

# Ressourcen



In[5]= Integrate[Exp[-x<sup>2</sup>], {x, 0, ∞}]  
Out[5]=  $\frac{\sqrt{\pi}}{2}$

Michael Patra

Stand: März 2020

# 1 Definition einer Ressource

Unter einer *Ressource* versteht man alles, was bei der Lösung einer Aufgabe hilft bzw. helfen kann. Gemäß dieser sehr weitreichenden Definition können also sehr viele verschiedene (abstrakte und konkrete) Dinge als Ressource fungieren.

Ein einfaches Beispiel ist ein Verbrennungsmotor, der während seines Betriebs bekanntermaßen gekühlt werden muss, d. h., die vom ihm erzeugte Wärme muss irgendwie abgeführt werden. Eine Ressource ist dann alles, an das die Wärme abgegeben werden könnte. Eine mögliche Ressource ist die Umgebungsluft, und diese Ressource wird auch in in der Praxis genutzt: Jedes Automobil besitzt einen Kühler, siehe Abb. 1, in dem der Wärmeübergang an die Ressource „Umgebungsluft“ stattfindet.



Auf einem Boot steht ebenfalls die Umgebungsluft als Ressource zur Verfügung. Es gibt jedoch noch eine weitere, viel effizientere Ressource, nämlich das Wasser, in dem das Schiff fährt. Aus diesem Grund werden alle Schiffsmotoren nicht mittels Umgebungsluft, sondern viel effizienter mit Wasser gekühlt.

Etwas genauer kann man den Begriff der Ressource auf zwei verschiedene Weisen definieren, und diese beiden Definition sind nicht vollständig äquivalent:

- Eine Ressource im *weiteren* Sinne ist alles, was zur Lösung einer Aufgabe beitragen kann.
- Eine Ressource im *engeren* Sinne ist alles, was zur Lösung einer Aufgabe beitragen kann und sowieso bereits vorhanden ist – am besten sogar unbegrenzt, kostenfrei und ohne schädliche Nebenwirkungen.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Definition lässt sich an einem Beispiel leicht erklären: Die Aufgabe sei es, eine Bierflasche zu kühlen, siehe Abb. 2 auf der nächsten Seite. Eine mögliche Ressource hierfür ist kaltes Wasser. Eine denkbare Lösung des Problems unter Anwendung der Ressource „kaltes Wasser“ ist es, die Bierflasche unter den Wasserhahn zu stellen und ihn aufdrehen – viele Personen kühlen tatsächlich auf diese Weise. Auch auf einer Yacht kann mittels kaltem Wasser gekühlt werden, und zwar indem man die Bierflasche an einem Seil festmacht (oder in ein Netz legt) und über Bord in die See hängt.

In beiden Fällen – in einem Haus und auf einem Boot – wirkt kaltes Wasser als Ressource: Das kalte



Resource im weiteren Sinne

Resource im engeren Sinne

Abbildung 2: Eine Flasche kann mittels kaltem Wassers gekühlt werden. Wasser ist also eine Ressource. Leitungswasser in einem Haus kostet allerdings Geld, während auf einem Boot Meerwasser kostenfrei verfügbar ist.

Wasser hilft, das Problem „Kühlen der Flasche“ zu lösen, und genau dieses war die Definition einer Ressource im weiteren Sinne. Die Ressource „kaltes Wasser“ steht unbegrenzt zur Verfügung: weder die kommunale Wasserversorgung noch das Meer werden irgendwann „leer“ sein und kein Wasser mehr liefern können.

Trotzdem gibt es einen sehr fundamentalen Unterschied: Wasser aus der Wasserleitung kostet Geld, während Meerwasser auf der Yacht kostenlos ist. Zur Reinigung des Grundwassers im Wasserwerk sind Energie und Chemikalien notwendig, was beides nicht gut für die Umwelt ist. Dieses Problem besteht beim Kühlen im Meerwasser nicht. Die Ressource „kaltes Meerwasser auf einer Yacht“ ist also kostenfrei und ohne schädliche Nebenwirkungen – es handelt sich also um eine Ressource im engeren Sinne.

Die Verwendung einer Ressource im engeren Sinne ist eine viel bessere Lösung als die Verwendung einer Ressource im weiteren Sinne. Auf einem Boot ist die Kühllösung „Flasche in Wasser“ eine sehr elegante Lösung, und es gibt wenig Grund, sich eine bessere auszudenken. Beim Kühlen unter dem Wasserhahn zieht dieses anders aus: Es handelt sich um eine ziemlich schlechte Lösung – hier sollte dementsprechend nach einer besseren Lösung gesucht werden.

Eine Ressource im weiteren Sinne ergibt also eine Lösung einer Aufgabe. Eine Ressource im engeren Sinne ergibt also eine gute und elegante Lösung einer Aufgabe. Bei der Entwicklung eines technischen Systems muss es also das Ziel des Entwicklers sein, möglichst nur Ressourcen im engeren Sinne zu verwenden. Nur wenn dieses nicht möglich ist, sollte auf Ressource im weiteren Sinne ausgewichen werden.

Eine gute Produktentwicklung bedeutet also, möglichst oft Ressourcen im engeren Sinne zu verwenden, also Ressourcen, die „sowieso bereits vorhanden“ sind. Ein wichtiger Schritt am Anfang eines Entwicklungsprozesses ist es deshalb, nach solchen „sowieso schon vorhandenen“ Ressourcen zu suchen. Um dieses zu unterstützen, wird im Abschnitt 2 zunächst näher beschrieben, was alles als Ressource dienen kann. In den Abschnitten 3 und 5 werden zwei Verfahren beschrieben, wie man möglichst effizient nach vorhanden Ressourcen suchen kann bzw. wie man möglichst wenige der vorhandenen Ressourcen übersieht.

An dieser Stelle sei der folgende Hinweis angebracht: In der Literatur wird der Begriff „Ressource“ nicht einheitlich verwendet – je nach Autor kann hierunter eine „Ressource im weiteren Sinne“ oder

eine „Ressource im engeren Sinne“ gemeint sein. Unter Umständen kann sich sogar in ein und dem selben Buch die Bedeutung des Begriffs „Ressource“ von Kapitel zu Kapitel verändern. In den folgenden Abschnitten wird versucht, immer konsequent „Ressource im weiteren Sinne“ oder „Ressource im engeren Sinne“ zu verwenden. Die Kurzform „Ressource“ wird in den folgenden Abschnitten nur dann verwendet, wenn der Unterschied zwischen „im weiteren Sinne“ und „im engeren Sinne“ nicht relevant ist

## 2 Arten von Ressourcen

Viele verschiedene konkrete, aber auch abstrakte Dinge können als Ressource wirken. Tabelle 1 listet die verschiedenen Ressourcenarten auf. Die oberen drei Einträge in dieser Tabelle können auch als Bestandteil eines Funktionsmodells auftreten. Die unteren drei Einträge dagegen beschreiben abstraktere Formen von Ressourcen.

Arten von Ressourcen
Stoffe
Felder
Funktion
Zeit
Raum
Information

Tabelle 1: Arten von Ressourcen



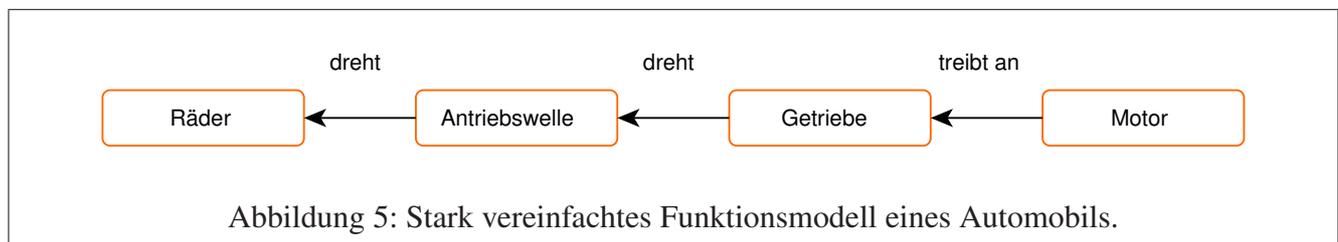
Stoffliche Ressourcen sind die Art von Ressourcen, die am einfachsten zu verstehen sind. Abbildung 3 zeigt zwei verschiedene Antriebsverfahren: eine Rakete mit einem Raketentriebwerk und ein Auto mit einem Verbrennungsmotor. Beide Verfahren funktionieren allerdings nur mittels Sauerstoff – Sauerstoff wirkt hier also als stoffliche Ressource. Es gibt jedoch einen grundlegenden Unterschied zwischen diesen beiden technischen Systemen: Eine Rakete muss den notwendigen Sauerstoff mittels einer komplexen,

teureren und fehleranfälligen Technik in flüssiger Form mitführen, während der Verbrennungsmotor im Auto den benötigten Sauerstoff aus der Umgebung entnimmt.

Felder können ebenfalls als Ressource genutzt werden. Ein Taschenrechner benötigt zum Betrieb elektrische Energie. In einem Taschenrechner mit einer Solarzelle, wie er in Abb. 4 dargestellt ist, wird die Energie des umgebenden elektromagnetischen Feldes, sprich des Umgebungslichtes, als Energiequelle genutzt.



Die dritte Art von Ressourcen, die auch in Funktionsmodellen eingetragen sein können, sind Funktionen als solches. Abbildung 5 zeigt ein extrem stark vereinfachtes Funktionsmodell eines Automobils.



Ein Teil dieses Funktionsmodells ist die Funktion „Getriebe dreht Antriebswelle“. Diese Funktion ist vorhanden, weil damit der eigentliche Zweck des Automobils, nämlich dessen Fortbewegung, erreicht wird. Zu einer Ressource wird diese Funktion des Getriebes dadurch, dass ohne größeren Mehraufwand auch andere Objekte als nur die Antriebswelle gedreht werden können. Ein Unimog, siehe Abb. 6, setzt diese Idee in vorbildlicher Weise um. Unimog steht für universelles Motorgerät, und die Idee ist es, die Motorleistung an verschiedenen Stellen des Fahrzeuges mittels einer Welle zur Verfügung zu stellen. Dort können dann verschiedenste Arbeitsgeräte angebracht werden – und dank der funktionalen Ressource „dreht Welle“ benötigen diese keine eigene Antriebseinheit.

Bei vielen Ressourcen ist es nicht auf den ersten Blick klar, ob es sich um eine stoffliche Ressource, eine Feldressource und eine Funktionenressource handelt. Ein gutes Beispiel für eine solche Situation ist ein Turbolader, siehe Abb. 7 auf der nächsten Seite.

Ein Turbolader nutzt die Abgase des Motors aus, um damit eine Turbine anzutreiben. Mittels dieser Turbine kann mehr Umgebungsluft in den Motor gepresst werden, wodurch sich die Motorleistung er-



Abbildung 6: Bei Unimogs wird die Motorenwelle nach vorne herausgeführt. Hierdurch können Arbeitsvorrichtungen an ihm montiert und vom Motor angetrieben werden.

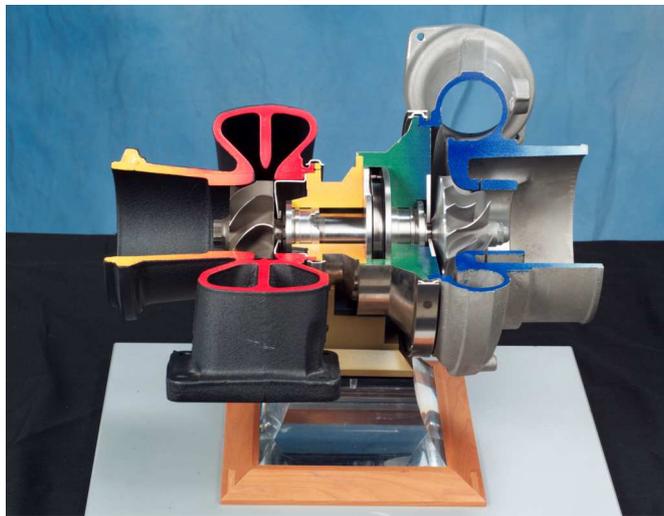


Abbildung 7: In einem Turbolader treiben die heißen Abgase eine Turbine an (rot), mittels deren die in Motor fließende Luft komprimiert wird (blau).

höht. Allerdings wird in gewisser Hinsicht gar nicht nicht der Stoff „Abgas“ ausgenutzt – die chemische Zusammensetzung des Abgases entspricht im Wesentlichen der der normalen Umgebungsluft, und außerdem ist für die Funktion des Turboladers die chemische Zusammensetzung das Gases vollkommen irrelevant. Auch die hohe Temperatur des Abgases ist nicht weiter wichtig. Ausgenutzt werden letztendlich Druck und Impuls des Abgases, und Druck sowie Impuls sind im Rahmen dieses Formalismus Felder. In einer sehr formalen Betrachtungsweise nutzt ein Turbolader also eine Feldressource aus.

Glücklicherweise ist eine Diskussion, welcher Art eine bestimmte, im Problemlösungsprozess gefundene Ressource eigentlich ist, vollkommen überflüssig. Tabelle 1 dient schließlich einem ganz anderen Zweck: Für jeden Eintrag in der Tabelle sollte man sich fragen, ob es eine entsprechende Ressource im „eigenen“ System gibt – um möglichst keine Ressourcen zu übersehen. Ob man an die die Ressource „Abgas unter hohem Druck“ denkt, wenn man die Zeile „Stoffliche Ressourcen“ in der Tabelle liest, oder aber erst, wenn man an der Zeile „Feldressourcen“ angekommen ist, ist für die Erfolg der Ressourcensuche

irrelevant.

Bei den letzten drei Einträge in Tabelle 1 auf Seite 5, nämlich Zeit, Raum und Information, ist es auf den ersten Blick etwas schwerer zu verstehen, wieso es sich hierbei um Ressourcen handelt. Aber auch für Zeit, Raum und Information gilt wiederum, dass sie hilfreich sein können, um ein Problem zu lösen – und damit können sie als Ressource wirken.



Abbildung 8: Bei einem Jagdflugzeug darf das Bordgeschütz nur während der Zeit aktiv sein, während der sich kein Propellerflügel vor dem Geschütz befindet. Zeit ist hier also eine wichtige Ressource.

Im ersten Weltkrieg wurden die ersten Jagdflugzeuge entwickelt. Um gut zielen zu können, mussten die Bordgeschütze symmetrisch zur Achse des Flugzeugs angeordnet sein, siehe Abb. 8. Dies ergibt das Problem, dass das Bordgeschütz ohne geeignete Gegenmaßnahmen den Propeller des eigenen Flugzeuges zerschießen würde. Wichtig ist es, für das Abfeuern einen Zeitraum zu finden, in dem die Schussbahn frei ist, der Propeller also nicht im Weg ist – es muss also eine geeignete zeitliche Ressource gefunden werden. Technisch wurde dieses durch ein Unterbrechergetriebe realisiert, wodurch Feuervorgang und Propellerdrehung synchronisiert werden.

Das Auffinden räumlicher Ressourcen ist ein häufiges Problem bei der Weiterentwicklung eines technischen Systems. Idealerweise passt eine neuentwickelte Komponente in den Bauraum ihres Vorgängermodells. Gelingt dieses nicht, so muss in dem System, in das die Komponente eingebaut werden soll, nach aktuell ungenutztem Bauraum gesucht werden. Dieser Bauraum ist eine wertvolle Ressource.

Auch bei der vollständigen Neuentwicklung eines Produktes können räumliche Ressourcen hilfreich sein. Abbildung 9 auf der nächsten Seite zeigt ein komplexes Taschenwerkzeug, das primär für Reisen gedacht ist. Um die verschiedenen Werkzeugkomponenten im Zustand „Werkzeug ungenutzt“ unterzubringen zu können, wird Platz benötigt – also eine räumliche Ressource. Eine der vielen Funktionen dieses Werkzeugs ist die einer Zange. Um mit einer Zange kraftvoll zukneifen zu können, benötigt sie hinreichend große Griffe. Das Innere dieser Griffe enthält die ungenutzten Werkzeuge. Da die Griffe sowie vorhanden sein müssen, um kraftvoll drücken zu können, handelt es sich also um eine räumliche Ressource im engeren Sinne.



Abbildung 9: Um mit einer Zange genügend Kraft aufbringen zu können, muss sie hinreichend große Griffe besitzen. Das ungenutzte Volumen im Innern der Griffe kann zur Unterbringung anderer Werkzeuge genutzt werden.



Abbildung 10: Links liegt die Information über die Zuordnung der Strümpfe zu Paaren direkt vor. Rechts ist diese Information verloren gegangen.

Informationsressourcen erkennt man häufig am leichtesten, wenn sie fehlen bzw. zerstört werden. Abbildung 10 zeigt ein einfaches Beispiel aus dem Haushalt: links liegt die Information über die Zuordnung der Paare vor, rechts ist sie verloren gegangen. Lautet die Aufgabe, eine Maschine zum automatisierten Verpacken von Strümpfen zu entwickeln, so ist diese Aufgabe leichter lösbar, wenn die Strümpfe wie in in der linken Abbildung bereits sortiert vorliegen. Die Informationsressource erleichtert also die Aufgabe. Umgekehrt bedeutet es auch, dass man bei der Entwicklung eines technischen Systems vermeiden sollte, vorhandene Information leichtfertig zu zerstören (z. B., indem Zwischenprodukte willkürlich gemischt werden), weil dann folgende Systeme unter Umständen komplexer werden.

### 3 Problemorientiertes 9-Felder-Denken

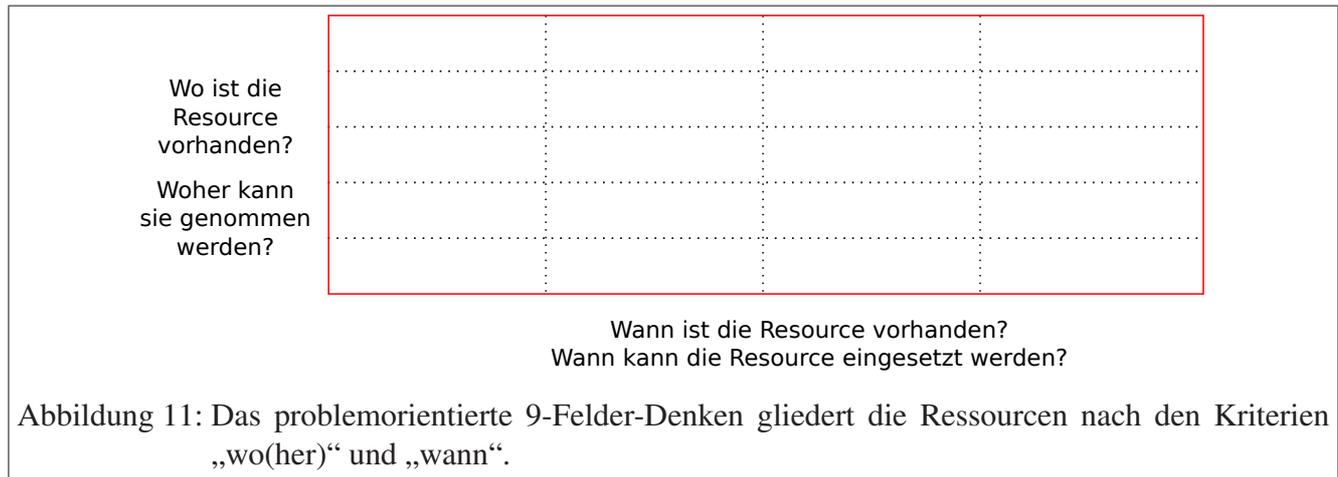
Das problemorientierte 9-Felder-Denken ist ein Ansatz, um Ressourcen zu finden, die bei der Lösung eines Problems helfen können. Es gibt auch 9-Felder-Ansätze für andere Zwecke; der Vorsatz „problemorientiert“ dient daher zur Abgrenzung gegen diese anderen Ansätze.

Im Abschnitt 2 waren die verschiedenen Arten von Ressourcen beschrieben worden, und Tabelle 1 zeigte die sechs verschiedenen Arten von Ressourcen. Man kann diese Tabelle auch zur Suche nach Ressourcen nutzen, indem man für jeden Eintrag fragt, ob es eine entsprechende Ressource gibt, also z. B. „Welche Feldressourcen gibt es?“.

Das problemorientierte 9-Felder-Denken geht an diese Aufgabe anders heran. Es werden nämlich die beiden folgenden Fragen verwendet:

- Wo könnte es Ressourcen geben?
- Wann könnte es Ressourcen geben?

Diese beiden Achsen spannen ein Diagramm wie in Abb. 11 auf.



Das problemorientierte 9-Felder-Denken soll helfen, ein bestimmtes Problem zu lösen. Ein Problem tritt jedoch häufig nicht ständig auf, sondern nur zu einem bestimmten Zeitpunkt oder wenn eine bestimmte Bedingung erfüllt ist. Sonnenbrand tritt zum Beispiel nicht ständig auf, sondern nur, wenn man zu lange ungeschützt in der Sonne war. Der Zeitpunkt des Problems „Sonnenbrand“ ist also der Moment „Mensch befindet sich in der Sonne“.



Denkbare Lösungen bzw. denkbare Ressourcen können nun dadurch unterschieden werden, wann sie relativ zum Zeitpunkt des Problems eingesetzt werden können. Abbildung 12 zeigt dieses für das Problem „Sonnenbrand“. Sonnenschutzcreme ist eine sehr hilfreiche Ressource, nutzt jedoch nichts mehr,

wenn sie erst nach dem Sonnenbad auf die Haut aufgetragen wird. Eine Panthenolsalbe kann die Auswirkungen eines bereits vorhandenen Sonnenbrands verringern, aber Vorbeugen tut sie nicht. Ein Hut oder langärmelige Kleidung bringen nur dann etwas, wenn sie getragen werden, während man in der Sonne ist – sie im Haus zu tragen, also bevor oder nachdem man draußen in der Sonne war, ist zur Vermeidung eines Sonnenbrandes nutzlos.

Maßnahmen, die nach dem Eintritt des Problems getroffen werden, können oftmals das Problem als solches nicht mehr verhindern, sondern nur noch seine Auswirkungen mindern. Dies kann auch auf eine andere Weise ausgedrückt werden: Das „Problem“ ist nur ein Teilaspekt eines größeren Zieles, des sogenannten Oberzieles. Das Problem „Sonnenbrand“ ist nur ein Aspekt des Oberzieles „gesunde Haut“. Genauso ist das Verhindern von Wohnungsbränden nur ein Teilaspekt des Oberzieles „Überleben der Bewohner“. Ein Rauchmelder verhindert keinen Wohnungsbrand, aber er erlaubt schlafenden Bewohnern die Flucht – auch wenn danach die gesamte Wohnung ausbrennt.

Problem: Wohnungsbrand  
 Zeitpunkt des Problemeintritts: Feuer bricht aus  
 Oberziel: Überleben

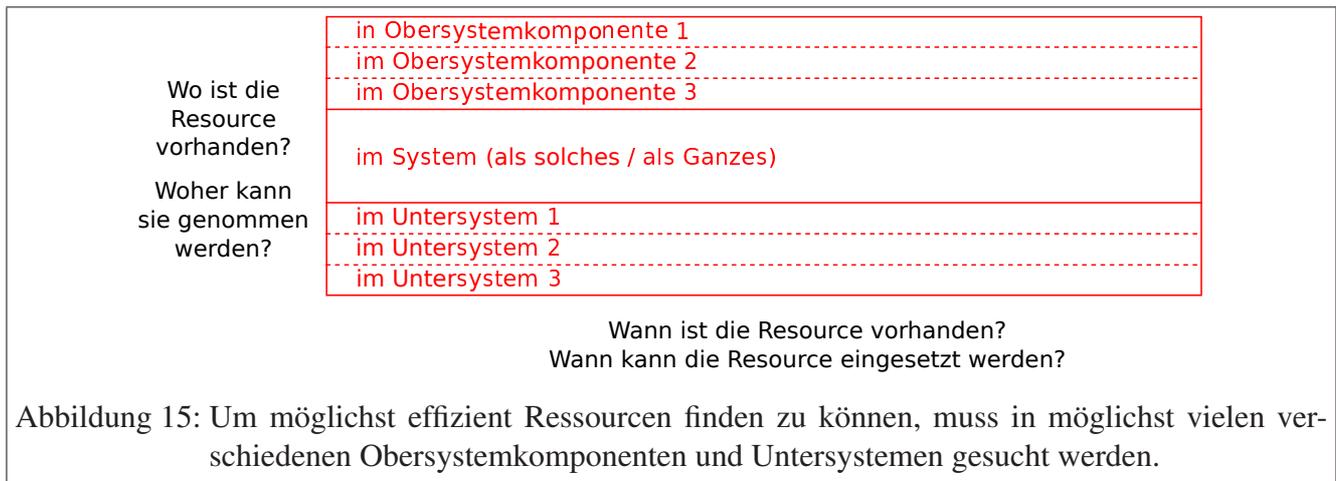
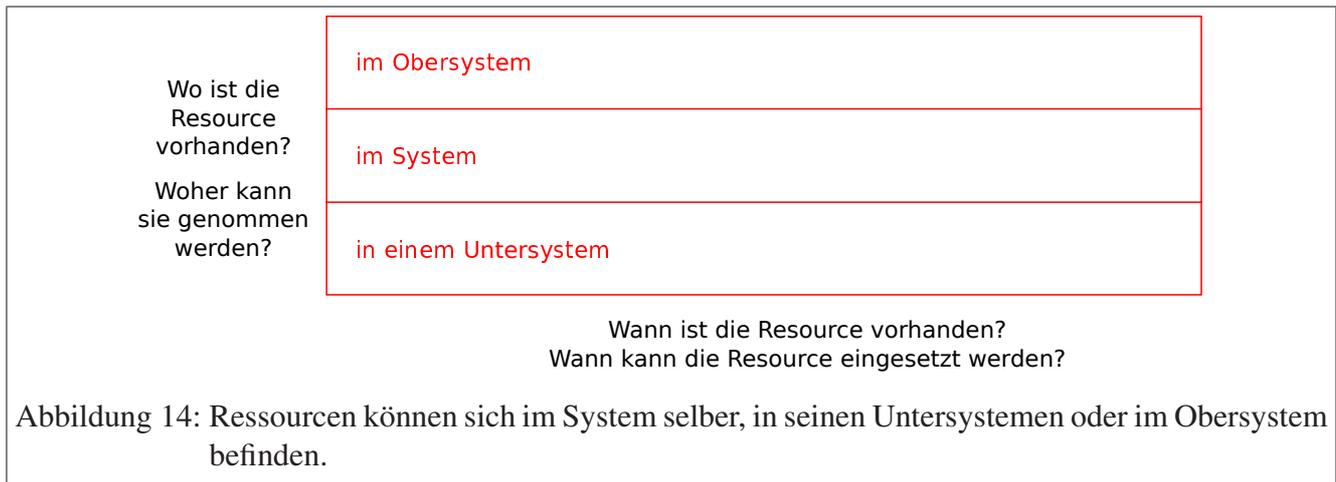
<p>Wo ist die Resource vorhanden?                  Woher kann sie genommen werden?</p>	<p style="color: red;">vorher</p> 	<p style="color: red;">während</p> 	<p style="color: red;">nachher</p> 
<p>Wann ist die Resource vorhanden?                  Wann kann die Resource eingesetzt werden?</p>			

Abbildung 13: Ein Rauchmelder wird meistens erst aktiv, wenn das Feuer bereits so groß ist, dass es kaum noch von einem Laien gelöscht werden kann. Damit verhindert bzw. löst er das Problem „Wohnung brennt aus“ nicht, aber er hilft trotzdem, indem man den Wohnungsbrand wenigstens überlebt.

Die eine Frage beim problemorientierten 9-Felder-Denken war die nach dem „wann“, und nur diese war bis jetzt erläutert worden. Nun geht es um die andere Frage, nämlich die, „wo“ bzw. „woher“ Lösungen für das Problem bzw. hilfreiche Ressourcen genommen werden könnten. Im Kapitel „Funktionsmodelle“ wurden die Begriffe „Systems“, „Obersystem“ und „Untersystem“ eingeführt. Die Achse „woher“ im problemorientierten 9-Felder-Denken kann daher bequem mittels dieser Begriffe strukturiert werden, so wie es in Abb. 14 auf der nächsten Seite getan wurde.

Ein System enthält meistens mehrere Untersysteme, und auch das Obersystem besteht meistens aus verschiedenen Teilen. Dementsprechend gibt es nicht nur drei Unterteilungen, sondern oftmals deutlich mehr, da Obersystem- und Untersystembereiche noch weiter unterteilt werden müssen (Abb. 15 auf der nächsten Seite).

Als Beispiel wollen wir das Problem betrachten, dass Autos zu viel Benzin verbrauchen. Das System lautet also „Auto“. Untersysteme eines Autos sind zum Beispiel der Motor, die Karosserie, die Bremsen und die Sitze. Obersystemkomponenten sind zum Beispiel die Straßen, die Ampeln und die Tankstellen. Denkbare Lösungsansätze mittels dieser Komponenten sind in Abb. 16 auf Seite 13 dargestellt.



Die beiden Fragen „wo(her) kann die Ressource/Lösung kommen“ und „wann wirkt sie“ wurden in den beiden oben dargestellten Beispielen getrennt behandelt, da so der Hintergrund hinter diesen beiden Frageansätzen besser verständlich wird – einmal ergeben sich drei Spalten (siehe Abb. 12 auf Seite 10), einmal ergeben sich drei Zeilen (siehe Abb. 16 auf der nächsten Seite), die gegebenenfalls noch weiter untergliedert sein können. Werden diese beiden Ansätze zusammengenommen, so ergeben sich 9 Felder – daher der Name dieser Technik. Dies ist zur Übersicht in Abb. 17 auf Seite 14 noch einmal zusammengefasst.

Obersystem



Die **Straßen** können mit einem reibungsarmen Belag versehen werden.



Die **Straßen** können möglichst eben (ohne Steigungen) geführt werden.

Die **Ampeln** können zentral gesteuert werden (grüne Welle).



Die **Ampeln** können anzeigen, wie schnell man sinnvollerweise fahren sollte.



Die **Tankstellen** können Treibstoffs mit veränderter Zusammensetzung bzw. mit Additiven verkaufen. Dadurch wird die Verbrennung im Motor verbessert.

System (als Ganzes)



Die wichtigste Eigenschaft des **Autos**, die den Kraftstoffverbrauch bestimmt, ist sein Gewicht. In welcher Komponente Gewicht eingespart wird, ist nicht sonderlich wichtig.

Untersysteme



Die Steuerungselektronik des **Motors** kann verbessert werden.



Die **Karosserie** wird stromlinienförmiger.

Die **Bremse** vernichtet keine kinetische Energie, sondern speichert sie in einer Batterie.



Die **Sitze** können wahrscheinlich nicht zur Lösung des Problems beitragen.

Abbildung 16: Denkbare Lösungsmöglichkeiten für das Problem „Autos verbrauchen zu viel Benzin“, aufgeschlüsselt danach, ob der Lösungsansatz im Obersystem, im System als Ganzes oder in einem bestimmten Untersystem liegt.

Am einfachsten wird das 9-Felder-Denken mittels eines Formulars wie in Abb. 18 auf der nächsten Seite durchgeführt. Das explizite Aufschreiben der Systemkomponenten am Anfang des 9-Felder-Vorgehens

Wo?	Wann?	vor Problemeintritt	im Moment des Problemeintritts	nach Problemeintritt
Resource bzw. Lösung aus dem Obersystem				
Resource bzw. Lösung aus dem System als solches				
Resource bzw. Lösung aus einem Untersystem				

Abbildung 17: Das problemorientierte Neun-Felder-Tableau

mag auf den ersten Blick vielleicht überflüssig erscheinen, ist für den weiteren Prozess jedoch sehr hilfreich. Für jedes der neun Felder muss dann überlegt werden, ob es einen für dieses Feld zutreffenden Lösungsansatz geben könnte. Die am Anfang aufgestellte Liste der Komponenten (Obersystemkomponenten, Untersysteme) kann hierbei als Anregung dienen.

### Problemorientiertes 9-Felder-Denken

Problem: \_\_\_\_\_

Zeitpunkt des Problems: \_\_\_\_\_

Oberziel: \_\_\_\_\_

System: \_\_\_\_\_

Obersystemkomponenten: \_\_\_\_\_

Untersysteme: \_\_\_\_\_

	vorher	während	nachher
Obersystem			
System (als Ganzes)			
Untersystem			

Michael Patra

Abbildung 18: Formular zu effizienten Bearbeitung des problemorientierten 9-Felder-Denkens

Wenn man beim Suchen nach Ressourcen bzw. Lösungsansätzen für eines der neun Feld keine Ideen hat, so sollte man nicht ewig darüber nachdenken, sondern irgendwann aufgeben. Andererseits darf man auch

nicht zu schnell zum nächsten Eintrag weitergehen, da die wirklich kreativen Ideen genau diejenigen sind, auf die man nicht sofort kommt. Sinnvoll ist es, sich eine bestimmte feste Zeit vorzugeben (z. B. zwei oder drei Minuten), bevor man zum nächsten Feld wechselt. Bei den Feldern für das Obersystem bzw. die Untersysteme kann es sinnvoll sein, feiner vorzugehen und die am Anfang aufgestellte Liste der Obersystemkomponenten bzw. Untersysteme zu verwenden: an Stelle einer Zeitvorgabe für jedes der neun Felder wird dann eine Zeitvorgabe pro aufgelisteter Komponente gemacht.

## 4 Beispiel zur Ressourcenanwendung

Eine der ersten Fragen, die man sich stellen sollte, lautet: „Was habe ich eigentlich (bereits) zur Verfügung?“. Mit anderen Worten: Welches sind die verfügbaren Ressourcen im engeren Sinne. Ein gutes Beispiel für eine solche Suche und anschließende Anwendung vorhandener Ressourcen ist die Apollo 13-Mission. Der gleichnamige Kinofilm stimmt, zumindest in diesem Aspekt, hochgradig mit dem tatsächlichen Geschehen überein. Eine Suche nach „Apollo 13 Filter“ in einem Videoportal sollte die entsprechenden Filmausschnitte leicht finden.



Abbildung 19: Die Explosion im Versorgungsmodul von Apollo 13 war so stark, dass sogar ein Teil der Verkleidung abgesprengt wurde. Das genaue Ausmaß des Schadens war jedoch während der Mission unbekannt, da dieses Foto erst kurz vor dem Wiedereintritt der Raumkapsel in die Erdatmosphäre aufgenommen werden konnte.

Auf der NASA-Mission „Apollo 13“ kam es zu einer Explosion in einem Gastank der Versorgungseinheit der Raumkapsel, siehe Abb. 19. Die Beschädigungen führten dazu, dass kaum noch elektrische Energie zur Versorgung der Lebenserhaltungs- und Steuerungssysteme zur Verfügung stand. Dies zwang die Crew dazu, in die Mondfähre umzusteigen, in der Hoffnung, dort bis zur Rückkehr zur Erde überleben zu können.

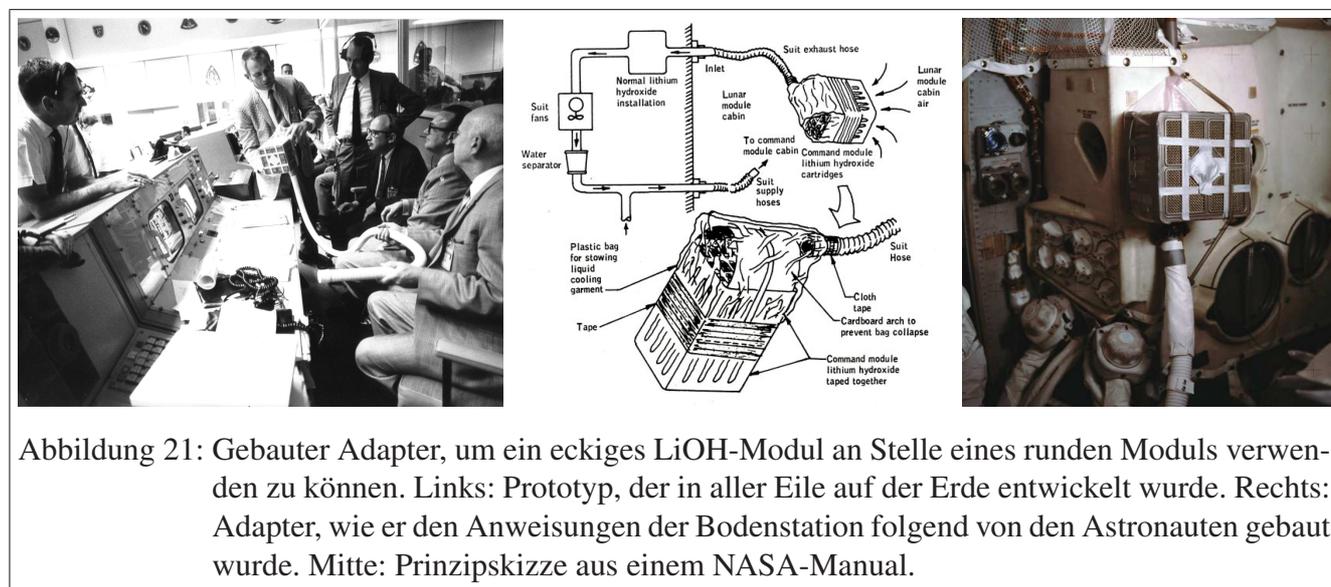
Für die Atmung der Besatzung eines Raumschiffes ist es nicht ausreichend, dass genügend Sauerstoff vorhanden ist. Weit bevor der Sauerstoff aufgebraucht ist, kommt es zu einer Vergiftung durch das ausgeatmete Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), welche sich in der Luft im Raumschiff ansammelt. Deswegen wird das ausgeatmete  $\text{CO}_2$  durch Lithiumhydroxid ( $\text{LiOH}$ ) absorbiert. Der gleiche Mechanismus wird auch in den Tauchgeräten von Kampfschwimmern der Marine verwendet, da dort die verbrauchte Luft nicht abgelassen werden darf, um verräterische aufsteigende Luftbläschen zu vermeiden.

Zur  $\text{CO}_2$ -Absorption führt jedes Raumfahrzeug  $\text{LiOH}$ -Module, die in regelmäßigen Abständen ausgewechselt werden müssen, mit. Dies galt natürlich auch für Apollo 13: es gab ausreichend  $\text{LiOH}$ -Module

für das Kommandomodul (also die eigentliche Raumkapsel), es wurden aber nur wenige Module für die Mondlandefähre mitgeführt – letztere Module mussten schließlich nur für die kurze Phase des Mondabstiegs und Wiederaufstiegs der Mondlandefähre ausreichen. Die beiden Typen von LiOH-Modulen erfüllen eine identische Funktion, haben jedoch eine unterschiedliche Form, siehe Abb. 20.



Da die gesamte Besatzung nun unplanmäßig die gesamte Reise in der Mondlandefähre verbringen musste, gingen die Mondlandefähre-LiOH-Module zur Neige. Um nicht zu ersticken, mussten irgendwie die Kommandomodul-LiOH-Module an die Klimaanlage der Mondlandefähre angeschlossen werden – was aber auf Grund der unterschiedlichen Form einen Adapter benötigte. Dieser musste von den Astronauten hergestellt werden – und zwar nur mit dem, was sowieso bereits im Raumschiff vorhanden war. Es musste also vollständig mit Ressourcen im engeren Sinne ausgekommen werden.



Hierfür die erste Frage natürlich, was genau denn bereits vorhanden ist. Die zweite Frage, die genauso wichtig ist, geht danach, wofür die gefundenen Komponenten genutzt werden können, d. h., welche Funktionen von ihnen zur Verfügung gestellt werden können. Diese Funktionen sind zum einen die „traditionellen“ Funktionen, wegen der die entsprechenden Komponenten ursprünglich hergestellt worden sind, zum anderen aber auch zusätzliche Funktionen, die von den entsprechenden Komponenten übernommen werden können.

Für den Apollo 13-Adapter (siehe Abb. 21) wurden zum Beispiel die folgenden Gegenstände wie folgt verwendet:

- eine Socke: Die Socke wurde verwendet, um das Rohr in der Mitte des eckigen LiOH-Filter zu stopfen, weil ansonsten die Luft durch das Rohr und nicht durch den Filter geströmt wäre.
- Deckblatt des Flugplans: Der Flugplan hat einen Einband aus dickem Karton. Der Karton wurde als stabiles „Dach“ der Konstruktion verwendet, damit der beabsichtigte Weg der Luft offen bleibt.
- Notdurftbeutel: Der Plastiksack ist Teil des Raumanzugs und nimmt im Normalfall die Notdurft der Astronauten auf. Hier dient der Plastiksack zur luftdichten Verpackung der gebauten Vorrichtung.

## 5 Ressourcensuche

In einem traditionellen Entwicklungsansatz werden nacheinander die folgenden Fragen gestellt:

1. Wie lautet ein denkbarer Lösungsansatz?
2. Welche Zutaten (Stoffe, Felder, usw.) brauche ich für die Lösung?
3. Wo bekomme ich sie her?

Der Ansatz der Ressourcensuche kehrt diese Abfolge um:

1. Was habe ich (bereits sowieso) zur Verfügung?
2. Wie könnte ich diese Zutaten nutzen?
3. Wie lautet ein denkbarer Lösungsansatz?

Im traditionellen Ansatz ergeben sich häufig neue notwendige „Zutaten“, so dass das technische System hierdurch komplexer oder zumindest teurer wird. Im Ansatz der Ressourcensuche wird dieses vermieden – es wird gezielt nach Lösungsansätzen, die das bereits Vorhandene maximal ausnutzen, gesucht.

Alles, was zu einer Problemlösung genutzt werden kann und sowie bereits vorhanden ist, ist eine Ressource im engeren Sinne, siehe Abschnitt 1. Bei der Ressourcensuche geht es primär darum, Ressourcen im engeren Sinne zu finden. Wenn die gefundenen Ressourcen im engeren Sinne nicht ausreichen, so wird auch nach Ressourcen im weiteren Sinne gesucht, wobei allerdings möglichst nach Ressourcen im „halb-engen Sinn“ gesucht wird – solche Ressourcen sind zwar nicht bereits vorhanden, aber mit relativ geringem Aufwand beschaffbar bzw. verfügbar.

## Stoffliche Ressourcen

Stoffliche Ressourcen kann es sowohl im betrachteten System als auch in seiner Umwelt, dem sogenannten Obersystem, geben. Die Komponenten des Systems können oft in drei Gruppen unterteilt werden: Werkzeugkomponenten, Produktkomponenten und Abfall. Der erste Schritt in der Suche nach stofflichen Ressourcen besteht darin, alle Komponenten aufzulisten – und dieser Schritt ist meistens der einfachere.

Der zweite Schritt besteht darin, sich darüber klar zu werden, welche besonderen oder zumindest potentiell hilfreichen Eigenschaften diese Komponenten haben können. Ein Stoff kann zum Beispiel magnetisch sein oder sich unter Wärmeeinwirkung verformen.

Bei vielen technischen Aufgabenstellungen ist es relativ schnell klar, was hilfreiche Eigenschaften für die Lösung der Aufgabe sein könnten. Handelt es sich um eine Maschine, die mit einem Treibstoff angetrieben werden soll, so ist es höchstwahrscheinlich hilfreich, flüssigkeitsfeste Stoffe zur Verfügung zu haben, oder aber auch Stoffe, die Flüssigkeiten aufnehmen und wieder abgeben können.

Wurden im zweiten Schritt der Ressourcenanalyse keine geeigneten stofflichen Ressourcen gefunden, so kann überlegt werden, auf leicht oder billig verfügbare Stoffe auszuweichen. Was ein leicht oder billig verfügbarer Stoff ist, hängt stark von der Aufgabenstellung ab. In der Literatur wird als Beispiel oft „Schotter“ angegeben – aber diese Ressource ist eher für den Landschaftsbau als für industrielle Anwendungen relevant.

Im industriellen Umfeld gilt ein anderes Kriterium dafür, was als leicht und billig verfügbarer Stoff anzusehen ist, gilt, nämlich welche anderen Stoffe im dem betrachteten technischen System typischerweise verwendet werden. Besteht ein System primär aus Nickel und Kupfer, so ist Rohstahl im Vergleich dazu ein leicht und billig verfügbarer Stoff. Wird ein System dagegen zum großen Teil aus Kunststoff im Spritzgussverfahren hergestellt, so ist Rohstahl im Vergleich dazu ein extrem teurer Stoff. Die Suche nach leicht und billig verfügbaren stofflichen Ressourcen mit hilfreichen, aber durch die bereits vorhandenen stofflichen Ressourcen noch nicht abgedeckten Eigenschaften ist (sofern notwendig) der dritte Schritt der Ressourcenanalyse.

## Feldressourcen

Eine Gedankenstütze für die Obergruppen wichtiger Feldtypen lautet „MeThChEM“, was für

- Me – Mechanische Felder
- Th – Thermische Felder
- Ch – Chemische Felder
- E – Elektrische Felder
- M – Magnetische / Elektromagnetische Felder

steht. Besonders hilfreich sind ständig oder zumindest beinahe ständig verfügbare Felder, wie zum Beispiel das Gravitationsfeld der Erde. Alle regenerativen Energieträger sind ein Beispiel für die Anwendung solcher (beinahe) ständig frei verfügbarer Feldressourcen.



Abbildung 22: Windkraft ist eine in vielen Teilen der Welt reichlich verfügbare Feldressource.

Es kann hilfreich sein, sich bewusst zu machen, wie die zeitliche und räumliche Abhängigkeiten der gefundenen Felder sind. Nicht alle Felder sind zeitlich konstant, sondern sie können verschiedene zeitliche Abhängigkeiten haben. In manchen Fällen verändert sich das Feld zeitlich unkontrolliert bzw. unvorhersagbar, was die Zeitabhängigkeit wenig nutzbar macht. In anderen Fällen ist das Feld periodisch oder dessen Eigenschaften werden von einer anderen Größe moduliert, so dass es als Ressource für Mess- oder Steuerungsaufgaben geeignet ist.

Räumlich kann ein Feld homogen oder inhomogen sein. Inhomogene Felder müssen nicht zwingend eine kleinräumige und / oder unvorhersagbare Ortsabhängigkeit besitzen. Besitzt das Feld eine räumliche Struktur, z. B. wenn es periodisch ist, so kann diese Struktur oftmals ausgenutzt werden.

Nach einer durchgeführten Ressourcenanalyse sind die vorhandenen Feldressourcen bekannt. Häufig hätte man zur Problemlösung gerne eine andere Feldressource – die aber leider nicht vorhanden ist. Zu diesem Zweck können die physikalischen Effekte aus dem Abschnitt 6 genutzt werden: Physikalische Effekte wandeln ein Feld in ein anderes Feld um, und so kann aus einer vorhandenen Feldressource (im engeren Sinne) eine neue Feldressource (unter Umständen nur im weiteren Sinne) erzeugt werden. Geeignete Umwandlungsmöglichkeiten zwischen Feldressourcen können in Effektdatenbanken (siehe Abschnitt 7) recherchiert werden.

## Funktionsressourcen

Das Konzept „Funktionen“ ist genauer im Abschnitt „Funktionsmodelle“ beschrieben. An dieser Stelle ist von der dortigen Nomenklatur nur wichtig, dass ein Funktionsträger eine Funktion an einem Funktionsobjekt ausübt. Das weiter oben bereits behandelte Beispiel eines Unimogs ist noch einmal in Abb. 23 dargestellt. Wie in jedem Kraftfahrzeug gibt es einen Motor (Funktionsträger), der eine Drehung (Funktion) einer Radantriebswelle (Funktionsobjekt) bewirkt.

Zu einer Funktionsressource wird dieses dadurch, dass der Funktionsträger (Motor) dieselbe Funktion (Drehen) auch an einem anderen Funktionsobjekt, zum Beispiel einer Antriebswelle für Werkzeuge, durchführen kann.

Eine Funktionsressource kann auch dadurch entstehen, dass ein Funktionsträger eine andere, aber sehr



Abbildung 23: Bei Unimogs wird die Motorenwelle nach vorne herausgeführt. Hierdurch können Arbeitsvorrichtungen an ihm montiert und vom Motor angetrieben werden.

verwandte Funktion ausführt, d. h., die zusätzliche Funktion kann ohne wesentlichen Mehraufwand realisiert werden. In Zügen müssen alle Achsen mit einer Bremse versehen sein (Abb. 24). Wird ein Zug traditionell mit einer Lokomotive angetrieben, so wird beim Bremsen der größte Teil der kinetischen Energie in den Bremsen der Waggons in Wärme umgewandelt und geht verloren.



Abbildung 24: In einem Zug müssen alle Achsen mit einer Bremse versehen sein. In einem traditionellen Zug (links) sind nur wenige Achsen angetrieben, nämlich die der Lokomotive, während in einem Triebwagenzug (rechts) dagegen alle (oder zumindest viele) Achsen in den Waggons mit einem Motor versehen sind. Diese Motoren können auch als Bremse genutzt werden.

Bei einem Triebwagenzug gibt es keine Lokomotive mit einem großen Motor mehr, sondern viele kleine Elektromotoren sind über die Achsen des gesamten Zuges verteilt. Die Elektromotoren stellen die Funktion „Elektromotor treibt Achse an“ zur Verfügung. Die Elektromotoren können jedoch auch als Generatoren genutzt werden. Der vom Generator erzeugte Strom kann in die Oberleitung zurückgespeist werden – dies ist der Hauptgrund, warum vom ICE 1 (mit Lokomotiven an beiden Enden des Zuges) zum ICE 2 auf das Konzept von Triebwagen umgestiegen worden war. Die Funktion „Elektromotor treibt Achse an“ wird zur Funktionsressource, indem die Funktion „treibt an“ durch die verwandte Funktion „bremst ab“ ergänzt wird und diese neue Funktion mit geringem Mehraufwand angeboten werden kann.

## Räumliche Ressourcen

Bei der Suche nach Stoffressourcen und Feldressourcen ging es darum, etwas bereits vorhandenes zu finden. Bei der Suche nach Funktionsressourcen kam der Aspekt dazu, dass eine bereits vorhandene Funktion auch abgewandelt werden kann, um sie dann nutzen zu können. Bei räumlichen Ressourcen, also „ungenutztem Platz“, gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten. Zum einen können bereits vorhandene räumliche Ressourcen gesucht (und gefunden) werden. Zum anderen geht es darum, neue räumliche Ressourcen erst zu schaffen, und auch dafür sollen im folgenden Ideen gegeben werden.



Räumliche Ressourcen können sowohl im betrachteten technischen System selber als auch in seiner Umgebung, d. h., seinem Obersystem, gefunden werden. Hierbei ist es oftmals hilfreich, das Obersystem in das direkte Obersystem und in die weitere Umgebung aufzuteilen. Das direkte Obersystem des Kompressors in einem Kühlschrank ist der Kühlschrank als solches, die weitere Umgebung würde dagegen auch die gesamte Küche umfassen, siehe Abb. 25.

Räumliche Ressourcen können dadurch geschaffen werden, dass die vorhandenen Objekte neu angeordnet werden. Ideen, die geprüft werden sollten, sind:

Neuanordnung im Ort:	verschiedene Ebene verschiedene Schichten verschiedene Lagen
Neuanordnung bzgl. Richtung:	orthogonal radial tangential
Integration	
Verschachtelung:	zweidimensional (Spirale) dreidimensional (Schraube)

Eine weitere Frage ist, ob räumliche Ressourcen dauerhaft vorhanden sein müssen oder ob auch temporäre Ressourcen ausreichend sein können. Das letztere soll bedeuten, dass leerer Raum nur in dem



Abbildung 26: Kippbrücken schaffen nur temporär eine räumliche Ressource, die von einem Schiff genutzt werden kann. Rechts sind die fünf verschiedenen Optionen dargestellt, mittels denen eine Neuordnung in der Richtung bzw. im Ort den notwendigen Raum schaffen kann.

Zeitraum, zu dem er für einen bestimmten Vorgang gebraucht wird, geschaffen wird. Viele der in der Tabelle aufgeführten Möglichkeiten können auch zur temporären Schaffung räumlicher Ressourcen genutzt werden, siehe Abb. 26.

## 6 Physikalische Effekte



Abbildung 27: Eine technische Aufgabe kann im Erhitzen eines Kochtopfs bestehen.

Die meisten technischen Aufgabenstellungen beziehen sich darauf, dass etwas „gemacht“ werden soll: Zum Beispiel ist ein Küchenherd dafür da, einen Kochtopf zu erhitzen (Abb. 27). Es soll also eine Funktion (erhitzen) auf ein Funktionsobjekt (Kochtopf) angewendet werden. Details zu dieser Nomenklatur befinden sich im Kapitel „Funktionsmodelle“ und können bei Interesse dort nachgelesen werden.

Der Kochtopf kann mittels eines traditionellen Elektroherdes erhitzt werden, es gibt jedoch auch andere Möglichkeiten, siehe Abb. 28: Durch Verbrennung eines Materials, z. B. Erdgas, kann Wärme erzeugt werden, die dann den Kochtopf erhitzt. Ein moderner Ansatz ist die Anwendung des Prinzips, dass ein induzierter Wirbelstrom in einem nichtperfekten Leiter zu Wärmeentwicklung führt. Umgangssprachlich wird dieses als Induktionsherd bezeichnet.

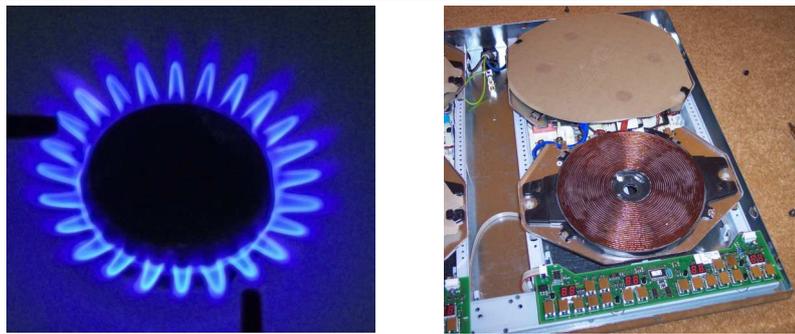


Abbildung 28: Zwei alternative physikalische Effekte, die zum Erhitzen eines Kochtopfs genutzt werden können: Verbrennung und Wirbelstromerheizung (Induktionsheizung)

Die Induzierung eines Wirbelstroms ist ein Beispiel für die Anwendung eines physikalischen Effektes. Chemische Reaktionen zählen ebenfalls zu den physikalischen Effekten, und daher handelt es sich auch bei der Verbrennung von Erdgas um die Anwendung eines physikalischen Effektes. Wie man geeignete physikalische Effekte finden kann, wird im Abschnitt 7 beschrieben.

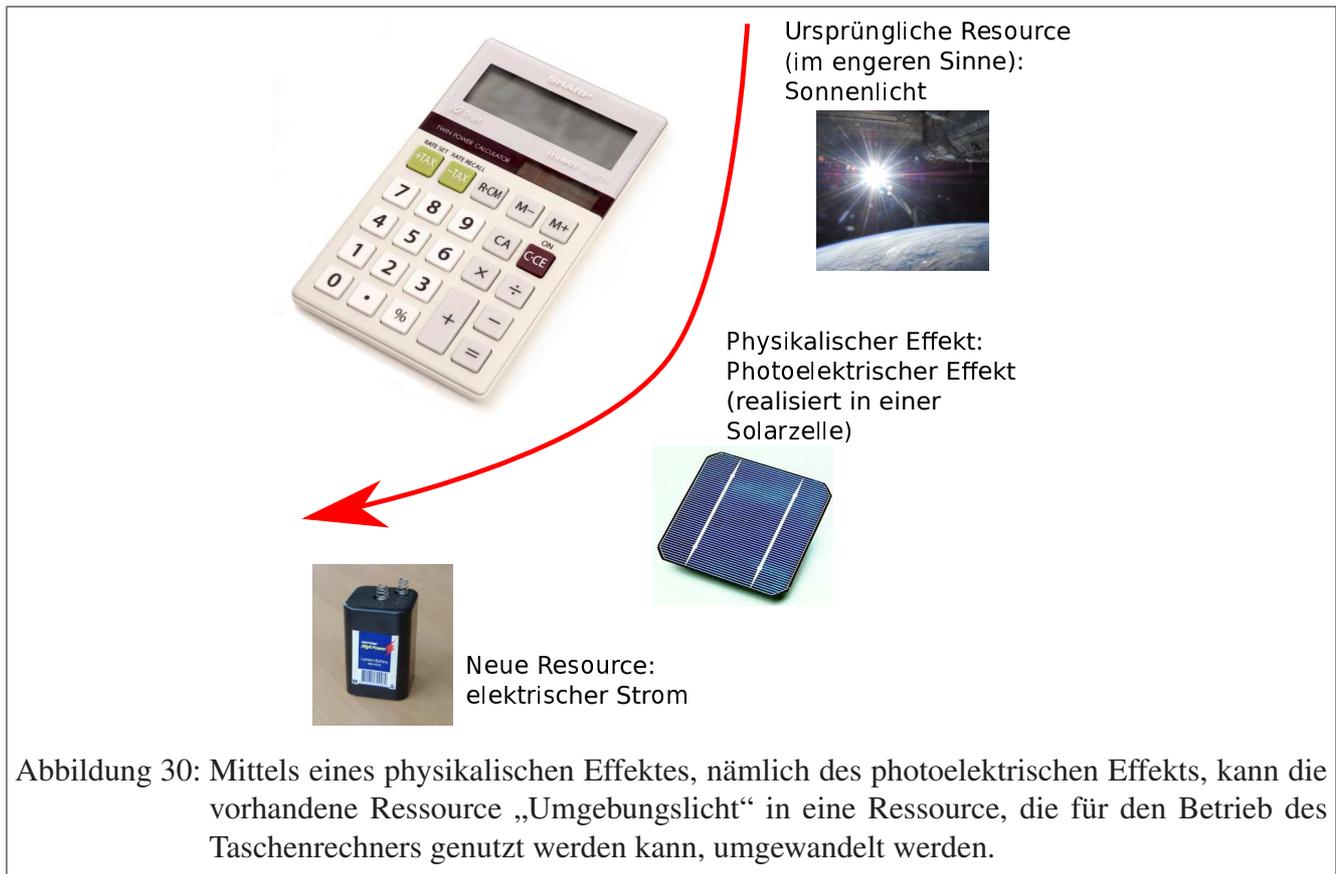


Abbildung 29: Ein exotischerer Effekt zum Erhitzen eines Objektes ist das Nutzen der Wärme, die bei einer Kristallisation frei wird. Dieser Effekt wird zum Beispiel in Taschenöfen genutzt.

Mittels physikalischer Effekte können für viele Aufgabenstellungen unerwartete Lösungen realisiert werden. Zum Beispiel kann die latente Wärme, die bei der Kristallisation einer amorphen Masse frei wird (siehe Abb. 29), genutzt werden, um etwas zu erhitzen. Dieser physikalische Effekt wird in Taschenöfen ausgenutzt. Mittlerweile kann man jedoch auch Campingnahrung kaufen, die mittels dieses Effektes auf Knopfdruck heiß wird.

Mittels physikalischer Effekte können also Probleme gelöst werden. Gute Lösungen zeichnen sich jedoch dadurch aus, dass möglichst viele Ressourcen (im engeren Sinne) genutzt werden. Ein Beispiel war der solarbetriebene Taschenrechner aus Abb. 4 (auf Seite 6), der die Ressource „Umgebungslicht“ ausnutzte. Ein Taschenrechner kann mit Licht jedoch gar nichts anfangen – seine Elektronik benötigt elektrischen Strom. Mittels einer Solarzelle (Abb. 30 auf der nächsten Seite) kann das Licht jedoch in Strom umgewandelt werden.

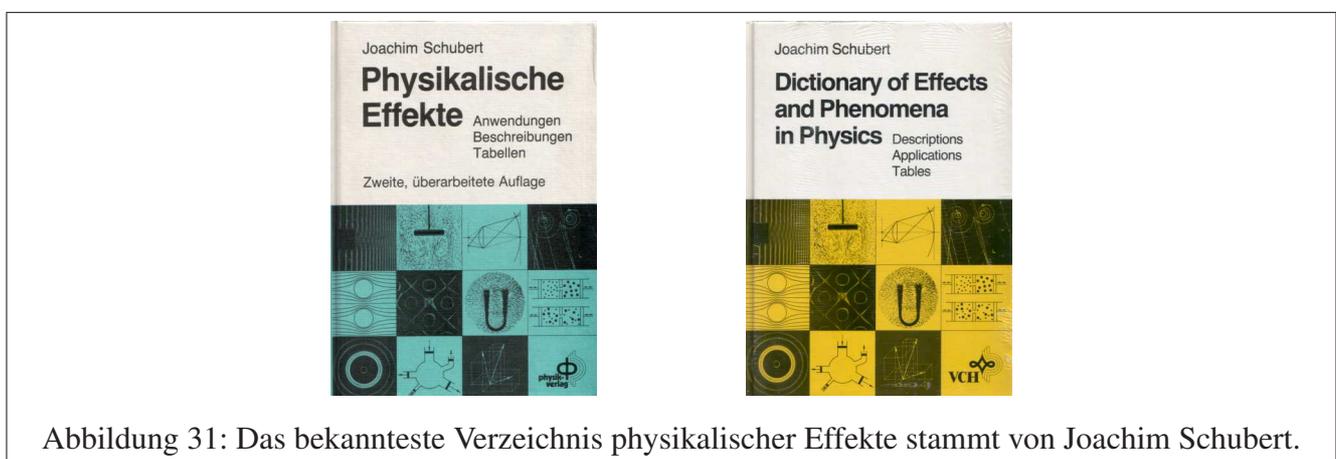
Physikalische Effekte können also sehr zielführend genutzt werden, um vorhandene Ressourcen, die nicht direkt für die Aufgabenstellung nutzbar sind, derart umzuwandeln, dass sie nutzbar werden. Die Berücksichtigung denkbarer physikalischer Effekte ist daher ein wichtiger Schritt im Entwicklungsprozess.



## 7 Effektdatenbanken

Es gibt verschiedene Bücher, in denen systematisch physikalische Effekte aufgezählt werden. Am bekanntesten ist das Verzeichnis physikalischer Effekte von Joachim Schubert, siehe Abb. 31, welches sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch veröffentlicht worden ist. Die beiden Bücher sind neu nicht mehr erhältlich, gebraucht dagegen sehr weit verbreitet – nicht zuletzt, weil sie eine Zeit lang an die Besucher des Tagungszentrums der Deutschen Physikalischen Gesellschaft verschenkt worden waren.

Das Buch von Joachim Schubert ist primär alphabetisch sortiert. Um Effekte mit einem bestimmten Ziel, z. B. Wärmegenerierung zu finden, müssen erst in einem gesonderten Verzeichnis die Namen aller



entsprechenden Effekte herausgesucht werden, damit diese dann nachgeschlagen werden können. Bequemer wäre es natürlich, direkt für einen vorgegebenen Zweck geeignete Effekte im Block nachlesen zu können. Dieses wird durch sogenannte Effektendatenbanken erreicht.

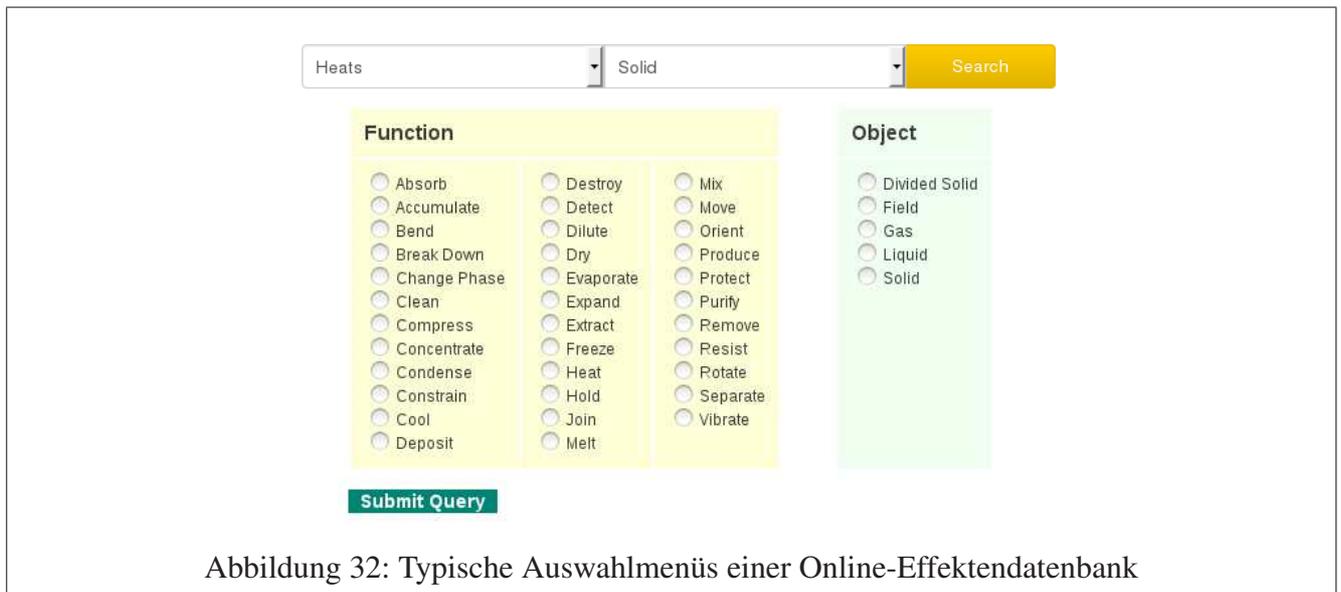


Abbildung 32: Typische Auswahlmenüs einer Online-Effektendatenbank

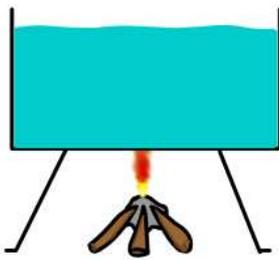
Mehrere Effektendatenbanken können kostenfrei im Internet abgerufen werden. Die Datenbanken sind nach der Funktion, die ausgeübt werden soll, und nach dem Aggregatzustand der Zielkomponente sortiert, siehe Abb. 32. Die im speziellen Anwendungsfall gesuchte Wechselwirkung muss also soweit abstrahiert werden, dass sie in diese Nomenklatur passt.

Am schönsten ist die Datenbank unter <http://www.productioninspiration.com> aufgemacht. Nach der Auswahl sind alle gefundenen Effekte sofort mit einer Zeichnung (oftmals mit Animation) zu sehen, ohne dass erst irgendwelche Links angewählt werden müssten, siehe Abb. 33 auf der nächsten Seite. Dementsprechend ist diese Datenbank diejenige, die man zuerst befragen sollte. Nur wenn dort keine zufriedenstellende Antwort gefunden werden kann, ist es sinnvoll, andere Effektendatenbanken zu durchsuchen.

Als zweite Wahl sollte auch die Datenbank von Oxford Creativity unter <https://www.triz.co.uk/triz-effects-database> ausprobiert werden. Die Anzahl gespeicherter physikalischer Effekte ist deutlich größer, im hier dargestellten Beispiel „Erwärmen eines Festkörpers“ um einen Faktor fünf. Dafür ist allerdings die Darstellung deutlich unbequemer, siehe Abb. 34 auf Seite 27. Die Beschreibung jedes Effektes beschränkt sich auf meistens zwei Sätze plus einen Link zum entsprechenden Wikipedia-Artikel. Dementsprechend müssen viele Links geöffnet werden, bevor klar wird, welche Effekte zum Lösen der Aufgabenstellung geeignet sein könnten.

## 20 EFFECTS FOUND

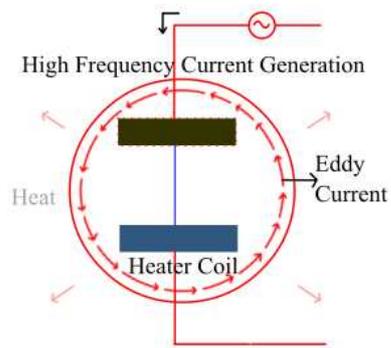
### Combustion Of Wood For Heating the Vessel



#### Combustion

Combustion, more commonly is known as the process of burning. Its a chemical change, especially oxidation, accompanied by the production of heat and light.

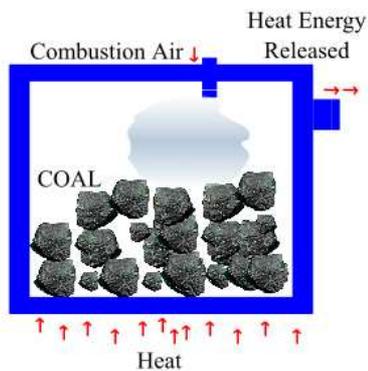
Example: Combustion of wood for the purpose of heating.



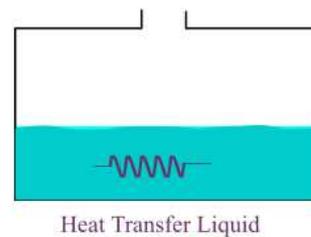
#### Eddy Current

Eddy Current is an induced electric current circulating wholly within a mass of metal. It enables generation of heat.

Example: Generation of eddy currents from heat roller of fixing device, autonomously generates heat, thereby enabling fixing of developer image to paper sheet.



#### Exothermic Reactions



#### Condensation Heating

Abbildung 33: Format der Ausgabe der Effektdatenbank unter <http://www.productioninspiration.com>.

## The Effects Database has 111 suggestions for Heat Solid

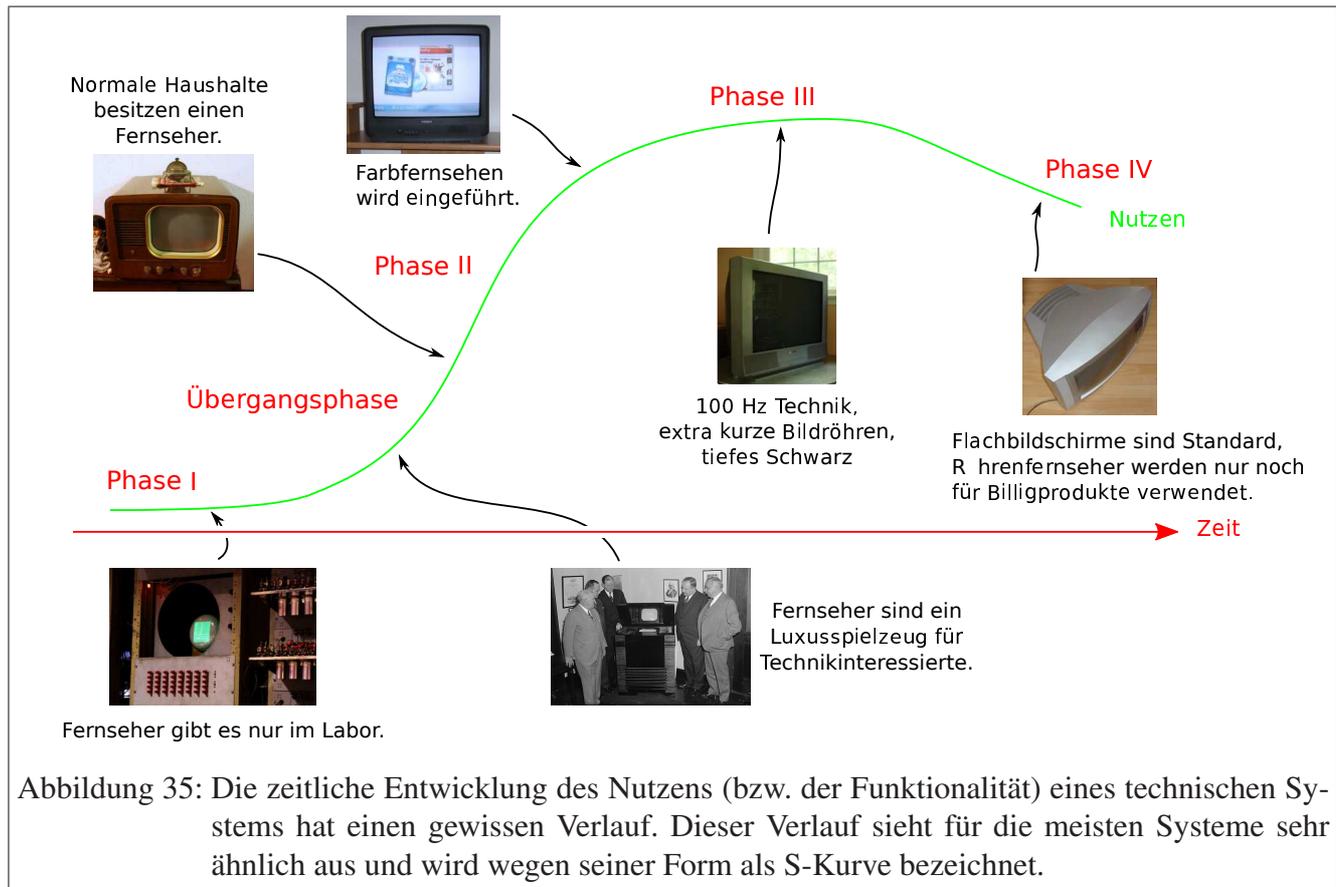
Abrasion	Electromagnetic Induction	Infrared Radiation	Reticulated Foam
Absorption (EM radiation)	Electron Beam	Joule-Lenz Effect	Righi-Leduc Effect
Adiabatic Heating	Electrostatic Discharge	Lamella	Rubber Band Thermodynamics
Advection	Ettingshausen Effect	Laser	Second Sound
Aerobic Digestion	Exothermic Reaction	Latent Heat	Shaped Charge
Aerodynamic Heating	Explosion	Lens	Shock Wave
Avalanche Breakdown	Fermentation	Light	Solar Energy
Cavitation	Fin	Light Emitting Diode	Solvation
Coherent Light	Fluidisation	Loop Heat Pipe	Sonochemistry
Combustion	Fluorescence	Magnetic Hysteresis	Stirling Cycle
Composting	Focusing	Magnetocaloric Effect	Super Black
Compression	Folding	Magnetoelastic Effects	Tension
Condensation	Forced Convection	Magnetostriction	Thermal Contraction
Conduction (electrical)	Free Convection	Mechanical Force	Thermal Hall Effect
Conduction (thermal)	Freezing	Microwave Radiation	Thermal Radiation
Convection	Fresnel Lens	Mixed Convection	Thermoacoustic Engine
Coulomb Damping	Friction	Nuclear Fission	Thermoacoustics
Curie Point (ferromagnetic)	Fusible Alloy	Origami	Thermolysis
Decomposition (biological)	Gas Compressor	Peltier Effect	Thermomagnetic Convection
Deflagration	Graphene	Phase Change	Thompson Effect
Deformation	Heat Exchanger	Piezomagnetism	Ultrasonic Vibration
Deposition (physical)	Heat Pipe	Plasma	Vibration
Detonation	Heating	Porosity	Viscous Heating
Dielectric Heating	Hydrates	Pseudo Stirling Cycle	Wear
Eddy Currents	Hydrodynamic Cavitation	Radar	Wiedemann Effect
Electric Arc	Hydrogen Peroxide	Radiation	Wiegand Effect
Electrical Resistance	Incandescence	Radioactive Decay	Zeolite
Electrocaloric Effect	Induction Heating	Rayleigh-Bénard Convection	

<b>Abrasion</b>	The process of scuffing, scratching, wearing down, marring, or rubbing away. It can be intentionally imposed in a controlled process using an abrasive.
<b>Absorption (EM radiation)</b>	The process by which the energy of a photon is taken up by matter, typically the electrons of an atom. The electromagnetic energy is transformed to another form of energy, e.g. to heat.
<b>Adiabatic Heating</b>	Adiabatic heating occurs when the pressure of a gas is increased from work done on it by its surroundings, e.g. a piston. Diesel engines rely on adiabatic heating during their compression stroke to elevate the temperature sufficiently to ignite the fuel.
<b>Advection</b>	Advection, in chemistry and engineering, is a transport mechanism of

Abbildung 34: Format der Ausgabe der Effektdatenbank von Oxford Creativity.

## 8 S-Kurven

Die Entwicklung technischer Systeme folgt gewissen Regeln. Eine dieser Regeln gibt an, wie sich der Nutzen bzw. die Funktionalität des Systems mit der Zeit verändert. Im Verlauf dieser Kurve (siehe Abb. 35) kann man mit etwas Phantasie ein „S“ erkennen, weswegen diese Kurve als S-Kurve bezeichnet wird. Entlang der horizontalen Achse wird die Zeit aufgetragen, auf der vertikalen Achse der Nutzen, die Funktion oder ein MPV (most important parameter of value) des Systems. Für jeden Zeitpunkt betrachtet man die aktuelle Produktgeneration eines technischen Systems – das System verändert sich, besitzt aber immer dasselbe gleichen technischen Wirkprinzip. Man analysiert also z. B. Röhrenfernseher, so wie sie zu dem betreffenden Zeitpunkt typischerweise verkauft worden sind.



Die S-Kurve hat vier prägnante Phasen, die hier am Beispiel des technischen Systems „Röhrenfernseher“ erläutert werden sollen:

**Phase I:** In dieser Phase ist das technische System noch nicht ausgereift und deswegen nicht am Markt erhältlich. Es existiert bereits in Laboratorien oder als Designstudien. Die ersten Tests der Übertragung von Fernsehbildern fanden bereits 1906 statt, der erste öffentliche Fernsehsender wurde jedoch erst 1934 errichtet. Der Zeitraum dazwischen bildete die Phase I des Systems „Fernseher“.

**Phase II:** Das System ist mittlerweile auf dem Markt erhältlich und die Absatzzahlen steigen, so dass es zu einem normalen Haushaltsgegenstand wird. 1955 gab es in der DDR erst 13.000 Fernsehgeräte, 1960 bereits 1 Millionen und 1970 sogar 4 Millionen Geräte. Durch neue Funktionen wird der Nutzen signifikant erhöht, zum Beispiel in der Bundesrepublik Deutschland durch die Einführung des Farbfernsehens im Jahr 1967.

**Phase III:** Das System ist ausgereift. Technische Verbesserungen sind nur noch marginaler Art, wie z. B. die Einführung von Videotext oder Stereoton. Die Leistung des Systems wird optimiert, z. B. durch kleinere Tiefe des Fernsehers oder ein dunkleres Schwarz der Bildröhre.

**Phase IV:** Das technische System hat seinen Zenit überschritten, weil sich eine leistungsfähigere Konkurrenz etabliert hat. Seit 2007 wurde der Röhrenfernseher bereits weitestgehend von Flachbildfernsehern verdrängt. Das technische System Röhrenfernseher wird noch eine Zeitlang für Billiganwendung weiterproduziert. Solche Billigfernseher besitzen jedoch keine Funktionen wie 100 Hz Technik oder extra dunkles Schwarz mehr, der Nutzen bzw. die Funktionalität nimmt also wieder ab.

Neben diesen vier klassischen Phasen wird heutzutage noch eine zusätzliche sogenannte Übergangsphase unterschieden. In der Übergangsphase ist das neue technische System bereits am Markt erhältlich. Sein Nutzen ist für breite Kreise jedoch noch zu gering, um attraktiv zu sein. Es wird daher nur für Nischenanwendungen eingesetzt, oder es ist ein „Spielzeug“ für technikaffine „Early Adopters“. In der Übergangsphase entscheidet sich, ob ein technisches System ein Erfolg werden oder ob es schnell wieder vom Markt verschwinden wird.



Um die Übergangsphase und damit den richtigen Zeitpunkt für den Markteintritt zu erkennen, muss man sich darüber klar werden, was sie von der Phase I unterscheidet. In der Phase I wird zwar viel am technischen System verbessert, der Nutzen erhöht sich aber kaum. Dies liegt daran, dass der Nutzen eines Systems durch die Leistungsfähigkeit seines schwächsten Gliedes begrenzt ist. Auch wenn dank Investitionen in Forschung und Entwicklung bereits gute Antennen, Bildröhren und Kameras vorhanden sein sollten, so ist der Nutzen des Systems „Fernseher“ trotzdem weiterhin praktisch Null, solange noch keine funktionsfähigen Hochfrequenzverstärker bereit stehen. Weitere Verbesserungen an Antennen, Bildröhren und Kameras führen damit zu keiner Erhöhung des Nutzens des Gesamtsystems „Fernseher“.

Sobald die letzte Engstelle im System beseitigt worden ist, wechselt das System von der Phase I in die Übergangsphase. Ab jetzt führt jede Verbesserung einer Komponente sofort zu einer Erhöhung des Nutzens des technischen Systems. Dieses erklärt das starke Wachstum des Nutzens am Ende der Übergangsphase und am Anfang der Phase II.

In der Phase II gibt es jedoch noch eine weitere Erklärung für den schnellen Anstieg des Nutzens, und dieser Grund liegt außerhalb des eigentlichen technischen Systems. Sobald ein technisches System erfolgreich wird, passt sich seine Umgebung an es an (Abb. 37 auf der nächsten Seite). Hierdurch steigt der Nutzen des technischen Systems, ohne dass das System selber verbessert werden müsste. Sobald genügend Fernseher verkauft worden sind, werden immer mehr Fernsehprogramme produziert – weswegen



Abbildung 37: Sobald das technische System erfolgreich wird, passt sich seine Umgebung an es an. Bessere Antennen verbessern den Empfang, Tageszeitungen drucken das Fernsehprogramm ab, in Möbeln wird Platz für einen Fernseher vorgehalten, das Angebot an Fernsehsendungen steigt. Der Nutzen des technischen Systems „Fernseher“ steigt hierdurch, ohne dass sich am Fernseher selber etwas zu ändern bräuchte.

sich wiederum mehr Leute einen Fernseher kaufen, und der Kreis schließt sich. Sobald es genügend viele Autobesitzer gab, wurden Autobahnen und Tankstellennetze errichtet, wodurch Autofahren noch attraktiver wurde. In der Phase II kann der Nutzen eines Systems also gesteigert werden, ohne dass hierzu übermäßige Anstrengung bei der Weiterentwicklung des Systems notwendig wäre.

## 9 Idealität

Das Ziel jeglicher Produktentwicklung ist es, ein möglichst ideales System zu erreichen. Die Idealität  $I$  ist als

$$I = \frac{\text{nützliche Funktionen}}{\text{Aufwand} + \text{schädliche Funktionen}} \quad (1)$$

definiert. Jedes sinnvoll entwickelte bzw. kommerziell erfolgreiche technische System übt viel mehr nützliche als schädliche Funktionen aus. In der Praxis dürfen die schädlichen Funktionen deswegen genauso gut auch in den Zähler gestellt werden, so dass die Idealität auch mittels der einfacher auswertbaren Formel

$$I \approx \frac{\text{nützliche Funktionen} - \text{schädliche Funktionen}}{\text{Aufwand}} \quad (2)$$

berechnet werden kann. In der Betriebswirtschaftslehre gibt es eine sehr verwandte Größe, nämlich den Wert eines Produktes aus Sicht des Kunden,

$$W = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten}} \quad (3)$$

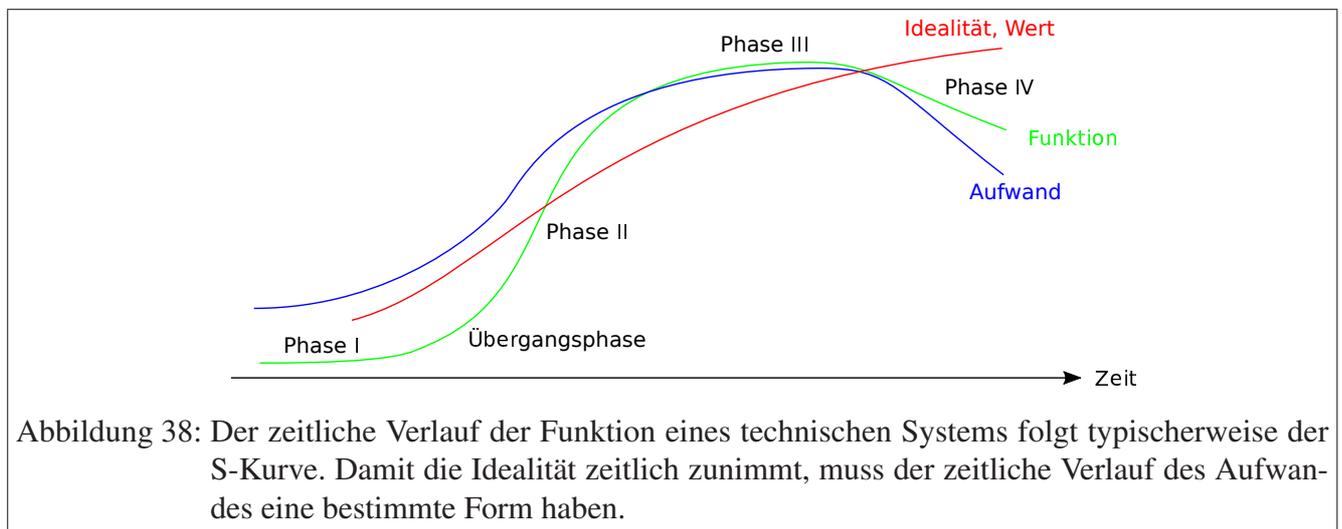
Nutzen und Funktionen besitzen beinahe dieselbe Bedeutung, genau wie Aufwand und Kosten. Im Folgenden wird daher zwischen diesen Begriffen nicht mehr streng unterschieden.

Beide Größen, Idealität  $I$  und Wert  $W$ , können für die folgenden Betrachtungen beliebig gegeneinander ausgetauscht werden, denn beide Größen beschreibt letztendlich, wie attraktiv ein Produkt für einen potentiellen Käufer ist. Ein neues Produkt kann sich nur dann am Markt durchsetzen, wenn seine Idealität höher als die der bereits am Markt verfügbaren Produkte ist – ansonsten würde der Kunde weiterhin das Vorgängermodell kaufen. Hieraus folgt, dass sich im Laufe der Entwicklung eines technischen Systems, also von Produktgeneration zu Produktgeneration, die Idealität erhöhen muss.

Aus den Formeln folgt direkt, dass es vier verschiedene Möglichkeiten gibt, die Idealität eines Systems zu erhöhen:

1. Der Aufwand wird verringert (bei konstanter Funktion).
2. Die Funktion wird erhöht (bei konstantem Aufwand).
3. Funktion und Aufwand werden erhöht, aber die Funktion erhöht sich stärker als der Aufwand.
4. Funktion und Aufwand werden verringert, aber der Aufwand verringert sich stärker als die Funktion.

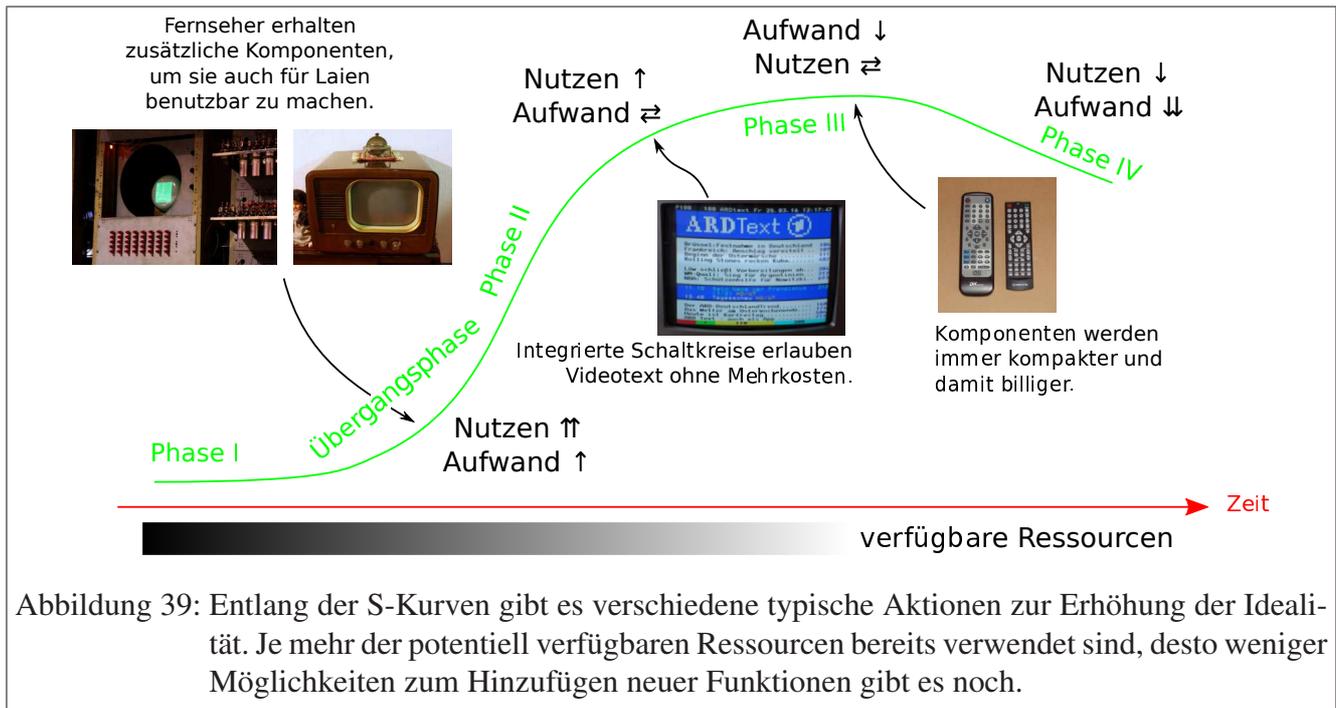
Alle vier Ansätze werden in der Praxis tatsächlich verwendet, allerdings normalerweise zu verschiedenen Zeitpunkten im Produktlebenslauf. Die S-Kurve (siehe Abb. 35 auf Seite 28) zeigte den typischen zeitlichen Verlauf des Nutzens. Damit die Idealität als Verhältnis von Funktion und Aufwand monoton ansteigt, muss der zeitliche Verlauf des Aufwandes gewisse Bedingungen erfüllen. Abbildung 38 zeigt einen möglichen Kurvenverlauf.



Die vier weiter oben aufgelisteten Möglichkeiten, die Idealität eines Systems zu erhöhen, können nun leicht den verschiedenen Phasen der S-Kurve zugeordnet werden.

In der Phase I ist das System noch nicht marktreif, und die Marktmechanismen, die dafür sorgen, dass sich die Idealität ständig erhöht, können damit noch nicht greifen. Es kann in dieser Phase also durchaus geschehen, dass das System aufwendiger wird, sein Nutzen aber sehr gering bleibt.

Spätestens ab der Übergangsphase steigt die Idealität an. In dieser Phase erhöht sich der Aufwand meistens, weil das System erst noch vervollständigt werden muss. Der Prototyp eines Elektroautos, wie er in der Phase I gefertigt wird, benötigt weder ein Autoradio noch eine stufenlose Sitzverstellung, eine umklappbare Rückbank oder eine Servolenkung. Ab der Übergangsphase muss ein Elektroauto diese Komponenten jedoch besitzen, um überhaupt einen Käufer finden zu können. Fernseher müssen jetzt mit derartigen Bedienelementen ausgerüstet werden, dass auch ein Laie sie bedienen kann. Dieses erhöht den Aufwand bzw. die Kosten des technischen Systems, wird jedoch durch die daraus folgende Erhöhung der Funktion mehr als überkompensiert.



Im späteren Teil der Phase II sowie am Anfang der Phase III hat man entwicklungs-technisch so viel dazu gelernt, dass man in der Lage ist, die Funktion zu erhöhen, ohne dass dieses zu höherem Aufwand führt. Das bessere Verständnis von Aerodynamik erlaubt es, windschnittigere Autokarosserien zu entwickeln. Diese sind in der Herstellung nicht teurer als die älteren Karosserien, verringern aber den Treibstoffverbrauch des Autos. Eine höhere Integrationsdichte elektronischer Schaltkreise erlaubt es, ohne Mehraufwand Funktionen wie Videotext in Fernseher zu integrieren. Die Funktion bzw. der Nutzen steigen also, ohne dass sich der Aufwand erhöht.

Ab der Phase III liegt der Fokus auf einer Verringerung des Aufwandes. Durch Fortschritte bei der Produktionstechnik können Komponenten immer kleiner und damit auch billiger produziert werden. Weiterhin wird verstanden, wie zwei getrennte Komponenten zu einer einzigen Komponente zusammengefasst werden können, was ebenfalls die Herstellungskosten verringert.

Der Übergang von der Phase II zur Phase III kann im Rahmen des Ressourcenkonzeptes gut beschrieben werden (Abb. 39). Ressourcen sind alle die Dinge, die zur Lösung eines Problems, insbesondere also zur Erhöhung der Funktion eines Systems genutzt werden können. Solange noch Ressourcen zur Verfügung stehen, ist eine Erhöhung der Idealität durch Erhöhung der Funktion möglich. Irgendwann sind alle verfügbaren Ressourcen jedoch bereits verwendet, weswegen eine weitere Verbesserung der Funktion kaum noch möglich ist. Ab diesem Zeitpunkt kann eine signifikante Erhöhung der Idealität nur noch über eine Verringerung des Aufwandes erreicht werden.

Die Phasen I bis III waren vom technischen System und seinen technischen Fortschritten bestimmt, d. h., der Zeitpunkt, zu dem das System von einer Phase zur nächsten wechselte, konnte am System abgelesen werden. Bei der Phase IV ist dieses anders: Sie hängt nicht so sehr vom System, sondern vielmehr von seinen Konkurrenzsystemen ab. Sobald diese attraktiver als das System werden, beginnt die Phase IV. Dampflokomotiven wurden mit der Zeit immer besser. Das Ende der Dampflokomotiven, also ihr Übergang in die Phase IV, lag nicht an ihren Fähigkeiten und Eigenschaften, sondern daran, dass Diesel- und Elektrolokomotiven leistungsfähiger als Dampflokomotiven geworden waren. Die Phase IV



Abbildung 40: Der Zeitpunkt des Übergang des technischen Systems „Dampflokomotive“ in die Phase IV wurde nicht durch Einschränkungen der Dampflokomotive, sondern durch das Aufkommen der Diesellokomotive bestimmt.

des technischen Systems „Röhrenfernseher“ begann, als Flachbildschirme für den Durchschnittskäufer attraktiver als Röhrenfernseher geworden waren.

In der Phase IV ist das technische System nur noch für Nischenanwendungen attraktiv. Dies können manchmal Bereiche mit besonderen technischen Anforderungen sein. Im militärischen Umfeld wurde die Verstärkerröhre nicht vollständig durch Halbleiterbauelemente ersetzt, da eine Verstärkerröhre widerstandsfähiger gegen elektromagnetische Pulse ist. Häufiger ist das System in Phase IV jedoch nur noch für Billiganwendungen attraktiv. Deswegen müssen die Kosten um jeden Preis gedrückt werden, auch wenn dabei Funktion verloren geht. Jemandem, der sich aus Kostengründen gegen einen Flachbildfernseher und für einen Röhrenfernseher entscheidet, sind Features wie 100 Hz Bildwiederholfrequenz nun einmal nicht sonderlich wichtig.

Abschließend sei noch erwähnt, dass eine Erhöhung der Funktion praktisch immer eine Produkt(weiter)entwicklung voraussetzt. Eine Verringerung des Aufwandes, der meist durch die Herstellkosten dominiert ist, kann dagegen oftmals leichter im Rahmen einer Überarbeitung der Herstellungsprozesse erreicht werden. Im Lebenszyklus eines technischen Systems wandert der Schwerpunkt also langsam von der Produktentwicklung zur Prozessentwicklung. Insbesondere in großen Firmen bedeutet dieses, dass zu verschiedenen Zeitpunkten verschiedene Abteilungen federführend bei der Erhöhung der Idealität sind.

## 10 Ideale Maschine

Geht man davon aus, dass ein System bereits soweit ausentwickelt worden ist, dass schädliche Funktionen weitestgehend entfernt worden sind, so kann die Idealität näherungsweise als

$$I \approx \frac{\text{Funktion}}{\text{Aufwand}}$$

ausgedrückt werden. Eine ideale Maschine ist eine Maschine, deren Idealität unendlich ist. Durch eine Erhöhung der Funktion kann dieses niemals erreicht werden, sondern nur, indem der Aufwand gleich Null wird. Da jede existierende Maschine mit Aufwand zur ihrer Herstellung verbunden ist, führt dies unmittelbar zur Definition einer idealen Maschine:

Eine ideale Maschine ist eine Maschine, die nicht (mehr) existiert, deren Funktion aber trotzdem ausgeführt wird.

Eine solche Definition einer idealen Maschine, die gerade darauf beruht, dass die ideale Maschine (nicht) mehr existiert, wirkt anfangs vielleicht etwas gewöhnungsbedürftig. Daher soll hier ein Beispiel gegeben werden, und zwar für eine transportable Maschine zum Lösen mathematischer Aufgaben.



Abbildung 41: Der Abakus aus historischer Zeit wurde durch den Taschenrechner ersetzt, sobald die dazu notwendige Halbleitertechnologie zur Verfügung stand. Heutzutage droht der Taschenrechner auszusterben, weil immer mehr Personen ständig ein Smartphone zur Hand haben, mit dem die Funktion „Berechnen mathematischer Ausdrücke“ ebenfalls ausgeführt werden kann.

Das ursprüngliche technische System zur Lösung dieser Aufgabe war der Abakus. Er war leicht aus Holz herstellbar und daher bereits vor tausenden Jahren im Einsatz. Nach Experimenten mit mechanischen Addier- und Multiplizierwerken wurde ein fundamentaler Durchbruch im Alltagsleben erst mit der Einführung des Taschenrechners erreicht. Ein Taschenrechner ist zwar aufwendiger als ein Abakus, aber dafür um Größenordnungen leistungsfähiger, so dass seine Idealität  $I$  viel größer ist. Dementsprechend hat der Taschenrechner innerhalb weniger Jahrzehnte den jahrtausendlang bewährten Abakus verdrängt.

Mittlerweile ist der Taschenrechner nicht mehr so populär, wie er einmal war, da jedes Smartphone als Taschenrechner eingesetzt werden kann. Dementsprechend gibt es für den Besitzer eines Smartphones wenig Grund, sich zusätzlich noch einen Taschenrechner zuzulegen – er besitzt ja bereits einen virtuellen Taschenrechner auf seinem Smartphone. Der Taschenrechner als materielle Maschine verschwindet also, seine Funktion (das Berechnen mathematischer Ausdrücke) wird jedoch weiterhin erfüllt. Dieses war gerade die Eigenschaft, die eine ideale Maschine ausmacht.

Im Abschnitt 1 wurde definiert, dass alles das, das zur Lösung einer Aufgabenstellung eingesetzt werden kann, als Ressource bezeichnet wird. Der Taschenrechner wurde erst durch die Entwicklung der Halbleitertechnik ermöglicht. Elektronische Halbleiterbauelemente waren also etwas, das zur Lösung des

Problems „Rechnen“ eingesetzt werden konnte. Damit handelt es sich also um Ressourcen. Halbleiterbauelemente müssen jedoch in einem komplexen Prozess hergestellt werden – sie sind zwar verfügbar, aber sie kosten Geld. Dementsprechend handelt es sich um Ressourcen im weiteren Sinne.

Bei einem Smartphone ist die Situation anders. Die Lösung „virtueller Taschenrechner auf einem Smartphone“ ist deswegen so attraktiv, weil das Smartphone sowie vorhanden ist. Niemand kauft sich ein Smartphone primär, weil er damit mathematische Berechnungen durchführen möchte, sondern das Smartphone wird aus einem anderen Grund angeschafft – das Smartphone ist also sowieso vorhanden, und das Rechnen ist dann nur eine Zugabe. Dementsprechend handelt es sich bei einem Smartphone um eine Ressource im engeren Sinne (zumindest sofern es um das Rechnen als Zugabe geht).

Das konsequente Ausnutzen von Ressourcen im engeren Sinne ist die einzige Möglichkeit, eine ideale Maschine zu erreichen oder ihr zumindest näher zu kommen. Die Methoden des Abschnitts 5 können angewendet werden, um nach geeigneten Ressourcen, auf die die Funktion der betrachteten Maschine übertragen werden kann, zu suchen.

Das Beispiel eines virtuellen Taschenrechners illustriert den Standardweg, wie sich eine ideale Maschine ergeben kann: Die Funktion der Maschine (Taschenrechner) wird in die Umwelt der Maschine (Smartphone) verlagert. Deswegen wird die Maschine (Taschenrechner) nicht mehr benötigt, und trotzdem wird die Funktion (numerische Berechnungen) der ursprünglichen Maschine weiterhin ausgeführt. In der Nomenklatur des Kapitels „Funktionsmodelle“ ist die betrachtete Maschine ein System, und die Umwelt der Maschine ist das Obersystem. Eine ideale Maschine ist also ein System, dessen Funktion vollständig in das Obersystem verlagert worden ist.

Wie im Abschnitt „Systemanalyse“ erklärt worden war, können die Komponenten eines Systems wiederum als eigenes System betrachtet werden. Analog zur idealen Maschine ist die ideale Komponente also eine Komponente, die nicht (mehr) existiert, deren Funktion aber trotzdem ausgeführt wird. Auch um dieses zu erreichen, müssen wiederum Ressourcen des Obersystems ausgenutzt werden, wobei eine Änderung des Wirkprinzips oder die Anwendung physikalischer Effekte helfen kann.



Abbildung 42: Magnetrührer und Rührstäbchen

Um Flüssigkeiten in Erlenmeyerkolben zu erhitzen, werden in Laboratorien Magnetrührer verwendet, siehe Abb. 42. Um eine konstante Temperatur zu erreichen, befindet sich in einem herkömmlichen Magnetrührer eine Elektroheizung sowie eine Messvorrichtung, mittels derer die aktuelle Temperatur gemessen und dann zur Regelung der Heizvorrichtung genutzt wird. Soll jedoch nur eine einzige, feste Temperatur verwendet werden, so kann mittels geeigneter physikalischer Effekte auf eine Messvorrichtung vollkommen verzichtet werden: Die Messvorrichtung wird dann zur idealen Komponente.

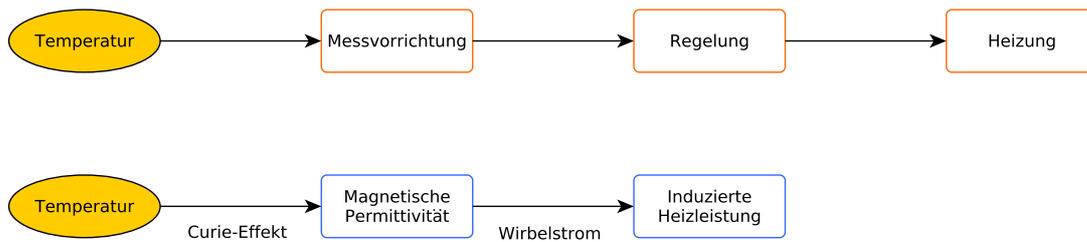


Abbildung 43: Oben: Traditionelle Heizungsregelung. Unten: Eine Heizung mit Temperaturregelung kann auch ohne Mess- und Regelungsvorrichtung realisiert werden, indem die schlagartige Änderung der magnetischen Eigenschaften beim Erreichen der Curie-Temperatur ausgenutzt wird.

Die sowieso vorhandenen Rührstäbchen (Ressource im engeren Sinne) können zur Heizung verwendet werden, indem diese mittels eines induzierten Wirbelstroms analog zu einem Induktionsherd erhitzt werden. Das Wirkprinzip der Heizung wird also von Erhitzung mittels Ohmschen Widerstands auf Erhitzung mittels Wirbelstroms umgestellt. Der induzierte Wirbelstrom und damit auch die Erhitzung ist stärker, wenn das verwendete Material ferromagnetisch ist. Durch den Curie-Effekt verschwinden oberhalb einer bestimmten Temperatur die ferromagnetischen Eigenschaften, so dass ein Material mittels Wirbelstromheizung genau bis zu seiner Curie-Temperatur aufgeheizt wird. Durch Änderung der Materialzusammensetzung kann die Curie-Temperatur weitestgehend frei gewählt werden. Es wird also eine stabile Temperatur im Erlennmeyerkolben erreicht, ohne dass irgendeine Mess- oder Regelungsvorrichtung notwendig wäre. Die ideale Komponente ist also erreicht worden.

Der völlige Wegfall einer bestimmten Komponente kann oftmals durch eine Änderung des Wirkprinzips einer anderen Komponente erreicht werden. Ein Diesel- oder Ottomotor erzeugt bei kleiner Drehzahl nur ein kleines Drehmoment. Zum Beschleunigen eines Autos oder eines Zugs ist jedoch gerade bei kleiner Drehzahl ein hohes Drehmoment notwendig. Aus diesem Grund muss zwingend ein Getriebe eingebaut werden. Ein Elektromotor liefert dagegen bei kleinster Drehzahl sein größtes Drehmoment. Durch den Übergang vom Dieselmotor zum Elektromotor kann also auf das Getriebe verzichtet werden. Bei einer Lokomotive, in der eine viel größere Antriebsleistung als bei einem Auto vom Motor zu den Rädern übertragen werden muss, ist der Wegfall des komplexen Getriebes ein signifikanter Vorteil.

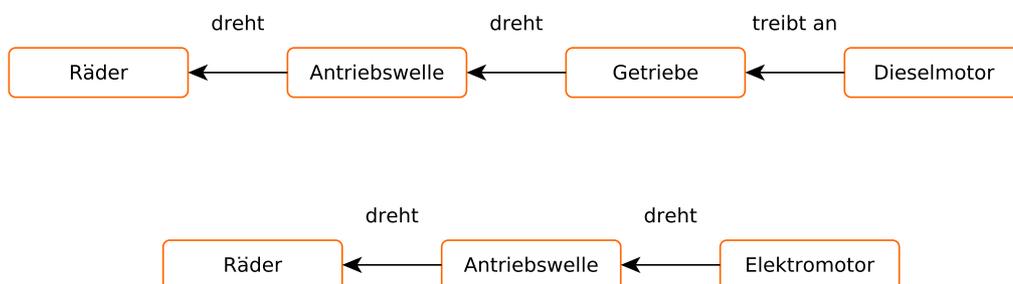


Abbildung 44: Ein Dieselmotor benötigt ein Getriebe, um auch bei kleiner Drehzahl ein hohes Drehmoment erreichen zu können. Ein Elektromotor benötigt dagegen kein Getriebe.

# 11 Ideales Endresultat

Neben der idealen Maschine gibt es ein weiteres Konzept, nämlich das sogenannte ideale Endresultat (IER). Diese beiden Begriffe werden häufig verwechselt, bezeichnen jedoch grundsätzlich verschiedene Konzepte. Das ideale Endresultat einer Entwicklungsaufgabe ist durch die folgenden Eigenschaften definiert:

- Das ideale Endresultat löst die gestellte Aufgabe.
- Das ideale Endresultat benötigt keine zusätzlichen Komponenten oder zusätzliche Energie.
- Das ideale Endresultat erfordert nur minimale Änderungen am System.
- Das ideale Endresultat erfordert keine Änderungen an der Umgebung des Systems / am Obersystem.

Insbesondere die letzten beiden Punkte bilden eine essentielle Abgrenzung: Das ideale Endresultat bezieht sich nur auf Entwicklungsprozesse, in denen es um die Weiterentwicklung bereits existierender Systeme geht und bei denen eine grundlegende Veränderung des Systems nicht gewünscht ist. Beides entspricht häufigen Wünschen fertigungsnaher Bereiche: Wird im einem Produktionsprozess ein Problem gefunden, so soll nur das Problem abgestellt werden – ansonsten soll „bitte überhaupt nichts geändert“ werden, weil jegliche Änderung immer ein Risiko darstellt. Die letzte Forderung gilt jedoch auch in anderen Bereichen: Eine weiterentwickelte Komponente soll weiterhin dort verbaubar sein, wo bisher die ursprüngliche Komponente eingebaut worden war.

Wegen der Forderung, dass keine zusätzlichen Komponenten und keine zusätzliche Energie verwendet werden dürfen, müssen im System und seiner Umgebung konsequent Ressourcen, insbesondere Ressourcen im engeren Sinne, gesucht und genutzt werden.



Abbildung 45: Gesucht ist eine Lösung, damit auch im Winter beim Einsteigen das Auto bereits angenehm warm ist. Ein elektrische Sitzheizung würde diese Aufgabe erfüllen, bedeutet aber eine zusätzliche Komponente, die viel Energie verbraucht. Das ideale Endresultat sucht nach eleganteren Lösungen.

Es kann für die Entwicklungsprozess hilfreich sein, das ideale Endresultat explizit festzulegen. Ein Beispiel ist in Abb. 45 dargestellt: Man möchte als Autofahrer nicht frieren, wenn man sich im Winter in sein Auto setzt. Gemäß den obigen Kriterien bedeutet das ideale Endresultat also:

- Der Fahrer hat es nach dem Einsteigen sofort warm.

- Es wird keine zusätzliche Komponente (Heizung o. ä.) in das Auto eingebaut.
- Beim Aufheizen des Autos geht keine Energie verloren.
- Am Auto wird möglichst wenig verändert.
- Die Umgebung / das Obersystem des Autos wird nicht verändert. Es werden also z. B. keine Stromkabel zum Auto gelegt.

Das ideale Endresultat soll immer daran erinnern, welche Eigenschaften eine wirklich elegante Lösung besitzt. Andernfalls gibt es nämlich das Risiko, technische Lösungen zu erarbeiten, die unnötig komplex, aufwendig und / oder energieverbrauchend sind. Eine elektrische Sitzheizung löst die Aufgabe, aber sie hat eine Reihe von Nachteilen: Es wird eine neue Komponente im Auto benötigt, diese Komponente verbraucht viel Strom und darum muss als zusätzliche Änderung die Batterie im Auto wahrscheinlich gegen eine Batterie mit größerer Kapazität ausgetauscht werden.

## 12 Zielrichtungen in der Entwicklung

Sowohl die ideale Maschine als auch das ideale Endresultat können als virtuelles Ziel in einem Entwicklungsprozess genutzt werden. Virtueller soll hierbei bedeutet, dass man dieses Ziel selten erreichen wird, es aber die Richtung angibt, in die man denken sollte. Die beiden Denkrichtungen sind jedoch in gewissem Sinne genau entgegengesetzt:

- Die ideale Maschine existiert nicht mehr, ihre Funktion wird aber trotzdem weiter ausgeübt. Um aus einem System eine ideale Maschine zu machen, muss es also maximal verändert werden. Bei einem idealen Endergebnis wird das System dagegen nur so wenig wie eben möglich verändert.
- Ein ideales Endresultat muss nur die konkret gestellte Entwicklungsaufgabe lösen. Darüber hinaus gibt es keine Notwendigkeit, etwas am System zu verbessern. Das System darf also weiterhin Herstellkosten verursachen und Energie verbrauchen. Eine ideale Maschine hingegen darf keinerlei Herstellkosten oder Energieverbrauch besitzen.

Eine ideale Maschine stellt also schärfere Anforderungen als ein ideales Endresultat, gibt dafür aber auch viel mehr Freiheiten für Änderungen.

Gemeinsam ist beiden, dass zu ihrer Umsetzung die konsequente Anwendung von Ressourcen notwendig ist. Bei einem idealen Endresultat liegen die gesuchten Ressourcen primär im System selber, während sie bei der idealen Maschine vorrangig in der Umgebung bzw. im Obersystem gesucht werden müssen.

Die ideale Maschine ist oftmals ein Konzept, das für Entwickler sehr ungewohnt ist. Das ideale Endresultat dagegen bereitet deutlich weniger Verständnisprobleme, da alle Forderungen an ein ideales Endergebnis leicht nachvollziehbar sind – und einige dieser Forderungen in fertigungsnahen Bereichen schon immer gestellt worden sind. Möchte man die ideale Maschine als Richtschnur für ein Entwicklungsprojekt nehmen, so ist auf zwei Dinge zu achten:

1. Das Ziel der Entwicklung muss die zu lösende Aufgabe beschreiben – nicht einen Weg, diese Aufgabe zu lösen.

Ein Taschenrechner, also eine Maschine mit kleinen Gummitasten und einem LCD-Display, ist nur einer von mehreren Wegen, die Aufgabe „numerisches Berechnen mathematischer Ausdrücke“ umzusetzen. Die Aufgabe „numerisches Berechnen mathematischer Ausdrücke“ ist also allgemeiner als das Konzept „Taschenrechner“. Nur durch geistiges Entfernen vom Konzept „Taschenrechner“ im Sinne von „Maschine mit kleinen Gummitasten und einem LCD-Display“ und stattdessen Konzentration auf die eigentliche Aufgabe „numerisches Berechnen mathematischer Ausdrücke“ kann eine Lösung wie eine Software auf einem Smartphone gefunden werden.

Wird die zu lösende Aufgabe nicht allgemein genug formuliert, d. h., die Formulierung enthält bereits Einschränkungen des Lösungsweges (bewusst oder unbewusst), so sinkt die Chance, der idealen Maschine näher zu kommen.

2. Das Ziel der Entwicklung beschreibt keinen Kompromiss, sondern ein ideales Ziel, also etwas, was man gerne hätte, wenn eine gute Fee einem drei Wünsche gewähren würde.

Beim Magnetrührer aus Abb. 42 auf Seite 35 ist die ideale Maschine nicht etwa ein billigerer Thermostat, sondern die ideale Maschine verzichtet vollkommen auf einen Thermostaten. Beim Taschenrechner aus Abb. 41 auf Seite 34 ist ideale Maschine nicht etwa eine einfachere und / oder leistungsfähigere Elektronik, sondern die vollständige Abschaffung aller Elektronik – die Funktion soll gemäß Definition der idealen Maschine vollkommen ohne Kosten oder andere Nebenwirkungen ausgeführt werden.

Wird bereits in der Festlegung der idealen Maschine ein Kompromiss statt eines Idealzustandes beschrieben, so ist die psychologische Trägheit groß, etwas besseres als diesen Kompromiss zu suchen.

## 13 Supereffektanalyse

Bei der Ressourcenanalyse wird untersucht, wo innerhalb und außerhalb eines technischen Systems Ressourcen zu seiner Verbesserung vorhanden sind. Wird ein technisches System verändert, so können durch diese Veränderung zusätzliche Ressourcen verfügbar werden. Ressourcen waren per Definition alles, was zur Lösung eines Problems oder für eine Verbesserung hilfreich sein kann. Durch eine Veränderung am System kann also quasi kostenlos eine zusätzliche Verbesserung möglich werden. Die Untersuchung, ob dieses in einem konkreten Fall möglich ist, wird als Supereffektanalyse bezeichnet.

Mit der Einführung des Verbrennungsmotor stand ein neues Mittel zur Erzeugung mechanischer Arbeit zur Verfügung. Dieses wurde genutzt, um die Pferde einer Kutsche zu ersetzen. Auf Grund des Wirkprinzips eines Verbrennungsmotors werden große Wärmemengen frei, die vom Verbrennungsmotor als Abwärme abgegeben werden. Bei dieser Wärme handelt sich also um eine Ressource im engeren Sinne, und diese Ressource war in der ursprünglichen Kutsche nicht vorhanden. Diese neu entstandene Ressource wird in jedem handelsüblichen Auto genutzt, um damit den Fahrgastraum zu erwärmen.

Wird eine neue Komponente hinzugefügt, so wie in diesem Fall der Verbrennungsmotor, so ist es mei-



Abbildung 46: Beim Übergang von der Kutsche zum Auto wurde das Antriebsmittel verändert, und zwar vom Pferd zum Verbrennungsmotor. Als Nebeneffekt stand plötzlich eine fast unbegrenzte Wärmequelle zur Verfügung. Eine Heizung des Fahrgastraums ist damit sehr einfach möglich und deswegen heutzutage Bestandteil jedes Autos.

stens am sinnvollsten, in Funktionsressourcen zu denken: Welche Funktionen könnte diese neue Komponente noch alles ausführen? Der Motor in einem Auto übt primär die Funktion „Motor dreht Antriebswelle“ aus, er kann aber zusätzlich aber auch die Funktion „Motor heizt irgendetwas“ zur Verfügung stellen.

Eine solche zusätzliche Funktion kann das System in zweierlei Hinsicht verbessern:

- Das System kann mittels der neuen Funktion etwas, was es vorher nicht konnte.
- Bisher wurde diese Funktion durch eine andere Komponente ausgeübt, und diese Komponente kann nun weggelassen werden.

War der Fahrgastraum der Kutsche vorher unbeheizt, so kann mittels des Verbrennungsmotors nun die Funktion „Passagiere werden erwärmt“ zur Verfügung gestellt werden. Der Nutzen des Systems hat sich also erhöht. War in der Kutsche ursprünglich ein kleiner Ofen installiert, so kann dieser nun weggelassen werden, wodurch sich das System vereinfacht. In beiden Fällen erhöht sich die Idealität bzw. der Wert des Systems.



# Bildquellen

- Abb. 1 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CalandreRolls-Royce.jpg>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MAN\\_V8-Motor.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MAN_V8-Motor.JPG)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lotos-eins.JPG>
- Abb. 2 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Breznak-Bier-P4130033.JPG>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drehbarer\\_Wasserhahn.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drehbarer_Wasserhahn.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yacht\\_Pershing\\_90.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yacht_Pershing_90.jpg)
- Abb. 3 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skylab-73-HC-440HR.jpg>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Highway\\_Police\\_Car\\_Fanshawe\\_Street.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Highway_Police_Car_Fanshawe_Street.jpg)
- Abb. 4 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar-calculator.jpg>
- Abb. 6 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green\\_Mercedes\\_Unimog\\_pic3.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green_Mercedes_Unimog_pic3.JPG)
- Abb. 7 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turbocharger.jpg>
- Abb. 8 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sopwith\\_Strutter\\_RAFM.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sopwith_Strutter_RAFM.jpg)
- Abb. 13 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Feuerloescher.jpg>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISO\\_7010\\_P003.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISO_7010_P003.svg)
- Abb. 16 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kewet\\_electric\\_car.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kewet_electric_car.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BMW\\_Alpin\\_B3\\_Biturbo\\_E92-Leder-Vordersitze\\_in\\_Dakota-braun.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BMW_Alpin_B3_Biturbo_E92-Leder-Vordersitze_in_Dakota-braun.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeroakustik-Windkanal-Messhalle.JPG>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Porsche\\_Ceramic\\_Composite\\_Brake\\_with\\_silicon\\_carbide\\_-\\_Museum\\_fur\\_Naturkunde,\\_Berlin\\_-\\_DSC09917.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Porsche_Ceramic_Composite_Brake_with_silicon_carbide_-_Museum_fur_Naturkunde,_Berlin_-_DSC09917.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Star\\_tankstelle\\_detmold\\_okt2013.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Star_tankstelle_detmold_okt2013.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1970\\_AMX\\_BBG-2part3.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1970_AMX_BBG-2part3.JPG)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Klausenpass-abfahrt08.jpg>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Asphalt\\_layer\\_2.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Asphalt_layer_2.JPG)
- Abb. 19 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo13\\_-\\_SM\\_after\\_separation.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo13_-_SM_after_separation.jpg)
- Abb. 20 <http://history.nasa.gov/ap10fj/pics/lm-lioh-canister.jpg>  
[https://www.hq.nasa.gov/alsj/a13/Apollo\\_CM\\_LIOH\\_Canister.jpg](https://www.hq.nasa.gov/alsj/a13/Apollo_CM_LIOH_Canister.jpg)
- Abb. 21 <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a13/AS13-62-8929HR.jpg>  
<https://www.hq.nasa.gov/alsj/a13/a13detS70-35013sm.jpg>  
<https://www.hq.nasa.gov/alsj/a13/ap13-S70-5826a-sm.jpg>
- Abb. 22 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A\\_close\\_shot\\_of\\_wind\\_turbines\\_wind\\_farm.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_close_shot_of_wind_turbines_wind_farm.jpg)
- Abb. 24 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EC\\_176\\_Praha\\_Hamburg.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EC_176_Praha_Hamburg.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ice\\_bruxelles.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ice_bruxelles.JPG)
- Abb. 25 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Embraco\\_Compressor.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Embraco_Compressor.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kitchen\\_renovation\\_project\\_cabinets\\_finished\\_microwave\\_installed\\_new\\_floor\\_painted\\_walls\\_and\\_ceiling.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kitchen_renovation_project_cabinets_finished_microwave_installed_new_floor_painted_walls_and_ceiling.JPG)
- Abb. 26 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gateshead\\_millennium\\_bridge\\_open.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gateshead_millennium_bridge_open.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Millennium\\_Bridge\\_viewed\\_from\\_The\\_Baltic.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Millennium_Bridge_viewed_from_The_Baltic.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bridges-xyz.png>
- Abb. 27 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cooking\\_pot\\_kockum.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cooking_pot_kockum.JPG)
- Abb. 28 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gas\\_flame.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gas_flame.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Induction\\_Cooker.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Induction_Cooker.JPG)
- Abb. 29 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Latentwärmespeicher.jpg>
- Abb. 30 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sun\\_Over\\_Earth's\\_Horizon.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sun_Over_Earth's_Horizon.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lantern\\_battery.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lantern_battery.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar\\_cell.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_cell.png)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar-calculator.jpg>
- Abb. 35 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sony\\_Television\\_Set.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sony_Television_Set.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRT\\_memory.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRT_memory.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FCC\\_Commissioners\\_inspect\\_latest\\_in\\_television\\_1939.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FCC_Commissioners_inspect_latest_in_television_1939.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Old\\_Philips\\_television\\_set,\\_pic10.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Old_Philips_television_set,_pic10.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TV\\_Tables.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TV_Tables.JPG)
- Abb. 36 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nauen\\_umbrella\\_antenna\\_1907.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nauen_umbrella_antenna_1907.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:8D21\\_vacuum\\_tube,\\_VHF\\_dual\\_tetrode,\\_RCA\\_introduced\\_1946\\_for\\_5\\_KW\\_television\\_transmitters\\_-\\_National\\_Electronics\\_Museum\\_-\\_DSC00496.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:8D21_vacuum_tube,_VHF_dual_tetrode,_RCA_introduced_1946_for_5_KW_television_transmitters_-_National_Electronics_Museum_-_DSC00496.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John\\_Logie\\_Baird\\_and\\_mechanical\\_television.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Logie_Baird_and_mechanical_television.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRT\\_memory.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRT_memory.jpg)
- Abb. 37 <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kranten.JPG>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US\\_Navy\\_080828-N-3271W-017\\_Navy\\_Rock\\_Band\\_Horizon\\_performs\\_on\\_the\\_WJW-TV\\_FOX\\_8\\_Morning\\_Show.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_080828-N-3271W-017_Navy_Rock_Band_Horizon_performs_on_the_WJW-TV_FOX_8_Morning_Show.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Home-theater-tysto2.jpg>  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antena-tv.jpg>
- Abb. 39 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Old\\_Philips\\_television\\_set,\\_pic10.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Old_Philips_television_set,_pic10.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRT\\_memory.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRT_memory.jpg)
- Abb. 40 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SBB\\_C\\_5\\_6\\_Dampfloek\\_Steam.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SBB_C_5_6_Dampfloek_Steam.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diesellok\\_218\\_413-3.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diesellok_218_413-3.jpg)
- Abb. 41, Titel [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HTC\\_Desire\\_S\\_01.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HTC_Desire_S_01.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transistors-white.jpg>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Taschenrechner.jpg>  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schoty\\_abacus.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schoty_abacus.jpg)
- Abb. 42 [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Magnetic\\_stirring\\_bars\\_aligned.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Magnetic_stirring_bars_aligned.jpg)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnetic\\_stirrer\\_with\\_heating.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnetic_stirrer_with_heating.jpg)
- Abb. 45 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snow\\_cars\\_2012\\_G1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Snow_cars_2012_G1.jpg)  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sitzheizung.jpg>
- Abb. 46 [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Imperial\\_Ceremonial\\_Carriage\\_Type-No2.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Imperial_Ceremonial_Carriage_Type-No2.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2012\\_Tata\\_Indica\\_Vista\\_dashboard.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2012_Tata_Indica_Vista_dashboard.JPG)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polo\\_2F.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polo_2F.JPG)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Definition einer Ressource</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Arten von Ressourcen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Problemorientiertes 9-Felder-Denken</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Beispiel zur Ressourcenanwendung</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Ressourcensuche</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Physikalische Effekte</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Effektendatenbanken</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>S-Kurven</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>Idealität</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>Ideale Maschine</b>	<b>33</b>
<b>11</b>	<b>Ideales Endresultat</b>	<b>37</b>
<b>12</b>	<b>Zielrichtungen in der Entwicklung</b>	<b>38</b>
<b>13</b>	<b>Supereffektanalyse</b>	<b>39</b>