanlagen als nachteilig zu betrachten.

2 Praxisbeispiel Rheinsberg

Die Stadt Rheinsberg stellt unter diesen Bedingungen einen herausragenden Sonderfall dar.

In Rheinsberg stand das erste Kernkraftwerk der DDR. Der WWER-70 diente vor allem Forschungszwecken, wurde aber aufgrund des Energiebedarfs der Volkswirtschaft auch im Leistungsbetrieb (70 MW) gefahren. Mit der politischen Wende 1990 wurde das ohnehin vorgesehene Betriebsende für das KKW Rheinsberg endgültig besiegelt. Ein hochtechnisierter Standort wurde also geschlossen. Die Rheinsberger hatten Atome gespalten und Strom erzeugt. Die Wärme für die Rheinsberger Wohnungen dagegen kam aus Kachelöfen. Das sollte nach der Stilllegung des KKW durch die gravierendste Änderung in der lokalen Energieversorgung – das Fernwärmenetz – geändert werden.

Fast verdeckt von den wirtschaftlichen und sozialen Umbrüchen und doch aufs engste damit verbunden ist die Entwicklung der Stadtwerke Rheinsberg GmbH (gegründet 1992). Maßgeblich war dabei die Auswahl der Stadt Rheinsberg als Modellort für die "Gestaltung einer rationellen Energiestruktur in einer Brundtlandstadt" im Rahmen einer Ausschreibung des Landes Brandenburg.

1987 legte die unter der Leitung der norwegischen Ministerpräsidentin Gro Harlem Brundtland arbeitende "Weltkommission für Umwelt und Entwicklung" der UNO-Vollversammlung den Bericht "Unsere gemeinsame Zukunft" vor (vgl. Weltkommission 1988). In diesem Bericht wurde die Empfehlung gegeben, in den nächsten 40 bis 50 Jahren in den Industrieländern den Energieverbrauch um 50 % zu reduzieren. Diese Idee wurde vom dänischen Energieministerium aufgegriffen und zum Projekt "Brundtlandstädte" weiterentwickelt.

Dieser Idee ist es zu verdanken, dass in Rheinsberg schon zu Beginn der neunziger Jahre ein Wärmenetz errichtet wurde, dass überwiegend aus Kraft-Wärme-Kopplung und Holzhackschnitzelverbrennung versorgt werden sollte.

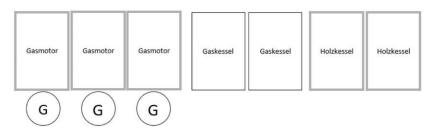
Ein großer Teil des Stadtgebietes wurde flächendeckend mit dem Fernwärmenetz erschlossen, während im Rest der Republik meist lediglich vor-

¹ Vgl. http://www.swr-rheinsberg.de/dasunternehmen/brundtland-idee.html [10.11.2020].

handene Wärmenetze angepasst oder neue Netze in besonders dicht bebauten Quartieren errichtet wurden. Man entschied sich außerdem, neben den üblichen Erdgaskesseln auch eine Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage mit drei Gasmotoren zu errichten. Ein ähnliches Beispiel ist z. B. aus Zehdenick (Land Brandenburg, Kreis Oberhavel) bekannt. Die Gasmotoren sollten insbesondere zur Glättung von Lastspitzen im Strombereich eingesetzt werden, wodurch zur damaligen Zeit hohe Erlöse erzielt werden konnten.

Herausragend war die Rheinsberger Entscheidung, zusätzlich die Nutzung regionaler Ressourcen in Form von Holzhackschnitzeln einzuführen. Brennstoff-Diversität wurde zu diesem Zeitpunkt in der Regel durch bivalente Brenner für Erdgas und Heizöl sowie Heizöltanks erreicht. Die Nutzung von Holz in der kommunalen Wärmeerzeugung war damals eine Pionierleistung.

1. Juli 1994



Inbetriebnahme HKW und flächendeckendes Fernwärmenetz

Abb. 1: Anlagenbestand 1994

Eigene Darstellung

Die Anlage bestand aus drei Gasmotoren mit einer thermischen Leistung von jeweils ca. 1.600 kW und einer elektrischen Leistung von etwas über 1 MW. Die Motoren wurden ergänzt durch zwei Erdgaskessel mit 4.700 und 2.200 kW thermischer Leistung. Die Holzhackschnitzel wurden in zwei Festbrennstoffkesseln mit einer Leistung von jeweils 4.500 kW genutzt. Insgesamt war also eine thermische Leistung von mehr als 20 MW verfügbar. Diese Leistung wurde durch 3 MW elektrische Leistung flankiert (siehe Abb. 1).

Im Jahr 2000 trat das erste Gesetz zum Schutz der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung in Kraft. Der Strom aus KWK-Anlagen sollte nach diesem Gesetz mit 4,5 ct/kWh im ersten Jahr und dann jährlich um 0,25 ct/kWh sinkend vergütet werden.

Obwohl mit diesem Gesetz positive Ziele seitens des Gesetzgebers verfolgt wurden, konnte auch aufgrund von ganz besonders stringenter Anwendung der Gesetze und technischen Regeln durch den lokalen Energieversorger ein wirtschaftlicher Betrieb der Gasmotoren durch die Stadtwerke nicht realisiert werden. Sie wurden außer Betrieb genommen. Gleichzeitig wurde die Biomassenutzung intensiviert, übergangsweise wurde die Genehmigung auch auf die Nutzung von Altholz erweitert.

2002 wurde das KWK-Gesetz mit dem Titel "Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung" in Kraft gesetzt. Statt der bisherigen Festlegung des "Gesamtpreises" für den Strom aus KWK-Anlagen wurde hier geregelt, dass der "übliche Preis" zuzüglich eines Zuschlages zu zahlen war. Der Zuschlag wurde nach Anlagengröße (kleiner bzw. größer 2 MW elektrisch) gestaffelt und betrug für Anlagen > 2 MW 1,53 ct/kWh. Der übliche Preis lag bei 2,2 bis bis 3,1 ct/kWh. Damit ergab sich für größere Anlagen eine Vergütung von 3,73 bis 4,63 ct/kWh zuzüglich zu den sogenannten vermiedenen Netzkosten durch die dezentrale Einspeisung.

Da hierbei auch die erforderliche Klarstellung für die Vergütungsregelungen getroffen wurde, konnte eine Einigung mit dem lokalen Energieversorger erreicht werden. Die Gasmotoren konnten wieder in Betrieb gehen.

Drei Jahre später wurde eine Regelung eingeführt, dass die Abrechnung des Stroms nach dem "üblichen" Preis nur für Anlagen < 2 MW gelten sollte, größere Anlagen waren auf Verhandlungen mit dem Stromnetzbetreiber angewiesen (vgl. BDEW 2009). Deswegen wurde durch die Stadtwerke ein Gasmotor abgeschaltet und endgültig außer Betrieb genommen. Damit wurde die Anlagenleistung auf weniger als 2 MW reduziert und die Regelungen für kleinere Anlagen konnten nun in Anspruch genommen werden.

Im Jahr 2000 wurde das erste Gesetz für die Erneuerbaren Energien im Strombereich verabschiedet, das 2004 grundlegend überarbeitet wurde. In Rheinsberg entstand die Idee, basierend auf diesem Gesetz, die Holzhackschnitzel auch für die Stromerzeugung einzusetzen. Bereits im Oktober 2007 wurde der erste Strom aus Holzhackschnitzel in das Netz der Allgemeinen Versorgung eingespeist. Ein ausschlaggebender Punkt für diese Kraftanstrengung war auch die für 20 Jahre garantierte Abnahme und Vergütung des Stroms.

In der Folge ergab sich die Idee, auch die verbliebenen Gasmotoren klimafreundlich mit Biomethan statt mit fossilem Erdgas zu betreiben und für den dort erzeugten elektrischen Strom ebenfalls Vergütungen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz zu erhalten. 92 Kerstin Becker

Dafür hätte die Zählung des Erdgases wahrscheinlich getrennt für das Biomethan und das Erdgas erfolgen müssen, obwohl es sich physikalisch um das gleiche Gas aus dem Gasnetz handelt. Die Unterscheidung wird ausschließlich vertraglich und kaufmännisch-bilanziell vorgenommen. Auch die Einspeisung des elektrischen Stroms und seine Messung wären anzupassen gewesen. Während für die Vermarktung und die Förderung von Strom nach dem KWK-Gesetz auf den in das Netz der öffentlichen Versorgung eingespeisten elektrischen Strom abgestellt wird, bezieht sich das Erneuerbare-Energien-Gesetz auf den von der Anlage erzeugten Strom. Damit führt der Wechsel des Energieträgers von fossilem Erdgas zu Biomethan zu einer notwendigen Veränderung der elektrischen Installationen und Messeinrichtungen.

Die Stadtwerke versuchten, eine gemeinsame Regelung mit dem Netzbetreiber zu finden, um eventuelle Rechtsfragen bereits vorab zu klären. In diesem Falle war der Netzbetreiber nicht willens oder nicht in der Lage zu kooperieren, so dass die Stadtwerke in Anbetracht des Konfliktpotenzials auch aufgrund der immer komplexeren gesetzlichen Vorgaben und Auslegungen diesen Weg nicht beschritten.

Seit 2008 gibt es das Treibhausgasemissionshandelsgesetz (TEHG), das den Europäischen Emissionshandel betrifft. In der ersten Zuteilungsperiode wurden die Emissionszertifikate noch weitgehend kostenlos auf der Basis des Verbrauchs aus den Jahren 2001 bis 2003 verteilt. Anlagen wie die in Rheinsberg, die schon früh auf Erneuerbare Energien gesetzt haben, wurden dabei nicht bessergestellt als Altanlagen mit hohen Emissionen. Der frühe Klimaschutzgedanke wurde hier nur insofern belohnt, als dass durch eine weitere Senkung des Erdgasverbrauchs (Außerbetriebnahme der Gasmotoren) überschüssige Zertifikate zu einem anfänglich guten Preis veräußert werden konnten. Der Aufwand für die entsprechenden Nachweisführungen durch zertifizierte Umweltgutachter stand in Rheinsberg in keinem Verhältnis zu den tatsächlichen, besonders geringen CO₂-Emissionen. Mit dem Zusammenbruch der Zertifikatpreise war auch kein wirtschaftlicher Effekt aus dem Verkauf überschüssiger Zertifikate zu erwarten.

Das Gesetz gilt für Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung über 20 MW. Diese Leistung wurde in Rheinsberg durch die installierten Anlagen überschritten. In der zweiten Handelsperiode konnte allerdings aufgrund von Sonderregelungen ein "Ausstieg" aus der Emissionshandelspflicht erreicht werden.

Die Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung für die bestehende Anlage ist 2009 ausgelaufen, die Preise für die Energielieferung an den vorgelager-

ten Lieferanten fielen in Zusammenhang mit der "Bankenkrise" nach dem Jahr 2008 deutlich (vgl. EEX 2020). Damit war das Schicksal des zweiten Gasmotors mit Erreichen seiner Zielbetriebsstundenzahl ebenfalls besiegelt: Er wurde außer Betrieb genommen. Der verbliebene Gasmotor wird jetzt für die Deckung des Stromeigenbedarfs und zur Ergänzung der thermischen Leistung genutzt. Durch ein geschicktes Management sind die Stadtwerke in der Lage, eine gesetzliche Regelung für die Stromnetzentgelte in Anspruch zu nehmen, bei der ein großer Teil der leistungsbasierten Entgelte erstattet wird (vgl. StromNEV 2005).

Ein "baugleicher" Ersatz des Gasmotors, der vor dem Ende seiner technischen Nutzungsdauer steht, ist aufgrund der Belastung des eigenerzeugten Stroms mit der anteiligen EEG-Umlage und der neuen CO₂-Steuer für Erdgas fraglich.

Weitere technisch denkbare Alternativen wie Power-to-heat-Lösungen und die Teilnahme am Regelenergiemarkt wurden aufgrund der Komplexität von gesetzlichen Vorgaben und dem damit verbundenen Vertragsmanagement bisher nicht umgesetzt.

In Power-to-heat-Anlagen soll Strom aus erneuerbaren Energien in Wärme umgewandelt werden, wenn die eingespeisten Energiemengen im Stromnetz höher als der momentane Verbrauch wären und die Netzstabilität durch den überschüssigen Strom gefährdet wird. Die Abregelung der Stromerzeugung soll dadurch vermieden werden. Bei Power-to-heat-Anlagen handelt es sich in der Regel um einfache "Tauchsieder"-Konstruktionen zur Erwärmung des Heizwassers.

Die wesentlich effizientere Wärmepumpentechnologie kommt hier regelmäßig nicht zum Einsatz. Das hat zwei Gründe:

- Wärmenetze werden im Allgemeinen mit Temperaturen betrieben, die für die normalen Wärmepumpen nicht oder nur mit schlechten Leistungszahlen erreichbar sind.
- 2. Die Überschussenergie fällt ausgesprochen sporadisch an, so dass die Betriebsstunden der Anlagen aufs Jahr gesehen eher gering sind. Die höheren Investitionskosten lassen sich finanziell daher ohne Förderung noch nicht darstellen.

Wenn diese einfachen Power-to-heat-Anlagen eingesetzt werden, wird der Überschussstrom aus den erneuerbaren Energien zwar nicht mehr abgeregelt, aber aus energetischer Sicht doch nur ineffizient genutzt. Der Einsatz von Überschussstrom für die Wasserstofftechnologie (Power-to-Gas) ist aus eben demselben Grund, dass der Strom tatsächlich nur sporadisch im Über-

94 Kerstin Becker

schuss produziert wird, unter den aktuellen Bedingungen nur mit besonderen Förderungen wirtschaftlich darstellbar.

Der Einsatz einer Power-to-heat-Anlage würde unter Umständen dazu führen, dass im Falle von verfügbarem Überschussstrom entweder die stromerzeugende Holzhackschnitzelanlage oder der Gasmotor abgeschaltet werden müssten, weil

- der Wärmeerzeugungsbeitrag durch die Power-to-heat-Anlage übernommen wird und deswegen die anderen Anlagen abfahren müssen und
- durch die Beendigung der Stromerzeugung mit dem Gasmotor in Verbindung mit der Stromaufnahme der angestrebte netzstabilisierende Effekt erhöht würde.

Damit fiele jedoch die unverzichtbare Vergütung des EEG-Stroms weg und die zu zahlenden Stromnetzentgelte würden sich erhöhen (Leistungsmanagement § 19 entfällt). Die Nichteinhaltung des Erdgasliefervertrages hinsichtlich des Zeitpunktes und der Menge des Erdgasbezuges durch die unvorhersehbare Abschaltung des Gasmotors hätte ebenfalls negative finanzielle Folgen (z. B. Pönale oder take-or-pay). Gleiches gilt auch für eine Teilnahme der Anlagen am Regelenergiemarkt, von dem im Übrigen Anlagen mit einer EEG-Vergütung ohnehin ausgeschlossen sind.

Größere Stadtwerke betreiben solche Power-to-heat-Anlagenkombinationen durchaus erfolgreich, haben aber auch Betriebsabteilungen, die u. a. Strom und Erdgas an den Börsen handeln bzw. beschaffen. Kleinere Stadtwerke können einen solchen personellen Aufwand – auch angesichts der geringeren Erlöse aus kleineren Anlagen – nicht leisten.

Die gesetzliche Einspeisevergütung für den Rheinsberger Holzhackschnitzelstrom wird noch bis 2027 gezahlt. Bis dahin ist eine Lösung zu finden, wie die vorhandene Anlagenkombination umstrukturiert werden kann, um auch weiterhin möglichst klimaneutrale und gleichzeitig preisgünstige Energie für Rheinsbergs Einwohner bereit zu stellen.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz hat sich der Zwischenzeit in mehrfacher Hinsicht gewandelt. Wurde z. B. für die Rheinsberger Anlage für 20 Jahre eine gesetzlich festgelegte Stromvergütung gezahlt, sieht das aktuell geltende EEG für Anlagen dieser Größe (700 kW elektrisch) verpflichtend die Direktvermarktung und Teilnahme an Ausschreibungen zur Ermittlung der Förderhöhe vor.

Der zukünftige Anlagenbetreiber muss dafür im Rahmen des Ausschreibungsverfahrens ein Gebot abgeben, zu welchem Preis er den Strom in das Netz einspeisen wird. Es gibt gesetzliche Obergrenzen für die Gebote. Die geringsten Gebote erhalten dann den Zuschlag, bis das Ausschreibungsvo-

lumen von 100 MW zu installierender Leistung pro Ausschreibung ausgeschöpft ist.

Die Vergütung erfolgt dann über ein kompliziertes Verfahren: Der gebotene und bezuschlagte Preis setzt sich zusammen aus dem monatlichen Strombörsenpreis und der Marktprämie. Die Marktprämie wird vom Verteilnetzbetreiber gezahlt, und zwar immer als Ausgleich zwischen dem monatlichen Strombörsenpreis und dem bezuschlagten Preisgebot. Damit bleibt theoretisch die Vergütung über die nächsten 20 Jahre konstant (10 Jahre für Altanlagen, die eine Verlängerung der geförderten Betriebsdauer beabsichtigen).

Diese gleichbleibende Vergütung gibt es jedoch nur, wenn es dem Anlagenbetreiber gelingt, den Strom auch zu den monatlichen Strombörsenpreisen zu vermarkten, denn die automatische Zahlung des Gesamtpreises ist für diese Anlagen abgeschafft worden. Der Betreiber ist in der Pflicht, seinen Strom selbst, z. B. an Stromhändler oder Endkunden, zu vermarkten und trägt damit die Risiken, hat aber auch Chancen.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz wird zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Beitrages bereits wieder grundlegend novelliert.

Die folgende Abbildung 2 gibt nochmals eine Übersicht über die Entwicklung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und die Auswirkungen auf die Anlage in Rheinsberg.

Wie sich das derzeit in Überarbeitung befindliche EEG bis zu einem möglichen Genehmigungszeitpunkt für eine Ersatzanlage entwickelt, ist ungewiss.

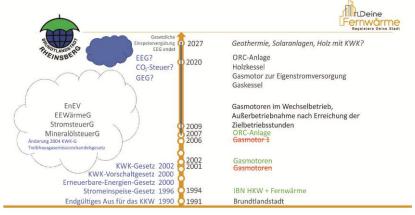


Abb. 2: Gesetzgebungsverfahren und Veränderungen der technischen Anlagen

Eigene Darstellung

96 Kerstin Becker

Die In-Aussichtstellung von Fördermitteln und die Vielzahl der immer wieder besonders durch die Medien gehenden Geschäftsmodelle wie Power-toheat, Wasserstofftechnologie etc. verlängern die Entscheidungsprozesse in kleineren Unternehmen. Die Varianten, die durch die Geschäftsführung zu prüfen sind, werden vielgestaltiger und komplexer. Entscheidungen werden deswegen immer wieder neu überdacht, die Auflegung von Förderprogrammen wird abgewartet.

In Rheinsberg werden Alternativen für die zukünftige Wärmeversorgung in Betracht gezogen, die vorzugsweise emissionsfrei sind. Geothermie und Solarenergie sind derzeit Favoriten, um die Holzhackschnitzelanlage zu ergänzen. Beide Energien kann man umso effizienter nutzen, je geringer die Wärmenetztemperaturen sind. Auch hier war Rheinsberg schon 1994 Vorreiter. Das Wärmenetz wird mit einer Vorlauftemperatur von maximal 75 °C betrieben. Die Rücklauftemperaturen aus den Gebäuden erreichen allerdings nicht die ehemals projektierten Werte von 40 °C und weniger. Die Stadtwerke arbeiten jetzt zunächst daran, die Rücklauftemperaturen zu senken, damit zukünftig Geothermie und Solarthermie effizient in die Wärmeversorgung eingebunden werden können (vgl. Becker et al. 2017).

Leider wurde die Wärmewende als Bestandteil der Energiewende in Deutschland bisher stark vernachlässigt. Durch die CO₂-Steuer wird nun neben dem Gebäudeenergiegesetz ein weiteres Gesetz eingeführt, dass auch eine Wärmewende hin zur Erzeugung aus erneuerbaren Energien begünstigen kann. Es bleibt zu hoffen, dass die grundsätzlichen Rahmenbedingungen für die Energieversorgung demnächst wieder in verlässlicher Art und Weise festgeschrieben werden, so dass den Anlagenbetreibern der Raum gegeben wird, ökologisch und technisch sinnvolle Lösungen zu planen, zu errichten und auch wirtschaftlich innerhalb der technischen Nutzungsdauern zu betreiben.

Literatur

- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2009): Umsetzungshilfe zum Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz Version 1.0. Berlin (BDEW)
- Becker, K.; Jeremias, E.-P.; Reymann, C. (2017): Integriertes energetisches Quartierskonzept Gartenstadt Rhinhöhe, Rheinsberg. Neuruppin (unveröffentlicht)
- Becker, K.; Jeremias, E.-P.; Frinken, M.; Reymann, C. (2019): Quartierskonzept Torgelow Innenstadt. Neuruppin, Hamburg (unveröffentlicht)

- BVerfG Bundesverfassungsgericht (2009): BVerfG, Beschluss des Ersten Senats vom 18. Februar 2009 1 BvR 3076/08 -, Rn. 1-1. URL: http://www.bverfg.de/e/rs20090218_1 bvr307608.html
- EEG Erneuerbare-Energien-Gesetz (2000): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 29. März 2000; Bundesgesetzblatt Teil I vom 31. März 2000
- EEG Erneuerbare-Energien-Gesetz (2017): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), zuletzt geändert durch das Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2017 und weiterer energierechtlicher Bestimmungen vom 25. Mai 2020 (BGBl. I S. 1070)
- EEX European Energy Exchange (2020): KWK-Index, 23.11. URL: http://www.eex.com/de/marktdaten/strom/kwk-index.
- Klinski, S. (2009): EEG-Vergütung: Vertrauensschutz bei künftigen Änderungen der Rechtslage? Berlin (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)
- StromNEV Stromnetzentgeltverordnung (2005): Stromnetzentgeltverordnung vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2225), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom13. Mai 2019 geändert worden ist (BGBl. I S. 706)
- Weltkommission (1988): Unsere gemeinsame Zukunft. Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Berlin
- ZfK (2020): Neuruppin: Stadtwerke errichten neues Heizwerk. In: ZfK Zeitschrift für Kommunalwirtschaft, 17.11. URL: https://www.zfk.de/artikel/c4cd094e227afcd929902b5 d174ee090/neuruppin-stadtwerke-errichten-neues-heizwerk-2020-11-17/

Ernst-Peter Jeremias

Einkommensenergien und Recycling – Wichtige Voraussetzungen für eine nachhaltige Elektromobilität

Eine persönliche Stellungnahme

Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit von Elektromobilität stehen aktuell im Fokus der öffentlichen und fachlichen Diskussion. Deren Nützlichkeit für eine Klimawende im Sektor Verkehr wird dabei oft in Frage gestellt. Es ist unter den gegebenen Bedingungen unstrittig, dass die Beschaffung der notwendigen Rohstoffe in Verbindung mit der Nutzung des verfügbaren, vermögensenergielastigen Strommix in der Produktion von Elektrofahrzeugen und Batterien noch nicht ausreichend nachhaltig ist.

Es wird hier die Position vertreten, dass das elektrische Kraftfahrzeug auf der Kurzstrecke bis ca. 250 km in Verbindung mit einer neuen Mobilitätsphilosophie unverzichtbar ist. Ein 1:1 Ersatz unseres heutigen motorisierten Individualverkehrs mit Verbrennungskraftfahrzeugen wird aber nicht möglich und sinnvoll sein.

Nachhaltigkeitsdefizite von batterieelektrischen Kraftfahrzeugen (BEV) können nur durch konsequenten Ersatz von Vermögensenergie durch Einkommensenergie bei der Produktion der Batterien und Elektrofahrzeuge, beim Betrieb der BEV und beim Recycling beseitigt werden. Die Schaffung der politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für ein nahezu einhundertprozentiges Recycling, insbesondere der heute gebräuchlichen Lithium-Ionen-Batterie, auf europäischer und nationaler Ebene ist eine weitere wichtige Voraussetzung.

Aus physikalischen und daraus resultierenden energiebilanziellen Gründen gibt es zum batterieelektrischen Kraftfahrzeug keine Alternative, da der Strombedarf aus Einkommensenergie zur Erzeugung von regionalem Wasserstoff noch deutlich höher wäre.

¹ Umgangssprachlich: fossile Energie.

² Umgangssprachlich: regenerative Energie.

100 Ernst-Peter Jeremias

1 Einige grundlegende Gedanken zur Nachhaltigkeit in der Elektromobilität

"Autos mit Elektroantrieb seien umweltfreundlicher, heißt es oft. Aber die Herstellung der Hochleistungs-Akkus ist aufwändig und produziert viel CO₂. Erst nach rund 60.000 Kilometern fährt ein Strom-Auto umweltfreundlicher als ein Benziner." (Schwenner 2020)

"Jedoch kann nicht die Rede davon sein, dass Elektroautos ohne CO₂-Emissionen bewegt werden können, wie es der europäische Gesetzgeber behauptet, wenn er die CO₂-Emissionen dieser Autos mit einem Wert von »null« in seine Berechnungen einfließen lässt. Ein solcher Wert stimmt nicht einmal für Norwegen, wo der Strom nahezu emissionsfrei mit Wasserkraft gewonnen wird, weil der CO₂-Ausstoß bei der Fertigung von Fahrzeug und Akku ignoriert wird. In allen anderen europäischen Ländern ergeben sich darüber hinaus hohe CO₂-Emissionen durch die Beladung der Akkus mit Hilfe des Stroms aus dem jeweiligen nationalen Produktionsmix aus grüner Energie und Kernenergie auf der einen und fossilen Brennstoffen auf der anderen Seite." (Buchal et al. 2019, S. 41)

Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit von Elektrokraftfahrzeugen stehen aktuell im Fokus der öffentlichen und fachlichen Diskussion. Neben fachlicher Desinformation, Unwissenheit und bewusster Ignoranz spielen für diese Auseinandersetzung auch kommerzielle Motive eine große Rolle. Für die Umsetzung der Klimaschutzziele in Deutschland bis zum Jahr 2050 ist es aber wichtig, den Stellenwert der Elektromobilität richtig einzuordnen. Ein grundlegender Aspekt dabei ist es, die temporäre und lokale Wirkung eines Elektroautos auf die Umwelt nicht aus der notwendigen Diskussion herauszulösen. Der gesamte Lebenszyklus von Elektrokraftfahrzeugen und insbesondere deren Stromspeicher ist einer kritischen Wertung zu unterziehen. Als Stromspeicher in der Elektromobilität werden heute vorrangig Lithium-Ionen-Akkumulatoren verwendet. Deren Lebenszyklus beginnt mit der Gewinnung der notwendigen Rohstoffe, erstreckt sich weiter über den Herstellungsprozess der Fahrzeuge insbesondere auf die Produktion leistungsfähiger Akkumulatoren.

Wie Tabelle 1 zeigt, gibt es neben Gemeinsamkeiten notwendiger Rohstoffe für Elektrofahrzeuge und ihrer Akkumulatoren Unterschiede zu Verbrennungskraftfahrzeugen.

Im Vergleich zu einem Verbrennungskraftfahrzeug mit rund 1.200 teils heißen Einzelteilen besteht ein TESLA Motor aus nur 80 ölfreien Komponenten. Aufbauend auf einem Akkumulator im Fahrzeugboden ist der gesamte Antriebsstrang mit seinen Motoren kompakt zwischen den Achsen verbaut. Alle Komponenten eines batterieelektrischen Kraftfahrzeugs (BEV)

Tab. 1: Rohstoffe für Elektrofahrzeuge und ihre Batterie im Unterschied zu Verbrennungskraftfahrzeugen

Verbrenner	Batterieelektrisches Kraftfahrzeug				
Fahrzeug	Fahrzeug		Akkumulator und Elektromotor		
Eisen	Eisen		Kobalt	Kobalt und Lithium gelten sozial-	
Stahl	Stahl		Lithium	und umweltbezogen als problema- tisch. Deshalb ist das Ziel, ihren Einsatzmengen im BEV zu reduzie- ren, eine umweltfreundlichere Roh- stoffgewinnung und ein konsequen- tes Recycling zu realisieren	
Platin	Kupfer		Mangan		
Kupfer	Aluminium	eines hohen Ratteriegewichts	Graphit		
Erdöl	Karbon		Kupfer		
	Erdöl		Nickel		
			Platin		
			Bor		
			Kupfer		
			Dysprosium	Seltene Erden für Elektromotoren	
			Neodym	Seliene Erden für Elektromotoren	

Eigene Darstellung

sind fast vollständig wartungsfrei und damit auch dauerhaft sehr zuverlässig. Das Gewicht einer Elektroauto-Batterie liegt meist zwischen 200 und 700 Kilogramm. Der Akku des Kleinstwagens VW e-Up (36,8 kWh Kapazität) wiegt 248 kg, die Batterie eines Tesla Model 3 mit 75 kWh kommt auf 478 Kilo.

Für die Bewertung der Umweltwirkungen ist weiterhin auch der Betrieb der Fahrzeuge zu beurteilen, insbesondere die Herkunft des elektrischen Fahrstromes betreffend. Der Lebenszyklus endet schließlich mit der Entsorgung, verbunden mit einer möglichst hohen Quote des Recyclings der verwendeten Rohstoffe im Fahrzeug einschließlich der des Fahrzeugakkumulators. Konsequenterweise schließt die Betrachtung auch die verwendeten erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen und externen Speichersysteme ein.

Letztlich ist ein neues Denken unserer Mobilität der Zukunft als eine wichtige Komponente in die Betrachtung der Nachhaltigkeit von elektrischen Kraftfahrzeugen einzubeziehen. Bei einer durchschnittlichen Tagesfahrstrecke von 39 km pro Tag in Deutschland (vgl. Kuhnimhof/Nobis 2018, S. 28) stellt

102 Ernst-Peter Jeremias

sich die berechtigte Frage, ob heute ca. 47 Millionen fossil betriebene Kraftfahrzeuge in Deutschland zukünftig 1:1 durch individuelle elektrische Kraftfahrzeuge ersetzt werden sollten. Ein neues Verständnis zur Mobilität der Zukunft ist die entscheidende Herausforderung unserer Zeit im Sektor Verkehr. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) ist durch akzeptable Angebote eines nachhaltigen öffentlichen Verkehrs deutlich zu reduzieren. Erst in zweiter Linie sind die technisch-technologischen Alternativen maßgeblich. Zu diesem Thema hat der Autor bereits einen speziellen Beitrag veröffentlicht (vgl. Jeremias 2020). Deshalb soll auf die erforderliche Änderung unseres Mobilitätsverhaltens an dieser Stelle im Weiteren nicht näher eingegangen werden. Vielmehr werden hier einige grundsätzliche Gedanken zum Lebenszyklus von BEV und den zugehörigen Stromspeichern entwickelt. Insbesondere die derzeit in den BEV verwendeten Lithium-Ionen-Speicher erfordern noch einen hohen Strombedarf in der Produktion und auch später beim Recycling der Speicher. Der aktuelle Strommix ist dabei in den meisten Industrieländern noch maßgeblich durch die Verwendung von Vermögensenergien charakterisiert. Der Übergang auf Einkommensenergien wird wohl ein Prozess sein, der je nach Umsetzungsgeschwindigkeit noch zehn bis zwanzig Jahre dauern kann.

Sollten wir also auf Grund dieser Tatsache die Nutzung der batteriebetriebenen Elektromobilität ebenfalls weiter hinausschieben?

Die vorrangige Nutzung von Wasserstoff als Energieträger in der Mobilität würde im Übrigen durch die geringere Energieeffizienz der prozessbedingten Energieumwandlung die Nachfrage nach Strom aus Einkommensenergien deutlich erhöhen. Der Bedarf an "grünem" Wasserstoff aus eigenem Aufkommen wird absehbar ohnehin nicht für alle Sektoren ausreichend befriedigt werden können.

Zum Energiebedarf und den daraus resultierenden CO₂-Emissionen existieren zahlreiche Untersuchungen und Studien. Am bekanntesten ist die sogenannte "Schwedenstudie" aus dem Jahr 2017, die im Jahr 2019 überarbeitet wurde (vgl. Emilson/Dahlöf 2019). In der "Schwedenstudie" wird auf zahlreiche internationale Quellen zurückgegriffen. Bei der "Schwedenstudie" handelt es sich um eine Literaturstudie zum Life Cycle Assessment von Lithium-Ionen-Batterien in leichten Nutzfahrzeugen. Die Studie aus dem Jahr 2019 untersucht die Treibhausgasemissionen für die Herstellung von Batterien auf der Basis von Nickel-Mangan-Kobalt (NMC-Typ).

Im Lebenszyklus sind weiterhin der Stromverbrauch für den Betrieb der BEV und schließlich auch das Recycling von Fahrzeugen und insbesondere Speichern zu berücksichtigen. Eng verbunden mit der CO₂-Emission bei der

Produktion und Entsorgung von Lithium-Ionen-Batterien ist das Thema der Rohstoffverfügbarkeit, der Nachhaltigkeit ihrer Gewinnung und Bereitstellung.

Weitere Ergebnisse zum Thema sind in den nachfolgenden Untersuchungen dokumentiert.

- "1. In allen untersuchten Fällen hat das Elektroauto über den gesamten Lebensweg einen Klimavorteil gegenüber den Verbrennern.
- Mit den Fortschritten bei der Batterieentwicklung insbesondere durch effizientere Fertigungsprozesse, höhere Energiedichte, verbesserte Zellchemie und CO₂-ärmeren Strom bei der Herstellung kann die Klimabilanz der Batterie in den kommenden Jahren mindestens halbiert werden.
- Der Klimavorteil des Elektroautos wächst, wenn der Ausbau der Erneuerbaren im Rahmen der Energiewende forciert wird; denn die Antriebsenergie ist die wichtigste Einflussgröße auf die Klimabilanz.
- Die Batteriezell-Fertigung auf Basis eines möglichst hohen Anteils Erneuerbarer Energien, kann europäischen Ländern einen Standortvorteil verschaffen.
- Mehr Transparenz zur Klimabilanz der Batterien ist Voraussetzung, um weitere Verbesserungspotenziale über den gesamten Lebensweg erschließen zu können." (Helms et al. 2019, S. 3)

Eine weitere Studie vergleicht Umweltauswirkungen von Benzin-, Diesel-, Erdgas- und Elektrofahrzeugen mithilfe eines prozessbasierten "Attributional Life Cycle Assessment" (LCA)³ und der "ReCiPe-Charakterisierungsmethode"¹, die 18 Wirkungskategorien und die Endpunkte für einzelne Punkte erfasst (vgl. Helmers et al. 2020). Im Gegensatz zur gängigen Praxis wurden die Bestände von der Wiege bis zur Bahre von einem im Labor zerlegten und elektrifizierten VW Caddy abgeleitet, dessen Energieverbrauch unterwegs gemessen wurde. Die Produktion von Batterien mit Photovoltaik anstelle von chinesischem Strom auf Kohlebasis verringert die Klimaauswirkungen der Batterieproduktion um 69 %. Die Gewinnschwelle für den elektrischen VW Caddy, der die Verbrennungsmotormodelle unter verschiedenen Bedingungen hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels überholt, lag zwischen 17.000 und 310.000 km.

^{3 &}quot;Eine Lebenszyklusanalyse (auch bekannt als Umweltbilanz, Ökobilanz oder englisch life cycle assessment bzw. LCA) ist eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges ("from cradle to grave", "von der Wiege bis zur Bahre")" (https://de.wikipedia.org/wiki/Lebenszyklusanalyse [28.01.2021]).

⁴ ReCiPe "Mineral resource depletion": Abschätzung des Ressourcenerschöpfungspotenzials von mineralischen Stoffen.

104 Ernst-Peter Jeremias

Die Veröffentlichung vom Fraunhofer ISI legt einen Faktencheck und daraus abgeleiteten Handlungsbedarf vor (vgl. Thielmann 2020). Es werden zwölf Thesen erstellt, die auch die hier behandelte Thematik berühren und fachlich ergänzen.

Im Lebenszyklus der heute verbreiteten Lithium-Batterien spielen insbesondere nachfolgend behandelte Einflussfaktoren auf die Nachhaltigkeit eine große Rolle.

2 Einflussfaktoren auf die Nachhaltigkeit von Stromspeichern in der Elektromobilität

2.1 Der verwendete Strommix

Der verfügbare und verwendete Strommix beeinflusst die CO₂-Emissionen bei der Rohstoffbereitstellung (1), bei der Batteriematerialherstellung (2), bei der Herstellung von Fahrzeug (3) und bei der Batteriezellenfertigung (4), beim Betrieb der Fahrzeuge (5) und beim Recycling von Fahrzeug (6) und Batterie (7).

Die "Schwedenstudie" schätzt aktuell ein CO₂-Äquivalent von 61 bis 106 kg CO₂äqu/kWh Batteriekapazität in den Phasen (1), (2) und (4). Es wird erwartet, dass sich dieser Wert mit der zukünftigen Nutzung von 100 Prozent "grünem" Strom weiter deutlich reduzieren lässt. Weiterhin werden neue und innovative Herstellungstechnologien insbesondere in der Batteriezellenfertigung zur Senkung der herstellungs- und produktionsbedingten CO₂-Äquivalente beitragen.

"Die Tesla Gigafactory (Nevada) wird zum Ende des nächsten Jahres (2019) zu 100 % mit erneuerbaren Energien (mit Tesla Solar) betrieben", so Elon Musk auf "Twitter" (Musk 2018). Für die im Bau befindliche Gigafactory in Grünheide bei Berlin sind solche Pläne ebenfalls bekannt. Auch der VW-Konzern stellt seine Produktion auf eine nachhaltige Stromversorgung um.

Die Abhängigkeit energiebedingter THG-Emissionen vom verwendeten Strommix und aufgewendeten Strombedarf in der Batterieproduktion untersucht eine weitere Studie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e.V. aus dem Jahr 2019 (vgl. Regett et al. 2019). Hier werden spezifische CO₂-Äquivalente je kWh an Batteriekapazität zwischen maximal 212 bis 62 kg CO₂ pro kWh Batteriekapazität ermittelt. Der hohe Wert wird für den vorwiegendem Einsatz von Kohlestrom und einem hohen Strombedarf bei der Batterieproduktion ermittelt, der geringe Wert bei energieoptimierter Batterieproduktion und einem Emissionsfaktor für Strom von 0 kg/kWh. Die Ergebnisse decken sich mit den Aussagen der "Schwedenstudie".

2.2 Rolle der Batteriegröße

Die Größe der im BEV eingesetzten Batterie bestimmt den Bedarf an Rohstoffen und den Stromverbrauch für deren Produktion. Bei der Beobachtung der Entwicklung des aktuellen Marktes für Elektromobilität ist festzustellen, dass sich ein Trend zu großen elektrischen Personenkraftwagen mit Reichweiten abzeichnet, die mit denen der Verbrennungskraftfahrzeuge theoretisch vergleichbar sein sollen. Insbesondere die deutschen Automobilhersteller nehmen hier inzwischen eine führende Rolle ein. Für die 2021 erwartete Modellpalette sind Fahrzeugbatterien im Bereich von 22 kWh (Renault Twingo, 60 kW); über 62 kWh (Skoda Enyac) und 75 kWh (TESLA Modell Y maximale Reichweite), 80 kWh (Mercedes-Benz EQC 400 4MATIC) bis hin zu einer Bruttokapazität von 95 kWh (Audi e-tron advanced 55 quattro) zu finden.

Eine große Reichweite setzt physikalisch also eine große Batteriekapazität voraus, die beim heutigen Stand der Batterietechnologie zwangsläufig zu einem deutlich höheren Material- und Stromverbrauch führt, als das bei kleineren Batterien der Fall ist. Dieser Weg führt nach meiner Einschätzung auf Grund einer vergleichsweise schlechten Öko- und Ressourcenbilanz in eine Sackgasse und die Elektromobilität in negative Schlagzeilen.

Als bekennender, aktiver Elektromobilist mit einem Wohnort ca. 30 km von der nächsten Stadt entfernt und einer täglichen Pendelstrecke von bis zu 70 km kann der Autor aus eigener Erfahrung einschätzen, dass eine (vernünftige) Batteriekapazität im BEV von max. 50 kWh für das notwendige tägliche Pendeln in der Regel völlig ausreichend ist, ca. ein Viertel Reichweitenverlust im Winter ist dabei einkalkuliert.

So verständlich das Interesse der Automobilindustrie sein mag, den Weg von der Verbrennungstechnologie zur Elektromobilität möglichst mit Beibehaltung einer hohen Wertschöpfung in der Automobilherstellung zu gehen, wird eine nachhaltige automobile Zukunft nicht ohne Änderung des Mobilitätsverhaltens der Menschen zu vollziehen sein. Der Ansatz kann nur lauten, den MIV mit Elektroautos auf die "erste" und "letzte Meile" (bis ca. 250 km) zu begrenzen und die Langstrecke mit energieeffizienten öffentlichen Verkehrsmitteln zu bewältigen.

2.3 Verwendeter Strommix beim Betrieb eines BEV

Öffentliche Kritik am BEV äußert sich aktuell in der Tatsache, dass erst nach einer Fahrstrecke von 60.000 km und mehr eine Parität der THG-Emissionen von Verbrenner-Pkw und BEV erreicht wird. Diese Aussage zur notwendigen Fahrleistung hängt maßgeblich von der Größe der untersuchten

106 Ernst-Peter Jeremias

Fahrzeuge (siehe Abschnitt 2.2), von deren Verbrauch an Kraftstoff bzw. Elektrizität und vom verwendeten Strommix ab. Letzterer ist heute in vielen Ländern noch durch CO₂-emitierenden Kohlestrom beeinflusst, was zwangsläufig zu einem höheren "CO₂-Rucksack" des Elektrofahrzeugs führt. Untersuchungsergebnisse zeigen dabei länderspezifische Abhängigkeiten, in denen beispielsweise der Betrieb von BEV in Frankreich (großer Anteil an CO₂-neutralen Atomstrom) und in Norwegen (hoher Wasserkraftanteil) vergleichsweise gut abschneidet (vgl. Hall/Lutsey 2018).

In einer Untersuchung der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e.V. wird dieses Thema genauer dargestellt (vgl. Regett et al. 2019). Es zeigt sich, dass das Elektrofahrzeug im Falle eines Ladens mit dem deutschen Strommix aus dem Jahr 2015 (Emissionsfaktor: 0,58 kg CO₂-äqu/kWh, EE-Anteil: 29 %) ab einer gefahrenen Strecke von ca. 50.000 km aus der Sicht der Emissionen besser abschneidet als ein Benzinfahrzeug. In der Untersuchung des FfE werden Fahrzeuge der Kompaktklasse mit Verbrauchswerten von 5,9 l/100 km (Verbrenner Benzin) und 17,3 kWh/100 km (BEV) verglichen. Die Emissionen in der Betriebsphase wurden auf Well-to-Wheel-Basis⁵ bestimmt und beinhalten folglich auch die Bereitstellung der Brennstoffe und des geladenen Stroms. Der Vergleich startet bei unterschiedlichen Treibhausgasemissionen, die als CO2-äqu/kWh aus der Produktion der untersuchten Fahrzeuge in Deutschland in die Betrachtung eingebracht werden. Parität wird durch die Nutzung von Strom aus Photovoltaik für den Fahrstrom des BEV bereits bei einer Fahrleistung von ca. 22.000 km erreicht. Das bestätigt die Aussage, dass Produktion und Betrieb von BEV schnellstmöglich auf Einkommensenergie umgestellt werden müssen.

2.4 Lebenszyklus des Akkumulators

Batterien für BEV sind allgemein für 3.000 Zyklen (Be- und Entladen) und mehr ausgelegt. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass der Akkumulator später mit einer verminderten Kapazität auf ca. 80 % dann nicht mehr benutzt werden kann und entsorgt bzw. recycelt werden muss. Autohersteller geben heute in der Regel eine Garantie auf 80 % Mindestkapazität bis 160.000 km bzw. für acht Jahre. Darüber hinaus gibt es heute bereits zahlreiche Einsatzmöglichkeiten für ausgesonderte Fahrzeugbatterien in stationä-

Well-to-Wheel (auch: Well to Wheel, Well2Wheel oder WTW, wörtlich: "vom Bohrloch bis zum Rad") ist eine Betrachtungs- bzw. Analysemethode im Bereich der Kraftfahrzeuge. Dabei wird die gesamte Wirkungskette für die Fortbewegung von der Gewinnung und Bereitstellung der Antriebsenergie bis zur Umwandlung in kinetische Energie untersucht (nach https://de.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel [26.01.2021]).

ren Batterieanlagen. Das können stationäre Stromspeicher im Stromnetz, in batteriegestützten Stromversorgungsanlagen (PV-Anlagen)/Notstromanlagen, aber auch batteriegestützte Booster-Ladestationen für Elektrofahrzeuge sein. Letztere werden beispielsweise zunehmend zum Schnellladen von Elektrobussen eingesetzt. Ein weiterer Aspekt zur Verringerung des "CO2-Rucksackes" der BEV wird sein, wenn die Akkumulatoren der BEV durch bidirektionales Laden und Entladen in die Stabilisierung der Stromnetze einbezogen werden können. Aktuell wird durch die Automobilindustrie das Thema Vehicle2X thematisiert, das die Nutzung des Fahrzeugakkumulators eines BEV für die Stromnetzstabilisierung (Vehicle2 Grid), für den Betrieb von Haushaltgeräten und zum Zwischenspeichern von Strom aus heimischen PV-Anlagen (Vehicle2Home) sowie für den Betrieb mobiler elektrischer Geräte (Vehicle2Device) umfasst. Dazu hat sich VW positioniert, fordert aber auch die notwendigen Rahmenbedingungen dafür ein. Hyundai will 2021 mit dem Ioniq 5 das erste Modell mit den genannten Funktionen auf den Markt anbieten, zusätzlich mit der Funktion Vehicle2Vehicle, bei dem das BEV direkt ein anderes Fahrzeug laden kann (vgl. Schaal 2021).

Diese sinnvollen Mehrfach- und Nachnutzungen von Fahrzeugakkumulatoren müssen zukünftig dem BEV in Bezug auf dessen THG-Emissionen entsprechend angerechnet werden.

2.5 Recycling des Akkumulators

Mit dem Erreichen der Grenznutzungskapazität von Fahrzeugbatterien steht schließlich deren Entsorgung auf der Tagesordnung. Die Nachhaltigkeit gebietet es, die zu entsorgenden Batterien möglichst vollständig zu recyceln, was natürlich wiederum mit einem Energieaufwand verbunden ist, der der Ökobilanz von BEV anzurechnen ist. Das Recycling von Fahrzeugakkumulatoren steht technologisch noch am Anfang und wird in Pilotanlagen erprobt.

In Europa wird eine Kreislaufwirtschaft mit direkter und vollständiger Verwertung des wiederaufbereiteten Materials aus den recycelten Akkumulatoren erforderlich, um den höchsten Nutzen für die Nachhaltigkeit und die Wirtschaftlichkeit zu erzielen. Es sind folgende Stufen eines geschlossenen Recycling-Kreislaufs zu betrachten (vgl. Hackmann 2021):

Lebensende des BEV-Akkumulators \rightarrow Mechanische Trennung des Akkumulatormaterials \rightarrow Seperation des Kathodenmaterial \rightarrow Hydromechanische Aufarbeitung metallischer Salze (LiOH, CoSO₄, MnSO₄, NiSO₄) \rightarrow Synthese des aktiven Kathodenmaterials \rightarrow Recycling des aktiven Kathodenmaterials \rightarrow Zellproduktion mit recyceltem Material \rightarrow Batteriezellenherstellung mit recyceltem Kathodenmaterial \rightarrow Wiedereinsatz als Akkumulator im BEV

108 Ernst-Peter Jeremias

Zwei Unternehmen, die sich das Recycling von Autoakkumulatoren auf die Fahnen geschrieben haben, sind Umicore Antwerpen und das deutsche Chemieunternehmen Duesenfeld. Letzteres hat derweil eine Technologie im Einsatz, bei der ein Schredder unter Stickstoff gesetzt wird. Darin wird die leicht entzündliche Lithium-Ionen-Batterie zerlegt. Geschreddertes Material und Elektrolyt sind resultierende Fraktionen dieses Prozesses. Aus dem geschredderten Material gewinnt Duesenfeld die einstigen Rohstoffe Graphit, Mangan, Nickel, Kobalt und Lithium. Sie gehen in die (Re-)Produktion, um daraus neue Autoakkumulatoren zu bauen. 96 % aller Batteriebestandteile werden so einem neuen Kreislauf zugeführt; der CO₂-Fußabdruck bei der Produktion neuer Akkus verringert sich um 40 % im Vergleich zur Neuproduktion (vgl. Ingenieur.de 2019).

Die besondere Bedeutung des Akkumulatorenrecyclings besteht also in der Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe wie Lithium, Kobalt, Mangan u. a. Das muss in Verbindung mit dem Ansatz "Soviel-Auto-wie nötig" die teilweise nicht unproblematische Gewinnung der Rohstoffe (siehe Abschnitt 1) entlasten und zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität beitragen.

Derzeit fehlt in Europa aber noch eine entsprechend angepasste gesetzliche Regelung. Die aus dem Jahr 2006 stammende EU-Batterieverordnung entspricht nicht mehr den Anforderungen unserer heutigen Zeit (vgl. EU 2006). Für das Recycling gilt danach nach der aktuellen Verordnung:

"TEIL B: RECYCLING

- Mit den Recyclingverfahren müssen die folgenden Mindesteffizienzen für das Recycling erreicht werden:
- Recycling von 65 % des durchschnittlichen Gewichts von Blei-Säure-Batterien und -Akkumulatoren bei einem Höchstmaß an Recycling des Bleigehalts, das ohne übermäßige Kosten technisch erreichbar ist;
- Recycling von 75 % des durchschnittlichen Gewichts von Nickel-Cadmium-Batterien und -Akkumulatoren bei einem Höchstmaß an Recycling des Cadmiumgehalts, das ohne übermäßige Kosten technisch erreichbar ist;
- c) Recycling von 50 % des durchschnittlichen Gewichts sonstiger Altbatterien und -Akkumulatoren."

Lithium-Ionen sind von der Direktive nicht erfasst und die vorgegebene Recyclingquote von 50 % ist deutlich zu niedrig. Eine Gesetzesänderung ist also angezeigt.

⁶ Vgl. https://csm.umicore.com/en/battery-recycling/e-mobility/ [28.01.2021].

⁷ Vgl. https://www.duesenfeld.com/recycling.html [28.01.2021].

3 Innovation und Weiterentwicklung der Akkumulatoren

Die Weiterentwicklung der Akkumulatortechnologie für BEV erstreckt sich auf die folgenden Bereiche:

- Erhöhung der Leistungsdichte,
- Erhöhung der Betriebssicherheit,
- Ersatz problematischer Materialen,
- Verminderung des Energieeinsatzes bei Produktion und Recycling und
- Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Batterien.

Die Fachwelt setzt auf die Entwicklung und den zukünftigen Einsatz des Festkörperakkumulators in der Fahrzeugtechnik im Laufe dieses Jahrzehnts. Diese Entwicklung soll eine höhere Leistungsdichte und damit eine bessere Energie- und Materialeffizienz ermöglichen. Auf Lithium als Elektrolyten soll möglichst verzichtet werden.

Literatur

- Buchal, C.; Karl, H.-D.; Sinn, H.-W. (2019): Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz? In: Ifo Schnelldienst, Jg. 72/Nr. 8 vom 25. April, S. 40–55. URL: www.ifo > DocDL > sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25.pdf
- Emilson, E.; Dahllöf, L. (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production. Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. Stockholm (Swedish Environmental Research Institute Ltd.; Technical Report, No. C444) DOI: 10.13140/RG.2.2.29735.70562
- EU Europäische Union (2006): Richtlinie 2006/66/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG. – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0066
- Hackmann, M. (2021): E-Mobility is now Part of Mobility Customer Ecosystem What are the Main Challenges and Solutions. In: electrive.net LIVE. Die Online-Konferenz für Elektromobilität 27.01.
- Hall, D.; Lutsey, N. (2018): Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions. ICCT-Briefing, February. – URL: https://theicct.org/ publications/EV-battery-manufacturing-emissions
- Helmers, E.; Dietz, J.; Weiss, M. (2020): Sensitivity Analysis in the Life-Cycle Assessment of Electric vs. Combustion Engine Cars under Approximate Real-World Conditions. In: Sustainability, Vol. 12/No. 3. – URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/1241; DOI: https://doi.org/10.3390/su12031241

110 Ernst-Peter Jeremias

Helms, H.; Kämper, C.; Biemann, K.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Meyer, K. (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Berlin (Agora Verkehrswende). – URL: www.agora-verkehrswende.de. > Projekte > Klimabilanz_von_Elektroautos.pdf

- Ingenieur.de (2019): Batterierecycling: Wie Akkus von Elektroautos recycelt werden. In: Ingenieur.de. Technik Karriere News, 08.11. URL: https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/e-mobilitaet/batterierecycling-wie-akkus-von-elektroautos-recycelt-werden/
- Jeremias, E.-P. (2020): Löst die Elektromobilität unser Klimaproblem im Sektor Verkehr? In:
 Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften e.V., Nr. 40. –
 URL: https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2020/06/01_Jeremias-Loest-die-Elektro
 mobilitat-unser-Klimaproblem-im-Sektor-Verkehr_final-Korrektur-Pfaff.pdf
- Kuhnimhof, T.; Nobis, C. (2018): Mobilität in Deutschland MiD. Ergebnisbericht. Berlin. URL: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017 Ergebnisbericht.pdf
- Musk, E. (2018): Twitter-Nachricht 26.08.2018. URL: https://ecomento.de/2018/09/04/teslagigafactory-wird-ab-ende-2019-komplett-mit-erneuerbaren-energien-betrieben/
- Regett, A.; Mauch, W.; Wagner, U. (2019): Klimabilanz von Elektrofahrzeugen Ein Plädoyer für mehr Sachlichkeit. München (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.). URL: https://www.ffe.de/publikationen/pressemeldungen/856-klimabilanz-von-elektrofahrzeugen-ein-plaedoyer-fuer-mehr-sachlichkeit
- Schaal, S. (2021): V2G: VW fordert Kooperation von Autobranche, Energiesektor und Politik. In: electrive.net. Branchendienst für Elektromobilität, 27.01. – URL: https://www.electrive.net/2021/01/27/v2g-vw-fordert-kooperation-von-autobranche-energiesektor-und-politik/
- Schwenner, L. (2020): Sind Elektroautos umweltfreundlicher als Benziner? Planet Wissen, 16.09. – URL: https://www.planet-wissen.de/video-sind-elektroautos-umweltfreundlicherals-benziner-100.html [25.01.2021]
- Thielmann, A.; Wietschel, M.; Funke, S.; Grimm, A.; Hettesheimer, T.; Langkau, S.; Loibl, A.; Moll, C.; Neef, Ch.; Plötz, P.; Sievers, L.; Espinoza, L. T.; Edler, J. (2020): Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft? Karlsruhe (ISI Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung). URL: www.isi.fraunhofer.de > dam > dokumente > ccct > Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf

Rückbau von technologischen Anlagen

1 Vorbemerkungen

Der Beitrag, der auf einer Ausarbeitung von 2014 basiert (vgl. Mertzsch 2014), erweitert die im Beitrag "Der Lebenszyklus von Technologien im Rahmen der Allgemeinen Technologie I" getätigten Aussagen zum Rückbau von technologischen Anlagen. ¹

Der sich der dauerhaften Außerbetriebnahme einer technologischen Anlage anschließende Rückbau beendet den Lebenslauf eines technischen Artefakts und damit der dazugehörigen Technologie (vgl. Fratzscher 2008). Bei der Ausführung dieser Maßnahmen spielen, wie bei Schaffung und Betrieb der technischen Artefakte, neben technikwissenschaftlichen Aspekten auch naturwissenschaftliche und geisteswissenschaftliche Aspekte sowie ökonomische Aspekte eine große Rolle. Dazu zählen u. a.:

- Bereitstellung der naturwissenschaftlichen Grundlagen für neue Rückbautechnologien;
- Bereitstellung naturwissenschaftlicher Grundlagen für Grenzwerte im Boden- und Gewässerschutz sowie Arbeitsschutz;
- Diskussion und Festlegung oben genannter Grenzwerte;
- ökonomische Bewertung von Rückbautechnologien auch unter dem Aspekt des Allgemeinwohls.

Der allgemeine Verfahrensablauf für den Rückbau technologischer Anlagen lässt sich bei aller Unterschiedlichkeit der Anlagen entsprechend folgender Arbeitsschritte beschreiben:

- Planung der Rückbautätigkeit;
- Rückbau der technischen Anlage und der Gebäude;
- Entsorgung der Abfälle;
- Sanierung des Standorts (bei Notwendigkeit).

¹ Vgl. den Beitrag des Autors in diesem Band S. 41–51.

Um den Rückbau einer technischen Anlage effizient zu gestalten, sollten die Anforderungen des Rückbaus bereits bei der Planung neuer Anlagen Berücksichtigung finden. Das ist bisher noch nicht immer verwirklicht, da bisher der optimale Anlagenbetrieb im Focus stand. Ein Umdenken könnte sich durch die weitere Durchsetzung einer Kreislaufwirtschaft ergeben.

2 Planung der Rückbautätigkeit

In Vorbereitung des Rückbaus einer technischen Anlage ist über den weiteren Umgang mit dem betroffenen Grundstück zu entscheiden. In vielen Fällen ist der Rückbau als Maßnahme zur Vorbereitung des Aufbaus einer neuen Anlage zu sehen (vgl. Roller 2004). Dieses Vorgehen ist besonders unter dem Aspekt der Minimierung des Flächenverbrauchs positiv zu bewerten (vgl. UBA 2004). Ist eine weitere Nachnutzung des Standortes noch nicht in Sicht, ist, soweit möglich, die Art einer möglichen Nachnutzung festzulegen. Danach richtet sich gegebenenfalls die notwendige Planung der Sanierung der Grundstücksflächen, was besonders unter dem Kostenaspekt bedeutsam ist. Eine geplante Änderung der Flächennutzung eines ehemaligen Standortes einer technischen Anlage bedeutet auch, dass gegebenenfalls Flächennutzungspläne von Gemeinden zu ändern sind.

Um den Rückbau einer technischen Anlage unter Beachtung aller gesetzlichen Anforderungen ausführen zu können, müssen Auftraggeber, Planer und die Auftragnehmer der verschiedenen Maßnahmen eng zusammenarbeiten.

In Vorbereitung der Rückbauplanung ist als erstes beim Auftraggeber eine Sichtung und Sammlung der vorhandenen Bestandsunterlagen durchzuführen, damit ein Abgleich mit den tatsächlichen Gegebenheiten ausgeführt werden kann. Wie Erfahrungen zeigen, wurden vielfach im Laufe der Jahre Anlagenänderungen vorgenommen, die nicht ordnungsgemäß dokumentiert wurden.

Eine entscheidende Aufgabe ist die Ermittlung aller zu erwartenden Gefährdungen beim Rückbau der Anlage und der zugehörigen Bauwerke (vgl. Rehtanz 1994), für die der Auftraggeber verantwortlich ist. Dazu gehört die Erfassung aller in der betreffenden Anlage und in den Bauwerken vorhandenen Gefahrstoffe, wie z. B. Asbest, künstliche Mineralfasern oder polychlorierte Biphenyle (PCB).

Die Erfassung der Umgebungsbedingungen ist notwendig, um Einflüsse des Rückbaus auf die Nachbarbebauung und Nachbaranlagen sowie vorhandene Leitungen zu erkennen. So sind für Rückbauarbeiten in der Nähe von vibrationssensiblen Anlagen (z. B. laufende Turbinen) und Gebäuden mög-

lichst vibrationsarme Verfahren einzusetzen. Ebenso ist der Einsatz von Sprengtechniken in diesen Bereichen nur begrenzt möglich. In brand- und explosionsgefährdeten Bereichen verbietet sich der Einsatz von thermischen Abbruchverfahren.

Des Weiteren sind die möglichen Aufstell- und Verkehrsflächen für Baustelleneinrichtungen, Abbruchgeräte, Container und Vorbehandlungsstationen für Abfälle festzulegen. Das zu erstellende Entsorgungskonzept soll als internes Planungsinstrument die Art und Menge der anfallenden und getrennt zu entsorgenden Abfälle beschreiben. Im Weiteren erfolgt die Zuordnung zu möglichen Verwertungs- und Entsorgungswegen unter Beachtung der Andienungspflicht für gefährliche Abfälle. Darauf aufbauend können die geeigneten Entsorgungsfachbetriebe ausgewählt sowie die Entsorgungsnachweise erstellt werden.

In der Ausführungsplanung für den Abbruch werden Vorgaben zur Abbruchreihenfolge und zum Maschineneinsatz festgelegt. Weitere Vorgaben erfolgen zur Materialtrennung und Zuordnung zu den Entsorgungswegen sowie zur Abbruchdauer und zu Maßnahmen zur Beschränkung von Emissionen. Dabei sollte der Schwerpunkt auf dem selektiven Rückbau liegen, um eine möglichst hochwertige Verwertung der Abfälle zu erreichen (vgl. Meetz et al. 2015). Auch Abschätzungen zu den anfallenden Kosten sind Inhalt der Ausführungsplanung.

Ein weiterer wichtiger Baustein der Ausführungsplanung ist die Erstellung einer schriftlichen Abbruchanweisung auf der Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung, um den besonderen sicherheitstechnischen Anforderungen von Rückbauarbeiten gerecht zu werden (vgl. DGVU 2020). Bei wesentlichen Veränderungen des Arbeitsablaufes bzw. bei nachträglich festgestellten Gefährdungen ist diese jeweils zu aktualisieren.

Aufbauend auf den erstellten Planungsunterlagen sind dann rechtzeitig alle notwendigen Genehmigungen zum Rückbau der Anlage einzuholen. Dazu zählen die Abbruchgenehmigung sowie abfallrechtliche, naturschutzrechtliche und wasserrechtliche Genehmigungen. Besonders beim Problem der naturschutzrechtlichen Genehmigung sollte rechtzeitig der Kontakt mit der Behörde gesucht werden, da hier erhebliche zeitliche Probleme liegen können (z. B. beim Vorhandensein von schützenswerten Fledermäusen).

3 Rückbau der technischen Anlage und der Gebäude

Abbruch- und Rückbauarbeiten gehören zu den gefährlichsten Tätigkeiten, die im Baugewerbe ausgeführt werden (vgl. Gabriel et. al. 2010). Diese sind

deshalb nur von erfahrenen Fachleuten unter sachkundiger Leitung auszuführen. Um Personal für solche Arbeiten zu qualifizieren, wurde der Beruf "Bauwerksmechaniker/in für Abbruch und Betontrenntechnik" als dreijähriger anerkannter Ausbildungsberuf in der Industrie eingeführt.²

Für die Bauleitung der durchzuführenden Arbeiten ist eine sachkundige Person als Koordinator einzusetzen.

Erschwerend für Rückbauarbeiten wirken sich aus:

- räumliche Beengtheit;
- gegenseitige Gefährdungen infolge verschiedener gleichzeitig durchgeführter Abbrucharbeiten;
- Fortführung benachbarter Produktionsprozesse;
- unmittelbare Nähe von Versorgungsleitungen;
- Zeitdruck.

Diese Punkte sind bereits bei der Planung zu berücksichtigen und in ein sicheres Arbeiten umzusetzen.

Im Rahmen des Rückbaus anfallende Abfälle sind bereits beim Abbau so zu sortieren, dass sie möglichst sortenrein den Entsorgungswegen entsprechend der Annahmebedingungen der Entsorgungsanlagen zugeführt werden können. Eine Vermischung von Abfällen unterschiedlicher Qualität ist auszuschließen.

Für den Rückbau technischer Anlagen stehen umfangreiche Abbruchverfahren zur Verfügung, die entsprechend der vorliegenden Einsatzbedingungen ausgewählt werden. Dazu zählen mechanische, thermische, chemische und hydrodynamische Verfahren (vgl. Toppel 2003).

3.1 Mechanische Abbruchverfahren

Mechanische Verfahren können manuell oder maschinell ausgeführt werden.

Manuelle Verfahren kommen dabei vorwiegend beim Demontieren von technischen Anlagen, beim Entkernen von Gebäuden und beim manuellen Abbruch zum Einsatz. Für den manuellen Abbruch stehen neben einfachen Handwerkzeugen handgeführte Geräte wie Trennschleifer, Hämmer und Sägen zur Verfügung. Eingesetzt werden manuelle Verfahren nur an sehr begrenzten Objekten bzw. wenn der Einsatz anderer Verfahren nicht möglich ist.

Vgl. https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index;BERUFENETJSESSION ID=vrUACfLU4IcFEQQcNcxkLwnbIH15ky6BtzLiQ0zXMKpzpE_FV0fZ!1225561035?path=null/suchergebnisse/kurzbeschreibung&dkz=27304&such=bauwerksmechaniker

Als maschinelles mechanisches Verfahren für die Anlagendemontage wird vorrangig das maschinelle Sägen eingesetzt. Für den maschinellen Abbruch werden vorrangig Hydraulikbagger, Seilbagger, Hebezeuge und Radlader verwendet. Diese werden je nach Einsatzgebiet mit Anbaugeräten ausgestattet. Dazu zählen z. B. Abbruchzange, Abbruchhammer, Pulverisierer und Stahlschere.

Für spezielle Anwendungen (z. B. beim selektiven Rückbau von Gebäuden) stehen als Verfahren unter anderem Kreissägen oder Seilsägen mit Diamantsägeblättern bzw. Diamantseilen, Bohrgeräte für Kernbohrungen oder Vollbohrungen zur Verfügung.

3.2 Thermische Abbruchverfahren

Thermische Verfahren werden vorwiegend von Hand ausgeführt. Fernbediente Verfahren haben sich z. B. bei Unterwasserarbeiten in der Kerntechnik durchgesetzt.

Das bekannteste thermische Verfahren ist das autogene Brennschneiden.³ Dieses wird beim Trennen von Anlagenteilen, Stahlkonstruktionen und Bewehrungsstahl eingesetzt.

Plasmaschneiden kann als Trennverfahren für nicht-brennschneidbare Werkstoffe aus Metall eingesetzt werden. ⁴ Bevorzugte Einsatzgebiete sind das Trennen von hochlegierten Stählen und Nichteisenmetallen. Das Verfahren arbeitet auch fernbedient unter Wasser.

Weitere thermische Verfahren sind Schneiden mit Kernlanze, Pulverlanze und Pulverschneidbrenner. Diese Verfahren sind für das Trennen von Metall und Beton geeignet.

3.3 Chemische Abbruchverfahren

Zu den chemischen Abbruchverfahren zählen das Sprengen mit Sprengstoff und Quellmitteln.

Der Einsatz von Sprengungen mit Sprengstoff ist besonders geeignet für Schornsteine, Turbinenfundamente und Stahlkonstruktionen (z. B. Förderbrücken im Braunkohlebergbau). Vorteile sind kurze Abbruchzeiten und nur kurzzeitige Beeinträchtigung der Umgebung. Dafür ist der Aufwand für Sicherungsmaßnahmen hoch.

Quellmittel werden zur Spaltenbildung in mineralischen Baustoffen (Mauerwerk und gering bewährter Beton) eingesetzt. Vorteilhaft ist der Ein-

³ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Autogenes Brennschneiden

⁴ Vgl. https://plasmaschneider-abc.de/plasmaschneiden-die-vor-und-nachteile/

satz in brand- und explosionsgefährdeten Bereichen. Der Aufwand für die Bohrlochherstellung ist hoch.

3.4 Hydrodynamische Abbruchverfahren

Als hydrodynamisches Abbruchverfahren werden Hochdruckwasserstrahlverfahren mit und ohne Abrasivmittel-Zusatz eingesetzt (vgl. abw-recycling 2020).

4 Sanierung des Standortes der rückgebauten technischen Anlage

Durch technische Anlagen, die viele Jahre in Betrieb waren und die den heute geltenden Anforderungen an den Umweltschutz nicht gerecht werden, ist es in vielen Fällen zu einer Kontamination von Boden und Grundwasser durch Schadstoffe gekommen. Das gilt auch für Altstandorte. Besonders betroffen sind Anlagen der chemischen Industrie und ehemalige Gaswerke (vgl. Schreyer 1991), aber auch Anlagen der Metallurgie, der Energieerzeugung sowie Tankstellen.

Ist es zu einer schädliche Bodenveränderungen und einer Gewässerverunreinigung gekommen, sind verunreinigter Boden bzw. eine Altlast sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen so zu sanieren, dass festgelegte Gefahrenschwellen dauerhaft unterschritten werden. Es geht also darum, erkennbare Gefahren, die in einem räumlichen und zeitlichen Zusammenhang mit der rückzubauenden Anlage stehen, im Rahmen der Nachsorge abzuwehren. Die rechtliche Grundlage dafür bildet das Bodenschutzrecht (vgl. BbodSchG 2017).

Für die Sanierung eines kontaminierten Standortes lässt sich bei allen Unterschieden der Bodenkontaminationen, der Standortgegebenheiten und der einzusetzenden Sanierungsverfahren eine einheitliche Vorgehensweise ableiten:

- Erkundung von Bodenverunreinigungen und Planung der notwendigen Sanierungsarbeiten;
- Sanierung des Bodens und/oder des Grundwassers bzw. Gewässers;
- Entsorgung der kontaminierten Abfälle;
- Nachsorge.

4.1 Erkundung von Bodenverunreinigungen

Für die Erkundung von Bodenverunreinigungen wird im nachsorgenden Bodenschutz üblicherweise ein gestuftes Verfahren angewandt. Damit soll mit

möglichst geringem Aufwand der Verdacht einer Bodenverunreinigung bestätigt oder ausgeschlossen werden.

Dabei werden die Arbeitsschritte Erfassung, Untersuchung sowie Bewertung von Verdachtsflächen und altlastverdächtigen Flächen systematisch ausgeführt. Die Untersuchungen erfolgen im Hinblick auf das Gefahrenpotenzial der betroffenen Flächen und die Feststellung der Notwendigkeit einer Sanierung. Daraus werden dann die notwendigen Maßnahmen zur Sanierung der festgestellten schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten sowie auch gegebenenfalls notwendige Maßnahmen zur Nachsorge nach Beendigung der Sanierungsmaßnahme abgeleitet.

Gefahrenpotenzial bzw. Schadensausmaß werden durch orientierende Untersuchungen erfasst. Erforderlichenfalls schließen sich Detailuntersuchungen an. Darauf basierend erfolgt eine Gefährdungsabschätzung für die Schutzgüter

- menschliche Gesundheit;
- Wasserressourcen, Wasserqualität;
- Luftqualität;
- Boden in seinen natürlichen Funktionen;
- Natur und Landschaft.

Bei der Bewertung von Gefährdungen, die von mit Schadstoffen belasteten Bodenflächen ausgehen, sind auch Planungen hinsichtlich einer zukünftigen Nutzung des Grundstücks (z. B. weiterhin Industriegelände, Wohnbebauung oder landwirtschaftliche Nutzfläche) zu berücksichtigen.

4.2 Sanierung von Bodenverunreinigungen

Schadstoffbelastete Böden und Altlasten sowie dadurch verursachte Verunreinigungen von Grundwasser und Gewässern müssen so saniert werden, dass keine dauerhaften Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen.

In Abhängigkeit von den geologischen und hydrologischen Standortgegebenheiten, der gegenwärtigen und gemäß Planungsrecht zukünftigen Nutzung, den Schadstoffeigenschaften und den betroffenen Schutzgütern können zur Gefahrenabwehr verschiedene Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen zur Anwendung kommen. Deren Festlegung erfolgt durch die zuständige Behörde auf der Basis der durchgeführten Sanierungsuntersuchungen. Die behördlich festzulegenden Maßnahmen müssen in einem angemessenen Verhältnis zur abzuwehrenden Gefahr stehen. Für eine dauerhafte Gefahrenabwehr (Sanierung) sind neben Dekontaminationsmaßnah-

men, bei denen die Schadstoffe beseitigt oder vermindert werden, auch Sicherungsmaßnahmen, die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern, in Betracht zu ziehen.

Wenn nach der Sanierung aufgrund eines verbliebenen Schadstoffpotenzials eine langfristige Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Sanierungsbauwerke und -anlagen sowie die Überwachung einer möglichen Ausbreitung der verbliebenen Schadstoffe notwendig sind, werden Nachsorgemaßnahmen erforderlich.

Für Bodenverunreinigungen, die erst nach Inkrafttreten des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG), dem 01.03.1999, entstanden sind, ist jedoch allein die Dekontamination zulässig (vgl. Frauenstein 2010).

Für die Sanierung von kontaminierten Standorten sind die verschiedensten Verfahren entwickelt worden. Im Folgenden wird auf einige wesentliche Verfahren eingegangen.

Auskofferung

Die bekannteste Maßnahme zur Sanierung eines Standortes ist der Aushub des kontaminierten Bodens. Dieser ist dann entweder direkt auf einer Deponie abzulagern oder in einer Bodenwaschanlage bzw. thermischen Behandlungsanlage weiter zu behandeln.

Behandlung in einer Bodenwaschanlage

Die Behandlung von Böden in einer Bodenwaschanlage eignet sich neben der Entfernung von organischen Schadstoffen wie Mineralölkohlenwasserstoffen, Halogenkohlenwasserstoffen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) auch für Böden mit anorganischen Schadstoffen wie Schwermetallen, Cyaniden und Sulfiden (vgl. Handbuch 1993).

Der gereinigte Boden kann anschließend auf einer Deponie abgelagert werden, oder er wird, da durch die Behandlung die Bodenfunktion zerstört ist, als Inertmaterial wieder eingebaut. Anfallende Wässer sind zu reinigen, die Schadstoffe abzutrennen und in geeigneter Form zu entsorgen. Das gereinigte Wasser ist weitgehend im Kreislauf zu fahren. Die Abluft ist entsprechend der anfallenden Gase zu reinigen.

In Bodenwaschanlagen können auch verunreinigte Baustoffe, wie Beton und Ziegel, gereinigt werden.

Thermische Behandlung

Bei der thermischen Behandlung erfolgt eine Zerstörung der adsorptiven und chemischen Bindungskräfte durch Zufuhr von thermischer Energie. Die Schadstoffe werden üblicherweise anschließend oxidiert oder in die Rückstände eingebunden. Je nach angewandtem Temperaturbereich und angewandter Technologie werden die Verfahren in Entgasungs-, Vergasungs- und Verbrennungsprozesse eingeteilt. Die Verdampfungs- und Verbrennungstemperaturen sowie die Verweilzeiten in den Reaktionszonen richten sich nach den vorliegenden Schadstoffen sowie nach der beabsichtigten Verwendung des gereinigten Materials. Neben Drehrohröfen können auch Wirbelschichtöfen (vgl. ABRG 2020) eingesetzt werden.

Die thermischen Verfahren sind grundsätzlich für die Entfernung von organischen Verunreinigungen aus Böden geeignet. Dabei werden die organischen Stoffe entweder direkt zerstört oder nach dem Austreiben aus dem Boden zerstört.

Die Abgase der thermischen Behandlungsanlage sind von gasförmigen Schadstoffen oder Aerosolen zu reinigen. Die Filterstäube aus der Abgasreinigung sind als gefährliche Abfälle vorzugsweise in einer Untertagedeponie zu entsorgen.

Biologische Behandlung

Die biologische Behandlung von kontaminierten Böden wird zum biologischen Abbau von organischen Schadstoffen durch Mikroorganismen oder Pilze angewandt (vgl. Hupe et. al. 2020).

Nach einer mechanischen Vorbereitung (Zerkleinerung) werden die zu reinigenden Böden üblicherweise in Mieten mit Bakterienkulturen sowie Nährstoffen und gegebenenfalls Lösungsvermittlern versetzt. Die Mieten sind ständig zu belüften und feucht zu halten. Die Abluft ist gegebenenfalls zu reinigen. Die Behandlung kann je nach Schadstoffspektrum und erforderlichen Schadstoffkonzentrationen Wochen bis Jahre dauern.

Es gibt auch die Entwicklungen von In-situ-Behandlungsverfahren, bei denen der biologische Abbau der Schadstoffe ohne Aushub direkt im kontaminierten Boden erfolgt.

Hydraulische Verhinderung der Schadstoffausbreitung

Bei diesen Verfahren werden die hydrodynamischen Verhältnisse im Untergrund soweit verändert, dass eine Ausbreitung von Schadstoffen im Grundwasser eingeschränkt oder verhindert wird. Um dieses zu erreichen, werden Spundwände gesetzt, Sperrbrunnen errichtet oder Grundwasserabsenkungen vorgenommen. Bei den letzten beiden Maßnahmen ist zu beachten, dass diese unter Umständen Jahrzehnte in Betrieb sein müssen.

Behandlung des Grundwassers

Bei diesen Verfahren erfolgt die Fassung des verunreinigten Wassers vorwiegend durch Entnahmebrunnen im wassergesättigten Untergrund. Beim Auftreten mehrphasiger Stoffgemische, z. B. Wasser/Mineralöl, sind die Entnahmeeinrichtungen so auszulegen, dass die den Schadstoff enthaltende Phase mit entnommen werden kann.

Das verunreinigte Grundwasser wird in einer für die vorhandenen Schadstoffe ausgelegten Reinigungsanlage behandelt. In Abhängigkeit von der erreichten Restkonzentration der Schadstoffe im gereinigten Wasser kann dieses direkt oder nach einer Nachbehandlung in einer Kläranlage in einen Vorfluter abgegeben werden. Unter günstigen Umständen ist auch eine direkte Wiedereinleitung in das Grundwasser möglich.

Pneumatische Verfahren

Hierbei handelt es sich um Verfahren zur Erfassung und Abtrennung schadstoffhaltiger Gase und Dämpfe, um hierdurch die Emissionen aus dem Boden vorzugsweise in die Luft zu vermindern oder zu unterbinden. Die häufigsten Verfahren sind die Bodenbe- bzw. -entlüftung durch Bodenluftabsaugung und Stripping. Bei Deponien erfolgt z. B. die gefasste Deponieentgasung mit energetischer Verwertung des Deponiegases.

Literatur

- ABRG (2011): Wirbelschichtofen (WSO) der ABRG Asamer-Becker Recycling GmbH. URL: https://abrg.at/dienstleistungen/#wirbelschichtofen
- abw-recycling (2020): Hydrodynamische Verfahren. In: Vorlesung C / Kapitel 6: Abbruchverfahren. Weimar (Bauhaus-Universität), S. 19–22. URL: http://www.abw-recycling.de/Lehre/WS_13-14/Modul%20C/6Abbruchverfahren.pdf
- BbodSchG (2017): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz BbodSchG) vom 17. März 1998; zuletzt geändert durch Art. 3 Abs. 3 V v. 27.9.2017. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/BBodSchG.pdf
- DGVU Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Vorschrift 38 (2020): Unfallverhütungsvorschrift Bauarbeiten. Gültig ab 01. April 2020. URL: https://www.bgbau.de/fileadmin/Medien-Objekte/Medien/DGUV-Vorschriften/38_BGV_C22_/38.pdf
- Fratzscher, W. (2008): Technikwissenschaften und Technologie. In: Banse, G.; Reher E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 127–135 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 99)

- Frauenstein, J. (2010): Stand und Perspektiven des nachsorgenden Bodenschutzes. Dessau-Roßlau (Umweltbundesamt). URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3926.pdf
- Gabriel, St.; Hofert, R.; Steinborn, V. (2010): Arbeitsschutz bei Abbrucharbeiten. Hg. v. d. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Dortmund (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin). URL: https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A22.pdf? blob=publicationFile
- Handbuch (1993): Handbuch Bodenwäsche. Hg. v. d. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (Materialien zur Altlastenbearbeitung, Bd. 11). URL: www https://expydoc.com/doc/9395072/handbuch-bodenw%C3%A4sche---lubw---baden.
- Hupe, K.; Heyer, K.-U.; Stegmann, R. (2020): Biologische Bodenreinigung. URL: http://www.ifas-hamburg.de/PDF/bioalt.pdf
- Meetz, M.; Mettke, A.; Liesemeier, B.; Schmidt, S.; Verheyen, F. (2015): Brandenburger Leitfaden für den Rückbau von Gebäuden. Potsdam (Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg). URL: https://mluk.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/Leitfaden selektiver Rueckbau.pdf
- Mertzsch, N. (2014): Außerbetriebnahme und Rückbau von Technologien. In: Banse, G.; Reher E.-O. (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 349–378 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)
- Rehtanz, H. (1994): Arbeits- und Umweltschutzanforderungen bei Rückbau, Demontage und Abriß von gefahrstoffbelasteten Industrieanlagen. In: Umwelttechnik FORUM, Jg. 9, Nr. 3, S. 14
- Roller, H. (2007): Aus dem Vorwort zur ersten Auflage. In: Deutscher Abbruchverband e.V.; Lippok, J.; Korth, D. (Hg.): Abbrucharbeiten. Grundlagen, Vorbereitung, Durchführung. Köln, S. 7
- Schreyer, M. (1991): Perspektiven zur Altlastensanierung in Berlin. In: Franzius, V. (Hg.): Sanierung kontaminierter Standorte 1990. Berlin, S. 9–12 (Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 39)
- Toppel, C. O. (2003): Technische und ökonomische Bewertung verschiedener Abbruchverfahren im Industriebau. Darmstadt (Technische Universität). URL: http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/epda/000439/dissertation.pdf
- UBA Umweltbundesamt (2004): Hintergrundpapier: Flächenverbrauch, ein Umweltproblem mit wirtschaftlichen Folgen. Berlin. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3576.pdf

Der Produktlebenszyklus im Unterricht über Arbeit und Technik

1 Fachdidaktik und Fachwissenschaft

In Ergänzung der voranstehend eingenommenen Perspektiven, die aus der Sicht von Forschung und akademischer Lehre bzw. Produktionspraxis erfolgten, versuche ich nachfolgend eine vornehmlich fachdidaktische Sichtweise auf unsere Problematik der Lebenszyklusanalysen vorzunehmen.

Eine fachdidaktische Sicht ist auf die Auswahl, Begründung und didaktische Rekonstruktion von Lerngegenständen gerichtet. Fachdidaktiken bestimmen und begründen Ziele, Inhalte, methodische Wege sowie soziale Ausgangsbedingungen des Lehrens und Lernens. Als systematische Wissenschaften entwerfen und erproben Fachdidaktiken Modelle des Gegenstandsfeldes, insbesondere Curricula, Lehr- und Lernmaterialien. Als empirische Wissenschaften erforschen sie die Zugänge und Strategien der Lehrenden und Lernenden, wie zum Beispiel Entwicklungsverläufe und Vermittlungsund Aneignungsstrategien. Die Fachdidaktik ist nach unserem Verständnis eine eigenständige Wissenschaftsdisziplin, die ihre Legitimation aus der zu leistenden Vermittlung von Allgemeiner Didaktik und Fachwissenschaften erhält (vgl. Meier 2013):

"Der Fachdidaktik geht es nicht um das Wissen überhaupt, sondern um das Werden des Wissens – es geht um die Modellierung von fachlichem Wissen für Lernende. Fachdidaktik stellt fachliches Wissen also in einen besonderen sozialen Zusammenhang. Die Gegenstände müssen durch die Fachdidaktik jeweils neu konstruiert werden." (Ossner 1999, S. 26)

Eine fachdidaktische Betrachtung einer speziellen Didaktik erfordert natürlich auch ein Fach bzw. eine Domäne. In diesem Beitrag ist die Aufmerksamkeit auf den Unterricht über Arbeit und Technik an allgemeinbildenden Schulen und partiell der dazugehörigen Lehrerbildung an wissenschaftlichen Hochschulen gerichtet (siehe Abb. 1).



Abb.1: Didaktische Entscheidungen

Quelle: Meier 2013, S. 16

2 Unterricht über Arbeit und Technik

Der Unterricht über Arbeit und Technik hat mit Ausnahme der polytechnischen Bildung und Erziehung in der DDR und der damaligen "sozialistischen Länder" weltweit keine starke Tradition. Analysieren wir die fachdidaktischen Modelle im nationalen und internationalen Kontext (vgl. Banse/Meier 2013; Meier 2013), so wird eine vorrangige Konzentration auf die Phase der Produktentwicklung und in bescheidenen Ansätzen der Produktverwendung deutlich. Ursächlich hierfür ist das dem Bildungskonzept zugrunde gelegte Technikverständnis (vgl. Meier 2017a).

In einer theoretischen Grundlegung zur polytechnischen Bildung analysiert Heinz Frankiewicz verschiedene Auffassungen zum Begriff der Technik. Er schließt sich letztendlich Kurt Tessmann an (vgl. Tessmann 1967) und charakterisiert

"Technik als eine Seite des gesellschaftlichen Seins, welche die vom Menschen gesetzten zielgerichteten Wirkungen von Naturprozessen als materielle Mittel, Verfahren, Strukturen und Systeme umfaßt, die einer praktischen Beherrschung von Natur und Gesellschaft dienen:" (Frankiewicz 1968, S. 50)

Mit Blick auf ein Konzept für eine zeitgemäße Allgemeinbildung begründet er weiter:

"Die Technik als dritter Bereich zwischen Natur und Gesellschaft ist hinreichend eigenständig und abgrenzbar und kann daher als spezifischer Gegenstand angegeben werden. Sie unterliegt aber auch den Gesetzmäßigkeiten der Gesellschaft und der Natur, wendet diese Gesetze an und drückt sie aus. Somit läßt sie sich schlüssig in das System der Allgemeinbildung einbeziehen, und ihre Inhalte und Denkweisen können in didaktisch fruchtbarer Weise mit den anderen Bereichen der Allgemeinbildung verbunden werden." (Ebd.)

Mit Blick auf die Breite des Technikbegriffs akzentuiert er schließlich, indem er hervorhebt:

"Der Gegenstand berücksichtigt den unmittelbaren Marxschen Bezugspunkt Produktionsprozeß, und er ordnet diesen Produktionsprozeß und seine wesentlichen Seiten in umfassendere Zusammenhänge ein." (Ebd.)

Auf der anderen Seite erweitert er die Auffassung durch die Betonung des Gegenstandsaspekts einerseits und des Handlungsaspekts andererseits: Zum Gegenstandsaspekt gehören nach seiner Auffassung "materielle Mittel, Verfahren, Strukturen und Systeme" und zu letzterem zählt er "das Auffinden, Entwickeln und die Anwendung dieser Mittel und Wirkungen durch den Menschen" (Frankiewicz 1968, S. 44f.).

Auch Horst Wolffgramm als ein weiterer Begründer einer polytechnischen Bildung vertritt ähnliche Positionen:

"Technik ist ein relativ selbstständiger Bereich der Wirklichkeit, der sich qualitativ von Natur und Gesellschaft unterscheidet, aber in enger Wechselbeziehung steht." (Wolffgramm 1978, S. 22)

Wolfgramm knüpft hier unmittelbar an Karl Marx an, der die Technik als vergegenständlichte Wesenskraft des Menschen auffasst, die der Mensch zwischen sich und die ursprüngliche Natur, als seine vergesellschaftete Natur, als seine künstliche Umwelt setzte. Den Technikbegriff kennzeichnet er als die

"Gesamtheit der Mittel und Verfahren, die sich der Mensch mit dem Ziel der Befriedigung seiner materiellen und kulturellen Bedürfnisse dienstbar macht. Sie ist das durch den Einsatz künstlicher und materieller Mittel erzwungene, komplexe und zielgerichtete Zusammenwirken von Naturvorgängen, durch das die Gegenstände der menschlichen Tätigkeit zweckentsprechend und gemäß den gesellschaftlichen Zielen verändert werden." (Wolffgramm 1978, S. 25)

Darüber hinaus stellt er Beziehungen zwischen den Begriffen Arbeit und Technik her, indem er betont, dass der Technikbegriff alle durch menschliche Arbeit in der menschlichen Gesellschaft aus Natursubstraten geschaffene materielle Mittel zu ihrer Existenzsicherung und Bedürfnisbefriedigung bezeichnet. Somit ist menschliche Arbeit direkt oder indirekt technische Auseinandersetzung mit der Natur.

Bereits in seiner Habilitationsarbeit unternimmt Wolffgramm den Versuch, eine "technisch ökonomische Querschnittswissenschaft" zu entwickeln. Als Gegenstand der Querschnittswissenschaft bestimmt er den Produktionsprozess und als dessen Grundbegriff "die Kategorie Prinzipien der Produktion" (Wolffgramm 1964, S. 234).

Da diese Querschnittswissenschaft derzeit noch nicht entwickelt war, orientierten sich die Lehrplanentwickler in der DDR schließlich an fachwissenschaftlichen Ausgangsdisziplinen, die für das Eindringen in die Grundzusammenhänge der Technik und für die Befähigung zur technischen Tätigkeit besonders geeignet waren:

"mechanische Technologie (mit dem Blick auf verallgemeinerte Betrachtungen), Maschinenlehre, Elektrotechnik und Ökonomie. Diese Wissenschaften sollten als Leitmittel zur Ausarbeitung einer allgemeinen Einführung in die Grundlagen der Technik genutzt werden." (Frankiewicz 1968, S. 82)

Auch im Prozess der weiteren Ausprägung des polytechnischen Charakters der Oberschule im Allgemeinen und der Entwicklung des polytechnischen Unterrichts im Besonderen wurde an diesem Konzept festgehalten. So wurden die Lernenden im Rahmen des Faches "Einführung in die sozialistische Produktion" in die mechanische Technologie und Maschinenkunde, die Elektrotechnik und Elektronik und später die Mikroelektronik, die Steuerund Regelungstechnik sowie Automatisierung der Produktion eingeführt.

Somit muss konstatiert werden, dass im Rahmen von Lebenszyklusanalysen nur der Prozess der Produktentstehung von der Idee bis zur Herstellung betrachtet werden konnte. Wolffgramm stellt somit die Phasenstruktur des Produktionsprozesses wie folgt dar (siehe Abb. 2):

Erst zur Mitte der 1980er Jahre wurde der Fokus erweitert und es wurde zumindest in der Forschung an polytechnischen Einrichtungen an Konzepten zur Schaffung geschlossener Stoffkreisläufe in Produktions- und Reproduktionsprozessen gearbeitet (vgl. Hartmann 1985; Wolffgramm 1982). Die Forschungen waren von der Einsicht getragen, dass

"für den Stoffwechselprozess zwischen Mensch und Natur [...] eine Proportionalität zwischen der Bedürfnisbefriedigung und der Naturquellenreproduktion unumgänglich [ist]. Letztlich sichert sich die Gesellschaft auf weite Sicht ihre Existenzgrundlage. Aufwendungen für den Umweltschutz als zusätzliche Belastung zu bezeichnen ist deshalb falsch". (Hartmann 1985, S. 16)

Die Gestaltung technologisch geschlossener Stoffkreisläufe wurde als ein Entwicklungstrend angesehen:

"Unter dem Entwicklungstrend [...] verstehen wir solche technologischen Maßnahmen, die eine Überführung von Abfällen und Altstoffen in Sekundärrohstoffe ermöglichen sowie ihre Verarbeitung in Produktionsprozessen zu volkswirtschaftlichen Finalprodukten." (Hartmann 1986, S. 188)

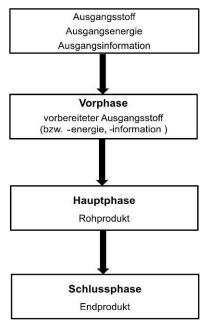


Abb. 2: Phasenstruktur des Produktionsprozesses

Quelle: nach Wolffgramm 1978, S. 162

Hartmann betont zugleich, dass es nicht nur um verringerten Anfall von Abfall und Altstoffen geht, sondern "um ihre möglichst vollständige Verwertbarkeit in anderen Produktionsprozessen oder zu anderen Konsumtionszwecken" (Ebd., S. 187). Somit wird nunmehr der Fokus nicht mehr nur auf die Produktionsphase beschränkt, sondern die Betrachtung auch auf die Nutzungs- und Gebrauchsphase erweitert.

In der BRD war die Situation nicht anders. In der Schulwirklichkeit war die allgemeine technische bzw. arbeitsorientierte Bildung defizitär (vgl. Schulte/Wolffgramm 1995) und in ihren konzeptionellen Grundpositionen vielfältig und weniger eindeutig fundiert (vgl. Zöllner 2021). Bezüglich des Technikverständnisses waren kaum Unterschiede festzustellen. Auch hier

geht es um Finalorientiertheit und Technik als "Menschenwerk". So betont beispielsweise Klaus Tuchel:

"Technik ist der Begriff für alle Gegenstände und Verfahren, die zur Erfüllung individueller oder gesellschaftlicher Bedürfnisse auf Grund schöpferischer Konstruktionen geschaffen werden, durch definierbare Funktionen bestimmten Zwecken dienen und insgesamt eine weltgestaltende Wirkung haben." (Tuchel 1967, S. 24)

Darüber hinaus arbeitet er heraus, dass technisches Handeln in zwei typischen Formen vorkommt: als Herstellung von Artefakten und als deren Gebrauch (vgl. ebd., S. 23ff.).

Mit Blick auf den Produktlebenszyklus erscheint vor allem die Definition von Günter Ropohl von besonderer Relevanz, die die Frage nach der Entstehung und die Verwendung technischer Gegenstände (Artefakte) ins Zentrum rückt. Er definiert Technik anhand von Artefakten oder Sachsystemen mit der bewusstseinsgeleiteten individuellen und gesellschaftlichen Tätigkeit als Entstehungsursache, den Produktionsvorgängen und der Verwendung solcher Sachsysteme. Seine nominal angelegte Definition, die später auch der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) aufgreift, lautet:

"Technik [...] umfasst:

- die Menge der Nutzen orientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme);
- die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen;
- die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden." (VDI 1991, S. 2)

Darüber hinaus empfiehlt Ropohl die folgenden zentralen technologischen Themenbereiche für eine zeitgemäße Arbeits- und Techniklehre (vgl. Ropohl 2004, S. 54):

- Begriff der Technik;
- Technische Sachsysteme;
- Technikverwendung im soziotechnischen System;
- Grundlagen technischen Gestaltens;
- Theorien der technischen Entwicklung;
- Technikbewertung und Technikpolitik.

Das Technikverständnis des VDI fand und findet auch in der Didaktik von Arbeit und Technik eine hohe Akzeptanz und wird nicht zuletzt auch im

Material zum Lernfeld Arbeitslehre für die Kultusministerkonferenz (KMK) 1987 aufgegriffen:

"Technik als Gegenstandsbereich umfasst technische Mittel und Verfahren zur Herstellung und Verwendung von Waren und zur Erbringung von Dienstleistungen." (Material 1988, S. 22)

Das Material geht über die bisherigen Aussagen hinaus, indem einerseits der Dienstleistungsbereich mit einbezogen wird und andererseits zugleich auch der Bereich Wirtschaft mit in den Kontext gestellt wird:

"Wirtschaft als Gegenstandsbereich umfasst wirtschaftliche Bedingungen und Verfahren zur Produktion, zum Austausch von Waren und zur Bereitstellung von Dienstleistungen, insbesondere zur Verteilung und Verbrauch unter Berücksichtigung sozialer Verpflichtungen." (Ebd.)

3 Der Produktlebenszyklus als curriculares Element

Lehrpläne oder auch Curricula sind wichtige Planungsdokumente im pädagogischen Prozess, die von einem bestimmten Bildungsverständnis ausgehen und auf einer Theorie des Lehrens und Lernens aufbauen. Hatten Lehrpläne in der DDR noch eine überaus hohe Verbindlichkeit mit konkreten systematischen Aussagen, so wurden sie nach der politischen Wende nicht nur im Land Brandenburg zunächst nur als "Rahmenpläne für den Pflichtunterricht" und als curriculare "Hinweise für den Wahlpflichtunterricht" ausgewiesen. In der nächsten Generation wurden sie dann als "Rahmenlehrpläne für den Pflicht- und Wahlpflichtunterricht" bezeichnet. Damit einher ging nicht nur das Bestreben, den Plänen wieder eine höhere Verbindlichkeit zu verleihen, sondern sie auch fortgeschrittenen internationalen Entwicklungstrends anzupassen (vgl. Meier et al. 2006; Meier/Jakupec 2010). Grundsätzlich wird nunmehr vom input- zum outcomeorientierten Curriculum übergegangen (siehe Abb. 3).

Dadurch sollte die Aufmerksamkeit bei Lehrenden und Lernenden stärker auf die konkreten Resultate von Aneignungsprozessen gelenkt werden. Diese Resultate werden auf der Basis eines bestimmten Bildungsverständnisses durch die Konkretisierung von Bildungszielen kompetenzorientiert angelegt und als Regel-Standards ausgewiesen. Diese Standards beschreiben schließlich das Abschlussniveau auf differenzierten Niveaustufen. Bildungsstandards benennen somit Ziele für die pädagogische Arbeit, ausgedrückt als erwünschte Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler. Damit konkretisieren Standards den Bildungsauftrag der Schulen. Bildungsstandards umfassen in der Regel drei Kernelemente:

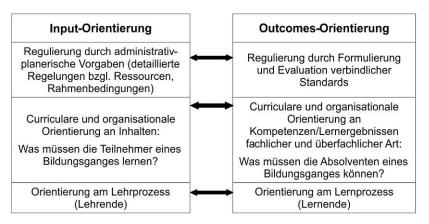


Abb. 3: Vom input- zum outcomeorientierten Curriculum Eigene Darstellung

- Bildungsziele,
- Kompetenzmodelle und
- Aufgabenstellungen/Testverfahren.

Diese Elemente wirken wie folgt zusammen (siehe Abb. 4): Bildungsstandards im allgemeinbildenden Bereich folgen allgemeinen Bildungszielen, die, in Form von zu vermittelnden Fähigkeiten, Fertigkeiten und Wissensinhalten sowie zu fördernden Interessen, Einstellungen und Werthaltungen, den gesellschaftlichen Anspruch von Schule widerspiegeln. Der Vorbereitung auf praktische Lebensanforderungen in Beruf, Alltag und Gesellschaft kommt dabei eine ebenso große Bedeutung zu wie der individuellen Persönlichkeitsentwicklung. Im Hinblick auf ihre pädagogische Umsetzung müssen diese generellen Zielvorstellungen konkretisiert werden. Im Gegensatz zu Lehrplänen und Rahmenrichtlinien, die zur Operationalisierung der übergeordneten Ziele auf Listen von Lerninhalten und Lehrstoffen zurückgreifen, rekurrieren Bildungsstandards auf sogenannte Kompetenzanforderungen, die festlegen, über welche Kompetenzen – bezogen auf einen bestimmten Gegenstandsbereich (eine Domäne, ein Fach oder einen Lernbereich) – ein Schüler bis zu einer bestimmten Jahrgangsstufe verfügen soll. Diese Anforderungen werden in Kompetenzmodellen systematisch strukturiert. Dabei werden innerhalb einer Domäne Kompetenzdimensionen unterschieden, auf denen wiederum unterschiedlich anspruchsvolle Niveaustufen differenziert werden. Um die tatsächlichen Lernergebnisse und damit das Erreichen der

Standards empirisch überprüfen zu können, werden auf einer dritten Ebene entsprechende Aufgabenstellungen bzw. Testverfahren entwickelt, deren Ergebnisse rückgekoppelt und zur Überprüfung der Qualität des Gesamtsystems genutzt werden.

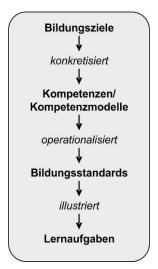


Abb. 4: Vom Bildungsziel zur Lernaufgabe

Eigene Darstellung

Um die Aufgaben und Probleme zu lösen, bedarf es – so die Annahme – prozessbezogener Kompetenzen: Sie dienen dazu, Fachwissen adäquat und vor allem zielgerichtet zur Lösung von Anwendungsaufgaben zu nutzen. Darüber hinaus sollen die inhaltsbezogenen Dimensionen durch den Ausweis von (Basis-)Konzepten klarer strukturiert werden. Sie dienen vor allem der Konzentration auf das Wesentliche, indem sie einerseits die Vielfalt der Details strukturieren und zugleich Ordnung und Übersicht schaffen. Darüber hinaus erschließen sie Sinn und Bedeutung, indem sie helfen, Unterrichtsinhalte im engen Zusammenhang mit dem Gesamtkonzept des Lernens zu sehen. Somit werden das Erkennen und Verstehen von Zusammenhängen erleichtert. Zum anderen kommt es bei Auswahl, Anordnung und Akzentuierung der Inhalte darauf an, sich an fundamentalen Ideen des Unterrichtsfaches oder Lernfeldes zu orientieren. Sie sollen für das jetzige wie für das zukünftige Handeln von gleichbleibend großer Bedeutung sein. Ein "Fundamentales Konzept" (von lat. concipere: "erfassen") beschreibt eine Menge

von einzelnen Aneignungsgegenständen durch die Benennung jeweils gleich ausgeprägter Eigenschaften oder Beziehungen (vgl. Meier 2017b).

4 Der Produktlebenszyklus im Rahmenlehrplan des Landes Brandenburg

Erstmals wurde 1993 im Plan für den Unterricht im Wahlpflichtbereich Arbeitslehre des Landes Brandenburg für die Sekundarstufe I im Teil "Individuum – Technik – Gesellschaft" auf den Produktlebenszyklus Bezug genommen:

"Die produktbezogene Betrachtungsweise orientiert sich am Wandel des Erzeugnisses von der Phase der Ideenfindung über die Herstellungsphase bis zur Auslaufphase." (Hilbrich et al. 1993, S. 59)

Die technologische Betrachtungsweise, die anschließend dargestellt wird, erfasst allerdings nur Sachtechnik, die bei der Produktion Anwendung findet. Auch in einem Beitrag zur Vorstellung des Konzepts der technischen und ökonomischen Bildung im Land Brandenburg stellen Lehrplanautoren für den Produktlebenszyklus verkürzend fest:

"Die Schüler erhalten Einblicke in den Wandel eines Produktes von der Idee bis zu seiner Vergegenständlichung. Dabei lernen sie das Erzeugnis als Ergebnis eines Suchprozesses begreifen, um individuell und gesellschaftlich geprägte Bedürfnisse zu befriedigen. In diesem Zusammenhang untersuchen sie den Übergang von der manuellen über die maschinelle Produktion und dringen in den innerbetrieblichen und überbetrieblichen Produktionsprozess ein." (Chudoba et al. 1992, S. 21)

Deutlich wird auch hier – wie im polytechnischen Unterricht der DDR – die starke Orientierung am technisch-technologischen Produktionsprozess. Allerdings kommt, offensichtlich bedingt durch den integrativen Ansatz der Arbeitslehre, durch die Akzentuierung der Auslaufphase eine ökonomische Perspektive hinzu. Der Begriff Auslaufphase ist ein Begriff der Betriebswirtschaftslehre im Lebenszyklus eines Produkts am Markt. Er erfasst nicht das, was in technischer Perspektive unter Produktlebenszyklus gemeint ist, denn die Marketingstrategien blenden die Entsorgung eines Produktes aus. Folglich war der Gedanke des Produktlebenszyklus den Lehrplanautoren damals noch nicht gegenwärtig.

Erst im Rahmenlehrplan für das Fach Wirtschaft-Arbeit-Technik (WAT) aus dem Jahr 2002 wurde im Bereich der technischen Grundbildung ein vollständiger Produktlebenszyklus aufgenommen: "Produktlebenszyklus (Entste-

hung, Verwendung und Entsorgung von Sachsystemen)" als Konzept (Rahmenlehrplan BB 2002, S. 24). Darüber hinaus wird auch als eine zentrale Lerntätigkeit ausgewiesen:

"Unter dem Gesichtspunkt des Wandels werden die Entstehung, Verwendung und das Erlöschen sozio-technischer Handlungssysteme untersucht." (Ebd., S. 33)

Der nur sechs Jahre später gültige Rahmenlehrplan für das Fach WAT in der Sekundarstufe I stellt eine Weiterentwicklung des Planes aus dem Jahr 2002 dar und versucht, durch ein fachbezogenes Kompetenzmodell und bereichsspezifische Standards den fachspezifischen Bildungsanspruch der Schülerinnen und Schüler in den Bildungsgängen der Sekundarstufe I klarer zu fixieren.

Das fachbezogene Kompetenzmodell ist durch drei Dimensionen gekennzeichnet (vgl. Rahmenlehrplan BB 2008, S. 12):

- den Gegenstandsbezug mit den drei Bereichen Berufs- und Studienorientierung, Technik, Wirtschaft;
- den Handlungsbezug mit der Orientierung am vollständigen Handlungsablauf;
- den Gesellschaftsbezug mit drei Handlungsebenen (persönliche Lebenssituationen, in denen der Einzelne entscheidet und handelt; Funktionsund Systemzusammenhänge, die die persönlichen Lebenssituationen durchdringen und als Voraussetzung für die individuelle Entscheidung und Handlung analysiert und verstanden werden müssen; gesellschaftliche Rahmenbedingungen, die den individuellen Entscheidungs- und Handlungsspielraum begrenzen, aber bewertet und mitgestaltet werden können).

Bezüglich der Technik werden drei Kompetenzbereiche ausgewiesen (vgl. ebd., S. 15):

- Technisch Handeln und Kommunizieren: Dies erfordert ein Verständnis für die Struktur technischen Handelns, die Beherrschung von fachpraktischen Grundfertigkeiten sowie die Grundkenntnis der technischen Fachsprache.
- Technische Sachsysteme und Prozesse analysieren: Dies erfordert die Systematisierung und Darstellung der Prozesse und Systeme zum Stoff-, Energie- und Informationsumsatz sowie deren Verkettung zu Technologien.

 Soziotechnische Systeme und Prozesse bewerten und mitgestalten: Dies erfordert die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Technik, Mensch, Natur und Gesellschaft.

Bezüglich der Konzepte der Technik wird wiederum der Produktlebenszyklus aufgegriffen und als Regel-Standard explizit verbindlich festgelegt:

"T1: Die Struktur technischer Handlungen in der Produktgenese erklären, anwenden und begründen." (Rahmenlehrplan BB 2008, S. 15)

Zur Erreichung dieses Standards werden dann ergänzende Unterrichtsinhalte ausgewiesen. Für die Doppeljahrgangsstufe 9/10 sind dies für das "Themenfeld 3: Unternehmen und Produktion" der "Themenkomplex 2. Der Betrieb als technisch-organisatorisches System" (ebd., S. 28):

"Produktlebenszyklus:

- Produktentwicklung
- Produktfertigung
- Produktdistribution
- Produktinstandhaltung und Reparatur
- Produktrecycling."

Der gegenwärtig gültige Rahmenlehrplan wurde zum Schuljahr 2017/18 eingeführt. Er ist insofern eine Neuerung, dass er erstmalig für die Klassen 1 bis 10 in den Schulen Berlins und Brandenburgs gilt. Der neue Rahmenlehrplan sollte aktualisiert und auf das Wesentliche konzentriert werden, um auch Ziele, Standards und Inhalte dem inklusiven Lernen anzupassen. Zugleich sollten durchgängig Themen der Lebensgestaltung und Berufsorientierung einer zukünftigen Gesellschaft noch mehr berücksichtigt werden. Für das Fach WAT war dieser Prozess besonders schwierig, da in den Ländern Berlin und Brandenburg unterschiedliche Traditionen in Bezug zu einer arbeitsorientierten Bildung bestanden. Die fortwährende Suche nach Kompromissen führte zu massiven Kritiken am Lehrplan und dem zu Grunde gelegten Fachkonzept. Die Leibniz-Sozietät widmete deshalb ihre Jahrestagung 2015 dem zur Diskussion gestellten Lehrplanentwurf (vgl. Meier/Banse 2015).

Zum Gegenstandsbereich Technik weist der Plan als verpflichtendes Themenfeld "Entwicklung, Planung, Fertigung und Bewertung mehrteiliger Produkte (P8)" für die Doppeljahrgangsstufe 7/8 aus (vgl. Rahmenlehrplan B/BB 2017, S. 28). Als Zielformulierung finden wir:

"Schülerinnen und Schüler entwickeln beim Planen, Entwerfen, Fertigen, Optimieren, Prüfen und Testen technischer Lösungen grundlegende Fähigkeiten weiter. Zur Anwendung kommen vor allem Methoden zur Problemlösung sowie Konstruktions- und Fertigungsmethoden. Beim Bewerten von Technik werden technische, ökologische, ökonomische, ergonomische und ethische Kriterien herangezogen." (Ebd., S. 37)

Zugleich weist der Lehrplan die drei Basiskonzepte¹ System, Entwicklung und Nachhaltigkeit aus.

Während bezüglich des Themenfeldes (P8) zum Produktlebenszyklus keine Bezüge zu den Basiskonzepten System und Entwicklung hergestellt werden, wird hinsichtlich des Konzepts Nachhaltigkeit ausgewiesen:

"ganzheitliche Bewertung von Produkten anhand des Lebenszyklus (Produktanalyse): Planung, Entwicklung und Fertigung, Distribution, Betrieb und Nutzung, Entsorgung und Recycling; Werte als Bewertungskriterien technischen Handelns." (Ebd.)

Während der gemeinsame Rahmenlehrplan die allgemeine technisch Bildung auf die Produktentwicklung ausrichtet und die ganzheitliche Produktanalyse nur marginal erwähnt, wird hinsichtlich ökonomischer Bildung erneut der Produktlebenszyklus im Kontext des Nachhaltigkeitskonzepts herausgestellt und um "Leitbilder von Unternehmen und Organisationen, die sich am Nachhaltigkeits-Konzept orientieren, z. B. Öko-Label" erweitert (ebd., S. 39). Auch zur haushälterischen Bildung sollen die Schülerinnen und Schüler die Lebensmittelverarbeitung in einer globalisierten Welt untersuchen. Hier wird dann zu den Basiskonzepten System "Produktlinien und Stoffkreisläufe" und zu Nachhaltigkeit "Ökobilanz, Transport von Lebensmitteln und Gütern, Globalisierung, Lebensmittelverteilung" ergänzt (ebd., S. 38).

Deutlich wird, dass einerseits, bedingt durch das integrative Fach WAT, eine technisch-technologische Sicht auf den Produktlebenszyklus wenig entfaltet wird. Andererseits erfahren Produktanalyse und Produktbewertung vor allem aus der Konsumentenperspektive besonders auch unter ökologischen Aspekten eine besondere Beachtung.

Eine noch deutlichere Akzentuierung des Produktlebenszyklus erfolgt dann im aktuellen Rahmenlehrplan Technik für die gymnasiale Oberstufe

^{1 &}quot;Basiskonzepte", "Fundamentale Konzepte" und "Große Ideen" (die Termini werden international nicht einheitlich verwendet) dienen vor allem der Konzentration auf das Wesentliche. Sie stellen eine strukturierte Vernetzung aufeinander bezogener Begriffe, Theorien und Modellvorstellungen dar, die sich aus der Systematik einer Domäne ergeben.

im Land Brandenburg (vgl. Rahmenlehrplan BB 2018). Der Plan beinhaltet für vier Schulhalbjahre vier Themenfelder. Zum "Themenfeld 1: Mensch – Technik – Gesellschaft" wird ausgeführt:

"Im Zentrum dieses Themenfeldes stehen soziotechnische Systeme. Mit dem Begriff der Soziotechnik werden der technische Charakter der Gesellschaft und der gesellschaftliche Charakter der Technik betont. Im Rahmen systemischer Betrachtungen wird Technik als von Menschen Gemachtes, als Menschenwerk charakterisiert. Hierzu wird der Produktlebenszyklus näher untersucht. Die Auseinandersetzung mit technischen Systemen in soziotechnischen Zusammenhängen verhilft den Schülerinnen und Schülern zu einem tieferen Verständnis naturaler, humaner, sozialer und ökonomischer Aspekte der zunehmend technisierten Arbeits- und Lebenswelt." (Ebd., S. 6)

Als ein inhaltlicher Schwerpunkt wird dann vermerkt:

"Lebenszyklen eines Produktes (Planung, Entwicklung und Fertigung; Distribution, Betrieb und Nutzung; Entsorgung und Recycling)." (Ebd.)

In der Folge wird dann zum Kompetenzerwerb festgeschrieben:

"anhand des Lebenszyklus eines Produktes, technische Prozesse im Bereich Planung, Entwicklung/Fertigung, Distribution, Betrieb/Nutzung und Entsorgung nachvollziehen und technische und gesellschaftliche sowie humane Zusammenhänge herausstellen." (Ebd.)

Aber auch zum dritten Themenfeld "Zukunftstechnologien" wird die Entwicklung von Technik fokussiert, wobei vor allem auf Technikgenese und Innovationen thematisiert werden. Als inhaltlicher Schwerpunkt wird unter anderem herausgestellt:

"Technikgenese (gesamtgesellschaftliche technische Entwicklung: Technische Phylogenese; Phasen der Technikentstehung: Technische Ontogenese)." (Ebd., S. 9)

Zum Kompetenzerwerb wird betont:

"Der Schwerpunkt in diesem Themenfeld liegt auf den Kompetenzen Technik kommunizieren und Technik bewerten. Die immer schnellere Entwicklung neuer Technik und Technologien und die damit einhergehenden Folgen für unser Leben und die gesamte Gesellschaft stehen im Mittelpunkt der Kompetenzentwicklung. Die Schülerinnen und Schüler analysieren Prozesse der Technikgenese und aktuelle Zukunftstechnologien indem sie

 die historische Entwicklung der menschlichen Gesellschaft anhand von Meilensteinen der technischen Entwicklung beschreiben,

- den Prozess der Technikentstehung darstellen und an einfachen Beispielen das Entwerfen, Fertigen und Optimieren technischer Lösungen nachvollziehen,
- die Ontogenese eines technischen Systems beschreiben und erläutern." (Ebd.)

Die Lehrplananalysen machen deutlich, dass der Produktlebenszyklus im Zuge der Zeit eine immer stärkere Berücksichtigung in der allgemeinen arbeitsorientierten Bildung erfahren hat. Die Ursachen liegen hier gewiss im Bestreben um eine immer komplexere Betrachtung unserer aktuellen Lebens- und Arbeitswelt. Lag der Aneignungsgegenstand in der Vergangenheit vor allem auf der Phase der Produktentwicklung mit dem abschließenden Soll-Ist-Vergleich hinsichtlich der Zweckerfüllung, so werden in aktuellen Lehrplandokumenten und Lehrplanfolgematerialien nicht nur der Prozess des Gebrauchs/der Verwendung, sondern auch der "Auflösung" des Produkts in Form der Entsorgung, des Recyclings oder der Wiederverwendung aufgenommen.

5 Zum Sachverständnis – der Produktlebenszyklus in didaktischer Reduktion

Stellten wir eingangs fest, dass Fachdidaktiken sich auch um das Werden des Wissenskümmern und es um die Modellierung von fachlichem Wissen für Lernende geht, so kommt hier der fachdidaktischen Reduktion eine besondere Aufgabe zu. Das Ziel der didaktischen Reduktion ist es, Sachverhalte überschaubar und fasslich zu machen, indem der Umfang und der Schwierigkeitsgrad des Aneignungsgegenstandes auf die Leistungsfähigkeit der Lernenden und auf die zur Verfügung stehende Zeit abgestimmt werden (vgl. Meier 2013, S. 121).

Mit Blick auf Lernende der Sekundarstufen wird der Produktlebenszyklus im fachdidaktischen Verständnis einerseits in den Prozess des zielgerichteten Umsatzes von Stoff, Energie und Informationen in und mit Technischen Systemen (TS) und andererseits in den Prozess des technischen Handelns in und mit TS eingeordnet:

"Bezüglich des technischen und ökonomischen Handelns geht es also um Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit der Produktion, Verteilung und Konsumtion von Gütern und Dienstleistungen stehen. Eine Orientierung und Systematik bietet der Produktlebenszyklus." (Meier 2013, S. 84)

Im Grunde werden vier grundlegende Prozessphasen im Produktleben unterschieden (siehe Abb. 5):

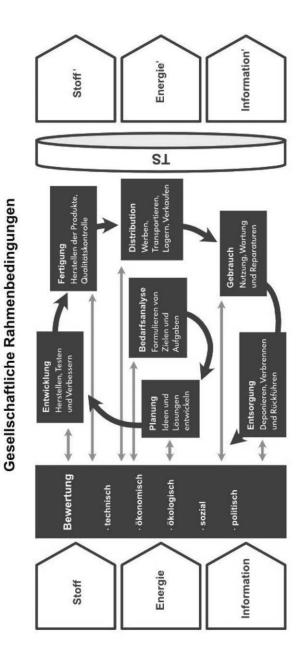


Abb. 5: Produktlebenszyklus aus fachdidaktischer Perspektive

Quelle: nach Meier 2013, S. 85

(a) Produktentwicklung

Sie erfolgt auf der Basis der Zweck-Mittel-Relation und umfasst die Prozessschritte Erkennen und Formulieren eines Bedürfnisses und die darauf aufbauende Bedarfsanalyse zur Formulierung eines "Pflichtenheftes". Es schließen sich die Ideen- und Lösungsentwicklung an, auf deren Basis die technisch-konstruktive und technisch-technologische Planung sowie deren Realisierung im Prozess der Fertigung erfolgen. Gegebenenfalls schließen Tests und Optimierungen diesen Teil des technischen Produktlebenszyklus ab.

(b) Produktdistribution

Dem technischen Produktlebenszyklus folgt der ökonomische. Im Mittelpunkt seiner einzelnen Phasen stehen die Umsatz- und Kostenentwicklung eines Produktes. Hier geht es um die Einführungsphase des Produkts auf den Markt, seine Wachstums-, Reife- und Sättigungsphase einschließlich des bedeutsamen Break Even Point.

(c) Produktnutzung/-gebrauch sowie Produktwartung

Nach dem das Produkt auf dem Markt seine Zweckerfüllung gesucht hat, soll es nun dem Produktnutzer dienen. Um möglichst lange eine effektive Produktnutzung zu gewährleisten, sind zugleich Wartungs- und Pflegearbeiten, oftmals auch Reparaturen unumgänglich.

(d) Produktauflösung

Nach dem das Produkt dem Produktnutzer gedient hat, nicht mehr gebraucht wird, technisch oder moralisch verschlissen ist, wird es in der Regel entsorgt oder der Wiederverwendung zugefügt. Die Entsorgung kann durch Deponieren, Verbrennen und/oder Recyclen erfolgen.

Eine zielgerichtete Akzentuierung erhält der vollständige Produktlebenszyklus im fachdidaktischen Kontext auch in Lehrplanfolgematerialien mit Hinweisen auf solche Methoden ökologischen Wirtschaftens wie die Ökobilanz und die Produktlinienanalyse. Das Konzept der Produktlinienanalyse (PLA) wurde 1987 von der Projektgruppe "Ökologische Wirtschaft" vorgelegt. Mit der PLA sollte ein Instrument entstehen, das – ähnlich wie die Technikfolgenabschätzung – retrospektiv und antizipativ für die Erfassung und Abwägung ökologischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Voraussetzungen und Konsequenzen von Produkten verwendet werden kann (vgl. Zeißler 2002). Es war vor allem Peter Weinbrenner, der Grundlagen schuf, um die PLA im Rahmen der Verbraucherbildung zur Anwendung zu bringen (vgl. Weinbrenner 1992) und zur Förderung des ökologischen Ver-

antwortungsbewusstseins zu nutzen (vgl. Retzmann 2000). Während sich die Ökobilanz vor allem auf die Analyse der ökologischen Auswirkungen eines Produktes während seines "Lebensweges" von der Idee bis zur Entsorgung fokussierte, erfasst die PLA darüber hinaus auch soziale und ökonomische Voraussetzungen und Auswirkungen von Produkten auf unsere (gesellschaftliche) Umwelt.

Fazit

Eine historisch-genetische Analyse von Curricula und curriculumbegleitenden Materialien zeigt, dass der Produktlebenszyklus schrittweise Einzug in den Unterricht über Arbeit und Technik im Rahmen einer zeitgemäßen Allgemeinbildung findet. Während sich der polytechnische Unterricht in der DDR eng begrenzt auf die Phasenstruktur des Produktionsprozesses von der Konstruktion bis zur Fertigung konzentriert, finden nach der politischen Wende deutliche Erweiterungen statt. Dabei werden zunächst technischtechnologische Phasen durch Elemente des Produktlebenszyklus aus betriebswirtschaftlicher Sicht vor allem in Bezug auf die Auslaufphase ergänzt. Aktuelle Materialien sind am vollständigen Produktlebenszyklus mit den Phasen Produktentwicklung, -fertigung, -distribution, -instandhaltung und -reparatur sowie Produktrecycling orientiert. Darüber hinaus werden Methoden ökologischen Wirtschaftens aufgezeigt, die zur Technikbewertung unter Beachtung ökologischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Aspekte beitragen. Zu prüfen ist, inwieweit es aus der Sicht der pädagogischen Funktion gerechtfertigt ist, den Produktlebenszyklus zum curricularen Basiskonzept für den Unterricht über Arbeit und Technik zu erheben.

Literatur

Banse, G.; Meier, B. (2013): Technische Bildung. In: Grunwald, A. (Hg.): Handbuch Technikethik. Stuttgart, Weimar, S. 421–425

Chudoba, Ch.; Czech, O.; Meier, B.; Mette, D. (1992): Technische und ökonomische Bildung im Land Brandenburg. In: tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht, Jg. 16/Heft 65, S. 19–24

Frankiewicz, H. (1968): Technik und Bildung in der Schule der DDR. Berlin

Hartmann, E. (1985): Technologische Entwicklungstendenzen der erweiterten Reproduktion der Naturressourcen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Halle. Jg. 34/Heft 5, S. 14–17

- Hartmann, E. (1986): Technologische Entwicklungstendenzen zur Ökologisierung der Produktion im wissenschaftlich-technischen Fortschritt. Dissertation B. Halle (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Fakultät für Naturwissenschaften)
- Hilbrich, C.; Krogmann, R.; Meier, B.; Neumann, K.; Walter, K.-H. (1993): Hinweise für den Unterricht im Wahlpflichtbereich Arbeitslehre Sekundarstufe I. Potsdam (Ministerium für Bildung, Jugend und Sport Land Brandenburg)
- Material (1988): Kultusministerkonferenz 1987: Material zum Lernfeld Arbeitslehre im Sekundarbereich I. In: Kledzik, U.-J. (Hg.): Lernfeld Arbeitslehre. Materialien. Berlin, S. 19–32
- Meier, B. (2013): Startklar! Wirtschaft und Technik unterrichten lernen. Didaktik für den Fachbereich Arbeit Wirtschaft Technik. München
- Meier, B. (2017a): Curriculare Implikationen des Technikbegriffs. In: Fleischer, L.-G.; Meier,
 B. (Hg.): Technik & Technologie: techne cum episteme et commune bonum. Berlin,
 S. 93–109 (Sitzungsberichte der Leibnitz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 131)
- Meier, B. (2017b): Nachhaltigkeit als Basiskonzept in der Curriculum-Entwicklung? In: Banse,
 G.; Reher, E.-O. (Hg.): Technologie und nachhaltige Entwicklung. Berlin, S. 213–228
 (Sitzungsberichte der Leibnitz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 130)
- Meier, B.; Banse, G. (Hg.) (2015): Allgemeinbildung und Curriculumentwicklung. Herausforderungen an das Fach Wirtschaft Arbeit Technik. Frankfurt/M. u.a.O. (Gesellschaft und Erziehung. Historische und systematische Perspektiven, Bd. 15)
- Meier, B.; Jakupec, V. (2010): Curriculum. In: Meier, R.; Janßen, A. (Hg.): Coach-Ausbildung ein strategisches Curriculum. Sternfels, S. 281–298
- Meier, B.; Jakupec, V.; Nguyen, V. C. (2006): International trends in building teaching curriculum and the relations to the upper secondary curriculum in Viet Nam. In: Tap chi Giao due [Zeitschrift für Bildung], Jg. 32/Heft 6, S. 45–47
- Ossner, J. (1999): Das Profil der Fachdidaktik. Grundzüge einer praktischen Disziplin. In: Radtke, F. O. (Hg.): Lehrerbildung an der Universität. Frankfurt/M., S. 23–45
- Rahmenlehrplan BB (2002): Rahmenlehrplan Wirtschaft-Arbeit-Technik, Pflicht- und Wahlpflichtbereich. Potsdam (MBJS Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg)
- Rahmenlehrplan BB (2008): Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I Wirtschaft-Arbeit-Technik. Potsdam (MBJS Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg)
- Rahmenlehrplan BB (2018): Rahmenlehrplan für den Unterricht in der gymnasialen Oberstufe im Land Brandenburg – Technik. Potsdam (MBJS – Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg)
- Rahmenlehrplan B/BB (2017): Rahmenlehrplan Berlin Brandenburg: Teil C Wirtschaft-Arbeit-Technik, Jahrgangsstufen 7 10 (Berlin) Integrierte Sekundarschule; Jahrgangsstufen 5 10 (Brandenburg). o.a.O.
- Ropohl, G. (2004): Arbeits- und Techniklehre. Philosophische Beiträge zur technologischen Bildung. Berlin
- Retzmann, Th. (2000): Förderung des ökologischen Verantwortungsbewusstseins mit der Produktlinienanalyse. Bielefeld (Universität) (Schriften zur Didaktik der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Nr. 82)

Schulte, H.; Wolffgramm, H. (Hg.) (1995): Beiträge zur Technischen Bildung. Deutsches Symposium "Allgemeine Technische Bildung 5 Jahre nach der Wende" vom 14. bis 16. März 1995 an der Universität Flensburg. Hildesheim

- Teßmann, K. (1967): Zur Bestimmung der Technik als gesellschaftlicher Erscheinung. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Jg. 15/Heft 5, S. 509–527
- Tuchel, K. (1967): Herausforderung der Technik. Gesellschaftliche Voraussetzungen und Wirkungen der technischen Entwicklung. Bremen
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (1991): Richtlinie 3780 "Technikbewertung: Begriffe und Grundlagen". Düsseldorf
- Weinbrenner, P. (1992): Joghurt ist nicht gleich Joghurt. Die Produktlinienanalyse als Entscheidungshilfe. Bielefeld
- Wolffgramm, H. (1964): Fließdarstellung von Produktionsprozessen als Mittel der polytechnischen Bildung ein Beitrag zur Methodik des Technologieunterrichts. Habilitationsschrift. Dresden (Technische Universität)
- Wolffgramm, H. (1978): Allgemeine Technologie. Elemente, Strukturen und Gesetzmäßigkeiten technologischer Systeme. Leipzig
- Wolffgramm, H. (1982): Der wissenschaftlich-technische Fortschritt als Gegenstand des polytechnischen Unterrichts. In: Kleinau, M. (Hg.): Wissenschaftlich-technischer Fortschritt und polytechnische Bildung. Halle (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg), S. 23–35 (Wissenschaftliche Beiträge 1982 / 36 [E 46])
- Zeissler, P. (2002) Produktlinienanalyse eine Methode zur ökonomischen und sozialen Bewertung von Produkten. In Frejmann, M.; Pietrulewicz, B. (Hg.): Problemy edukacyjne przygotowania i doskonalenia zawodowego prcownikow [Pädagogische Probleme der Berufsbildung und beruflichen Entwicklung]. Opole, S. 57–79
- Zöllner, H. (2021): Entwicklungslinien arbeitsorientierter Bildung. In Meier, B. (Hg.): Von der allgemeinbildenden Schule in die Arbeitswelt in Zeiten gesellschaftlicher Umbrüche – Rückblicke und Ausblicke. Berlin, S. 175–219 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 64)

Schlusswort und Ausblick

Schlusswort

Mit dem heutigen IX. Symposium "Lebenszyklusanalysen. Stationen im Lebenszyklus von Technologien und Aspekte ihrer Bewertung" hat der Arbeitskreis "Allgemeine Technologie" wiederum an den von Johann Beckmann im Jahre 1806 veröffentlichten "Entwurf der Algemeinen Technologie" angeknüpft. Schwerpunkt war dieses Mal die systematische Betrachtung aller Phasen des Lebenszyklus ("From cradle to grave") von Technologien und der dazugehörigen Artefakte.

Doch wozu braucht es Lebenszyklusanalysen? Zum einen werden diese zur systematischen Untersuchung der Umweltauswirkungen von Produkten während ihres Lebensweges, von der Rohstoffgewinnung, der Verarbeitung über die Nutzung bis zur Entsorgung des Produktes, genutzt. Damit lassen sich dann Produkte in ihren Umweltwirkungen vergleichen und diese Umweltwirkungen gegebenenfalls durch Änderungen im Herstellungsprozess bzw. bei der Nutzung verringern. Unter betriebswirtschaftlichen Aspekten werden Lebenszyklusanalysen zum anderen für die operative und strategische Planung genutzt, um den gewünschten Gewinn zu erzielen.

Aus Sicht der Allgemeinen Technologie haben Lebenszyklusanalysen einer technologischen Anlage, neben den bereits genannten Aspekten, weitere Aufgaben. So können sie den Technologieschöpfern Hilfestellung bei der Gestaltung einer Anlage bieten, damit Schnittstellen für mögliche spätere Erweiterungen der Produktion eingeplant werden und ein späterer Rückbau mit bedacht wird. Auch für das Personal, das den eigentlichen Betrieb durchführt, und die Planer sowie die Durchführenden eines Rückbaus der Anlagen nach Nutzungsende geben die Lebenszyklusanalysen wichtige Hinweise für ihre Aufgaben.

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

² Vgl. https://www.controllingportal.de/Fachinfo/Grundlagen/Der-Produktlebenszyklus.html

Lebenszyklusanalysen von Produkten und Anlagen sollten zukünftige Technologie-Schöpfer und -Nutzer sowie zukünftige Planer und Durchführende eines Rückbaus von Anlagen im Rahmen einer Allgemeinen Technologie vor allem unter dem Aspekt der möglichen Verallgemeinerung von Teilabschnitten bereits beim Studium kennen lernen. Dadurch könnte eine Grundlage geschaffen werden, um sich bei schnell wechselnden beruflichen Aufgaben entsprechend orientieren zu können. Denn die derzeitige Vielfalt der Abschlüsse an Hochschulen und Universitäten lässt eine zu große Spezialisierung der Absolventen vermuten, was sich nachteilig im Berufsleben bei immer kürzeren Innovationszyklen auswirken kann. Nach Gerald Bast, Rektor der Universität für angewandte Kunst Wien, brauche es aber

"weniger super spezialisierte Leute und dafür viele, die Verbindungen schaffen können zwischen verschiedensten Disziplinen."

Auch Hans-Georg Oltmanns, Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/ Elsfleth, stellt fest:

"In den gegenwärtigen Ingenieurstudiengängen zeichnet sich zunehmend die Entwicklung einer zu frühen Spezialisierung ab. Ich halte es jedoch für entscheidend, dass zunächst eine ganzheitliche, fachübergreifende Ausbildung als Fundierung gelegt wird."²

Die heutigen Vorträge haben gezeigt, dass viele Maßnahmen und Handlungen im Lebenslauf von Technologien technologieübergreifend sind und somit fachübergreifend gelehrt werden könnten. Das würde auch an die Arbeiten vom heute bereits gewürdigten Horst Wolfgramm anschließen.

An dieser Stelle möchte ich allen Vortragenden für ihre Beiträge danken. Sie zeigen, dass die Betrachtung der einzelnen Phasen des Lebenszyklus von Technologien und der dazugehörigen Artefakte einen hohen Stellenwert besitzt.

Es ist vorgesehen, die Vorträge, auch die pandemiebedingt nicht gehaltenen, und Diskussionsbeiträge in einem Band der "Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften" zu publizieren, so dass nichts vom heute Besprochenen verloren geht.

Vgl. https://derstandard.at/2000090964348/Angewandte-Rektor-Bast-Spezialisten-fuer-Ent-Spezialisierung-gesucht

² Vgl. https://www.deutsches-ingenieurblatt.de/fileadmin/user_upload/DIB/Kammerbeilagen/ 2020/10/202010 NIEDERSACHSEN.pdf

Ausblick

Für das X. Symposium des Arbeitskreises in zwei Jahren möchte ich folgende Themen zur Diskussion stellen:

- Allgemeine Technologie eine Bestandsaufnahme: Nach 21 Jahren Tätigkeit des Arbeitskreises "Allgemeine Technologie" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften ist Bilanz zu ziehen, was erreicht wurde und was offen bleibt.
- Das mögliche bzw. nötige Zusammenspiel von physikalischer und virtueller Welt wäre im Rahmen der "Allgemeinen Technologie" zu besprechen. So kann ich zwar die Software für eine Prozessanlage ständig an wechselnde Gegebenheiten anpassen, aber der eingebaute Druckbehälter muss die geplante Lebensdauer erreichen.
- In Anknüpfung an die Arbeiten von Professor Horst Wolfgramm könnte auch der Blick auf die Anwendung der *Prinzipien der Allgemeinen Technologie* auf Fachgebiete, die bisher nicht im Focus der Symposien standen, wie z. B. das Bauwesen, gerichtet werden.

Eine weitere Anregung für die Arbeit des Arbeitskreises wäre, Einblicke in die Praxis der Technologieschaffung, -betreibung und des Rückbaus zu gewinnen. Damit meine ich, dass wir über den Arbeitskreis "Allgemeine Technologie" jährlich bis zu zwei Betriebsbesichtigung in Produktionsanlagen, aber auch anderen interessanten Unternehmen und komplexen baulichen Anlagen (z. B. technische Einrichtungen von Krankenhäusern) durchführen könnten.

Meinungen, Anregungen und weitere Themenvorschläge für die nächsten Symposien bzw. zur weiteren Arbeit des Arbeitskreises "Allgemeine Technologie" bitte ich an Gerhard Banse oder mich zu richten.

Mit diesen Anmerkungen zu unserem heutigen Symposium und einen Ausblick, was die nächsten Themen für Symposien sein könnten, möchte ich Sie nun in das Wochenende entlassen. Für die Teilnahme an dieser Veranstaltung danke ich Ihnen und würde mich freuen, Sie auch bei einer der möglichen Folgeveranstaltungen und weiteren Veranstaltungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e. V. und/oder des Vereins Brandenburger Ingenieure und Wirtschaftler e. V. begrüßen zu können.

Autorinnen und Autoren

Banse, Gerhard; Jg. 1946; Professor Dr. sc. phil. Professor e.h.; Altpräsident der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; Berlin, Deutschland gerhard.banse@t-online.de

Becker, Kerstin; Jg. 1969; Dipl.-Ing.; Ing.-Büro Deine Fernwärme; Mitglied des Vereins Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler (VBIW); Rheinsberg, Deutschland

kerstin@deinefernwaerme.de

Hartmann, Elke; Jg. 1943; Professorin Dr. paed. habil.; Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg; Halle/Saale, Deutschland elke.hartmann@iw.uni-halle.de

Hein, Christian; Jg. 1948; Professor Dr. rer. nat. habil.; Westfälische Wilhelms-Universität Münster; Saerbeck, Deutschland heinchristian09@gmail.com

Jeremias, Ernst-Peter; Jg. 1953; Dr.-Ing.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; Flecken Zechlin, Deutschland epjeremias@yahoo.de

Meier, Bernd; Jg. 1951; Professor Dr. paed. habil.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; Beelitz, Deutschland meierbe@uni-potsdam.de

Mertzsch, Norbert; Jg. 1950; Dr. rer. nat.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; Vorsitzender des Vereins Brandenburgischer Ingenieure und Wirtschaftler (VBIW); Rheinsberg, Deutschland mertzsch@t-online.de

Pahl, Uwe; Dipl.-Ing.; Jg. 1967; Geschäftsführer AMBARtec GmbH; Dresden, Deutschland uwe.pahl@ambartec.de

Pfaff, Gerhard; Jg. 1953; Professor Dr. rer. nat. habil.; Sekretar der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; Berlin, Deutschland pfaff.pigmente@gmx.de