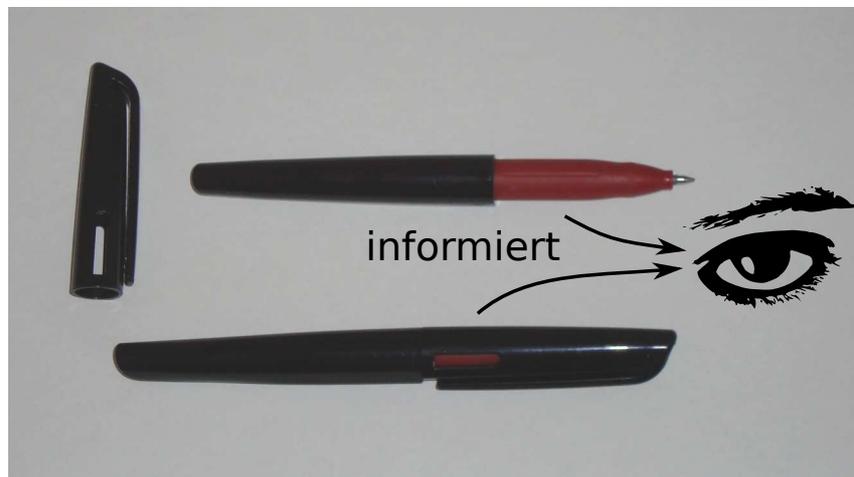
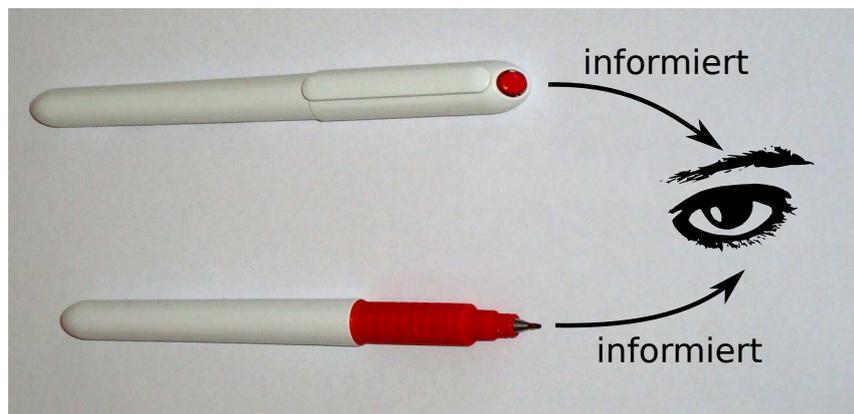


# Lösungsverfahren



Michael Patra

Stand: März 2020

# 1 Evolution technischer Systeme

Geschichte wiederholt sich, und dies gilt auch für die Entwicklung technischer Systeme. Technische Systeme haben sich immer wieder verändert – viele dieser Veränderungen waren nicht erfolgreich und sind schnell wieder verschwunden. Wenn man aber die erfolgreichen Systeme analysiert, so ergeben sich verschiedene Muster, die in der Vergangenheit wiederholt aufgetreten sind. Geschichte wiederholt sich, und daher darf man davon ausgehen, dass sich diese Muster auch in der Zukunft wiederholen werden.

Diese Muster werden als Trends bezeichnet. Die Kenntnis dieser Trends ist hilfreich für die eigene Weiterentwicklung technischer Systeme, da man von ihnen lernen kann, in welche Richtung sinnvolle Weiterentwicklungsmöglichkeiten gegeben sind. Man kann Trends in drei große Klassen einteilen:

## Trends mit fester zeitlicher Ordnung

In gewissen Trends verändern sich bestimmte Eigenschaften mit der Zeit in eine fest vorbestimmte Richtung, und dabei nehmen sie nacheinander bestimmte Ausprägungen an. Ein solcher Trend ist relativ leicht anwendbar: Man bestimmt, wo man sich im Trend befindet, und daraus folgt direkt, wie man das technische System verändern muss, um zur nächsten Stufe zu gelangen. Die einzigen Unsicherheiten sind, wann das System und die verfügbare Technologien reif für diesen Schritt sind, sowie ob es sinnvoll sein könnte, eine Stufe zu überspringen.

Zum Beispiel besagt der Trend der fortschreitenden Dynamisierung, dass ein technisches System

- star geboren wird,
- anschließend erst genau ein Gelenk bekommt,
- danach mehrere Gelenke,
- bevor es elastisch wird,
- dann flüssig und / oder gasförmig wird



- und schließlich durch ein Feld ersetzt wird.

Die ersten Längenmessgeräte wären einfache Meterstäbe (siehe Abb. 1 auf der vorherigen Seite). Um sie besser transportieren zu können, wurde der Zollstock mit Gelenken erfunden. Noch besser transportabel ist das Maßband. Es besitzt keine Gelenke zwischen starren Abschnitten mehr, sondern ist als Ganzes elastisch. Beim neuesten Messinstrument, dem Laserabstandsmesser, gibt es kein materielles Messmittel mehr, sondern diese Funktion wird von einem elektromagnetischem Feld übernommen. Die Schritte eines flüssigen oder gasförmigen System wurden bei der Evolution der Längenmessgeräte übersprungen, weil ein so verändertes Messsystem keine Vorteile gegenüber einem elastischen System bietet.

### Trends mit variabler zeitlicher Ordnung

Andere Trends beschreiben die Beobachtung, dass sich manche Eigenschaften im Verlaufe der Evolution eines bestimmten technischen Systems in eine bestimmte Richtung bewegen – bei einem anderen technischen System kann sich dieselbe Eigenschaft jedoch in die entgegengesetzte Richtung entwickeln. Um einen solchen Trend anwenden zu können, ist es nicht ausreichend, für ein aktuelles technisches System die momentane Position im Trend zu bestimmen. Vielmehr muss man auch die Bedingungen verstehen, nach denen sich bestimmt, in welche Richtung sich das technische System entwickeln wird. Nicht für alle Trends ist dieses Wissen momentan vorhanden – es gibt also Wissenslücken, aber auch die Hoffnung, dass diese irgendwann einmal geschlossen sein werden.



Abbildung 2: Diese drei Werkzeuge entfernen Material von einem Werkstück. Beim einem Bohrer ist der Kontaktbereich ein Punkt (nulldimensional), eine Säge sägt entlang einer Linie (eindimensional), während Sandpapier flächig abträgt.

Ein Beispiel für einen solchen Trends ist der der Wirkungskoordination. Ein jedes Werkzeug ist dafür entwickelt worden, ein Werkstück bzw. Produkt zu bearbeiten, also irgendeine seiner Eigenschaften zu verändern. Die Form des Wechselwirkungsbereichs kann hierbei verschiedene Dimensionalität besitzen. Als Beispiel zeigt Abb. 2 verschiedene Werkzeuge, um Material von einem Werkstück zu entfernen.

- Ein Bohrer macht einen punktförmigen Kontakt mit dem Werkstück, der Wechselwirkungsbereich ist also nulldimensional.
- Eine Säge sägt das Werkstück entlang einer Linie, der Wechselwirkungsbereich ist also eindimensional.

- Schleifpapier entfernt Material auf einer Fläche, der Wechselwirkungsbereich ist also zweidimensional.
- Bei einer Sprengung wird ein ganzes Volumen von Material auf einmal entfernt, der Wechselwirkungsbereich ist also dreidimensional.

Der entsprechende Trend besagt, dass die Evolution technischer System entlang dieser Reihe verläuft, die Richtung aber von zwei Kriterien abhängt:

Art der Wirkung	Es liegen ausreichend Ressourcen (Energie, Technologie, ...) vor.	Es liegen knappe Ressourcen (Energie, Technologie, ...) vor.
Nützliche Wirkung	0 D → 3 D	3 D → 0 D
Schädliche Wirkung	3 D → 0 D	0 D → 3 D



Zum Erjagens eines Bären ist die menschliche Körperkraft nicht üppig und daher sollte sie mittels einer Waffe mit einer scharfen Spitze auf eine möglichst kleine Fläche konzentriert werden. Zielrichtung der entsprechenden Technikevolution ist also ein null-dimensionaler Wechselwirkungsbereich. Im Vergleich zu einer Fliege ist die menschliche Körperkraft dagegen praktisch unbegrenzt. Daher sollte die entsprechende „Waffe“ eher groß sein, da so die Fliege leichter getroffen werden kann. Die Zielrichtung der Technikevolution ist hier also genau entgegengesetzt.

Wird die Energiequelle gewechselt und an Stelle des menschliches Körper Schießpulver verwendet, so nimmt die verfügbare Kraft um ein Mehrfaches zu und ist nun auch im Vergleich zu einem Bären sehr groß. Daher ist es nun auch bei der Bärenjagd (wie vorher schon bei der Fliegenjagd) sinnvoll, eine möglichst große Fläche abzudecken. Schrotkugeln werden damit zu einer sinnvollen Optionen. Die Richtung der Technikevolution kann sich also umkehren, wenn neue Ressourcen wie z. B. Schießpulver verfügbar werden.

### Trends ohne zeitliche Ordnung

Oftmals sieht man, dass in der Evolution technischer Systeme bestimmte Merkmale wiederholt auftreten, man diese Merkmale aber nicht ordnen, sondern nur auflisten kann. Zum Beispiel erkennt man, dass bestimmte Klassen von Formen immer wieder auftreten:

- Zwei Längen der Form ein und derselben Komponente haben eine Beziehung. Zum Beispiel bilden Länge und Breite von DIN-A-Papier das Verhältnis  $1 : \sqrt{2}$ , während Länge und Breite eines Ziegels meistens ein Verhältnis  $1 : 2$  haben. Nur wegen dieser Eigenschaften erhält man beim Falten eines Papierblattes das nächstkleinere Format und kann man mit Ziegelsteinen auch eine Ecke in einer gleichmäßigen Mauer bauen.
- Die Formen zweier verschiedener Komponenten sind identisch. Zum Beispiel müssen die Gewinde von Schrauben und Muttern dieselbe Form besitzen, weil ansonsten die Mutter nicht auf die Schraube passen würde.
- Die Form einer Komponente folgt aus Anforderungen der Komponenten seiner Umwelt. Alle ergonomischen Gegenstände besitzen eine Form, die bestimmte Eigenschaften des menschlichen Körpers berücksichtigt.
- Die Form des Systems oder seiner Komponenten beruht auf physikalischen Gesetzen. Die Form von Autokarosserien wird heutzutage durch Windkanalexperimente und Simulation der hydrodynamischen Gleichungen bestimmt, um so ein stromlinienförmiges und damit verbrauchsarmes Auto zu erhalten. Da für alle Autos dieselben physikalischen Gesetze gelten, ähneln sich ihre Formen immer mehr.

Es ist offensichtlich, dass man in einem solchen Fall keine Vorhersage machen kann, wie sich ein technisches System weiterentwickeln wird. Man erhält nur eine unsortierte Liste von Vorschlägen, die dann einzeln geprüft werden müssen.

## 2 Regeln und Algorithmen aus Trends

Viele Trends können nur mit Übung verstanden, geschweige denn angewendet werden. Daher wurde im Lauf der Zeit versucht, die Trends in handlichere Einheiten zu zerlegen. Das Ergebnis waren

**Modelle von Lösungen:** Mit den vierzig innovativen Prinzipien und den 76 Standardlösungen wurden „Tabellen“ in der Vergangenheit erfolgreicher Lösungen damaliger technischer Probleme erstellt. Diese Lösungen können dann auf eigene aktuelle Problemstellungen übertragen werden. Für eigene Probleme können diese Tabellen allerdings keine direkten Lösungen zur Verfügung stellen, sondern nur Modelle einer denkbaren Lösung. Die Umsetzung in eine konkrete Lösung muss anschließend geschehen.

**Algorithmen:** Für verschiedene Arten von Problemstellungen wurden „Anleitungen“ erarbeitet, wie man durch das systematische Abarbeiten bestimmter Fragen und Aufgaben zu einer Lösung seines konkreten Problems kommt.

Im Folgenden liegt der Fokus erst einmal auf den vierzig innovativen Prinzipien sowie Verfahren, um sie effizient anwenden zu können.

### 3 Innovative Prinzipien

Innovative Prinzipien sind Bausteine für die Verbesserung und/oder Weiterentwicklung technischer Systeme. Sie wurden aus den Trends der Technikevolution abgeleitet. Innovative Prinzipien liefern keine Lösung eines Problems, sondern ein Modell einer Lösung. Sie müssen daher noch in eine konkrete Realisierung übersetzt werden. Das innovative Prinzip 1 „Zerlegen / Segmentieren“ gibt als Modell der Lösung an, dass das technische System in mehrere, insbesondere auch gleichartige Teile zerlegt werden soll.

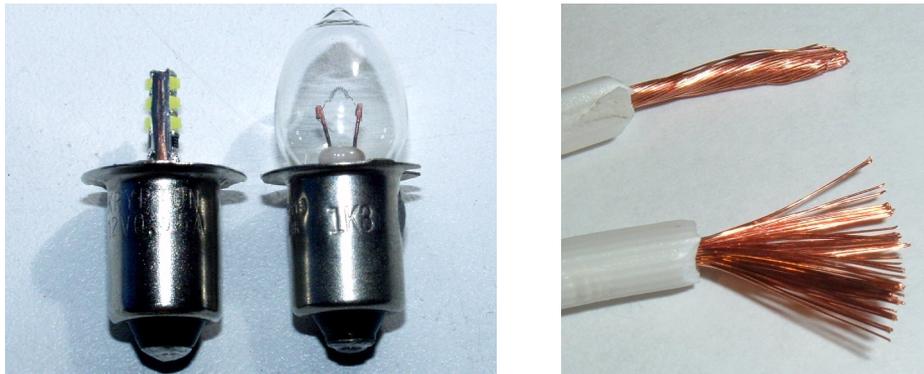


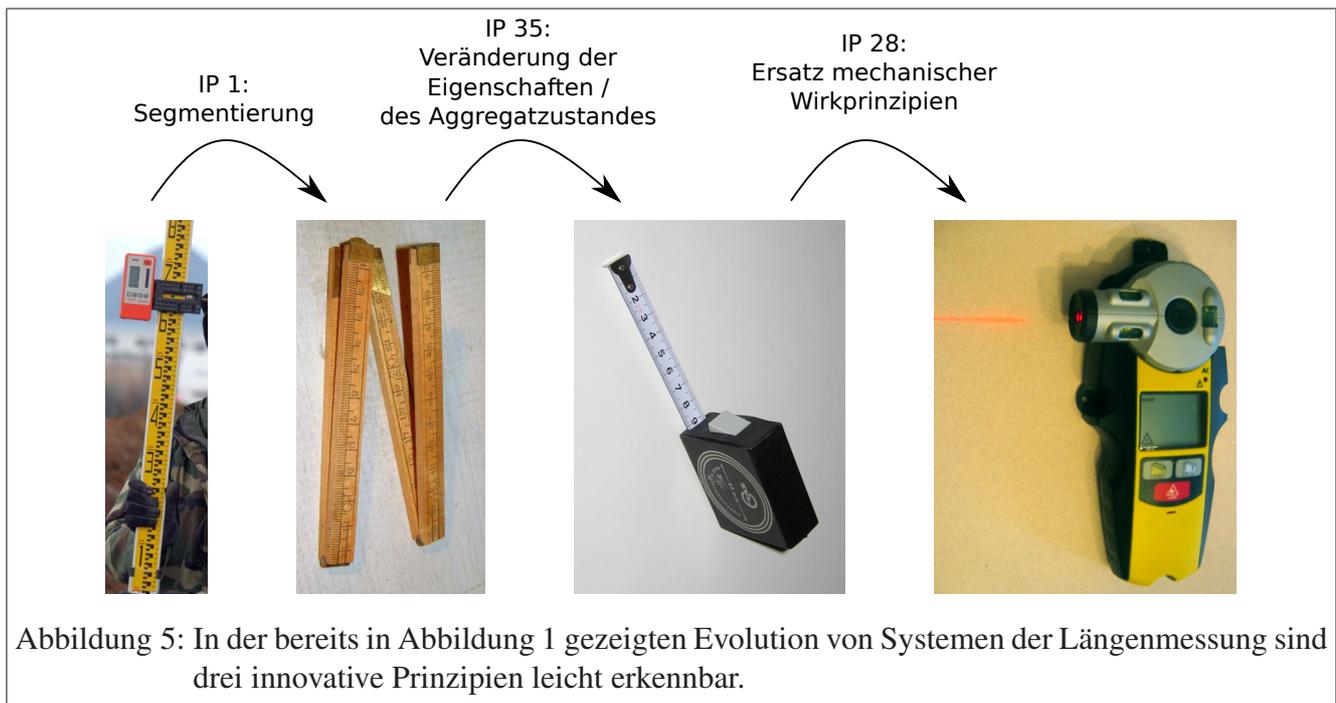
Abbildung 4: Das innovative Prinzip 1 „Zerlegen / Segmentieren“ gibt nur ein abstraktes Modell der Lösung einer konkreten Aufgabe. Traditionelle Lampen besitzen genau einen großen Glühfaden, während LED-Lampen nicht aus einer großen LED, sondern stattdessen aus mehreren kleinen LEDs bestehen. Stromkabel werden leichter biegsamer, wenn kein dicker Draht, sondern eine Litze verwendet wird, der Leiter also aus vielen dünnen Einzeldrähten besteht.

Das Prinzip 28 „Ersatz mechanischer Wirkprinzipien“ gibt als Modell der Lösung an, dass Felder an Stelle mechanischer Objekte verwendet werden sollen. An Stelle eines körperlichen Objektes kann also z. B. die Strahlung eines Lasers verwendet werden. Das Prinzip 35 „Veränderung von Eigenschaften / des Aggregatzustandes“ gibt an, dass die Eigenschaften der Komponente verändert werden sollen. Insbesondere bezieht sich dieses auf den Aggregatzustand, aber nicht nur im Sinne eines thermodynamischen Phasenüberganges von z. B. fest zu flüssig, sondern auch im Sinne von z. B. starr zu elastisch.

Im Beispiel der Evolution der Längenmessvorrichtungen können diese drei innovativen Prinzipien einfach erkannt werden (Abb. 5 auf der nächsten Seite). Der Übergang zum Zollstock bestand darin, dass eine große Stange in mehrere kleinere Segmente zerlegt wurde (Prinzip 1). Beim Maßband wurde ein nichtdeformierbarer Festkörper durch etwas Elastisches ersetzt (Prinzip 35). Ein Laserentfernungsmesser verwendet ein elektromagnetisches Feld an Stelle eines materiellen Objektes (Prinzip 28).

### 4 Liste der innovative Prinzipien

Klassisch werden 40 verschiedene innovative Prinzipien unterschieden. Im Rahmen der Auswertungen zur „Matrix 2003“ wurden 37 neue Kombinationsprinzipien gefunden. Diese Kombinationsprinzipien



haben sich (noch) nicht durchgesetzt, nicht zuletzt, weil die „Matrix 2003“ im Gegensatz zu den klassischen Ergebnissen nur gegen Gebühr erhältlich ist. Die innovativen Prinzipien lauten:

1. Zerlegen / Segmentieren
2. Abtrennen
3. Lokale Eigenschaft
4. Asymmetrie
5. Vereinen
6. Mehrzwecknutzung
7. Verschachtelung (Steckpuppe)
8. Gegengewicht
9. Vorgezogene Gegenaktion
10. Vorgezogene Aktion
11. Vorbeugemaßnahme (untergelegtes Kissen)
12. Äquipotentialprinzip
13. Funktionsumkehr
14. Kugelähnlichkeit / Krümmung
15. Anpassung / Dynamisierung
16. Partielle oder überschüssige Wirkung
17. Höhere Dimension
18. Schwingungen
19. Periodische Wirkung
20. Kontinuität nützlicher Aktionen
21. Durcheilen und Überspringen
22. Schädliches in Nützlich verwandeln
23. Rückkopplung
24. Mediator (Vermittler)
25. Selbstversorgung und -bedienung
26. Arbeiten mit Modellen oder Kopien

27. Billige Kurzlebigkeit an Stelle teurer Langlebigkeit
28. Ersatz mechanischer Wirkprinzipien
29. Pneumatik und Hydraulik
30. Flexible Hüllen und Folien
31. Poröse Materialien
32. Verändern von Farbe und Durchsichtigkeit
33. Gleichartigkeit bzw. Homogenität
34. Beseitigung und Regeneration
35. Veränderung von Eigenschaften / des Aggregatzustandes
36. Anwenden von Phasenübergängen
37. Wärmeausdehnung
38. Starkes Oxidationsmittel
39. Träges Medium / inerte Atmosphäre
40. Verbundmaterial

Eine ausführliche Beschreibung der 40 innovativen Prinzipien zusammen mit vielen Beispielen wurde von Robert Adunka erstellt und kann von der Webseite [www.jantschgi.at](http://www.jantschgi.at) heruntergeladen werden.

Die Nummerierung der innovativen Prinzipien ist historisch gewachsen und dementsprechend weitgehend willkürlich. Die obige Liste ist insbesondere nicht nach Wichtigkeit sortiert. Die zehn innovativen Prinzipien, die in den ursprünglichen Untersuchungen erfolgreicher technischer Weiterentwicklungen am häufigsten gefunden worden waren, lauten wie folgt:

35. Veränderung von Eigenschaften / des Aggregatzustandes
10. Vorgezogene Aktion
  1. Zerlegen / Segmentieren
28. Ersatz mechanischer Wirkprinzipien
  2. Abtrennen
15. Anpassung / Dynamisierung
19. Periodische Wirkung
18. Schwingungen
32. Verändern von Farbe und Durchsichtigkeit
26. Arbeiten mit Modellen oder Kopien

Im folgenden werden Ansätze beschrieben, die für ein gegebenes Problem erfolgversprechenden innovativen Prinzipien zu bestimmen. Ist ein solches Vorgehen nicht möglich, kann man die innovativen Prinzipien nur als Anregung für ein Brainstorming verwenden. In diesem letzterem Fall ist es sinnvoll, die zehn besonders häufigen innovativen Prinzipien zuerst zu probieren.

## 5 Widersprüche

Die innovativen Prinzipien können als Ansatzpunkt für ein Brainstorming genutzt werden. Es gibt jedoch vierzig dieser Prinzipien, und würde man alle Prinzipien der Reihe nach durchgehen, so könnte man sich mit jedem einzelnen nicht allzu lange beschäftigen. Gebraucht werden daher Ansätze, wie abhängig vom konkreten Problem diejenigen innovativen Prinzipien, die die größte Erfolgchance besitzen, ausgewählt werden können. Indiz für die Erfolgchance der Anwendung eines innovativen Prinzips ist, wie oft in der

Vergangenheit bei ähnlichen Problemen die Anwendung eben dieses Prinzips erfolgreich war. Gebraucht wird also ein Kriterium dafür, wann zwei technische Probleme einander ähnlich sind.

Der Ansatz, der sich als sinnvoll erwiesen hat, basiert auf Widersprüchen. Widersprüche beschreiben zwei gegensätzliche Anforderungen an ein technisches System oder eine seiner Komponenten. Zur Lösung eines Problems muss daher ein Widerspruch, der dieses Problem möglichst gut beschreibt, aufgestellt werden. Zwei Probleme, die durch einen ähnlichen Widerspruch beschrieben werden können, sind einander ähnlich. Hierbei werden zwei verschiedene Arten von Widersprüchen unterschieden:

**Technischer Widerspruch:** Ein technischer Widerspruch beschreibt, dass eine Verbesserung einer Eigenschaft eines technischen Systems als Nebenwirkung zu einer Verschlechterung einer anderen Eigenschaft führt. Diese Art eines Widerspruchs beschreibt also, was geschehen würde, wenn ein Ingenieur ein technisches System auf zu naive Weise verbessern würde. Der englische Begriff „engineering contradiction“ trifft das Konzept daher besser als der deutsche Begriff „technischer Widerspruch“.

**Physikalischer Widerspruch:** Ein physikalischer Widerspruch beschreibt, dass ein Parameter bzw. eine Eigenschaft einer Komponente eines technischen Systems zwei verschiedene Werte annehmen soll. Im Gegensatz zu einem technischen Widerspruch wird also nicht die Auswirkung einer zum Zweck der Verbesserung vorgenommenen Änderung am technischen System, sondern das gewünschte technische System als solches beschrieben.



Abbildung 6: Gemäß dem Stefan-Boltzmann-Gesetz steigt die abgestrahlte Lichtleistung mit der vierten Potenz der Temperatur des Glühfadens. Eine Temperaturerhöhung ist daher ein effizientes Mittel zur Steigerung der Effizienz einer Lampe. Leider verschleißt eine Lampe um so schneller, je höher die Temperatur des Glühfadens ist. Eine Halogenlampe ist ein Ansatz, diesen Widerspruch zu vermindern.

Ein Beispiel für einen technischen Widerspruch ist

Wenn der Glühfaden einer Glühlampe heißer wird,  
dann leuchtet die Glühlampe heller,  
aber der Glühfaden brennt schneller durch.

Ein Beispiel für einen physikalischen Widerspruch ist

Der Glühfaden einer Glühlampe soll heiß sein, damit die Lampe hell leuchtet,  
aber er soll auch kalt sein, damit die Lampe lange hält.

Für beide Klassen von Widersprüchen wird im Folgenden beschrieben, wie geeignete innovative Prinzipien zu ihrer Lösung gefunden werden können.

Es gibt auch Widersprüche, die nicht auf eine der beiden obigen Formen gebracht werden können. Zwei Beispiele sind

Wenn die Glühlampe mit einem Halogen-Fluor-Gemisch gefüllt wird,  
dann strahlt die Lampe hell und hält lange,  
aber man würde das Patent eines Konkurrenten verletzen.

und

Wenn der Glühfaden aus Kohlenstoffnanoröhren wäre,  
dann strahlt die Lampe hell und hält lange,  
aber der einzige Hersteller für Nanoröhren ist nicht ISO-9001 zertifiziert,  
also erlaubt die Qualitätsabteilung dies nicht.

Technische und physikalische Widersprüche sind durch Naturgesetze gegeben. Die beiden eben gezeigten Widersprüche sind dagegen rein menschengemacht. Sie werden daher manchmal als administrative Widersprüche bezeichnet. Derartige Widersprüche sind räumlich und zeitlich lokal, d. h., sie betreffen nur bestimmte Firmen zu bestimmten Zeitpunkten: Eine andere Firma würde Kohlenstoffnanoröhren von diesem Lieferanten kaufen; ein paar Jahre später ist das Patent abgelaufen. Die Trends der Technologieentwicklung beschreiben universelles Verhalten, und dementsprechend kann es universelle Verfahren zum Bestimmen erfolgversprechender innovativer Prinzipien geben. Liegt dagegen nur ein administrativer Widerspruch vor, so ist dieses nicht möglich. In diesem Fall muss also ein Brainstorming mit allen innovativen Prinzipien durchgeführt werden.

## 6 Technischer Widerspruch

Ein technischer Widerspruch beschreibt, dass eine Veränderung eines technischen Systems nicht nur zu einer Verbesserung, sondern auch zu einer Verschlechterung führt. Damit besteht ein technischer Widerspruch aus drei Teilen: ① einem Ziel, ② einer Technologie zum Erreichen des Ziels und ③ einem Nachteil der Technologie. Das sinnvolle Vorgehen zum Aufstellen eines technischen Widerspruchs besteht darin, diese drei Teile in der hier angegebenen Reihenfolge festzulegen – dass diese drei Teile im technischen Widerspruch dann in einer anderen Reihenfolge aufgeschrieben werden, ist eine andere Sache.

Ein Ziel beschreibt die gewünschte Veränderung eines technischen Systems. In einem industriellen Umfeld ist das Ziel durch die Projektaufgabe gegeben. Ein Ziel kann qualitativer Art sein: ① Der Dampfkessel soll, auch wenn er trocken gefallen ist, nicht explodieren. ① Eine Plastikform soll im Backofen

nicht schmelzen. Meistens wird ein Ziel jedoch als Veränderung eines Parameters in eine gewünschte Richtung formuliert werden: ① Ein Auto soll schneller fahren. ① Eine Lampe soll heller leuchten.

Als nächstes muss eine Technologie gefunden werden, mittels derer das Ziel erreicht werden kann. Technologien sind als Sammlungen von Ziel-Werkzeug-Relationen definiert, im Gegensatz zu Theorien, die Sammlungen von Ursache-Wirkungs-Relationen sind. Diese Technologiedefinition ist deutlich umfassender als die Bedeutung des Wortes Technologie im normalen Sprachgebrauch. So ist z. B. „Backen“ eine Technologie, um Getreide für den Menschen verdaubarer zu machen. ② Eine Technologie, um ein Auto schneller zu machen, ist es, einen stärkeren Motor einzubauen. ② Eine Lampe leuchtet heller, wenn sie mit einer höheren Spannung betrieben wird.



Abbildung 7: Für die beiden Beispiele lauten die Ziele der Entwicklungsaufgabe, dass die Glühlampe heller leuchten und das Auto schneller fahren kann.

Die meisten Technologien besitzen jedoch auch Nachteile. ③ Ein stärkerer Motor verbraucht mehr Benzin. ③ Eine Lampe, die mit höherer Spannung betrieben wird, verschleißt schneller. Nachdem nun alle drei Teile vorliegen, können sie zu einem technischen Widerspruch zusammengesetzt werden.

- ② WENN der Motor stärker wird,
- ① DANN kann das Auto schneller fahren,
- ③ ABER es verbraucht mehr Benzin.

- ② WENN die Versorgungsspannung erhöht wird,
- ① DANN leuchtet die Lampe heller,
- ③ ABER sie verschleißt schneller.

Ein technischer Widerspruch ist keine Eigenschaft, die einem technischen System als solches innewohnt, sondern sie hängt immer von der angenommenen Technologie ab. Der englische Begriff „Engineering Contradiction“ bildet besser als der deutsche Begriff „technischer Widerspruch“ ab, dass gerade erst die Ingenieurstätigkeit zum diesem speziellen Widerspruch führt. Wird nämlich eine andere Technologie ausgewählt, so ergibt sich meistens auch ein anderer technischer Widerspruch.

- ② WENN die Karosserie vorne spitz und windschnittig ist,
- ① DANN kann das Auto schneller fahren,
- ③ ABER es ist gefährlich für Fußgänger.

- ② WENN die Glühwendel größer ausgeführt wird,

- ① DANN leuchtet die Lampe heller,
- ③ ABER sie kostet mehr.

Oftmals kann ein technischer Widerspruch invertiert werden, nämlich dann, wenn die Technologie auch in die umgekehrte Richtung angewendet werden kann (mehr hierzu im Abschnitt 9): Die ② Technologie ändert also ihre Richtung. Der ③ Nachteil ist dann kein Nachteil mehr, aber das ursprüngliche ① Ziel wird auch nicht mehr erreicht.

- ② WENN der Motor schwächer wird,
- ③ DANN verbraucht er weniger Benzin,
- ① ABER das Auto fährt langsamer.

- ② WENN die Versorgungsspannung verringert wird,
- ③ DANN verschleißt die Lampe nicht,
- ① ABER sie leuchtet nicht hell.

Ein technischer Widerspruch gibt also in kompakter Form an, was die Probleme eines einfachen Lösungsansatzes, sprich einer Technologie, sind, und welche Kompromisse eingegangen werden müssten. Wunsch ist es, diesen Widerspruch aufzulösen, also eine innovative Lösung zu finden, die das ① Ziel erreicht, ohne dass dabei ein ③ Nachteil auftreten würde. Es geht also nicht darum, nur einen möglichst guten Kompromiss zu finden – der Widerspruch soll als solches aufgelöst werden! Eine Möglichkeit, dieses zu erreichen, ist die Anwendung innovativer Prinzipien.

## 7 Widerspruchsmatrix

Die Widerspruchsmatrix erlaubt es, aus einem technischen Widerspruch eine Liste innovativer Prinzipien zu seiner Behebung abzulesen. Die Einträge in der Widerspruchsmatrix sind statistischer Art, d. h., aufgeführt sind die innovativen Prinzipien, die in der Vergangenheit bei ähnlichen technischen Widersprüchen am häufigsten umgesetzt worden waren, um zu einer Lösung des Widerspruchs zu kommen. Dies bedeutet nicht, dass die in der Widerspruchsmatrix aufgeführten innovativen Prinzipien für das eigene, konkrete Problem immer zu einer Lösung führen würden – mit den dort vorgeschlagenen Prinzipien ist es allerdings deutlich wahrscheinlicher, eine Lösung zu finden.

Ein technischer Widerspruch ist die kompakte Zusammenfassung einer technischen Entwicklungsaufgabe.

- ② WENN der Motor stärker wird,
- ① DANN kann das Auto schneller fahren,
- ③ ABER er verbraucht mehr Benzin.

- ② WENN die Versorgungsspannung erhöht wird,
- ① DANN dann leuchtet die Lampe heller,
- ③ ABER sie verschleißt schneller.

Um einen solchen Widerspruch für die Auswahl innovativer Prinzipien mittels der Widerspruchsmatrix nutzen zu können, muss er abstrahiert werden. Hierfür werden die ① Vorteile und ③ Nachteile durch

Parameter aus einer Liste, die sogenannten technischen Parameter, ersetzt. Beim ① Vorteil verbessert sich der entsprechende Parameter, beim ③ Nachteil verschlechtert er sich:

- ① Auto kann schneller fahren  $\Rightarrow$  Geschwindigkeit
- ③ Benzinverbrauch steigt  $\Rightarrow$  Energieverbrauch eines beweglichen Objekts
  
- ① Lampe leuchtet heller  $\Rightarrow$  Helligkeit
- ③ Lampe verschleißt schneller  $\Rightarrow$  Haltbarkeit eines unbeweglichen Objekts

Die Liste der technischen Parameter der klassischen Widerspruchsmatrix lautet:

1. Masse / Gewicht eines beweglichen Objektes
2. Masse / Gewicht eines unbeweglichen Objektes
3. Länge eines beweglichen Objektes
4. Länge eines unbeweglichen Objektes
5. Fläche eines beweglichen Objektes
6. Fläche eines unbeweglichen Objektes
7. Volumen eines beweglichen Objektes
8. Volumen eines unbeweglichen Objektes
9. Geschwindigkeit
10. Kraft
11. Spannung oder Druck
12. Form
13. Stabilität der Zusammensetzung des Objektes
14. Festigkeit
15. Haltbarkeit eines beweglichen Objektes
16. Haltbarkeit eines unbeweglichen Objektes
17. Temperatur
18. Helligkeit / Sichtverhältnisse
19. Energieverbrauch eines beweglichen Objektes
20. Energieverbrauch eines unbeweglichen Objektes
21. Leistung, Kapazität
22. Energieverluste
23. Materialverluste
24. Informationsverlust
25. Zeitverlust
26. Materialmenge
27. Zuverlässigkeit (Sicherheit)
28. Messgenauigkeit
29. Fertigungsgenauigkeit
30. Von außen auf das Objekt wirkende schädliche Faktoren
31. Negative Nebeneffekte des Objektes
32. Fertigungsfreundlichkeit
33. Bedienkomfort
34. Instandsetzungsfreundlichkeit
35. Anpassungsfähigkeit
36. Kompliziertheit der Struktur
37. Kompliziertheit in der Kontrolle der Steuerung

38. Automatisierungsgrad

39. Produktivität

Die Reihenfolge der Einträge dieser Liste folgt einer gewissen Logik: Am Anfang stehen die Parameter, die relevant sind, wenn ein grundlegend neues technisches System erfunden worden ist und nun marktreif gemacht werden muss. Je ausgereifter das technische System wird, desto wichtiger werden für weitere Verbesserungen die in der Liste weiter hinten stehenden Parameter.

Ein technischer Widerspruch bedeutet, dass sich bei der Anwendung einer bestimmten Technologie ein bestimmter technischer Parameter verbessert, während sich ein anderer technischer Parameter verschlechtert. Die Widerspruchsmatrix enthält Listen vorgeschlagener innovativer Prinzipien als Funktion der beiden betroffenen Parameter (Abb. 8). Wegen der Größe der Widerspruchsmatrix können im Folgenden nur Ausschnitte gezeigt werden, aber die vollständige Widerspruchsmatrix kann auf [www.triz-online.de](http://www.triz-online.de) heruntergeladen werden.

		Sich verschlechternder Parameter							
		1	2	3	4	5	6	7	
Zu verbessernder Parameter	1	Masse des beweglichen Objekts			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 4, 28
	2	Masse des unbeweglichen Objekts			10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		
	3	Länge des beweglichen Objekts	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 35
	4	Länge des unbeweglichen Objekts		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40	
	5	Fläche des beweglichen Objekts	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4
	6	Fläche des unbeweglichen Objekts		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39			
	7	Volumen des beweglichen Objekts							

Abbildung 8: Die Widerspruchsmatrix enthält Vorschläge zum Lösen technischer Widersprüche. Vertikal ist der sich verbessernde, horizontal der sich verschlechternde Parameter aufgetragen. Die gesamte Widerspruchsmatrix ist zu groß, um sie hier darstellen zu können.

Die beiden eben behandelten technischen Widersprüche lauten über technische Parameter ausgedrückt:

- ② WENN der Motor stärker wird,
- ① SICH VERBESSERNDER PARAMETER ist 9: Geschwindigkeit
- ③ SICH VERSCHLECHTERNDER PARAMETER ist 19: Energieverbrauch eines beweglichen Objektes
  
- ② WENN die Versorgungsspannung erhöht wird,
- ① SICH VERBESSERNDER PARAMETER ist 18: Helligkeit / Sichtverhältnisse
- ③ SICH VERSCHLECHTERNDER PARAMETER ist 16: Haltbarkeit eines unbeweglichen Objektes

In Abbildung 9 auf der nächsten Seite ist der für die beiden Beispielwidersprüche relevante Teil der Widerspruchsmatrix zu sehen. Die Diagonaleinträge sind grau gefärbt, weil diese in einem technischen Widerspruch im Regelfall nicht auftreten: Es müsste sich nämlich derselbe (abstrahierte) technische Parameter gleichzeitig verbessern und verschlechtern. Die weißen Felder enthalten die Nummern vorgeschlagener innovativer Prinzipien, mit der Nummerierung, wie sie im Abschnitt 4 angegeben worden war.

		Sich verschlechternder Parameter			
		9	16	18	19
Zu verbessernder Parameter	Geschwindigkeit				
	Haltbarkeit des unbeweglichen Objekts				
	Sichtverhältnisse	10, 13, 19			32, 1, 19
	Energieverbrauch des beweglichen Objekts	8, 15, 35		2, 15, 19	

Abbildung 9: Für die Lösung der beiden technischen Widersprüche relevanter Teil der Widerspruchsmatrix.

Die Widerspruchsmatrix beruht auf einer Analyse realer technischer Systeme, d. h., die Einträge in der Widerspruchsmatrix sind die nicht die Ergebnisse irgendeines Brainstormings der Autoren der Widerspruchsmatrix. Es gibt 39 technische Parameter, ohne die Diagonalelemente hat die Widerspruchsmatrix also 1482 Felder. Entstanden ist die ursprüngliche Widerspruchsmatrix aus der Analyse russischer Erfindungsscheine. Diese entsprechen den Patenten aus westlichen Ländern, beschreiben jedoch die Erfindung kompakt und verständlich, während ein westliches Patent im Regelfall versucht, die Erfindung durch möglichst schlecht verständliche und umständliche Formulierungen im Patenttext zu verstecken.

Auch wenn es hierdurch möglich war, Zehntausende von Erfindungen und ihre durch sie gelösten technischen Widersprüche auszuwerten, verteilen sich diese Zehntausende von Erfindungen auf die 1482 Felder der Widerspruchsmatrix – und ihre Verteilung auf die 1482 Felder ist dazu noch höchst ungleichmäßig. Es sollte daher nicht wundern, dass es für viele Kombination aus sich verbesserndem und sich verschlechterndem Parameter nicht genügend Daten gibt, um das betreffende Feld in der Widerspruchsmatrix sinnvoll füllen zu können. Deshalb enthalten eine Reihe von Feldern keine Einträge, sondern sind blau gefüllt.

Für den technischen Widerspruch

- ② WENN die Versorgungsspannung erhöht wird,
- ① SICH VERBESSERNDER PARAMETER ist 18: Helligkeit / Sichtverhältnisse
- ③ SICH VERSCHLECHTERNDER PARAMETER ist 16: Haltbarkeit eines unbeweglichen Objektes

folgen aus der Widerspruchsmatrix wegen einer unzureichenden Datenbasis daher keine Ratschläge für anzuwendende innovative Prinzipien. Für den technischen Widerspruch

- ② WENN der Motor stärker wird,
- ① SICH VERBESSERNDER PARAMETER ist 9: Geschwindigkeit
- ③ SICH VERSCHLECHTERNDER PARAMETER ist 19: Energieverbrauch eines beweglichen Objektes

werden die folgenden innovativen Prinzipien vorgeschlagen:

- 8 Gegengewicht
- 15 Anpassung / Dynamisierung
- 35 Veränderung von Eigenschaften / des Aggregatzustandes
- 38 Starkes Oxidationsmittel

Das Prinzip 8 „Gegengewicht / Gewichtskompensation“ besagt unter anderem, dass Unwuchten vermieden werden können, indem Gegengewichte verwendet werden. Dies gilt nicht nur für die Räder, die bekanntermaßen bei jedem Auto ausgewuchtet werden, sondern auch für andere rotierende Objekte wie z. B. die Kurbelwelle des Motors. Ansonsten bezieht sich dieses Prinzip primär auf Systeme, in denen die Schwerkraft eine Rolle spielt, weil Objekte angehoben oder in einer bestimmten Höhe gehalten sollen; diese Aspekte sind dementsprechend auf ein Auto nicht anwendbar.

Das Prinzip 15 „Anpassung / Dynamisierung“ fordert, dass das System sich zu jedem Zeitpunkt an die gerade geltenden Bedingungen anpassen soll. Dynamisierung bedeutet, dass sich Parameter des technischen Systems verändern können, und zwar basierend auf Parametern seiner Umwelt, also seines Ober-systems. Zum Beispiel ist in einigen Automobilen bereits umgesetzt, dass nicht alle Zylinder des Motors ständig arbeiten, sondern dass einige Zylinder abgeschaltet werden können, wenn gerade weniger Leistung erforderlich ist.

Man könnte sich jedoch auch andere Arten von Dynamisierung vorstellen – wie diese dann realisiert werden könnten, ist die intellektive Herausforderung beim Erarbeiten einer tatsächlichen Lösung aus einem innovativen Prinzip. Zum Beispiel ist das Abschalten einzelner Zylinder nicht unbedingt das optimale Vorgehen, da der Motor dann nur noch eingeschränkt „rund“ läuft. Eine bessere Lösung wäre es, den Hubraum des einzelnen Zylinders je nach Kraftbedarf zu verändern – eine Umsetzung dieser Idee ist allerdings bisher noch nicht bekannt.

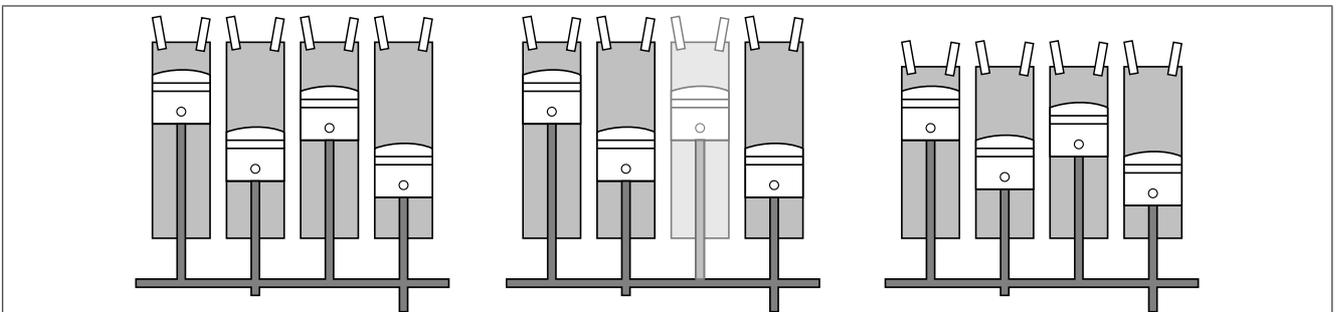


Abbildung 10: Die notwendige Anzahl der Zylinder eines Automotors sowie ihr jeweiliger Hubraum sind durch die maximal notwendige Motorleistung bestimmt. Eine heute bereits in sparsamen Automodellen umgesetzte Form der Dynamisierung besteht im Abschalten einzelner Zylinder, wenn aktuell nur eine geringere Leistung benötigt wird. Eine fortgeschrittenere Form der Dynamisierung bestünde im Verändern des Hubraums der einzelnen Zylinder.

Das Prinzip 35 „Veränderung des Aggregatzustandes / der Eigenschaften“ ist wahrscheinlich das universellste aller innovativen Prinzipien. Letztendlich werden in diesem Prinzip drei verschiedene Stufen von Veränderungen vorgeschlagen: Änderung eines thermodynamischen Aggregatzustandes (z. B. von fest zu flüssig), Änderung eines Quasi-Aggregatzustandes (z. B. von fest zu elastisch oder porös) und Änderung einer sonstigen Eigenschaft. Poröse Materialien entstehen durch Einbringen sehr kleiner Gasbläschen in einen Festkörper und sind daher eine Art Mischung der Aggregatzustände fest und gasförmig. Das Einbringen solcher Gasbläschen in Metall erlaubt es, bei gleicher Steifigkeit Gewicht einzuspa-

ren. Gewichtseinsparung bei der Autokarosserie führt zu einer Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und/oder zu einer Erhöhung der Beschleunigung des Autos.

Das Prinzip 38 „Starke Oxidationsmittel“ schlägt vor, die Sauerstoffkonzentration zu erhöhen und/oder normalen Sauerstoff durch Ozon ersetzen. Ozon ist eine besonders reaktive Form des Sauerstoffs und kann mittels elektrischer Entladung oder durch Bestrahlung mit ultravioletter Strahlung erzeugt werden. Wird die Umgebungsluft, die vom Motor angesaugt wird, so behandelt, so kommt es zu einer stärkeren Reaktion mit dem Treibstoff. Dieses kann unter Umständen bei gleicher abgegebener Leistung den Kraftstoffverbrauch verringern.

## 8 Matrix 2003

Die Widerspruchsmatrix enthält Ratschläge für die Verbesserung technischer Systeme. Diese Einträge sind keine Ratschläge, von denen jemand nur glaubt, dass sie erfolgreich sein könnten, sondern Verbesserungsansätze, die sich in realen technischen Systemen bewährt haben. Dieser Vorteil der Widerspruchsmatrix ist gleichzeitig ihr größter Nachteil: Die Widerspruchsmatrix beruht auf der Vergangenheit und enthält nur das Wissen der Vergangenheit.

Der technische Wissensstand, der in der traditionellen Widerspruchsmatrix verarbeitet wurde, ist über fünfzig Jahre alt. Grundlegend neue Ansätze zur Verbesserung eines technischen Systems, die in den letzten fünfzig Jahren entstanden sind, sind dort daher nicht enthalten. Dasselbe gilt für grundlegend neue technische Parameter in Widersprüchen, wenn diese erst in den letzten fünfzig Jahren aufgekommen sind.

Denkt man an die Vielzahl der Innovationen aus den letzten fünfzig Jahren, so ist klar, dass eine Überarbeitung der Widerspruchsmatrix überfällig war. Diese wurde auch durchgeführt und nach dem Zeitpunkt ihrer Entstehung „Matrix 2003“ benannt. Die im Abschnitt 4 beschriebenen innovativen Prinzipien sind weiterhin aktuell, da sie weiterhin zur Verbesserung auch aktueller technischer Systeme genutzt wer-



Abbildung 11: Die deutsche Ausgabe der Matrix 2003 wurde 2008 von Horst Nähler und Carsten Gundlach herausgegeben.

den können. Es wurden bei den Auswertungen zur Matrix 2003 jedoch weitere Prinzipien, insbesondere Kombinationsprinzipien aus mehreren der bekannten innovativen Prinzipien, aufgenommen. Neben den bereits im Abschnitt 7 beschriebenen technischen Parametern wurde weitere Parameter identifiziert.

Die Matrix 2003 ist nicht so verbreitet, wie sie auf Grund ihrer Vorteile gegenüber der traditionellen Widerspruchsmatrix eigentlich sein sollte. Grund hierfür ist, dass die traditionelle Widerspruchsmatrix kostenlos erhältlich ist und frei weitergegeben werden darf. Im Gegensatz dazu ist die Matrix 2003 nur als Buch veröffentlicht – durch die ausführlichere Darstellung der Ergebnisse wäre eine Darstellung als Poster (analog zur traditionellen Widerspruchsmatrix) auch gar nicht möglich. Seit 2008 gibt es eine deutsche Ausgabe dieses Buches, herausgegeben von Horst Nähler und Carsten Gundlach.

## 9 Kritik an der Widerspruchsmatrix

Die Hilfe, die die Widerspruchsmatrix bietet, wird oftmals bezweifelt. Dies liegt aber häufig daran, dass die korrekte Anwendung voraussetzt, dass der sich verbessernde Parameter und der sich verschlechternde Parameter korrekt bestimmt worden sind. Dieses ist oftmals gar nicht so einfach, wie es auf den ersten Blick scheint. Das Ziel, dass das Auto schneller fahren kann, könnte z. B. mittels der folgenden sich verbessernden Parameter beschrieben werden:

[Geschwindigkeit \(Parameter 9 bzw. 14\)](#)

[Kraft / Moment \(Parameter 10 bzw. 15\)](#)

[Leistung \(Parameter 21 bzw. 18\)](#)

In Klammern ist jeweils angegeben, welchen Index der entsprechende Parameter in der Widerspruchsmatrix besitzt. Die Nummerierung wurde zwischen der traditionellen Widerspruchsmatrix und der Matrix 2003 geändert. Daher wird in diesem Abschnitt jeweils zuerst der Index für die traditionellen Matrix und dann derjenige für die Matrix 2003 angegeben.



Abbildung 12: Wird als Mittel zur Erhöhung der Geschwindigkeit eines Autos der Motor stärker ausgeführt, so können hieraus verschiedene technische Widersprüche konstruiert werden.

Weiterhin bringt eine gegebene Technologie oftmals nicht nur einen, sondern mehrere Nachteile mit sich. Jeder Nachteil kann dann durch einen anderen, sich verschlechternden Parameter abgebildet werden.

② WENN der Motor stärker wird,

① DANN kann das Auto schneller fahren,

③ ABER es verbraucht mehr Benzin.

⇒ [Energieverbrauch eines bewegten Objekts \(Parameter 19 bzw. 16\)](#)

② WENN der Motor stärker wird,  
① DANN kann das Auto schneller fahren,  
③ ABER der Motor wird teurer.  
⇒ [Fertigungsfreundlichkeit \(Parameter 32 bzw. 41\)](#), [Komplexität des Systems \(Parameter 36 bzw. 45\)](#)

② WENN der Motor stärker wird,  
① DANN kann das Auto schneller fahren,  
③ ABER der Motor verschleißt schneller.  
⇒ [Zuverlässigkeit / Robustheit \(Parameter 27 bzw. 35\)](#)

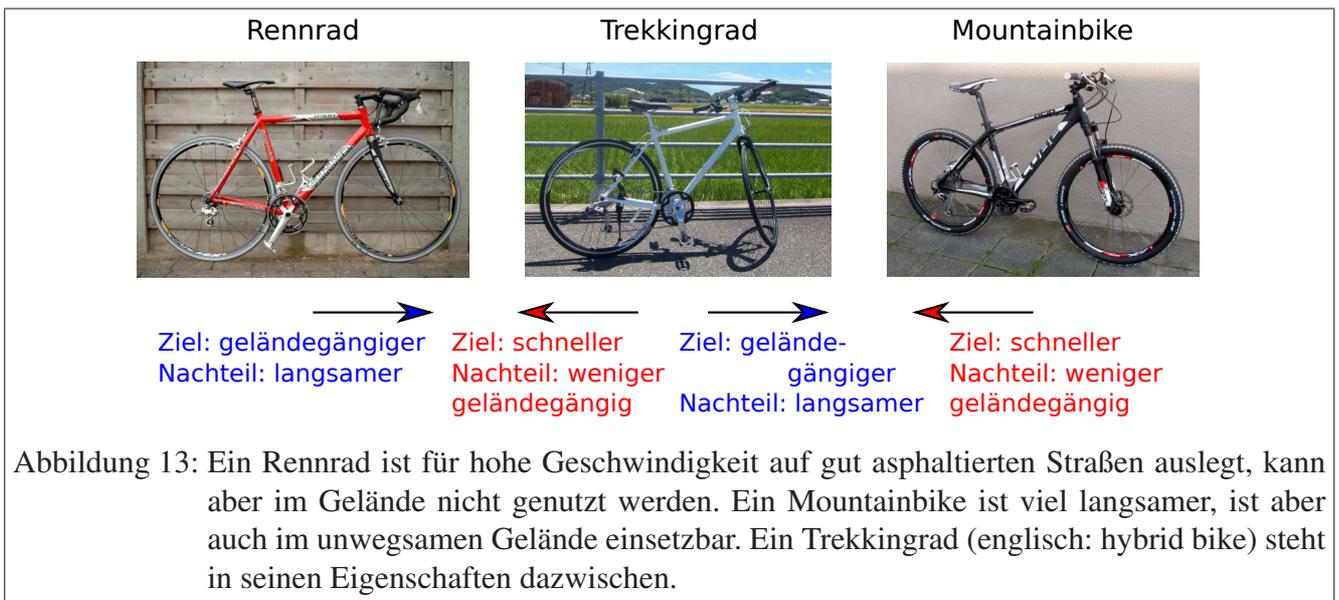
② WENN der Motor stärker wird,  
① DANN kann das Auto schneller fahren,  
③ ABER das Auto wird schwerer.  
⇒ [Gewicht eines bewegten Objekts \(Parameter 1\)](#)

Weiter oben waren für das Auto-Beispiel drei verschiedene sich verbessernde Parameter angegeben worden. Kombiniert man diese jeweils mit den vier verschiedenen sich verschlechternden Parametern, ergeben sich bereits 12 verschiedene Kombinationen und dementsprechend 12 verschiedene Felder in der Widerspruchsmatrix. Die Anzahl der insgesamt vorgeschlagenen innovativen Prinzipien wird also so groß, dass der Sinn der Widerspruchsmatrix verloren geht. Dies ist aber nicht die Schuld der Widerspruchsmatrix, sondern primär die Folge einer schlechten oder fehlenden Entscheidung, was genau der sich verbessernde Parameter und was genau der sich verschlechternde Parameter ist.

Je nachdem, welcher Parameter verbessert werden soll, sind nämlich verschiedene Systemweiterentwicklungen möglich. Diese Weiterentwicklungsmöglichkeiten sollten durch die entsprechenden innovativen Prinzipien auch abgebildet werden. Ist das Ziel eine Vergrößerung von [Kraft / Moment \(Parameter 10 bzw. 15\)](#), also der Beschleunigung des Autos, so kann ein Getriebe mit mehr Gängen hierbei helfen. Geht es dagegen nur um die höchste erreichbare [Geschwindigkeit \(Parameter 9 bzw. 14\)](#), so ist die Anzahl der Gänge irrelevant. Verschiedene sich verbessernde Parameter ergeben also verschiedene sinnvolle Weiterentwicklungen des technischen Systems.

Genauso hängen sinnvolle Innovationen auch davon ab, welcher sich verschlechternde Parameter betrachtet wird, d. h., welchen Nachteil man umgehen möchte. Ist der sich verschlechternde Parameter das [Gewicht eines bewegten Objekts \(Parameter 1\)](#), so wäre der Umstieg auf einen Zweitaktmotor eine sinnvolle Option, da diese Motoren bei gleicher Leistung leichter sind. Wird dagegen der [Energieverbrauch eines bewegten Objekts \(Parameter 19 bzw. 16\)](#) betrachtet, so wäre dieser Ansatz vollkommen kontraproduktiv.

Essentiell ist es also, sich bewusst zu werden, was das eigentliche Ziel und was der eigentliche Nachteil ist – für genau diese eine Kombination liefert die Widerspruchsmatrix ein Ergebnis. Selbstverständlich gilt auch hier, dass eine gute Entscheidung für diese beiden Parameter ein gutes Systemverständnis und Zielverständnis voraussetzt.



Neben dem ursprünglichen technischen Widerspruch kann oftmals auch ein invertierter technischer Widerspruch gebildet werden. Für diesen ergeben sich aus der Widerspruchsmatrix im Normalfall andere innovative Prinzipien als für den ursprünglichen technischen Widerspruch. Dies ist kein Designfehler der Widerspruchsmatrix, sondern ist vielmehr so beabsichtigt, denn die zu lösende Aufgabe ist in beiden Fällen unterschiedlich.

Ein Rennrad ist ein Fahrrad, welches auf die Erzielung hoher Geschwindigkeiten optimiert ist. Es hat einen leichten Rahmen, keine Dämpfung und dünne Reifen mit einem hohen Luftdruck. Deswegen kann hiermit nur schlecht in unwegsamem Gelände gefahren werden. Soll ein Rennrad in dieser Hinsicht verbessert werden, so ergibt sich der folgende technische Widerspruch:

- ② WENN Rahmen stärker, mehr Dämpfung, dickere Reifen,
- ① DANN bessere Geländegängigkeit,
- ③ ABER kleinere Höchstgeschwindigkeit.

Die Invertierung dieses Widerspruchs ergibt:

- ② WENN Rahmen leichter, keine Dämpfung, dünnere Reifen,
- ③ DANN größere Höchstgeschwindigkeit,
- ① ABER weniger Geländegängigkeit.

Dieser invertierte Widerspruch ergibt für ein Rennrad aber wenig Sinn, denn es hat bereits einen sehr leichten Rahmen, es besitzt keine Dämpfung und die Reifen sind sehr dünn. Dieser invertierte Widerspruch ist dagegen sehr wohl auf ein Mountainbike anwendbar. Er beschreibt nämlich genau die Probleme, die entstehen, wenn ein Mountainbike schneller fahren können soll.

Innovative Lösungen, um ein Rennrad geländegängiger zu machen, sind natürlich vollkommen anders als innovative Lösungen, um die erreichbare Höchstgeschwindigkeit eines Mountainbikes zu vergrößern. Und genau dieses ist auch in der Widerspruchsmatrix abgebildet. Weiterhin war es bei diesen beiden

Beispielen so, dass jeweils nur einer der beiden technischen Widersprüche sinnvolle Ansätze für eine Weiterentwicklung des Systems bietet.

Ein Trekkingrad steht zwischen einem Rennrad und einem Mountainbike. Seine englische Bezeichnung „Hybrid Bike“ bringt sehr deutlich zum Ausdruck, dass es eine Mischung der beiden erstgenannten Fahrradtypen darstellt. Für dieses technische System ergeben sowohl der ursprüngliche als auch der invertierte Widerspruch Ansätze für eine Weiterentwicklung, zumindest sofern man nicht durch das Projektziel bereits eine bestimmte Richtung festgelegt ist.

## 10 Physikalischer Widerspruch

Ein physikalischer Widerspruch beschreibt, dass ein Parameter (eine Eigenschaft) einer Komponente zwei verschiedene Werte (Ausprägungen) annehmen soll, und gibt Begründungen für diese beiden Eigenschaften.

Die Gebäudewand soll ein Loch haben, DAMIT Licht hindurchgehen kann,  
UND sie soll geschlossen sein, DAMIT keine Wärme verloren geht.



Abbildung 14: Die Wand soll ein Loch haben, damit man hinaussehen kann, aber andererseits ist ein Loch unerwünscht, da Wind hindurchweht und Wärme verloren geht.

Für denselben Parameter „Durchlässigkeit“ der Komponente „Wand“ werden zwei verschiedene Ausprägungen, nämlich „hoch“ und „gering“, gefordert und mit Begründungen motiviert. Das folgende ist daher kein vollständiger physikalischer Widerspruch, weil die Begründungen fehlen:

Die Gebäudewand soll offen sein,  
UND sie soll geschlossen sein.

Das folgende ist kein physikalischer Widerspruch, weil sich die beiden verschiedenen Ausprägungen „offen“ und „rot“ zwar auf dieselbe Komponente „Hauswand“ beziehen, aber auf die beiden verschiedenen Eigenschaften „Durchlässigkeit“ und „Farbe“:

Die Hauswand soll offen sein, DAMIT Gäste hereinkommen können,  
UND sie soll rot sein, WEIL dies lokale Tradition ist.

Wie bereits erwähnt, müssen bei einem physikalischen Widerspruch zwingend Begründungen für die beiden Ausprägungen des Parameters angegeben werden. Eine Begründung kann zweierlei sein:

**ein Ziel/ein Wunsch:** Bei einer Problemlösung oder einer Weiterentwicklung eines technischen Systems soll ein bestimmtes Ziel erreicht werden. Wenn der betreffende Parameter den entsprechenden Wert hätte, so wäre das Ziel erreicht.

- Ein Boot soll breit sein, WEIL es dann stabil gegen Kentern ist.
- Ein Backhandschuh soll schlecht Wärme leiten, DAMIT man sich nicht die Finger verbrennt.

**ein Naturgesetz/eine typische Eigenschaft:** Eine Begründung kann ebenso eine typische Eigenschaft einer Komponente, wie sie durch „Naturgesetze“ gegeben ist, sein.

- Eine Glasscheibe soll elektrischen Strom schlecht leiten,  
WEIL sich hohe elektrische Leitfähigkeit und hohe optische Transparenz nun einmal ausschließen.
- Ein Werkstück soll sich bei Erhitzen ausdehnen,  
WEIL sich fast alle Materialien nun einmal so verhalten.

Sinnvolle Kombinationen für einen technischen Widerspruch sind zwei Ziele,

Ein Boot soll breit sein, DAMIT es nicht kentert,  
UND es soll schmal sein, DAMIT es schnell fahren kann.

oder ein Ziel plus eine typische Eigenschaft,

Ein Werkstück soll bei Erhitzen seine Größe beibehalten,  
WEIL dann Präzisionsbearbeitung des weicheren warmen Materials möglich ist,  
UND das Werkstück soll sich beim Erhitzen ausdehnen,  
WEIL Materialien dies typischerweise so tun.

Ein physikalischer Widerspruch, bei dem beide Begründungen auf einer typischen Eigenschaft beruhen, ergibt keinen Sinn – eine Komponente kann nicht „typischerweise“ zwei zueinander widersprüchliche Eigenschaften haben.

Ein physikalischer Widerspruch, bei dem einer der beiden Forderungen nicht durch ein Ziel oder eine typische Eigenschaft begründet ist, ist kein Widerspruch, sondern gibt eine Lösung an. Das folgende ist ein gültiger physikalischer Widerspruch, den ein Bootsbauer irgendwie auflösen muss, damit sein Kunde zufrieden ist.

Ein Boot soll breit sein, DAMIT es nicht kentert,  
UND es soll schmal sein, DAMIT es schnell fahren kann.



Abbildung 15: Ein schmales Boot hat einen kleinen Wasserwiderstand und erreicht deswegen eine höhere Geschwindigkeit. Dafür ist ein breites Boot stabiler und kentert nicht so leicht.

Teilt ihm der Kunde mit, dass er mit seinem zukünftigen Boot nur durch Naturschutzgebiete, in denen eine Höchstgeschwindigkeit von 5 km/h gilt, fahren möchte, fällt eine der beiden Begründungen weg.

Ein Boot soll breit sein, DAMIT es nicht kentert,  
UND es soll schmal sein.

In diesem Fall handelt es sich nicht mehr um einen Widerspruch, sondern um eine Lösung: Der Bootsbauer wird für einen Kunden ganz einfach ein breites Boot bauen. Schafft man es also, in einem physikalischen Widerspruch eine der beiden Begründungen zu entkräften, so hat man damit automatisch eine Lösung gefunden.

Im folgenden werden eine Reihe von Lösungsmöglichkeiten für physikalische Widersprüche beschrieben. Es gibt drei Gruppen von Lösungsansätzen, wobei die erste Gruppe in vier Unteransätze unterteilt ist:

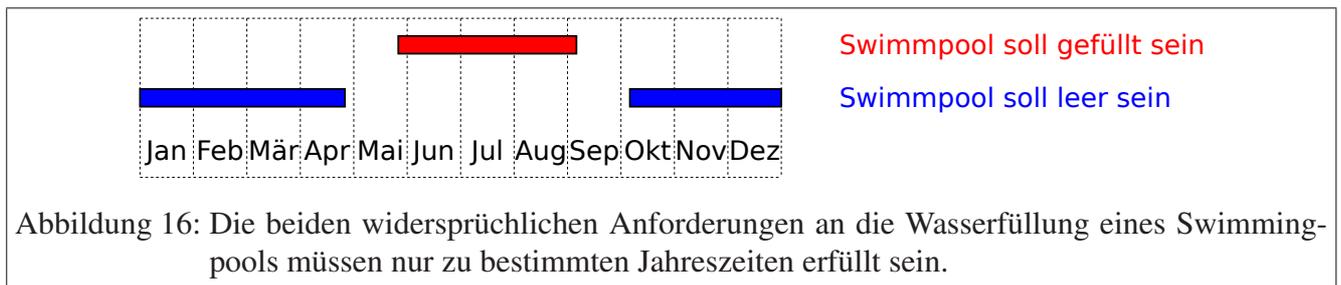
- Separation der widersprüchlichen Anforderungen, mit den Unterpunkten
  - Separation in der Zeit
  - Separation im Ort
  - Separation in der Beziehung
  - Separation im System
- Befriedigung der widersprüchlichen Anforderungen
- Umgehung der widersprüchlichen Anforderungen

# 11 Separationsprinzipien

## Separation in der Zeit

Eine Separation in der Zeit ist möglich, wenn die beiden widersprüchlichen Anforderungen nur in unterschiedlichen, also disjunkten Zeiträumen erfüllt sein müssen.

Ein Swimmingpool soll mit Wasser gefüllt sein, DAMIT man darin schwimmen kann,  
UND er soll nicht mit Wasser gefüllt sein,  
WEIL Wasser den Pool beschädigt, wenn es bei Temperaturen unter 0°C einfriert.



Die beiden widersprüchlichen Anforderungen müssen jedoch nicht zur selben Jahreszeit erfüllt sein, siehe Abb. 16: Nur im Sommer möchte man im Swimmingpool schwimmen, und nur im Winter gibt es das Risiko von Frostschäden. Dementsprechend ist die Lösung des Widerspruchs ganz einfach: Im Mai wird Wasser eingefüllt, und im September wird es wieder abgelassen.

Damit erkannt werden kann, dass die beiden Anforderungen nur zu disjunkten Zeiträumen erfüllt sein müssen, werden die beiden Begründungen für die Anforderungen benötigt. Aus diesem Grund ist ein physikalischer Widerspruch ohne die Angabe der Begründungen unvollständig. Im Beispiel konnte der physikalische Widerspruch „Pool gefüllt“ und „Pool leer“ durch Separation in der Zeit einfach gelöst werden. Derselbe Widerspruch ist nicht mehr durch Separation in der Zeit lösbar, wenn die Begründungen anders sind:

Ein Swimmingpool soll mit Wasser gefüllt sein, DAMIT man darin schwimmen kann,  
UND er soll nicht mit Wasser gefüllt sein,  
WEIL sonst kleine Kinder hineinfallen und ertrinken könnten.

Eine „richtige“ Separation in der Zeit ist nur dann möglich, wenn die beiden Zeiträume, zu denen die beiden widersprüchlichen Anforderungen erfüllt sein sollen, disjunkt sind, also sich nicht überschneiden. Dieses ist eine stärkere Anforderung, als dass die beiden Zeiträume unterschiedlich sein sollen. Dieses wird am folgenden Beispiel deutlich:

Eine Hauswand soll eine Öffnung besitzen, DAMIT Menschen hindurchgehen können,  
UND sie soll keine Öffnung besitzen, DAMIT kein kalter Wind hineinkommt.

Der Wunsch, dass die Hauswand eine Öffnung haben soll, gilt nicht ständig, sondern nur dann, wenn jemand das Haus betreten oder verlassen möchte. Im Gegensatz hierzu ist zu jedem Zeitpunkt ein Wärmeverlust wegen kalten Windes unerwünscht (Abb. 17 auf der nächsten Seite).



Wand soll eine Öffnung besitzen



Wand soll keine Öffnung besitzen

Abbildung 17: Eine Hauswand soll nur dann eine Öffnung besitzen, wenn jemand durch sie hindurchgehen möchte. Der Wunsch, dass die Hauswand geschlossen ist, um das kalte Wetter draußen zu halten, gilt jedoch dauerhaft.

Die beiden Zeiträume sind also unterschiedlich, aber sie überschneiden sich. Damit ist eine Separation in der Zeit nicht möglich. Dies verwundert vielleicht auf den ersten Blick, weil man oftmals hört, dass eine gewöhnliche Tür eine Separation in der Zeit erlauben würde. Eine Tür führt jedoch nicht zur Befriedigung der widersprüchlichen Anforderungen: Während die Tür offen steht, kann nämlich kalter Wind in das Haus hineinkommen – und genau das Eintreten von kalter Luft sollte ja durch die Forderung, dass die Wand geschlossen ist, verhindert werden. Eine Tür ist also nur ein Kompromiss, aber keine vollwertige Lösung des Widerspruchs.



Abbildung 18: Eine normale Tür löst den Widerspruch „Wand offen“ und „Wand geschlossen“ nicht auf, da weiterhin kalter Wind eindringen kann, während die Tür geöffnet ist. Eine echte Lösung des Widerspruchs ist eine Drehtür.

Für viele Anwendungen mag dieser Kompromiss gut genug sein, z. B. für ein Einfamilienhaus, bei dem nur ein paar mal pro Tag die Tür geöffnet werden muss. Denkt man aber an einen Bahnhof, in den jeden Tag Tausende von Leute hinein- und hinausgehen, erkennt man schnell, dass eine Tür nur ein Kompromiss ist, und dass dieser Kompromiss in einem Bahnhof viel zu schlecht ist. Für obigen Widerspruch gibt es auch echte Lösungen – eine Drehtür ist ein Beispiel dafür – aber jegliche Lösung kann nicht auf Separation in der Zeit beruhen, da sich die beiden relevanten Zeiträume überlappen.

Ein weiteres Beispiel in diesem Zusammenhang ist das folgende: Häufig wird behauptet, dass eine Verkehrsampel die Lösung eines Widerspruchs sei, und zwar eine Lösung mittels Separation in der Zeit. Separation in der Zeit bedeutet jedoch nicht, dass die beiden widersprüchlichen Anforderungen zu verschiedenen Zeitpunkten *erfüllt werden*, sondern dass sie nur zu verschiedenen Zeitpunkten *gefordert sind*. Wann immer man an einer roten Ampel ankommt, ist die gewünschte / geforderte Eigenschaft „freie Fahrt“ nicht gegeben. Da jede Ampel im statistischen Mittel zu mehr als 50 % der Zeit rot zeigt, wird die Forderung also häufiger nicht erfüllt als erfüllt – eine Ampel ist also keine Lösung, sondern höchstens ein nicht sonderlich guter Kompromiss der widersprüchlichen Anforderungen.



Abbildung 19: Eine Ampelanlage ist keine auf Separation in der Zeit beruhende Lösung eines Widerspruchs: Häufig müssen die Verkehrsteilnehmer nämlich an einer roten Ampel warten, die gewünschten Eigenschaften aus dem Widerspruch sind dann nicht erfüllt.

## Separation im Ort

Separation im Ort ist möglich, wenn die beiden widersprüchlichen Forderungen an dieselbe Eigenschaft nur an unterschiedlichen Orten, d. h., in unterschiedlichen räumlichen Bereichen erfüllt sein muss.

Eine Garage soll geschlossen sein, DAMIT das Auto im Regen nicht nass wird,  
UND eine Garage soll offen sein, DAMIT man leicht mit dem Auto hineinfahren kann.

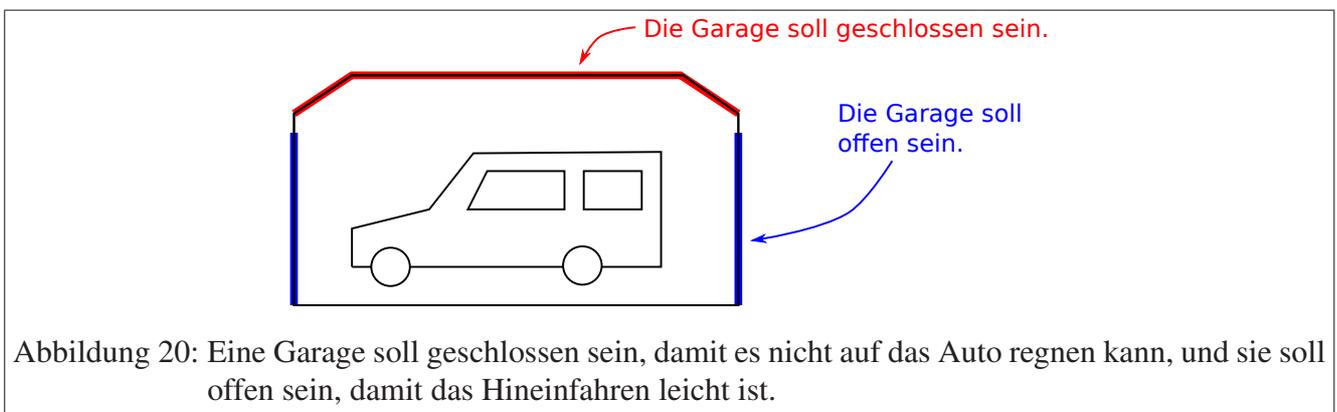


Abbildung 20: Eine Garage soll geschlossen sein, damit es nicht auf das Auto regnen kann, und sie soll offen sein, damit das Hineinfahren leicht ist.

Zeichnet man eine Garage auf und markiert dort, wo die Anforderungen „geschlossen“ und „offen“ erfüllt sein müssen, so ergibt sich Abbildung 20. Man erkennt sofort, dass die beiden Anforderungen nur in Bereichen, die sich nicht überlappen, erfüllt sein müssen. Ein Carport ist damit eine Lösung des Widerspruchs, und zwar eine Lösung basierend auf Separation im Ort.

Auch bei diesem Separationsprinzip gilt wiederum, dass die Begründungen für die beiden Forderungen ein essentieller Teil des physikalischen Widerspruchs sind. Der folgende physikalische Widerspruch betrifft wiederum die Anforderungen „geschlossen“ und „offen“ an eine Garage, die beiden Forderungen sind also exakt wie im obigen Widerspruch, allerdings sind die Begründungen jetzt anders.

Eine Garage soll geschlossen sein, DAMIT kein Dieb an das Auto herankommt,  
UND eine Garage soll offen sein, DAMIT man leicht mit dem Auto hineinfahren kann.



Abbildung 21: Um in eine Garage fahren zu können, muss jedes Mal erst das Tor geöffnet werden. Ein Carport erlaubt das einfache Einfahren, schützt aber trotzdem das Auto vor Regen.

Wie Abbildung 22 zeigt, überlappen sich jetzt die Bereiche, in denen die beiden widersprüchlichen Anforderungen gelten sollen. Dementsprechend ist jetzt keine Separation im Ort mehr möglich, und die eben gefundene Lösung „Carport“ ist keine Lösung mehr.

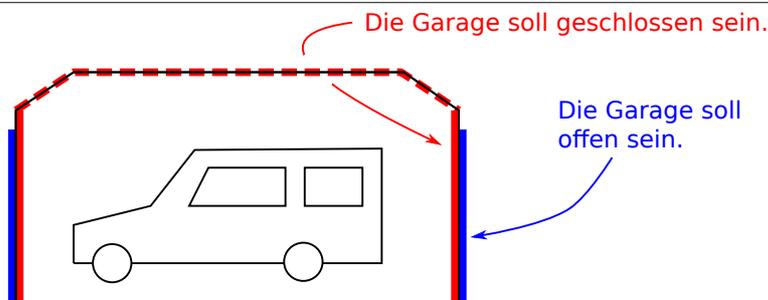


Abbildung 22: Eine Garage soll geschlossen sein, damit kein Dieb an das abgestellte Auto kommt, und sie soll offen sein, damit man das Auto leicht hineinfahren kann.

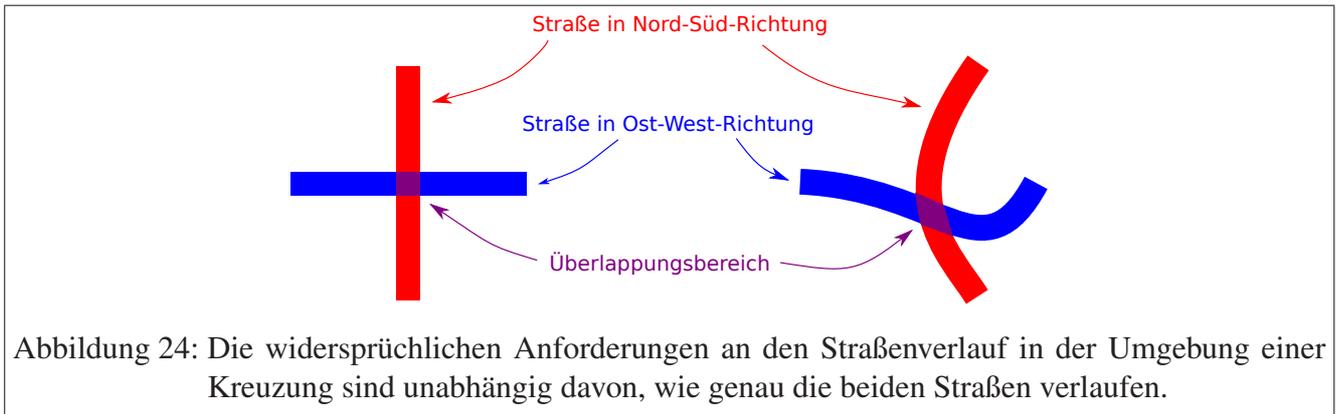
Um erfolgreiche Ansätze für eine Separation im Ort zu finden, ist es hilfreich, möglichst viele Ansichten einer Situation zu zeichnen. Ein einfaches Beispiel hierfür tritt auf, wenn sich zwei Verkehrsflüsse kreuzen.



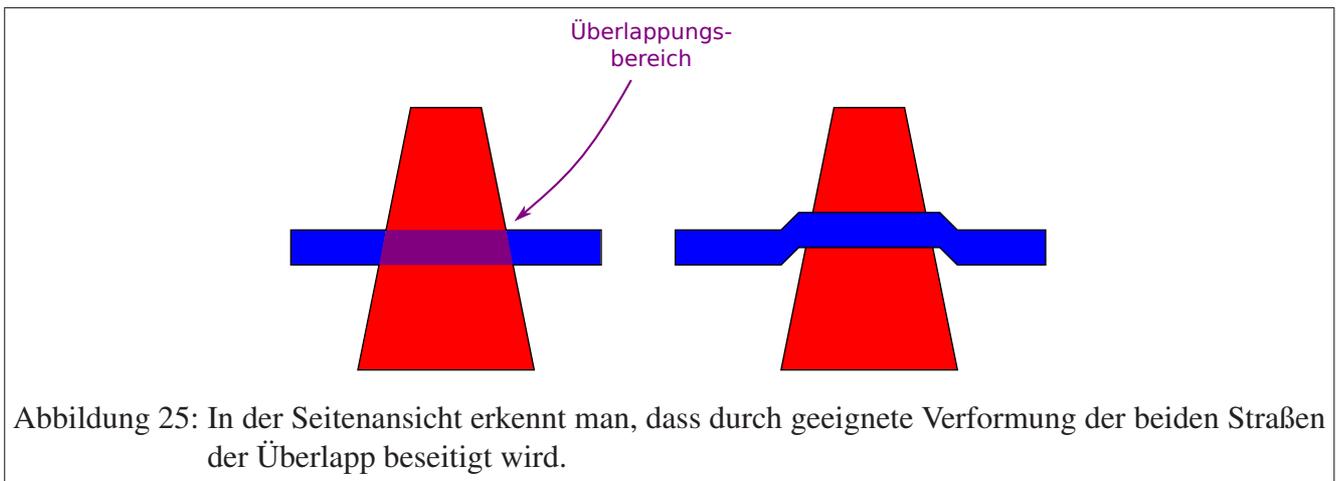
Abbildung 23: Eine Kreuzung von zwei Straßen führt zu widersprüchlichen Wünschen der Autofahrer auf den beiden Straßen. Eine Brücke ist eine Separation dieser widersprüchlichen Anforderungen im Ort.

Die Straße soll in Ost-West-Richtung verlaufen,  
DAMIT Autos ungestört in Ost-West-Richtung fahren können,

UND die Straße soll in Nord-Süd-Richtung verlaufen,  
DAMIT Autos ungestört in Nord-Süd-Richtung fahren können.



Zeichnet man eine Aufsicht der Situation, so ergibt sich Abbildung 24. Die Bereiche mit den widersprüchlichen Anforderungen überlappen sich, und zwar im eigentlichen Kreuzungsbereich. Verformt man den Verlauf der beiden Straßen etwas, so ändert sich nichts am Überlapp. Würde man nur mit dieser Abbildung arbeiten, wäre die voreilige Schlussfolgerung, dass keine Separation im Ort möglich wäre. In einer Seitenansicht (Abb. 25) erkennt man allerdings, dass durch geeignete Verformung der beiden Straßen der Überlapp beseitigt wird. Eine Separation im Ort ist daher möglich, und eine Brücke oder ein Tunnel wären eine mögliche Realisierung einer Lösung.



## Separation in der Beziehung / durch Bedingungswechsel

Eine weitere Möglichkeit der Separation ist die Separation in der Beziehung. Eine Anwendung dieses Separationsprinzips kann dann möglich sein, wenn in den beiden Begründungen auf verschiedene Komponenten Bezug genommen wird.

Die Haustür soll geschlossen sein, DAMIT kein Dieb hereinkommen kann,  
UND sie soll offen sein, WEIL sonst der Hund sein Geschäft im Wohnzimmer macht.

oder

Die Außenwand soll offen sein, DAMIT Sonnenlicht hereinkommt,  
UND sie soll geschlossen sein, DAMIT die Wärme drinnen bleibt.



Abbildung 26: Separation in der Beziehung: Die beiden widersprüchlichen Anforderungen beziehen sich auf verschiedene Komponenten, wie z. B. Luft und Licht oder Hund und Mensch.

Ein Hund und ein Dieb unterscheiden sich in ihrer Körpergröße. Dieses kann ausgenutzt werden, indem die Öffnung so klein gemacht wird, dass nur der Hund durch sie hindurchkommt (Abb. 26). Sonnenlicht ist ein elektromagnetisches Feld, während Wärme primär durch Konvektion, also an Luft gebunden, transportiert wird. Eine Glasscheibe läßt Licht hindurch, ist also aus Sicht des elektromagnetischen Feldes offen, während sie aus Sicht der Luftmoleküle geschlossen ist.

Im Beispiel der Haustür unterschieden sich Hund und Dieb in einer relevanten Eigenschaft, wodurch eine Separation in der Beziehung möglich ist. Die Haustür wurde hierbei dauerhaft etwas verändert, nämlich durch das Hinzufügen einer kleinen Zusatzöffnung. In anderen Fällen wird diese Veränderung nur temporär durchgeführt. Daher wird dieses Separationsprinzip oft auch als Separation durch Bedingungswechsel bezeichnet.



Abbildung 27: Beim Sandstrahlen müssen kleine Festkörperteilchen (z. B. Sand) verwendet werden, um einen hinreichend Materialabtrag zu erreichen. Diese Teilchen verschmutzen allerdings das Arbeitsfeld.

Beim Sandstrahlen werden kleine Teilchen, typischerweise Sand (wie der Name bereits impliziert), von einem Luftstrom auf das zu bearbeitende Werkstück geschossen. Dadurch wird die oberste Schicht des Werkstücks abgetragen und das Werkstück dabei geglättet. Nachteil ist, dass die festen Teilchen das Werkstück verschmutzen und für die Person, die das Sandstrahlen durchführt, gesundheitsschädlich sind. Dieses kann durch den folgenden physikalischen Widerspruch beschrieben werden:

Die Teilchen im Luftstrom sollen fest sein, DAMIT genug Material abgetragen wird,

UND sie sollen nicht fest sein, UM keinen Schmutz zu hinterlassen.

Eine Lösung für diesen Widerspruch ist es, an Stelle von einem Festkörper (wie z. B. Sand) gefrorene Luft zu verwenden. Die gefrorenen Luftteilchen sind ein Festkörper, können also Material vom Werkstück abtragen, aber danach verdampfen sie und hinterlassen damit keine Rückstände.

## Separation im System / durch Systemübergang

Zwei widersprüchliche Anforderungen können dadurch vereinbar gemacht werden, indem sie auf verschiedenen Systemebenen erfüllt werden. Dies bedeutet, dass sich das System auf verschiedenen Längenskalen verschieden verhält: im Kleinen hat das System die eine Eigenschaft, im Großen aber die entgegengesetzte Eigenschaft.



Abbildung 28: Ein Keilriemen kann nur eine begrenzte Kraft übertragen, bevor er reißt. Eine Kette ist deutlich belastbarer.

Ein Riemen zur Kraftübertragung (Abb. 28) ist durch folgenden physikalischen Widerspruch geprägt:

Der Riemen soll weich sein, DAMIT er um das Antriebsrad herum geführt werden kann,  
UND er soll hart sein, DAMIT er eine höhere Kraft übertragen kann.

Eine Lösung dieses Widerspruchs liegt in der Verwendung einer Kette. Schaut man sich die kleinen Bestandteile der Kette an, so bestehen diese aus hartem, unverformbarem Metall. Die Kette als Ganzes ist dagegen elastisch und kann daher genau wie ein Riemen um Kurven geführt werden. Je nachdem, auf welcher Längenskala man das System untersucht, ergeben sich also entgegengesetzte Eigenschaften.

In der Nomenklatur der Funktionsmodelle ist jedes technische System in ein Obersystem eingebettet, und die Teile des technischen Systems werden als Untersysteme bezeichnet. Separation im System bedeutet also, dass das System eine andere Eigenschaft als das Obersystem oder eines seiner Untersysteme besitzt. Das System „Fahrradkette“ ist weich, während das Untersystem „Kettenglied“ hart ist.

Ein weiteres Beispiel ist der folgende Widerspruch für sich kreuzende Verkehrswege:

Vier sich treffende Straßenabschnitte sollen eine Kreuzung besitzen,  
DAMIT man von jedem Straßenabschnitt zu jedem anderen wechseln kann,

UND sie sollen keine Kreuzung besitzen,  
DA Kreuzungen gefährlich sind (und andere Lösungen wie eine Ampel sehr teuer).



Ansicht aus der Ferne

Ansicht aus der Nähe

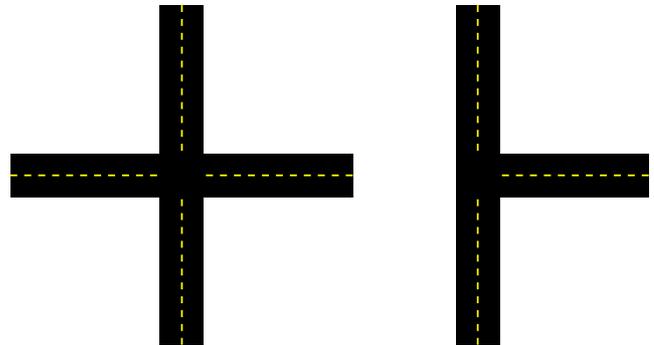


Abbildung 29: Ein Kreisverkehr sieht aus großem Abstand (z. B. auf einer Landkarte) wie eine Kreuzung aus. Lokal besteht er aber nicht aus einer Kreuzung, sondern aus vier getrennten Einmündungen.

Eine Lösung dieses Widerspruchs ist ein Kreisverkehr (Abb. 29). Aus der Ferne betrachtet, z. B. auf einer Straßenkarte, ist er nicht von einer Kreuzung unterscheidbar. Damit erfüllt er auch alle nützlichen Funktionen einer Kreuzung, erlaubt den Verkehrsteilnehmern also eine freie Fahrtrichtungswahl. Aus der Nähe betrachtet besteht ein Kreisverkehr dagegen nur aus Einmündungen, und Einmündungen sind nun einmal sicherer als Kreuzungen, weswegen ein Kreisverkehr die Anzahl der Unfälle gegenüber einer Kreuzung verringert.

## 12 Befriedigung der widersprüchlichen Anforderungen

Ein physikalischer Widerspruch besagt, dass dieselbe Eigenschaft einer Komponente zwei verschiedene Werte annehmen soll. Manchmal ergibt sich durch tiefere Überlegung jedoch, dass es sich nur fast aber nicht exakt um dieselbe Eigenschaft handelt. In diesem Fall ist es möglich, beide Anforderungen zu erfüllen.



Abbildung 30: Eine Laufbahn muss lang sein, damit man vernünftig auf ihr trainieren kann. In geschlossenen Räumen steht die notwendige Länge nicht zur Verfügung.

Um Langlauf trainieren zu können, benötigt man eine Laufbahn hinreichender Länge – Kurven sind als solches akzeptabel, aber der Kurvenradius muss hinreichend groß sein, so wie es z. B. auf einem Sportplatz der Fall ist. Möchte man auch in kleinen geschlossenen Räumen trainieren können, gibt es ein Platzproblem, welches durch folgenden Widerspruch beschrieben werden kann:

Eine Laufbahn soll lang sein, DAMIT man vernünftig auf ihr laufen kann,  
UND sie soll kurz sein, DAMIT sie auch in kleine geschlossene Räume passt.

Die Eigenschaft, auf die sich der Widerspruch bezieht, ist die „Länge“, und zwar die der Komponente „Laufbahn“. Allerdings gibt es einen Unterschied zwischen den beiden Forderungen:

- Die Forderungen nach einer kurzen Laufbahn bezieht sich auf die Länge relativ zum geschlossenen Raum, also auf die Länge in einem unbewegten Bezugssystem.
- die Forderung nach einer langen Laufbahn bezieht sich auf die Länge relativ zum Läufer, also auf die Länge im bewegten Bezugssystem.

Dementsprechend können die beiden scheinbar widersprüchlichen Anforderungen durch ein Laufband (Abb. 30) befriedigt werden.

## 13 Umgehung der widersprüchlichen Anforderungen

Ein physikalischer Widerspruch beschreibt widersprüchliche Anforderungen, die sich aus einem System und seinem Aufbau ergeben. Jedes technische System dient einem Zweck. Der Aufbau des Systems wird jedoch nicht alleine durch seinen Zweck bestimmt, sondern vielmehr auch durch das Wirkprinzip, welches zur Erreichung des Ziels gewählt wurde.



Abbildung 31: Dampftrieb, Elektroantrieb und Dieselantrieb sind drei verschiedene Wirkprinzipien zum Vortrieb einer Lokomotive.

Zum Beispiel gibt bzw. gab es drei relevante Wirkprinzipien für den Antrieb eines Zuges durch eine Lokomotive, und zwar basierend auf Dampf, Strom und Diesel. Für jeden Dampfkessel einer Dampflokomotive ergibt sich der folgende physikalische Widerspruch:

Die Kesselwand soll dick sein, DAMIT ein hoher Dampfdruck verwendet werden kann,  
UND die Kesselwand soll dünn sein, DAMIT die Lokomotive leicht ist.

Dieser Widerspruch folgt nicht aus den prinzipiellen Eigenschaften einer jeden Lokomotive, sondern folgt aus dem gewählten Wirkprinzip „Dampf“. Wird das Wirkprinzip der Lokomotive von Dampf auf

Strom oder Diesel umgestellt, so wird der obige Widerspruch damit hinfällig. Da im strengen Sinne der Widerspruch nicht behoben wurde, spricht man von einer Umgehung der widersprüchlichen Anforderungen.

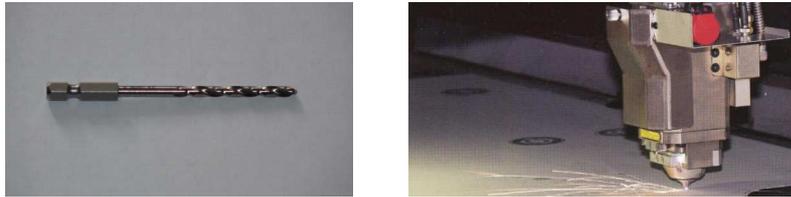


Abbildung 32: Die mechanische Wechselwirkung zwischen einem Bohrer und dem Werkstück führt zu physikalischen Widersprüchen, die beim Laserbohren entfallen.

Beim Bohren mit einer Bohrmaschine ist die richtige Wahl der Drehzahl wichtig. Diese Wahl ist nicht immer einfach, da sie physikalischen Widersprüchen unterliegt, zum Beispiel:

Ein Bohrer soll sich schnell drehen, DAMIT das Bohrloch sauber wird,  
UND ein Bohrer soll sich langsam drehen, DAMIT er sich nicht zu stark erhitzt.

Wird ein anderes Wirkprinzip gewählt, z. B. Laserbohren oder Wasserstrahlschneiden, so hat dieser Widerspruch keine Bedeutung mehr, er ist also umgangen worden.

## 14 Bedingungen für die verschiedenen Separationsprinzipien

Separation im Ort und in der Zeit sind genau dann anwendbar, wenn sich die Orte bzw. Zeiten, an denen die widersprüchlichen Anforderungen gelten, nicht überlappen. Ist dieses der Fall, ist die Umsetzung des Separationsprinzips in eine konkrete Lösung tendenziell eher einfach. Ist dieses aber nicht der Fall, so ist auch mit beliebig viel Einfallsreichtum keine Anwendung des betreffenden Separationsprinzips möglich.

Eine Separation in der Beziehung setzt voraus, dass die Begründungen für die beiden widersprüchlichen Anforderungen auf den Wünschen zweier unterschiedlicher Komponenten beruhen. Dieses ist jedoch nicht ausreichend, denn es muss auch eine nutzbare Eigenschaft, in der sich diese beiden Komponenten unterscheiden, gefunden werden. Dies ist nicht immer möglich, und auch wenn es möglich ist, ist oftmals etwas Kreativität von Nöten. Der physikalische Widerspruch

Die Haustür soll geschlossen sein, DAMIT kein Dieb hereinkommen kann,  
UND sie soll offen sein, WEIL sonst der Hund sein Geschäft im Wohnzimmer macht.

wurde durch die Hundeklappe in Abb. 26 auf Seite 30 gelöst, weil mit der „Körpergröße“ von Hund und Dieb ein nutzbares Unterscheidungsmerkmal zur Verfügung steht. Für den physikalischen Widerspruch

Die Haustür soll geschlossen sein, DAMIT kein Dieb hereinkommen kann,  
UND sie soll offen sein, DAMIT alle Freunde und Bekannte hereinkommen können.

steht kein solches Unterscheidungsmerkmal zur Verfügung: Es gibt keine Möglichkeit, wie eine Tür feststellen könnte, ob jemand ein Freund des Hauseigentümers ist – Schlüssel und Passwörter lösen den Widerspruch nicht, da auch ein Dieb in den Besitz eines Schlüssels oder des Passwortes kommen könnte.

Eine Separation in der Beziehung ist also häufiger als eine Separation in Ort/Zeit möglich, aber mit mehr intellektuellem Aufwand verbunden. Gibt es aber keinen relevanten Unterschied zwischen den Komponenten in den beiden Begründungen des Widerspruchs, so ist auch eine Separation in der Beziehung nicht möglich. Das einzige Separationsprinzip, welches zumindest prinzipiell immer anwendbar ist, ist das der Separation im System. Hierzu sollte allerdings auch erwähnt werden, dass dieses Separationsprinzip zwar im Prinzip immer angewendet werden kann, aber relativ selten oder nur mit großem intellektuellem Aufwand daraus eine konkrete Lösung des Widerspruchs konstruiert werden kann.

## 15 Anwendung der Separationsprinzipien

Es ist empfehlenswert, die sechs vorgestellten Ansätze zur Lösung eines physikalischen Widerspruchs in der im Folgenden vorgestellten Reihenfolge durchzugehen. Wenn mittels eines Ansatzes keine Lösung gefunden werden kann, so wird zum nächsten Ansatz weitergegangen.

1. Separation im Ort
2. Separation in der Zeit
3. Separation in der Beziehung
4. Separation im System
5. Befriedigung der widersprüchlichen Anforderungen
6. Umgehung der widersprüchlichen Anforderungen

Die vorgeschlagene Sortierung beruht auf verschiedenen Aspekten. Bei den beiden erstgenannten Ansätzen kann relativ leicht überprüft werden, ob sie überhaupt anwendbar sind (vergleiche Abschnitt 14). Eine Separation in der Zeit führt meistens zu Lösungen, die etwas komplexer als bei einer Separation im Ort sind, da bei einer Separation in der Zeit irgendeine Form der Dynamisierung des Systems notwendig ist. Aus diesem Grund sollte Separation im Ort zuerst überprüft werden.

Eine Umgehung der widersprüchlichen Anforderungen ist nur das letzte Mittel, da dieser Ansatz eine Änderung des Wirkprinzips bedingt, also häufig eine ziemliche grundlegende Änderung am technischen System mit sich führt. Separation in der Beziehung und Separation im System ergeben, wenn sie zu einer Lösung führen, häufig sehr intelligente Lösungen – dafür ist andererseits aber auch viel Denkarbeit notwendig, um mittels dieser beiden Prinzipien überhaupt eine Lösung zu finden.

Für jeden der sechs Ansätze gibt es eine Liste der jeweils vorgeschlagenen innovativen Prinzipien, deren Anwendung häufig zu einer Lösung gemäß des betreffenden Prinzips führt:

#### *Separation im Ort*

- 1 Zerlegen / Segmentieren
- 2 Abtrennen
- 3 Lokale Eigenschaft
- 7 Verschachtelung (Steckpuppe)
- 4 Asymmetrie
- 17 Höhere Dimension

#### *Separation in der Zeit*

- 9 Vorgezogene Gegenaktion
- 10 Vorgezogene Aktion
- 11 Vorbeugemaßnahme (untergelegtes Kissen)
- 15 Anpassung / Dynamisierung
- 34 Beseitigung und Regeneration

#### *Separation in der Beziehung*

- 3 Lokale Eigenschaft
- 17 Höhere Dimension
- 19 Periodische Wirkung
- 31 Poröse Materialien
- 32 Verändern von Farbe und Durchsichtigkeit
- 40 Verbundmaterial

#### *Separation im System*

- 1 Zerlegen / Segmentieren
- 5 Vereinen
- 12 Äquipotentialprinzip
- 33 Veränderung von Eigenschaften / des Aggregatzustandes

#### *Befriedigung der widersprüchlichen Anforderungen*

- 13 Funktionsumkehr
- 28 Ersatz mechanischer Wirkprinzipien
- 35 Veränderung von Eigenschaften / des Aggregatzustandes
- 36 Anwenden von Phasenübergängen
- 37 Wärmeausdehnung
- 38 Starkes Oxidationsmittel
- 39 Träges Medium / inerte Atmosphäre

#### *Umgehung der widersprüchlichen Anforderungen*

- 25 Selbstversorgung und -bedienung
- 6 Mehrzwecknutzung
- 13 Funktionsumkehr

## 16 Anzahl anwendbarer innovativer Prinzipien

Wird ein technischer Widerspruch aufgestellt, so ergibt die Widerspruchsmatrix typischerweise drei oder vier innovative Prinzipien, die zur Lösung vorgeschlagen werden. Wird ein physikalischer Widerspruch aufgestellt, so muss zuerst ein geeignetes Separationsprinzip ausgewählt werden. Dieses ergibt dann eine etwas größere Zahl verschiedener Innovationsprinzipien, die angewendet werden sollten.

Ein technischer Widerspruch ergibt also weniger Innovationsprinzipien, ist damit also scheinbar fokussierter. Ein physikalischer Widerspruch ergibt mehr Innovationsprinzipien, erlaubt damit scheinbar mehr Lösungen. Diese beiden Aussagen sind jedoch zu einfach. Hierzu ein Beispiel:



Abbildung 33: Empfindliche flüssige Medikamente werden in Ampullen gelagert und transportiert. Nach dem Befüllen der Ampulle wird die Öffnung mittels einer Flamme zugeschmolzen.

Viele Medikamente oder auch andere Chemikalien reagieren empfindlich auf den Sauerstoff in der Luft. Um solche Substanzen sicher lagern und transportieren zu können, werden sie in Glasampullen eingeschmolzen. Die einseitig offene Ampulle wird mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllt. Die Öffnung wird dann in einer Flamme erhitzt, so dass das Glas flüssig wird und die Ampulle verschließt. Dieses Verfahren kann jedoch problematisch sein, wenn die eingeschlossene Substanz hitzeempfindlich ist. Wird eine Flamme mit geringerer Temperatur gewählt, so wird unter Umständen nicht genügend Glasmaterial flüssig, so dass die Ampulle nicht vollständig geschlossen wird und damit später Luftsauerstoff eintreten kann. Dieses führt unmittelbar zu den zwei folgenden technischen Widersprüchen:

WENN die Flamme heiß ist,  
DANN wird die Ampulle sicher verschlossen,  
ABER das Medikament wird thermisch zerstört.

WENN die Flamme kalt ist,  
DANN wird das Medikament nicht thermisch angegriffen,  
ABER die Ampulle wird nicht sicher verschlossen.

Für diese Aufgabe sind drei verschiedene Komponenten relevant, dargestellt in Abb. 34. Die Farbe rot wird im Folgenden für die Flamme, die Farbe grün für die Ampulle und die Farbe blau für die Medizin verwendet. Färbt man die technischen Widersprüche entsprechend ein, so ergibt sich:

WENN die Flamme heiß ist,

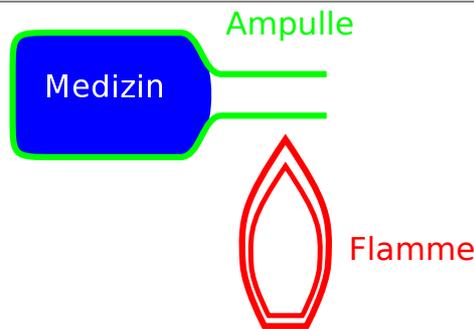


Abbildung 34: Die Aufgabenstellung umfasst drei Komponenten, nämlich die Flamme, die Ampulle und das eingeschlossene Medikament. Die Farben werden im Folgenden dazu verwendet, auf diese drei Komponenten zu verweisen.

DANN **wird die Ampulle sicher verschlossen**,  
 ABER **das Medikament wird thermisch zerstört**.

WENN **die Flamme kalt ist**,  
 DANN **wird das Medikament nicht thermisch angegriffen**,  
 ABER **die Ampulle wird nicht sicher verschlossen**.

Alle drei beteiligten Komponenten sind also in den technischen Widersprüchen vorhanden. Ergibt sich nun aus der Widerspruchsmatrix ein anzuwendendes innovatives Prinzip, so ist nicht klar, auf welche der drei Komponenten dieses anzuwenden ist. Die folgenden drei Beispiele zeigen, dass sich für jede der drei Komponenten aus innovativen Prinzipien eine Lösungsidee generieren lässt.

**IP „Prinzip des Durcheilens“:** An Stelle einer kontinuierlich brennenden Flamme wird eine pulsierende Flamme verwendet. Bei einer kontinuierlich brennenden Flamme wird die Öffnung der Ampulle nur langsam wärmer. Im Zeitraum, bis das Glas dort geschmolzen ist, wurde bereits viel Wärme bis zur Medizin weiterleitet. Wird dagegen ein sehr kurzer, aber extrem heißer Feuerstoß verwendet, so wird die Öffnung der Ampulle aufgeschmolzen, aber der Wärmeverlust in Richtung Medizin ist in dieser kurzen Zeit viel kleiner.

**IP „Vorherige Gegenaktion“:** Die Medizin wird kurz vor dem Zuschmelzen der Ampulle stark abgekühlt, oder die stark abgekühlte Medizin wird erst unmittelbar vor dem Zuschmelzen eingefüllt. Falls die Medizin es erlaubt, kann sie sogar gefroren werden. Beim Zuschmelzen der Ampulle erwärmt sich die Medizin dann weiterhin. Da die Ausgangstemperatur jedoch geringer war, wird dabei keine so hohe Endtemperatur erreicht.

**IP „Lokale Qualität“:** Die Ampulle wird nur im Bereich der Öffnung erhitzt, während sie in den anderen Bereichen gekühlt wird. Dieses kann zum Beispiel erreicht werden, indem sie in ein Wasserbad gestellt wird, so dass nur die Öffnung herausragt.

Ein technischer Widerspruch kann sich also auf die Eigenschaften von bis zu drei Komponenten beziehen. Ein physikalischer Widerspruch bezieht sich dagegen immer auf die Eigenschaften nur einer Komponente. Die anderen Komponenten treten höchstens in den Begründungen für die gewünschten Eigenschaften auf:

Die Ampulle soll heiß sein, DAMIT die Öffnung sicher verschmolzen wird,  
 UND die Ampulle soll kalt sein, DAMIT die Medizin nicht zu stark erhitzt wird.

Durch die Frage danach, wo diese Eigenschaften jeweils gewünscht sind, erkennt man schnell, dass eine Separation im Ort ausprobiert werden sollte. Durch die Wahl der Separationsart „Separation im Ort“ ergibt sich dann eine Liste innovativer Prinzipien, die angewendet werden sollten.

Ein physikalischer Widerspruch führt meistens zu einer Liste von sechs oder sieben innovativen Prinzipien, die auf diejenige Komponente, auf die sich der Widerspruch bezieht, angewendet werden. Ein technischer Widerspruch führt meistens nur zu drei oder vier innovativen Prinzipien – diese können jetzt aber jeweils auf mehrere Komponenten angewendet werden. Die Gesamtzahl der denkbaren Lösungsansätze beträgt dann also zwischen drei und zwölf. Was die Anzahl der Lösungsansätze mittels Widerspruchs und innovativer Prinzipien betrifft, ist der Unterschied zwischen einem technischen und einem physikalischen Widerspruch also eher klein.

## 17 Alternative System Design

Zwei technische Systeme, die eine identische oder sehr ähnliche Hauptfunktion erfüllen, heißen konkurrierende Systeme. Für Segelboote und Motorboote ist dieses der Fall: beide sind dafür erfunden worden, um Personen und / oder Güter zu transportieren.



Abbildung 35: Die beiden technischen Systeme Motorboot und Segelboot erfüllen dieselbe Hauptfunktion, nämlich den Transport von Personen und Gütern über Wasserflächen. Deswegen sind Motorboote und Segelboote konkurrierende Systeme.

Jedes technische System besitzt gewisse Vorteile und gewisse Nachteile. Dies gilt auch für Motorboote und Segelboote. Ein Segelboot verwendet die kostenlos verfügbare Ressource „Wind“ für seinen Vortrieb, während ein Motorboot auf teuren Treibstoff angewiesen ist. Andererseits bedeutet die Verwendung der Ressource Wind, dass ein Segelboot bei bestimmten Wetterlagen nicht oder nur sehr langsam fahren kann.

	Motorschiff	Segelschiff
Wetterunabhängigkeit	⊕	⊖
Treibstoffverbrauch	⊖	⊕

Konkurrierende technische Systeme mit entgegengesetzten Vor- und Nachteilen heißen alternative technische Systeme. Motorboote und Segelboote sind also nicht nur konkurrierende, sondern auch alternative technische Systeme.

Das Alternative System Design bietet Ansätze dafür, wie aus zwei alternativen technischen Systemen ein neues System, welches die Vorteile der beiden Ausgangssysteme vereint, konstruiert werden kann.

Eines der beiden alternativen Systeme wird hierbei als Basissystem verwendet. Dieses System soll verbessert werden, indem die Vorteile des anderen Systems in es integriert werden. Für die Wahl des Basissystems gibt es zwei Regeln:

- Ist man bereits Hersteller eines der beiden alternativen Systeme, so nimmt man dieses als Basissystem. Das alternative System ist dann das System, welches noch nicht von einem hergestellt wird.
- Stellt man keines der beiden alternativen Systeme bereits her (oder aber beide), so nimmt man als Basissystem das System, welches einfacher und / oder billiger ist.

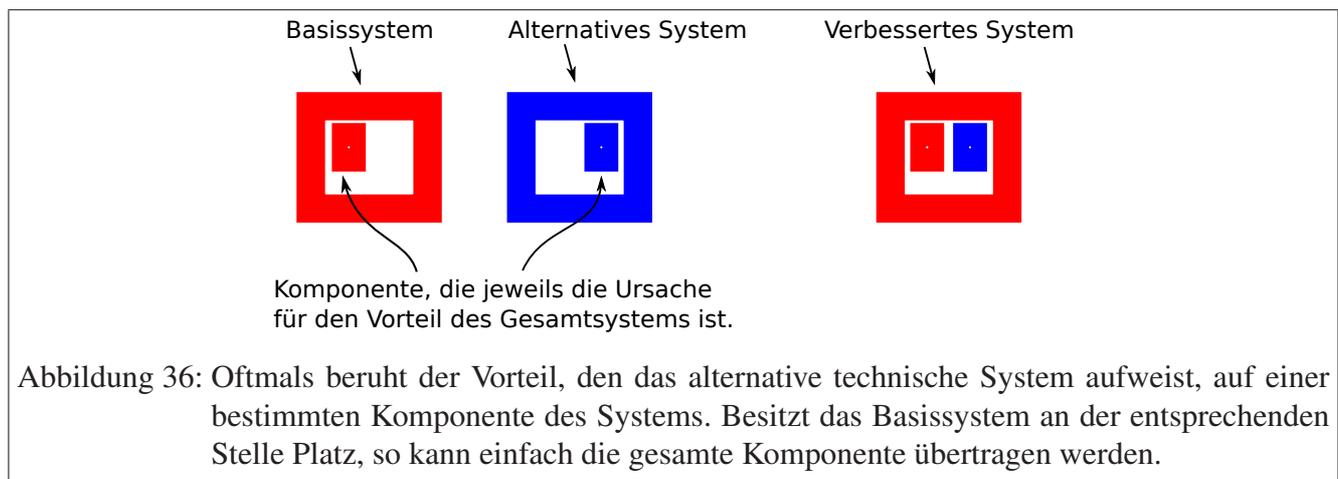


Abbildung 36: Oftmals beruht der Vorteil, den das alternative technische System aufweist, auf einer bestimmten Komponente des Systems. Besitzt das Basissystem an der entsprechenden Stelle Platz, so kann einfach die gesamte Komponente übertragen werden.

Kommt der Vorteil eines System von einer bestimmten Komponente und ist im alternativen System Platz für diese Komponente, so kann diese Komponente direkt übertragen werden. Der Vorteil eines Segelbootes, einen Antrieb ohne Treibstoffverbrauch zu bieten, liegt an seiner Komponente „Segel“. Der Vorteil eines Motorbootes, einen wetterunabhängigen Antrieb zu bieten, liegt an seiner Komponente „Motor“.

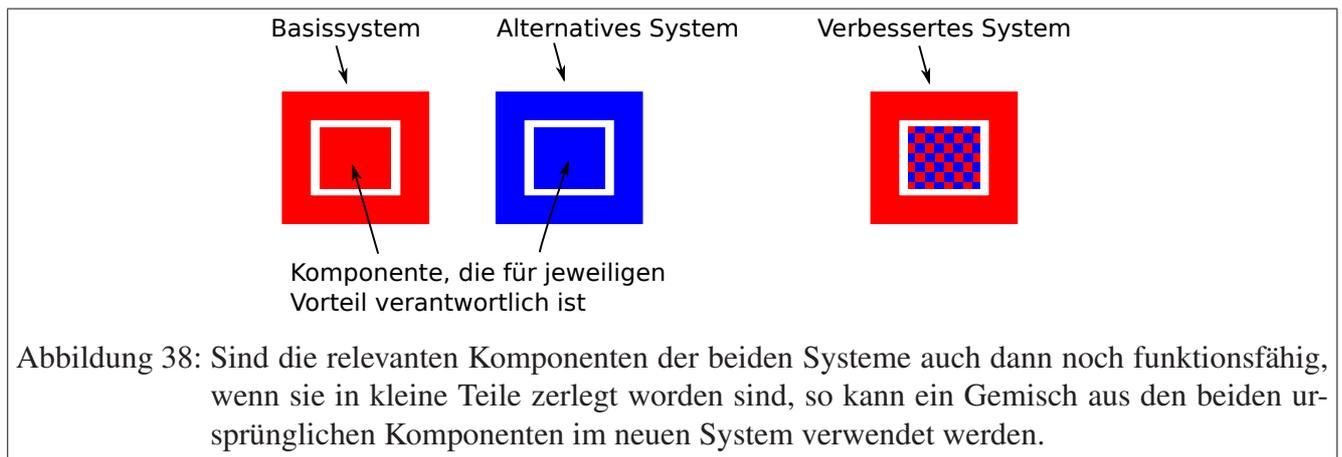


Abbildung 37: In einem Segelboot ist Platz vorhanden, um einen Motor zu installieren. Auf vielen Motorbooten können dagegen keine Segel installiert werden, da dann das Deck nicht mehr nutzbar wäre.

Besitzt das Basissystem an der Stelle Platz, an der im alternativen System die entsprechende Komponente eingebaut ist, so kann diese einfach in das Basissystem übertragen werden. Die Komponente „Motor“

eines Motorbootes ist im hinteren Teil des Rumpfes eingebaut, und dort gibt es auch in einem Segelboot Platz. Der Vorteil „wetterunabhängiger“ Antrieb eines Motorbootes kann also in das Basissystem Segelboot übertragen werden, indem dort im hinteren Teil des Rumpfes ein Motor eingebaut wird.

Beim Basissystem Motorboot ist die Übertragung des Vorteils „Antrieb ohne Treibstoffverbrauch“ nicht so einfach möglich. Ein Segelboot benötigt einen oder mehrere Masten mit Segeln, und diese Masten müssen zentral über den Rumpf verteilt sein. Dieser Platz wird allerdings auf vielen Motorbooten bereits für andere Zwecke benötigt, z. B. um dort Passagiere oder Fracht unterbringen zu können.



Steht kein Platz zur Übertragung der Originalkomponente vom alternativen System in das Basissystem zur Verfügung, so kann unter Umständen die Komponente in Form vieler kleiner Stückchen übertragen werden – sofern sie in kleine Stückchen zerteilt ihre vorteilhafte Funktion noch ausüben kann. Bei einem Motor oder einem Segel ist dieses eher weniger Fall, dagegen insbesondere bei Komponenten, die auf einer chemischen Wirkung beruhen.

Zum Waschen der Haare wird ein Shampoo verwendet, optional gefolgt von einer Haarspülung, auch als Conditioner bezeichnet. Ein Shampoo hat einen pH-Wert größer als 7, wodurch sich die Haarschuppen öffnen, so dass die Reinigung der Haare erleichtert wird. Die Haarspülung fettet das Haar anschließend wieder ein, um die Struktur der Haare zu verbessern.



	Shampoo	Haarspülung
Reinigung der Haare	⊕	⊖
Pflege der Haare	⊖	⊕

Ein 2-in-1-Shampoo (Abb. 39 auf der vorherigen Seite) enthält sowohl ein Shampoo als auch eine Haarspülung, indem die beiden Komponenten einfach miteinander vermischt werden.

Ein anderes Beispiel ist die Verwendung von Stahlbeton. Beton hat eine sehr hohe Druckfestigkeit, seine Zugfestigkeit beträgt allerdings nur 10 % dieses Wertes. Stahl dagegen ist sehr stabil gegen Zug, kann durch Druck jedoch leicht verformt werden.

	Beton	Stahl
Druckfestigkeit	⊕	⊖
Zugfestigkeit	⊖	⊕

Die beiden Vorteile werden in Stahlbeton kombiniert. Die Komponente „Stahl“ wird in kleine Streifen zerschnitten und als Bewehrung in der Komponente „Beton“ eingeschlossen.



Abbildung 40: Sowohl vollständig aus Beton als auch vollständig aus Stahl können große Bauwerke errichtet werden. Effizienter ist jedoch meistens die Verwendung von Stahlbeton, der aus einer von Beton umgebenen Stahlbewehrung besteht.

Im Rahmen des Alternative Systems Design wurden bisher zwei Ansätze besprochen, wie die Vorteile eines konkurrierenden technischen Systems in ein anderes System übertragen werden können. Beide Ansätze beruhen darauf, die Komponente, an der der Vorteil festgemacht werden kann, zu übertragen – entweder als Ganzes oder in Form vieler kleiner Teile.

Es gibt jedoch auch Fälle, in denen dieses nicht möglich. Es muss dann herausgefunden werden, welches abstrakte Prinzip den jeweiligen Vorteilen der beiden konkurrierenden Systemen zu Grunde liegt – und dieses abstrakte Prinzip muss dann übertragen werden. Dieses ist intellektuell deutlich herausfordernder als die Übertragung einer Komponente. Deswegen wird dieser Ansatz, Feature Transfer genannt, im Folgenden in einem eigenen Abschnitt beschrieben.

## 18 Feature Transfer

Feature Transfer ist notwendig, wenn es keine Möglichkeit gibt, die relevante Komponente des alternativen Systems in das Basissystem zu überführen, oder wenn es überhaupt keine bestimmte Komponente gibt, an der der Vorteil des alternativen Systems festgemacht werden könnte.



Abbildung 41: Aufzüge und Rolltreppen erfüllen dieselbe Hauptfunktion, nämlich den vertikalen Personentransport. Damit sind sie konkurrierende Systeme.

Zwei technische Systeme zum Bewegen von Personen nach oben und unten, ohne dass hierfür der Einsatz von Körperkraft notwendig wäre, sind der Aufzug und die Rolltreppe. Beide haben bestimmte Vorteile und Nachteile.

	Aufzug	Rolltreppe
Platzbedarf	⊕	⊖
Wartezeit	⊖	⊕

Ein Aufzug kann auf kleinem Raum installiert werden: sein Platzbedarf in jeder Etage ist im Wesentlichen nur so groß wie die Fläche seiner Kabine. Eine Rolltreppe belegt dagegen deutlich mehr Platz. Andererseits muss man vor einem Aufzug oft warten, bis die Kabine auf der eigenen Etage angekommen ist. Bei einer Rolltreppe entfällt diese Wartezeit.

Die Vorteile der beiden technischen Systeme können schlecht an einer bestimmten Komponente festgemacht werden. Vielmehr liegt der jeweilige Vorteil an einem Prinzip, in der hier verwendeten Nomenklatur also an einem Feature. Es geht also darum, sich auf etwas abstrakter Ebene zu überlegen, woher der Vorteil des einen Systems gegenüber dem anderen System kommt.

**Aufzug:** Der Vorteil des geringeren Platzbedarfs kommt daher, dass der Aufzug entlang der Senkrechten fährt – und nicht schräg wie bei einer Rolltreppe.

**Rolltreppe:** Der Vorteil der geringeren Wartezeit kommt daher, dass eine Rolltreppe aus einer Abfolge sehr vieler identischer Transportmittel (den Stufen) besteht – und nicht wie ein Aufzug nur aus einer einzelnen Kabine.

Nimmt man den Aufzug als Basissystem, so soll also das Feature „Abfolge vieler identischer Transportmittel“ auf den Aufzug übertragen werden. Das bereits vorhandene Feature „senkrechter Verlauf“ soll dabei beibehalten werden. Beim Feature Transfer muss also die einzelne Fahrstuhlkabine durch eine Abfolge vieler identischer Fahrstuhlkabinen ersetzt werden. Die Lösung dieser Aufgabe ist bekannt: Es handelt sich um einen Paternoster.

Welches Feature übertragen werden soll, hängt sehr stark von den gewählten Vor- und Nachteilen der beiden Systeme ab. Was als relevanter Vorteil und was als relevanter Nachteil angesehen wird, hängt wiederum von der Aufgabenstellung ab. Eine Rolltreppe kann zum Beispiel mit einem Kinderwagen nur umständlich und in einem Rollstuhl überhaupt nicht genutzt werden, während die Benutzung eines Aufzugs kein Problem darstellt. Ein Rolltreppe wiederum hat den Vorteil, dass sie neben einer normalen



Abbildung 42: Ein Paternoster kombiniert gewisse Vorteile einer Rolltreppe mit denen eines Aufzugs.

Treppe eingebaut werden kann, da eine Rolltreppe und eine normale Treppe dieselbe Steigung besitzen können. Für einen Fahrstuhl muss dagegen ein getrennter Zugang eingerichtet werden, so dass größere Umbaumaßnahmen notwendig sein können.



Abbildung 43: Eine Rolltreppe bietet den Vorteil, direkt neben einer normalen Treppe angebracht werden zu können. Für einen Aufzug ist dagegen ein getrennter horizontaler Zugangsweg notwendig.

Die Vor- und Nachteile sind damit:

	Aufzug	Rolltreppe
behindertengerecht	⊕	⊖
zu Treppe kompatibel	⊖	⊕

Die den beiden Vorteilen zu Grunde liegenden Features lauten:

**Aufzug:** Ein Aufzug ist behindertengerecht, weil der Boden seiner Kabine aus einer Plattform, die relativ groß, eben und zeitweise unbewegt ist, besteht. Auf diese Plattform kann man mit Rollen leicht hinauffahren. Die Stufen einer Rolltreppe sind dagegen klein und bewegen sich ständig.

**Rolltreppe:** Der Vorteil einer Rolltreppe kommt daher, dass sie schräg ist. Das Ausmaß der Schräge, also die Steigung der Rolltreppe, kann in einem weiten Bereich frei gewählt werden.

Wird als Basissystem wiederum der Aufzug gewählt, so soll also das Feature „schräge Anordnung der Bewegungsrichtung“ übertragen werden, ohne dass das bereits vorhandene Feature „große ebene Plattform“ dabei verloren geht. Eine Lösung dieser Aufgabe ist ein Schrägaufzug.



Abbildung 44: Ein Schrägaufzug ist eine mit einer Treppe kompatible Weiterentwicklung eines Aufzugs. Schrägaufzüge gibt es, so wie hier dargestellt, als kompakte Systeme. Auf U-Bahnhöfen gibt es aber auch große Schrägaufzüge mit einer Kabine.

## 19 Trimming

Unter Trimming versteht man die Weiterentwicklung eines technischen Systems derart, dass eine bestimmte Komponente des Systems wegfällt, ohne dass sich hierdurch die nützliche Funktion des Gesamtsystems verringert.

Der Wunsch nach Wegfall einer bestimmten Komponente kann zwei Ursachen haben. Zum einen können durch Weglassen einer Komponente die Herstellkosten des Systems verringert werden. Mit der Wertanalyse und der wertanalytischen Betrachtung stehen zwei Werkzeuge zur Verfügung, mittels derer bestimmt werden kann, wie groß der Nutzen bzw. wie groß die Funktion einer Komponente sowie die damit verbundenen Kosten sind. Diese beiden Werkzeuge sind in einem getrennten Dokument beschrieben.

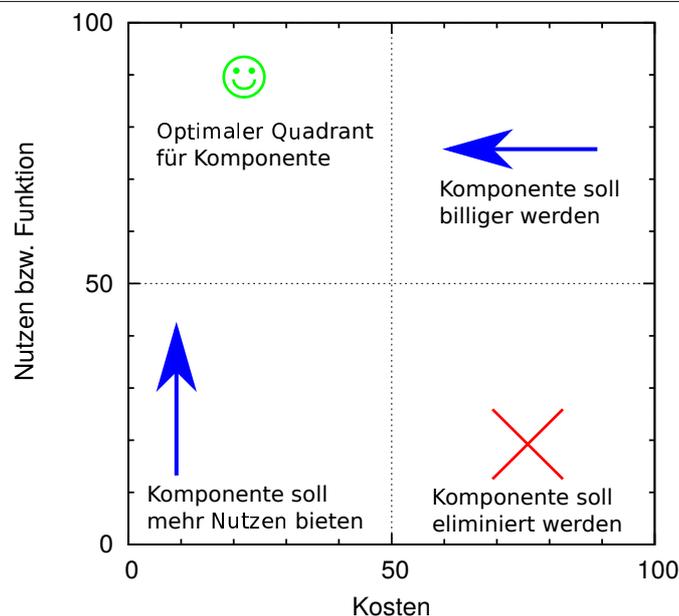


Abbildung 45: Komponenten mit großen Kosten, aber geringem Nutzen (Wertanalyse) bzw. geringer Funktion (wertanalytische Betrachtung) sollten eliminiert werden. Trimming ist ein Werkzeug, um dieses zu erreichen.

Ist gemäß dieser Analyse eine bestimmte Komponente teuer, liefert dabei aber wenig Nutzen bzw. Funktion, so ist der Versuch einer Verbesserung dieser Komponente meistens wenig erfolgversprechend. Der

Rat lautet in diesem Fall, diese Komponente völlig zu eliminieren, sie also zu trimmen (Abb. 45 auf der vorherigen Seite).

Der andere Grund für den Wunsch nach Entfernung einer bestimmten Komponente kann daran liegen, dass sie schädliche Funktionen ausübt. Diese Verbesserung eines Systems, welches auch schädliche Funktionen ausübt, heißt inkrementelle Verbesserung. Die beiden Umsetzungsmöglichkeiten der inkrementellen Verbesserung sind das Verbessern der problematischen Komponente und ihre vollständige Entfernung, also ein Trimming der betreffenden Komponente.

Jede Komponente eines technischen Systems übt mindestens eine nützliche Funktion aus – ansonsten wäre sie niemals dem System hinzugefügt worden. Wird eine Komponente eines technischen Systems entfernt, muss dafür gesorgt werden, dass hierdurch die Funktion des Gesamtsystems nicht beeinträchtigt wird. Ein abschreckendes Beispiel dafür, wie man es nicht machen sollte, bieten Fahrradklingeln.



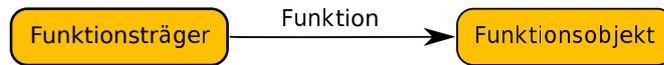
Abbildung 46: Traditionelle Fahrradklingeln besitzen im Innern eine Mechanik, mittels derer ein Metallklöppel wiederholt von innen gegen das Klingelgehäuse schlägt. Dies führt zu einem lauten und damit gut hörbaren Geräusch. Bei vielen moderne Fahrradklingeln wurde diese Mechanik eingespart. Der Hebel ist jetzt elastisch, so dass beim Loslassen der Griff einmal leicht gegen das Gehäuse zurückschlägt. Das Geräusch ist viel leiser und wird daher von anderen Verkehrsteilnehmern oftmals gar nicht wahrgenommen. Dies ist ein abschreckendes Beispiel dafür, was beim Trimming nicht geschehen sollte, nämlich ein Verlust gewünschter Funktion.

Traditionelle Fahrradklingeln besitzen einen Hebel, der seitlich bewegt werden muss. Daraufhin dreht sich, über ein kleines Getriebe angetrieben, ein Schlagwerk im Innern der Klingel und schlägt gegen das Gehäuse der Klingel. Dies führt zu einem lautstarken Geräusch. Um Kosten zu sparen, wurde bei den meisten heutzutage verkauften Fahrradklingeln auf das Getriebe und das Schlagwerk verzichtet. Bei diesen neuen Klingeln muss der „Hebel“ an der Klingel nach unten bewegt und anschließend losgelassen werden. Weil der Hebel elastisch ist, federt er nach dem Loslassen zurück und schlägt dann von außen gegen das Klingelgehäuse. Der sich ergebende Ton ist allerdings viel leiser als der der ursprünglichen Klingel. Die Entfernung einer Komponente ging also mit Funktionsverlust des Gesamtsystems einher. Trimming hat dagegen den Anspruch, dass dabei keine nützliche Funktion verloren geht.

## 20 Trimmingregeln

Jede Komponente führt mindestens eine nützliche Funktion aus – ansonsten wäre sie niemals in das technische System, von dem sie einen Teil bildet, eingebaut worden. Die betreffende Komponente ist

damit Funktionsträger einer Funktion, die auf eine andere Komponente, das sogenannte Funktionsobjekt wirkt.

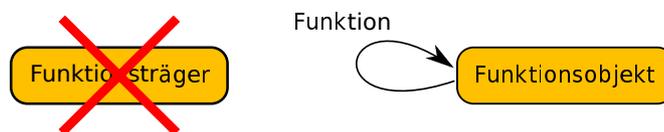


Wird der Funktionsträger aus dem System entfernt, also getrimmt, so steht damit auch diese nützliche Funktion nicht mehr zur Verfügung. Beim Trimmen der Komponente muss also dafür gesorgt werden, dass diese Funktion entweder nicht mehr benötigt wird oder aber auf eine andere Weise zur Verfügung gestellt wird. Die drei grundlegenden Szenarien, nach denen dies geschehen kann, werden als Trimmingregeln bezeichnet.

Die Trimmingregel A besagt, dass der Funktionsträger getrimmt werden kann, wenn das Objekt seiner Funktion ebenfalls entfernt wird oder aus irgendeinem anderen Grund nicht mehr vorhanden ist.



Die Trimmingregel B besagt, dass der Funktionsträger getrimmt werden kann, wenn das bisherige Funktionsobjekt die Funktion übernehmen kann. Das bisherige Funktionsobjekt wirkt dann also auf sich selbst.



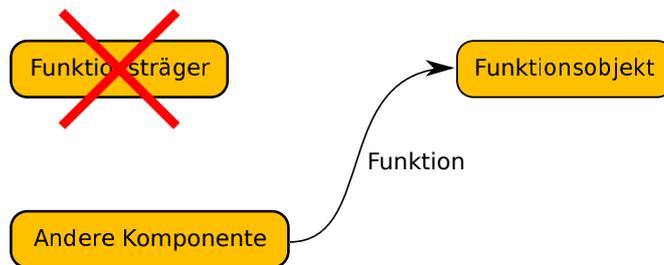
Im Rahmen der Funktionsanalyse werden Komponenten danach eingeteilt, ob sie zum betrachteten technischen System oder aber zu seiner Umwelt gehören. Dementsprechend werden sie als Systemkomponenten oder als Obersystemkomponenten bezeichnet. Die beiden bisher vorgestellten Trimmingregeln sind im Allgemeinen nicht anwendbar, wenn das Funktionsobjekt eine Obersystemkomponente ist. Betrachten wir als Beispiel eine Fahrradklingel, die an einem Fahrrad angebracht ist. Sie dient dazu, Passanten mittels eines Geräusches über drohende Gefahr zu informieren:



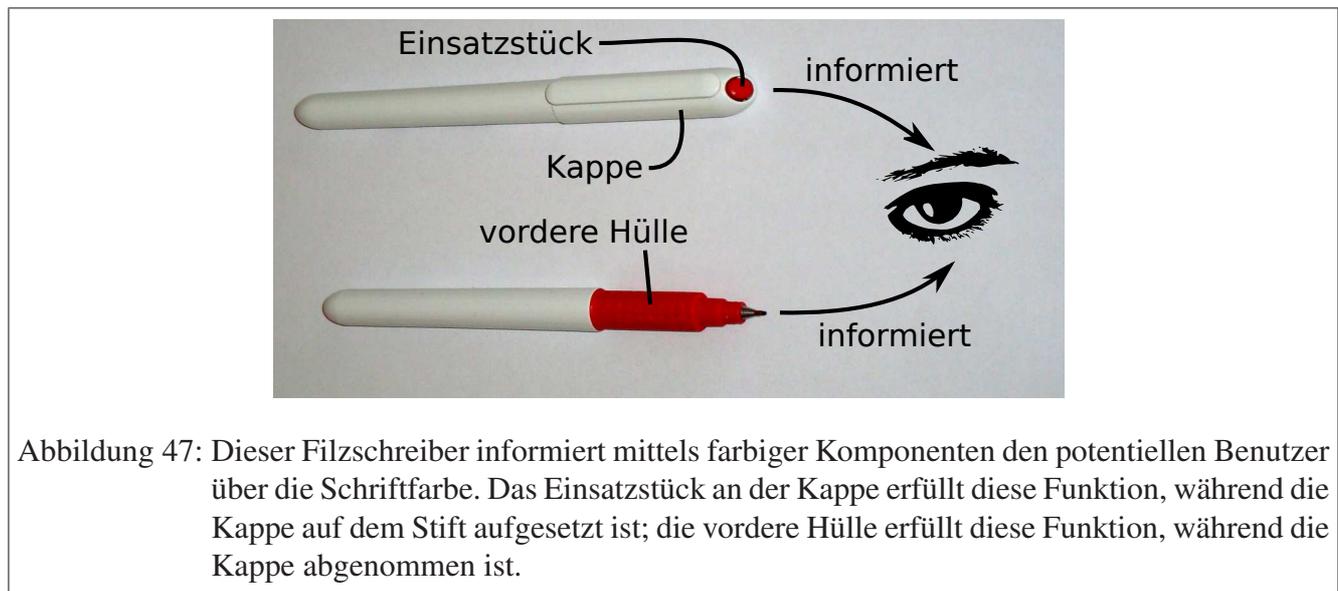
Die beiden Trimmingregeln besagen, dass die Fahrradklingel entfernt werden kann, wenn es keine Passanten mehr geben würde (Trimmingregel A) oder aber wenn die Passanten sich selber über drohende Gefahr informieren würden (Trimmingregel B), alle Passanten also immer extrem aufmerksam wären und auch ständig nach hinten guckten. Beides sind allerdings Optionen, auf die der Entwickler eines

Fahrrades keinerlei Einfluss hat – die Fahrradklingel kann auf diese Weise also nicht getrimmt werden.

Allgemeiner anwendbar ist die nun folgende Trimmingregel C. Sie besagt, dass der Funktionsträger getrimmt werden kann, wenn stattdessen eine andere Systemkomponente die nützliche Funktion übernehmen kann. Dieses wird als Übertragen der Funktion auf eine andere Komponente bezeichnet.



Der dargestellte Filzschreiber (Abb. 47) besitzt an der Spitze seiner Kappe ein Einsatzstück, das auch im geschlossenen Zustand den potentiellen Anwender des Stiftes darüber informiert, in welcher Farbe der Stift schreibt. Es gibt eine weitere Komponente mit einer ähnlichen Funktion: Die vordere Hülle ist ebenfalls entsprechend eingefärbt, kann aber nur gesehen werden, während der Stift geöffnet ist, die Kappe also abgenommen ist.



Im Nachfolgemodell dieses Filzschreibers (Abb. 48 auf der nächsten Seite) ist das farbige Einsatzstück in der Kappe getrimmt worden. Die nützliche Funktion, nämlich im geschlossenen Zustand den potentiellen Benutzer über die Schriftfarbe zu informieren, wurde an den vorderen Teil der Hülle übertragen. Damit der Anwender den vorderen Teil der Hülle auch im geschlossenen Zustand, also mit aufgesetzter Kappe, sehen kann, wurde die Hülle mit Schlitzen versehen.

Bei der Anwendung der Trimmingregel C findet eine Funktionsübertragung statt, und hierfür muss eine geeignete Systemkomponente als neuer Funktionsträger ausgewählt werden. Meistens besteht ein System aus einer großen Anzahl von Systemkomponenten, so dass die Auswahl der am besten geeigneten

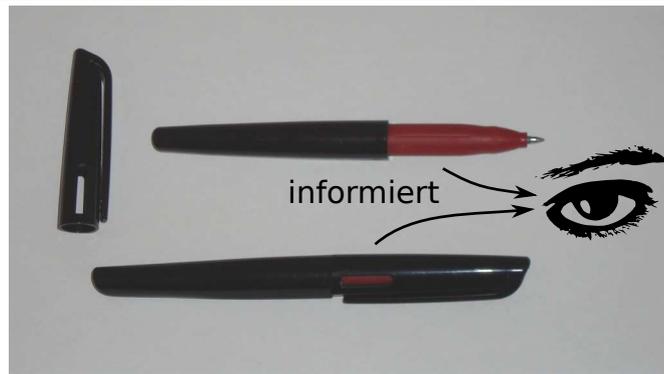


Abbildung 48: Im Nachfolgemodell des Filzschreibers ist nur noch die vordere Hülle gefärbt. In der Kappe befinden sich Schlitze, so dass man die Farbe der vorderen Hülle auch dann erkennen kann, wenn die Kappe aufgesetzt ist.

Komponente nicht immer einfach ist. Aus diesem Grund gibt es vier Richtlinien C1 bis C4, in welcher Reihenfolge Systemkomponenten als denkbare neue Funktionsträger ausprobiert werden sollten (bei Funktionsübertrag gemäß Regel C):

1. Komponenten, die bereits dieselbe (oder eine sehr ähnliche) Funktion am selben Funktionsobjekt ausüben
2. Komponenten, die bereits dieselbe (oder eine sehr ähnliche) Funktion, aber auf eine andere Komponente ausüben
3. Komponenten, die bereits eine Funktion auf das betreffende Funktionsobjekt ausüben; die zur Verfügung gestellte Funktion unterscheidet sich von der gewünschten Funktion jedoch deutlich
4. alle anderen Komponenten

Im Beispiel des Filzschreibers hatte das Einsatzstück die Funktion gehabt, den Benutzer über die Schriftfarbe zu informieren. Die vordere Hülle stellte dieselbe Funktion „informieren“ für dasselbe Funktionsobjekt „Benutzer“ zur Verfügung. Der Filzschreiber war also ein Beispiel für die Richtlinie C1.



Abbildung 49: Ein Heizkörper stellt die Funktion „erwärmt Luft“ zur Verfügung. Soll der Heizkörper getrimmt werden, so muss diese Funktion auf eine andere Komponente übertragen werden.

Die vier verschiedenen Richtlinien sollen nun an einem Beispiel erläutert werden: Ein Heizkörper hat die Funktion, eine Wohnung zu erwärmen. Soll dieser Heizkörper getrimmt werden, so muss eine andere Komponente gefunden werden, auf die diese Funktion übertragen werden kann. Gemäß den obigen Regeln sollten also folgende Komponenten, die (typischerweise) in einer Wohnung vorhanden sind, in dieser Reihenfolge darauf überprüft werden, ob sie diese Funktion übernehmen können.

1. Ein Heizlüfter ist ein sehr guter Kandidat, da er bereits dieselbe Funktion „Erwärmen“ ausführt, und zwar erhitzt er ebenso wie ein Heizkörper die Luft in einem Zimmer. Er übt also dieselbe Funktion auf dasselbe Funktionsobjekt aus, fällt also unter Richtlinie C1.
2. Ein Wasserkocher erfüllt ebenso wie ein Heizkörper die Funktion „Erwärmen“, allerdings kann er keine Luft erhitzen, sondern nur Flüssigkeiten. Er übt also dieselbe Funktion, aber auf ein anderes Funktionsobjekt aus, fällt also unter Richtlinie C2.
3. Ein Ventilator übt eine Funktion auf das Funktionsobjekt „Luft“ aus, genauso wie ein Heizkörper. Diese Funktion ist allerdings nicht das Erwärmen von Luft, sondern vielmehr das Bewegen von Luft. Er übt also eine andere Funktion, aber auf dasselbe Funktionsobjekt aus und fällt damit unter Richtlinie C3.
4. Ein Fernseher übt weder die Funktion „Erwärmen“ aus noch wirkt er auf die Komponente „Luft“. Deswegen fällt er unter Richtlinie C4.



Abbildung 50: Beispiele für jede der vier Richtlinien zum Funktionsübertrag, wenn das Ziel das Trimmen eines Heizkörpers wäre. Ein Heizkörper übt die Funktion „erwärmen“ aus; das Ziel der Funktion ist die Umgebungsluft. Richtlinie 1: selbe Funktion, selbes Ziel; Richtlinie 2: selbe Funktion, anderes Ziel; Richtlinie 3: andere Funktion, selbes Ziel; Richtlinie 4: weder Funktion noch Ziel stimmen überein.

Ein technisches System kann viele Funktionen zur Verfügung stellen, aber nur wegen einer oder wegen einiger weniger dieser Funktionen ist es erfunden worden. Diese Funktionen heißen Hauptfunktionen. Ein Heizlüfter ist dafür erfunden worden, Luft zu erwärmen, damit ist dies auch seine Hauptfunktion. Bei der Anwendung der vier Richtlinien für die Funktionsübertragung sollte man sich jedoch nicht nur auf die Hauptfunktionen einer Komponente beschränken, sondern alle Funktionen betrachten.

Ein Kühlschrank wurde nicht erfunden, um Luft zu erwärmen – aber jeder Kühlschrank besitzt diese Funktion: Es ist physikalisch unmöglich, Kälte zu erzeugen, sondern die Abkühlung im Innern des Kühlschranks kommt nur dadurch zu Stande, dass Wärme nach Außen transportiert wird. Der Wärmetauscher auf der Rückseite gibt diese Wärme dann an die Umgebungsluft ab. Genau wie ein Heizlüfter ist damit auch ein Kühlschrank ein Beispiel für die Richtlinie C1. Benötigt man in einem Passivhaus nur



Abbildung 51: Auch ein Kühlschrank stellt die Funktion „erwärmt Luft“ zur Verfügung und ist daher gut für den Funktionsübertrag von einem Heizkörper geeignet.

eine geringe Heizleistung, so kann ein Kühlschrank, der in jedem Haushalt sowieso ständig in Betrieb ist, ein besserer Ansatz als ein Heizlüfter sein.

Die meisten Trimmingregeln sind unmittelbar einsichtig: Man muss sie sich nicht unbedingt merken, da man sie mit ein wenig Überlegung bei Bedarf ganz einfach ableiten kann. Die einzige Ausnahme ist die Reihenfolge der beiden Richtlinien C2 und C3 für die Funktionsübertragung: Man muss sich merken, dass eine Komponente mit selber Funktion aber anderem Funktionsobjekt wahrscheinlich besser geeignet als eine Komponente mit selbem Funktionsobjekt aber anderer Funktion ist. Im obigen Beispiel bedeutete dies, dass ein Wasserkocher die Funktion eines Heizkörpers wahrscheinlich einfach übernehmen könnte, als dieses für einen Ventilator möglich wäre.

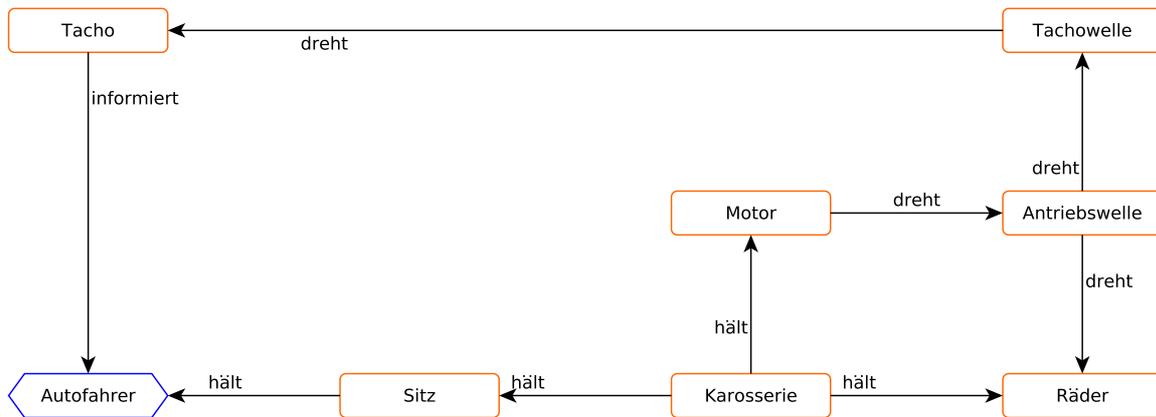
## 21 Trimmen virtueller Komponenten

Bei der bisherigen Beschreibung des Trimmings wurde davon ausgegangen, dass es ein technisches System aus verschiedenen Systemkomponenten gibt, und eine bestimmte dieser Komponenten soll jetzt entfernt werden, ohne dass sich die vom technischen System ausgeübte nützliche Funktion dabei ändert. Trimming kann jedoch auch verwendet werden, um auf effiziente Weise zusätzliche Funktionen in ein System einzufügen.

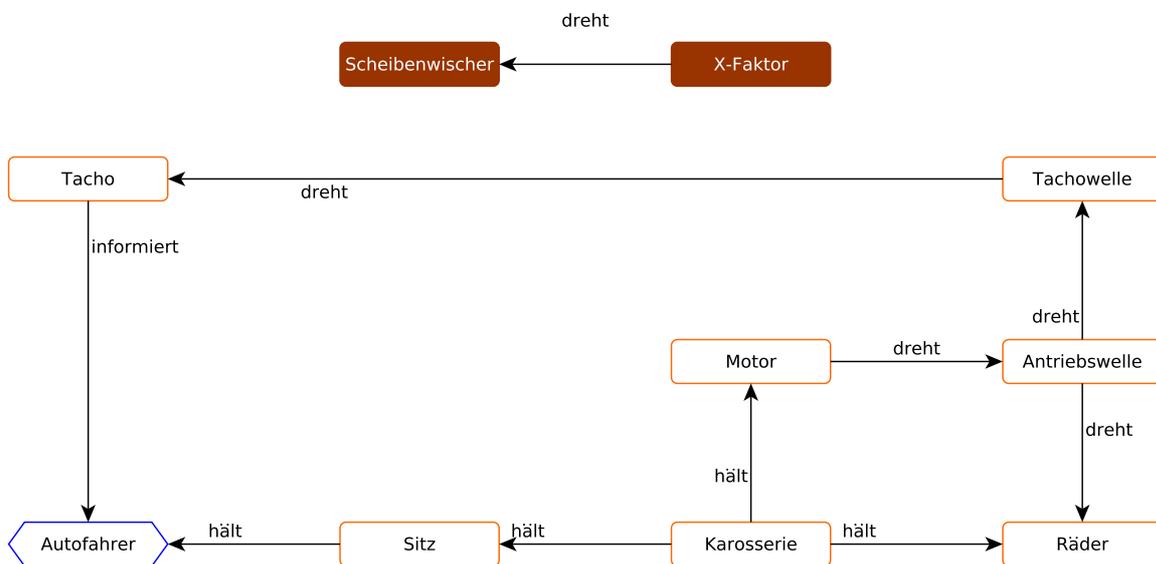
Hierzu wird zuerst eine zusätzliche virtuelle Komponente, die die gewünschte Funktion zur Verfügung stellt, dem technischen System hinzugefügt. Über den Aufbau dieser virtuellen Komponente braucht man nichts zu wissen, denn im nächsten Schritt wird sie bereits wieder getrimmt. Gemäß den Trimmingregeln wird die Funktion dieser virtuellen Komponente dabei auf eine der bereits im technischen System vorhandenen Komponenten übertragen. Die Trimmingregeln sorgen dafür, dass dabei die jeweils sinnvollste Komponente genutzt wird.

Die Funktion, die mittels einer virtuellen Komponente und anschließendem Trimming in das technische System eingeführt werden soll, kann nützlich oder schädlich sein. Das Einfügen virtueller Komponenten mit einer nützlichen Funktion ist das Kernstück von ARIZ. Dort wird eine solche virtuelle Komponente als X-Faktor bezeichnet.

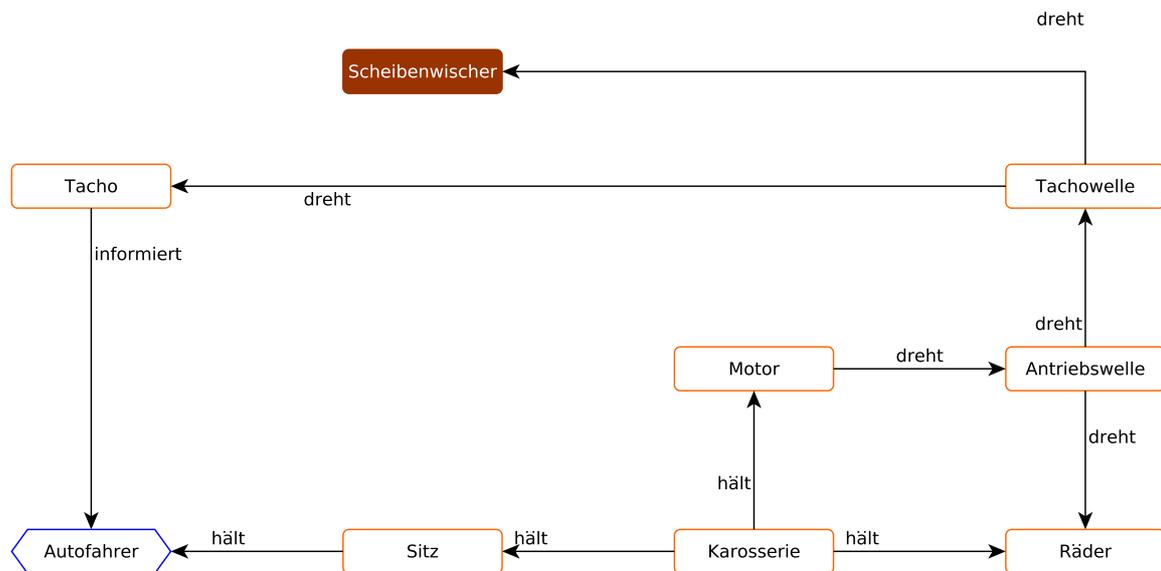
Als ein Beispiel betrachten wir hier einen Ausschnitt eines Funktionsmodells eines einfachen Automobils.



Dieses Automodell soll nun verbessert werden, indem Scheibenwischer hinzugefügt werden. Hierfür wird neben einer Komponente „Scheibenwischer“ noch eine weitere Komponente, die für die Bewegung der Scheibenwischer sorgt, benötigt. Letztere Komponente wird jedoch als X-Faktor eingetragen, d. h., es wird nicht festgelegt, woraus diese Komponente eigentlich besteht, sondern nur, welche Funktion von ihr ausgeführt wird.



Der X-Faktor wird jetzt getrimmt. Gemäß den Trimmingregeln wäre der beste Kandidat für den Funktionsübertrag eine vorhandene Komponente, die bereits jetzt die Scheibenwischer dreht – eine solche Komponente gibt es jedoch. Zweitbeste Option ist nach den entsprechenden Richtlinien eine Komponente, die bereits jetzt etwas anderes dreht. Hiervon gibt es in einem Auto mehrere. Für den Antrieb der Scheibenwischer wird nur eine kleine Leistung benötigt; die Antriebswelle wäre daher für diesen Zweck überdimensioniert. Sinnvoller ist es, die Drehung der Tachowelle zu verwenden.



Der Ansatz, die Tachowelle als Antrieb für den Scheibenwischer zu verwenden, erscheint auf den ersten Blick vielleicht absurd – dieser Ansatz wurde aber tatsächlich umgesetzt: Die erste Serie des Citroën 2CV (Abb. 52), bekannter unter dem Spitznamen „Ente“, besaß keinen eigenen Antrieb für den Scheibenwischer, sondern verwendete die Tachowelle zu diesem Zweck. Nachteil dieses Ansatzes ist es, dass die Geschwindigkeit der Scheibenwischer von der aktuellen Fahrgeschwindigkeit abhängt.



Abbildung 52: Im Citroën 2CV werden die Scheibenwischer von der Tachowelle angetrieben.

Das Hinzufügen einer virtuellen Komponente, die schädliche Funktionen bewirkt, ist ein Vorgehen im Rahmen der antizipierenden Fehlererkennung. Je nach Aufgabe kann eine antizipierende Fehlererkennung auf zwei verschiedene Arten eingesetzt werden.

- Die schädliche Funktion eines technischen Systems ist bereits aufgetreten, ihre Ursache ist jedoch (noch) unbekannt. Insbesondere ist also nicht bekannt, welche Komponente des technischen Systems für die schädliche Funktion verantwortlich ist. Zur weiteren Analyse wird jetzt eine virtuelle Komponente, die genau die beobachtete schädliche Funktion hervorruft, in das technische System eingeführt und anschließend wieder getrimmt.

Beim Trimming wird die schädliche Funktion auf eine der vorhandenen Systemkomponenten übertragen – im Rahmen dieses fiktiven Modells ist die betreffende Systemkomponente dann „schuld“

an der schädlichen Funktion. Auch wenn es sich nur um ein fiktives Modell handelt, so ist es trotzdem wahrscheinlich, dass auch in der Realität diese Komponente die Ursache für die beobachteten Probleme ist. Folgende Analysen sollten sich daher erst einmal auf diese Komponente konzentrieren.

- Die schädliche Funktion ist noch nicht aufgetreten, aber man hat die Befürchtung, dass sie in der Zukunft auftreten könnte. Auf diese Weise kann geprüft werden, ob ein Produkt, das man auf den Markt bringen möchte, bereits marktreif ist. Auch hier wird wieder eine virtuelle Komponente, die die schädliche Funktion ausübt, in das technische System eingefügt. Anschließend wird wieder versucht, diese virtuelle Komponente zu trimmen.

Findet man keine sinnvolle Möglichkeit des Trimmens, so können die im System vorhandenen Komponenten die befürchtete schädliche Funktion nicht hervorrufen; das System kann so auf den Markt gebracht werden. Findet man dagegen eine praktikable Möglichkeit des Trimmings durch Übertragung der schädlichen Funktion auf eine bereits im System vorhandene Komponente, so kann gezielt diese Komponente verbessert werden, um spätere Probleme zu verhindern.

# Bildquellen

- Abb. 1, 5 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US\\_Navy\\_050215-N-2385R-023\\_Engineering\\_Aide\\_Constructionman\\_Doug\\_Gaffney\\_assigned\\_to\\_Naval\\_Mobile\\_Construction\\_Battalion\\_Four\\_Zero\\_\(NMCB-40\)\\_Detachment\\_Sasebo\\_uses\\_a\\_Philadelphia\\_Rod\\_to\\_adjust\\_for\\_elevation.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_050215-N-2385R-023_Engineering_Aide_Constructionman_Doug_Gaffney_assigned_to_Naval_Mobile_Construction_Battalion_Four_Zero_(NMCB-40)_Detachment_Sasebo_uses_a_Philadelphia_Rod_to_adjust_for_elevation.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Duimstok\\_50cm.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Duimstok_50cm.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Massband.jpg>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser\\_line\\_level.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser_line_level.jpg)
- Abb. 3 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LeadPlombs\\_contenu\\_1\\_cartouche.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LeadPlombs_contenu_1_cartouche.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fly\\_swatter.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fly_swatter.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mesa\\_Verde\\_spear\\_and\\_knife.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mesa_Verde_spear_and_knife.jpg)
- Abb. 4 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:New\\_torch\\_bulb.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:New_torch_bulb.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stranded\\_lamp\\_wire.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stranded_lamp_wire.jpg)
- Abb. 6 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halogen\\_lamp\\_operating.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halogen_lamp_operating.jpg)
- Abb. 7 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Closeup\\_Metal\\_Halide\\_Lamp.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Closeup_Metal_Halide_Lamp.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Melkus\\_2000\\_IAA\\_2009.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Melkus_2000_IAA_2009.jpg)
- Abb. 12 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Melkus\\_2000\\_IAA\\_2009.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Melkus_2000_IAA_2009.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:R33-GTR-Engine.JPG>
- Abb. 13 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:R900.JPG>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Giant\\_Escape\\_R2\\_2008.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Giant_Escape_R2_2008.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cube\\_acid\\_2011.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cube_acid_2011.JPG)
- Abb. 14 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wachtposten\\_1\\_1x\\_Rheinbrohl.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wachtposten_1_1x_Rheinbrohl.jpg)
- Abb. 15 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SOT\\_kayak.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SOT_kayak.JPG)
- Abb. 18 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Holdrege,\\_Nebraska\\_city\\_office\\_W\\_entrance\\_doors.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Holdrege,_Nebraska_city_office_W_entrance_doors.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E37\\_Fiona\\_Stanley\\_Hospital\\_\(October\\_2014\)\\_08.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E37_Fiona_Stanley_Hospital_(October_2014)_08.JPG)
- Abb. 19 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ampel-Goettingen-20.jpg>
- Abb. 21 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carports.jpg>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Garagen\\_in\\_Ludwigshafen\\_Sued.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Garagen_in_Ludwigshafen_Sued.jpg)
- Abb. 26 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Doggy\\_door\\_exit.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Doggy_door_exit.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greenhouse\\_-\\_Frick\\_Art\\_&\\_Historical\\_Center\\_-\\_Pittsburgh,\\_PA\\_-\\_DSC05060.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greenhouse_-_Frick_Art_&_Historical_Center_-_Pittsburgh,_PA_-_DSC05060.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Johnstown\\_Jail\\_window.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Johnstown_Jail_window.jpg)
- Abb. 27 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sandblasting\\_without\\_proper\\_ppe.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sandblasting_without_proper_ppe.jpg)
- Abb. 28 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:R1\\_Chain.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:R1_Chain.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Singer\\_Model27\\_BobbinWinderBeltHack.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Singer_Model27_BobbinWinderBeltHack.jpg)
- Abb. 29 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blankenburg\\_Harz\\_Kreisverkehr.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blankenburg_Harz_Kreisverkehr.jpg)
- Abb. 30 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skyttis\\_athletics\\_tracks.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skyttis_athletics_tracks.jpg)
- Abb. 31 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US\\_Navy\\_070406-N-7130B-187\\_In\\_the\\_afi\\_gym\\_around\\_the\\_aircraft\\_carrier\\_USS\\_Ronald\\_Reagan\\_\(CVN\\_76\)\\_Master\\_Chief\\_Electronics\\_Technician\\_James\\_Poletto\\_from\\_New\\_Milford\\_Conn\\_runs\\_on\\_the\\_treadmill.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_070406-N-7130B-187_In_the_afi_gym_around_the_aircraft_carrier_USS_Ronald_Reagan_(CVN_76)_Master_Chief_Electronics_Technician_James_Poletto_from_New_Milford_Conn_runs_on_the_treadmill.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:57601\\_WCRC\\_diesel\\_locomotive\\_Shiela\\_British\\_Rail\\_Class\\_56\\_Carlisle\\_10\\_Oct\\_2009\\_pic\\_3.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:57601_WCRC_diesel_locomotive_Shiela_British_Rail_Class_56_Carlisle_10_Oct_2009_pic_3.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mittenwaldbahn.jpg>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Baldwin\\_Pacific\\_Class\\_4-6-2\\_steam\\_locomotive,\\_Humbermouth\\_Historic\\_Train\\_site\\_](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Baldwin_Pacific_Class_4-6-2_steam_locomotive,_Humbermouth_Historic_Train_site_)
- Abb. 32 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alpen\\_AL95204001.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alpen_AL95204001.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser\\_cutting.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laser_cutting.JPG)
- Abb. 33 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steriele\\_fysiologische\\_oplossing\\_voor\\_injectie.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steriele_fysiologische_oplossing_voor_injectie.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FlammenfärbungCa.png>
- Abb. 35 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mir\\_sailing\\_ship.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mir_sailing_ship.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Curllew\\_ship.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Curllew_ship.jpg)
- Abb. 37 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US\\_Navy\\_070521-N-0989H-008\\_Honduran\\_sailors\\_inspect\\_an\\_engine\\_for\\_proper\\_functions\\_prior\\_to\\_using\\_the\\_vessel\\_for\\_small\\_boat\\_training\\_with\\_U.S.\\_service\\_members.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_070521-N-0989H-008_Honduran_sailors_inspect_an_engine_for_proper_functions_prior_to_using_the_vessel_for_small_boat_training_with_U.S._service_members.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ship\\_Kugelbake\\_2012-08-24.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ship_Kugelbake_2012-08-24.jpg)
- Abb. 39 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Dove\\_I.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Dove_I.jpg)

- Abb. 40 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US\\_Navy\\_070515-N-0938M-005\\_Seabees\\_attached\\_to\\_Naval\\_Mobile\\_Construction\\_Battalion\\_\(NMCB\)\\_133\\_pour\\_concrete\\_into\\_a\\_concrete\\_pad\\_located\\_inside\\_the\\_expansion\\_area\\_of\\_Camp\\_Lemonier.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_070515-N-0938M-005_Seabees_attached_to_Naval_Mobile_Construction_Battalion_(NMCB)_133_pour_concrete_into_a_concrete_pad_located_inside_the_expansion_area_of_Camp_Lemonier.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Road\\_bridge,\\_Slunj,\\_Croatia.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Road_bridge,_Slunj,_Croatia.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayonne\\_Bridge\\_Collins\\_Pk\\_jeh-2.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayonne_Bridge_Collins_Pk_jeh-2.JPG)
- Abb. 41 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HK\\_TimesSquare\\_Escalator.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HK_TimesSquare_Escalator.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KH\\_St\\_Elisabeth\\_RV\\_2013\\_Aufzuege.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KH_St_Elisabeth_RV_2013_Aufzuege.jpg)
- Abb. 42 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paternoster.JPG>
- Abb. 43 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diamant\\_Station\\_Entrance.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diamant_Station_Entrance.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amsterdam\\_Metrostation\\_Bullewijk\\_004.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amsterdam_Metrostation_Bullewijk_004.JPG)
- Abb. 44 <https://www.nps.gov/fodo/planyourvisit/images/chairlift-interior.JPG>
- Abb. 49 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radiator\\_Reflector\\_installation\\_process\\_composite.jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radiator_Reflector_installation_process_composite.jpeg)
- Abb. 52 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1955\\_Citroen\\_2CV.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1955_Citroen_2CV.jpg)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Evolution technischer Systeme</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Regeln und Algorithmen aus Trends</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Innovative Prinzipien</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Liste der innovative Prinzipien</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Widersprüche</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Technischer Widerspruch</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Widerspruchsmatrix</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Matrix 2003</b>	<b>18</b>
<b>9</b>	<b>Kritik an der Widerspruchsmatrix</b>	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>Physikalischer Widerspruch</b>	<b>22</b>
<b>11</b>	<b>Separationsprinzipien</b>	<b>25</b>
<b>12</b>	<b>Befriedigung der widersprüchlichen Anforderungen</b>	<b>32</b>
<b>13</b>	<b>Umgehung der widersprüchlichen Anforderungen</b>	<b>33</b>
<b>14</b>	<b>Bedingungen für die verschiedenen Separationsprinzipien</b>	<b>34</b>
<b>15</b>	<b>Anwendung der Separationsprinzipien</b>	<b>35</b>
<b>16</b>	<b>Anzahl anwendbarer innovativer Prinzipien</b>	<b>37</b>
<b>17</b>	<b>Alternative System Design</b>	<b>39</b>
<b>18</b>	<b>Feature Transfer</b>	<b>42</b>
<b>19</b>	<b>Trimming</b>	<b>45</b>
<b>20</b>	<b>Trimmingregeln</b>	<b>46</b>
<b>21</b>	<b>Trimmen virtueller Komponenten</b>	<b>51</b>