

Lutz-Günther Fleischer

Technologie – techné und epistémé

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

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

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

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

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

1 Grundlegende Konstellationen, Korrelationen und themenrelevante Reflexionen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Technik € Technologie.

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

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

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

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

$$\mathbf{Technologie} = \cap (\mathbf{AK}, \mathbf{AM}, \mathbf{AG}).$$

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

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

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

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

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

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

2.1 Etymologisch Ursprüngliches und dialektisch Aufgehobenes

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

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

Diese Tatbestände verweisen auf zwei nachhaltige fundamentale Aspekte:

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

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

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

2.2 Faktisches zur fortgeschrittenen Technologie und deren Komplexität

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

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

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

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

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

2.3 Gesellschaftliche Funktionen/Wirkungen der Technologie

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

Die *Technologie*...

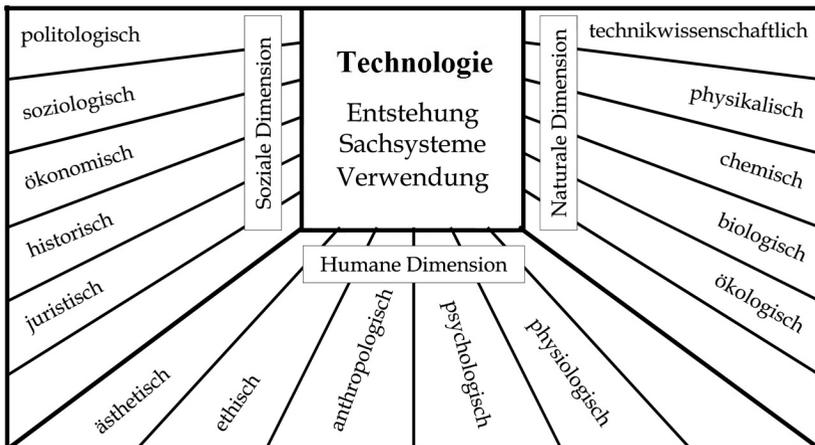
- *vermittelt*: Nur über Technologien werden wissenschaftliche Ergebnisse – gleich welcher Wissenschaftsdisziplin – ebenso wie empirische Erfahrungen aus der Produktion und anderen menschlichen Tätigkeitsfeldern – gesellschaftlich wirksam: in Effektivität, Kreativität, Produktivität, Effizienz und assoziierte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

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

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

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

Abbildung 1: Tridimensionalität und multiple Erkenntnisperspektiven der Technologien



Quelle: adaptiert nach Ropohl 2001, S. 18

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

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

2.4 Zwischenresümee mit Präzisierungen

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

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

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

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

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

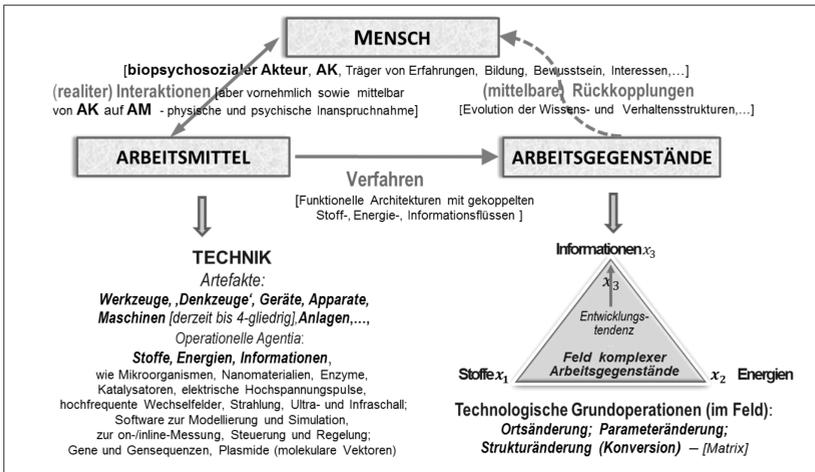
Tabelle 1: *Matrix technologischer Grundoperationen mit Beispielen*

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

Eigene Darstellung

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

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



Eigene Darstellung

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

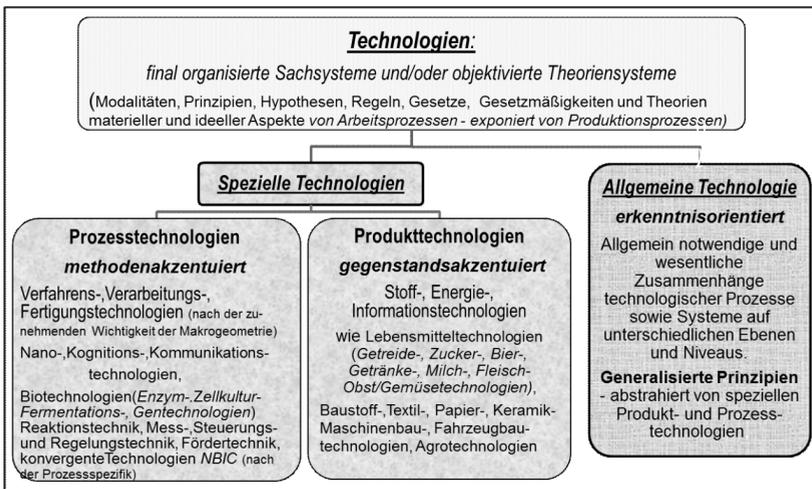
„Gewicht“ der Information x_3 an der emergenten technologischen Gesamtheit/Ganzheit. Diese Tendenz ist mit dem Pfeil angezeigt.

2.5 Klassifikation der Technologien

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

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

Abbildung 3: Typologie der Technologien und Klassifikationsmodell



Eigene Darstellung

2.6 Aktuelle Entwicklungstendenzen der Technologie

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

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

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

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

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

3 Repräsentativ interpretierende Beispiele und inhärente Entwicklungstendenzen

3.1 Die Kognitionstechnologie als emerging technology

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

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

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

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

3.1.1 Kognitionstechnologien – Synthese aus Information, Kognition und Informationswechsel

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

Information

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kognition

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

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

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

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

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

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

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

Informationswechsel

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

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

Tabelle 2: Kognitive Verstärkungstechnologien

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

Quelle: nach Öhlmann 2011

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

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

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

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

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

3.1.2 Kognitionstechnologien – Entwicklungs-Quelle und Nutznießer

Einige „emerging“ Effekte der wissenschaftlich-technischen Entwicklung kommen den Kognitionstechnologien¹ als fördernde Voraussetzungen und

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

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

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

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

3.2 Die Zuckertechnologie als evolvierende Technologie

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

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

3.2.1 Skizze zur Entwicklung der Rübenzuckertechnologie mit wertender Einordnung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2.2 Die Rübenzuckertechnologie auf zwei historischen Entwicklungsniveaus

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

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

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

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

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



Quelle: Zucker-Museum im Deutschen Technik-Museum Berlin

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

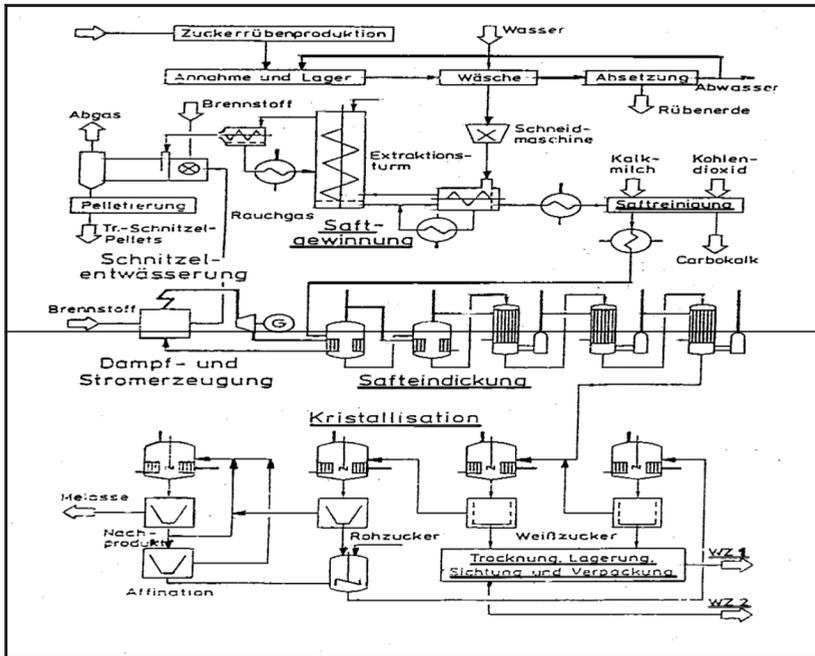
Eine aufschlussreiche – bis zur zeittypischen „Analytik“ mit dem Gehör sowie dem Daumen und Zeigefinger reichende – historische Beschreibung aus dem Jahr 1839 zur vergleichbaren manufakturrellen Zuckergewinnung in den Siedehäusern der englischen Zuckerplantagen entnehmen wir Albert Franz Jöchers Vollständigem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

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

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

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

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



Darstellung Berliner Zuckerinstitut (Technische Universität Berlin)

Rohsaftgewinnung

Die maschinell germeteten, bereits auf den Feldern vollautomatisch von den Blättern und dem Kopf getrennten, Rüben werden in der Fabrik gründlich gewaschen (2,5 bis 4,5 m³ Wasser pro Tonne Rüben), zu Schnitzeln zerkleinert und mit heißem Wasser von 80°C versetzt in *Extraktionstürmen* von 20 m Höhe im Gegenstrom ausgelaut. Wasser mit einer Temperatur von 20 °C vermag pro Liter bereits 203,9 g Zucker, bei 100°C aber 487 g Zucker/l zu lösen. Das heiße Wasser erhöht zugleich die Durchlässigkeit der Zellwände für den Zellsaft. Weil im dunkelgrauen bis schwarzen, *trüben Rohsaft* nicht nur der Zucker gelöst ist, müssen die unerwünschten Fremdstoffe (Nichtzuckerstoffe mit 2 bis 2,5% der Trockensubstanz des Rohsaftes) entfernt werden.

Saftreinigung

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

Safteindickung

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

Kristallisation

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

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

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

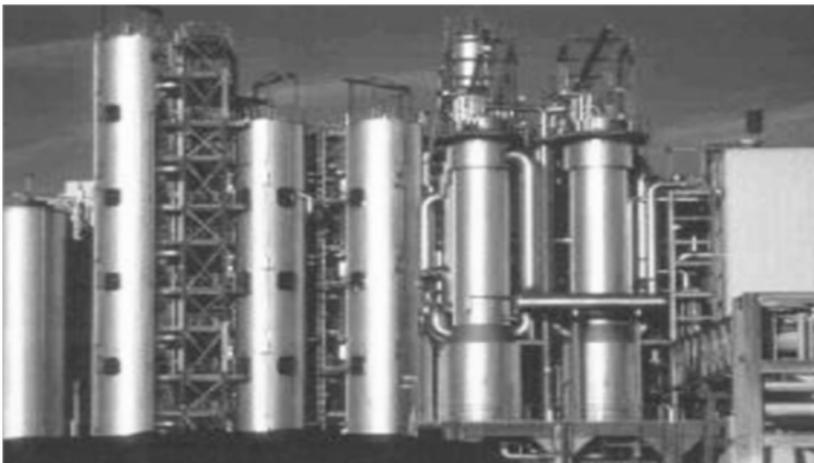
Obwohl die Saccharosekristallisation wegen dieser Schlüsselstellung seit mehr als hundert Jahren Gegenstand intensiver Untersuchungen ist, sind auch heute noch einige Probleme nicht befriedigend gelöst.

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

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

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

Abbildung 6: Kontinuierliche Kristallisation mit Doppeleffektverdampfung im energiesparenden Verbundsystem



Quelle: BMA Braunschweig

Tabelle 3: Technische Daten

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

Eigene Darstellung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Jeder Deutsche beansprucht allein für seinen Zuckerverbrauch pro Jahr 19,5 m³ – Kubikmeter! (19.500 l) – virtuellen Wassers. In anderen Veröffentlichungen sind für Rübenzucker durchaus noch höhere Werte zu finden.

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

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

4 Fazit

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

Literatur

- Banse, G.; Grunwald, A.; Hronszky, I.; Nelson, G. (eds.) (2007): *Assessing Societal Implications of Converging Technological Development*. Berlin
- Banse, G.; Reher, E.-O. (2008): Einleitung. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): *Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie*. Berlin, S. 7–19 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 99)
- Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.) (2014): *Beiträge zur Allgemeinen Technologie*. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 36)
- Beckmann, J. (1870): *Anleitung zur Technologie oder zur Kenntnis der Handwerke, Fabriken und Manufakturen*. 2. Aufl. Göttingen
- Fleischer, L.-G. (2013): Ernährung „versus“ Energetik – mit einigen Facetten zum Toleranzproblem. In: Banse, G.; Wollgast, S. (Hg.): *Toleranz – gestern, heute, morgen*. Berlin, S. 253–277 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 33)
- Fratzscher, W. (2008): *Technikwissenschaften und Technologie*. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): *Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie*. Berlin, S. 127–136 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 99)
- Fuchs-Kittowski, K. (1994): *Information – Neither Matter nor Mind: On the Essence and on the Evolutionary Stage Conception on Information*. In: Hofkirchner, W. (ed.): *The Quest For A Unified Theory of Information. Proceedings of the Second International Conference on the Foundations of Information Science*. Amsterdam, pp. 331–350 (World Futures General Evolution Studies, Vol. 13)
- Hegel, G. W. F. (1949): *Phänomenologie des Geistes*. Leipzig
- Humboldt, A. von (1845): *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. Bd. 1. Stuttgart

- Jöcher, A. F. (1839): Vollständiges Lexikon der Warenkunde in all ihren Zweigen. Quedlinburg/Leipzig
- Marx, K. (1971): Das Kapital. Bd. 1 [1867]. In: Marx, K.; Engels, F.: Werke. Bd. 23. Berlin
- Öhlmann, G. (2011): Exzerpte und Resümees zur LIFIS-Konferenz Kognitionstechnologie in Theorie und Praxis. – URL: <http://www.leibniz-institut.de/konferenzen/12th> LEIBNIZ KONFERENCE OF ADVANCED SCIENCE: KOGNITIONSTECHNOLOGIEN 2011/ archiv
- Öhlmann, G. (2014): Technologien des 21. Jahrhunderts. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin, S. 379–444 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 36)
- Roco, M. C.; Bainbridge, S. (eds.) (2002): Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. National Science Foundation (NSF/DOC) sponsored Report. Arlington/VA
- Ropohl, G. (2009): Allgemeine Technologie Eine Systemtheorie der Technik (3. überarb. Aufl.). Karlsruhe
- Sommerfeld, E. (1994): Kognitive Strukturen. Mathematisch-psychologische Elementaranalysen der Wissensstrukturierung und Informationsverarbeitung. Münster/New York
- Spur, G. (2008): Allgemeine Technologie und Innovationstheorie. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 137–179 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 99)
- Tembrock, G. (1981): Moderne Verhaltensforschung. In: Fleischer, L.-G.; Hess, H. (Hg.): Wissen aus erster Hand – Erkenntnisse, Erfahrungen, Erfolge der Wissenschaft. Berlin, S. 63–79
- Wessel, K.-F. (2011): Disziplinarität und Interdisziplinarität in der Bildung. In: Banse, G.; Fleischer, L.-G. (Hg.): Wissenschaft im Kontext. Inter- und Transdisziplinarität in Theorie und Praxis. Berlin, S. 179–185 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaft, Bd. 27)