

Technische Systeme und ihre Zwecke

Hans-Gert Gräbe, Leipzig

Version vom 19. Juli 2020

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.

1 Einführung

Die begriffliche Fundierung der eigenen Theorie wird auch im „TRIZ Body of Knowledge“ [7] nur halbherzig betrieben. Insbesondere in der Frage, was denn ein *technisches System* sei, wird auf die Anschauung verwiesen – jeder wisse doch, worüber hier die Rede sei. In diesem Aufsatz wird eine Annäherung an den Begriff *technisches System* versucht und gefragt, wie weit ein solcher Begriff trägt, um die *Welt der technischen Systeme* genauer zu analysieren. Die wenig überraschende Antwort lautet *nicht sehr weit*, denn das Ganze ist eben auch hier mehr als die Summe seiner Teile.

Nach einer kurzen Rekapitulation der in [5] genauer entwickelten Begrifflichkeiten zeige ich zunächst an einem Beispiel, in welchem Umfang auch in der TRIZ präzise Begriffsbildungen auf die Modellierung durchschlagen und damit auf den Umfang (abstrakter) Lösungsmodelle, aus denen eine realweltliche Lösung entwickelt werden soll.

Im zweiten Teil werden eine Reihe von Verbindungen der Evolution technischer Systeme mit sozio-kulturellen Prozessen diskutiert, die in der gängigen TRIZ-Theorie der „Evolution ingenieur-technischer Systeme“, etwa [8], stark unterbelichtet sind: Kooperation und Konkurrenz, Normierung und Standardisierung sowie Zwecksetzungen.

Dabei wird deutlich, dass relationale Verhältnisse in der *Welt der technischen Systeme* eher im Begriff des *technischen Prinzips* sichtbar werden als im Begriff des *technischen Systems*. Insofern ist der Zugang in [12] deutlich besser geeignet, die Evolution in der Welt der technischen Systeme zu beschreiben als der Zugang in [8]. 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* übertragen.

2 Technische Systeme – Versuch einer begrifflichen Näherung

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.

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.

Die Besonderheiten eines technischen Systems liegen damit vor allem im Bereich des *Zusammenspiels der Komponenten*, bei denen ebenfalls zwischen der Beschreibungsform (der Modellierung) und der Vollzugsform (dem Ausliefern, Verbauen und Betrieb realweltlicher Exemplare) unterschieden werden muss. Während in der Planungs- und Modellierungsphase noch viele Freiheiten für Änderungen offen bleiben, ist die Vollzugsform durch deutlich höhere Inflexibilität gekennzeichnet. Obwohl auch hier die Welt komplizierter ist als in einer solchen Dichotomie einzufangen – wer mag schon einen Plan ändern, der von den hohen Chefs bereits absegnet wurde –, soll im Weiteren mit dieser begrifflichen Reduzierung gearbeitet werden. 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.

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 in einem solchen Verständnis die epistemische Funktion der (funktionalen) „Reduktion auf das Wesentliche“ zu. In der TRIZ-Literatur spielen solche begrifflichen Fundierungen kaum eine Rolle. Einschlägige Lehrbücher wie etwa [6] betrachten den Begriff als intuitiv gegeben, der sich aus einer „industriellen Praxis“ heraus [6, S. 2] von selbst versteht, während andere Begriffe wie „Prozess“, „Produkt“, „Dienstleistung“, „Ressourcen“ und „Effekte“ [6, S. 6–10] genauer eingeführt werden. Wie kann der Begriff eines *technischen Systems* also weiter geschärft werden? In unserem Seminar [4] 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 [4, 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 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“¹ 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.

3 Lohnt Arbeit am Begriff? Ein Beispiel.

Lohnt Arbeit am Begriff und ist das dann noch TRIZ? Einer der Gutachter dieses Aufsatzes verneint wenigstens den zweiten Teil der Frage kategorisch und fordert ein Beispiel, das hier ergänzt sei.

¹Hierfür ist allerdings die Abgrenzung eines oder mehrerer Obersysteme in einer noch umfassenderen „Umwelt“ erforderlich.

Wir untersuchen das folgende leicht modifizierte Problem aus [15]: Die städtische Bibliothek hat ein neues Gebäude bekommen, in das sowohl die Bücher als auch die Ausleihe umziehen sollen. Leider reicht das Budget nicht, um den Umzug der Bücher komplett durch eine Umzugsfirma ausführen zu lassen. Was tun?

Zur TRIZ-Modellierung ist zunächst zu entscheiden, welche System-Obersystem-Beziehung näher betrachtet werden soll. Unser Begriffssystem, das von einer *Welt technischer Systeme* als kausal verbundener Black Boxes ausgeht, sieht den Begriff *Obersystem* kritisch und spricht stattdessen von *Nachbarsystemen*. Der *Zweck* dieses ersten TRIZ-Modellierungsschritts ist es, in der Welt der Black Boxes technischer Systeme eines auszuwählen, dessen genauere strukturell-funktionale Analyse (hoffentlich) zur Lösung des Problems führt. Diese Auswahl (Part 1 im ARIZ-85C [1]) erfolgt weitgehend heuristisch, wobei neben dem „unerwünschten Effekt“ vor allem die PNF (primär nützliche Funktion) handlungsleitend ist. In unserem Begriffsansatz fällt diese mit dem „Zweck“ des für die Detailanalyse ausgewählten Systems zusammen, also dem *Grund*, warum es dieses System in der Welt der Systeme überhaupt gibt. Dieser Grund erschließt sich wesentlich aus der Bedeutsamkeit des Systems für ein oder – in der Regel – mehrere Nachbarsysteme. Die PNF ist hier also wichtiger als die genaue Identifizierung des Obersystems.

Ich habe dies so genau erläutert, da unser Bibliotheksbeispiel hier bereits die erste Hürde bereithält. Dass die Bibliothek das (wenigstens im ersten Zugriff) genauer zu analysierende sozio-technische System ist, steht weitgehend außer Frage (bzw. sei hier als heuristische Annahme gesetzt). Auch dessen Technizität (sowohl mit Blick auf die artefaktische Ausstattung u.a. mit IT-Systemen als auch mit Blick auf die organisations-technische betriebsinterne Ablauforganisation) wird kaum jemand in Zweifel ziehen. Für eine SF-Modellierung² ist problematisch, dass der Umzug eine temporäre Zusatzfunktion des „Systems Bibliothek“ ist und mit der (bisher noch nicht bestimmten) PNF wenig zu tun hat. Andererseits ist die Bestimmung der PNF wichtig, da sich von dort aus die systemisch verfügbaren Ressourcen und Beziehungen besonders klar bestimmen lassen. Für unser Begriffsgebäude ist dies sogar *unverzichtbar*, da der systemspezifische Begriff der *Wesentlichkeit* an die PNF gebunden ist.

PNF. Wir müssen also, statt uns direkt um dem Umzug zu kümmern, zunächst den Umweg über die PNF gehen, die wir wie folgt postulieren: „Die Bibliothek leiht Bücher an Leser aus“. Als nächstes steht (in der Methodik von [15]) die Frage auf der Tagesordnung: „Wie arbeitet die Maschine (also die Bibliothek)?“ [15] bietet hierfür ein Template an, das von Energiequelle, Antrieb usw. bis zum bearbeiteten Objekt und zum nützlichen Produkt reicht.

Energiequelle. Die Frage nach der Energiequelle der Bibliothek scheint müßig, allerdings wird hier ein erster wesentlicher Differenzpunkt zwischen unserem begrifflichen Ansatz und dem üblichen TRIZ-Verständnis deutlich. In unserem Ansatz spielt neben der PNF als Beschreibungsförm des *Zwecks* auch der *Durchsatz* durch das System eine zentrale Rolle, der konstitutiv für die Reproduktion der inneren Systemstruktur ist. Dieser als „energy conductivity“ in Altschüllers 1984-er Liste von acht Gesetzen der technischen Entwicklung noch vorhandene

²Mit Blick auf den engen Zusammenhang von Funktionsanalyse [6, Kap. 4.4], Stoff-Feld-Modellen [6, Kap. 4.9] und der Anwendung 76 TRIZ-Standards [6, Kap. 4.10] verwende ich diese Abkürzung bewusst zweideutig – einmal als Stoff-Feld-Modellierung und andererseits als systemisch-funktionale Modellierung, siehe dazu auch [13].

Ansatz [8, S. 2] spielt in den „Trends“ [8, S. 6] keine Rolle mehr. Im Gegenteil kommt große Freude auf, wenn sich ein System so weit entwickelt hat, dass es die Energiequelle aus dem Obersystem ins eigene System integrieren konnte [8, S. 40]. Wie muss ich mir eine solche „Energieautarkie“ vorstellen? Ist die Energie nicht irgendwann einmal „verbraucht“? Muss das Auto auch mal tanken, um seine „Energiequelle“ neu aufzufüllen? Ist die Energiequelle also gar keine Energiequelle, sondern nur ein Energiespeicher, und die ganze Errungenschaft besteht darin, dass der Energiedurchsatz von einem kontinuierlichen Betrieb (TRIZ-Prinzip 20) zu einem Impulsbetrieb (TRIZ-Prinzip 19) übergegangen ist? Worin aber besteht der Fortschritt, wenn der Rückschritt (zum TRIZ-Prinzip 20) auch wieder als Fortschritt verkauft werden kann? Selbstverständlich ist es sinnvoll, bei der Reduktion auf Wesentliches im Zuge der an der PNF orientierten Systemmodellierung diesen Energiespeicher dann doch als „Energiequelle“ anzusehen, aber natürlich nur als *Fiktion*, als „verkürzte Sprechweise über eine gesellschaftliche Normalität“ [5], wenn der Prozess des Auffüllens des Energiespeichers bei der systemischen Reduktion auf Wesentliches ausgeblendet wird.

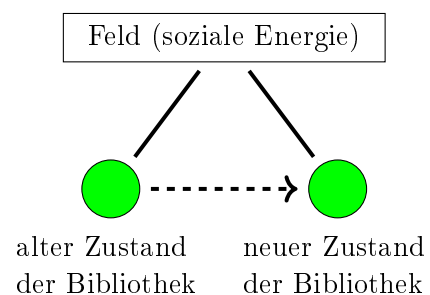
Was also ist die „Energiequelle“ der Bibliothek, d.h. der äußere Durchsatz, der die innere Struktur aufrechterhält? Offensichtlich das *Budget*, aus dem heraus die Bibliothek die Organisation ihres Betriebs finanziert. Verteilt man dies nach [15] genauer auf Energiequelle, Antrieb und Transmission, so sehen wir, dass die „Energiequelle“ Geld ist, der Antrieb „das Bibliotheksbudget“ und die „Transmission“, als der Prozess der Umwandlung einer Energieart in eine andere, nützlichere, die Umwandlung der „Geldenergie“ in „soziale Energie“.

Bereits an dieser Stelle kommen wir zu einer ersten Analyse der Problemumstände samt Lösungsvorschlag, der allerdings einen Übergang ins Obersystem erfordert:

- *Konfliktursache*: Das Problem ist durch einen unzureichenden energetischen Durchsatz bedingt; mit der verfügbaren Energie kann die erforderliche Systemstruktur nicht aufgebaut werden, wir brauchen mehr Geld.
- *Verfeinertes Problemmodell*: Wie kann die Bibliothek ihr Budget aufstocken?
- *Brainstorming-Lösung*: Crowdfunding.

Aus Platzgründen verzichte ich auf eine genauere Analyse dieses Problemmodells, die zu deutlich tragfähigeren Lösungen durch entsprechende Aktionen im stadtpolitischen Bereich führt. Wir suchen allerdings eine Lösung, die mit dem gegebenen Globalbudget der Bibliothek auskommen muss. Dazu müssen wir nun doch besser verstehen, „wie die Maschine arbeitet“. Bevor wir uns in Details der PNF vertiefen, versuchen wir zunächst zu verstehen, was der „Umzug“ bedeutet. Vielleicht können wir ja eine Detailmodellierung vermeiden. Mit dem Umzug ist offensichtlich ein Phasenübergang der Bibliothek von einem alten zu einem neuen Zustand verbunden.

Dies kann in einem SF-Diagramm dargestellt werden, wobei das Problem in der unzureichenden Wirkung besteht. Das SF-Diagramm (ohne „Feld“) ist bereits das komplette funktionale Modell nach [6, Kap. 4.4], zur Verstärkung der unzureichenden Wirkung können die erfinderischen Standards [6, Kap. 4.10] konsultiert werden. Dazu ist nach [6, Kap. 4.9] das funktionale Modell durch ein „Feld“ zu einem SF-Modell zu ergänzen. Das



Feld ist die Quelle der „Energie“ für die Wirkung [6, S. 185]. Unser Diagramm ist allerdings kein Substanz-Feld-Diagramm, sondern ein System-Funktions-Diagramm. Die „Substanzknoten“ sind zwei verschiedene Zustände des Systems, das „vermittelnde Feld“ steht für die – als „soziale Energie“ bereits in „nützlicher“ Form vorliegende – Energie, die für die *Ausführung* der Transitionswirkung erforderlich ist, die das System von dem einen in den anderen Zustand überführt. Die Intensität jenes Feldes wird teilweise durch die Umwandlung von „Geldenergie“ in „soziale Energie“ gespeist, die durch einen einfachen Vertrag mit dem Transportunternehmen angestoßen wird.

Wir können – wie auch sonst bei SF-Modellen – in den TRIZ-Standards nach Lösungsansätzen für die Verstärkung der Wirkung suchen, was hier aus Platzgründen nicht im Detail ausgeführt werden kann. Es ergeben sich drei Konfliktlösungshypothesen:

- 1) Wenn wir weniger Bücher hätten, dann würde das Geld ausreichen.
- 2) Wenn wir mehr Geld hätten, dann könnten wir alle Bücher transportieren.
- 3) Wenn der Transport eines Buches weniger kosten würde, dann könnten wir mit dem vorhandenen Budget alle Bücher transportieren.

Alle drei Hypothesen sind eine genauere Analyse wert und führen auf sehr verschiedene Lösungsansätze. Wir schauen uns nur Option 1 an, um dabei einen weiteren Problempunkt zu besprechen.

Wie kann also die Zahl der transportierten Bücher reduziert werden? Dazu müssen wir uns nun doch der PNF zuwenden und genauer verstehen, „wie die Maschine funktioniert“. Ich rekapituliere zunächst kurz, wie man Leser wird: Man meldet sich an und bekommt einen Leserausweis, mit dem man sich gegenüber dem IT-System der Bibliothek als ausleihberechtigter Leser ausweisen kann. Die TRIZ-Modellierung nach „Werkzeug → Aktion → bearbeitetes Objekt → nützliches Produkt“ ([15]) ist klar: *Werkzeug* ist das IT-System der Bibliothek (das von einem Bibliotheksmitarbeiter als Operator *gesteuert* wird), *Aktion* ist die Anmeldung als Nutzer, *bearbeitetes Objekt* ist der Datenbankeintrag des Nutzers und *nützliches Produkt* die Nutzerregistrierung.

Wie aber funktioniert das Ausleihen eines Buches? An diesem Vorgang sind *drei* Entitäten beteiligt – das IT-System der Bibliothek, der Leser und das Buch. Wie diese auf die *zwei* Stellen im Template „Werkzeug → leiht aus → Objekt“ verteilen? Eine genaue Betrachtung zeigt, dass hier das Werkzeug IT-System eine *Beziehung* zwischen Leser und Buch herstellt. Auch datenbanktechnisch ist das Ganze klar – in einem (normalisierten) Datenbankschema gibt es dazu eine Referenztable „ausgeliehen“, in der ein neuer Datensatz mit der Nutzer-Id und der Buch-Id eingetragen wird. Objekte können also auch *Relationen zwischen Objekten* sein, und eine solche Relation kann leicht in ein eigenes Objekt verwandelt werden, indem der Datensatz selbst eine Id erhält.

Eine saubere Begriffsbildung führt uns damit in Bereiche eines Objektbegriffs, die für Informatiker alltäglich, in der TRIZ mit einem stark artefaktisch aufgeladenen Objektbegriff aber schwer zu denken sind.

Den Rest des Beispiels kürze ich ab: Wir sehen, dass es ausgeliehene und nicht ausgeliehene Bücher gibt, und nur die nicht ausgeliehenen müssen von der Umzugsfirma transportiert werden. Lasst uns also überlegen, wie wir erreichen können, dass möglichst viele Bücher ausgeliehen sind.

4 Der Technikbegriff des VDI

Wir hatten im letzten Abschnitt gesehen, welche Bedeutung bereits in einfachen Anwendungskontexten die Fassung relationaler Verhältnisse unter dem Objektbegriff hat. Szyperski [14] nimmt dies als Ausgangspunkt für eine deutliche Trennung der Begriffe *Komponente* und *Objekt*, was hier nicht im Detail ausgeführt werden kann. In der klassischen TRIZ dagegen ist es eher schwierig, zwischen den Begriffen „technisches System“, „Komponente“, „Objekt“, „Element“ oder „Produkt“ (russ: изделие, besser übersetzt als „Erzeugnis“) zu unterscheiden. So kennt das TRIZ-Glossar in der VDI-Norm 4521 [17] zwar den Eintrag *technisches System* als „menschengemachte Gesamtheit aus mehreren miteinander wechselwirkenden Elementen, die einen Zweck erfüllen“ (ebenda, S.8), aber einen Glossareintrag „Element“ sucht man vergebens, wie auch die weiteren Begriffe „Komponente“, „Objekt“, „Produkt“ oder „Erzeugnis“.

Der Technikbegriff taucht in jener Norm an einer zweiten Stelle in einem Nebensatz auf, wo es um den Anspruch einer TRIZ-Theorie geht, „allgemeine Entwicklungstendenzen technischer, das heißt zweckorientierter, Systeme identifizieren“ zu können. Boris Zlotin sieht statt der Zweckorientierung in seinem Vorwort zu [8] eine ganz andere zentral treibende Entwicklungskraft: „Innovation, which can be broadly defined as the development of new systems ..., is generally *driven by the advancement of scientific knowledge*“ (meine Hervorhebung).

Die Begriffe der VDI-Norm 4521 kennen also durch Zwecke getriebene „Gesamtheiten wechselwirkender Elemente“, bieten aber nicht einmal das Instrumentarium, die für jeden Ingenieur selbstverständliche Unterscheidung von Modell und Realität eines technischen Systems sprachlich zu fassen.

Die Autoren der Norm 4521 müssen sich auch fragen lassen, wie es um die Konsistenz des VDI-Normenwerks als Ganzes bestellt ist, denn die (in [17] nicht einmal erwähnte) VDI-Norm 3780 „Technikbewertung“ entwickelt einen deutlich reichhaltigeren Technikbegriff als

- 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 die Begriffe „technisches System“ und „Element“ zugunsten von „nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilden“. Ähnlich [11] mit dem Begriff des *technischen Objekts*, der dort dem Begriff des *technischen Systems* vorgängig ist. In der VDI-Norm 3780 werden neben der artefaktischen Dimension auch noch „Sachsysteme“ einbezogen werden – neben der Maschine also auch noch die Maschinerie³ und damit die Unikate technischer Großsysteme.

Auch damit ist die Unterscheidung zwischen Modell und Realität technischer Systeme noch nicht besprochen, allerdings ist der *Zweck* jener VDI-Norm 3780 auch ein anderer: Es geht um die gesellschaftlichen Konsequenzen des *Betriebs* technischer Systeme. In der klassischen TRIZ bleibt diese Betriebsfrage (möglicherweise zurecht) weitgehend ausgeblendet, da in deren Ent-

³Marx geht hier noch weiter: Das „*automatische System der Maschinerie* [...] verwandelt die Maschinerie erst in ein System“ (MEW 42, S. 584).

scheidungsprozessen deutlich komplexere sozio-kulturelle Zusammenhänge zu berücksichtigen sind.

5 Kooperation, Konkurrenz und die Welt technischer Systeme

In den folgenden Abschnitten werden wir drei Aspekte der Einbettung unseres Begriffs eines *technischen Systems* in komplexere sozio-kulturelle Prozesse genauer anschauen und dabei unsere Begriffsbildungsprozesse weiter vertiefen. In einem ersten Schritt untersuchen wir, in welchem Verhältnis Erfinden und Erwerben technischer Systeme stehen.

Die Beschreibung von Planung, Entwurf und Verbesserung technischer Systeme geht in unserem 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 Nachbarsysteme zu berücksichtigen sind. Neben dem *Erfinden* steht also auch das *Erwerben* entsprechender Komponenten – oder auch nur der Einkauf von deren Leistung als *Service* – sowie das *Kooperieren mit unabhängigen Dritten* auf der Tagesordnung.

Ingenieur-technische Praxen bewegen sich damit in einer komplexen *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.

[8] schränkt den Blick dennoch auf den Begriff eines *technischen Systems* (dort genauer „engineering system“) in einem engeren, von sozialen Momenten abstrahierenden Verständnis ein, um deren „Evolution“ aus einer Perspektive der „Marktgängigkeit“ zu untersuchen. Ein solcher Zugang ist durchaus plausibel, denn einerseits ist jede konkrete Ware selbst ein technisches System im oben entwickelten Verständnis, wenn sie als durch ihre Spezifikation gegebenes Ensemble „nützlicher“ Funktionalitäten betrachtet wird, und andererseits sind diese Funktionen an *Zwecke* gebunden, die sich unter bürgerlich-kapitalistischen ökonomischen Verhältnissen im Warenaustausch zu bewähren haben.

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. Diese realweltliche Struktur der *Technologiemärkte* ist der in [8] ausgeführten S-Kurven-Analyse vorgängig und wird dort implizit als gegeben vorausgesetzt. Jeder solche Technologiemarkt ist durch ein spezifisches Bündel technischer Funktionalitäten charakterisiert, wobei [8] 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

⁴Diese Grenzen sind allerdings fließend, wie A. Kuryan in der Diskussion [3] 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.

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 Technologiemarkten 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. Damit verschiebt sich aber das 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 das konfliktträchtige Verhältnis von Waren auf dem Markt das mit Widersprüchen aufgeladene Spannungsverhältnis der Produzenten die begründeten Erwartungen und erfahrenen Ergebnissen der Konditionen *früheren* Austauschs ihrer Arbeitsprodukte spiegelt.

Dieses Konkurrenzverhältnis auf Märkten ist allerdings in das übergeordnete kooperative Verhältnis der Fähigkeit von Komponenten eingeordnet, *überhaupt* zusammen zu funktionieren. Die Frage „Was ist eine Komponente?“ wird deshalb in [14] gleich zu Anfang einfach beantwortet: „Components are for composition“. Der Rest des Buches dreht sich um die Konzepte und Modi einer solche „composition“, wobei sich die konkreten Kompositionsverfahren in entsprechenden *Komponenten-Frameworks* wie etwa Spring Boot manifestieren als gemeinsame Klammer, die Anbieter einer Komponente und Kunden als Nutzer dieser Komponente in eigenen komplexeren Systemstrukturen als gemeinsamen Kontext ihres Handelns vorfinden. Ein solches Komponenten-Framework beschreibt nicht nur das durch Normungen und Standardisierungen geprägte prinzipielle Zusammenwirken der Komponenten auf einer höheren Ebene der Abstraktion (Beschreibungsdimension), sondern wird auch von verschiedenen Anbietern als Laufzeitsystem für Komponenten (Vollzugsdimension) zur Verfügung gestellt.

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 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.

6 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 einfache Weise zu entwerfen, indem die *Logik der Fachanwendung* als „core concern“ der Komponenten mit der *Logik der Vernetzung* der Infrastruktur als „cross cutting concerns“ zusammengeführt wird. Beide Logiken sind orthogonal zueinander, womit die Trends 4.2 „of increasing system completeness“ und 4.4 „of transition to the supersystem“ in [8] einander praktisch entgegenwirken.

Eine „increasing system completeness“ spielt gegenüber einer Kombinierbarkeit vom Komponenten in Baukastensystemen für „reife“ Technologien eine deutlich geringere Rolle, 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 werden⁵, wobei je nach 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.

Ein solcher Normierungsprozess öffnet zugleich Räume für ökonomische Skaleneffekte für Standardkomponenten, d.h. für „reife“ 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 [8, S. 38], sondern geht auf dem Höhepunkt ausgereifter *technischer* Qualität 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“ [6, 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*. Damit wechselt im S-Kurven-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 [10] hinreichend beschrieben; das Thema muss hier also nicht vertieft werden.

Die hier mit dem TRIZ-Prinzip 17 diagnostizierte *Phasengrenze* in der Welt technische Systeme grenzt zwei Entwicklungsphasen voneinander ab – „junge“ und „reife“ Technologien. Wir sehen an der Stelle zugleich, dass dazu der Begriff des technischen Systems als *Bündel von*

⁵Wobei durch Fortschritte der Materialwissenschaften insbesondere mit Klettverschlüssen eine massive Rückkehr zu *mechanischen* Kopplungsprinzipien entgegen dem TRIZ-Prinzip 28 des *Austauschs mechanischer Wirkschemata* zu verzeichnen ist.

Funktionalitäten aus *verschiedenen* technischen Bereichen aufgeschnürt und Funktionalitäten unter dem Aspekt Technologie im Begriff des *technischen Prinzips* nach *gleichartigen Funktionalitäten* anders zusammengefasst werden müssen.

Auf der Suche nach Strukturierungsprinzipien in der Welt der technischen Systeme 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 Entwicklungsgesetz technischer Systeme aufgedeckt, das in [8] aus offensichtlich strukturellen Gründen keine Rolle spielt – der Erfahrungshintergrund von [8] 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 TRIZ-Praktikern, 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 verbergen, die in einem gesellschaftlichen Synchronisationsverhältnis stehen, das sich parallel zur Entwicklung technischer Systeme entwickelt.

7 Zwecke

Wir haben damit, neben der klassischen TRIZ-Welt des Problemlösens beim „Erfinden“, dem Erkunden von Neuland, eine zweite Welt technischer Systeme identifiziert, die sich über Normierungen und Standardisierungen als Welt der Allgemeinverfügbarkeit präsentiert, 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 [9] als „schöne neue Leonardowelt“ bezeichnet hat. Vielleicht sind es aber auch keine „Artefakte“ sondern eher „technische Objekte“, die N. Shpakovsky in [11] 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.

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 wird in [5] gezeigt, 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 – dabei wird das Relationale, die einzelne Funktion, der einzelne Dienst als Substanz betrachtet 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 zusammengestellt werden. *Entwicklungslinien* solcher als Funktionsbündel entstandener technischer Systeme folgen Feld-Evolutionslinien und 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 [14, 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, etwa als Einheit der Abstraktion („design expertise embodied ready for use“), Einheit der Abrechnung (Einheit der Kostenüberwachung), Einheit der Analyse (Einheit der Fehlersuche) usw. Diese *Zwecke zweiter Ordnung* sind ihrerseits nicht unabhängig voneinander, wie [14, 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 kooperativer 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 [2] und Prozesstemplates wie „dependency injection“ oder „inversion of control“ strukturiert werden usw., kann hier nicht im Detail erörtert werden.

Wir sehen, 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*.

Technische Systeme erscheinen damit als Funktionsbündel und 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. Es gibt allerdings einen Unterschied – Standardisierungen auf höherer Abstraktionsebene richten sich nicht so sehr auf Wiederverwendung (reuse) als auf gemeinsame Nutzung (sharing). In [14, Kap.9] werden unter der Überschrift „Pattern, Frameworks, Architectures“ (informatische) Beispiele einer solchen *gemeinsamen Verwendung* genannt.

8 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 [8]) 10 TRIZ-Evolutionstrends wird auf dieser Basis ein Universum theoretischer Reflexion praktischer Erfahrung aufgespannt, das sich befragen lassen muss, ob das Fundament überhaupt ein solches ständig weiter wachsendes Gebäude tragen kann.

In diesem Aufsatz wurde der Versuch unternommen, die Tragfähigkeit des Begriffs *technisches System* für diesen Theoriekontext genauer auszuleuchten. Es stellt sich heraus, dass bei der Betrachtung konkreter Teilfragen durchaus eine Reduktion allein auf die technische Dimension angebracht sein kann, im generelleren Kontext die Stellung und Bedeutung konkreter technischer Systeme – ob nun in der Modellierungs- oder Realisierungsperspektive – ohne eine Berücksichtigung der (sozio-kulturell determinierten) *Zwecke* ihrer Existenz nicht verständlich wird. Mehr noch spiegeln sich in diesen Zwecken eher *relationale Strukturen* des Verhältnisses *zwischen* technischen Systemen, die sich erst in der Betrachtung der *Welt technischer Systeme* als Ganzer erschließen und nicht schon aus der Analyse eines einzelnen konkreten technischen Systems.

Wir zeigen weiter, dass es einen großen Unterschied zwischen „jungen“ und „reifen“ technischen Systemen gibt, bei ersteren in der Tat die technische Dimension der Entwicklung konkreter *technischer Prinzipien* durch *Erfinden* im Vordergrund steht, bei zweiteren aber die sozio-ökonomische Dimension der *Einbeziehung* fremden technischen Know-hows beim konkreten Lösen von Problemen und damit die sozio-kulturellen Vernetzungsstrukturen einer *Welt technischer Systeme* in den Vordergrund rücken, die *privates Verfahrenskönnen* ganz anderen Zuschnitts erfordern.

Denn auch hier gilt: das Ganze ist *mehr* als die Summe seiner Teile.

Literatur

- [1] Isak Bukhman (2018). Algorithm for Inventive Problem Solving (ARIZ-85C). Tutorium at TFC 2018.
<https://tfc2018.fr/tutorial-algorithm-for-inventive-problem-solving-ariz-85c>
- [2] 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.
- [3] Hans-Gert Gräbe (2019). Bericht zu einer Diskussion über TRIZ und Systemdenken in meinem Open Discovery Blog. <https://wumm-project.github.io/2019-08-07>.
- [4] 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>.
- [5] Hans-Gert Gräbe (2020). Die Menschen und ihre Technischen Systeme. LIFIS Online 05/19/2020. DOI: 10.14625/graebe_20200519.
- [6] Karl Koltze, Valeri Souchkov (2017). Systematische Innovation. Hanser, München. Zweite Auflage. ISBN 978-3-446-45127-8.
- [7] Simon Litvin, Vladimir Petrov, Michail Rubin (2007). TRIZ Body of Knowledge.
<https://triz-summit.ru/en/203941>.
- [8] Alexander Lyubomirskiy, Simon Litvin u.a. (2018). Trends of Engineering System Evolution. ISBN 978-3-00-059846-3.
- [9] Jürgen Mittelstraß (2011). Schöne neue Leonardo-Welt. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 25. Juli 2011, S. 7.
- [10] Franz Naetar (2005). „Commodification“, Wertgesetz und immaterielle Arbeit. Grundrisse 14, S. 6–19.
- [11] Nikolay Shpakovsky (2003). Человек и Техническая Система (Der Mensch und das technische System).
<https://wumm-project.github.io/Texts/Shpakovsky-mts-ru.pdf>
- [12] Nikolay Shpakovsky (2010). Tree of Technology Evolution. Forum, Moscow.
- [13] Yevgeni E. Smirnov (2016). Элементно-функциональное моделирование конфликтов: ЭФМ.К (Element-Funktions-Modellierung von Konflikten: EFM.K). In: Три поколения ТРИЗ. Материалы ежегодной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Г.С. Альтшуллера (Drei Generationen der TRIZ. Materialien der jährlichen wissenschaftlich-praktischen Konferenz, dem 90. Geburtstag von G.S. Altshuller gewidmet), St. Petersburg 2016.
- [14] Clemens Szyperski (2002). Component Software: Beyond Object-Oriented Programming. ISBN: 978-0-321-75302-1.
- [15] Target Invention (2020). TRIZ Trainer. <https://triztrainer.ru>.

- [16] VDI-Norm 3780. Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen. September 2000.
- [17] VDI-Norm 4521 Blatt 1. Erfinderisches Problemlösen mit TRIZ – Grundlagen und Begriffe. April 2016.