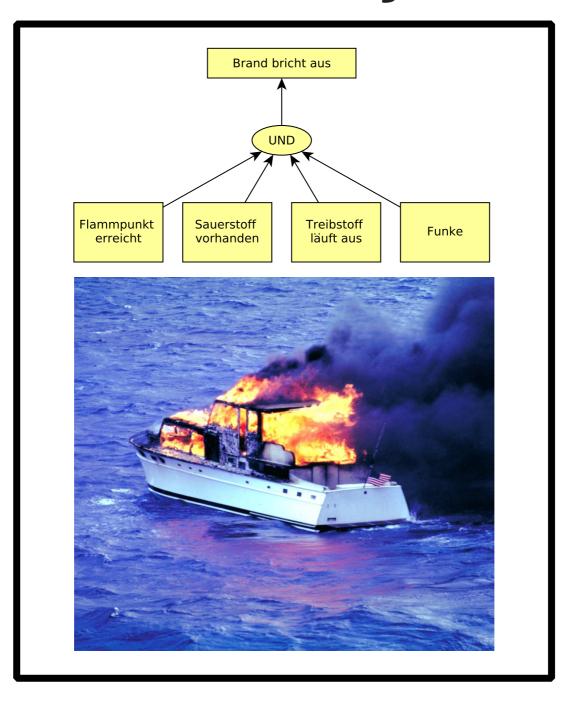
Problemdefinition und -analyse



Michael Patra

Stand: März 2016

1. Einleitung

Von Albert Einstein stammen zwei wichtige Zitate zum Thema "Problemanalyse". Das erste lautet:

Stände ich vor einem Problem, von dem mein Leben abhängt, so würde ich

- 45 Minuten darauf verwenden, das Problem zu verstehen,
- 10 Minuten darauf verwenden, eine Lösung zu finden, und
- 5 Minuten darauf verwenden, die Lösung umzusetzen.

Das andere Zitat rät:

Das wichtigste an einem Problem ist, es zu verstehen. Ist das Problem erst einmal verstanden, so ist die Lösung meist offensichtlich.

Meistens wird viel zu früh versucht, eine Lösung eines Problems zu finden – nämlich bereits bevor das Problem ausreichend verstanden worden ist. Dies wird leider durch schlechte Führungskräfte verstärkt, die mit Fragen der Form "Wie viele Lösungsideen hat denn die Taskforce bereits erarbeitet?" Aktionismus anstacheln.

Dieses Dokument ist in drei Teile unterteilt:

- 1. Im ersten Teil des Dokumentes geht es um das Sammeln von Informationen zu einem bestimmten Problem. Dieses Problem kann ein Problem sein, welches man selber herausgefunden hat oder aber ein Problem, welches einem von einem Auftraggeber vorgegeben worden ist.
- 2. Häufig ist ein von einem Auftraggeber vorgegebenes Problem nur die sichtbare Auswirkung eines ganz anderen Problems. Im zweiten Teil des Dokumentes wird daher beschrieben, wie das "wirkliche" Problem, das man anschließend zur Problembehebung angehen muss, gefunden werden kann.
- 3. Im dritten Teil des Dokuments wird beschrieben, wie vorgegangen werden kann, wenn ein Auftraggeber den Wunsch hat, ein bereits vorhandenes technisches Systems zu verbessern, ohne dass er ein bestimmtes Problem mit diesem System benennen würde. Hier liegt das sinnvolle Vorgehen meist darin, das System zu vereinfachen und damit dessen Kosten zu verringern.

Teil I. Informationen über das Problem

2. Wichtige erste Fragen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Situation, dass jemand Externes in ein bereits existierendes Projektteam kommt, um bei der Lösung eines Problems zu helfen, oder dass ein vollkommen neues Team zusammengestellt wird. Mittels der folgenden Fragen kann in relativ kurzer Zeit ein Überblick über das Problem erreicht werden. Dieser Überblick ist oftmals dadurch behindert, dass für die Mitglieder des Projektteams, die ja in das Thema tief eingearbeitet sind, viele Dinge so selbstverständlich sind, dass sie gar nicht erst erwähnt werden.

Was ist das Problem? Was ist bekannt?

Diese Frage wird natürlich immer gestellt werden bzw. aus dem Projektteam werden diese Informationen auch unaufgefordert gegeben werden. Daher muss hierauf nicht weiter eingegangen werden.

Warum ist es ein Problem? Warum kann das Problem nicht einfach abgestellt werden?

Diese Frage ist nicht so trivial, wie sie vielleicht auf den ersten Blick scheint. Oftmals führen nämlich erst bestimmte Randbedingungen dazu, dass ein Problem zu einem echten Problem wird. Diese Randbedingungen werden häufig erst auf Nachfrage mitgeteilt, und diese Frage kann dabei helfen.



Abbildung 1: Dass im Backofen eine Pizza immer anbrennt, ist im Normalfall kein richtiges Problem, da man nur die richtige Temperatureinstellung herausfinden muss. Zu einem richtigen Problem wird dieses, wenn der Backofen sehr alt ist und daher keine kontinuierliche Temperatureinstellung erlaubt.

Als Beispiel hierfür betrachten wir einen Backofen, in dem Pizza gebacken werden soll. Diese Pizza kommt jedoch immer verbrannt aus dem Backofen heraus. Dieses ist also das Problem, welches unter "Was ist das Problem?" genannt werden würde.

Im Normalfall ist verbrannte Pizza kein Anzeichen für ein "echtes" Problem, also ein Problem, zu dessen Bearbeitung Problemlösungstechniken notwendig wären – man muss schließlich nur die Temperatur am Backofen beim nächsten Mal etwas kleiner wählen. Zu einem Problem wird es erst dann, wenn dieses der Backofen nicht unterstützt, also er entweder nur diskrete Temperaturstufen anbietet oder aber nur oberhalb einer gewissen Mindesttemperatur eine freie Temperaturwahl erlaubt. Beides kann bei alten

Backöfen durchaus vorkommen. Um dieses aber herauszubekommen, kann eine Frage wie die obige helfen.

Was wurde bereits zur Problemlösung ausprobiert?

Diese Frage ist wiederum offensichtlich. Man erfährt jedoch nicht nur etwas über die bereits durchgeführten Aktionen als solches, sondern indirekt auch, welcher Art die Vermutungen über die Problemursache waren. Offensichtlich waren die bisherigen Versuche zur Problemlösung nicht erfolgreich – wenn sie erfolgreich gewesen wären, würde man schließlich nicht mehr an diesem Problem arbeiten. Durch diese Frage erfährt man also, wo kein Problem vorliegt bzw. was keine Ursache ist. Wie später im Abschnitt 3 noch erläutert werden wird, kann solches Wissen extrem hilfreich sein.

Was weiß ich nicht über das Problem, würde es aber gerne wissen?

Menschen möchten am liebsten nur gesicherte Erkenntnisse weitergeben. Durch diese Frage erfährt man auch, welche Gedanken und Spekulationen sich die Mitglieder der Arbeitsgruppe gemacht haben, ohne dass hierbei sicheres Wissen herausgekommen worden wäre. Kenntnis von diesen Überlegungen kann trotzdem unheimlich hilfreich sein, da diese Überlegungen schließlich aus der Fachkompetenz der Arbeitsgruppe entstanden sind.

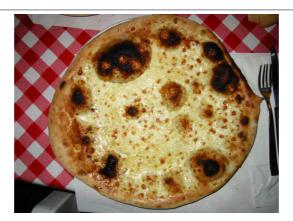


Abbildung 2: Warum ist eigentlich niemals ein größerer Bereich der Pizza verbrannt, sondern immer nur kleine oder mittelgroße Inseln?

Zum Beispiel ist die Pizza in Abb. 2 zwar verbrannt, aber es ist nicht etwa ein bestimmter Teil der Pizza vollständig verbrannt, sondern die verbrannten Gebiete bilden mehrere getrennte Inseln. Wenn die Fachleute sagen, dass sie gerne wissen würden, woher dieser Effekt kommt, erfährt man indirekt etwas über deren Vermutungen über die Ursache des Problems – wahrscheinlich wird nicht nur in Richtung Temperatur gedacht, sondern auch, wie der beobachtete Effekt mit dem Belag oder der Zirkulation im Backofen zusammenhängen könnte.

Welche der gemachten Annahmen könnte man hinterfragen?

Bei Fachfragen muss man sich auf die betreffenden Fachleute verlassen können – ein Fachfremder kennt sich in ihrem Gebiet einfach nicht gut genug aus. Damit eine Arbeitsgruppe effizient arbeiten kann, müssen Fachleute auch immer interpretieren: Ein Materialwissenschaftler muss nicht nur gesicherte Informationen zu Streckgrenzen oder Gleitbändern beitragen, sondern auch Interpretation der Art "dort

können sich keine Haarrisse bilden". Interpretationen durch Fachleute sind also nicht schlecht, sondern notwendig.

Von außen ist aber nicht immer leicht zu unterscheiden, wie sicher welche der Interpretationen sind. Durch eine Frage wie die obige kann erkannt werden, was gesicherte wissenschaftliche Fakten, was plausible Annahmen und Interpretationen und was Vermutungen sind.

3. Wo ist ein Problem, wo ist kein Problem?

Wenn ein Problem bzw. eine Störung erkannt wird, ist es selbstverständlich wichtig, so viel Information wie möglich über das Problem oder die Störung zu sammeln. Dieser Schritt ist so selbstverständlich, dass er selten vergessen wird – auch dann nicht, falls es keinen systematischen Prozess zur Informationssammlung geben sollte. Was aber häufig übersehen wird, ist, dass auch das Sammeln von Informationen darüber, wo kein Problem bzw. keine Störung vorliegt, für das Weiterkommen essentiell ist.

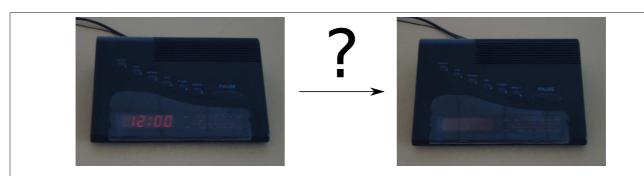


Abbildung 3: Im Beispiel liegt das Ausgangsproblem darin, dass das Display des Radioweckers nicht mehr die Uhrzeit anzeigt.

Als einfaches Beispiel wird der Radiowecker aus Abb. 3 betrachtet. Aus irgendeinem Grund zeigt das Display des Radioweckers nicht mehr die Uhrzeit an. Das Ausgangsproblem kann also wie folgt beschrieben werden:

Wo liegt ein Problem vor?

Display des Radioweckers

Meistens kommen einem sofort Ideen, was die Ursache dieses Problems sein könnte, von einem gezogenen Netzstecker über einen Defekt im Radio bis hin zu einem stadtweiten Stromausfall.

Man könnte nun anfangen, den Radiowecker zu zerlegen, um seine einzelnen Bestandteile genauer untersuchen zu können, so dass die Vermutung "Defekt" bestätigt oder widerlegt werden kann. Dieses Vorgehen ist aber denkbar ineffizient, da besser zuerst weitere Informationen gesammelt werden sollten. Dies sind zum einen Informationen darüber, wo überall ein Problem vorliegt – aber genau so auch darüber, wo *kein* Problem auftritt, obwohl ein ähnliches Problem auftreten *könnte*. Ein Beispiel hierfür ist die Frage, ob man mit dem Radiowecker noch Radio hören kann. Ein Problem mit der Radiofunktion *könnte* auftreten, da gewisse Komponenten des Radioweckers wie z. B. die Stromversorgung sowohl für die Uhrzeitanzeige als auch für das Radiohören wichtig sind.

Tabelle 1 zeigt drei denkbare Ergebnisse einer solchen Aufstellung. Man sieht sofort, dass das Wissen über das Nichtvorhandensein eines Problems viel hilfreicher als das Wissen über das Vorhandenseins sein kann. Die Information "Radiofunktion nicht vorhanden" lässt noch mehrere Ursachen offen, während die Information "Radiofunktion ist in Ordnung" sehr stark darauf hindeutet, dass das Display (und nur das Display) kaputt ist.

Option	Wo liegt ein Problem vor?	Wo liegt kein Problem vor
		(obwohl es auftreten könnte)?
1	Display des Radioweckers	Radiofunktion
		Staubsauger an selber Steckdose
2	Display des Radioweckers	Staubsauger an selber Steckdose
	Radiofunktion	
3	Display des Radioweckers	
	Radiofunktion	
	Staubsauger an selber Steckdose	

Tabelle 1: Drei denkbare, verschiedene Ergebnisse einer Auflistung sowohl der Aspekte mit einem Problem, als auch der Aspekte, bei denen kein Problem auftritt, obwohl ein ähnliches Problem auftreten könnte.

Für ein solch einfaches Problem wie den Radiowecker ist das explizite Aufstellen einer Tabelle "Wo liegt ein Problem vor?" und "Wo liegt kein Problem vor (obwohl es auftreten könnte)?" sicherlich übertrieben. Bei komplexeren Themen wird eine solche Tabelle schnell sehr sinnvoll. Das wichtigste Kriterium für die Notwendigkeit einer solchen Tabelle ist jedoch, ob zur Problemlösung verschiedene Fachleuten zusammenarbeiten (müssen) – wird auf eine explizite Tabelle verzichtet, können leicht wichtige Informationen auf dem Weg vom einen Beteiligten zum anderen Beteiligten verloren gehen.



Abbildung 4: Ein Federring wird unter einer Mutter eingeschraubt, um (hoffentlich) ein ungewolltes Losdrehen zu verhindern.

Als ein Beispiel betrachten wir einen Federring, siehe Abb. 4. Diese Federringe werden in einer chemischen Anlage verbaut, wo die Schraubverbindungen aggressiven Gasen ausgesetzt sind. Irgendwann bemerkt die Qualitätssicherung, dass viele Federringe nach einigen Monaten anfangen, zu korrodieren. Aus diesem Grund wird eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Entwicklungsmitarbeitern, Produktionsingenieuren und Qualitätsbeauftragten gebildet.

Die Qualitätsabteilung, die dieses Problem entdeckt und untersucht hat, wird der Arbeitsgruppe sicherlich unaufgefordert – also ohne dass jemand danach fragen müsste – Informationen der folgenden Art

mitteilen:

- Es kommt nach zwei bis drei Monaten zur Korrosion der Federringe in der gesamten Anlage.
- Laut Spezifikation bestehen die Federringe aus Stahl mit einem Kohlenstoffanteil von 0,5 %. Eine Messung an einigen Federringen ergab einen tatsächlichen Kohlenstoffanteil von 0,7 %, was nach Aussage der Fachleute eigentlich unkritisch sein sollte.
- Beim reaktiven Gas handelt es sich um Ozon mit einem Druck von 2 bar. Die gemessene Temperatur beträgt 700 K und ist damit um rund 50 K höher als erwartet.

Mit diesen Informationen wird eine Arbeitsgruppe aus verschiedenen Fachleuten sicherlich ein Dutzend verschiedene Ursachen des Problems, Möglichkeiten zum potentiellen Abstellen des Problems und / oder sinnvolle weitere Experimente vorschlagen können.

In der Praxis wird leider die Information darüber, wo *kein* Problem auftritt, oftmals nicht an andere Personen bzw. an eine Arbeitsgruppe weitergegeben. Dieses ist keine böse Absicht, sondern alles, wo kein Problem auftritt, wird als unwichtig angesehen. Die Chance dafür, dass die folgende Information nicht weitergeben wird, ist also (zu) groß:

• In der Anlage befinden sich vom selben Hersteller und aus demselben Material auch Unterlegscheiben, und diese zeigen keine Korrosion.



Abbildung 5: Federringe unterscheiden sich von Unterlegscheiben primär dadurch, dass erstere durchgeschnitten und leicht aufgebogen worden sind.

Federringe benötigen zu ihrer Herstellung im Vergleich zu Unterlegscheiben einen zusätzlichen Fertigungsschritt, nämlich das Aufschneiden und Aufbiegen des Ringes. Mit diesem zusätzlichen Wissen wird das Problem schlagartig viel klarer: Die Ursache für das Auftreten der Korrosion liegt wahrscheinlich im zusätzlichen Herstellungsschritt der Federringe: Das Schneiden könnte die Oberflächenbeschichtung zerstören, das Biegen die regelmäßige Kristallstruktur zerstören, im Spülwasser zum Abführen der Metallspäne nach dem Durchsägen könnten schädliche Chemikalien sein, ... Materialzusammensetzung und Temperatur scheinen dagegen nicht weiter relevant zu sein.

Nur durch das Abfragen einer Tabelle kann das vorhandene Wissen mit größerer Sicherheit an alle Beteiligten weitergeben werden.

Wo liegt ein Problem vor?	Wo liegt kein Problem vor (obwohl es auftreten könnte)?
Federringe zeigen Korrosion	Muttern zeigen keine Korrosion
	Unterlegscheiben zeigen keine Korrosion
	Rohre zeigen keine Korrosion

Sobald diese Tabelle vorhanden ist, kommt die Frage nach den Eigenschaften der Unterlegscheiben und ihren Unterschieden im Vergleich zu den Federringen quasi automatisch.

4. Rationales Management

Der Ansatz aus dem Abschnitt 3 kann weiter verfeinert werden. Hierbei wird die Problembeschreibung genauer aufgeteilt, und zwar nach den vier Kriterien

- Was ist das Problem? Was tritt nicht als Problem auf?
- Wo tritt das Problem auf? Wo tritt das Problem nicht auf?
- Wann tritt das Problem auf? Wann tritt das Problem nicht auf?
- Wie stark ist das Ausmaß des Problems? Wie stark ist das Ausmaß des Problems nicht?

Dieser Ansatz wurde als Analysephase des sogenannten "rationalen Managements" populär gemacht – über die Sinnhaftigkeit dieser Bezeichnung kann man sicherlich treffend streiten.

Die vier Kriterien können weiter untergliedert werden. Wenn in irgendeinem System ein Problem auftritt, sollten die folgenden Fragen gestellt werden – jeweils in der "Problem tritt auf" und in der "Problem tritt nicht auf"-Variante.

Was?	An welcher Systemkomponente tritt das Problem auf?	
	Worin besteht die fehlerhafte Funktion?	
Wo?	Wo befindet sich das System, an dem bzw. wenn das Problem auftritt?	
	Wo befindet sich die Systemkomponente, an der das Problem auftritt?	
	Wo innerhalb der Systemkomponente tritt das Problem auf?	
Wann?	Wann wurde das Problem zum ersten Mal beobachtet? Wann wurde das Problem seitdem wieder beobachtet?	
	Zu welchem Zeitpunkt tritt das Problem auf?	
Wie stark?	Wie stark ist die Fehlfunktion?	
	Welcher Anteil der vorhandenen Systeme ist davon betroffen?	
	Ein wie großer Anteil jedes Systems ist betroffen?	

Als Beispiel für die Anwendung dieser Fragen betrachten wir ein Auto, welches während der Fahrt quietschende Geräusche abgibt, sobald gebremst wird. Dieses ist jedoch nur innerhalb der ersten Viertelstunde einer Fahrt der Fall, danach bleibt es auch beim Bremsen ruhig. Man kann hören, dass das Geräusch irgendwo in der Umgebung des linken Hinterrades entsteht – ohne Spezialinstrumente kann



Abbildung 6: Während der Fahrt kommt es unter bestimmten Bedingungen zu einer unerwünschten und ursprünglich nicht vorhandenen Geräuschentwicklung im Bereich eines Rades.

man jedoch nicht bestimmen, ob das Geräusch vom Rad, von der Radaufhängung, von der Bremse usw. kommt (siehe Abb. 6). Die ausgefüllte Tabelle befindet sich in Tab. 2 auf der nächsten Seite.

Problem | kein Problem (obwohl es auftreten könnte)

An welcher Systemkomponente tritt das Problem auf?

Rad und/oder Radaufhängung. Nicht betroffen sind Motor, Getriebe, ...

Worin besteht die fehlerhafte Funktion?

Es tritt ein quietschendes Geräusch auf. Die Bremswirkung ist unverändert gut.

Wo befindet sich das System, an dem bzw. wenn das Problem auftritt?

Das Geräusch tritt unabhängig vom

Aufenthaltsort des Autos auf.

Wo befindet sich die Systemkomponente, an der das Problem auftritt?

Das hintere linke Rad gibt ein Geräusch ab. Beide vordere Räder sowie das hintere rechte Rad geben kein Geräusch ab.

Wo innerhalb der Systemkomponente tritt das Problem auf?

Der genaue Ort der Geräuschentstehung ist per dito

Ohr nicht näher bestimmbar.

Wann wurde das Problem zum ersten Mal beobachtet?

vor drei Monaten nach dem letzten Reifenwechsel vor vier Monaten

Wann wurde das Problem seitdem wieder beobachtet?

in den ersten 15 Minuten nach Fahrtbeginn später als 15 Minuten nach Fahrtbeginn

Zu welchem Zeitpunkt tritt das Problem auf?

beim Bremsen beim Lenken, beim Beschleunigen

Wie stark ist die Fehlfunktion?

deutlich hörbares Geräusch weder sehr leise noch sehr laut

Welcher Anteil der vorhandenen Systeme sind davon betroffen?

Frage ist nicht anwendbar (nur ein Auto bzw. nur ein dito

linkes hinteres Rad vorhanden)

Ein wie großer Anteil jedes Systems ist betroffen?

Das Geräusch tritt bei jedem Bremsvorgang auf.

Tabelle 2: Analyse einer unerwünschten Geräuschentwicklung beim Autofahren gemäß dieser Kriterien

Gewisse Informationen, zum Beispiel die des Reifenwechsels vor vier Monaten, wären ohne eine solche Tabelle vielleicht nicht an die Werkstatt weitergegeben worden. Aus der Tabelle ergibt sich unabhängig davon, dass der Reifenwechsel augenscheinlich nicht die Ursache für die Geräuschentwicklung sein kann.

5. Innovationscheckliste

Es gibt verschiedene Varianten von Innovationschecklisten, die alle in leicht abgeänderter Form die folgenden Informationen abfragen.

Systembezeichnung und -beschreibung: Die meisten im Umlauf befindlichen Innovationschecklisten enthalten hier eine Aufzählung mehrerer Unterpunkte, aber letztendlich ist die Summe dieser Unterpunkte nichts anderes als ein Funktionsmodell des existierenden und/oder des gewünschten technischen Systems. Das sinnvollste Vorgehen ist daher die Erstellung eines Funktionsmodells, wie es in der entsprechenden Anleitung (siehe getrenntes Dokument) beschrieben

- **Auflistung der verfügbaren Ressourcen:** Der Umgang mit Ressourcen, insbesondere das Auffinden von Ressourcen, ist in der entsprechenden Anleitung (siehe getrenntes Dokument) beschrieben.
- **Informationen zur Problemsituation:** Neben dem Ziel der Problemlösung, d. h., was eigentlich abgestellt oder verbessert werden soll, kann hier alles gesammelt werden, was mittels verschiedener Analyseverfahren, wie sie z. B. im Folgenden beschrieben werden, herausgefunden worden ist.
- Historie der Lösungsversuche: Dieser Punkt umfasst zwei grundlegend verschiedene Aspekte. Zum einen geht es darum, welche erfolglosen Lösungsversuche für das zu lösende Problem bereits vorgenommen worden sind. Es soll also das daraus gesammelte Wissen über tiefer gelegene Problemaspekte gesammelt werden. Zum anderen geht es aber auch um erfolgreiche Lösungen ähnlicher Probleme, die in der Vergangenheit behandelt worden waren. Unter Umständen kann die damalige Lösung nämlich auf das aktuelle Problem übertragen werden.
- **Erlaubte Systemveränderungen, Auswahlkriterien:** Diese beiden Punkte entsprechen einem Lastenheft. Die Auswahlkriterien beschreiben, wie verschiedene Lösungskonzepte bewertet werden sollen, um daraus das Konzept, welches dann umgesetzt wird, auszuwählen.

Ein häufiges Kriterium bei der Problemlösung an einem existierenden technischen System (im Gegensatz zur völligen Neuentwicklung eines Systems) ist, dass Änderungen nur bis zu einem gewissen Grade erlaubt sind, das System also weitestgehend erhalten bleiben soll. Daher wird dieser Aspekt oftmals gesondert abgefragt.

Über die Zweckmäßigkeit einer solchen Innovationscheckliste kann man geteilter Meinung sein. Die Checkliste vermischt Informationen aus verschiedenen Stadien des Problemlösungsprozess. Für die meisten Abschnitte der Innovationscheckliste gibt es eigene Verfahren, die die entsprechenden Informationen besser sammeln und darstellen können. Eine Innovationscheckliste kann der geeignete Ansatz sein, einer Arbeitsgruppe einen Leitfaden zu geben, ohne dieser spezielle Verfahren erklären zu wollen.

Teil II. Bestimmung des wirklich zu lösenden Problems

6. Ausgangsprobleme und Grundprobleme

Jeder Problemlösungsvorgang beginnt mit einem Anlass. Dieser Anlass wird als Ausgangsproblem (initial disadvantage) bezeichnet. Im industriellen Umfeld gibt es für das Ausgangsproblem eine sehr einfache Definition: Das Ausgangsproblem ist, was auch immer der Chef seinen Mitarbeitern erzählt, nachdem er sie wegen eines Problems zusammengerufen hat. Das Ausgangsproblem kann ein Problem im engeren Sinne sein, also ein plötzlich aufgetretener unerwünschter Zustand (Beispiel: Eine Fertigungsmaschine funktioniert seit ein paar Stunden nicht mehr), aber auch ein längerfristiger Nachteil (Beispiel: Im Fertigungsprozess wird zu viel Strom verbraucht).

Hiervon zu trennen ist das Grundproblem: Das Grundproblem ist das Problem, welches dann später tatsächlich behoben werden muss. Das Ausgangsproblem ist meist nur die Spitze eines Eisberges.

In diesem Zusammenhang gibt es im Problemlösungsprozess also zwei Herausforderungen:

- Wie bekommt man heraus, welches Problem eigentlich gelöst werden muss? In anderen Worten: Was ist eigentlich das Grundproblem?
- Wie löst man dann das gefundene Grundproblem?

In diesem Dokument wird nur die erste Frage behandelt.

7. Analyse von Wirkungszusammenhängen

Wann immer ein Problem auftritt, ergibt sich ganz direkt die Frage: "Was ist die Ursache für dieses Problem?" Sobald die Ursache gefunden ist, kann sie nämlich abgestellt werden – womit auch das Auftreten des Problems abgestellt und/oder das erneute Eintreffen des Problems in der Zukunft verhindert wird. Das Wort "Problem" steht hier ganz allgemein für einen negativen Effekt bzw. einen unerwünschten Zustand. Dieser negative Effekt kann das Eintreten eines katastrophalen Unfalls sein, genauso aber auch etwas vergleichsweise Harmloses wie bei einem Auto ein Benzinverbrauch, der höher als erwünscht ist.

In diesem Zusammenhang gibt es zwei verschiedene Herangehensweisen, die hier am Beispiel des Abfallbehälters in Abb. 7 auf der nächsten Seite kurz einander gegenüber gestellt werden sollen. Der Abfallbehälter ist oben offen, und so kann insbesondere im Sommer ein unangenehmer Geruch entweichen. Die Geruchsentwicklung ist der negative Effekt (der unerwünschte Zustand), der das Ausgangsproblem



Abbildung 7: Ein typischer Abfallbehälter, wie er an Straßen aufgestellt ist, kann unangenehmen Geruch abgeben.

bildet.

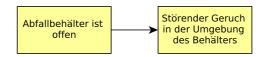
Der problemorientierte Ansatz fragt danach, was die Bedingungen dafür sind, dass dieser negative Effekt auftritt. Ziel ist es, die Grundursache für die Geruchsentwicklung zu finden, um die Grundursache dann abzustellen zu können. Der andere Ansatz interessiert sich nicht nur für die Probleme des Systems, sondern auch für die Wünsche an das System. Ansonsten könnte es nämlich passieren, dass zwar das Ausgangsproblem abgestellt wird, aber dafür etwas anderes nicht mehr wie beabsichtigt funktioniert. Ziel dieses anderen Ansatzes ist es, Grundkonflikte zwischen den Wünschen und der aktuellen Umsetzung in eine System aufzudecken, um diese Konflikte dann beheben zu können.

Diese beiden Ansätze werden in den beiden Werkzeugen der Ursache-Wirkungs-Analyse (Root-Cause-Analysis, RCA) und der Grundkonfliktanalyse (Root-Conflict-Analysis, RCA+) umgesetzt. Im weiteren werden diese beiden Verfahren zuerst genauer besprochen, um dann im Anschluss auf die Gemeinsamkeiten und Unterschiede sowie auf die Vorteile und Nachteile der beiden Verfahren eingehen zu können.

8. Ursachen-Wirkungs-Analyse (RCA)

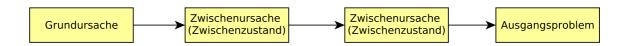
Eine Root-Cause-Analyse (RCA), also eine Ursachen-Wirkungs-Analyse, wird durchgeführt, um die wahren Ursachen eines erkannten Problems zu finden. Dieses Problem wird als Ausgangsproblem bezeichnet. Das Ausgangsproblem ist ein negativer Effekt bzw. ein unerwünschter Zustand, zum Beispiel der Zustand "Unangenehmer Geruch ist vorhanden".

Eine Ursache beschreibt eine kausale Abhängigkeit: Sofern die Ursache A erfüllt ist, kann die Wirkung B eintreten. Beispiel: Sofern ein mit stinkenden Stoffen gefüllter Abfallbehälter offen ist, kann der Geruch entweichen.



Sowohl die Wirkung "Störender Geruch in der Umgebung des Behälters" als auch die Ursache "Abfallbehälter ist offen" beschreiben jeweils einen Zustand. Eine Ursache-Wirkungs-Verknüpfung ist also eine Relation zwischen zwei Zuständen.

Eine gefundene Ursache kann selbst wiederum Folge einer anderen Ursache sein, und so weiter. Die meisten gefundenen Ursachen sind damit "nur" Zwischenursachen. Die Zwischenursachen sind selber Folge anderer, grundlegenderer Ursachen – sie sind also gleichzeitig Ursache und Folge, weswegen eine Bezeichnung wie Zwischenzustand eigentlich besser wäre. Insgesamt bildet sich eine Ursachenkette, die bei der Grundursache endet.



Im Rahmen der Analyse ist das Ausgangsproblem der einzige Zustand, der nur Folge, nicht aber Ursache ist. Die Grundursachen treten nur als Ursache, nicht als Folge auf. Die Zwischenursachen (Zwischenzustände) sind sowohl Ursache als auch Wirkung. Die hier verwendete Definition einer Grundursache entspricht der offiziellen Schule. In der Praxis ist es manchmal leichter, eine gefundene Zwischenursache direkt zu beheben. In diesem Zusammenhang wird der Begriff "Grundursache" für diejenige Ursache, die nachher tatsächlich behoben wird, verwendet.

Das größte deutsche Eisenbahnunglück der jüngeren Geschichte war der ICE-Unfall von Eschede. Das Ausgangsproblem ist also die Zerstörung eines Hochgeschwindigkeitszuges und der Tod vieler seiner Insassen. Die unmittelbare Ursache war, dass ein ICE in eine Brücke geschleudert ist. Um die Wiederholung eines solches Unfalls zu verhindern, ist dieses Wissen jedoch bei weitem nicht ausreichend.



Abbildung 8: Der ICE-Unfall von Eschede war das größte Eisenbahnunglück der jüngeren deutsche Geschichte.

Ob ein Zustand eine Zwischenursache (ein Zwischenzustand) ist, kann getestet werden, indem mittels eines "warum" danach gefragt wird, ob er eine Ursache besitzt. Hierbei ist jedoch aufzupassen, weil in

der deutschen Sprache dieses Wort leider nach zwei verschiedenen Aspekten fragt, nämlich nach der kausalen Abhängigkeit (oder Bedingung) und nach dem Ziel.

Warum schlägt das menschliche Herz?

- Das menschliche Herz schlägt, weil durch den Sinusknoten ein elektrisches Signal erzeugt wird. (kausale Abhängigkeit, Bedingung)
- Das menschliche Herz schlägt, um den Körper mit sauerstoffreichem Blut zu versorgen. (Ziel)

In der Ursache-Wirkungs-Analyse ist immer nur die Frage nach der kausalen Abhängigkeit bzw. nach der Bedingung für den Eintritt von etwas gemeint.

Für den Eisenbahnunfall ergibt sich also eine Abfolge von Fragen:

- 1. Warum (=was war die Ursache) wurde der Zug zerstört? Weil der Zug in eine Brücke geschleudert ist.
- 2. Warum (=was war die Ursache) ist der Zug in eine Brücke geschleudert? Weil der Zug entgleist ist.
- 3. Warum (=was war die Ursache) ist der Zug entgleist? Weil ein Radreifen während der Fahrt gebrochen ist.
- 4. Warum (=was war die Ursache) ist ein Radreifen während der Fahrt gebrochen? Weil der Radreifen zu dünn war.



Wenn eine weitere Warum-Frage nicht mehr sinnvoll ist, hat man eine Grundursache gefunden. Das Beheben einer Grundursache ist der sinnvollste Ansatz, um das Ausgangsproblem zu beheben bzw. für die Zukunft seine Wiederholung zu vermeiden.

Das Eisenbahnunglück von Eschede konnte letztendlich auf die Verwendung ungeeigneter Radreifen in den ICE-Zügen zurückgeführt werden. Nachdem die Grundursache gefunden worden war, konnten Maßnahmen ergriffen werden: Die Hauptlehre aus dem Unglück von Eschede war, dass die Vorschriften über den Aufbau von Radreifen und ihre erlaubte Nutzungsdauer verändert wurden.

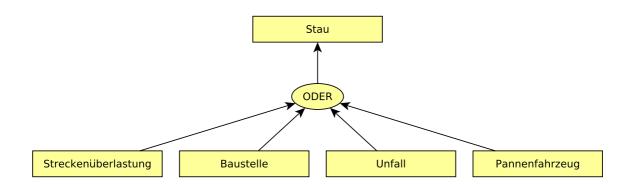
Die Stärke einer Ursache-Wirkungs-Analyse (Root-Cause-Analyse, RCA) besteht darin, dass auch sehr komplexe Zusammenhänge von Ursache und Wirkung modelliert werden können. Der vielleicht wichtigste Vorteil gegenüber einfacheren Analyseverfahren ist die konsequente Unterscheidung zwischen Und-Verknüpfungen und Oder-Verknüpfungen.

Staus haben nicht eine einzige Ursache. Neben einer Streckenüberlastung, also einer z.B. wegen Ferienbeginns erhöhten Anzahl von Fahrzeugen auf der Straße, sind Unfälle, liegengebliebene Fahrzeuge



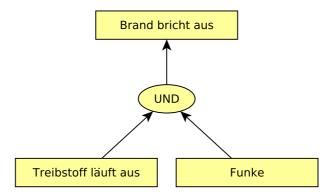
Abbildung 9: Viele verschiedene Ursachen können zu einem Stau führen.

und Baustellen die häufigsten Gründe für die Entstehung eines Staus. Sobald eine dieser Ursachen vorliegt, kann es zu einem Stau kommen. Die logische Verknüpfung, die "wahr" ist, sobald mindestens einer ihrer Eingänge "wahr" ist, ist die Oder-Verknüpfung. Die verschiedenen Stauursachen müssen also Oder-verknüpft werden.



Um einen Stau sicher verhindern zu können, müssen *alle* Ursachen verhindert werden. Auch wenn es keine Baustellen mehr gäbe, so kann es trotzdem zu einem Unfall und deswegen zu einem Stau kommen.

Treibstoffe sind brennbar – sonst könnten sie ihre Funktion nicht erfüllen. Aus diesem Grund werden sie in speziellen Tanks gelagert. Gefährlich werden kann es dann, wenn dieser Treibstoff ausläuft und dann mit einer Zündquelle wie z.B. einem Funken in Kontakt kommt. Im Tank ist der Treibstoff sicher vor Zündquellen geschützt, und ohne Zündquelle kann sich auch ausgelaufener Treibstoff nicht entzünden. Das Problem "Brand" tritt also nur dann auf, wenn beide Ursachen vorhanden sind, d. h, es ist eine Und-Verknüpfung zwischen diesen beiden Ursachen zu verwenden.



Das Diagramm gibt damit zwei Ansätze vor, wie der Ausbruch eines Feuers verringert werden kann. Der eine Ansatz versucht, das Auslaufen von Treibstoff zu verhindern, z.B. indem der Tank so stabil gebaut wird, dass er auch bei einem Unfall nicht leckt. Der andere Ansatz versucht, die Anwesenheit von Zündquellen zu verhindern.

In Bergwerken war die Anwesenheit explosiver Gase nur schwer zu verhindern. Daher wurde versucht, den Kontakt mit Zündquellen zu verhindern. Grubenlampen mit einer offenen Flamme verwenden hierzu ein Drahtnetz, das die Zündung des Gases außerhalb der Lampe verhindert, siehe Abb. 10.

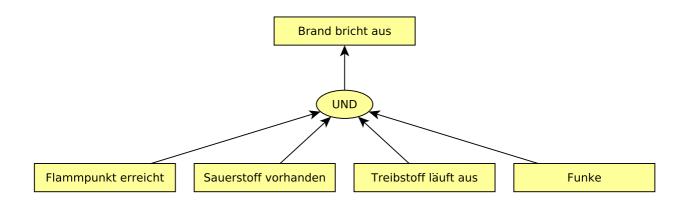


Abbildung 10: In alten Grubenlampen wird die offene Flamme, die sich im Innern befindet, mit einem Drahtnetz umgeben. Hierdurch kann die Flamme nicht als Zündquelle für das Grubengas wirken.

Und-Verknüpfungen in der Root-Cause-Analyse sind für den Problemlösungsprozess "angenehm", weil es für die Problembehebung ausreichend ist, nur eine einzelne der verschiedenen Ursachen abzustellen. Je mehr Ursachen vorhanden sind, desto einfacher wird diese Aufgabe. Daher lautet ein wichtiger Rat, möglichst *alle* Ursachen zu sammeln – auch diejenigen, die man als trivial ansieht oder für die man etwas tiefer nachdenken muss.

Für das Beispiel "Ausbruch eines Brandes" gibt es noch (mindestens) zwei weitere Ursachen, die für den Ausbruch eines Feuers und die Aufrechterhaltung eines Feuers notwendig sind. Zum einen kann

ein Feuer nur dann brennen, wenn Sauerstoff an den Brandherd gelangen kann. Zum anderen brennt eine Flüssigkeit nicht direkt, sondern vielmehr brennen die entzündlichen Gase, die sich über der Flüssigkeit bilden. Diese Gasentstehung geschieht jedoch erst bei Temperaturen oberhalb des sogenannten Flammpunkts. Das ergänzte Diagramm lautet also:



Das ergänzte Diagramm zeigt also zwei zusätzliche Möglichkeiten auf, wie die Brandgefahr eingedämmt werden kann. Möchte man die Möglichkeiten, die zum Beispiel die Ursache "Flammpunkt" für den Problemlösungsprozess bietet, näher untersuchen, hilft eine Tabelle der Flammpunkte verschiedener Treibstoffe:

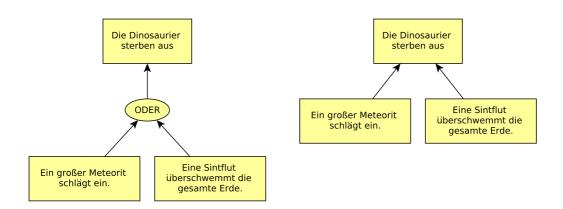
Treibstoff	Flammpunkt
Benzin	-20 °C
Diesel	55 °C
Standardkerosion (Jet A-1)	38 °C
Sicherheitskerosin (JP-5)	65 °C

Der hohe Flammpunkt von Diesel bedeutet, dass es normalerweise nicht möglich ist, mit einem brennenden Streichholz Dieseltreibstoff anzuzünden – es sei denn, dass man das brennende Streichholz so dicht und so lange an den flüssigen Dieseltreibstoff hält, dass er lokal auf über 55 °C erhitzt wird. Die unterschiedlichen Flammpunkte sind sicherlich nichts, was für einen Autokäufer die Wahl zwischen einem Dieselmotor und einem Ottomotor beeinflussen würde. Für den Besitzer eines Sportbootes ist dieses anders: Bei der Entscheidung für einen Bootsmotor ist das verringerte Risiko eines Feuers, siehe Abb. 11, ein wichtiges Entscheidungskriterium zugunsten eines Dieselmotor.



Abbildung 11: Auch wenn ein Boot von Wasser umgeben ist, so ist die größte Gefahr auf einem Sportboot dennoch der Ausbruch eines Feuers. Die Ursache-Wirkungs-Analyse hatte weiter oben gezeigt, dass der Flammpunkt für den Brandausbruch relevant ist. Auf einem Sportboot ist ein wichtiger Vorteil von Dieselmotoren im Vergleich zu Benzinmotoren der höhere Flammpunkt von Diesel.

In Ursache-Wirkungs-Diagrammen treten typischerweise mehr Oder-Verknüpfungen als Und-Verknüpfungen auf. Daher wird daher normalerweise eine vereinfachte Notation verwendet: Wenn Pfeile direkt von einem Kasten zum einem anderen gehen, so bedeutet dies, dass eine Oder-Verknüpfung vorliegt. Das linke und das rechte Diagramm haben also dieselbe Bedeutung:



9. Grundursachen



Abbildung 12: Ein typischer Abfallbehälter, wie er an Straßen aufgestellt ist, kann unangenehmen Geruch abgeben.

Die Analyse ist erst dann beendet, wenn die Grundursachen bestimmt worden sind, d. h., wenn die gefundenen Ursachen keine Zwischenursachen (Zwischenzustände) mehr sind. Wir betrachten hierfür noch einmal den Straßenabfallbehälter aus Abb. 7 auf Seite 14. Wir nehmen an, dass es zu Beschwerden über Geruchsbelästigung gekommen ist, womit das Ausgangsproblem definiert ist. Daraufhin wird in einem ersten Schritt die Ursache-Wirkungs-Analyse aus Abb. 13 erstellt.

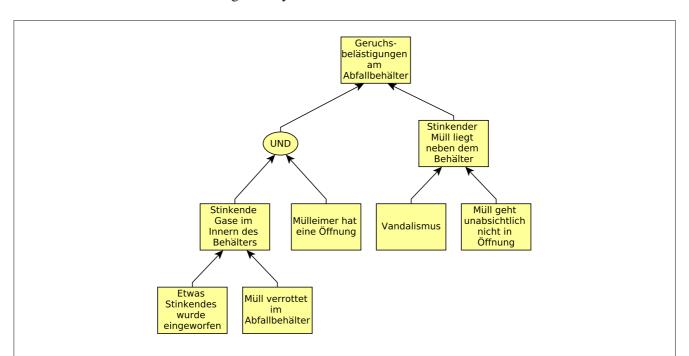
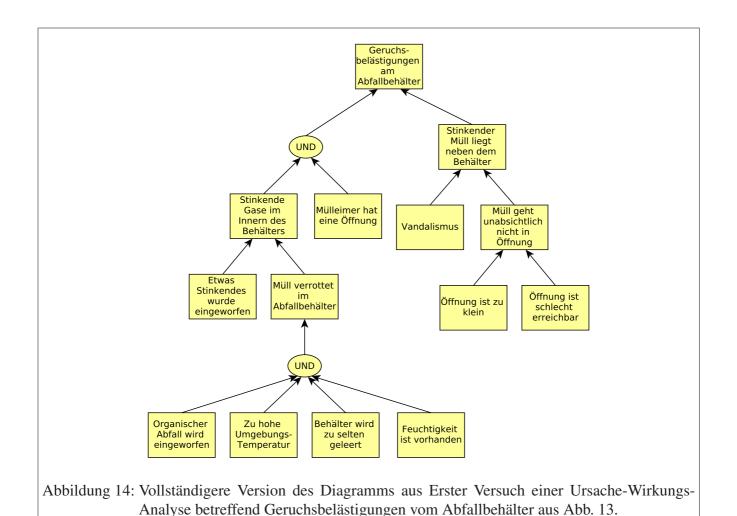
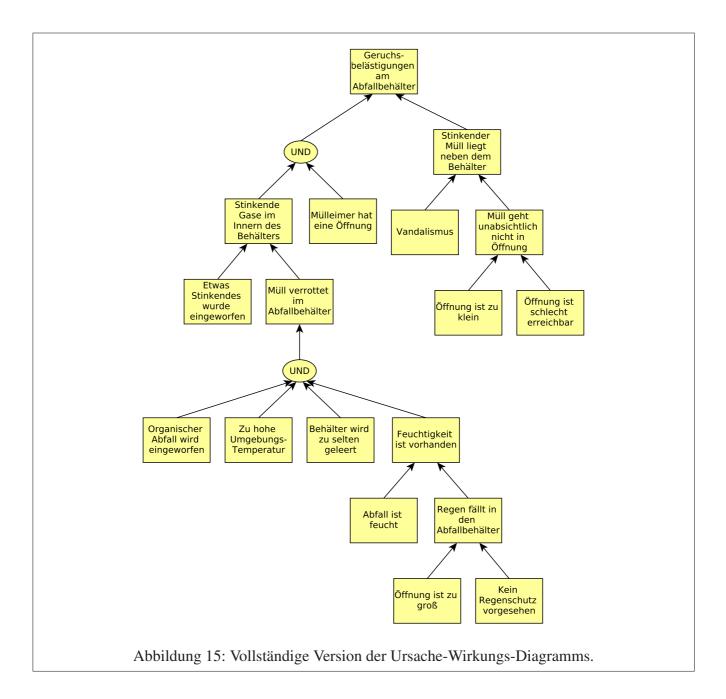


Abbildung 13: Erster Versuch einer Ursache-Wirkungs-Analyse betreffend Geruchsbelästigungen vom Abfallbehälter aus Abb. 7.



Dieses Diagramm ist jedoch noch nicht fertig – für zwei der Zwischenzustände können nämlich noch sinnvolle Warum-Fragen gestellt werden, also "Was ist die Bedingung dafür, dass der Zustand eintritt?" oder "Wovon ist der Zustand kausal abhängig?" Im konkreten Fall lauten die Fragen also: Was ist die Bedingung dafür, dass im Innern des Abfallbehälters etwas verrottet, und was ist die Bedingung dafür, dass ein Passant den Müll versehentlich statt in den Abfallbehälter neben ihn wirft? Die Beantwortung dieser Fragen führt zu einem vollständigeren Diagramm, welches in Abb. 14 dargestellt ist.



Es gibt nun verschiedene Gründe, weswegen sich Feuchtigkeit im Abfallbehälter befinden kann. Diese müssen im Diagramm noch ergänzt werden, um die vollständige Version des Diagramms in Abb. 15 zu erhalten.

Alle Blätter dieses Baumes sind jetzt Grundursachen. Grundursachen können dadurch erkannt werden, dass eine Frage nach einer Bedingung oder einer kausalen Abhängigkeit nicht sinnvoll oder nicht zielführend ist. Typischerweise gibt es eine Reihe von Gründen, weswegen dies der Fall sein kann.

• Die Ursache ist ein Naturgesetz oder etwas Vergleichbares.

Entzündliche Gase bilden sich nun einmal oberhalb des Flammpunktes einer Flüssigkeit. Im wissenschaftlichen Kontext ist die Frage nach dem "warum" durchaus angebracht und führt zu interessanten Doktorarbeiten, in denen dieses Verhalten mittels Berechnung der interatomaren Kräfte auch erklärt werden kann. Für einen Problemlösungsprozess bringt dieses Vorgehen jedoch wenig,

insbesondere weil die interatomaren Kräfte nicht verändert werden können.

• Die Ursache ist durch externe Vorgaben bestimmt.

Ein Abfallbehälter, dessen Spezifikation den Einwurf organischer Abfälle verbietet, ist als Produkt sinnlos und damit unverkäuflich. Die Möglichkeit des Einwerfens organischer Abfälle wie z.B. der Reste eines abgegessenen Apfels ist damit eine externe Vorgabe. Elektrische Haushaltsgeräte müssen mit einer Eingangsspannung von 230 V arbeiten, auch wenn aus Sicht des Konstrukteurs eine Spannung von 100 V oder 300 V praktischer wäre.

• Die Ursache liegt in der Verantwortung von jemand anderem.

Die Unfallsachverständigen in Eschede fanden heraus, dass der betroffene Radreifen so dünn war, dass er die Belastungen in einem Hochgeschwindigkeitszug gar nicht dauerhaft hätte aushalten können, sondern früher oder später zerspringen musste. Damit war für sie die Arbeit beendet. Es war dann Aufgabe der Staatsanwaltschaft, die Gründe für die fehlerhaften Wartungsprozesse im Eisenbahnausbesserungswerk genauer zu untersuchen.

In der industriellen Praxis kommt ein solcher Fall sehr häufig bei Zulieferteilen vor. Wird als Ursache eines Problems eine Spezifikationsverletzung einer zugelieferten Komponente gefunden, so wird dieses kurzerhand beim Zulieferer reklamiert – damit ist das Thema für einen selber abgeschlossen. Würde die Komponente dagegen selber hergestellt, so würde die Ursache-Wirkungs-Analyse fortgesetzt werden.

• Die Ursache ist eine Grundursache im engeren Sinne.

Dies bedeutet, dass man in einem nächsten Schritt nach Wegen suchen kann, um diese Grundursache abzustellen.

Die drei oberen Fälle beschreiben Ursachen, die zwar Grundursachen sind, aber für den Problemlösungsprozess nicht hilfreich sind, weil sie aus den eben beschriebenen Gründen für ein Abstellen des Ausgangsproblems nicht zur Verfügung stehen. In Abb. 16 auf der nächsten Seite sind sie deswegen durch einen weißen Hintergrund weniger prominent dargestellt.

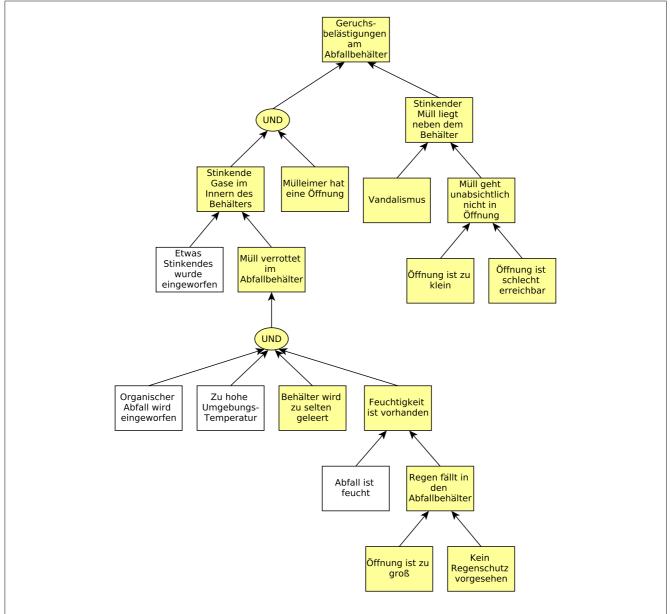


Abbildung 16: Grundursachen, die keinen Ansatz für eine Problemlösung bieten können, sind in dieser Abbildung mit weißer Hintergrundfarbe eingezeichnet.

Was durch Randbedingungen fest vorgegeben ist, ist nicht immer eindeutig festgelegt. Im Prinzip ist "zu hohe Umgebungstemperatur" nicht zwingend extern vorgegeben, da der Abfallbehälter mit einer klimatisierten Hütte umgeben werden könnte. Diese Lösung ist ist jedoch sehr umständlich und sehr teuer, so dass sie in der Realität keine Lösungsoption wäre.

10. Grundkonflikte

Eine Ursache-Wirkungs-Analyse beschreibt, welcher unerwünschte Zustand (Folge) sich aus dem Vorhandensein eines anderen Zustands (Ursache) ergeben kann. Die Pfeile in einer Ursache-Wirkungs-Analyse transportieren also etwas Schlechtes: Sofern die Bedingung an der Basis des Pfeiles erfüllt

ist, läuft ein negativer Effekt an ihm entlang zu seiner Spitze.

In der Ursache-Wirkungs-Analyse wurden die Kästchen konsequenterweise bereits negativ beschriftet: "Temperatur ist *zu* hoch", "Öffnung ist *zu* klein". Ein solches Vorgehen ist jedoch nicht zwingend. Man kann die Kästchen genauso gut neutraler beschriften, z. B. "Temperatur ist hoch", "Öffnung ist klein" – muss dann aber explizit angeben, dass etwas eine negative Wirkung hat.

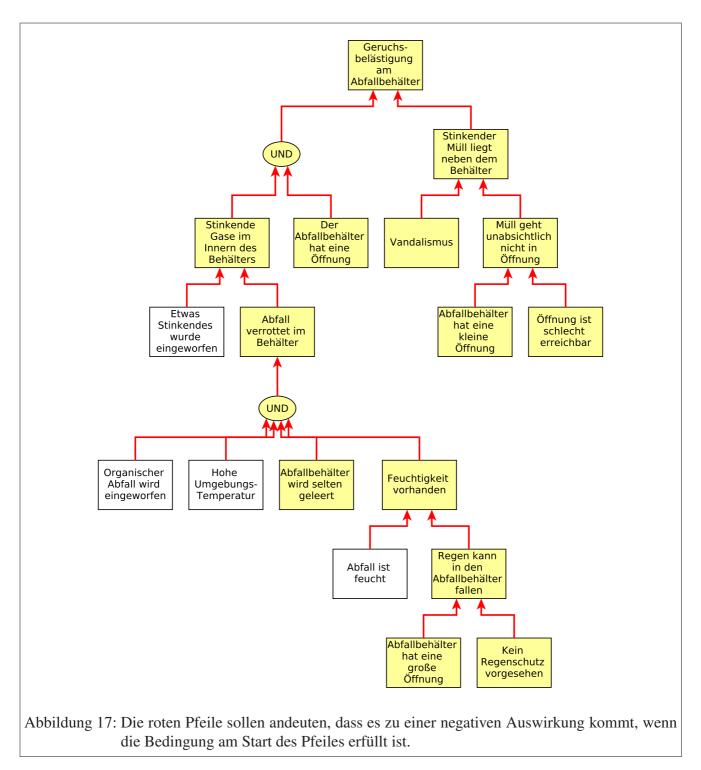
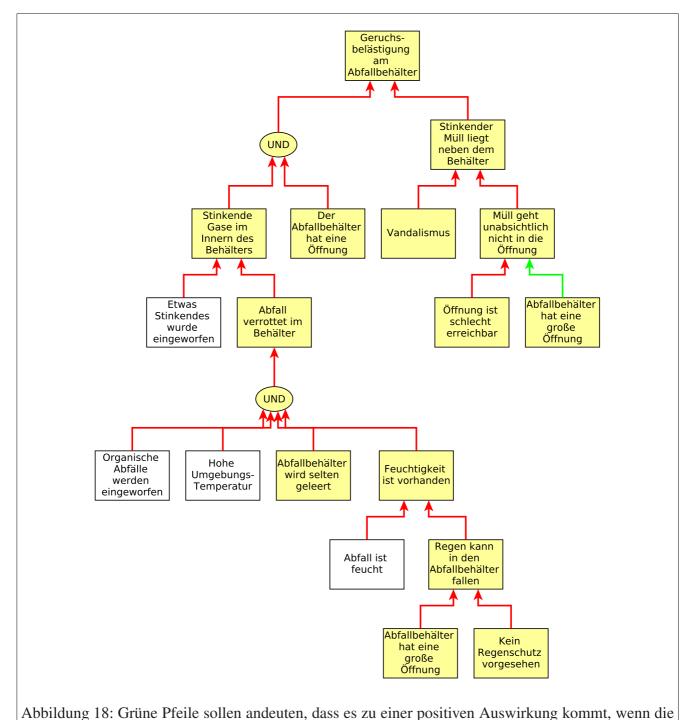


Abbildung 17 zeigt noch einmal die Ursache-Wirkungs-Analyse für den Abfallbehälter. Die Bezeichnungen in den Kästchen sind jetzt neutral, dafür wird durch die rote Farbe der Pfeile klargestellt, dass es

sich um negative Folgen handelt: Je kleiner die Öffnung des Abfallbehälters ist, desto mehr des negativen Zustandes "Müll geht unabsichtlich nicht in die Öffnung" ergibt sich.

Die neutrale Formulierung bietet den Vorteil, dass man die Beschriftung von Kästchen invertieren kann – sofern gleichzeitig auch die Bedeutung des Pfeils umgedreht wird. Wenn "Abfallbehälter hat eine kleine Öffnung" etwas Negatives impliziert, dann impliziert "Abfallbehälter hat eine große Öffnung" etwas Positives. Je größer die Öffnung des Abfallbehälters ist, desto mehr verbessert sich der Zustand "Müll geht unabsichtlich nicht in die Öffnung". Dieses wurde in Abb. 18 so umgesetzt, dass dann ein grüner Pfeil an Stelle eines roten Pfeils verwendet wird.



Bedingung am Start des Pfeiles erfüllt ist.

Die Verwendung von roten und grünen Pfeilen erlaubt es, die Bezeichnung der Zustände, also die Bezeichnung der Kästchen im Diagramm, zu verändern. Hierdurch kann man oftmals erreichen, dass gleichartige Zustände (sprich: Boxen mit derselben Beschriftung) im Diagramm entstehen. Im Beispiel finden sich mehrere Kästchen, die etwas mit der Öffnung des Abfallbehälters zu tun haben. In Abb. 19 sind sie zu einem einzigen Kästchen zusammengefasst.

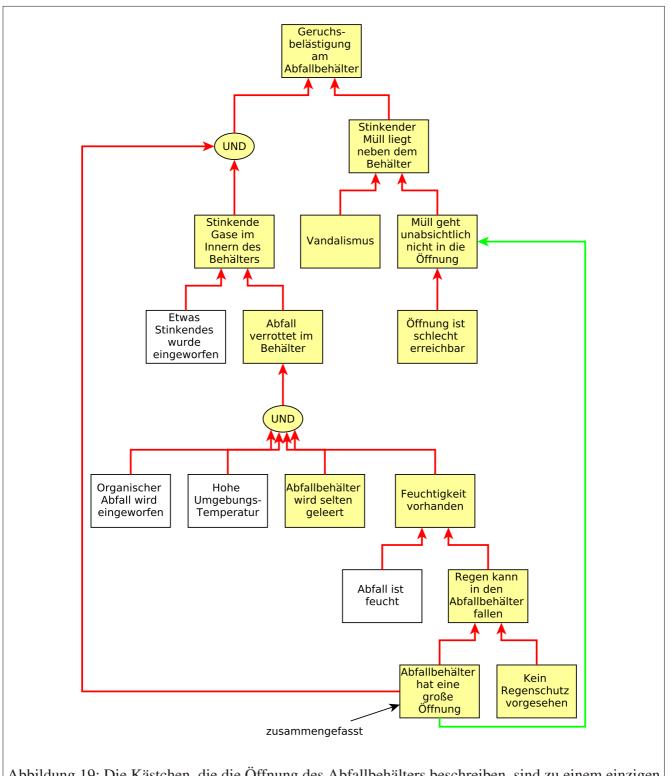


Abbildung 19: Die Kästchen, die die Öffnung des Abfallbehälters beschreiben, sind zu einem einzigen Kästchen zusammengefasst worden.

Man sieht, dass vom Kästchen "Abfallbehälter hat eine große Öffnung" Pfeile verschiedener Farbe ausgehen. Eine größere Öffnung hat also sowohl negative als auch positive Auswirkungen. Es ist unmöglich, durch Anpassen der Größe der Öffnung alle Wünsche gleichzeitig zu erfüllen. Aus diesem Grund bildet "Größe der Öffnung" einen sogenannten Grundkonflikt (root conflict).

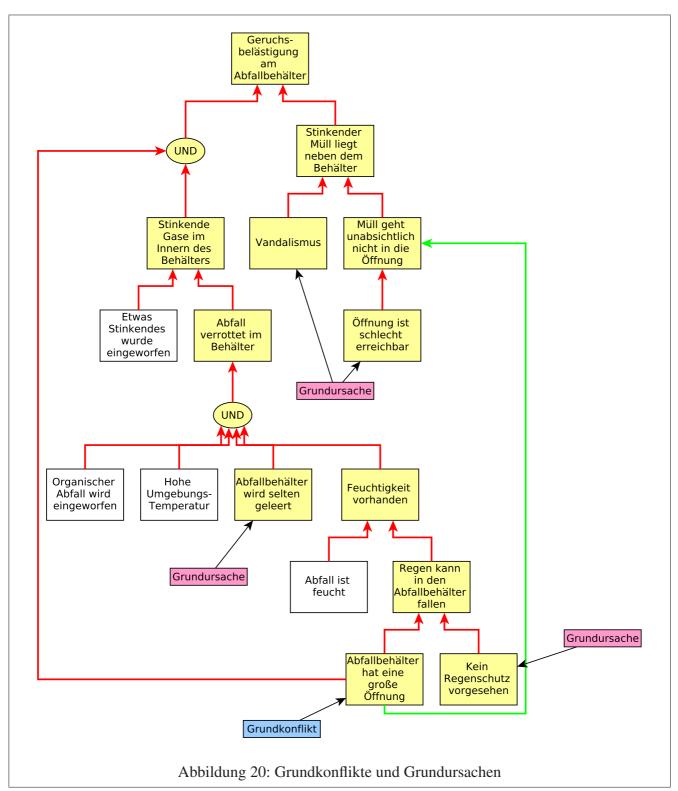


Abbildung 20 markiert explizit den Grundkonflikt sowie die zumindest prinzipiell angreifbaren Grundursachen. Grundursachen können abgestellt werden bzw. man kann es zumindest versuchen: Einen Regenschutz kann man nachrüsten, man kann den Abfallbehälter häufiger leeren, man kann durch eine

Videoüberwachung Vandalismus verringern usw.

Ein Grundkonflikt dagegen kann nicht abgestellt, sondern nur durch erfinderische Mittel gelöst werden. Tritt ein Grundkonflikt auf, so wird die Lösung des Ausgangsproblems schwieriger, dafür aber intellektuell und wirtschaftlich interessanter, da sich so oftmals grundlegend neue Lösungen und Produkte ergeben.

11. Grundkonfliktanalyse (RCA+)

Die Ursache-Wirkungs-Analyse (Root Cause Analysis, RCA) beschäftigte sich nur mit den negativen Auswirkungen eines Zustandes. Die Grundkonfliktanalyse dagegen notiert gleichberechtigt auch die positiven Auswirkungen eines Zustandes. Wenn ein Zustand positive und negative Auswirkungen hat, so bildet er einen Konflikt. Abbildung 20 auf der vorherigen Seite zeigte bereit einen solchen Konflikt, er wurde allerdings eher zufällig gefunden.

Die Ursache-Wirkungs-Analyse bot einen systematischen Weg, nach Grundursachen für unerwünschte Zustände zu suchen. Die Grundkonfliktanalyse bietet nun einen systematischen Weg, Grundkonflikte zu finden. Hierfür ist nicht nur ein Ausgangsproblem festzulegen, also ein unerwünschter Zustand, sondern zusätzlich sollten auch erwünschte Zustände bzw. erwünschte Aspekte festgehalten werden. Diese Aspekte beschreiben letztendlich das Anforderungsprofil an das System, also z. B. an einen Abfallbehälter.

Ein negativer Aspekt für einen Abfallbehälter ist es zum Beispiel, wenn es wegen ihm zu einer Geruchsbelästigung kommt. Positive Aspekte sind dagegen, dass Müll in ihn eingeworfen wird, d. h., dass er von den Passanten tatsächlich genutzt wird. Zusätzlich sollen die laufenden Kosten für Wartung, Leerung usw. möglichst gering sein. Die positiven und negativen Aspekte sind hier durch die Farbe markiert.

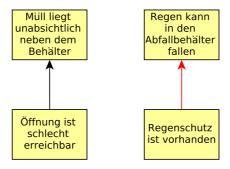






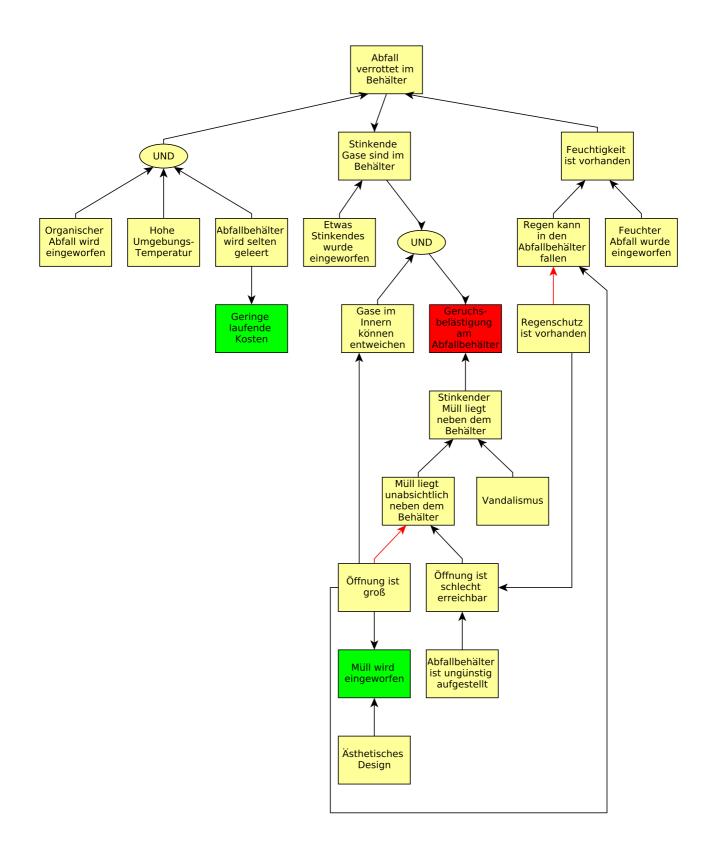
Analog zu den vorherigen Abschnitten können nun die Kausalabhängigkeiten für den Abfallbehälter ergänzt werden. Durch Pfeile wird angegeben, in welche Richtung die Abhängigkeit geht, d. h., die Abhängigkeit geht vom Ende des Pfeiles zur Spitze des Pfeiles.

Bei den dargestellten Abhängigkeiten gibt es zwei Möglichkeiten: Zum einen kann ein "mehr" des Ursachenzustandes dazu führen, dass "mehr" vom Wirkungszustand entsteht. Je mehr die Öffnung schlecht erreichbar ist, desto mehr Müll wird unabsichtlich neben dem Behälter liegen.



Es kann aber auch so sein, dass ein "mehr" der Ursache zu einem "weniger" der Wirkung führt. Je mehr Regenschutz vorhanden ist, desto weniger Regen kann in den Abfallbehälter fallen. Diese Invertierung der Auswirkung wird markiert, indem der entsprechende Pfeil rot an Stelle von schwarz gezeichnet wird.

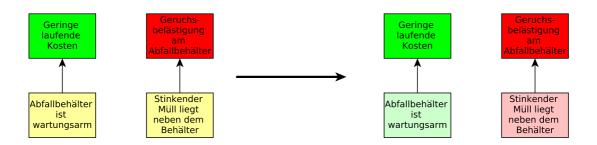
In einer Grundkonfliktanalyse werden tendenziell mehr Abhängigkeiten als in einer reinen Ursache-Wirkungs-Analyse betrachtet. Dies liegt daran, dass auch positive Auswirkungen jetzt berücksichtigt werden. Das Fehlen eines Regenschutzes hatte in der Ursache-Wirkungs-Analyse die rein negative Folge, dass der Abfall im Behälter feucht werden konnte. Die positive Folge, dass der potentielle Benutzer hierdurch leichter an die Einwurföffnung kommt, wurde dort nicht berücksichtigt. Eine Grundkonfliktanalyse enthält diese zusätzliche Abhängigkeit. Die folgende Abbildung zeigt das Diagramm mit allen Abhängigkeiten.



Im Diagramm sind nur drei Kästchen farblich markiert, d. h., bisher haben wir nur für diese drei Zustände festgelegt, ob sie positiv oder negativ sind. Dieses muss noch auch für alle anderen Kästchen geschehen – und zwar in einer systematischen Art und Weise, die nur die kausalen Abhängigkeiten, also die roten und schwarzen Pfeile verwendet.

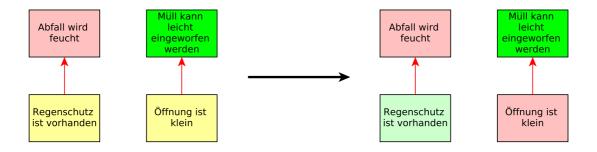
Die Farben fließen entlang der schwarzen Pfeile, und zwar in umgekehrter Richtung, also von der Pfeil-

spitze ausgehend zur Basis des Pfeiles. In anderen Worten: Die Eigenschaft, ein positiver oder negativer Zustand zu sein, breitet sich entgegen der Richtung der kausalen Abhängigkeiten im Diagramm aus. Wenn der Abfallbehälter wartungsarm ist, so führt dieses zu geringen laufenden Kosten. Da geringe laufende Kosten grün, also ein positiver Zustand sind, ist auch der Zustand "Abfallbehälter ist wartungsarm" ein positiver Zustand und kann grün markiert werden.



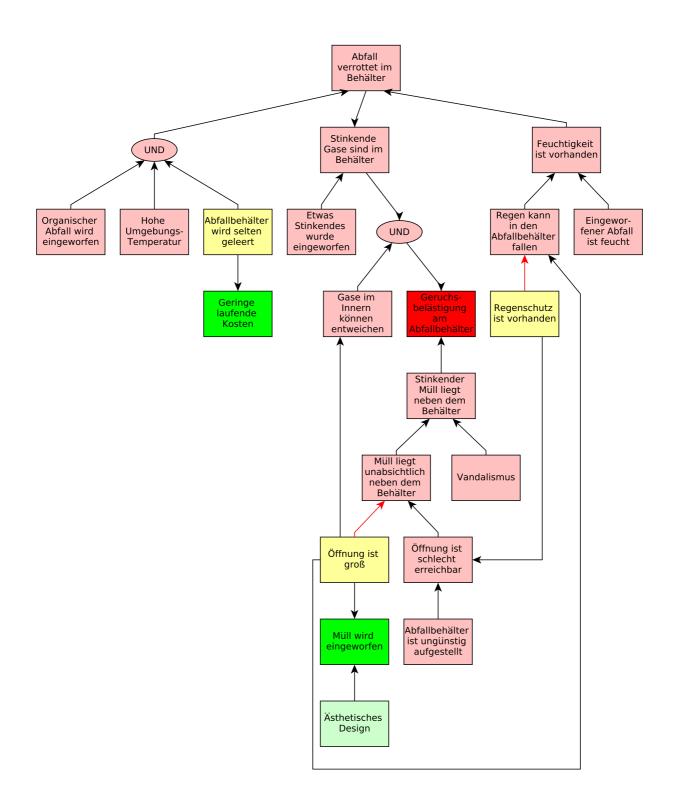
Wenn stinkender Abfall neben dem Abfallbehälter liegt, so führt dieses zu Geruchsbelästigung. Da Geruchsbelästigung am Abfallbehälter rot, also ein negativer Zustand ist, so gilt dieses auch für den Zustand "stinkender Müll liegt neben dem Behälter".

Im Diagramm gibt es neben den schwarzen jedoch auch rote Pfeile zur Notation der kausalen Abhängigkeiten. Auch hierbei fließen die Farben entgegen der Pfeilrichtung, jedoch muss dann jeweils die inverse Farbe verwendet werden.

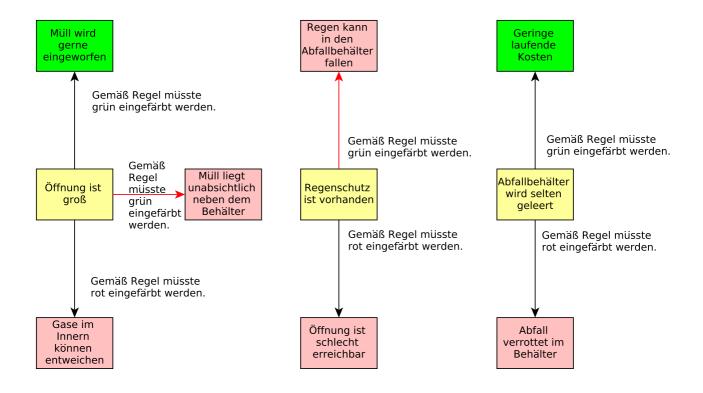


Ist mehr Regenschutz vorhanden, so wird der Abfall weniger feucht. Feuchter Abfall ist negativ (rote Farbe), daher ist ein vorhandener Regenschutz positiv. Wenn die Öffnung "mehr" klein ist, so kann Müll "weniger" leicht eingeworfen werden. Da es positiv ist, wenn Müll leicht eingeworfen werden kann (grüne Farbe), ist eine kleine Öffnung negativ.

Wendet man die obigen Regeln iterativ auf das gesamte Diagramm an, so ergibt sich ein neues Diagramm, in dem fast alle Kästchen eingefärbt sind. Für einige wenige Kästchen ergeben die obigen Regeln sich widersprechende Farben, daher wurden die betreffenden Kästchen erst einmal nicht eingefärbt.

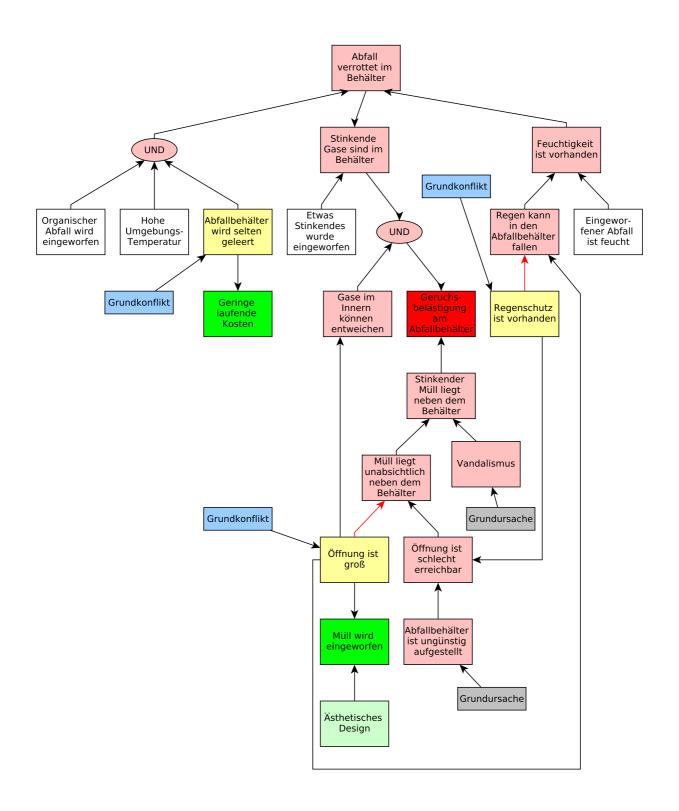


Drei Kästchen konnten nicht eingefärbt werden, weil die obigen Regeln widersprüchliche Farbvorgaben ergeben. Die folgende Skizze zeigt die entsprechenden Ausschnitte des Diagramms und gibt für jeden Pfeil, also für jede kausale Abhängigkeit an, welche Farbe sich für das gelbe Kästchen ergeben würde, wenn nur der jeweilige Pfeil relevant wäre.



Wenn ein Kästchen gemäß den Regeln rot eingefärbt wird, so bedeutet dies, dass der betreffende Zustand negativ ist. Wenn ein Kästchen gemäß den Regeln grün eingefärbt wird, so bedeutet dies, dass der betreffende Zustand positiv ist. Geben verschiedene Regeln für dasselbe Kästchen unterschiedliche Farben vor, so ist der betreffende Zustand also gleichzeitig positiv und negativ. Es handelt sich damit um einen Grundkonflikt. Durch systematisches Einfärben der Kästchen im Diagramm ergeben sich also in systematischer Weise alle Grundkonflikte – es handelt sich dabei um genau die Kästchen, die gemäß der Regeln nicht bzw. nur widersprüchlich eingefärbt werden können.

Es sei an dieser Stelle an die Definition einer Grundursache aus dem Abschnitt 9 erinnert. Eine Grundursache ist ein negativer Zustand, der nur Ursache für andere Zustände, nicht aber Folge anderer Zustände ist. Es handelt sich also um die roten Kästchen, zu denen keine Pfeile gehen, sondern von denen nur Pfeile ausgehen. Auch die Grundursachen ergeben sich also direkt aus dem Diagramm. Wie bereits weiter oben beschreiben, bezeichnet man typischerweise nur solche Grundursachen als "echte" Grundursachen, die man im Prinzip abändern könnte. Macht man dieses, so ergibt sich das endgültige Diagramm, in dem die Grundkonflikte und die Grundursachen noch einmal explizit markiert sind.



Grundursachen können abgestellt werden: Es gibt keinen Grund dafür, weswegen der Abfallbehälter an einer ungünstigen Stelle angebracht sein sollte; man darf den Abfallbehälter daher an eine andere, günstigere Stelle versetzen. Bei Grundkonflikten ist das Vorgehen schwieriger, da jede Veränderung zum Besseren auch Nachteile hervorruft. Egal ob die Einwurföffnung größer oder kleiner wird, beides hat gleichzeitig positive und negative Auswirkungen.

Zur Lösung von Grundkonflikten müssen daher "erfinderische Mittel" eingesetzt werden. Die Öffnung des Abfallbehälters soll groß sein – aber nur dann, wenn etwas eingeworfen werden soll. Die Öffnung

des Abfallbehälters soll aber auch klein sein – nämlich genau dann, wenn nichts eingeworfen werden soll. Dieser Grundkonflikt könnte also zum Beispiel mit einer Klappe gelöst werden. Der Grundkonflikt über die Leerungsfrequenz könnte zum Beispiel so gelöst werden, dass bei kaltem Wetter seltener und bei warmem Wetter häufiger geleert wird.

12. RCA und RCA+ im Vergleich

Die RCA ist darauf beschränkt, Grundursachen zu bestimmen. Die RCA+ erlaubt es, sowohl Grundursachen als auch Grundkonflikte zu finden – auf Kosten eines erhöhten Aufwandes. Es gibt gewisse Kriterien dafür, wann das eine und wann das andere Verfahren besser geeignet ist. Man sollte sich aber bewusst sein, dass die im folgenden angegebenen Kriterien im Einzelfall auch unzutreffend sein können.

Die beiden folgende Aussagen sind sicherlich etwas grob, dafür aber sehr prägnant:

- Ausentwickelte (d. h., fertig entwickelte, auf dem Markt befindliche) Produkte besitzen keine unerwünschten Aspekte, die auf Grundursachen beruhen. Ausentwickelte Produkte besitzen nur unerwünschte Aspekte, die auf Grundkonflikte beruhen.
- Ein unerwünschter Aspekt, der auf einer Grundursache beruht, ist Zeichen eines nicht ausentwickelten Produkts. Entweder ist das Produkt noch im Entwicklungsprozess, oder der Entwicklungsprozess wurde zu früh beendet und damit ein unfertiges Produkt auf den Markt gebracht.

Ein wichtiges Kriterium für die Wahl zwischen RCA und RCA+ ist also, in welchem Stadium des Produktlebenszyklus man sich befindet.

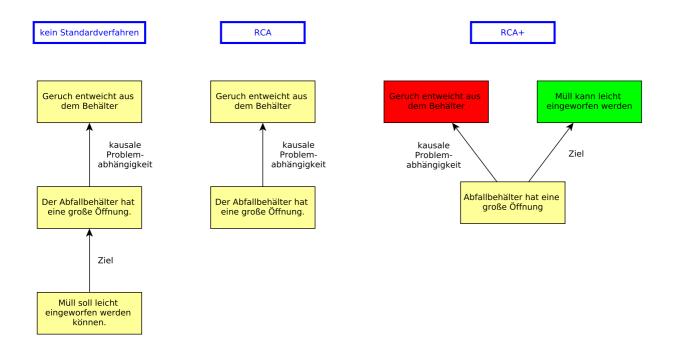
Ein anderes Kriterium ist die Aufgabenstellung.

- Das System funktioniert eigentlich bereits ganz vernünftig. Es soll verbessert werden, um einen leistungsfähigeren Nachfolger zu erhalten. In diesem Fall ist die RCA+ meistens geeigneter.
- Das System funktioniert, zumindest in gewissen Bereichen oder in gewissen Situationen, nicht vernünftig. Es geht also darum, "Defekte" zu beheben. Hierfür ist die RCA meistens ausreichend.

Die RCA+ ist leistungsfähiger als die RCA. Man kann also niemals etwas übersehen, indem man eine RCA+ an Stelle einer RCA durchführt. Dies wird mit einem erhöhten Arbeitsaufwand erkauft, so dass eine RCA+ zwar effektiver, nicht aber immer effizienter ist. Insbesondere braucht man sich bei einer RCA nicht über wünschenswerte Aspekte klar zu werden.

Der konzeptionelle Unterschied zwischen RCA und RCA+ ist kleiner, als er vielleicht auf den ersten Blick scheinen mag. Auf Seite 16 wurde beschrieben, dass Warum-Fragen im Rahmen der RCA sich immer auf kausale Abhängigkeiten beziehen – sie beziehen sich nicht auf Ziele und Zwecke. Eine RCA beschreibt daher, wie es kausal dazu kommt, dass ein Problem entsteht. Eine RCA enthält nicht die Informationen darüber, weshalb der Entwickler des Systems diese oder jene Designentscheidung so getroffen hat. Eine große Öffnung eines Abfallbehälters erhöht das Geruchsproblem (kausale Abhängigkeit), aber

der Entwickler des Behälters hat sich dabei ja etwas gedacht – durch die große Öffnung kann Müll leichter eingeworfen werden (Ziel).



Der Unterschied zwischen RCA und RCA+ ist in dieser Nomenklatur ziemlich leicht zu erklären:

- Die RCA beschäftigt sich nur mit "Warum?"-Fragen, die sich nach einem kausalen Zusammenhang erkundigen. "Warum?"-Fragen nach einem Ziel oder einem Zweck werden nicht behandelt.
- Die RCA+ behandelt beide Arten von "Warum?"-Fragen gleichberechtigt. Sowohl Fragen nach einer kausalen Abhängigkeit als auch nach einem Ziel werden abgebildet.

Ziele werden in einer standardkonformen RCA-Darstellung nicht abgebildet. Eine entsprechende Erweiterung wäre möglich (obige Abbildung links), ist aber ungebräuchlich. In einer RCA+ sind dagegen derartige Ziele standardmäßig enthalten, da sie nichts anderes als wünschenswerte Aspekte beschreiben. Konflikte entstehen meistens aus Zielen – eine Designentscheidung wird vom Entwickler gemacht, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, aber diese Designentscheidung hat dann auch negative Auswirkungen.

Teil III. Systemverbesserung als Aufgabe

13. Einleitung

Erfolgreiche technische Systeme sind immer einem Konkurrenzdruck unterworfen. Dementsprechend müssen sie von Zeit zu Zeit verbessert werden, weil sie ansonsten von den Marktteilnehmern durch andere technische Systeme mit ähnlicher Hauptfunktion ersetzt würden.

Drei verschiedene Arten von Verbesserungen sind gebräuchlich. Die schwierigste Art, die deswegen an dieser Stelle auch nicht behandelt werden wird, ist das Hinzufügen neuer Funktionen zu einem System. Es handelt sich hierbei um kein rein technisches Problem, sondern man benötigt vorher Marktuntersuchungen, weil ansonsten unklar ist, welche zusätzlichen Funktionen für einen potentiellen Käufer überhaupt attraktiv sein könnten.

Die beiden anderen Optionen benötigen nur Wissen über das vorhandene System. Zum einen können inhärente Probleme des Systems behoben werden, so dass der Nutzen des Systems ansteigt. Zum anderen kann der Aufwand, sprich primär die Herstellungskosten, des technischen Systems verringert werden. In beiden Fällen handelt es sich um relativ unscharf formulierte Problemdefinitionen. Bevor aktiv mit Problemlösungsverfahren gearbeitet werden kann, müssen diese unscharf definierten Probleme in schärfer definierte Probleme bzw. Teilprobleme umgewandelt werden.

14. Inkrementelle Verbesserung

In der Funktionsanalyse wurden Funktionen unterteilt in

- nützliche Funktionen
- schädliche Funktionen

Schädliche Funktionen verändern einen Parameter einer Komponente in eine unerwünschte Richtung. Nützliche Funktionen verändern einen Parameter einer Komponente in die gewünschte Richtung. Letztere können weiter danach unterteilt werden, ob diese Parameterveränderung

- so stark wie gewünscht ist
- stärker als gewünscht ist diese Funktionen heißen übermäßige Funktionen
- schwächer als gewünscht ist diese Funktionen heißen unzureichende Funktionen

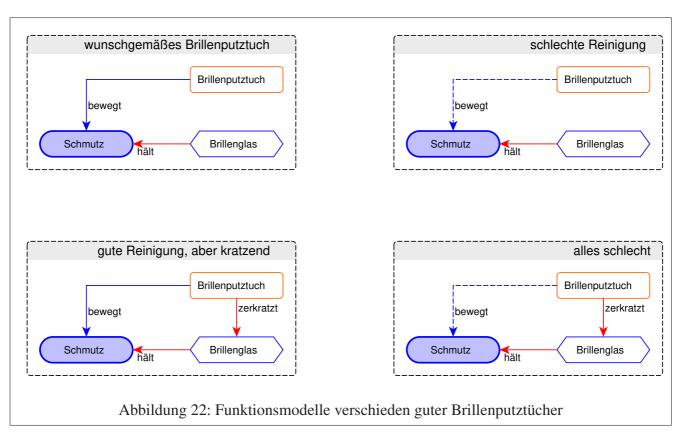
Schädliche Funktionen, unzureichende Funktionen und übermäßige Funktionen bilden die sogenannten Funktionsnachteile des Systems. Sie können aus einem Funktionsmodell des Systems bestimmt werden.

Die Behebung von Funktionsnachteilen wird als inkrementelle Verbesserung bezeichnet.



Abbildung 21: Ein Brillenputztuch entfernt den Staub, der sich auf dem Brillenglas angesammelt hat.

Im Dokument über Funktionsanalyse wurde das Beispiel eines Brillenputztuches bereits behandelt (Abb. 21). Wird das Funktionsmodell des Brillenputztuchs aufgestellt, so wird sich eines der Modelle aus Abb. 22 ergeben. In drei der vier dort dargestellten Funktionsmodelle ergibt sich aus dem Modell mindestens ein Funktionsnachteil.



Wird ein Funktionsnachteil gefunden, so wird aus dem ungenau formulierten Problem "Verbesserung des Brillenputztuchs" ein konkretes Problem, z. B. "Bewegung des Schmutzes durch das Brillenputztuch muss besser werden". Bei größeren technischen Systemen, also Systemen aus mehreren Komponenten, ist nach der Problemdefinition mittels der inkrementellen Verbesserung auch bekannt, welche der potentiell vielen Komponenten des Systems verbessert werden müssen. Die weiteren Analysen können sich also auf einen Teil des Systems beschränken.

15. Wertanalyse

Auch wenn ein technisches System keine speziellen Probleme aufweist, so kann es trotzdem verbessert werden, und zwar indem seine Kosten verringert werden. Damit dieses möglich ist, muss zuerst einmal festgestellt werden, wo im System die Kosten anfallen – in anderen Worten, wie sich die Kosten des technischen Systems auf seine Komponenten verteilen. Diese Kosten müssen dann in Beziehung zu dem Nutzen, den diese Komponente zum System beiträgt, gesetzt werden. Komponenten mit einem schlechten Kosten-Nutzen-Verhältnis sind dann Kandidaten für einen Problemlösungsprozess, nämlich für das Problem, die Kosten dieser Komponenten zu verringern oder am Besten sogar völlig auf diese Komponente verzichten zu können. Auch für die anderen Komponenten können sich bei der Wertanalyse Ratschläge für das weitere Vorgehen ergeben.



Dieses Vorgehen soll jetzt am Beispiel eines Filzschreibers (siehe Abb. 23), wie er bereits im Abschnitt über Funktionsmodelle behandelt worden war, beschrieben werden. Aus einer Komponentenanalyse, wie sie während der Funktionsanalyse durchgeführt wird, ergibt sich eine Liste der Komponenten des Filzschreibers (siehe Abb. 24).



Für eine Wertanalyse benötigt man nun die Herstellungskosten für jede Komponente. Oftmals werden in einer Firmenhierachie die tatsächlichen Herstellungskosten als Geheimnis und Machtmittel verwendet und sind daher für die Entwickler nur eingeschränkt verfügbar. In diesem Fall sind auch relative Herstellungskosten der einzelnen Komponenten ausreichend, und solche Information sind meist leichter erhältlich. Für unser Beispiel werden wir die folgenden Komponentenkosten annehmen:

Komponente	Kosten
Einsatzstück	5
Kappe	15
vordere Hülle	12
hintere Hülle	10
Mine	25

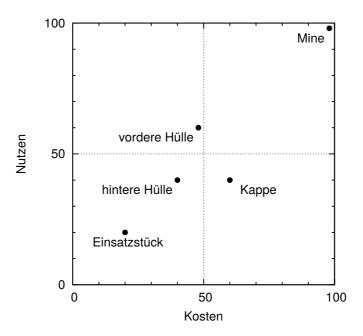
Der Nutzen einer Komponente muss nun durch eigene Einschätzung oder durch Expertenbefragung bestimmt werden. Das Ergebnis ist dementsprechend immer mit einer gewissen Unsicherheit versehen. (Ein alternativer Ansatz, der genau dieses Problem umgeht, ist die wertanalytische Betrachtung, die später noch beschrieben werden wird.) Für unser Beispiel nehmen wir die folgenden Nutzen an:

Komponente	Nutzen
Einsatzstück	10
Kappe	20
vordere Hülle	30
hintere Hülle	20
Mine	50

Sowohl für die Kosten als auch für den Nutzen sind nur relative Werte relevant. Daher werden als nächster Schritt die beiden Tabellen jeweils auf eine Skala von 0 bis 100 normiert. Die soll bedeuten, dass die teuerste Komponente die Kosten 100 bekommt, genau wie die nützlichste Komponente den Nutzen 100. Dies ergibt die folgende Tabelle:

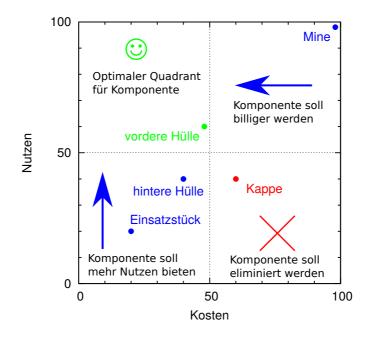
Komponente	Kosten	Nutzen
Einsatzstück	20	20
Kappe	60	40
vordere Hülle	48	60
hintere Hülle	40	40
Mine	100	100

Graphisch ergibt sich daraus das folgende Diagramm:



Für jeden der vier Quadranten gibt es nun spezifische Ratschläge für das weitere Vorgehen. Im Quadrant links oben ist alles in Ordnung – die Komponenten sind billig und haben viel Nutzen – so dass es keinen unmittelbaren Anlass gibt, sich intensiver mit diesen Komponenten zu beschäftigen. Komponenten im rechten oberen Quadranten haben einen guten Nutzen, sind aber (zu) teuer. Ratschlag ist daher, nach Möglichkeiten zu suchen, sie billiger zu machen.

Im linken unteren Quadranten sind die Komponenten billig, leisten jedoch (zu) wenig. Daher sollte probiert werden, ihren Nutzen zu erhöhen. Beide Ratschläge führen dazu, dass sich bei einer Umsetzung die entsprechenden Komponenten entlang der eingezeichneten Pfeile bewegen und idealerweise in den linken oberen Quadranten gelangen.



Komponenten im unteren rechten Quadranten sind teuer und haben wenig Nutzen. In diesem Fall lautet

der Ratschlag, nicht zu probieren, an diesen Komponenten etwas zu verbessern, sondern die Komponente lieber ganz zu eliminieren.

Für drei der vier Quadranten ergeben sich aus der Wertanalyse also neue Probleme:

Für eine Komponente im rechten oberen Quadranten: Das Problem lautet, wie die Kosten dieser Komponente verringert werden können.

Für eine Komponente im linken unteren Quadranten: Das Problem lautet, welcher zusätzlicher Nutzen dieser Komponente denkbar wäre und wie dieser dann auch realisiert werden könnte.

Für eine Komponente im rechten unteren Quadranten: Das Problem lautet, wie diese Komponente eliminiert werden kann, ohne dass die Funktion des technischen Systems als Ganzes beeinträchtigt wird.

Diese Probleme können dann mittels Problemlösungstechniken behandelt werden. Aufgabe der Wertanalyse ist es also, aus einem ungenau definierten Problem ("Filzschreiber soll billiger werden") ein gut definiertes Problem ("Kappe soll eliminiert werden") gemacht werden.

16. Funktionsränge

Der "Nutzen" ist eine relativ schlecht quantitativ berechenbare Größe. Besser berechenbar ist die "Menge an Funktion", die von einer Komponente zur Verfügung gestellt wird. Die entsprechende quantitative Größe ist der sogenannte Funktionsrang einer Komponente. An Stelle des "Nutzens" einer Komponente betrachtet man dann die "Menge an Funktion", die von dieser Komponente geliefert wird, gemessen durch ihren Funktionsrang.

An dieser Stelle soll an drei Begriffe aus der Funktionsmodellierung erinnert werden:

Obersystem: Die Umwelt eines technischen Systems wird als sein Obersystem bezeichnet.

Hauptfunktion: Jedes technische System ist ursprünglich erfunden worden, um im Obersystem eine Funktion auszuüben. Diese Funktion wird als Hauptfunktion des technischen Systems bezeichnet.

Zielkomponente: Die Komponente, auf die die Hauptfunktion wirkt, heißt Zielkomponente. Die Zielkomponente ist also eine Obersystemkomponente.

Die Hauptfunktion eines Filzschreibers (siehe Abb. 23) ist es, Tinte abzugeben. Damit ist Tinte die Zielkomponente des Filzschreibers. Die relevante Umwelt besteht aus dem Tisch (der Filzschreiber kann auf ihm liegen), aus der Hand des Anwenders (die Hand kann ihn greifen), dem Auge des Anwenders (der Filzschreiber informiert es über die Farbe der Tinte), ... Die eben beschriebenen Teile der Umwelt bilden die Obersystemkomponenten.

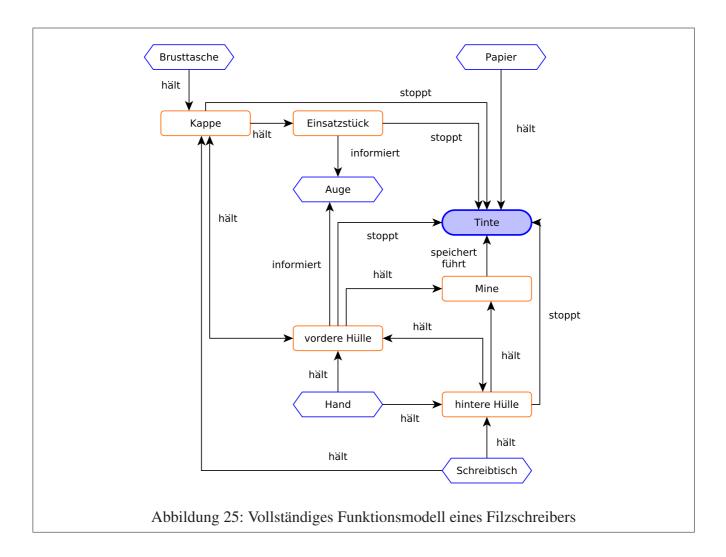


Abbildung 25 zeigt das vollständige Funktionsmodell des Filzschreibers. Es ist etwas unübersichtlich, aber ein genaues Verständnis des Funktionsmodells ist an dieser Stelle nicht notwendig.

Funktionen im Funktionsmodell gehören zu einem von drei verschiedenen Funktionsrängen. Es werden hierbei nur Funktionen, die von einer Systemkomponenten ausgehen, betrachtet. Funktion, die von Obersystemkomponenten ausgehen, werden ignoriert, da Entwicklungsprojekte nur das technische System, nicht aber seine Umwelt verbessern können.

Eine Funktion ist eine...

Basisfunktion, wenn ihr Ziel (also ihr Funktionsobjekt) die Zielkomponente des technischen Systems ist. Jede Hauptfunktion ist zugleich eine Basisfunktion, aber es kann zusätzlich weitere Basisfunktionen, die keine Hauptfunktion sind, geben;

Zusatzfunktion, wenn ihr Ziel eine Obersystemkomponente (ungleich der Zielkomponente) des technischen Systems ist;

Hilfsfunktion, wenn ihr Ziel eine andere Systemkomponente ist.

Angewendet auf den Filzschreiber ergibt sich das Diagramm in Abb. 26 auf der nächsten Seite.

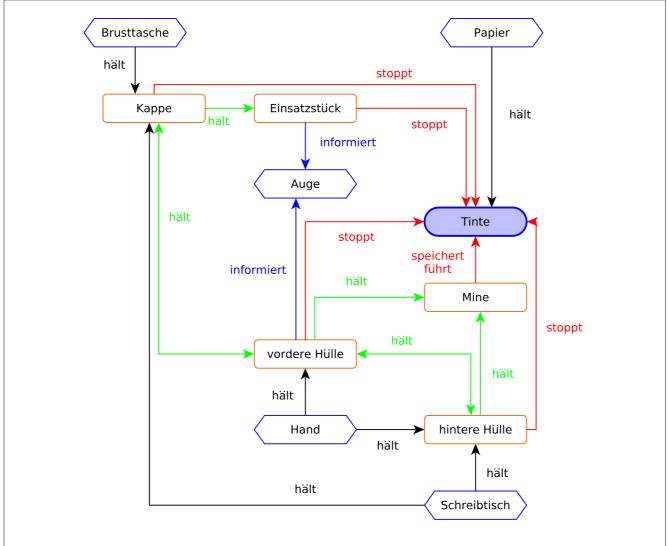


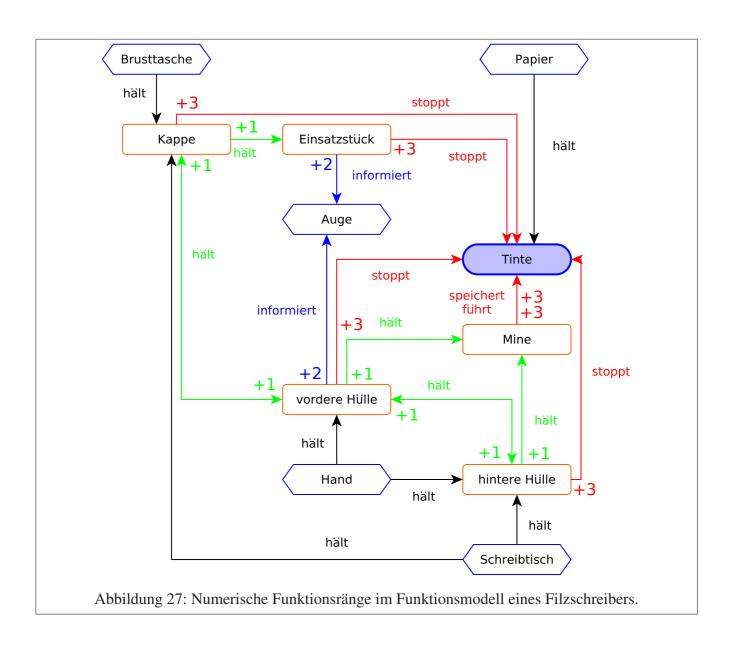
Abbildung 26: Funktionsränge im Funktionsmodell eines Filzschreibers: Die Funktionsränge beziehen sich auf die Funktionen, also die Pfeile im Diagramm. Basisfunktionen sind rot, Zusatzfunktionen blau und Hilfsfunktionen grün markiert.

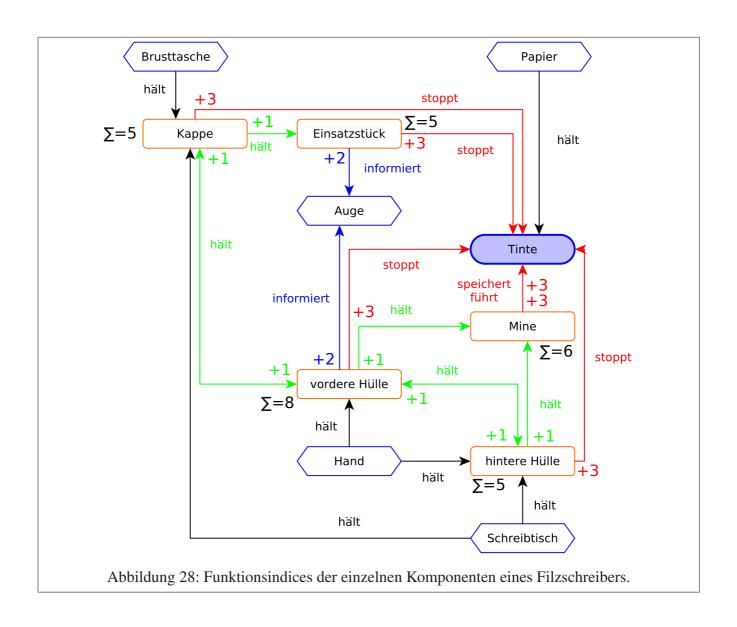
Für eine Bestimmung der Gesamtfunktion, die von einer Komponente verrichtet wird, wird jeder Einzelfunktion ein numerischer Funktionsrang zugeordnet.

Basisfunktion	3 Punkte
Zusatzfunktion	2 Punkte
Hilfsfunktion	1 Punkt

Der Funktionsrang wird dem Funktionsträger zugewiesen, nicht dem Ziel der Funktion (dem Funktionsobjekt). Deswegen sind diese Zahlen in Abb. 27 auf der nächsten Seite am Start des Pfeiles und nicht an der Spitze des Pfeiles angeordnet. Einige Funktionen wirken in beiden Richtungen und sind deswegen mittels Doppelpfeilen eingezeichnet (z. B. vordere Hülle und hintere Hülle halten sich gegenseitig). Bei diesen Funktionen ist der Funktionsrang an beiden Enden des Pfeiles angegeben.

Der Rangindex einer Komponenten ergibt sich, indem die Ränge der von ihm ausgehenden Funktionen aufaddiert werden. Dies wurde in Abb. 28 auf Seite 48 getan.





Das Endergebnis lautet damit in Tabellenform:

Komponente	Rangindex
vordere Hülle	8
Mine	6
hintere Hülle	5
Einsatzstück	5
Kappe	5

17. Wertanalytische Betrachtung

In der Wertanalyse im Abschnitt 15 wurden die Kosten einer Komponente mit dem Nutzen dieser Komponente in Beziehung gesetzt. Die Bestimmung des Nutzens war dabei mit einer gewissen Willkürlichkeit verbunden. Um diese Willkür zu umgehen, wurde später die wertanalytische Betrachtung entwickelt. Im Englischen werden beide Vorgehen als Value Analysis bezeichnet, aber im Deutschen werden getrennte Begriffe verwendet, und der deutsche Begriff Wertanalyse bezeichnet das ältere Verfahren.

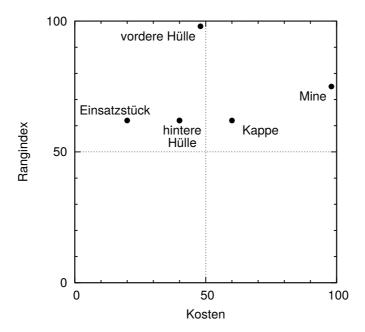
Die wertanalytische Betrachtung setzt die Kosten einer Komponente mit der durch sie zur Verfügung gestellten Funktion, gemessen mit dem im vorherigen Abschnitt bestimmten Rangindex, in Beziehung. Ansonsten gibt es keinen Unterschied in der Durchführung einer Wertanalyse und einer wertanalytischen Betrachtung. Für das Beispiel des Filzschreibers lauten die Daten also:

Komponente	Kosten	Rangindex
Einsatzstück	5	5
Kappe	15	5
vordere Hülle	12	8
hintere Hülle	10	5
Mine	25	6

Nach Normierung auf eine Skala von 0 bis 100 folgt:

Komponente	Kosten	Rangindex
Einsatzstück	20	62
Kappe	60	62
vordere Hülle	48	100
hintere Hülle	40	62
Mine	100	75

Aus diesen Daten ergibt sich die folgende graphische Darstellung:



Die Ratschläge, die sich aus den vier Quadranten ergeben, sind dieselben wie bei der Wertanalyse. An dieser Stelle soll daher auf die Beschreibung der Wertanalyse verwiesen werden.

18. Vergleich von Wertanalyse und wertanalytischer Betrachtung

Die Wertanalyse und die wertanalytische Betrachtung haben ein ähnliches Ziel, die Ergebnisse können jedoch im Einzelfall stark voneinander abweichen. Daraus ergibt sich natürlich unmittelbar die Frage, welches der beiden Verfahren das bessere ist.

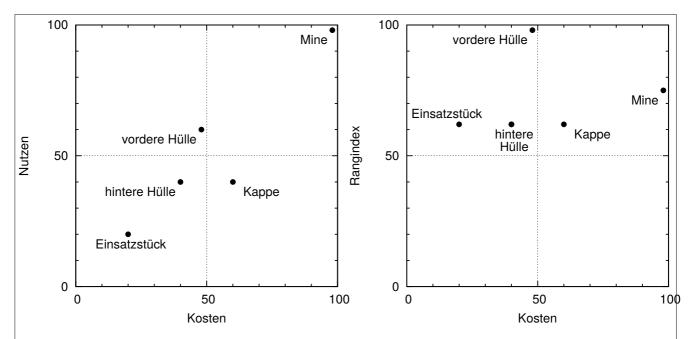


Abbildung 29: Ergebnis der Wertanalyse (links) und der wertanalytischen Betrachtung (rechts) für den Filzschreiber.

Die wertanalytische Betrachtung hat den unbestreitbaren Vorteil, dass sie leichter und eindeutiger erstellbar ist. Aus dem Funktionsmodell folgen direkt die Funktionsränge, so dass der Mehraufwand gegenüber einer reinen Erstellung eines Funktionsmodells minimal ist. Für die Wertanalyse müssen dagegen Experten befragt werden, was mit einem größeren Aufwand verbunden sein kann.

Allerdings hat die Verwendung von Randindices auch Nachteile. Der Funktionsrang einer Funktion hängt nur davon ab, ob sie Basisfunktion, Zusatzfunktion oder Hilfsfunktion an – und dieses wiederum wird nur dadurch bestimmt, welche Komponente Ziel der Funktion, also Funktionsobjekt ist – nicht aber davon, was die Funktion eigentlich macht.

Betrachten wir als Beispiel ein Auto. Die Hauptfunktion eines Autos ist es, Personen zu transportieren. Damit sind die Insassen die Zielkomponente des technischen Systems Automobil. Jede Funktion, die auf die Insassen des Autos wirkt, ist damit eine gleichberechtigte Basisfunktion, die mit dem selben Funktionsrang bewertet wird:

Karosserie bewegt Insassen Radio informiert Insassen Schminkspiegel informiert Insassen

Alle drei Komponenten erhalten also einen identischen Beitrag zum Rangindex, obwohl man sicher-





Abbildung 30: In einem Auto üben der Schminkspiegel und das Radio Basisfunktionen aus und haben deshalb einen höheren Funktionsrang als der Motor, der nur eine Hilfsfunktion ausübt.

lich sagen kann, dass die Karosserie eine wichtigere Komponente als der im Sonnenschutz eingebaute Schminkspiegel ist. Dieses Beispiel demonstriert den Hauptnachteil der wertanalytischen Betrachtung gegenüber der Wertanalyse.

Im folgende Beispiel ist dieses anders, obwohl auf den ersten Blick auch hier die wertanalytische Betrachtung nur eingeschränkt sinnvolle Daten ergibt. Im Anschluss wird jedoch gezeigt werden, dass dahinter eine bestimmte Denkweise steht und diese Denkweise durchaus Sinn ergibt.

Betrachtet werden die folgenden drei Funktion in einem Automobil:

Schminkspiegel informiert Insasse: Ziel der Funktion ist die Zielkomponente des Automobils, nämlich der Insasse. Damit ist die Funktion eine Basisfunktion und trägt 3 Rangindexpunkte bei.

Hupe informiert anderen Autofahrer: Das Ziel der Funktion liegt im Obersystem des Autos. Damit ist die Funktion eine Zusatzfunktion und trägt 2 Rangindexpunkte bei.

Motor dreht Räder: Das Ziel der Funktion liegt innerhalb des technischen Systems Auto. Damit ist die Funktion eine Hilfsfunktion und trägt 1 Rangindexpunkt bei.

Die geringe Bewertung des Motors im Vergleich zu den anderen beiden Komponenten mag auf den ersten Blick vielleicht verwundern. Es gibt jedoch einen tieferen Grund für diese geringe Bewertung: Eigentlich wäre es viel besser, wenn sich die Räder von selber drehten. Der Motor ist nichts weiter als ein Notbehelf, weil noch keine technisch Implementierung sich selbst drehender Räder realisiert wurde.





Abbildung 31: Die Lokomotive eines herkömmlichen Zuges (links) entspricht dem Motor eines Autos. In einem Triebwagenzug gibt es keine Lokomotive mehr, weil die Antriebsfunktion in die Achsen der einzelnen Waggons integriert worden ist.

Dieses hört sich vielleicht etwas philosophisch an, aber bei Zügen wurde dieses bereits realisiert (Abb. 31): Die Lokomotive war früher ein Notbehelf, um die Waggons vorwärts zu bewegen. Heutzutage sind die meisten neueren Züge Triebwagenzüge ohne Lokomotive. Der geringe Funktionsrang des Motors soll als Erinnerung dienen, nach Wegen Ausschau zu halten, den Motor vielleicht weglassen zu können.

Umgekehrt ist der Schminkspiegel im Auto zwar nur ein kleines Accessoire, ist aber manchmal kaufentscheidend: Der Spiegel richtet sich direkt an denjenigen, der letztendlich über die Kaufentscheidung bestimmt. Unter Umständen entscheidet sich der Kunde nur deswegen für ein anderes Automodell, weil er gerne einen Schminkspiegel haben möchte und andere Automodelle nun einmal mit einen Schminkspiegel ausgestattet sind.

Die Hupe übt eine Funktion auf das Obersystem aus, indem andere Fahrer oder Passenten über eine Gefahr informiert werden können. Man darf nie das Folgende vergessen: Ein technisches System kann nur dann erfolgreich sein, wenn die Wechselwirkung mit dem Obersystem gut ist. Mit anderen Worten: Am Markt durchsetzen wird sich nicht das an sich beste technische System, sondern das System, welches am besten an das Obersystem angepasst ist.

Die Hupe ist ein sehr gutes Beispiel für die Anpassung an das Obersystem. Das Obersystem akzeptiert keine technischen Systeme "Auto", die nicht mit einer Hupe ausgestattet sind. Autos ohne Hupe werden vom Obersystem aktiv bekämpft, mittels Kraftfahrzeugbundesamt, TÜV und Polizei. Der höhere Rang von Zusatzfunktionen im Vergleich zu Hilfsfunktionen soll die potentielle Wichtigkeit für die Akzeptanz durch das Obersystem anzeigen.

Bildquellen

litel	http://www.epa.gov/greatlakes/image/vbig/221.jpg
Abb. 1	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Burned_Pizza.jpg
	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Universal_Electric_Stove_and_OvenNew_Britain_Industrial_MuseumDSC09874.JPG
Abb. 2	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Burned_Pizza.jpg
Abb. 6	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2004_Ford_Territory_(SX)_TS_wagon,_cutaway_(2015-01-01)_04.jpg
Abb. 8	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ice_eschede_1.jpg
Abb. 10	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pieler_safety_lamp.jpg
Abb. 11	http://www.epa.gov/greatlakes/image/vbig/221.jpg
Abb. 31	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EC_176_Praha_Hamburg.JPG
	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ice_bruxelles.JPG
Abb. 30	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MAN_V8-Motor.JPG

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
ı.	Informationen über das Problem	4
2.	Wichtige erste Fragen	4
3.	Wo ist ein Problem, wo ist kein Problem?	6
4.	Rationales Management	g
5.	Innovationscheckliste	11
II.	Bestimmung des wirklich zu lösenden Problems	13
6.	Ausgangsprobleme und Grundprobleme	13
7.	Analyse von Wirkungszusammenhängen	13
8.	Ursachen-Wirkungs-Analyse (RCA)	14
9.	Grundursachen	21
10	. Grundkonflikte	25
11	.Grundkonfliktanalyse (RCA+)	30
12	.RCA und RCA+ im Vergleich	37
Ш	. Systemverbesserung als Aufgabe	39
13	. Einleitung	39
14	.Inkrementelle Verbesserung	39
15	. Wertanalyse	41
16	. Funktionsränge	44
17	. Wertanalytische Betrachtung	49
18	. Vergleich von Wertanalyse und wertanalytischer Betrachtung	51