

Alex Lyubomirskiy
Dr. Simon Litvin
Dr. Sergei Ikovenko
Prof. Dr.-Ing. Christian M. Thurnes
Dr. Robert Adunka

Trends der Evolution Technischer Systeme

Innovationspfade gestalten mit den
Trends of Engineering System Evolution
(TESE)

2 TRIZ-Werkzeuge zur Untersuchung und Gestaltung der Evolution technischer Systeme

Das dritte und vierte Kapitel dieses Buches werden sich intensiv mit den Trends der Evolution technischer Systeme (TESE) auseinandersetzen. Die vorgestellten Ansätze zur Gestaltung der Entwicklung technischer Systeme sind das Ergebnis der Interpretation, Anpassung, Umstrukturierung und Erweiterung klassischer Erkenntnisse und Werkzeuge der TRIZ.

Die TESE basieren hauptsächlich auf der Forschung und den praktischen Erfahrungen von Alex Lyubomirskiy und Simon Litvin (siehe [Lyub03; Gen3]) und Sergei Ikoventkos Arbeit als Berater und Trainer (siehe z. B. [Ikov14]). Andere bekannte Forscher*innen auf diesem Gebiet sind B. Zlotin, A. Zusman, V. M. Petrov, A. Bystritsky, V. Dubrov, G. Ezersky, V. Fey, G. Frenklakh, V. Guerassimov, B. Goldowsky, G. Ivanov, I. M. Kondrakow, D. Mann, A. Pinyaev, M. Rubin, Y. P. Salamatov, I. M. Vertkin, I. Zakharov und viele andere. Am Ende dieses Buches finden Sie eine umfangreiche Liste mit zitierter und thematisch relevanter Literatur.

Die Wurzeln der Trends der Evolution technischer Systeme sind in der klassischen TRIZ zu finden. Genrich S. Altshuller führte im 20. Jahrhundert grundlegende Ideen über die Entwicklung technischer Systeme ein. Seine Arbeiten zu diesem Thema bildeten die Grundlage für viele andere Ideen, Prinzipien und Werkzeuge der TRIZ. Im Lauf der Zeit gewannen Altshuller und seine Kolleg*innen immer mehr Erkenntnisse über die Evolution technischer Systeme und erarbeiteten praktische Ratschläge für die Gestaltung effektiver Systeme oder zumindest die Berücksichtigung typischer Evolutionspfade hierbei. Aufbauend auf Altshullers Arbeiten haben Wissenschaftler und Praktiker verschiedene Strukturen, Verfahren und Werkzeuge entwickelt. Aus diesem Grunde – und weil die TRIZ-Prinzipien inzwischen in verschiedene Sprachen übersetzt wurden – sind in diesem Feld heute unterschiedlichste Begriffe zu finden: Evolutionsgesetze, Entwicklungsgesetze, Muster, Linien und einige mehr.

Bevor wir das Konzept der TESE näher erläutern, seien noch einige Meilensteine in diesem Bereich erwähnt. Die folgenden Ausführungen sind exemplarisch und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Als wesentlichste Grundlage nahezu aller Arbeiten zum Thema sind Altshullers „Laws of the development of systems“ zu betrachten, die viele TRIZ-Anwender*innen und -Forscher*innen inspirierten. Im 1979 erschienenen Buch „Creativity as an exact science“ erläuterte Altshuller folgende Entwicklungsgesetze [Alts84, S. 223-231]:

1. The law of completeness of the parts of the system
2. The law of „energy conductivity“ of a system
3. The law of harmonizing the rhythms of parts of the system
4. The law of increasing the degree of idealness
5. The law of uneven development of the parts of a system
6. The law of transition to a super-system
7. The law of transition from macro to micro level
8. The law of increasing S-Field involvement

Altshuller bezeichnete die ersten drei Gesetze als „statisch“, die Gesetze 4 bis 6 als „kinematisch“ und die beiden letzten Gesetze als „dynamisch“. Er hielt fest, dass die statischen und kinematischen Gesetze zu jeder Zeit und für alle Arten von Systemen gelten würden (also z. B. auch biologische Systeme), während die dynamischen Gesetze die Haupttendenzen technischer Systeme unserer Zeit widerspiegeln (vgl. [Alts84, S. 230]).

Spätere Veröffentlichungen enthielten detailliertere Hinweise zur Evolution technischer Systeme und praktische Hilfestellungen dazu, wie die Gesetze genutzt werden können. So beschreiben beispielsweise Altshuller, Zlotin, Zusman und Philatov im Buch „Search for new ideas“ [Alts89] 22 Linien der Systemevolution, die in 9 Kategorien unterteilt sind (auch als Gesetze oder Muster bezeichnet). Jede Kategorie enthält eine oder mehrere Evolutionslinien. Manche Linien sind anderen untergeordnet und spezifizieren die übergeordnete Linie. So enthält beispielsweise die Kategorie „decreasing human involvement“ eine generelle Linie bezüglich der Reduzierung der menschlichen Einbindung, die wiederum zwei spezifischere untergeordnete Linien aufweist: „decreasing human involvement on one level“ und „decreasing human involvement between levels“ [Alts89, S. 365-368]. Eine ins Englische übersetzte und erweiterte Version dieser Linien ist im Buch „Tools of classical TRIZ“ [Alts99, S. 11-23] zu finden. Dort werden insbesondere auch hierarchische Strukturen innerhalb der Evolutionslinien hervorgehoben. Das folgende Beispiel verdeutlicht dies [Alts99, S. 23]:

- ...
- general line of decreasing human involvement: ...
 - line of decreasing human involvement on one level:
 - technical systems involving human interactions will evolve along this line:
 - substituting an executing element for people
 - substituting transformers of energy for people
 - substituting sources of energy for people
 - line of decreasing human involvement between levels: ...
- ...

Hierarchische Strukturen können in vielen Arbeiten zum Thema gefunden werden, inklusive der späteren Arbeiten von Zlotin, Zusman und anderen (vgl. z. B. [Zlot01a]). Auf höchster Ebene sind dabei verschiedene Evolutionsmuster angesiedelt, die auf Altshullers Gesetzen der Evolution technischer Systeme und deren Linien basieren. Diese Muster beschreiben Terninko et al. beispielsweise als Gesetzmäßigkeiten der technischen Evolution (vgl. [Tern98, Herb98]):

- Stufenweise Evolution
- Verstärkte Nutzung von Ressourcen
- Vergrößerung der Idealität
- Uneinheitliche Entwicklung der Systemteile
- Erhöhung von Dynamik und Steuerung
- Über Komplexität zur Einfachheit
- Evolution mit passenden und gezielt nicht passenden Komponenten
- Miniaturisierung und verstärkter Einsatz von Feldern
- Geringere menschliche Interaktion

In weiteren Arbeiten wurden mehr und mehr Linien entdeckt (siehe z. B. 11 Gesetze mit 42 Linien der Evolution bei [Idea20]) und auch Vorgehensweisen zur Identifizierung systemspezifischer Linien entwickelt (siehe [Idea99]) – sowohl für technische Systeme als auch in nicht-technischen Bereichen (siehe [Zlot01b]). Die Directed Evolution® Software* [Dire] beinhaltet eine Sammlung hunderter Muster, Linien, Werkzeuge und Operatoren als Unterstützung für die Bewältigung von Aufgabenstellungen im Bereich der Systemevolution. Nikolay Shpakovsky veröffentlichte 2016 seine Vorgehensweise zum Arbeiten mit „Bäumen der technologischen Evolution“. Das englischsprachige Buch besticht durch zahlreiche eindrucksvolle Illustrationen und Beispiele [Shpa16].

* Directed Evolution® ist ein „Registered Trademark“ der Firma Ideation International Inc.

4 Trends der Evolution Technischer Systeme (TESE)

Die Trends der Evolution Technischer Systeme (Trends of Engineering System Evolution – TESE) sind ein wesentlicher Bestandteil der TRIZ (vgl. [VDI16, S. 14]). Als Altshuller die TRIZ entwickelte, wurde noch sehr abstrakt über Trends, Gesetze, Muster oder Linien gesprochen. Heute sind Trends sehr operativ beschrieben, weil inzwischen viel darüber bekannt ist, wie sie in der Praxis genutzt werden können.

In Kapitel 2 wurden verschiedene Listen und Anordnungen von Trends vorgestellt. Kapitel 3 erläuterte den Trend der Evolution entlang der S-Kurven sehr detailliert, weil er so komplex und bedeutend ist. Im weiteren Verlauf des Buches werden die Trends der unten dargestellten Hierarchie (siehe Abb. 4.1) untersucht. Sie tragen alle innerhalb dieser hierarchischen Struktur zur Evolution entlang der S-Kurve bei.

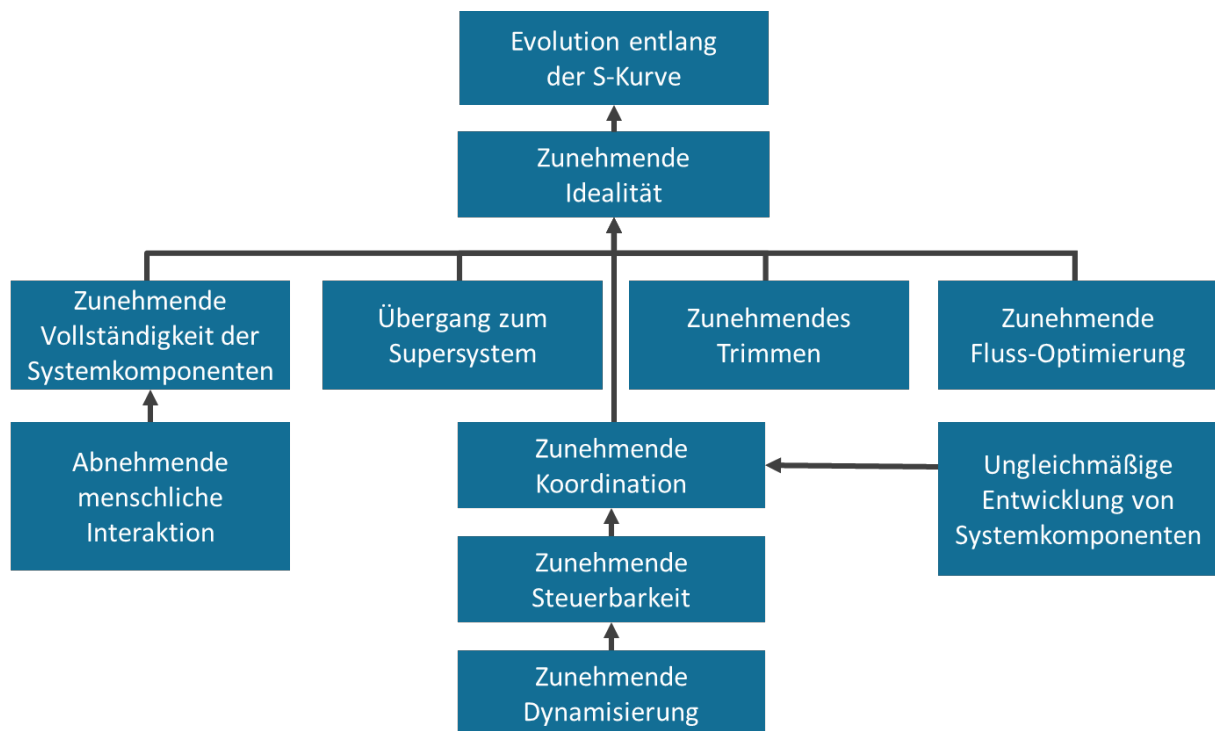


Abb. 4.1: Hierarchie der Trends [Lyub03]

Wenn sich ein technisches System entlang eines Trends weiterentwickelt, wirkt sich dies auch auf seine Entwicklung entlang anderer Trends aus. Wenn z. B. die Vollständigkeit der Komponenten eines Systems erhöht wird, kann das System auch koordinierter werden. Die Evolution des Systems hängt auf vielfältige Weise mit verschiedenen Trends zusammen. Daher bietet dieses hierarchische System keine exakten Handlungsanweisungen für die Problemlösung. Es funktioniert eher wie ein Unterstützungssystem für ein gerichtetes Brainstorming darüber, welche Schritte unternommen werden könnten, um das System weiter zu entwickeln. Einige Trends wurden bereits recht ausführlich untersucht, andere nicht. Einige Trends sind mit hilfreichen TRIZ-Tools ausgestattet worden, andere wiederum nicht. In diesem Feld steckt noch viel Potenzial für Forschung und Operationalisierung.

In den nächsten Kapiteln werden die Trends of Engineering System Evolution (TESE) detailliert vorgestellt. Hierbei folgen wir dem von Ljubomirskiy und Litvin entwickelten TESE-Leitfaden sowie den zugehörigen Schulungsmaterialien [Lyub03; Ikow14].

4.1 Trend der zunehmenden Idealität

Der Trend der zunehmenden Idealität (auch Trend des zunehmenden Werts genannt) ist universell und steht daher an der Spitze der Hierarchie. Er besagt im Wesentlichen, dass der Wert bzw. die Idealität des Systems im Rahmen seiner Weiterentwicklung zunimmt. Wert ist in diesem Fall das Verhältnis von Gesamtfunktionalität zu Kosten. Wenn wir es den Trend zunehmender Idealität nennen, ist die Idealität das Verhältnis von nützlichen Dingen, die das System erzeugt, zu den schädlichen Faktoren, die es uns kostet (vgl. [VDI16, S.13]). Alle anderen Trends sind als Mechanismen bzw. Subtrends dieses Trends zu verstehen: Der Wert bzw. die Idealität kann gesteigert werden, indem das System getrimmt, mit anderen Systemen verschmolzen, vervollständigt wird und so weiter. Vereinfacht formuliert: Es gibt viele Möglichkeiten, Idealität bzw. Wert zu steigern. Deshalb dienen die anderen Trends als Mechanismen für den Trend der zunehmenden Idealität bzw. des zunehmenden Werts.

Darüber hinaus hat der Trend der zunehmenden Idealität seine eigenen internen Mechanismen. Sie basieren auf dem Trend der S-Kurven-Evolution. Es gibt verschiedene empfohlene Muster für die Steigerung von Idealität bzw. Wert, die auf der Position des Systems auf der S-Kurve basieren (siehe Abb. 4.2 und Kapitel 3).

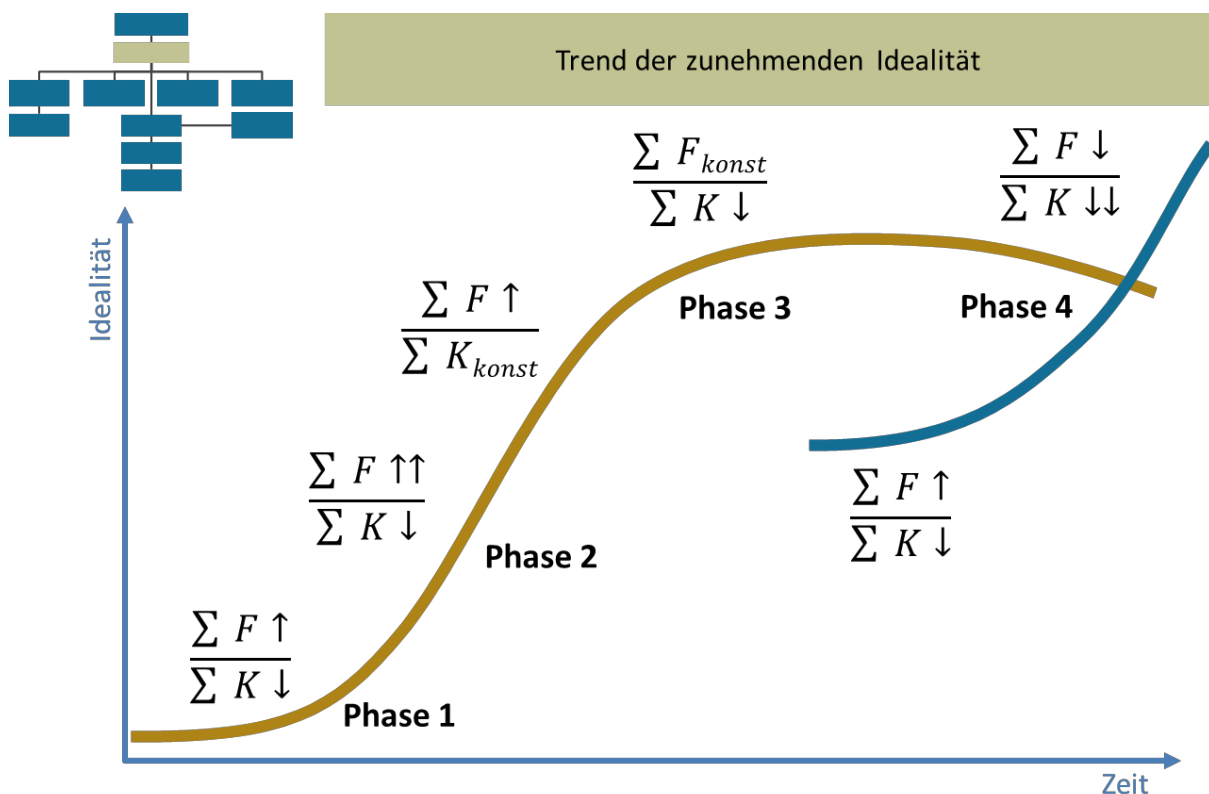


Abb. 4.2: Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Idealität basieren auf der S-Kurven-Position [Ikow14]

In der ersten Phase ist die vernünftigste Empfehlung, gleichzeitig die Funktionalität zu erhöhen und die Kosten zu senken. Dieser Ansatz wird in jeder Phase der S-Kurve empfohlen, da er der schnellste Weg zur Wertsteigerung ist. In den späteren Phasen ist dies nicht mehr so leicht wie in der ersten. Wenn das System sehr jung ist, gibt es viele Dinge, die geändert und entwickelt werden können, was bedeutet, dass es viele Möglichkeiten gibt, die Funktionalität zu verbessern und gleichzeitig die Kosten zu senken. Erinnern Sie sich zum Beispiel an die frühen Phasen der elektronischen Datenverarbeitung, als auf Vakuumröhren basierende Computer entwickelt wurden. Die Umstellung auf halbleiterbasierte Komponenten beeinflusste Funktionalität und Kosten enorm.

In der zweiten Phase sollte die Funktionalität viel stärker ansteigen, als die Kosten – oder die Funktionalität sollte wachsen, während die Kosten gleichbleiben. Dem Trend der zunehmenden Vollständigkeit der Systemkomponenten folgend werden viele neue Komponenten hinzugefügt, was selbst bei leicht steigenden Kosten die Funktionalität deutlich steigert.

In der dritten Phase sollten Sie möglichst die Kosten senken und die Funktionalität nicht mehr weiter erhöhen. Danach, in der vierten Phase, sollten Sie auf billigere Produkte mit minderwertiger Funktionalität, z. B. Einwegprodukte, umsteigen. Zum Beispiel ist die Funktionalität eines Porzellanbechers viel höher als die eines Einwegbechers, aber der Pappbecher kostet viel weniger.

In Kapitel 3 wurden diese Zusammenhänge als „pragmatische S-Kurven-Analyse“ detailliert erläutert.

4.2 Trend der zunehmenden Vollständigkeit der Systemkomponenten

Altshuller stellte im Rahmen seiner Forschungen fest (vgl. [Alts84, S. 223-224]), dass ein System üblicherweise vier Arten von Funktionsblöcken besitzt:

- die Funktion des Betriebsmittels (bzw. Werkzeugs, Operating Agent),
- die Funktion der Übertragung (bzw. Transmission)
- die Funktion einer Energiequelle und
- die Funktion eines Steuerungssystems.

Diese Funktionsblöcke sind für den Betrieb von Systemen erforderlich. Während das Werkzeug (bzw. Betriebsmittel, Operating Agent) die Hauptfunktion ausübt, wird Energie (ein Feld) von der Energiequelle auf das Werkzeug übertragen, damit dieses arbeiten kann. Darüber hinaus gibt es ein Steuerungssystem (welches Teil des technischen Systems oder des Supersystems ist), das den Betrieb und alle anderen Funktionen steuert (siehe Abb. 4.3).

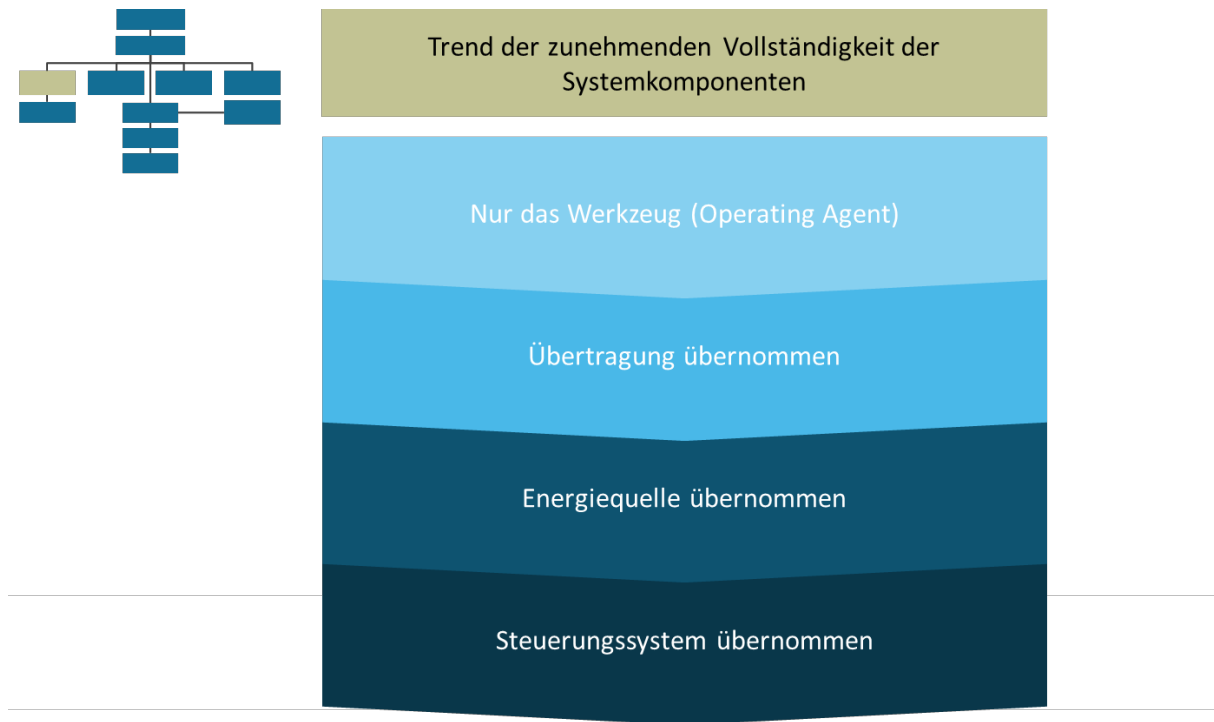


Abb. 4.3: Trend der zunehmenden Vollständigkeit der Systemkomponenten

Der Trend der zunehmenden Vollständigkeit der Systemkomponenten besagt, dass ein System in der Regel anfänglich nur aus Werkzeug und ggf. einer Art der Übertragung besteht. Die Energiequelle und das Steuerungssystem sind typischerweise dem Supersystem entlehnt.

Zum Beispiel begann die Praxis des Nähens nur mit Nadel und Faden. Die menschlichen Muskeln fungierten als Energiequelle für das Nähen, und das menschliche Gehirn steuerte das Nähsystem. Bei der Entwicklung von Nähmaschinen wurde eine Übertragung in Form von Pedalen und Schwungrädern integriert. Als die Menschen begannen, Elektromotoren zum Antrieb von Nähmaschinen zu verwenden, wurde die Energiequelle für das Nähen in das System eingebettet. Moderne Nähmaschinen umfassen Steuereinheiten mit verschiedenen Programmen, um verschiedene Textilien mit minimaler menschlicher Beteiligung zu nähen (siehe Abb. 4.4).

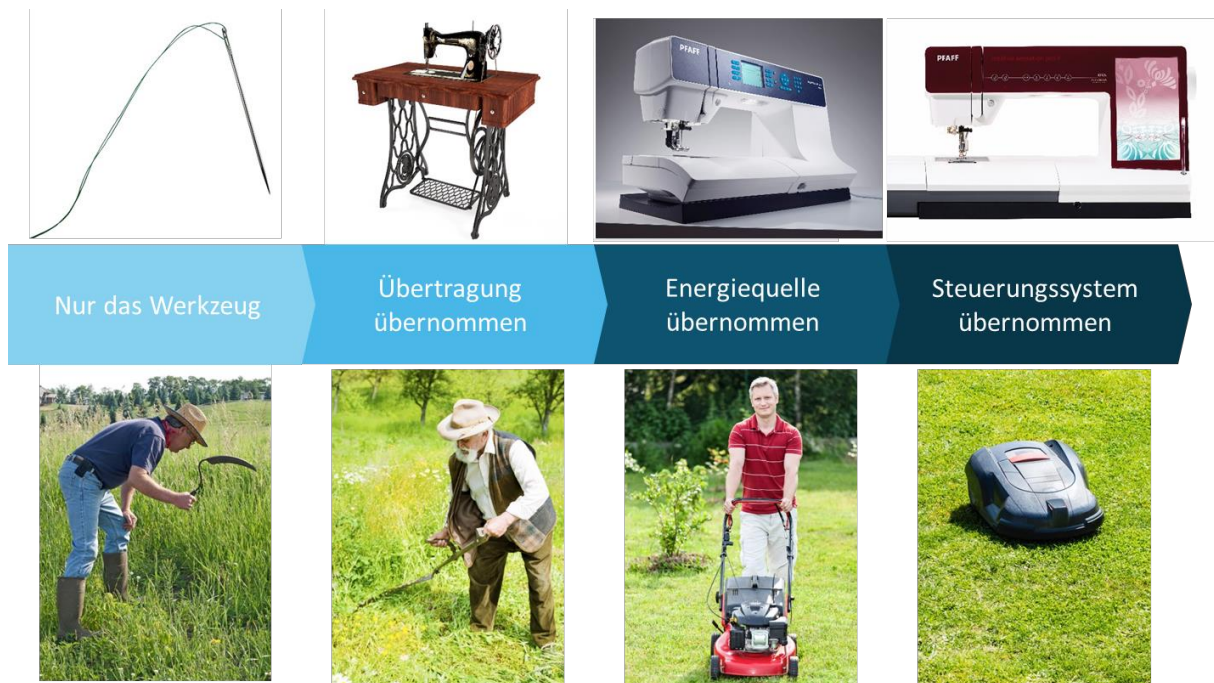


Abb. 4.4: Zunehmende Vollständigkeit von Systemkomponenten beim Nähen und beim Mähen

Zunächst konzentriert sich das System auf das Wichtigste: seine Hauptfunktion. Deshalb wird zunächst das Werkzeug (bzw. Operating Agent) erstellt. Gewöhnlich erwirbt das System die anderen Funktionsblöcke in dieser Reihenfolge hinzu: Übertragung, Energiequelle und schließlich die Steuerung (Abb. 4.5).

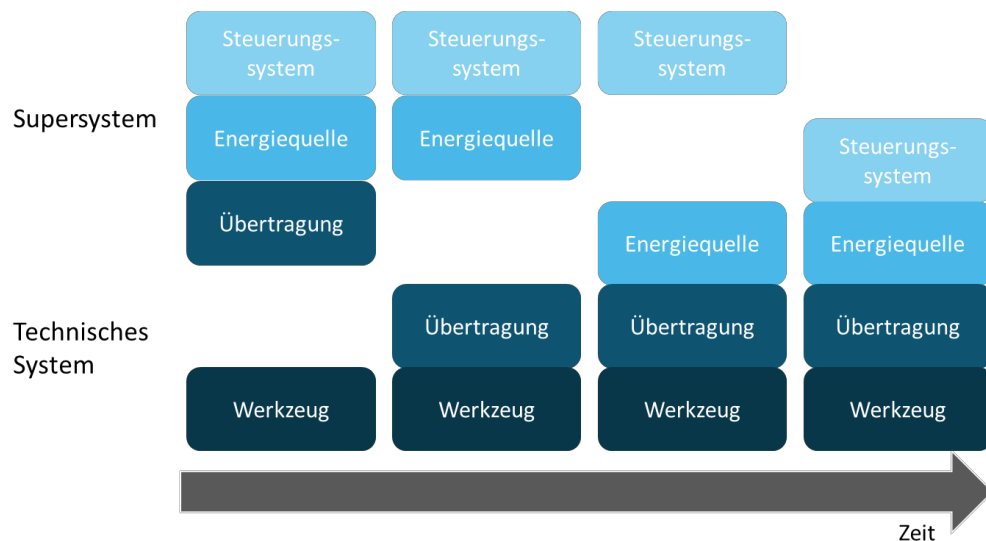


Abb. 4.5: Das System übernimmt weitere Funktionsblöcke – typischerweise in dieser Reihenfolge

Meistens ist diese schrittweise Übernahme von Funktionen nicht in nur vier Schritte unterteilt – es kann viele weitere Teilschritte geben. Zum Beispiel bestand die Steuerung der Nähmaschine anfänglich nur aus einem Ein-/Aus-Schalter. Später konnte sie verschiedene Arten von Nähten herstellen. Danach

kamen komplexere Programme zur Herstellung von Knopflöchern und anderen genähten Strukturen hinzu.

Die Entwicklung des Automobils ist ein weiteres Beispiel für diesen schrittweisen Verlauf. Fahrzeuge übernahmen immer mehr Steuerungsfunktionen, die ursprünglich vom Fahrer ausgeführt wurden. Heute verfügen viele Autos über Antiblockier-Bremsen, Servolenkung, Geschwindigkeitsregler, Beschleunigungsregler, ein Müdigkeitserkennungssystem für Fahrer*innen, ein Spurhaltewarnsystem und so weiter. Die Fahrer*innen übernehmen nach wie vor die Hauptsteuerungsfunktion des Fahrens (außer in vollständig autonomen Autos). Bei manchen schienengeführten Fahrzeugen ist auch das Steuerungssystem bereits autark – allerdings ist ihre Hauptfunktion weniger anspruchsvoll als z. B. beim Autofahren im Straßenverkehr.

Der Trend zur zunehmenden Systemvollständigkeit passt sehr gut zur zweiten Phase der S-Kurve (siehe Abb. 4.2), in der die Funktionalität sehr stark zunimmt. Trends beeinflussen das System über seine gesamte S-Kurve, aber einige Trends sind in bestimmten Evolutionsphasen dominanter als andere.

4.3 Trend des zunehmenden Trimmens

Beim Trimmen werden einige Komponenten des Systems entfernt, wobei die nützlichen Funktionen dieser Komponenten erhalten bleiben (vgl. [VDI20, S. 30]). „Trimmen“ bedeutet also nicht, einfach nur Dinge zu entfernen. Auch die Erhaltung der nützlichen Funktionen ist mindestens genauso wichtig. Im Allgemeinen werden nützliche Funktionen erhalten, indem sie an andere Systemkomponenten delegiert werden. Aus diesem Grund muss vor dem Trimmen eine anspruchsvolle Funktionsanalyse (vgl. [VDI18, S. 14]) durchgeführt werden. Andernfalls kann es vorkommen, dass Sie eine Komponente trimmen, ohne genau zu wissen, welche nützlichen Funktionen sie ausgeführt hat. Anstatt Ihr Produkt zu verbessern, könnten Sie es sogar verschlechtern. Als vermeintlich verbesserte Version von Rasierschaum wurde z. B. ein Rasiergel entwickelt, das einige, aber nicht alle nützlichen Funktionen des Schaums besaß. Im Gegensatz zum Schaum zeigt ein transparentes Gel dem Benutzer nicht an, welche Bereiche bereits rasiert wurden. In diesem Fall hat also das Trimmen der Komponente, die dem Schaum seine Farbe gab, auch eine nützliche Funktion beseitigt.

Der Trend des zunehmenden Trimmens besagt im Grunde, dass wir im Lauf der Evolution eines technischen Systems immer mehr Komponenten trimmen. Man kann sowohl Komponenten von Geräten als auch Komponenten von technischen Prozessen, z. B. Prozessschritte, trimmen. Obwohl die Komponenten beseitigt werden, steigt der Wert des Systems, weil das Trimmen typischerweise die Kosten reduziert, indem Material, Arbeit und andere Faktoren eingespart werden, während die nützlichen Funktionen des Systems verfügbar bleiben. Das Trimmen ist ein universeller Trend, der während der gesamten Systemevolution genutzt werden kann. Typischerweise gewinnt er aber erst nach dem Wachstum in den späteren Phasen drei und vier an Bedeutung.

Trimmen bezieht sich immer auf den Prozess der Eliminierung von Komponenten unter Beibehaltung der nützlichen Funktionen, aber es gibt Varianten des Trimmens. Beim „partiellen Trimmen“ werden beispielsweise nützliche Funktionen an andere Komponenten delegiert, mit dem Ziel, eine bestimmte Komponente trimmen zu können. Hierbei zeigt sich möglicherweise jedoch, dass die betrachtete Komponente nach der Übertragung einiger Funktionen mit ihrem neuen, geringeren Funktionsumfang beibehalten werden kann, anstatt getrimmt zu werden. So kann durch partielles Trimmen eine Situation entstehen, in der keine Komponente entfernt wurde, sondern Komponenten aufgrund des Verschiebens einzelner Funktionen im Rahmen des Trimm-Vorgehens geändert wurden. Streben Sie also nicht um jeden Preis ein vollständiges Trimmen an, sondern achten Sie auch auf mögliche Vorteile