

Die Menschen und ihre Technischen Systeme

Hans-Gert Gräbe, Leipzig

Version vom 17. Mai 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
2	Theorie und Praxis	2
3	Gesetze der Evolution technischer Systeme?	3
4	Technik und Welt verändernde Praxen	5
5	Systeme und Komponenten	7
6	Die Welt der Technischen Systeme. Basics	8
7	Zum Evolutionsbegriff. Die sozio-ökonomische Dimension	11
8	Zum Evolutionsbegriff. Die ideengeschichtliche Dimension	16
9	Was sind Komponenten?	18
10	Normierung und Standardisierung	19
11	Zwecke	23
12	Schichtenarchitekturen	25
13	Komponenten und Objekte	28
14	Entwicklungslinien in der Welt technischer Systeme	31
15	Zusammenfassung	33

Die Philosophen haben die Welt nur verschieden interpretiert;
es kömmt darauf an sie zu verändern.
Karl Marx. 11. Feuerbachthese

1 Einführung

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. In [15] ist ausgeführt, dass es sogar sehr viel mehr als diese Summe ist, denn in den *Systembeziehungen* multiplizieren sich die Teile und addieren sich nicht nur. Deshalb ist ein submersiver Systembegriff auch deutlich besser geeignet, die Vielfalt der Welt begrifflich zu erfassen als der auch in der TRIZ-Theorie verbreitete immersive Systembegriff.

Die begriffliche Fundierung der eigenen Theorie wird im TRIZ Body of Knowledge [19] nur halbherzig betrieben¹. Insbesondere in der Frage, was denn ein *technisches System* sei, wird auf die Anschauung verwiesen – jeder wisse doch, worüber hier die Rede sei. Die Vielfalt der Verständnisse wurde in einer Facebook-Diskussion [14] im August 2019 deutlich. Das ist natürlich keine wissenschaftliche Arbeitsgrundlage.

In diesem Aufsatz wird eine Annäherung an den Begriff *technisches System* versucht und gefragt, ob ein solcher Begriff überhaupt trägt, um die *Welt der technischen Systeme* genauer zu analysieren. Die wenig überraschende Antwort lautet *nein*, denn das Ganze ist eben auch hier mehr als die Summe seiner Teile.

Relationale Verhältnisse in der *Welt der technischen Systeme* werden eher im Begriff des *technischen Prinzips* sichtbar als im Begriff des *technischen Systems*. Insofern ist der Zugang in [32] deutlich besser geeignet, die Evolution in der Welt der technischen Systeme zu beschreiben als der Zugang in [20]. Der Begriff *Prinzip* ist dabei nicht als TRIZ-Prinzip misszuverstehen, denn jene unglückliche englische und deutsche Übersetzung des russischen Originals „*Принцип*“ ist besser mit Vorgehensweise oder Designmuster übersetzt.

2 Theorie und Praxis

Anliegen dieses Aufsatzes ist es, einen Beitrag zur theoretischen Fundierung der TRIZ zu leisten. Theoretische Fundierungen erfolgreicher Praxen haben eine gewisse Eigenart. Auf einer wissenschaftlichen Tagung der Astrophysiker wurde ein Vortragender nach seiner viel beachteten Videosimulation der Gravitationswellenausstrahlung bei der Kollision von zwei schwarzen Löchern gefragt, ob bekannt sei, ob die simulierten Gleichungen überhaupt eine Lösung besäßen. Nein, das sei nicht bekannt.

Wie wichtig ist es, diese Lücke im Fundament der Theorie zu schließen? Oder sollten lieber Mittel auf die Detektion realer Gravitationswellen konzentriert werden? Was würde aber in je-

¹Das mag als hartes Urteil erscheinen, stellen sich die Autoren doch selbst die Aufgabe „a. Define TRIZ as a Theory — this should indicate TRIZ functions as well as current and potential scope of applicability; b. Name the starting points (in other words, postulates) on which TRIZ as a Theory is based; c. Provide a structure of TRIZ as a system, by associating postulates with functions; d. Assess the consistency of this method. Leading TRIZ experts should all agree upon this method and verify that everything concurrently satisfying items a, b, and c refers to TRIZ.“ Doch der einzige Satz in jenem Basisdokument zu dem hier besprochenen Thema ist folgender: „TRIZ methods lean upon the objective trends of evolution of systems (predominantly, engineering systems)“.

nen riesigen und kostspieligen unterirdischen Tanks anderes detektiert als spezielle Muster von Lichtblitzen, die im selben Theoriegebäude als Zeichen der Wirkung von Gravitationswellen angesehen würden?

Was ist das Tun von Mathematikern und Philosophen wert, die mit ihren Anforderungen an die Rigorosität von Argumentationen der Praxis der Physiker und Ingenieure ständig hoffnungslos hinterherlaufen? Braucht es die Mathematiker, wenn die Physiker zwei divergente Reihen voneinander subtrahieren und am Ende das Ergebnis stolz verkünden: „ $-\frac{\pi}{3}$ “? Wieso, fragt der Mathematiker erstaunt. „Aus physikalischen Gründen“. Näher erläutert sieht der Mathematiker, dass dazu die Reihen umsortiert werden müssten. Aber ist das immer statthaft? Nein, weiß der Mathematiker aus anderen Praxen. Darf man das also hier?

Interessant wird es, wenn der Mathematiker mit der Antwort „nicht immer“ kommt. Die vorher unkonditionierte Praxis der Physiker wird damit kontextualisiert, die Physiker beginnen zu fragen, was jenseits dieses Kontextes passiert, und finden neue, praxistaugliche Effekte. Das Fundament wurde verstärkt, das Haus weiter ausgebaut.

Schlimmer wird es, wenn die „Fundamentalisten“ feststellen, dass das Fundament nicht trägt – die Erde steht nicht im Mittelpunkt der Welt, es gibt keinen Äther, die Sache mit dem Phlogiston usw. Dann muss das Gebäude abgetragen und ein neues errichtet werden. Auch ein solcher „Paradigmenwechsel“ (T.S. Kuhn) ist allerdings kein Abriss, sondern eine Transformation, die nicht alle alten Erkenntnisse über Zusammenhänge entwertet, sondern viele von ihnen nur auf das neue Fundament stellt und entsprechend anpasst.

3 Gesetze der Evolution technischer Systeme?

Ausgangspunkt dieser Untersuchungen war eine Debatte mit den Organisatoren des TRIZ-Cups 2019/20 über die Gültigkeit eines „Gesetzes der Verdrängung des Menschen aus technischen Systemen“, das in einer späteren Fassung der Ausschreibung als „Trend“ bezeichnet wurde. Unter den acht Gesetzen der Entwicklung technischer Systeme, die Altschuller 1979 selbst formulierte [20, S. 2], kommt ein solcher Ansatz nicht vor, auch nicht in der Auflistung von fünf Gesetzen und zehn Tendenzen in [17, S. 148 ff.].

Systematisierungen von „Gesetzen der Evolution technischer Systeme“ oder zum „technology forecasting“ sind aber in der TRIZ-Literatur weit verbreitet. Sie sind auch Teil der verschiedenen Versionen eines „TRIZ Body of Knowledge“, etwa [19]. Meine weiteren Ausführungen beziehen sich auf [20] als Referenz, da hier von einflussreichen TRIZ-Theoretikern mit der Autorität der MATRIZ im Rücken ein aktueller Zusammenschchnitt der Debatten um „Trends of Engineering Systems Evolution“ gegeben wird. Einen deutlich anderen Ansatz, die Betrachtung der Evolution einzelner Funktionen und nicht kompletter technischer Systeme, schlägt N. Shpakovsky in [32] mit seinem Konzept der „Evolutionsbäume“ vor.

Auch in der marxistischen Literatur wird ein solcher Herauslösungsprozess des Menschen aus produktiven Prozessen thematisiert und an vielen Stellen als unausweichlich charakterisiert. So entwickelt Marx selbst im „Maschinenfragment“ [23, S. 570 ff.] – einem frühen Rohentwurf der eigenen ökonomischen Theorie – die Vision einer Gesellschaft, in welcher der „gesellschaftliche Stoffwechsel“ [22, S. 37] auf eine Weise organisiert ist, dass

es nicht mehr der Arbeiter [ist], der modifizierten Naturgegenstand als Mittelglied zwischen das Objekt und sich einschiebt; sondern den Naturprozess, den er in einen

industriellen umwandelt, er als Mittel zwischen sich und die unorganische Natur [schiebt], deren er sich bemeistert [23, S. 572],

und stellt weiter dar, dass die Entwicklung der Produktivkräfte *notwendig* auf eine solche Weise der Organisation des gesellschaftlichen Stoffwechsels zusteuert.

In den Produktionsprozess des Kapitals aufgenommen, durchläuft das Arbeitsmittel aber verschiedene Metamorphosen, deren letzte die *Maschine* ist oder vielmehr ein *automatisches System der Maschinerie* (System der Maschinerie; das *automatische* ist nur die vollendetste adäquateste Form derselben und verwandelt die Maschinerie erst in ein System), in Bewegung gesetzt durch einen Automaten, bewegende Kraft, die sich selbst bewegt; dieser Automat bestehend aus zahlreichen mechanischen und intellektuellen Organen, sodass die Arbeiter selbst nur als bewusste Glieder desselben bestimmt sind. [23, S. 584]

Dieser Gedanke sei allerdings weitgehend singulär und im übrigen Marxschen Werk nirgends ausgearbeitet, so [11]. Zumindest auf das Interesse an technischen Systemen und Entwicklungen trifft das allerdings nicht zu, hierzu finden sich viele Stellen im Werk dieser Klassiker. Engels' Interesse besonders an militär-historischen Entwicklungen ist weithin bekannt, in [3] wird die Evolution des gezogenen Gewehrs auf eine Weise analysiert, die es mit jeder TRIZ-Analyse aufnehmen kann, etwa in der Herausarbeitung des sozio-technischen Widerspruchs [3, S. 199]:

Unter diesen Umständen ergab sich folgende dringende Aufgabe: eine Feuerwaffe zu erfinden, welche die Schussweite und die Genauigkeit der Büchse mit der Schnelligkeit und Leichtigkeit des Ladens und mit der Länge des Laufs der glattläufigen Muskete vereint, eine Waffe also, die zugleich Büchse und Nahkampfwaffe ist, welche man jedem Infanteristen in die Hand geben kann.

So sehen wir also, dass gerade durch die Einführung des Kampfes in aufgelöster Ordnung in die moderne Taktik sich die Forderung nach einer solchen verbesserten Kriegswaffe erhob. [...] Fast alle Verbesserungen, die an Handfeuerwaffen seit 1828 vorgenommen wurden, dienten diesem Zweck.

[11] untersucht allerdings nicht diese Frage, sondern aktuelle Kapitalkonzentrationsprozesse, die erforderlich sind, um die immer kostspieligeren technischen Großprojekte zu finanzieren. In diesem Kontext wird neuerdings viel über *Plattformkapitalismus* geschrieben. Der unmittelbare Zusammenhang zwischen technologischen und finanziellen Möglichkeiten ganzer Staaten im Kontext einer „wealth of nations“ ist hinreichend bekannt. Im TRIZ-Umfeld spielen derartige Überlegungen eine eher marginale Rolle.

Technikoptimistischen Sichten der „Verdrängung des Menschen aus technischen Systeme“ steht die Position aus dem Kybernetikdiskurs der 1960er bis 1980er Jahre entgegen [6, S. 10]:

Welche Stellung hat der Mensch im hochkomplexen informations-technologischen System? Unsere Antwort auf die Frage war immer: Der Mensch ist die einzig kreative Produktivkraft, er muss Subjekt der Entwicklung sein und bleiben. Daher ist das Konzept der Vollautomatisierung, nach dem der Mensch schrittweise aus dem Prozess eliminiert werden soll, verfehlt!

Die Probleme eines solchen „Konzepts der Vollautomatisierung“, einer Welt der „in Bewegung gesetzten Automaten“ werden mittlerweile in einer ökologischen Krise planetaren Ausmaßes sichtbar. Die Verdrängungsthese selbst wird dabei als direkte Gefährdung wahrgenommen, was hier seinerseits als *These* explizit formuliert werden soll:

These 1: *Die (scheinbare) Verdrängung des Menschen aus technischen Systemen weist auf eine existenziell gefährliche, unterkomplexe Wahrnehmung dieser technischen Systeme hin.*

Das TRIZ-Prinzip 11 der *Prävention* weist auf Handlungsbedarf in dieser Richtung hin. Der Anwendungskontext dieses Prinzips wird in [35] wie folgt umrissen: „Der Einsatz des Prinzips ist besonders in solchen Fällen wichtig, in denen das System nicht über ein ausreichendes Maß an Zuverlässigkeit verfügt“, um dann festzustellen, dass dem eigentlich strukturell abgeholfen werden könne – „Notfallsituationen können vermieden werden, indem der Prozess zuverlässig gemacht wird.“ Dem stehen allerdings gewichtige Gründe entgegen – „was die technischen Systeme, die ihn durchführen, erheblich verkompliziert oder verteuert. Dies ist kostspielig und oft prinzipiell unmöglich. Mit anderen Worten: Notfälle sind unvermeidlich“. Der Optimismus der Autoren, dass „zusätzliche Rettungs- und Notfallsysteme [...] in das Hauptsystem“ eingebaut werden, die allerdings „nicht am Hauptsystem teilnehmen, sondern erst in einer Gefahrensituation zu arbeiten beginnen“, erscheint mit Blick auf Kosten reduzierende Designpraxen und die allgemeine Ausrichtung der anderen TRIZ-Prinzipien auf Effizienzgewinne als Widerspruch in der TRIZ-Methodik selbst. Dahinter mag sich *auch* ein prinzipielles Problem menschlichen Handelns verbergen – niemand ist unfehlbar –, allerdings zeigt die Aussage, „das Prinzip kann dort angewendet werden, wo die Zuverlässigkeit des Systems offensichtlich unzureichend ist und ein Weg zur Erhöhung der Zuverlässigkeit auf das notwendige Niveau nicht möglich ist“ (ebenda), dass der Einbau solcher „Fehler“ in technische Systeme – in Kenntnis derselben – auf breiter Front billigend in Kauf genommen wird.

Dies ist allerdings in keiner Weise mehr ein technisches Problem. Harrisburg, Tschernobyl, Fukushima oder der Klimawandel sind genügend Fingerzeige, um sich mit diesen Positionen genauer zu befassen.

Wir zeigen im Weiteren, dass die 10 in [20] als „Trends“ präsentierten „Gesetze der Entwicklung technischer Systeme“ in Wirklichkeit Design Pattern in den ingenieur-technischen Praxen des Entwurfs sowie der Anpassung und Verbesserung technischer Systeme sind und sich somit *unmittelbar* auf sozio-technische Praxen beziehen. Dabei beziehen sie sich auf ein *spezifisches* begriffliches Abstraktionsniveau der sich insgesamt in Widersprüchen entwickelnden Beschreibungsformen von Welt. Insbesondere stehen die „Trends“ im Widerspruch zu Entwicklungslinien, die sich auf anderen Abstraktionsniveaus abzeichnen. Kurz, das oben in These und Gegenthese entfaltete ambivalente Verhältnis zu einer „Verdrängung des Menschen aus technischen Systemen“ ist kein Alleinstellungsmerkmal nur für diesen Trend, sondern trifft in ähnlicher Weise auch auf die anderen Trends zu.

4 Technik und Welt verändernde Praxen

Betrieb und Nutzung technischer Systeme ist heute ein zentrales Element Welt verändernder menschlicher Praxen. Dafür ist planmäßiges und abgestimmtes arbeitsteiliges Handeln erforderlich, denn das Nutzen eines Systems setzt dessen Betrieb voraus. Umgekehrt ist es wenig

sinnvoll, ein System zu betreiben, das nicht genutzt wird. In der Informatik ist dieser Zusammenhang zwischen Definition und Aufruf einer Funktion gut bekannt – der Aufruf einer Funktion, die noch nicht definiert wurde, führt zu einem Laufzeitfehler; die Definition einer Funktion, die nie aufgerufen wird, weist auf einen Designfehler hin.

Eng verbunden mit der informatischen Unterscheidung von Definition und Aufruf einer Funktion ist die Unterscheidung von Designzeit und Laufzeit. Eine solche Unterscheidung hat im realweltlichen arbeitsteiligen Einsatz technischer Systeme noch größere Bedeutung – während der Designzeit wird das prinzipielle kooperative Zusammenwirken *geplant*, während der Laufzeit *der Plan ausgeführt*. Für technische Systeme sind also zusätzlich deren interpersonal als *begründete Erwartungen* kommunizierten *Beschreibungsformen* und die in *erfahrenen Ergebnissen* resultierenden *Vollzugsformen* zu unterscheiden.

Marx [22, S. 193] merkt dazu an:

Eine Spinne verrichtet Operationen, die denen des Webers ähneln, und eine Biene beschämt durch den Bau ihrer Wachsellen manchen menschlichen Baumeister. Was aber von vornherein den schlechtesten Baumeister vor der besten Biene auszeichnet, ist, dass er die Zelle in seinem Kopf gebaut hat, bevor er sie in Wachs baut. Am Ende des Arbeitsprozesses kommt ein Resultat heraus, das beim Beginn desselben schon in der Vorstellung des Arbeiters, also schon ideell vorhanden war.

So einfach ist es allerdings nicht, wie das folgende Beispiel einer Konzertaufführung zeigt. Dieser die Zuhörer erfreuenden Vollzugsform geht die Erarbeitung der Beschreibungsform, die Verständigung über die genaue Interpretation des aufzuführenden Werks, voraus. Diese Verständigung auf einen *gemeinsamen Plan* ist selbst ein voraussetzungsreicher praktischer Prozess. Die Voraussetzungen resultieren aus vorgängigen Praxen – etwa dem *privaten Verfahrenskönnen* der einzelnen Musiker in der Beherrschung ihrer Instrumente sowie dem Vorliegen der Partitur als etablierter Beschreibungsform des aufzuführenden Konzertstücks. Wenn Alexander Shelley am 14. Oktober 2018 im Leipziger Gewandhaus ohne diese Partitur von Mozarts Klavierkonzert KV 491 ans Dirigentenpult tritt, so wird deutlich, dass jene Beschreibungsform allenfalls das Rohmaterial liefert, auf dessen Basis sich Dirigent und Orchester in den vorausgegangenen Proben auf eine situativ konkrete Beschreibungsform als Basis der nun zur Aufführung gelangenden Vollzugsform geeinigt haben. Mehr noch weisen die opulenten Gesten des Dirigenten in Richtung Orchester darauf hin, dass in diesen Proben auch *Sprache* generiert wurde, um die Ergebnisse längerer Verständigungsprozesse in eine kompakte Form zu fassen, die den zeitkritischen Tempi der Vollzugsform gewachsen ist. Den Rahmen einfacher ingenieur-technischer „Baumeisterarbeit“ sprengt Gabriela Montero, die Solistin jenes Abends, mit ihrer Zugabe: Das Publikum wird aufgefordert, eine Melodie vorzugeben, woraus die Virtuosin eine Improvisation als Vollzugsform entwickelt, zu der es keine interpersonal kommunizierbare Beschreibungsform gibt, wenn man einmal von den Tonaufzeichnungen jenes Gewandhausabends und den Berichten der begeisterten Hörerschaft absieht. Dass auch hierfür technische Meisterschaft erforderlich war, steht außer Frage.

Das Verhältnis der Menschen zu ihren technischen Systemen ist also komplex und nur in einer dialektischen Perspektive der Weiterentwicklung bereits vorgefundener technischer Systeme zu fassen, wenn man sich nicht unentrinnbar in unfruchtbare Henne-Ei-Debatten verstricken will. Das relativiert aber auch die Marxsche Forderung an die Philosophen, denn deren Interpretationen sind die Differenzen zwischen den begründeten Erwartungen und den erfahrenen Ergebnissen früherer Praxen vorgängig. Ob es ausreicht, diese Differenzen auf der Ebene der

Techniker, der Ingenieure oder der Fachwissenschaftler zu besprechen oder eine Intervention der „interpretierenden Philosophen“ als eigenständige Reflexionsdimension von Bedeutung ist, mag an dieser Stelle offen bleiben.

5 Systeme und Komponenten

Neben der Beschreibungs- und Vollzugsdimension spielt für technische Systeme auch der *Aspekt der Wiederverwendung* eine große Rolle. Dies gilt, zumindest auf der artefaktischen Ebene, allerdings *nicht* für die meisten technischen Großsysteme – diese sind *Unikate*, auch wenn bei deren Montage standardisierte Komponenten verbaut werden. Auch die Mehrzahl der Informatiker ist mit der Erstellung solcher Unikate befasst, denn die IT-Systeme, die derartige Anlagen steuern, sind ebenfalls Unikate. Dasselbe gilt auch für die Ämter, Behörden und öffentlichen Einrichtungen. So ist zum Beispiel die Leipziger Stadtverwaltung aktuell damit befasst, ihre Verwaltungsprozesse zu „digitalisieren“, was unter Führung des Dezernats Allgemeine Verwaltung und zusammen mit dem städtischen IT-Dienstleister Lecos erfolgt. Im Industriesektor ist deshalb deutlich zwischen Werkzeugmaschinenbau und Industrieanlagenbau – zwischen Ausrüstern sowie Planern und „Baumeistern“ entsprechender Unikate – zu unterscheiden, auch wenn dies in einschlägigen Statistiken [37] zum *Maschinen- und Anlagenbau* zusammengefasst wird.

Die Besonderheiten eines technischen Systems liegen damit vor allem im Bereich des *Zusammenspiels der Komponenten*. So unterscheiden sich beispielsweise die Produktionsleitsysteme verschiedener BMW-Werke deutlich voneinander [18]. Die Werke wurden zu verschiedenen Zeiten nach dem jeweiligen Stand der Technik und dem sich ebenfalls verändernden Geschäftsmodell des Unternehmens konzipiert. Einmal in die Welt gesetzt, sind derartige technischen Großsysteme nur noch bedingt modifizierbar und werden deshalb nach Ablauf entsprechender Amortisationsfristen auch konsequent außer Betrieb gestellt. Gleichwohl spielt der Aspekt der Wiederverwendung auch bei solch unterschiedlichen technischen Systemen eine Rolle, verschiebt sich aber von der unmittelbaren Ebene der technischen Artefakte auf höhere Ebenen der Abstraktion in der Beschreibungsdimension.

Damit sind wesentliche Elemente zusammengetragen, die eine erste Annäherung an den *Begriff eines technischen Systems* erlauben. Der Begriff ist in einem planerisch-realweltlichen Kontext vierfach überladen

1. als realweltliches Unikat (z.B. als Produkt, auch wenn das Unikat ein Service ist),
2. als Beschreibung dieses realweltlichen Unikats (z.B. in der Form einer speziellen Produktkonfiguration)

und für in größerer Stückzahl hergestellte Komponenten auch noch

3. als Beschreibung des Designs des System-Templates (Produkt-Design) sowie
4. als Beschreibung und Betrieb der Auslieferungs- und Betriebsstrukturen der nach diesem Template gefertigten realweltlichen Unikate (als Produktions-, Qualitätssicherungs-, Auslieferungs-, Betriebs- und Wartungspläne).

Besonders Punkt 4 spielt im TRIZ-Kontext kaum eine Rolle, obwohl davon auszugehen ist, dass weder im privaten noch im unternehmerischen Umfeld technische Produkte nachhaltig nachgefragt werden, für die absehbar unzureichender Service angeboten wird.

Als Grundlage für einen derart abgrenzenden Systembegriff soll im Weiteren der submersiv gefasste Begriff offener Systeme der Theorie dynamischer Systeme [1] verwendet werden, der

1. eine innere Abgrenzung gegen vorgefundene Systeme (Komponenten),
2. eine äußere Abgrenzung und funktional determinierte Einbettung in eine (funktionierende) Umwelt sowie
3. einen (funktionierenden) externen Durchsatz postuliert, der zu innerer Strukturbildung führt und damit die Leistungsfähigkeit des Systems bestimmt,

und seine Fruchtbarkeit für eine Behandlung mit mathematischen Instrumenten seither vielfach unter Beweis gestellt hat.

Technische Systeme sind in einem solchen Kontext Systeme, auf deren Gestaltung kooperativ und arbeitsteilig agierende Menschen Einfluss nehmen, wobei *vorgefundene* technische Systeme auf Beschreibungsebene durch eine *Spezifikation* ihrer Schnittstellen und auf Vollzugsebene durch die *Gewähr spezifikationskonformen Betriebs* normativ charakterisiert sind.

Wir bewegen uns dabei klar im Bereich der Standard-TRIZ-Terminologie eines *Systems von Systemen* – ein technisches System besteht aus Komponenten, die ihrerseits technische Systeme sind, deren *Funktionieren* (sowohl im funktionalen als auch im operativen Sinn) für die aktuell betrachtete Systemebene vorausgesetzt wird.

Dem Begriff eines technischen Systems kommt damit die epistemische Funktion der (funktionalen) „Reduktion auf das Wesentliche“ zu. Einstein wird der Ausspruch zugeschrieben „make it as simple as possible but not simpler“. Das *Gesetz der Vollständigkeit eines Systems* bringt genau diesen Gedanken zum Ausdruck, allerdings tritt dieser dabei nicht als *Gesetz*, sondern als ingenieur-technische *Modellierungsdirektive* in Erscheinung. Die scheinbare „Naturgesetzlichkeit“ der beobachteten Dynamik ist also wesentlich an *vernünftiges* (im Sinne von [38]) *menschliches Agieren* gebunden.

Mit einem Ansatz der „Reduktion auf das Wesentliche“ sowie der „Gewähr spezifikationskonformen Betriebs“ sind in diese Begriffsbildung inhärent menschliche Praxen eingebaut, aus denen heraus die Begriffe „wesentlich“, „Gewähr“ und „Betrieb“ überhaupt erst sinnvoll gefüllt werden können. Eine Unterscheidung zwischen technischen und sozio-technischen Systemen, die für M. Rubin „offensichtlich und wesentlich“ (private Kommunikation) ist, wird damit problematisch. Wesentliche Begriffe aus dem sozial determinierten Praxisverhältnis von Menschen wie Ziel, Nutzen, Gewährleistung und Verantwortung sind fest in die Begriffsgenerierungsprozesse der Beschreibung konkreter technischer Systeme eingebaut und finden in den konkreten gesellschaftlichen Setzungen eines primär rechtsförmig konstituierten bürgerlichen Systems ihre „natürliche“ Fortsetzung.

6 Die Welt der Technischen Systeme. Basics

In der TRIZ-Literatur spielen solche begrifflichen Fundierungen kaum eine Rolle. Einschlägige Lehrbücher wie etwa [17] betrachten den Begriff des *technischen Systems* als intuitiv gegeben,

der sich aus einer „industriellen Praxis“ heraus [17, S. 2] von selbst versteht, während andere Begriffe wie „Prozess“, „Produkt“, „Dienstleistung“, „Ressourcen“ und „Effekte“ [17, S. 6–10] genauer eingeführt werden. Selbst die ausführliche Beschreibung der „Evolution technischer Systeme“ in 5 Gesetzen und 11 Trends [17, Kap. 4.8] basiert allein auf der lapidaren Feststellung „Die Existenz technischer Evolution ist eine zentrale Erkenntnis der TRIZ“. Auch [20] bleibt in dieser Frage vage; im Vorwort von B. Zlotin heißt es allein zum *Zweck* von Betrachtungen der Evolution ingenieur-technischer Systeme „humanity can achieve practically any realistic goal, but certain priorities must be set to ensure the greatest possible impact on the economy and human life. [...] The powers of contemporary science and technology as well as financial investment should be applied to carefully selected and formulated objectives.“

Es ist natürlich möglich, in einem diskursiven Rahmen die verbale Fassung eines Begriffs offen zu lassen und auf andere Weise – etwa durch den Bezug auf gemeinsame Praxen oder durch den „gewöhnlichen Gebrauch“ – die Konvergenz der Begriffsverwendung zu erreichen. Ein solches Grundmuster wird im TRIZ-Kontext für den Begriff *technisches System* besonders auch in [20] angewendet, indem der Begriff durch eine Vielzahl von Beispielen in Kombination mit den Begriffen „Muster“ und „Evolution“ illustriert, die genaue Fassung aber dem geneigten Leser überlassen wird. Der dort mittlerweile erfolgte Rückzug auf Begriffe wie „Muster“ oder „Trend“ gegenüber dem schärferen und wissenschaftspraktisch vorbelegten Begriff „Gesetz“ unterstützt das Anliegen der Autoren von [20], empirische Erfahrung zu systematisieren, verweist aber zugleich auf das schwache theoretische Fundament eines solchen Systematisierungsanliegens. Das weite Spektrum praktisch kursierender Präzisierungen eines derart im Ungewissen gelassenen Begriffs wurde in einer Facebook-Diskussion [14] im August 2019 deutlich. Für ein genaueres Abwägen der Argumente zu oben formulierter These und Gegenthese ist ein solches Fundament allerdings nicht ausreichend.

Wie kann der Begriff eines *technischen Systems* also weiter geschärft werden? In unserem Seminar [15] haben wir „den Systembegriff als Beschreibungsfokussierung identifiziert, mit der konkrete Phänomene durch *Reduktion auf das Wesentliche* [...] einer Beschreibung zugänglich werden.“ Die Reduktion richtet sich auf folgende drei Dimensionen [15, S. 18]

- (1) Abgrenzung des Systems nach außen gegen eine *Umwelt*, Reduktion dieser Beziehungen auf Input/Output-Beziehungen und garantierten Durchsatz.
- (2) Abgrenzung des Systems nach innen durch Zusammenfassen von Teilbereichen als *Komponenten*, deren Funktionieren auf eine „Verhaltenssteuerung“ über Input/Output-Beziehungen reduziert wird.
- (3) Reduktion der Beziehungen im System selbst auf „kausal wesentliche“ Beziehungen.

Weiter wird ebenda festgestellt, dass – ähnlich wie im Konzertbeispiel – einer solchen reduktiven Beschreibungsleistung vorgefundene (explizite oder implizite) Beschreibungsleistungen vorgängig sind:

- (1) Eine wenigstens vage Vorstellung über die (funktionierenden) Input/Output-Leistungen der Umgebung.
- (2) Eine deutliche Vorstellung über das innere Funktionieren der Komponenten (über die reine Spezifikation hinaus).

- (3) Eine wenigstens vage Vorstellung über Kausalitäten im System selbst, also eine der detaillierten Modellierung vorgängige, bereits vorgefundene Vorstellung von Kausalität im gegebenen Kontext.

Die Punkte (1) und (2) können ihrerseits in systemtheoretischen Ansätzen für die Beschreibung der „Umwelt“² sowie der Komponenten (als Untersysteme) entwickelt werden, womit die Beschreibung von *Koevolutionsszenarien* wichtig wird, die ihrerseits für die Vertiefung des Verständnisses von Punkt (3) relevant sind.

Dabei ist der Fokus zunächst auf ein genaueres Verständnis des Begriffs *System* gerichtet, der als Reduktion von Komplexität in den drei oben angeführten Dimensionen betrachtet wird. Da in diesem Verständnis Komponenten eines Systems selbst wieder Systeme sind, liegt auch im allgemeinen Fall die Betrachtung eines Systems als „System von Systemen“ nahe, wie es in [16] thematisiert ist. Wesentliches Reduktionskriterium für Beziehungen zwischen Komponenten sind in solchen Systemen *spezifische Eigenzeiten und Eigenräume* wie in den Abbildungen 1–3 in [16] dargestellt ist, die auch in den TRIZ-Prinzipien 18 *Ausnutzung mechanischer Schwingungen*, 19 *periodische Wirkung*, 23 *Rückkopplung* und 25 *Selbstbedienung* eine Rolle spielen. Die Beschreibung von Planung, Entwurf und Verbesserung technischer Systeme geht in einem solchen Ansatz von der Leistungsfähigkeit bereits vorhandener technischer Systeme aus, die sowohl in (2) als Komponenten als auch – aus der Sicht eines Systems im Obersystem – in (3) als benachbarte Systeme zu berücksichtigen sind.

Ingenieur-technische Praxen bewegen sich damit in einer *Welt technischer Systeme*. Aus der konkreten Beschreibungsperspektive eines Systems sind andere Systeme als Komponenten oder Nachbarsysteme allein in ihrer *Spezifikation* wichtig. Eine solche Reduktion auf das Wesentliche erscheint praktisch als verkürzte Sprechweise über eine gesellschaftliche Normalität, was ich kurz als *Fiktion* bezeichne. Diese Fiktion kann und wird im täglichen Sprachgebrauch so lange aufrecht erhalten, so lange die gesellschaftlichen Umstände die Aufrechterhaltung der daran gebundenen gesellschaftlichen Normalität garantieren können, so lange also der *Betrieb der entsprechenden Infrastrukturen* gewährleistet ist. Technische Systeme sind damit wenigstens in ihrer Vollzugsdimension *immer* sozio-technische Systeme.

Ein Ausblenden dieser sozialen Zusammenhänge kann sich also allenfalls auf die *Planung* derartiger Systeme sowie deren artefaktische Daseinsdimension beziehen, die den *Betrieb* der erforderlichen Infrastruktur ausblendet oder in ein Obersystem verschiebt. Letzteres ist aber unzumutbar, da das Beheben von Problemen im Betrieb eines Systems Kenntnisse über dessen Funktionieren nicht nur auf der Ebene der Spezifikation, sondern auch auf der Ebene der Implementierung erfordert.

Eine solche Engführung des Begriffs *technisches System* resultiert möglicherweise aus spezifischen Praxen der Vermittlung und Weiterentwicklung von TRIZ-Grundlagen, da TRIZ-Praktiker zu derartigen Auseinandersetzungen um Fundierungen der von ihnen angewendeten Theorien ein entspanntes bis ignoranten Verhältnis an den Tag legen. Für eine Theorie der Evolution technischer Systeme ist aber eine noch weitergehende Engführung und Abstraktion des Begriffs erforderlich, da sich die bisherige Begriffsgenese ausschließlich an der zu einem gegebenen Zeitpunkt *vorgefundenen* Landschaft technischer Systeme orientiert.

²Hierfür ist allerdings die Abgrenzung eines oder mehrerer Obersysteme in einer noch umfassenderen „Umwelt“ erforderlich.

7 Zum Evolutionsbegriff. Die sozio-ökonomische Dimension

Um evolutionäre Aspekte zu thematisieren, ist eine Zuordnung von zu verschiedenen Zeiten existierenden technischen Systemen zu *Entwicklungslinien* erforderlich. Hier gehen [32] und [20] deutlich verschiedene Wege.

In [20] wird *Evolution*, wie V. Souchkov im Vorwort [20, S. IX] feststellt, als „innovative development“ verstanden, „since – in contrast to nature – craftsmen and engineers make decisions based on logic, previous experience, and knowledge of basic principles rather than chance.“ Die Konzentration auf „craftsmen and engineers“ weist noch einmal auf die Einführung der Praxen hin, aus denen die Systematisierung in [20] abgeleitet wurde.

Mögliche Zugänge zur Einbettung des bisher entwickelten Begriffs in historische Geneseprozesse könnten sich an der wissenschaftshistorischen Betrachtung [39] der Entwicklung der *Automatisierungstechnik* als eines der wichtigsten interdisziplinären technikwissenschaftlichen Bereiche und damit *aus der Perspektive der Praxen des Industriebauwerksbaus* oder aber der industriehistorischen Untersuchung der Genese der *Praxen der Produktion* realweltlicher technischer Systeme orientieren, in denen Produktlinien [26], Produktionsnetzwerke [4] oder neuerdings auch technische Ökosysteme [12] eine zentrale Rolle spielen. Mit dem Bereich des *Systems Engineering* existiert zudem ein aus der Informatik hervorgegangenes umfassendes technikwissenschaftliches Forschungsgebiet mit vergleichbaren Fragestellungen, dessen Grundlagen in einer internationalen Norm ISO 15288 *Systems and Software Engineering* dokumentiert sind.

Der Zugang in [20] ist allerdings ein anderer – zur Identifizierung von Entwicklungslinien wird der Begriff *technisches System* zwischen „technology push“ und „market pull“ als „simple means for understanding the advancement of man-made systems“ eingebettet [20, S. 1]. Der Bezug auf den noch ungenaueren Begriff „man-made systems“ wird im Weiteren genauer erläutert: Innovation als „improvement of already-existing systems“ wird durch das Fortschreiben wissenschaftlicher Erkenntnis angetrieben, aus der heraus neue Systeme, Produkte und Dienstleistungen entstehen, die von einem „market pull, the second trigger for innovation“ einem Formungs- und Ausleseprozess unterworfen sind, „that stimulates the development of a system by meeting the needs of that system’s users“. Die genaue Ausformung dieses nicht von ingenieur-technischen, sondern von innovations-unternehmerischen Praxen getriebenen Ansatzes wird in [20, Kap. 3] deutlich. Die Gründe für den universalistischen Anstrich des Vortrags der Erfahrungen hat S. Gerovitch in [8] hinreichend genau analysiert, so dass dies hier unberücksichtigt bleiben und auf die nüchterne Feststellung reduziert werden kann, dass sich die Grundlagen dieser impliziten Begriffsbildungsprozesse im Rahmen des sozio-technischen ökonomischen Systems einer kapitalistischen Wirtschaftsordnung als Obersystem bewegen (westlicher Prägung füge ich hinzu, da die Übertragbarkeit auf stärker autokratisch geprägte Wirtschaftsordnungen wie etwa in China oder Russland zusätzliche Betrachtungen erfordert). In Wirklichkeit ist die Kontextualisierung noch enger gezogen, wie die Analyse der Beispiele zeigt – eine Unterscheidung zwischen Industriebauwerksbau, Werkzeugmaschinenbau und Konsumgüterproduktion, wie sie etwa in volkswirtschaftlichen Analysen üblich ist, wird nicht vorgenommen, gleichwohl grundsätzlich die Perspektive einer an einem größeren Markt orientierten Produktgängigkeit der untersuchten *technischen Systeme* eingenommen. Der Unikat-Charakter der überwiegenden Mehrzahl technischer Großsysteme und damit die Praxen des Industriebauwerksbaus bleiben damit unberücksichtigt.

Damit ist der Gegenstandsbereich der technischen Systeme hinreichend umrissen, deren Evolution in [20] untersucht wird. Zugleich wird M. Rubins Position verständlich, dass in einem

solchen Kontext die Unterscheidung von technischen und sozio-technischen Systemen „offensichtlich und wesentlich“ ist, was M. Rubin (private Kommunikation) mit Verweis auf [28] und [29] selbst wie folgt umreißt:

Bei der Betrachtung eines technischen Systems berücksichtigen wir keine anderen bestehenden Beziehungen (soziale, politische, wirtschaftliche, Marketing usw.) im System, mit Ausnahme von Objekten und Beziehungen technischer Natur. Diese externen (menschlichen, kulturellen) Beziehungen können durch zusätzliche Anforderungen oder Einschränkungen an technische Objekte ersetzt werden. Bei der Betrachtung von Systemen als sozio-technisch werden eine Reihe technischer Objekte und Zusammenhänge berücksichtigt, beispielsweise wenn die TRIZ-Analyse von Produktionsunternehmen nicht nur als technisches System (Maschinen, Geräte), sondern die Fabrik als sozio-technisches Objekt betrachtet wird: Bestellsystem und Marketing, Personalpolitik, Finanzen und die wirtschaftliche Lage des Unternehmens, Systeme der Entscheidungsfindung usw. Offensichtlich verändert dies den Gegenstand der Überlegungen und die Untersuchungsinstrumente grundlegend.

Natürlich bedürfen die Begriffe „technisches Objekt“, „technischer Zusammenhang“ und „Beziehung technischer Natur“, mit denen hier über die Grenzen zwischen technischen und sozio-technischen Systemen hinweg vermittelt werden soll, weiterer Präzisierung.

Kehren wir jedoch zu [20] zurück und untersuchen genauer, auf welcher Aggregationsgrundlage die „Evolution ingenieur-technischer Systeme“ untersucht wird. Da wir inzwischen auch ein Obersystem identifiziert haben, gegen welches die Ausführungen relativiert werden können, können wir die TRIZ-Methodik selbst zur Rekonstruktion der Modellierung und damit zur Analyse der begriffstheoretischen Fundierung von [20] einsetzen.

Ausgangspunkt ist das sozio-ökonomische System einer industriellen Produktionsweise. „Der Reichtum dieser Gesellschaften“, so beginnt Marx seine Analyse eines solchen sozio-ökonomischen Systems in [22], „erscheint als eine 'ungeheure Warensammlung', die einzelne Ware als seine Elementarform. Unsere Untersuchung beginnt daher mit der Analyse der Ware.“ Auch wir starten mit diesem Begriff als einer hochgradigen Abstraktion. Marx' Arbeitswertheorie abstrahiert im Begriff der *Ware* bekanntlich von sämtlichen qualitativen Eigenschaften außer der einen, Produkt menschlicher Arbeit zu sein³. Erst auf einer solchen Abstraktionsebene werden konkrete Waren global austauschbar und konstituieren damit einen globalen Markt als *Verhältnis* – Feld in der TRIZ-Terminologie – zwischen diesen Warenkonkreten, den *Tauschwert*. Darum geht es in [20] allerdings nicht, sondern um funktionale Qualitäten konkreter Warengruppen wie Waschmaschinen oder Federhalter. Das allgemeine Konkurrenzverhältnis abstrakter Waren zerfällt dabei in konkretere Konkurrenzverhältnisse einzelner Warengruppen

³Marx folgt dabei der Begriffsentwicklungsmethodik von Hegel. Rainer Thiel [36, S. 190] schreibt dazu: „Hegels Begriffsentwicklung beginnt mit dem 'Sein'. Und was tut der Dialektiker Hegel? Er entwickelt – mit der Sturheit eines Schelms, wie ein Computer – den Inhalt des 'reinen Seins': 'Sein, reines Sein, – ohne alle weitere Bestimmung. In seiner unbestimmten Unmittelbarkeit ist es nur sich selbst gleich und auch nicht ungleich gegen Anderes, hat keine Verschiedenheit innerhalb seiner, noch nach außen. Durch irgendeine Bestimmung oder Inhalt, der in ihm unterschieden, oder wodurch es als unterschieden von einem Andern gesetzt würde, würde es nicht in seiner Reinheit festgehalten. Es ist die reine Unbestimmtheit und Leere. – Es ist nichts in ihm anzuschauen, wenn von Anschauen hier gesprochen werden kann; oder es ist nur dies reine, leere Anschauen selbst. Es ist ebensowenig etwas in ihm zu denken, oder es ist ebenso nur dies leere Denken. Das Sein, das unbestimmte, unmittelbare, ist in der Tat Nichts, und nicht mehr noch weniger als Nichts'.“ Im Gegensatz zu dieser reinen Gedankenakrobatik bezieht sich Marx aber immer auf die diesen Begriffsentwicklungen vorgängigen *gesellschaftlichen Praxen*, vgl. etwa die Feuerbachthesen 1–3, [21].

auf Einzelmärkten, die in [20] als „market pull“ die Hauptfunktion des Werkzeugs „Markt“ sind, welches die Objekte „engineering systems“ zu „nützlichen Produkten“ umformt – ich folge dabei den TRIZ-Begrifflichkeiten von [35]. Mit der Marktgängigkeit von Produkten ist eine erste Struktureinheit im Obersystem identifiziert – konkrete Märkte, auf denen *konkrete* Waren mit *spezifischen* funktionalen Eigenschaften – *Gebrauchswerten* in der Terminologie von Marx – miteinander im Wettbewerb stehen. Die *Funktion* Konkurrenzverhältnis des *Werkzeugs* Markt wird in [20] seinerseits als *Werkzeug* mit Technologie formender Funktionalität betrachtet. Dieser Gedanke soll nun genauer entwickelt werden.

Jede Ware ist „ein Ganzes vieler Eigenschaften und kann daher nach verschiedenen Seiten nützlich sein“ [22, S. 49]. Jede konkrete Ware ist damit selbst ein technisches System im oben entwickelten Verständnis, wenn sie als durch ihre Spezifikation gegebenes Ensemble „nützlicher“ Funktionalitäten betrachtet wird. Dieses Ensemble nützlicher Eigenschaften bestimmt aber auch die Möglichkeiten und Grenzen der Substituierbarkeit von Waren im gesamtgesellschaftlichen technologischen Prozess⁴. Jene Grenzen führen zu einer Stratifizierung „des Markts“ in konkrete Märkte für konkrete Warengruppen. Im sozio-ökonomischen Obersystem haben wir damit zwischen dem Werkzeug-Template „Markt“ und konkreten realweltlichen Ausprägungen dieses Werkzeugs zu unterscheiden. Diese realweltliche Struktur der *Technologiemärkte* ist der in [20] ausgeführten S-Kurven-Analyse vorgängig und wird dort implizit als gegeben vorausgesetzt. Jeder solche Technologiemarkt ist durch ein spezifisches Bündel technischer Funktionalitäten charakterisiert, wobei [20] mit dem Ansatz des MPV (main parameter of value) postuliert, dass sich ein solcher Markt um einen speziellen technischen Parameter herum gruppiert, der für die Wertschöpfung von besonderer Bedeutung ist.

Damit ist aber das Erfordernis einer weiteren Abstraktion verbunden, denn konkrete Waren, im obigen Sinne als technische Systeme, als *konkrete* Bündel technischer Funktionalitäten verstanden, sind prinzipiell geeignet, auf *mehreren* derartigen Technologiemärkten gehandelt zu werden und werden dies praktisch auch. Ein solcher Technologiemarkt wird auch weniger durch die auf ihm gehandelten Waren bestimmt als durch die diese Waren produzierenden Unternehmen. Darum geht es den Autoren von [20] auch, wenn sie Altschüllers S-Kurven-Analyse zu einer *pragmatischen S-Kurven-Analyse* weiterentwickeln. Damit verschiebt sich aber das in [20] aufgerufene Abstraktionserfordernis von einem MPV als eigenständigem Charakteristikum zur *unternehmerischen Fähigkeit*, technische Artefakte mit diesem MPV in angemessenem Preis-Leistungs-Verhältnis zu *produzieren*. Damit wird auch deutlich, dass sich auf jenen Technologiemärkten zwar „Produkte voneinander unabhängig betriebener Privatarbeiten“ begegnen, die Produzenten aber *nicht* „erst in gesellschaftlichen Kontakt treten durch den Austausch ihrer Arbeitsprodukte“ [22, S. 87] in dem Sinne, dass das Spannungsverhältnis zwischen begründeten Erwartungen und erfahrenen Ergebnissen der Konditionen *früheren* Austauschs ihrer Arbeitsprodukte die Dynamik jenes Technologiemarkts bestimmt.

Gegenstand technologischer Evolution sind damit aber diese technologischen Produktionsbedingungen selbst. Dies wird auch in [20] so gesehen, denn die im Buch beschriebenen Handlungsoptionen beziehen sich auf die Organisation entsprechender Innovationsprozesse in Unternehmen. Damit kann aber das Obersystem in unserer TRIZ-Analyse der begrifflichen

⁴Diese Grenzen sind allerdings fließend, wie A. Kuryan in der Diskussion [14] am Beispiel eines Hammers demonstriert, der zum Offenhalten einer Balkontür eingesetzt wird („Если ты решил с помощью молотка подпирать дверь на балконе, чтобы она не закрывалась, то ты создал решение.“). Die Bedeutung derartiger Grenzüberschreitungen für die TRIZ-Analyse der Evolution technischer Systeme bedarf einer genaueren Untersuchung, die hier nicht geleistet werden kann.

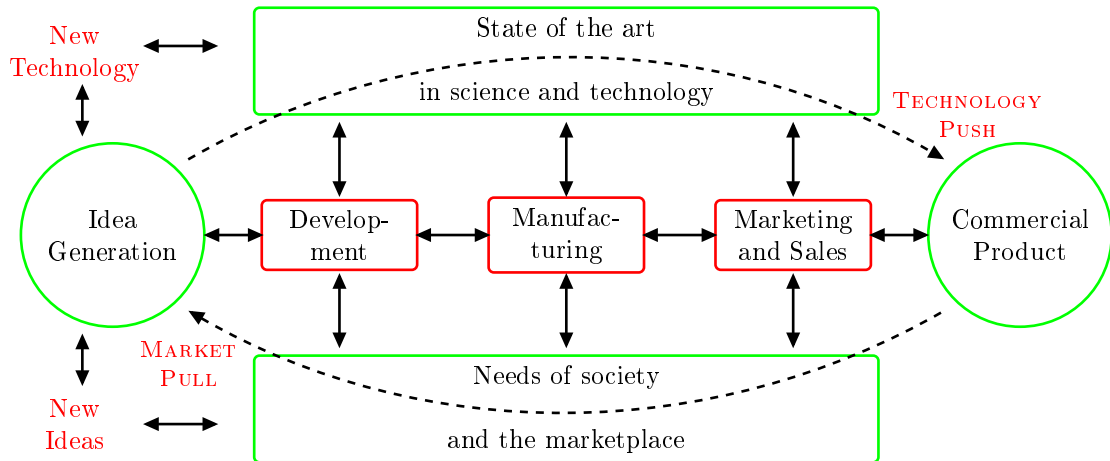


Abbildung 1: Eine Reproduktion von [27, Fig. 3], die dort von [7] übernommen ist.

Grundlagen von [20] weiter eingeschränkt werden auf die strategischen Führungsstrukturen von Unternehmen, in denen die Innovationsprozesse praktisch gestaltet werden. Auch hierbei haben wir es mit der Dualität von System-Template – gängigen gesellschaftlichen Verfahrensweisen zur Organisation von Innovationsprozessen – und konkreten realweltlichen Systemausprägungen in den einzelnen Unternehmen zu tun. Die *Hauptfunktion* jener Strukturen im Unternehmen ist die Organisation des Innovationsprozesses in enger Verbindung mit der allgemeinen Geschäftsstrategie. Dieser Prozess selbst wird vom strategischen Management entschieden und verantwortet, das hierzu die *widersprüchlichen Anforderungen* verschiedener Unternehmensteile (R&D, Vertrieb, Finanzen, Controlling, SCM, CRM) unter einen Hut zu bringen hat. Die in [20] zusammengetragenen Empfehlungen sind *ein* Aspekt in diesem komplexen Abwägungsprozess. Eine Methodik zwischen „technology push“ und „market pull“ ist dabei mit Blick etwa auf die Ausführungen in [27] eher auf dem Niveau der 1960er Jahre anzusiedeln. Ebenda wird in Fig. 3 mit „state of the art in science and technology“ neben den „needs of society and marketplace“ ein weiteres Obersystem in Stellung gebracht, das auch bei Patenterteilungen mit den Begriffen „Stand der Technik“ und „Erfindungshöhe“ eine wichtige Rolle spielt.

Wir haben damit bereits *drei* sozio-technische Obersysteme (Ökonomie, Innovationsmanagement, Wissenschaft und Technologie) mit jeweils eigenen Begrifflichkeiten, Strukturen, Komponenten, Beschreibungs- und Vollzugsformen identifiziert, die in der einen oder anderen Weise zur in [20] behandelten Thematik in Bezug stehen, ohne damit der uns interessierenden Präzisierung des Begriffs *technisches System* – besonders auch in Abgrenzung zum Begriff *sozio-technisches System* – näher gekommen zu sein. Die TRIZ-Methodik empfiehlt in einem solchen Fall, den Zugang von einer anderen Seite neu zu versuchen, vorher aber die Erkenntnisse aus dem Fehlversuch zu fixieren. Diesbezüglich sind drei Aspekte interessant:

1) Der Anspruch von [20], (auch) einen innovationsmethodischen Beitrag zu leisten, setzt auf weitgehend überholten innovationsmethodischen Konzepten auf, die dort entwickelte „pragmatische S-Kurven-Analyse“ muss ihre Passfähigkeit zu moderneren innovationsmethodischen Konzepten erst noch unter Beweis stellen.

2) Die Argumentation in [20] nimmt impliziten Bezug auf gängige innovationsmethodische Theorieansätze, wie sie in [27] systematisch dargestellt sind. Insbesondere [27, Fig. 3] geht gut als Diagramm einer Root Cause Analysis durch mit *Idea Generation* (A) und *Commercial Product* (B) als die beiden Hauptkomponenten und weiteren Hilfskomponenten (Development, Manufacturing, Marketing and Sales). Es gibt zwei Root Cause Pfeile – $(A) \rightarrow (B)$, vermittelt durch „State of the art in science and technology“, und $(B) \rightarrow (A)$, vermittelt durch „Needs of society and the marketplace“. Eine TRIZ Root Cause Analysis, wenigstens in der in [17, Kap. 4.7] beschriebenen Weise, kann mit derartigen *Rückkopplungsschleifen* nicht arbeiten, da diese keine „Wurzel“ haben. Das wichtige TRIZ-Prinzip 25 der *Rückkopplung* ist an dieser Stelle nicht anschlussfähig. Eine zweite terminologische Feinheit ist anzumerken: „push“ und „pull“ beziehen sich im englischen Sprachgebrauch⁵ auf verschiedene Enden des Kausalpfeils. Im Sinne des TRIZ-Funktionsmodells [17, Kap. 4.4] ist „push“ eine Funktion des Werkzeugs, „pull“ eine Funktion des Zielobjekts, eines „aktiven Objekts“ im Sinne einer „inversion of control“⁶, etwa nach dem TRIZ-Prinzip 13 der *Funktionsumkehr* zu verstehen. Im Diagramm [27, Fig. 3] werden diese beiden Begriffe offensichtlich auf die Komponente *Commercial Product* bezogen. Für *Idea Generation* als Bezugskomponente dieses weitgehend symmetrischen Arrangements drehen sich die Begriffe um – push wird zum pull und umgekehrt.

3) Wir haben *mehrere* Obersysteme identifiziert, womit noch einmal deutlich wird, dass der Begriff *Obersystem* nicht immersiv zu denken ist und nicht mit dem Begriff *Umwelt* verwechselt werden darf. Obersysteme sind spezifische Nachbarsysteme mit eigener Sprache und Logik. Die Beziehung Obersystem – System ist dieselbe wie die Beziehung System – Komponente und oben hinreichend genau beschrieben: Es handelt sich um zwei verschiedene Betrachtungsperspektiven auf die „Totalität der Welt“ mit zwei verschiedenen Begriffen des *Wesentlichen* und damit aus zwei verschiedenen Reduktionsperspektiven. Ins Obersystem geht das System allein durch seine Spezifikation (Beschreibungsdimension) und das Versprechen spezifikationskonformer Leistung (Vollzugsdimension) ein. Im Konzertbeispiel wird aus dem *gegebenen* Können der Musiker auf der Ebene des Orchesters die Interpretation des Musikstücks „produziert“. Die *Leistungsfähigkeit* der Teilsysteme ist dabei dem *Leistungspotenzial* des Obersystems vorgängig – die Interpretation von Mozarts Klavierkonzert KV 491, die Alexander Shelley mit dem Leipziger Gewandhausorchester und Gabriela Montero als Solistin vorgelegt hat, wäre mit einem Laienorchester nicht möglich gewesen. Aus der Perspektive des Systems agiert das Obersystem ebenfalls funktional: Die Schnittstelle des Systems definiert in der Beschreibungsdimension eine erwartete Input- oder Durchsatzleistung in Quantität, Qualität und Struktur, die dem Funktionieren des Systems (zur Laufzeit) vorgängig ist, das Obersystem stellt in der Vollzugsdimension diese Voraussetzungen sicher. Eine solche Strukturierung bringt die aus der Mathematik bekannten deduktiven Wenn-Dann-Beziehungen mit realweltlichen Prozessen in Verbindung, wobei der modus ponens in realweltlichen Systemen eine deutlich komplexere Semantik hat als in der Mathematik, wo dieser bekanntlich ausschließlich als logische Klammer eine Rolle spielt, wenn aus kleineren Wenn-Dann-Beziehungen komplexere solche Beziehungen (Lemmata, Sätze, Theoreme bis zum Beweis eines der Millenium-Probleme) regelgerecht deduziert werden sollen. Auch hier hat dieser Reduktionsmechanismus einen klaren Zweck – arbeitsteilige Reduktion von Komplexität.

⁵Dasselbe gilt für die informatische Semantik der Operationen push und pull, siehe etwa <https://de.wikipedia.org/wiki/Stapelspeicher>.

⁶Dazu etwa https://de.wikipedia.org/wiki/Inversion_of_Control.

8 Zum Evolutionsbegriff. Die ideengeschichtliche Dimension

Kehren wir jedoch zu [20] und unserer Frage nach der Fundierung des Begriffs *technisches System* zurück. Dem Rat der TRIZ-Methodik folgend, es mit einem anderen Ansatz zu versuchen, wenden wir uns dem „technology push“ [20, S. 2] zu, „that creates new systems, products, and services, that are not yet required by the market“, um aus dieser Perspektive die systemischen Begrifflichkeiten zu entwickeln. Zunächst sind Zweck und Nutzen eines solchen Systems zu bestimmen.

Aus der Perspektive des „Coupling Model of Innovation“ in [27, Fig. 3] ist dieses System als „Ideengenerator“ die sprudelnde Quelle, deren Produkte das formende Flussbett des „state of the art in science and technology“ durchfließen, um sich an dessen Ende durch einen „technology push“ in „commercial products“ zu verwandeln. Die „Ideenquelle“ wird (ebenda) durch einen „market pull“ angetrieben, der aus den „needs of society and the marketplace“ gespeist wird. Wie oben bereits erläutert sind diese Termini mit der TRIZ-Welt von „Werkzeug“, „Aktion“, „Objekt“ und „Produkt“ sowie dem Konzept der Systemtransformation etwa auch nach [35] relativierbar, wären als solche aber nicht Teil der Analyse des uns interessierenden Systems, sondern des Obersystems „Innovationsmanagement“. In der Tat erfüllt dieses Begriffsuniversum dessen Reduktionserfordernis „auf das Wesentliche“, in welches die „Ideenquelle“ als Komponente allein mit ihrer funktionalen Spezifikation eingeht, von deren genauem inneren Funktionieren beim Innovationsmanagement – jedenfalls im Verständnis von [27] – abstrahiert wird.

Das ist in [20] natürlich anders, denn mit der Untersuchung der Evolution ingenieur-technischer Systeme soll ja gerade die ideengeschichtliche Dimension derartiger Prozesse untersucht werden. Zu diesem Zweck heißt es bereits in der Überschrift von Kapitel 1 „Technology Pull: Beyond Technology Push and Market Pull“. Wie ist das zu verstehen? Wird der Fokus auf die Komponente *Idea Generation* gerichtet? Dann wären in der Tat die Begriffe „push“ und „pull“ gegenüber [27] zu vertauschen – aber von „market push“ ist keine Rede. Stattdessen wird in den weiteren Ausführungen in [20] deutlich, dass in der Tat ein *Umdrehen* des oberen Pfeils gemeint ist, die Komponente *Idea Generation* des Obersystems (!) Innovationsmanagement Input aus *zwei* Richtungen bekommt, die beide vom *Commercial Product* als Quelle – also Werkzeug im TRIZ-Verständnis – ausgehen.

So deutlich wie hier formuliert wird in [20] allerdings auf die innovationstheoretischen Vorstellungen von [27] nicht Bezug genommen. Wir folgen dennoch einer solchen weiteren Modellreduktion und wollen den Leser dabei zugleich von einem Dilemma befreien – dem Zirkelschluss zwischen den Komponenten *Idea Generation* und *Commercial Product*. Dazu lassen wir die beiden nun auf *Idea Generation* gerichteten Pfeile in den Komponenten „Wissenschaft und Technik“ und „Bedürfnisse/Markt“ starten und überlassen das *Commercial Product* der Teilkomponente *Marketing and Sales* der Komponente *Unternehmen*.

Unsere anstehende TRIZ-Analyse der inneren Struktur und Funktionsweise des Systems mit dem provisorischen Namen „Ideengenerator“ ist damit auf die Erforschung der Beziehung zwischen den drei *Komponenten*⁷ „Bedarf“, „Technologie“ und „Unternehmen“ auszurichten, die – nach dem oben entwickelten Systembegriff – mit ihren *gegebenen* funktionalen Spezifika Input,

⁷Oder „Nachbarsysteme“? – Nein. Nachbarsysteme wären alle vier nur aus der Perspektive eines Obersystems. Die früher als Obersystem identifizierten Systeme erscheinen nun – in temporärer Ermangelung eines anderen TRIZ-Begriffs, im System selbst als Komponenten. Eine Lösung des Rätsels wird weiter unten vorgeschlagen.

Output und Durchsatz die innere Struktur des zu beschreibenden Systems bestimmen. Ein solcher Ansatz passt deutlich besser auf die Ausführungen in [20, Kap. 1], denn die Autoren betonen „parameters of the technology of the system are linked to parameters of the market“ – der Einfluss der beiden Komponenten wird also als nicht unabhängig voneinander betrachtet, sondern lässt sich auf der Ebene von Parameterkopplungen fassen (so jedenfalls die Autoren). Wir sehen an diesem Zugang ein grundsätzliches Verfahren, ferne Komponenten in ein System zu integrieren: die beiden relationalen – also feldartigen im Sinne einer Stoff-Feld-Modellierung wie in [17, Kap. 4.9] genauer entwickelt – Beziehungen $(B) \xrightarrow{F_1} (A)$ („technology pull“) und $(B) \xrightarrow{F_2} (A)$ („market pull“) im Obersystem *Innovationsmanagement* erscheinen im System (A) als Komponenten (F_1) und (F_2) , zwischen denen ein Feld $(F_1) \xleftrightarrow{B} (F_2)$ postuliert wird, um die für das System *wesentlichen* Beziehungen zwischen (F_1) und (F_2) zu modellieren, die sich aus der Existenz der (fernen, da nicht ins System übernommenen) Komponente (B) im Obersystem ergeben. Einen solchen für Modellreduktionen wichtigen Standard, der allerdings in den 76 TRIZ-Standards fehlt, hatte ich in [13] als *Stoff-Feld-Swap* bezeichnet. So ist wohl auch M. Rubin zu verstehen, wenn er anmerkt, dass „externe (menschliche, kulturelle) Beziehungen durch zusätzliche Anforderungen oder Einschränkungen an technische Objekte ersetzt“ und damit in technische Systeme importiert werden können, ohne diese zu einem sozio-technischen System „aufzublasen“.

Doch kehren wir zur Rekonstruktion des Begriffssystems von [20] zurück. Da es nicht überhaupt um die Evolution technischer Systeme geht, sondern um die sich aus der TRIZ-Theorie ergebenden Schlussfolgerungen für eine solche Evolution, ist – dem TRIZ-Standard 1.1.1 *Vervollständige ein unvollständiges Stoff-Feld-Modell* folgend – als weitere Komponente der *TRIZ-Theoriekörper* zu berücksichtigen. Auch dieser Korpus ist als Komponente zu modellieren, da dieser in [20] in seiner Gesamtheit als nicht weiter zu hinterfragende Einheit auftritt, also allein mit seiner Input/Output-Leistung in die Systemmodellierung eingeht. Außerdem unterscheiden sich die MPV beider Dimensionen deutlich – während im TRIZ-Theoriekörper das *Lösen von Problemen* im Fokus steht, geht es in [20] um die *Evolution in der „Welt der technischen Systeme“*.

Wir befinden uns mit der bisherigen Begriffsbildung auf der Abstraktionsebene des Technikbegriffs des VDI (Verein Deutscher Ingenieure – der deutschen Standesorganisation der Ingenieure), der in der VDI-Richtlinie 3780 den Technikbegriff in den folgenden drei Dimensionen fasst:

- Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme);
- Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und
- Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.

Die Definition vermeidet den Begriff „technisches System“ zugunsten von „nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilden“. Ähnlich [31] mit dem Begriff des *technischen Objekts*, der dort dem Begriff des *technischen Systems* vorgängig ist. In der hier vorgelegten VDI-Definition werden neben der artefaktischen Dimension auch noch „Sachsysteme“ einbezogen werden – neben der Maschine also auch noch die Maschinerie⁸ und damit die Unikate

⁸Marx geht hier noch weiter: Das „*automatische System der Maschinerie* [...] verwandelt die Maschinerie

technischer Großsysteme. Mit der unmittelbaren Verknüpfung der „gegenständlichen Sachsysteme“ und den Bedingungen und Folgen ihrer Entstehung sowie Verwendung wird einer Unterscheidung zwischen technischen und sozio-technischen Systemen bereits im Grundansatz widersprochen.

9 Was sind Komponenten?

Auf diese Frage hat [34] eine einfache Antwort: „Components are for Composition“. Diese Definition folgt dem oben entwickelten Verständnis, dass Systeme aus *bereits vorhandenen* Komponenten zusammengesetzt werden, wobei neben OTS-Komponenten (off the shelf) auch selbst entwickelte Komponenten eingesetzt werden können. Allerdings müssen vor der Integration zum (lauffähigen) Gesamtsystem diese Entwicklungen abgeschlossen sein. Im Wasserfallmodell der Softwareentwicklung wird diese sequenzielle Vorgehensweise expliziert, agile Vorgehensmodelle sind flexibler, erfordern zur frühzeitigen prototypischen Demonstration von Teilfunktionalitäten aber auch Platzhalterkomponenten – Mock-Komponenten und provisorische Oberflächen.

In [34] zerfällt mit diesem Verständnis die Welt der Produktion technischer Systeme in zwei Teilwelten – „design to component“ und „design from component“. Ersteres ist das Gebiet der Komponentenentwickler mit dem Fokus, Komponenten mit einer speziellen Fachfunktion („core concern“ – dies entspricht dem MPV in [20]) zu entwickeln. Neben dieser Fachfunktion muss die Komponente aber noch eine größere Menge von Hilfsfunktionen (Logging, Datensicherheit, Zugangsmanagement, Druckeransteuerung usw. – die „cross cutting concerns“) erfüllen, die auf etablierte Konzepte (Beschreibungsdimension) und andere zu integrierende Komponenten (Vollzugsdimension) *anderer technischer Prinzipien und Systeme* zurückgreifen. Komponenten sind in einem solchen Verständnis stets *Bündel von Funktionen*, die zugleich Verfahrenswissen aus *mehreren* Bereichen bündeln. All diese Beschreibungsformen muss der Komponentenentwickler wenigstens in der Abstraktion ihrer *Spezifikation* beherrschen, um nützliche Komponenten zu bauen. Zweiteres ist das Gebiet der Komponentenassembler. Diese bauen (vorher zu entwerfende) Systeme aus verfügbaren Komponenten zusammen, entwickeln oder modifizieren weitere Hilfsfunktionalitäten (den „glue code“), integrieren und testen das Gesamtsystem, bevor es beim Kunden zum Einsatz kommt.

Die Schnittstelle zwischen beiden Professionen bildet das verwendete *Komponenten-Framework* wie etwa Spring Boot, das nicht nur durch Normungen und Standardisierungen das prinzipielle Zusammenwirken der Komponenten auf einer höheren Ebene der Abstraktion beschreibt (Beschreibungsdimension), sondern auch von verschiedenen Anbietern als Laufzeitsystem für Komponenten (Vollzugsdimension) zur Verfügung gestellt wird. Derartige Laufzeitsysteme – sicher ebenfalls technische Systeme – haben eine Spezifik: sie werden *gemeinsam* von Anbieter und Kunde betrieben, was eine Koordination der sozio-technischen Begleitprozesse auf hohem Niveau erfordert. In der Informatik hat sich dabei ein System von Serviceleveln bewährt, die vertraglich vereinbart werden und die Verantwortung zwischen Anbieter und Kunde verteilen. Bei drei Serviceleveln liegt gewöhnlich die Verantwortung für die Auswahl und Schulung des Personals für die Fachanwendung (Level 1) komplett beim Kunden, die Konfiguration und Rekonfiguration des Laufzeitsystems beim Kunden (Level 2) wird entweder vom Anbieter (im Rahmen eines „Produktlinien-Managements“) oder einer spezialisierten

erst in ein System“ [23, S. 584].

Fachabteilung des Kunden übernommen, Wartungen, Updates des Systems sowie Integration oder Reintegration neuer Komponenten (Level 3) liegt in den Händen des Anbieters. In einem solchen System liegt eine arbeitsteilige Situation vor – der Anbieter ist für die Qualität der Funktionalität zuständig, der Kunde für die Qualität der Daten. Außerdem verantwortet der Kunde die Funktionen und Fehlfunktionen des Systems vor der Allgemeinheit und muss sich entsprechende Schäden, die durch den Betrieb des Systems verursacht wurden, im Rahmen eines Anscheinsbeweises rechtlich zuordnen lassen. Die operative (technische) Qualität des realweltlichen Systems wird in diesem sozio-technischen Verhältnis von *beiden* Parteien gleichermaßen beeinflusst, so dass eine sinnvolle Trennung von technischer und sozio-technischer Ebene *praktisch* unzweckmäßig ist und so auch nicht erfolgt.

Im Arbeitsprozess werden dabei zu bearbeitende Objekte (in diesem Fall Daten) zwischen den verschiedenen Komponenten – hier nicht nur Funktions- sondern auch Verantwortungseinheiten – ausgetauscht, was insbesondere im Falle unzureichender Qualität der Objektbearbeitung zu weiteren Widersprüchen führt. Für C. Szyperski [34] sind diese allein sozio-technisch begründeten Widersprüche der Ausgangspunkt für eine deutliche Abgrenzung der Begriffe *Komponente* und *Objekt*, in der die im Kontext der objekt-orientierten Programmierung erfolgte Zusammenführung von Funktion und Verhalten in Objektbegriff wieder zurückgenommen und die Rolle von Objekten konsequent auf das TRIZ-Prinzip 24 des *Vermittlers* beschränkt wird. Ich komme weiter unten auf diese Problematik zurück.

10 Normierung und Standardisierung

Dieses Vorgehen in der Softwarebranche ist auch in vielen ingenieur-technischen Anwendungen präsent. „Baukastensysteme“ sind weit verbreitet und erlauben es, realweltliche technische Unikat-Systeme auf dieselbe Weise zu entwerfen wie im Konzertbeispiel erläutert. Während dort aber auf das *private Verfahrenskönnen* der Musiker als Voraussetzung abgestellt wurde, werden hier die *Logik der Fachanwendung* als „core concerns“ der Komponenten mit der *Logik der Vernetzung* der Infrastruktur als „cross cutting concerns“ zusammengeführt. Beide Logiken sind orthogonal zueinander, womit die Trends 4.2 „of increasing system completeness“ und 4.4 „of transition to the supersystem“ einander praktisch entgegenwirken.

***These 2:** Ein besseres beschreibungstechnisches Verständnis der Infrastrukturanforderungen miteinander agierender Komponenten (Übergang zum Obersystem) führt zu einer Abschwächung der Anforderungen an die Vollständigkeit der einzelnen Komponenten.*

Insbesondere die zur Begründung von Trend 4.2 in [20] angeführte Hierarchisierung in „operating agent“ (als Kernfunktion), „transmission“ (Unterstützung durch ein Arbeitsmittel), „energy source“ (Einsatz von Naturkräften) und „control system“ (Einsatz von Steuerung als prozesshaftem technischen Teilsystem und Quelle des „Trends der Dynamisierung“) sind von diesen Entwicklungen betroffen, wie ein Besuch im Baumarkt unmittelbar zeigt – die Maschinensysteme namhafter Hersteller konzentrieren sich auf die Bereitstellung der Energie, über entsprechende APIs (etwa Klett-, Schraub- oder Klickverschlüsse auf mechanischer Ebene) können passende Werkzeuge mit der Energiemaschine gekoppelt werden⁹, wobei je nach

⁹Wobei durch Fortschritte der Materialwissenschaften insbesondere mit Klettverschlüssen eine massive Rückkehr zu *mechanischen* Kopplungsprinzipien entgegen dem TRIZ-Prinzip 28 des *Austauschs mechanischer*

Geschäftsstrategie der namhaften Hersteller der jeweilige Technologie-Teilmarkt „passender Gerätschaften“ monopolisiert oder auch für weniger namhafte Hersteller von passenden Arbeitsmitteln geöffnet ist. In beiden Fällen spielen *Normierung und Standardisierung* in dieser „Welt der technischen Systeme“, also inhärent sozio-technische Prozesse, eine deutlich größere Rolle als die Weiterentwicklungen der rein technischen Artefakte. Gleiches gilt auf der Ebene der Kontrollsysteme, wo programmierbare Universalsteuerungen wie die UVR 1611 der Firma Technische Alternative das „Herz“ vieler technischer Regelungen im Smart-Home-Bereich bilden.

Ein solcher Normierungsprozess öffnet zugleich ökonomische Skaleneffekte für Standardkomponenten, d.h. für Umsetzungskonzepte, die sich bereits in Richtung „idealer Endresultate“ etabliert haben. Die Skaleneffekte wirken sich *kostensenkend* pro Einzelstück aus und verschieben damit die Leitwirkung vom Wettbewerb um die bessere *technische* Lösung zum Wettbewerb um die kostengünstigere *ökonomische* Produktion. Die S-Kurve endet also nicht unbedingt – und wohl auch eher selten – mit der Außerdienststellung im Stadium 4 [20, S. 38], sondern geht auf dem Höhepunkt ausgereifter *technischer* Qualität (einschließlich Normierung und Standardisierung) in eine Phase der *allgemeinen Verfügbarkeit* über, in der die *immer geringeren* ökonomischen Aufwendungen für die Verfügbarkeit dieses „Standes der Technik“ die Leitfunktion der weiteren Entwicklung übernehmen.

Der Trend 4.1 „of increasing (technical) value“ schlägt dabei in einen Trend „of decreasing economic value“ um, oder – um es in ökonomischen Termini auszudrücken – der vorher durch die Nachfrage getriebene Markt geht in einen vom Angebot getriebenen Markt über: Derselbe (reife) Gebrauchswert hat einen immer geringeren Tauschwert. Damit geht der Wert der „Idealität“ [17, Kap. 4.1.1] in der Tat durch die Decke, aber als Folge eines *ökonomischen* Gesetzes. Dies korrespondiert zum TRIZ-Prinzip 17 des *Übergangs zu anderen Dimensionen*.

These 3: *Der (technische) Trend 4.1 „of increasing (technical) value“ schlägt im Stadium 3 der S-Kurven-Entwicklung um in einen (ökonomischen) „Trend of decreasing (economic) value“.*

Damit wechselt im Stadium 3 in der Produktion gängiger Werkzeuge und Standardkomponenten die Leitfunktion (MPV) der weiteren Entwicklung von den technischen Triebkräften zu den ökonomischen. Diesen Prozess der „Commodification“ hat F. Naetar in [25] hinreichend beschrieben; das Thema muss hier also nicht vertieft werden. Diese Entwicklung ist allerdings selbst widersprüchlich, wie in der marxistischen Literatur am Phänomen der *tendenziell fallenden Profitrate* diskutiert wird: Geringere Produktionskosten durch technischen Fortschritt eines Produzenten erhöhen dessen Profitrate im Vergleich zu den Konkurrenten. Der Marktpreis („decreasing economic value“) wirkt allerdings regulierend und senkt perspektivisch die Profitrate der Wettbewerber, die diesen technischen Fortschritt nicht oder zu spät implementieren.

Das TRIZ-Prinzip 17 des *Übergangs zu anderen Dimensionen*, auf das oben Bezug genommen wurde, erscheint hier allerdings – im Gegensatz zur Lesart in der Komponente TRIZ-Theoriekörper – nicht als *abstraktes Designmuster*, sondern als *abstraktes Evolutionsmuster*, also nicht als Mittel der aktiven Beeinflussung eines Problemlöseprozesses, sondern als passiv-beobachtendes Beschreibungsmuster realweltlicher Entwicklungen. In diesem Sinne kann aber auch *jedes andere* der TRIZ-Prinzipien sowie auch jeder der TRIZ-Standards als abstraktes

Wirkschemata zu verzeichnen ist.

Evolutionsmuster formuliert werden. Umgekehrt erscheinen die Evolutionstrends in der Komponente TRIZ-Theoriekörper als weitere abstrakte Designmuster, die neben die „Prinzipien“ und die „Standards“ treten.

***These 4:** Jedes der TRIZ-Prinzipien und jeder der TRIZ-Standards kann auch überzeugend als „Trend der Evolution technischer Systeme“ formuliert werden und umgekehrt.*

Die Hierarchie der Evolutionsmuster gibt damit insbesondere Anlass zu einer „Hierarchie der Lösungsprinzipien“ [40, Kap. 3], wie Dietmar Zobel bereits vor über 10 Jahren vorgeschlagen hat, siehe auch [41]. Damit wird zugleich die Bedeutung der „Matrix“ entwertet. Leonid Shub [33] weist darauf hin, dass dies auch Altschuller bereits 1985 engeren Vertrauten gegenüber geäußert habe. M. Rubin schlägt in [30] in diesem Sinne den Bogen von Entwicklungsgesetzen zu TRIZ-Standards und weiter zur Algorithmisierung von Vorgehensweisen in erfinderischen Praxen im ARIS, was genauer zu untersuchen bleibt.

Mit dem Verzicht auf die Betrachtung sozio-ökonomischer Zusammenhänge bleibt die Bedeutung von Prozessen der Normierung und Standardisierung in [20] allerdings ausgeblendet. Damit versperren sich die Autoren aber selbst den Blick in eine lebendige Welt technischer Systeme in einem fortgeschrittenen Zustand der Evolution. So zeichnet sich das technische System der *Schraubverbindungen* durch eine Massenproduktion genormter Maschinenschrauben und Holzschrauben aus, was nun genauer ausgeführt werden soll.

Für die Herstellung von Maschinenschrauben ist hohe Präzision und Stimmigkeit von Durchmesser und Anstellwinkel der Gewinde erforderlich, damit diese mit den Gegenstücken zusammenpassen. Diese Präzision wird nicht nur durch eine industrielle Herstellungsweise erreicht, sondern für Spezialanwendungen auch mit entsprechenden Werkzeugen – etwa einem Gewindeschneider. Mit Schlitz-, Kreuzschlitz-, Sechskant-, Senkkopf-, Inbus- usw. -schrauben gibt es ein großes Sortiment vorgefertigter Lösungen für verschiedene Einsatzszenarien (TRIZ-Prinzip 3 der *lokalen Qualität*), dazu entsprechende Werkzeuge: Schraubenschlüssel, Steckschlüssel, Schraubendreher, Inbus-Schlüssel usw. (noch einmal TRIZ-Prinzip 3), sowohl als Einzelwerkzeuge wie auch als Einsätze für den Akkuschrauber als Energiemaschine (TRIZ-Prinzip 1 der *Zerlegung*, TRIZ-Standard 3.1 *Übergang zu einem Bi-System*). Biegsame Schraubendreher¹⁰ (zusammen mit dem Akkuschrauber TRIZ-Standard 3.1 *Übergang zu einem Poly-System*) können verwendet werden, um Schraubverbindungen auch an schwer zugänglichen Stellen einzusetzen usw. Diese Werkzeuge werden auch von Industrierobotern eingesetzt (hier ist der TRIZ-Standard 3 *Übergang zu einem Obersystem* zweimal anzuwenden, denn die Industrieroboter sind Komponenten im Ober-Ober-System).

Die Welt der Holzschrauben vermeidet das Zwei-Komponenten-System (noch einmal TRIZ-Standard 3.1: Schraube und Mutter), indem der Halt im zu bearbeitenden Material selbst gesucht wird (Trend 4.6 *of increasing degree of trimming* – wieso gehört dies Trimmen als zentrale TRIZ-Methode weder zu den „Prinzipien“ noch zu den „Standards“?), entweder durch Vorbohren (TRIZ-Prinzip 10 *der vorherigen Wirkung*) oder durch eine selbstschneidende Schraube (TRIZ-Prinzip 25 der *Selbstbedienung* oder auch wieder Trend 4.6 des *Trimmens*). Leider bieten manche Materialien diesen Halt nicht, es kommen zusätzlich *Dübel* zum Einsatz (TRIZ-Nicht-Trend des *Anti-Trimmens*), inzwischen eine eigene Welt technischer Lösungen, die das Herz jedes TRIZ-Praktikers höher schlagen lässt. Und da haben wir noch nicht über speziell-

¹⁰Amazon bietet ein solches 31-teiliges Set der Firma Lotex GmbH für 20,99 Euro an.

le Anwendungen von Schraubverbindungen wie in der Chirurgie gesprochen, wo wesentliche Parameter an Material und Zuverlässigkeit aus den Bedingungen des Obersystems zu sehr speziellen Systemlösungen führen.

Ich habe diese Welt so ausführlich beschrieben, um drei Aspekte zu verdeutlichen:

1. Es ist eine Welt technischer Systeme, in der Prinzipien des Problemlösens auf TRIZ-Basis eine wichtige Rolle spielen.
2. Das strukturierende Moment in jener Welt sind nicht die technischen Systeme, sondern die *technischen Prinzipien*.
3. Die 10 „Trends“ sind wenig hilfreich, um sich in dieser Welt hochvolatiler Anforderungssituationen zurecht zu finden, weil stets nach *konkreten* Lösungen in *konkreten* Kontextualisierungen gefragt wird, und dabei nicht die „Evolution einzelner technischer Systeme“ eine Rolle spielt, sondern ein globaler *Stand der Technik*, in dem sich die „Evolution der Welt der technischen Systeme“ als Ganzes spiegelt.

Nun soll an dieser Stelle nicht das Kind mit dem Bade ausgeschüttet werden, denn die Beobachtungen des letzten Abschnitts haben sich aus der Inspektion eines Bereichs der Evolution technischer Systeme ergeben, der in [20] ausgeblendet bleibt. Insofern hat das Ergebnis unserer Untersuchungen den Charakter einer *partiellen TRIZ-Lösung* und es bleibt die Frage zu beantworten, in welcher Kontextualisierung sich die Argumentationen in [20] bewegen. Wir hatten gesehen, dass die Autoren – im Gegensatz zu N. Shpakovsky [32] – die Entwicklungslinien *nicht* um technische Prinzipien herum bauen, sondern nur Entwicklungsbereiche betrachten, wo eine solche Ablösung technischer Prinzipien von technischen Systemen noch nicht erfolgt ist. Wir diagnostizieren hier widersprüchliche Beschreibungsformen von zwei klar voneinander getrennten Welten, so dass sich die Frage aufdrängt, ob dieser Widerspruch mit dem TRIZ-Prinzip 36 der *Anwendung von Phasenübergängen* zu lösen ist, der hinter dem Wechsel der Leitfunktion von einer technischen zu einer ökonomischen Dimension zu vermuten ist.

Vor einer vertiefenden Betrachtung dieser Frage ziehen wir hier zunächst wieder ein Zwischenfazit. Auf der Suche nach Strukturierungsprinzipien, die einer Theorie der Evolution technischer Systeme zu Grunde gelegt werden könnten, haben wir Normierungen und Standardisierungen näher analysiert. Wir haben herausgearbeitet, dass diese eine zentrale Rolle spielen in einem Transformationsprozess in der Welt technischer Systeme selbst – dem Übergang von einer primären Problemhaftigkeit einer „jungen“ Technologie zur allgemeinen Verfügbarkeit einer „reifen“ Technologie. Mit einem solchen Phasenübergang ist zugleich ein allgemeines Agens der Entwicklung technischer Systeme aufgedeckt, das in [20] aus offensichtlich strukturellen Gründen keine Rolle spielt – der Erfahrungshintergrund von [20] sind, wie von weiten Teilen der TRIZ, die erfinderischen Praxen *vor* diesem Phasenübergang, die sich an Patenten und der Weiterentwicklung des „Standes der Technik“ orientieren. Die zweite Phase aber, der flächendeckende Betrieb einer allgemein verfügbaren Technologie, ist ebenfalls voller Widersprüche und Gegenstand der Praxen einer neuen Generation von TRIZniks, die viel enger mit den unmittelbaren Erfordernissen einer technisierten *Produktion* verbunden sind. Vom Grundsatz her geht es dabei um die *Aufrechterhaltung einer gesellschaftlichen Normalität* als Grundlage der „Fiktionen“ der „Normalbürger“ über das Funktionieren ihrer technischen Umwelt. Beides – „Fiktionen“ und „Normalbürger“ – steht hier in Quotes, da sich dahinter komplizierte Prozesse der Komplexitätsreduktion von Beschreibungsdimensionen ver-

bergen, die in einem gesellschaftlichen Synchronisationsverhältnis stehen, das sich parallel zur Entwicklung technischer Systeme entwickelt.

These 5: *Die Evolution technischer Systeme bleibt ohne die Einbeziehung der Evolution alltäglicher reduktionistischer Vorstellungen über das Funktionieren von Technologien des Alltags unverstündlich.*

Die Betrachtungsperspektive in [32] der *Verbesserung vorgefundener* technischer Systeme, um Erfahrungen aus der Beratung großer Produktionsbetriebe wie SAMSUNG genauer zu analysieren, nimmt die Phase 2 der allgemeinen Verfügbarkeit einer Technologie stärker in den Blick und kommt dabei auch zu einem anderen Verständnis der Entwicklung technischer Systeme als [20].

11 Zwecke

In den letzten zwei Abschnitten haben wir uns der Frage nach dem Begriff *Technisches System* von zwei Seiten her zu nähern versucht. Die eine Richtung startete beim Bedarf des sozio-ökonomischen Systems nach einem *Ideengenerator* und war schnell bei den Problemlösepraxen der TRIZ-Praktiker angekommen. Der andere Weg führte über Normierungen und Standardisierungen in eine Welt der Allgemeinverfügbarkeit technischer Systeme, in der es keine Probleme mehr zu geben scheint, denn alles funktioniert hervorragend – wenigstens so lange die mit der Nutzung verbundene *Fiktion* gesellschaftlich aufrecht erhalten werden kann.

Aus beiden Richtungen landen wir in einer *Welt technischer Systeme* oder vielleicht auch nur technischer Artefakte, die Jürgen Mittelstraß in einem umstrittenen Aufsatz [24] als „schöne neue Leonardowelt“ bezeichnet hat. Vielleicht sind es aber auch keine „Artefakte“ sondern eher „technische Objekte“, die N. Shpakovsky in [31] als Ausgangspunkt für die Frage nimmt, ob denn jede Ansammlung technischer Objekte bereits als technisches System bezeichnet werden kann oder welche zusätzlichen Anforderungen hierfür zu stellen sind. Dieselbe Frage muss sich die VDI-Definition gefallen lassen.

Shpakovskys Antwort lautet, dass sich technische Systeme durch einen *wohldefinierten Zweck* auszeichnen, der *von außen* vorgegeben ist und den sie erfüllen müssen. Der hier entwickelte Systembegriff ist für eine solche Sichtweise gut geeignet, denn mit der *Spezifikation* der Komponente können Zwecke gut und genau formuliert werden. Weniger klar ist zunächst, *woher* diese Zwecke kommen. Die TRIZ-Antwort ist eindeutig: „Aus dem Obersystem“. Allerdings hatten wir in unserer Analyse festgestellt, dass es durchaus *mehrere* Obersysteme zu einem System geben kann und der Begriff eines *benachbarten* Systems der Situation eher angemessen ist. Denkt man die Welt der technischen Systeme zunächst ohne Hierarchisierungen, so finden wir eine Welt von *Beziehungen* zwischen technischen Systemen vor, aus denen heraus *Zwecke* erklärt werden können: *Jenes* technische System ist entwickelt worden, weil *dieses* dessen nützliche Funktion als Betriebserfordernis benötigt. Der Zweck *jenes* Systems ist es also, *diesem* zu dienen. Technische Objekte *bündeln* auf diese Weise Funktionen und Dienste verschiedener Komponenten, um selbst Dienste anzubieten. Auch an dieser Stelle bietet sich wieder ein Substanz-Feld-Swap an – das Relationale, die einzelne Funktion, den einzelnen Dienst als Substanz zu betrachten und die Funktionen bündelnden technischen Objekte als Relationen, als Vermittler zwischen diesen Funktionen. *Zwecke* sind in einem solchen Verständnis aus menschlichen Praxen erwachsende *Anforderungen*, nach denen solche Funktionsbündel zusam-

mengestellt werden. *Entwicklungslinien* solcher als Funktionsbündel entstandener technischer Systeme beginnen bei einfachen Kompositionsprinzipien – zu einer Schraube eine passende Mutter finden –, reichen über bewährte Verfahrensweisen – was ist beim Streichen eines Fensters zu beachten? Welche Farben auswählen? Welche Pinsel? Wie den Untergrund vorbereiten? Wie streichen? – bis hin zu höheren Abstraktionsformen wie etwa der Form, die benötigt wird, um eine größere Menge von Ziegelsteinen aus Lehm zu formen, diese zu brennen und dann aus ihnen ein ganzes Haus zu errichten.

Diese Zwecke strukturierenden Abstraktionen sind allerdings nicht willkürlich, sondern folgen ihrerseits *Zwecken zweiter Ordnung*. Szyperski [34, S. 139 ff.] identifiziert unter der Überschrift „Aspekte der Skalierung und Granularität“ eine längere Liste solcher „Zweck-Muster“, nach denen *Funktionen* zu Einheiten gebündelt – also als Komponenten zugeschnitten – werden: Als

- Einheit der Abstraktion („design expertise embodied ready for use“)
- Einheit der Abrechnung (Einheit der Kostenüberwachung)
- Einheit der Analyse (Einheit der Fehlersuche)
- Einheit der Übersetzung (Einheit eines Transformationsprozesses)
- Einheit der Auslieferung (Einheit des Transports)
- Einheit der Entpackung (Bausatz samt Montageanleitung)
- Einheit der Disputation (Einheit der Auseinandersetzung um Verantwortlichkeiten)
- Einheit der Erweiterung
- Einheit des Fehlereinschlusses (fault containment)
- Einheit der Instanziierung
- Einheit der Installation
- Einheit des Ladens usw.

Diese *Zwecke zweiter Ordnung* sind ihrerseits nicht unabhängig voneinander, wie [34, S. 145] bemerkt – eine Einheit der Analyse kann nicht sinnvoll in *mehrere* Einheiten der Erweiterung aufgebrochen werden.

Diese vielfältigen *Praxen des Komponentenzuschnitts* stehen ihrerseits nicht losgelöst voneinander, sondern konstituieren eigene Welten praktischer Interaktionen und Erfahrungen. Im *Komponentenframework* werden diese Erfahrungen normiert und standardisiert. Die Allgegenwart und Bequemheit der Nutzung technischer Objekte reproduziert sich damit auf der Ebene ingenieur-technischer Tätigkeit, auf der es aber wiederum nicht die Prinzipien selbst, sondern die *Passfähigkeit der Prinzipien* ist, auf die es ankommt. Auch diese Passfähigkeit fällt nicht vom Himmel, sondern ist ihrerseits ein Resultat *vernünftiger menschlicher Praxen*. Die Welt der technischen Systeme ist damit in eine Welt der Beziehungen zwischen technischen Systemen eingebettet, in der sich komplexe sozio-technische Beziehungen spiegeln, die von konkreten Zwecken getrieben werden. Diese Zwecke sind ihrerseits mannigfach aufeinander bezogen, und es ist diese Beziehungsstruktur, die Gegenstand einer Strukturierung durch „Zwecke zweiter Ordnung“ ist. Dass damit das Ende der Fahnenstange noch nicht erreicht ist, sondern Komponentenframeworks selbst durch übergreifende *Entwurfsmuster* [5] und Prozesstemplates wie „dependency injection“ oder „inversion of control“ strukturiert werden usw., muss hier sicher nicht im Detail erörtert werden.

Wir haben in diesem Abschnitt gesehen, dass es zur Untersuchung evolutionärer Aspekte wichtiger sein könnte, die Welt der *Beziehungen* zwischen technischen Systemen in Augenschein zu nehmen als die Welt der technischen Systeme selbst. In unserem systemtheoretischen Ansatz wird eine solche Beziehung als Beziehung zwischen Komponenten eines Systems primär *funktional* betrachtet als Spezifikation in der Beschreibungsdimension und als Versprechen garantierter spezifikationskonformer Leistung in der Vollzugsdimension. Gegenstand der TRIZ-*Methodik* ist die Transformation des einen in das andere. Sie ist dabei selbst nur Beschreibungsform, die den Domänenexperten hilft, diese Transformation *praktisch* zu organisieren. Funktionen erscheinen in diesem Transformationsprozess in drei Modi: *vor* der Transformation als *Zweck*, als etwas, das man gern in der Welt haben würde, *in* der Transformation als Implementierung und *nach* der Transformation als *Dienst*, als realisiertes Versprechen.

These 6: *Technische Systeme erscheinen als Funktionsbündel, deren einzelnes Element – die Funktion – in drei verschiedenen Modi: als Zweck, als Implementierung und als Dienst.*

Wir haben zugleich herausgearbeitet, dass sich derartige Transformationsprozesse auch auf höheren Ebenen der Abstraktion in der Welt technischer Systeme vollziehen. Standardisierungen auf höherer Abstraktionsebene richten sich allerdings nicht so sehr auf Wiederverwendung (reuse) als auf gemeinsame Nutzung (sharing). In [34, Kap.9] werden unter der Überschrift „Pattern, Frameworks, Architectures“ (informatische) Beispiele einer solchen *gemeinsamen Verwendung* genannt:

- sharing consistency – programming languages
- sharing concrete solution fragments – libraries
- sharing individual contracts – interfaces
- sharing individual interaction fragments – messages and protocols
- sharing individual interaction architectures – patterns
- sharing architectures – frameworks
- sharing overall structure – system architectures
- system of subsystems – framework hierarchies

12 Schichtenarchitekturen

Im letzten Abschnitt hatten wir herausgearbeitet, dass Zwecke, Implementierungen und Dienste nicht nur auf der unmittelbaren technischen Ebene bedeutsam sind, sondern auch *Zwecke höherer Ordnung* auf die Lebenswirklichkeit strukturierenden Einfluss haben, sich in *Verfahrensweisen* implementieren und auf diese Weise zu *referenzierbaren Diensten* werden.

Ein Beispiel hierfür sind die Trends der Evolution ingenieur-technischer Systeme [20] selbst, die mit der Autorität der MATRIZ als internationaler TRIZ-Organisation in die entsprechenden Zertifikatsprozesse integriert und so zu einem gewissen Gemeingut werden. Noch viel deutlicher wird dies allerdings in Komponentenframeworks der Softwarebranche, wo die Entwicklung einer Lösung unter Verwendung eines solchen Frameworks bereits die Modellierung

vorstrukturiert. Kooperative Zusammenhänge, die sich in solche gemeinsamen Abstraktionsstrukturen einbetten, haben es in derartigen weithin bekannten und akzeptierten Kontexten um ein Vielfaches leichter, sich zu verständigen. Normierung und Standardisierung vereinfacht also nicht nur die Bündelung auf der Ebene technischer Strukturen, sondern auch auf höheren Abstraktionsebenen menschlicher Gestaltungspraxen.

Normierung und Standardisierung sind das zentrale Mittel, um Vorgehensweisen als *Stand der Technik* zu befestigen und auf diese Weise *Fiktionen* gesellschaftlicher Normalität zu generieren, auf die komplexere technische Prozesse mit höheren Abstraktionen aufsetzen können. Das TRIZ-Prinzip 7 *Matrjoschka* ist nur eine unterkomplexe Formulierung der damit verbundenen begrifflichen Anforderungen, denn wie in den Proben im Konzertbeispiel ist das entsprechende Zusammenspiel technischer Prinzipien und technischer Abstraktionen höherer Ordnung, das mit der Standardisierung erreicht werden soll, primär eines der Herstellung der Passfähigkeit der begleitenden Beschreibungsdimensionen, also des Generierens von *Sprache*, in welcher die neuen Semantiken ausgedrückt werden können. Die *begriffliche* Harmonisierung der Standards als *Semantik* ist der *technischen* Normierung als *Syntax* vorgängig, aber erst beide zusammen können in einer *sozio-technischen Verfahrensweise* als Grundlage für eine neue *Fiktion* verdichtet werden. Erst *nach* Durchlaufen eines solchen Prozesses können etwa Schraubverbindungen im Sinne einer verkürzten Sprechweise als *gesellschaftliche Normalität* ihre Wirkung entfalten, mit der bereits Kleinkinder mit ihren ersten Lego-Baukästen vertraut gemacht werden. Damit wird zugleich deutlich, dass dieses *Schöpfen von Sprache* nicht willkürlich ist, sondern sich an den *Pragmatiken* (Praxen) gesellschaftlicher Herausforderungen orientiert.

Derartige *Schichtenarchitekturen* spielen allerdings nicht nur auf der Seite der Beschreibungs- und Verständigungsdimension eine entscheidende Rolle bei der Reduktion von Komplexität, die zum Erklimmen immer höherer Abstraktionsebenen technischer Praxen erforderlich ist, sondern auch in der Vollzugsdimension, was nun am Beispiel des OSI-7-Schichten-Modells näher erläutert werden soll. Dieses Modell beschreibt das Funktionieren heutiger Internetverbindungen und hat sich – seit den ersten ARPA-Net-Versuchen 1974 – in etwa 40 Jahren *technischer Evolution* zur Grundlage unserer heutigen *digitalen Praxen* mit ihrer Fiktion der allgemeinen Ende-zu-Ende-Verbindbarkeit entwickelt¹¹.

Die unterste Ebene des OSI-Protokollstacks dient der Herstellung der *Fiktion*, dass Bitfolgen verschickt werden. Dabei ist der Widerspruch zwischen der Verschiedenheit der physikalischen Trägermedien und der Einheitlichkeit der erforderlichen Abstraktion zu lösen. Die API-Spezifikation ist denkbar einfach – der Zustandsraum besteht aus Worten über einem Alphabet aus zwei Buchstaben, die Folge der Buchstaben wird durch einen zeitlichen Pulsbetrieb (TRIZ-Prinzip 19 der periodischen Wirkung) dargestellt, womit sich die *Pragmatik* auf die einfache Frage der Darstellung von zwei verschiedenen Zuständen reduziert, die durch das allgemeine Prinzip des „Triggern“ umgesetzt wird¹², indem über das Setzen von Schwellwerten analoge Prozesse „digitalisiert“ werden. In den jeweiligen Implementierungen des Standards

¹¹Dass dies eine *Fiktion* ist, weiß nicht nur das Viertel der Weltbevölkerung, das hinter der „Great Chinese Firewall“ lebt, sondern wurde auch im „Arabischen Frühling“ 2012 mit der Komplettabschaltung des Netzes in Ägypten durch die damaligen Machthaber deutlich. Dummerweise traf jene Abschaltung auch die Wirtschaft und wurde deshalb nach 10 Tagen zurückgenommen. Seither haben sich die Techniken der punktuellen Ausblendung einzelner Teilnehmer und Teilnehmergruppen aus dieser Fiktion aber weiter verfeinert wie auch die Techniken des Widerstands dagegen.

¹²Trigger spielen in vielen technischen Prozessen als Schwellwerte, die Events auslösen, eine wichtige Rolle. Ihr bewusster Einsatz wirkt sich in nachgeordneten Systemen wie ein (technisch geschaffener) *Phasenübergang* aus. Wie ordnet sich ein solches weit verbreitetes Verfahren in die TRIZ-Systematik ein?

werden damit die verschiedenen Prinzipien der physikalischen Trägermedien in einer einheitlichen *Semantik* zusammengefasst und als API-Spezifikation formalisiert, damit die nächste Ebene des Protokollstacks auf diese *formalisierte Semantik* als *Syntax* zugreifen kann. Ein wesentliches Charakteristikum ist dabei die *Taktrate*, also die Geschwindigkeit, in welcher der jeweilige Knoten die Bitfolgen „produziert“. Neue Trägermedien (wie etwa WLAN) lassen sich in eine solche Architektur leicht einbauen, denn sie müssen nur die vorgegebene Spezifikation *implementieren*.

Die zweite Ebene des Protokollstacks geht von der Fiktion der Bitfolgen aus und löst ein elementares Problem (Pragmatik) der Übertragung solcher Bitfolgen zwischen zwei Knoten des Netzes. Der dabei zu lösende Widerspruch ist der zwischen differierenden Taktraten der beiden Knoten – das Problem der Übertragungsgeschwindigkeit. Dazu werden die Bitfolgen in *Frames* als Übertragungseinheiten konstanter Größe unterteilt und deren korrekte Übertragung einschließlich Fehlerbehandlung auf dieser Ebene sichergestellt. Die Semantik der sicheren Übertragung führt dazu, dass die Fiktion der Bitfolgen durch die Fiktion der von Knoten zu Knoten übertragenen Frame-Folgen als syntaktische Basis für die nächste Ebene des Protokollstacks abgelöst wird. Der Begriff der Taktrate spielt nun keine Rolle mehr.

Die dritte Ebene des Protokollstacks organisiert auf dieser Basis das Routing und Weiterleiten über größere Entfernungen. Der zu lösende Widerspruch besteht darin, dass das Ziel der Übertragung bekannt ist, nicht aber der Weg dorthin. Die hierfür geschaffene neue Sprachform sind *Datenpakete* als weitere Abstraktion, die auf der sicheren Übertragung der Frames von Knoten zu Knoten aufsetzt und die Paketübertragung über weitere Entfernungen organisiert. Während auf der Frame-Ebene die beteiligten Knoten bekannt und Teil der Input-Spezifikation der Schnittstelle sind, ist nun das Problem (Pragmatik) der Identifizierung entsprechender Wege zum Zielknoten zu lösen, wofür entsprechende Routingalgorithmen und Routingprotokolle als *Sprache* zu vereinbaren waren. Dabei ist die *Verfügbarkeit der Sprache der Frames* eine essentielle Voraussetzung für das Entwickeln der neuen Sprachformen, denn dabei sind vielfältige Informationen zwischen benachbarten Knoten auszutauschen und komplexe Informationen lokal zu aggregieren. Während die Lösungen der Probleme auf den ersten beiden Ebenen des Protokollstacks nur *lokale* sozio-technische Abstimmungen erfordern, ist für diese dritte Ebene eine *globale* Abstimmung erforderlich, denn die zu entwickelnde Sprache müssen *alle* Knoten im Internet sprechen, wenn die Paketvermittlung global funktionieren soll. Die weitgehend anarchistische, aber auch heute noch gut funktionierende Lösung dieser sozialen Aufgabe durch die Internetpioniere ist bekannt – die Gründung der IANA als „technische Weltregierung des Internets“ im Jahre 1988. Auch ein Designfehler der damaligen Lösung konnte inzwischen erfolgreich beseitigt werden – die (aus damaliger Sicht extrem großzügige) Abschätzung der erforderlichen Internetadressen mit 2^{32} , also etwa 4 Milliarden, die dem Protokoll ipv4 zu Grunde liegt, wurde und wird durch ipv6 mit einem Adressraum von $2^{128} \approx 3.4 \cdot 10^{38}$ ersetzt. Damit ist zugleich ein Mechanismus der *Höherentwicklung* technischer Systeme angedeutet, der in den Evolutionsbetrachtungen weder in [20] noch in [32] eine Rolle spielt.

Wir sehen an diesem Beispiel zugleich, wie die „Herausnahme des Menschen aus technischen Systemen“ funktioniert, denn das Internet ist ja ein fortgeschrittenes technisches System, das komplett ohne Zutun des Menschen funktioniert. Komplett? Das bezieht sich allein auf die operative Ebene der Vollzugdimension. Die Herstellung der erforderlichen Ausrüstung, der Betrieb der Infrastruktur als Service für die vergesellschaftete Menschheit, die „Aufrechterhaltung der Fiktion“, Reparatur und Planung von Erweiterungen sind ohne aktiv tätige Menschen nicht denkbar. Diese zerfallen allerdings, bezogen auf eine konkrete Technologie, in zwei Grup-

pen – die große Gruppe der „Normalos“ und die kleine Gruppe der „Experten“. Erstere können mit der Beschreibungsform auf der Ebene der Fiktion leben, um mit begründeten Erwartungen verantwortungsbefrachtet am gesellschaftlichen Leben teilzunehmen. Die kleine Gruppe der Experten in jener Technologie kennt sich auch mit der Implementierung aus. In ihrem *privaten Verfahrenskönnen* spiegelt sich die Arbeitsteiligkeit der modernen Industriegesellschaft. Allerdings ist dieser Faden dünn und kann reißen, besonders unter sozio-ökonomisch prekären Bedingungen, wie wir von Tschernobyl wie auch Fukushima wissen. In meiner These 1 kommt diese Fragilität moderner Technik-Semiotik zum Ausdruck. Wichtig ist nicht so sehr die Beschreibungsdimension, als vielmehr deren Verankerung als *privates Verfahrenskönnen* konkreter Menschen in der Vollzugsdimension.

These 7: Jeder „Experte“ ist „Normalo“ in Bezug auf fast alle Technologien.

Mit dem bisher entwickelten Ansatz bewegen wir uns im Kontext des Technikbegriffs, der in meiner Vorlesung genauer entwickelt wird und drei Dimensionen umfasst – das *gesellschaftlich verfügbare Verfahrenswissen* (Stand der Wissenschaft), *institutionalisierte Verfahrensweisen* (die technischen Prinzipien, die in [32] als Strukturierungsgrundlage für Evolutionslinien verwendet werden) und *privates Verfahrenskönnen* (mindestens einer entsprechend ausgebildeten Schicht von Ingenieuren und Technikern als „Träger von Vernunft“ im Sinne von [38]).

13 Komponenten und Objekte

Mit der funktionalen Orientierung auf Zwecke, Implementierungen und Dienste bleibt das *Target*, das *Objekt* jener funktionalen Einwirkungen eigentümlich im Dunkeln. In der TRIZ-Terminologie ist vom *bearbeiteten Objekt* die Rede, das durch entsprechende funktionale Transformationen durch ein *Werkzeug* zu einem *nützlichen Produkt* wird. Das Werkzeug, insoweit es selbst hergestellt werden muss, ist seinerseits *Objekt*, oft zur Verdeutlichung auch *technisches Objekt*, aber in der Einsatzperspektive $\text{Werkzeug} \rightarrow \text{bearbeitet} \rightarrow \text{Objekt}$ ist es nur noch Träger von Funktionalität. Wichtig ist allein $\text{bearbeitet} \rightarrow \text{Objekt}$, die spezifikationskonforme Erfüllung einer Funktion, weniger das genaue Instrument. [31] fragt sogar, wann eine Sammlung technischer Objekte zu einem technischen System wird. Bei den dabei betrachteten technischen Objekten kann es sich aber nur um Werkzeuge oder Komponenten handeln, denn anderes ist nicht zu einem technischen System aggregierbar. Kurz, in der TRIZ-Literatur werden die Begriffe Komponenten und Objekt in einer weitgehend unscharfen Synonymität verwendet.

Szyperskis Buch [34] dagegen fundiert auf einer klaren Unterscheidung zwischen diesen beiden Begriffen. Eine *Komponente* wird durch drei Eigenschaften charakterisiert:

- (1) als Einheit der unabhängigen Verteilung,
- (2) als Einheit der Komposition durch Dritte und
- (3) als etwas, das keinen (extern beobachtbaren) Zustand hat.

Besonders die dritte Charakterisierung ist für unsere Zwecke interessant, denn in diesem Verständnis ist eine Komponente ein rein funktionales Konstrukt ohne „Gedächtnis“, ein über eine Spezifikation definiertes Bündel von Funktionen, das – so (2) – komplett entkontextualisiert und von Dritten rekontextualisiert werden kann. Dass ein solcher Transformationsprozess

in übergeordneten sozio-technischen Beziehungen zwischen Anbieter und Nutzer selbst wieder kontextualisiert ist, hatten wir weiter oben schon herausgearbeitet. In diesem Sinne ist – nicht unerwartet – Szyperskis Komponentenbegriff also selbst reduktionistisch. In den Charakteristika (1) und (2) wird aber auch in diesem Ansatz deutlich, dass der sozio-technische Charakter nicht von einem technischen abgetrennt werden kann.

Ein *Objekt* wird in [34] durch folgende drei Charakteristika gekennzeichnet:

1. als Einheit der Instanziierung, die eine eindeutige Identität hat,
2. als etwas mit extern beobachtbaren Zustand,
3. das Zustand und Verhalten kapselt.

Während es in einem solchen Konzept keinen Sinn hat, mehr als eine Komponente einer Art im System zu haben (da sie zustandslos sind, könnten wir sie nicht einmal unterscheiden), ist in den Objekten die gesamte systemische Individualität gebündelt.

Als klassisches Beispiel wird eine Datenbank angeführt – der Datenbankserver, der die komplexe Transaktionsfunktionalität zur Verfügung stellt, ist die Komponente, die einzelnen Datenbanken die Objekte. Dabei wird auch die sozio-ökonomische Stellung des „unabhängigen Dritten“ deutlich. Der Anbieter der Komponente, der Datenbankhersteller, liefert die Komponente, die Datenbanksoftware, aus, die als „Einheit der Verteilung“ auf einem Rechner des Kunden installiert wird. Dieser „unabhängige Dritte“ baut diese Komponente in seine eigene Middleware-Architektur als „Einheit der Komposition“ ein. Ihre Wirkung entfaltet die Komponente aber erst durch die Bearbeitung von Objekten, der Datenbanken und Datensätze, die der Kunde (!) gestaltet, zur Verfügung stellt und verantwortet.

Die klare Unterscheidung der Begriffe Komponente und Objekt, die Szyperski hier vornimmt, zeichnet damit die realweltliche Trennung der Verantwortungsbereiche von Anbieter und Kunde in einer servicebasierten Wirtschaft nach: der Anbieter liefert ein *Bündel von Funktionen*, das im Verantwortungsbereich des Kunden *auf den Objekten des Kunden* seine Funktionalität entfaltet. Wenn etwas schief geht, dann kann es am Anbieter gelegen haben – es lag eine Fehlfunktion vor –, es kann aber auch am Kunden gelegen haben – die bearbeiteten Objekte waren fehlerhaft. Diese Fragen werden heute üblicherweise in Service Level Agreements geregelt, erläutern aber den Untertitel „Beyond Object-Oriented Programming“ von [34]. Die Zusammenführung von Funktion und Attribut in lokalen Objekten als Kern des OO-Paradigmas wird (wieder) aufgelöst und dem Objekt eine passive Rolle zugeschrieben, die von Zustand als Attributwert und Verhalten als *Reaktion* auf funktionale Einwirkung determiniert wird.

In einem solchen Verständnis sind Objekte Träger des Gedächtnisses in der Welt der technischen Systeme. Sie sind es, die sich „merken“, was mit ihnen funktional unternommen wurde. Während in der TRIZ im Grundzusammenhang *Werkzeug* → *bearbeitet* → *Objekt* die einzelne Funktion im Vordergrund steht, steht das von vielen Komponenten bearbeitete Objekt in einer Vermittlerrolle zwischen den Komponenten. Wenn wir oben herausgearbeitet haben, dass die Welt der *Beziehungen* zwischen Komponenten wichtiger ist als die Welt der technischen Systeme selbst, so haben wir mit den Objekten nun auch die *Vermittler* dieser Beziehungen identifiziert.

Auch dabei ist allerdings zu beachten, dass diese Vermittlung selten durch ein einziges Objekt erfolgt, sondern in den meisten Fällen durch ein ganzes Set von Objekten. Dies sei am Beispiel

des CORBA-Lizenzdienstes [34, S. 242] erläutert:

- Soll ein Objekt einen Dienst (im Weiteren das *Dienstnutzerobjekt*) nutzen, so kann es sein, dass es hierfür eine Lizenz benötigt.
- Dafür muss der Dienstanbieter eine solche Lizenz ausstellen, ein zweites Objekt, das *Lizenzdienstobjekt*.
- Diese Lizenz ist eine auf den Lizenznehmer (das Dienstnutzerobjekt) zugeschnittene Spezialisierung eines allgemeinen Lizenzverfahrens, verfügbar als drittes Objekt, als *Lizenzverfahrensobjekt*. Dieses Objekt wurde bei der Registrierung der Lizenz des Dienstanbieters angelegt. Der Nutzung der Lizenz in der Vollzugsdimension geht das Anlegen der Lizenz in der Beschreibungsdimension voraus.
- Die Lizenzdienst-Factory, ein zweiter Dienst, ist nun in der Lage, auf die Anfrage des potenziellen Dienstnutzers als viertes Objekt ein *Lizenzobjekt* zu generieren, das seinerseits den Prozess der Nutzung der Lizenz durch das Dienstnutzerobjekt überwacht:
 - Es nimmt das Lizenzverfahrensobjekt und das Dienstnutzerobjekt und erzeugt daraus das Lizenzdienstobjekt.
 - Es versetzt den Dienst in den für die Nutzung durch das Dienstnutzerobjekt erforderlichen Zustand (etwa Demomodus, Abrechnung), was mit dem Anlegen weiterer Objekte verbunden ist, denn nur Objekte können Zustände speichern.
 - Es erlaubt dem Dienstnutzerobjekt, den Dienst zu nutzen und überwacht diese Nutzung (speichert etwa die Nutzungszeit, um diese später an den Abrechnungsdienst zu übergeben).
 - Es wartet, bis die Dienstinutzung abgeschlossen ist (dies kann aktiv durch das Dienstnutzerobjekt getriggert werden, aber auch – etwa durch Zeitablauf – vom Lizenzobjekt) und löst die Gesamtstruktur am Ende auf, ohne zu vergessen, die Abrechnungsobjekte an den Abrechnungsdienst weiterzugeben.

Dieses ausführliche Beispiel der Interaktion – in diesem Fall digitaler – technischer Objekte zeigt prototypisch die Einbettung der im TRIZ-Fokus stehenden Detailperspektive *Werkzeug* → *bearbeitet* → *Objekt* in komplexere Zusammenhänge.

Zweck der Bearbeitung ist auf erster Stufe die Transformation des Objekts in ein *nützliches Produkt*. Die *Welt der nützlichen Produkte* ist selbst eine Welt der *Beziehungen* zwischen Zwecken. Wolf Göhring expliziert in [9] eine solche *lineare* Beziehungskette für die Tasse Kaffee, die morgens auf Ihrem Frühstückstisch steht. Sozio-ökonomisch wird dies auch als *Wertschöpfungskette* thematisiert. Die Verflechtungsstrukturen sind aber deutlich komplexer, die gesellschaftlichen Verhältnisse haben viel Ähnlichkeit mit dem (technischen) OSI-7-Schichten-Modell. Auf der untersten Ebene steht die ingenieur-technische Herstellung zweckorientierter technischer Verhältnisse und der Betrieb dieser technischen Infrastruktur. Auf der nächsten Ebene erscheinen die Vermittlungsstrukturen zwischen diesen Verhältnissen, die sich nicht in einem „Wertschöpfungsnetzwerk“ erschöpfen, denn beim Betrieb jener Infrastruktur geht es ja nicht (nur) um das abstrakte Verhältnis von Tauschwerten, sondern um das reale Verhältnis von Gebrauchswerten. Wie im angeführten Lizenzdienstbeispiel manifestieren sich aber in jenen *Verhältnissen von Verhältnissen* Zwecke und Verhältnisse höherer Ordnung –

im genannten Beispiel Beziehungen immaterieller Besitzrechte an Ideen und Verfahrensweisen mit unmittelbarer Rückwirkung auf die sozio-ökonomischen Verhältnisse der darunterliegenden Ebene, denn Lizenzkosten müssen bezahlt werden. Lizenzen verursachen also den Nutzern Kosten und den Inhabern Einkünfte. Letzteres wirkt (in unserem Beschreibungsansatz von Systemen) als Durchsatz strukturierend und damit funktionsreproduzierend auf das soziale System der Erfinder zurück. Mit Open Source und Open Culture sind diese Prinzipien aktuell aber ihrerseits in einen Transformationsprozess eingetreten, den Wolf Göhring in [9] vorausschauend dargestellt und in [10] vertiefend beschrieben hat.

14 Entwicklungslinien in der Welt technischer Systeme

Mit den Kategorien junger und reifer Technologien ist eine Phasengrenze in der Welt der technischen Systeme identifiziert, auf deren beiden Seiten die Entwicklung technischer Systeme unterschiedlichen Paradigmen folgt. In der *ersten Phase* steht das Paradigma des Erfindens im Vordergrund, das sich auf die Eroberung von Neuland im Bereich technischen Wissens konzentriert. Technische Systeme werden um die Stabilisierung eines technischen Prinzips herum gebaut, die Beschreibungsformen des neuen technischen Prinzips werden perfektioniert und – etwa über Patentschriften – in den sozio-kulturellen und auch ökonomischen Strukturen der Gesellschaft befestigt.

In der *zweiten Phase* steht das Problemlösen im Vordergrund, d.h. die *Bündelung* verfügbarer *verschiedenartiger* technischer Funktionalitäten in technischen Systemen zur *Lösung praktischer Probleme*. Dieser Problemlöseprozess ist gesellschaftlich vielfach vorstrukturiert – beim Lösen eines Problems kann auf bereits bekannte Lösungen von Teilproblemen zurückgegriffen werden. Ein solcher Rückgriff gestaltet sich am einfachsten – ist aber keineswegs darauf beschränkt –, wenn diese Teillösung bereits in der Form einer als Artefakt verfügbaren technischen Komponente konzentriert ist, die bei spezifikationskonformem Gebrauch die benötigte Leistung mitbringt. Für diesen spezifikationskonformen Gebrauch ist allerdings neben der Komponente selbst und ggf. den zum Betrieb erforderlichen technischen, Service-, Wartungs-, Anpassungs- und Weiterentwicklungsstrukturen auch ein Verständnis der Standardisierungs- und Normierungsstrukturen als Teil der *Beschreibungsdimension* jener Komponente erforderlich und ein damit wenigstens grobes Verständnis der *Metamodellierung*, welche der Modellierung der vorliegenden Komponente vorgängig ist und in welche die Beschreibung der Komponente eingebunden ist.

Wir hatten allerdings auch gesehen, dass technische Systeme als Multifunktionsbündel, die „core concern“ und „cross cutting concerns“ unter einer Haube vereinigen, in der Regel in *mehrere* derartige Metamodellierungen eingebettet sind. In jenen Metamodellierungen erfolgt ebenfalls eine Bündelung technischer Funktionalitäten, allerdings nach anderen Prinzipien, durch zusammenfassende Abstraktion *ähnlicher Funktionalitäten*, mit der neben den konkreten *Funktionsprinzipien* auch *Sprache* und zusammenhängende Begrifflichkeiten generiert werden. Wir hatten auch gesehen, dass dies kein zweistufiger Prozess ist, sondern dieser sich als Höherentwicklung kulturell-technischer Verfahrensweisen über viele Abstraktionsstufen in ähnlicher Weise als *Technologieniveau* wiederholt. In der technisch-praktischen Beherrschung eines solchen Technologieniveaus wie etwa der 13-nm-Technologie für Wafer läuft die Beherrschung der darunter liegenden Technologieniveaus – Waferherstellung, Einkristallzüchtung, Maskenherstellung, Chemie von Belichtungsstrukturen, Präzisionsmaschinenbau, Reinraum-

technologie usw. – zusammen. Vor 50 Jahren war es in einer scheinbar unipolaren Welt technischer Systeme noch möglich, mit einer COCOM-Liste einem Teil der Menschheit mit dem Entzug des Zugangs zu diesem „Stand der Technik“ zu drohen, auch wenn der „Sputnikschock“ jene Unipolarität längst erschüttert hatte. Versuche, Huawei heute mit ähnlichen Mitteln zu strafen zu wollen, geraten schnell zur Farce.

Entwicklungslinien in der Welt technischer Systeme lassen sich damit nicht in erster Linie als Entwicklungslinien technischer Systeme verfolgen, sondern nur als Entwicklungslinien technischer Prinzipien. Die in der TRIZ-Praxis verbreitete Unterteilung in bearbeitetes Objekt, Werkzeug, Transmission, Energiequelle und Steuerung, siehe etwa [20] als Teil des Trends 4.2 der *wachsenden Vollständigkeit des Systems* oder [35], ist ein Reflex auf die Höherentwicklung des von der Menschheit insgesamt beherrschten Technologieniveaus. Während gezielter Werkzeuggebrauch zur Bearbeitung „interessanter“ Objekte bereits bei höheren Tierarten beobachtet wird, kann die Transformation von Werkzeugen in Richtung besserer Handhabbarkeit bis zum Faustkeil im Neolithikum zurückverfolgt werden. Die Nutzung natürlicher Energiequellen – neben Feuer, Wasser und Windkraft auch die domestizierter Tiere wie Ochsen, Pferde, Kamele und Elefanten – kann ebenfalls mindestens 3000 Jahre zurückverfolgt werden. Die ausgeklügelten Regulierungsmechanismen etwa von Bewässerungssystemen legen Zeugnis ab von den hohen Steuereungskünsten der Ingenieure jener Zeit auf der Basis der damals verfügbaren Wirkprinzipien.

In der Neuzeit steht die technische Bändigung der chemischen Energie fossiler Energieträger am Beginn der *ersten industriellen Revolution*. Allerdings ergab sich der entscheidende Durchbruch vor 150 Jahren zu industriellen Fertigungsmethoden nicht aus jenen *technischen* Neuerungen, sondern aus *produktionsorganisatorischen* Neuerungen, die auf der Basis jener technischen Neuerungen erst möglich wurden. Begleitet wird diese Entwicklung auch von spannenden mechanischen Regulationssystemen wie etwa Druckreglern an Dampfmaschinen, die Uhrmacher- und Feinmechanikerleistungen der frühen Neuzeit fortsetzten.

Das Ganze wiederholt sich auf höherem Niveau mit der Verfügbarkeit dezentraler Antriebstechnologie auf der Basis flüssiger und gasförmiger Energieträger als *zweite industrielle Revolution*. Fundament dieser Weiterentwicklung ist der Übergang der ersten industriellen Produktionsweise in einen reifen Zustand. Auch hier sind es aber erst die produktionsorganisatorischen Fortschritte einer Fließbandproduktion, welche die Basis für neue Dimensionen von Steuerbarkeit durch *Automatisierungstechnik* bilden. Jener Basis sind zwei Entwicklungen vorgängig – neben der Verfügbarkeit dezentraler Antriebstechnik als neues Technologieniveau auch die in den vorhergehenden 50 Jahren entwickelten produktionsorganisatorischen Beschreibungsformen der aufkommenden Industriegesellschaft. Erst jene lassen die Zergliederung komplexer Arbeitsabläufe in kleinteilige Arbeitsschritte zu und eröffnen damit das Potenzial für Mechanisierung und Automatisierung. Erst auf der Basis einer solchen industriellen Massenfertigung können die ersten Computer praktisch gebaut werden, obwohl deren konstruktiver Aufbau seit Leibniz (1672), spätestens aber mit der „Analytical Engine“ von Charles Babbage (1837) prinzipiell bekannt war. Eine technische Realisierung war bis dahin an der ungenügenden Beherrschung des erforderlichen Niveaus feinmechanischer Technologien gescheitert. Während Turings bahnbrechenden Überlegungen 1936 noch ohne praktische Wirkung blieben, baut Konrad Zuse 1941 den ersten funktionsfähigen Rechner. Drei Jahre später ist es wiederum Turing, der mit diesen neuen Werkzeugen das Geheimnis der Enigma lüftet.

Mit dem Computer beginnt in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts die *dritte industrielle Revolution*, in der Beschreibungs- und Vollzugsformen von Technik enger zusammenrücken.

Mit dem neuen Technologieniveau, das seinerseits ohne automatisierte Produktionslinien nicht denkbar ist, werden nicht nur neue Steuerungstechniken möglich, sondern entwickelt sich die Techniksprache der Metamodellierung selbst weiter – Begriffe wie Kybernetik, Regelkreis, Regeltechnik, Programmiersprache usw. erblicken das Licht der Welt.

Mittlerweile wird von einer vierten industriellen Revolution gesprochen, aber das ist möglicherweise eine begriffliche Fehlkonstruktion und nur die produktionsorganisatorische Phase jener dritten industriellen Revolution. Im Gegensatz zum Einzelplatzcomputer geht es dabei um die Potenziale einer vernetzten Computerwelt und den Phasenübergang der Computertechnologie von einer „jungen“ zu einer „reifen“ Technologie.

Die in [20] präsentierten Entwicklungslinien erscheinen in einem solchen Verständnis wie die Schatten an Platons Höhle. Es ist höchste Zeit, zu komplexeren Beschreibungsformen sozio-technischer Systeme zu kommen.

15 Zusammenfassung

Mit dem Begriff des *technischen Systems* dreht sich der ganze TRIZ-Theoriekorpus um einen in der TRIZ-Literatur wenig präzisierten Begriff, der als weitgehend aus der Anschauung verständlich postuliert wird. Mit den 40 TRIZ-Prinzipien, den 76 TRIZ-Standards und den (in [20]) 10 TRIZ-Evolutionstrends wird dabei ein Universum theoretischer Reflexion praktischer Erfahrung mit tendenziell universalistischem Anspruch aufgespannt, ohne sich besonders um das Fundament dieses Theoriegebäudes zu sorgen.

In diesem Aufsatz wurde der Versuch unternommen, die Tragfähigkeit des Begriffs *technisches System* für diesen Theoriekontext genauer auszuleuchten und diesen auch mit Ansätzen aus benachbarten Theoriegebäuden zu relatieren. Es stellt sich heraus, dass eine Konzentration auf die artefaktische Dimension von Technik, wie sie dem Begriff *technisches System* inhärent ist, den Blick auf wesentliche relationale Phänomene in einer *Welt der technischen Systeme* verstellt und der in [32] verwendete Begriff des *technischen Prinzips* für die Analyse relationaler Phänomene besser geeignet ist.

Derartige technische Prinzipien können ihrerseits *Technologieniveaus* zugeordnet werden, in denen sich der wachsende Abstraktionsgrad der Beschreibungsdimension von Technologien manifestiert. Es wird weiterhin vorgeschlagen, zwischen jungen und reifen Technologien zu unterscheiden und den dort beobachteten Phasenübergang von Praxen genauer zu analysieren, die zunächst auf Erfinden und später auf Problemlösen ausgerichtet sind.

Damit ist das Ende der Fahnenstange aber noch nicht erreicht, denn diese *Prinzipien* prägen Objekten *Wirkungen* auf, die erst in ihrer Zusammenschau – als *Verhältnis von Verhältnissen* – ihre Gesellschaft strukturierende Wirkung einer theoretischen Reflexion zugänglich machen. Diese in den *technischen Objekten* materialisierten Verhältnisse von Verhältnissen konstituieren ihrerseits eine *Welt technischer Objekte*, in der wiederum die *Beziehungen* entscheidend sind für die Strukturierungsprozesse. Das im Einsteinjahr 2005 veröffentlichte *Potsdamer Manifest* [2] des VdW fordert deshalb eine Revolution des Denkens selbst – „think in a new way“ –, den Übergang von der Frage „Was ist?“ zur Frage „Was bindet?“, von einem „materialistisch-mechanistischen Weltbild“ zu einem „geistig-lebendigen Kosmos“.

Denn das Ganze ist *stets mehr* als die Summe seiner Teile.

Literatur

- [1] Ludwig von Bertalanffy (1950). An outline of General System Theory. The British Journal for the Philosophy of Science, vol. I.2, 134–165.
- [2] Hans-Peter Dürr, Daniel Dahm, Rudolf zur Lippe. Potsdamer Denkschrift. München 2006; 118. ISBN 978-3-86581-012-0.
- [3] Friedrich Engels (MEW 15). Die Geschichte des gezogenen Gewehrs. MEW 15, S. 195–226. Dietz Verlag, Berlin.
- [4] Thomas Friedli, Stefan Thomas, Andreas Mundt (2013). Management globaler Produktionsnetzwerke. Strategie – Konfiguration – Koordination. Hanser, München. ISBN 978-3-446-43449-3
- [5] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides (1995). Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley. ISBN 978-0-201-63361-0.
- [6] Klaus Fuchs-Kittowski (2000). Wissens-Ko-Produktion. Verarbeitung, Verteilung und Entstehung von Informationen in kreativ-lernenden Organisationen.
In: Fuchs-Kittowski u.a. (Hrsg.). Organisationsinformatik und Digitale Bibliothek in der Wissenschaft. Wissenschaftsforschung, Jahrbuch 2000. Gesellschaft für Wissenschaftsforschung, Berlin. http://www.wissenschaftsforschung.de/JB00_9-88.pdf
- [7] Kostas Galanakis (2006). Innovation process. Make sense using systems thinking. In: Technovation Volume 26, Issue 11, p. 1222–1232.
- [8] Slava Gerovitch (1996). Perestroika of the History of Technology and Science in the USSR: Changes in the Discourse. Technology and Culture, Vol. 37.1, S. 102–134.
- [9] Wolf Göhring (1999). Mittels Informations- und Kommunikationstechnik die Warenproduktion dialektisch aufheben? In: Jörg Becker, Wolf Göhring (Hrsg.). Kommunikation statt Markt: Zu einer alternativen Theorie der Informationsgesellschaft. GMD-Report 61, Sankt Augustin, Oktober 1999, 129–140.
- [10] Wolf Göhring (2007). Die revolutionäre Bedeutung von Informations- und Kommunikationstechnik als besonderer Produktivkraft. In: Horst Müller (Hrsg.). Die Übergangsgesellschaft des 21. Jahrhunderts. Kritik, Analytik, Alternativen. BoD, Nordstedt.
- [11] Jörg Goldberg, André Leisewitz (2016). Umbruch der globalen Konzernstrukturen. Z 108, S. 8–19.
- [12] Hans-Gert Gräbe (2018). 12. Interdisziplinäres Gespräch *Nachhaltigkeit und technische Ökosysteme*. Leipzig, 02.02.2018. <http://mint-leipzig.de/2018-02-02.html>.
- [13] Hans-Gert Gräbe (2019a). Наследие Движения Школ Изобретателей в ГДР и Развитие ТРИЗ (Das Erbe der Erfinderschulbewegung in der DDR und die Entwicklung der TRIZ). Erschienen im Online-Protokollband des TRIZ Summit 2019 Minsk.

- [14] Hans-Gert Gräbe (2019b). Aufzeichnung einer Diskussion über TRIZ und Systemdenken in meinem Open Discovery Blog. <https://wumm-project.github.io/2019-08-07>.
- [15] Hans-Gert Gräbe (2020). Reader zum 16. Interdisziplinären Gespräch *Das Konzept Resilienz als emergente Eigenschaft in offenen Systemen* am 7.2.2020 in Leipzig. <http://mint-leipzig.de/2020-02-07/Reader.pdf>.
- [16] Crawford S. Holling (2000). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. In: *Ecosystems* (2001) 4, 390–405.
- [17] Karl Koltze, Valeri Souchkov (2017). *Systematische Innovation*. Hanser, München. Zweite Auflage. ISBN 978-3-446-45127-8.
- [18] Markus Kropik (2009). *Produktionsleitsysteme in der Automobilfertigung*. Springer, Dordrecht. ISBN 978-3-540-88991-5.
- [19] S. Litvin, V. Petrov, M. Rubin (2007). *TRIZ Body of Knowledge*. <https://triz-summit.ru/en/203941>.
- [20] Alexander Lyubomirskiy, Simon Litvin, Sergey Ikovenko, Christian M. Thurnes, Robert Adunka (2018). *Trends of Engineering System Evolution*. Sulzbach-Rosenberg. ISBN 978-3-00-059846-3.
- [21] Karl Marx (MEW 3). *Thesen über Feuerbach*. MEW 3, S. 533–535. Dietz Verlag, Berlin.
- [22] Karl Marx (MEW 23). *Das Kapital, Band 1*. MEW 23. Dietz Verlag, Berlin.
- [23] Karl Marx (MEW 42). *Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie*. MEW 42. Dietz Verlag, Berlin.
- [24] Jürgen Mittelstraß (2011). *Schöne neue Leonardo-Welt*. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 25. Juli 2011, S. 7.
- [25] Franz Naetar (2005). „Commodification“, Wertgesetz und immaterielle Arbeit. *Grundrisse* 14, S. 6–19.
- [26] Klaus Pohl, Günter Böckle, Frank J. van der Linden (2005). *Software Product Line Engineering. Foundations, Principles and Techniques*. Springer. ISBN 978-3-540-28901-2
- [27] Niek D Du Preez, Louis Louw, Heinz Essmann (2006). An innovation process model for improving innovation capability. *Journal of high technology management research*, vol 17, 1–24.
- [28] Michail S. Rubin (2007). О выборе задач в социально-технических системах (Über die Wahl von Aufgaben in sozial-technischen Systemen). In: *ТРИЗ Анализ. Методы исследования проблемных ситуаций и выявления инновационных задач. (TRIZ-Analyse. Methoden zur Untersuchung von Problemsituationen und zur Identifizierung innovativer Aufgaben)*. Hrsg. von S.S. Litvin, V.M. Petrov, M.S. Rubin. Библиотека Саммита Разработчиков ТРИЗ, Москва. S. 35–46. <https://www.trizland.ru/trizba/pdf-books/TRIZ-summit2007.pdf>.

- [29] Michail S. Rubin (2010). Филогенез социокультурных систем. Секреты развития цивилизаций. (Phylogenese soziokultureller Systeme. Geheimnisse der Zivilisationsentwicklung). <http://www.temm.ru/en/section.php?docId=4472>.
- [30] Michail S. Rubin (2019). О связи комплекса законов развития систем с ЗРТС (Zur Verbindung des Komplexes der Gesetze der Systementwicklung mit den Gesetzen der Entwicklung technischer Systeme). Manuskript, November 2019.
- [31] Nikolay Shpakovsky (2003). Человек и Техническая Система (Der Mensch und das technische System). <https://wumm-project.github.io/Texts/Shpakovsky-mts-ru.pdf>
- [32] Nikolay Shpakovsky (2010). Tree of Technology Evolution. Forum, Moscow.
- [33] Leonid Shub (2006). Осторожно! Таблица технических противоречий. (Vorsicht! Die Widerspruchstabelle). <http://metodolog.ru/conference.html>. Siehe auch ders. Vorsicht Widerspruchsmatrix, Kurzfassung in Deutsch. <https://wumm-project.github.io/Texts/Shub-2006.pdf>.
- [34] Clemens Szyperski (2002). Component Software: Beyond Object-Oriented Programming. ISBN: 978-0-321-75302-1.
- [35] Target Invention (2020). TRIZ Trainer. <https://triztrainer.ru>.
- [36] Rainer Thiel (2007). Zur Lehrbarkeit dialektischen Denkens – Chance der Philosophie, Mathematik und Kybernetik helfen. In: Klaus Fuchs-Kittowski, Rainer E. Zimmermann (Hrsg.). Kybernetik, evolutionäre Systemtheorie und Dialektik. Trafo Verlag, Berlin 2012, ISBN: 978-3-89626-919-5, S. 185–202
- [37] VDMA. Maschinenbau in Zahl und Bild 2019.
- [38] Vladimir I. Vernadsky (1997, Original 1936–38). Scientific Thought as a Planetary Phenomenon. <https://wumm-project.github.io/Texts.html>
- [39] Wolfgang Weller (2008). Automatisierungstechnik im Überblick. Was ist, was kann Automatisierungstechnik? Beuth, Berlin. ISBN 978-3-410-16760-0.
- [40] Dietmar Zobel, Rainer Hartmann (2016). Erfindungsmuster. 2. Auflage. Expert Verlag, Renningen.
- [41] Dietmar Zobel (2020). Beiträge zur Weiterentwicklung der TRIZ. LIFIS Online 19.01.2020. DOI: 10.14625/zobel_20200119