

Durch die Integration von Wertanalyse und TRIZ die Effizienz technischer Problemlösungen steigern

Dipl.-Wirt.-Ing. **T. Wigger**, Universität Siegen;
Dipl.-Wirt.-Ing. **J. Marchthaler**, Universität Siegen;
Prof. Dr.-Ing. **R. Lohe**, Universität Siegen

Kurzfassung

Die wertorientierte Strategie des Value Managements hat sich für das effiziente Erschließen von innovativen Potenzialen in der Produkt- und Prozessoptimierung bewährt. Für einige TRIZ Techniken gilt das ebenfalls. Es wird untersucht, ob eine Kombination dieser beiden bewährten Methoden erfolgversprechend ist. Als Grundlage wird die Strategie des Value Managements mit dem Wertanalyse Arbeitsplan verwendet, in den Techniken der TRIZ gezielt integriert werden, um die Erkennung und Analyse von Problemen zu systematisieren.

Abstract (optional)

The value-oriented strategy of Value Management has proven itself identifying innovative potentials in Product and Process Optimisation. The same applies to a variety of TRIZ-techniques. Object of investigation is the prospect of success of combining assorted elements of both methodologies, particularly for optimizing Recognition and Analysis of Problems within VA-Objects. The Value-Engineering work plan acts as the foundation for this investigation.

1. Einleitung

Die wertorientierte Strategie des Value Managements hilft, innovative Potenziale in Produkten und Prozessen zu identifizieren und auszunutzen. Im Value Management wird "Wert" als Beziehung zwischen der "Befriedigung von Bedürfnissen" und den "Ressourcen" [1] definiert. Durch diese Definition wird dem Begriff "Wert" im Value Management mit der "Bedürfnisbefriedigung" eine Dimension hinzugefügt, die eine deutliche Orientierung zum Adressaten (Kunde, Auftraggeber) sicherstellt. Die Umsetzung beruht dabei im Wesentlichen auf dem Kernelement des Value Managements, der Wertanalyse mit ihrem zehnstufigen Arbeitsplan. Das erste wichtige Werkzeug im Wertanalyse-Arbeitsplan ist die funktionenorientierte Modellierung von Produkten und Prozessen [1].

Das zweite wichtige Werkzeug sind Kreativitätsmethoden. Die zentrale Rolle dieser Methoden in der Wertanalyse macht Bild 1 deutlich. Es ist das Ziel, durch die Integration von Elementen der TRIZ die Fähigkeiten des Wertanalyse-Arbeitsplans zu ergänzen und zu stärken.



Bild 1 - Methoden im Value Management [2]

2. Integration der Methoden der TRIZ im WA-Arbeitsplan

Die folgenden Ausführungen geben einen Überblick über Möglichkeiten, Methoden der TRIZ in die Durchführung eines Wertanalyse-Projekts zu integrieren. Einzelne Ansatzpunkte sind in Bild 2 dargestellt, Methoden der TRIZ sind hier dem 10-stufigen Wertanalyse-Arbeitsplan nach [3] gegenübergestellt.

Zu den Schritten 0–2 wird man TRIZ-Parallelen kaum finden, da in dieser Phase primär administrative und betriebswirtschaftliche Aufgaben wahrgenommen werden.

Die Schritte 3 und 4 des WA-Arbeitsplans umfassen die Analyse des IST- und SOLL-Zustands. Diese Schritte sind im Einzelnen:

- Informationssammlung (Stand der Technik, technologische Ausrichtung des WA-Objekts),
- Funktionenmodellierung (Modellierung des WA-Objekts in Funktionen),
- Festlegen von Detailzielen

In diesen Bereichen gibt es Möglichkeiten TRIZ-Elemente einzubinden.

Im Arbeitsschritt „Informationssammlung“ kann mit Hilfe der TRIZ eine Technologievorschau und Potenzialbewertung durchgeführt werden.

In der Funktionenmodellierung werden Funktionen erfasst, benannt und in einer Funktionsstruktur visualisiert [4]. Sie dienen der theoretischen Durchdringung, der gemeinsamen Diskussion, des gleichmäßigen Kenntnisstandes und der kreativen Stimulation. Sie können ge-

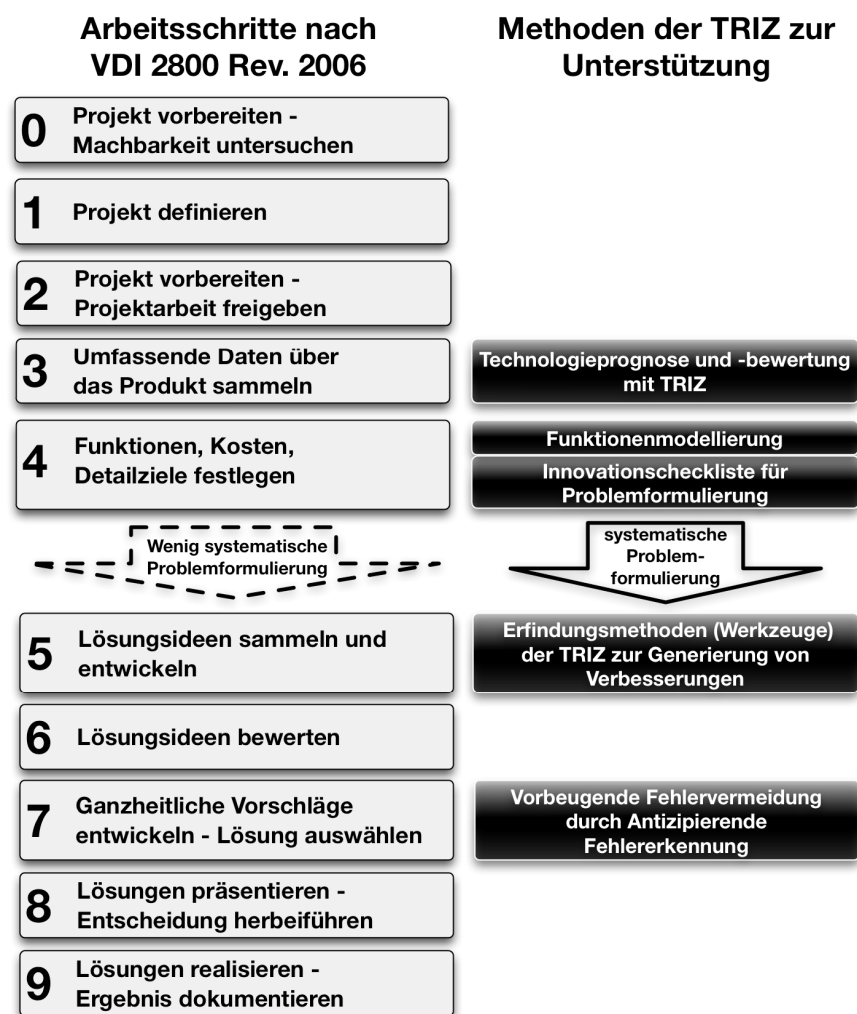


Bild 2: Zuordnung der TRIZ zum Wertanalyse-Arbeitsplan nach [3]

wichtet, mit Kosten verknüpft und zur Bewertung herangezogen werden. In diesem Arbeitsschritt ist eine weitere Bereicherung durch TRIZ-Elemente möglich. Kernelement ist hier die situationsgerechte Verknüpfung verschiedener Typen von Funktionenmodellierungen zur Vorbereitung von Problemformulierungen.

Der Einsatz von Hilfsregeln zur Problemformulierung systematisiert im nächsten Schritt die Formulierung von Detailzielen. Dabei hilft die TRIZ-Innovationscheckliste, die für eine Integration in WA-Abläufe adaptiert wird. Problemformulierung und Detailziele bilden eine verbesserte Vorbereitung auf die Kreativphase in Schritt 5 des WA-Arbeitsplans. Hier können dann die TRIZ-Werkzeuge zur Erarbeitung von Lösungsideen eingesetzt werden, die im nachfolgenden Kap. 3 nachzulesen sind.

Auch für den Schritt 7 „Ganzheitliche Vorschläge entwickeln“, findet man ein hilfreiches TRIZ-Werkzeug, die „Antizipierende Fehlererkennung“. Sie ist eine leicht anzuwendende Alternative zur FMEA (Failure Modes And Effects Analysis) und erlaubt die vorbeugende Fehlererkennung bei der Ausarbeitung von Lösungskonzepten.

Fokus dieses Beitrags ist die Verknüpfung verschiedener Funktionenmodellierungen für die Verbesserung der Problemformulierung und deren Überleitung in die kreative Phase.

Zum besseren Verständnis werden im Folgenden einige Grundlagen der TRIZ erläutert.

Die wichtigsten Kernaussagen der TRIZ sind

- Erkennen und Auflösen von Widersprüchen als die höchste Form der Problemlösung
- Steigerung der Idealität als Maßstab für die Güte einer Problemlösung
- Hochwertige Lösungen nur durch Ausrichtung der Optimierungsansätze entlang der Gesetze der Evolution technischer Systeme.

Wichtig dabei ist die Umsetzbarkeit dieser Kernaussagen in der täglichen Projektarbeit. Ein wichtiges Merkmal der Integration muss aus diesem Grund die einfache Nutzbarkeit und ein positives Verhältnis von Nutzen und Aufwand sein.

.

3. Grundlagen der Integration

Die TRIZ ist eine Theorie, die eine Sammlung vieler verschiedener Methoden zur Lösung von technisch-wissenschaftlichen Problemstellungen vereint. Die TRIZ wurde kurz nach dem zweiten Weltkrieg von Genrich Altschuller (1926-1998) mit dem Ziel konzipiert, eine Methodik für zielgerichtete Erfindung bereitzustellen. Wie in der Wertanalyse bestand auch hier der Wunsch, die Kreativität nicht dem Zufall zu überlassen sondern sie zu systematisieren [5]. Durch seine Recherchen gelangte Altschuller dabei zu folgenden Erkenntnissen[6]:

- Identische grundsätzliche Problemstellungen sind in vielen verschiedenen Technologiezweigen vorhanden.
- Zur Lösung dieser Problemstellungen wird in allen Zweigen der gleiche prinzipielle Weg beschritten.

Aus der Analyse der Lösungsansätze formulierte Altschuller daraufhin zwei Kernthesen [7].

- *Erfindungen erscheinen als Überwindung technischer Widersprüche.*
- *Widersprüche erscheinen als Folge einer ungleichmäßigen Entwicklung technischer Systeme.*

Auf Basis dieser wesentlichen Erkenntnisse entwickelte Altschuller die Theorie der TRIZ.



Bild 3: Ebenen der TRIZ (in Anlehnung an [24])

Die TRIZ-Werkzeuge können in vier Kategorien eingeteilt werden (siehe Bild 3). Die der **Systematik** zuzuordnenden Methoden definieren vornehmlich Ablaufpläne für den Problemlösungsprozess. Dabei sind einige recht spezifisch auf eine Methodik begrenzt, z.B. das Zwerge-Modell und Operator MZK. Andere haben dafür generellen Charakter. Dazu gehören insbesondere die ARIZ als Algorithmus der Problemlösung und die Innovationscheckliste [8]. Die Systematik-Komponenten bilden die Grundlage für die Anwendung der Methoden der Kategorien Wissen, Analogie und Vision.

Die Kategorie **Wissen** beinhaltet zwei Gruppen von Methoden.

- Methoden, die auf der Anwendung von kumuliertem Wissen über Problemlösungen beruhen und auf Effekten aus der Physik, Chemie etc. .Dazu gehören Datenbanken mit bekannten Problemlösungen und Effekte.
- Methoden, die zur Modellierung von Problemen in bereits existierenden technischen Systemen eingesetzt werden. Dazu gehören Methoden wie die Stoff-Feld-Analyse und die Widerspruchsanalyse.

Mit den durch diese Methoden ermittelten Modellen der vorliegenden Probleme wird dann versucht, durch die Anwendung der **Analogie**-Elemente Lösungsansätze zu ermitteln. Mögliche Methoden sind hier die 76 Standardlösungen zur Modifikation von Stoff-Feld-Modellen, die 40 Innovationsprinzipien zur Auflösung technischer Widersprüche oder die 4 Separationsprinzipien zur Auflösung physikalischer Widersprüche.

Die vierte Kategorie **Vision** beinhaltet die Methoden zur Vorhersage der Entwicklung von technischen Systemen. Hier werden

- das Modell der S-Kurve der technologischen Entwicklung von Systemen,
- die verschiedenen Innovationsebenen von technischen Lösungen und
- die Gesetze der Evolution technischer Systeme

zur Erstellung von Prognosen herangezogen.

3.1 Grundlegende Konzepte

Im folgenden Abschnitt 3.1 werden die in Kap. 2 genannten Kernaussagen der TRIZ präzisiert. Diese Kernaussagen sind die Grundlage jeder Optimierung mit TRIZ.

3.1.1 Widerspruchorientiertes Denken

Für den Widerspruch existieren viele verschiedene Definitionen, aus diesem Grund wird hier nur eine grundlegende Definition dargelegt.

Ein Widerspruch besteht in sich gegenseitig ausschließenden Zuständen, die auf eine einzelne Funktion, eine Komponente oder die Funktion eines Gesamtsystems gerichtet sind[10].

Altschuller entwickelte drei Kernthesen zu Systemwidersprüchen, die in technischen Systemen auftreten [7].

- Der Schlüssel zur Lösung von Problemen liegt in der Aufdeckung und Beseitigung des Systemwiderspruches
- Taktiken und Methoden für die Lösung von Problemen können durch die Analyse bedeutsamer Erfindungen aufgestellt werden.

- Die Lösungsstrategie eines Problems muss sich auf die Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung technischer Systeme stützen.

Es werden drei Hauptformen des Widerspruchs unterschieden, der administrative, der technische und der physikalische Widerspruch. Diese unterscheiden sich dabei u.a. anhand ihres Abstraktionsgrades[11]. Administrative Widersprüche weisen den geringsten Abstraktionsgrad auf. Der Nutzen eines administrativen Widerspruchs ist allerdings gering, da dieser nichts über die Zielrichtung aussagt, in welcher eine potenzielle Lösung zu suchen ist [9]. Physikalische Widersprüche weisen demgegenüber den höchsten Abstraktionsgrad auf. Da physikalische Widersprüche jedoch auf den einfacher zu formulierenden technischen Widersprüchen aufbauen, könne diese ggf. als Ausgangspunkt zur Formulierung von physikalischen Widersprüchen genutzt werden [7].

Kennzeichnend für einen technischen Widerspruch ist die Verbesserung eines Systemparameters auf Kosten der Verschlechterung eines anderen Systemparameters [6]. Die Wider-

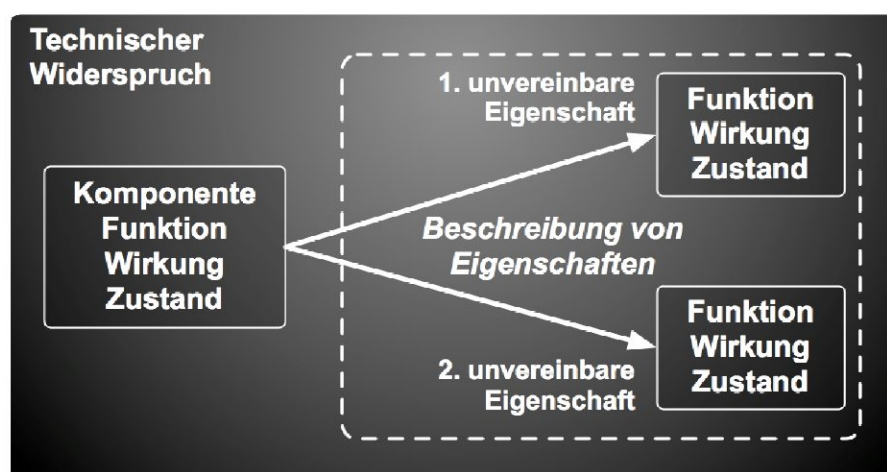


Bild 4: Schema des technischen Widerspruchs [6]

spruchsmatrix der TRIZ nutzt dies, um dem Problem Innovationsprinzipie (Lösungen) zuzuordnen. Die Struktur eines technischen Widerspruchs ist in Bild 4 dargestellt. Der technische Widerspruch weist zwei unvereinbare Eigenschaften auf. Diese sind Funktionen, Wirkungen oder Zustände. Diese Eigenschaften reagieren invers auf Veränderungen ihrer Gegenüber. Die Verbesserung der einen Eigenschaft geht auf Kosten der zweiten Eigenschaft.

3.1.2 Idealität

Das Konzept des idealen technischen Systems besagt, dass dieses als physische Einheit nicht existiert, die ihm zugedachte Funktion jedoch voll erfüllt wird. Es erfüllt also die ihm zugedachte Funktion ohne Kosten, ohne Energieverbrauch, erzeugt keine Schadstoffe etc. [12]. Dabei bewirkt die Forderung nach Idealität die Konzentration auf die auszuführende

Funktion. Dadurch wird der Entwickler dazu angeleitet, ein Modell des effektiven Funktionierens zu finden, statt die Nachteile eines bestehenden Systems zu kurieren [6]. Ein Anstieg der Idealität eines Systems kann dabei u.a. in folgenden Richtungen verlaufen [7]:

- Zunahme der Anzahl der Funktionen
- Erhöhung der Qualität der Funktionen
- Senkung aller Arten von Verbrauch (Entwicklung, Anwendung, Entsorgung, ...)
- Senkung der negativen Auswirkungen auf die Umgebung

Als generelle Anleitungen wurden sechs Leitsätze formuliert, die Maßnahmen für „ideale Konstruktionen“ darstellen können [6].

- Eliminiere (unterstützende) (Hilfs-)Funktionen
- Minimiere die Anzahl der Systemteile
- Erkenne Selbsttätigkeitspotenziale
- Ersetze Einzelteile, Baugruppen oder das ganze System
- Ändere das Funktionsprinzip
- Nutze vorhandenen Ressourcen

Diese Leitsätze können als Lösungsanregungen dienen, weil sie zu verschiedene Perspektiven bei der Betrachtung des vorliegenden Objekts zwingen.

3.1.3 Gesetze der Evolution technischer Systeme

Eine der Kernthesen Altschüllers besagt, dass die Entwicklung technischer Systeme anhand von Gesetzmäßigkeiten vorhergesagt werden kann. Dies impliziert, dass andere Beeinflussungsfaktoren wie bahnbrechende Erfindungen Einzelner, die Kräfte des Marktes oder politische und kulturelle Gegebenheiten *nur* die Geschwindigkeit dieser Evolution beeinflussen können, nicht jedoch in signifikanter Weise die Richtung der Entwicklung [5]. Zudem impliziert dies, dass ein Entwickler, der sich nicht an diesen Gesetzmäßigkeiten orientiert, seine Chancen von vornherein vermindert, ein System hoher Idealität zu entwickeln [8]. Im Umkehrschluss kann die Beachtung dieser Gesetzmäßigkeiten zur zielgerichteten strategischen Verbesserung von bestehenden Systemen und zur Entwicklung neuer Technologien und Produkte genutzt werden [12]. Eine Übersicht über die Gesetze ist in Bild 5 dargestellt.



Bild 5: Übersicht Gesetze der Evolution technischer Systeme

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung der Gesetze ist der Einsatz zur Potenzialbewertung von Technologien. Hierbei werden Technologien anhand ihrer aktuellen Leistungsfähigkeit gegenübergestellt, ihr voraussichtlich zu erwartendes Entwicklungspotenzial auf Basis der Gesetze der Evolution bestimmt und damit eine Prognose über die voraussichtlich aussichtsreichste Technologie gegeben.

3.2 Werkzeuge

Im folgenden Abschnitt werden zwei Werkzeuge der TRIZ vorgestellt. Diese werden im in Kap. 4 dargelegten Konzept angewendet.

3.2.1 Innovationsprinzipien

Die Widerspruchsmatrix basiert auf den 40 Innovationsprinzipien zur Überwindung technischer Widersprüche (Problembeschreibungen). Eine Matrix fungiert als Ordnungsschema für die Anwendung dieser Prinzipien. Die ausschlaggebende Erkenntnis für die Entwicklung von Erfindungsverfahren war für Altschuller die Entdeckung zweier Sachverhalte [9].

- Erfinderische Aufgaben gibt es unzählige. Typen von Widersprüchen jedoch nur verhältnismäßig wenige.
- Es gibt typische Widersprüche und es gibt typisierte Erfindungsverfahren ihrer Beseitigung.

Im Zuge der Ermittlung typisierter Erfindungsverfahren wurden die Prinzipien durch die Analyse einer großen Anzahl von Patenten entwickelt und im Laufe der Jahrzehnte erweitert. In der klassischen TRIZ existieren 40 Prinzipien, es existieren darüber hinaus Weiterentwicklungen [13,7].

Im Ursprung wurden diese Prinzipien von Altschuller für die Lösung technischer Probleme entwickelt. Daher dauerte es lange Zeit, bis erste Ansätze zur Übertragung der Prinzipien auf nicht-technische Fachgebiete entwickelt wurden. Hierbei wurden die Prinzipien u.a. in der Informatik, der Architektur, der Werbung sowie der Dienstleistung eingesetzt.

Die Widerspruchsmatrix ist als eine 39 x 39 Matrix aufgebaut. Die Anzahl ihrer Spalten und Zeilen wird durch die 39 technischen Parameter festgelegt, mit deren Hilfe der Widerspruch, also das Problem, formuliert wird. Die Kreuzungsfelder in der Matrix enthalten die aussichtsreichsten Innovationsprinzipien, also die analogen Standardlösungen.

3.2.2 Ressourcen

Unter Ressourcen versteht man Systemeigenschaften, die bspw. den Zweck eines Systems, seine Funktionen, die Struktur der Verbindungen zwischen Elementen, Informations- und Energieströmen oder auch deren Form oder Lage charakterisieren. Bild 6 zeigt eine Klassifikation von Ressourcen in system-technische und physikalisch-technische Ressourcen. System-technische Ressourcen sind auf ihre Art abstrakt und können als Modelle aufgefasst werden. Funktionale Ressourcen sind bspw. die Funktionen, die ein System ausführen kann. Struktur-Ressourcen beschreiben dagegen Komponenten und Verzweigungen zwischen Komponenten (linear, verzweigt, parallel etc.). Physikalisch-technische Ressourcen sind in einem System deutlicher zu erkennen, in Form zeitlicher Parameter ihres Wirkens, als geo-

SYSTEM-TECHNISCHE RESSOURCEN			
SYSTEM-RESSOURCEN	INFORMATIONSS-RESSOURCEN	FUNKTIONALE RESSOURCEN	STRUKTUR-RESSOURCEN
Gehören zu den allgemeinen Systemeigenschaften	Gehören zur Übertragung von Signalen, tragen Mitteilungen	Gehören zur Schaffung von Funktionen	Gehören zum Bestand des Objekts
PHYSIKALISCH-TECHNISCHE RESSOURCEN			
ZEITLICHE RESSOURCEN	RÄUMLICHE RESSOURCEN	STOFFLICHE RESSOURCEN	ENERGETISCHE RESSOURCEN
Gehören zur Bewertung der Zeit	Gehören zu den geometrischen Eigenschaften	Gehören zu den Materialeigenschaften	Gehören zu den energetischen Eigenschaften und ihren Erscheinungen

Bild 6: Klassifikation von Ressourcen [7]

metrische Formen, konkrete Materialien und als verwendete Energiearten. Was auch immer mit der Dominanz dieser oder jener system-technischen Ressourcen erfunden wurde, die praktische Umsetzung einer Idee erfolgte immer auf der Basis einer Veränderung physikalisch-technischer Ressourcen. Eine Idee wird immer nur materiell zur Realität[7].

Die Grundlage der Entwicklung eines Systems bildet die Suche nach Ressourcen und deren Anwendung, die für die Lösung jedes konkreten Problems notwendig und hinreichend sind. Die Verbindung bestehender und neuer (oder transformierter) Ressourcen, die einen neuen positiven technischen Effekt schafft, gilt als Erfindung. Und umgekehrt, das Fehlen (oft auch nur das scheinbare Fehlen!) notwendiger und hinreichender Ressourcen für die Realisierung der geforderten Eigenschaften des Systems, begründet dann das Problem [6]. Anders ausgedrückt ist eine Ressource ein Mittel jeglicher Art inner- und außerhalb eines Systems [14][11]. Interessant sind dabei insbesondere Ressourcen, deren Potential nicht maximal genutzt wird.

3.3 Vergleich der Funktionenmodellierungen

Die Funktionenmodellierungen in der Wertanalyse und in der TRIZ basieren auf zwei unterschiedlichen Ansätzen. Das TRIZ-Verfahren wird als „*netzwerkartig strukturierte Funktionenmodellierung*“ bezeichnet und das Wertanalyse-Verfahren als „*hierarchisch strukturierte Funktionenmodellierung*“ [15]. Diese Bezeichnung ist verkürzt und irreführend, da nur im Funktionenbaum eine Hierarchie von Funktionen aufgebaut wird. Andere Verfahren, wie das FAST-Diagramm, schränken die Modellierung in dieser Form nicht ein. Aus diesem Grund wird hier der Begriff *wertanalytische Funktionenmodellierung* verwendet.

Die Funktionenmodellierungen der TRIZ und der Wertanalyse unterscheiden sich in der verwendeten Form der Verknüpfung in der Funktionenstruktur, jedoch nicht in ihren Funktionsbegriffen.

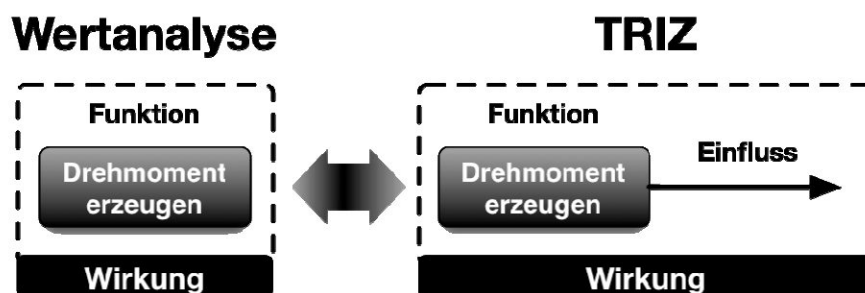


Bild 7: Vergleich der Wirkungskbegriffe von Wertanalyse und TRIZ

Die europäische Value Management-Norm EN 12973:2000 definiert eine Funktion als *die Wirkung eines Produktes oder eines seiner Bestandteile* [1]. Die Richtlinie zur Funktionsanalyse 2803 des VDI definiert eine Funktion als *jede einzelne Wirkung des Wertanalyse-Objektes* [16]. Der Begriff der Funktion wird in beiden Fällen dem Begriff Wirkung gleichgesetzt.

Die Funktionen können dabei auf verschiedene Arten strukturiert werden. Allen Typen von Funktionenstrukturen in der wertanalytischen Funktionenmodellierung ist die Ausrichtung auf „Zweck-Mittel-Beziehungen“ gemein. Dies äußert sich in der Anwendung der „Wie <-> Warum“-Fragelogik bei der Einordnung der Funktionen. Ausgehend von der am höchsten einzuordnenden Funktion wird mit der Frage „Wie?“ nach dem Mittel zum Zweck, also der nächstniedriger einzuordnenden Funktion, gefragt. Anders herum kann mit der Frage „Warum?“ nach dem Zweck der Funktion, also der nächsthöher angeordneten Funktion gefragt werden [15]. Die einfachste Variante zur Strukturierung ist die Nutzung eines Funktionenbaumes [4]. Hier werden die Funktionen in Baumform angeordnet. Eine anspruchsvollere Form der Strukturierung ist das FAST-Diagramm¹. Hier werden die Funktionen auf einer logischen Kette, dem logischen Pfad, angeordnet. In seiner Urform von Charles Bytheway entwickelt [21], erlaubt es im Gegensatz zum Funktionenbaum logische Zusammenhänge zwischen den einzelnen Funktionen eines Objekts wiederzugeben. Bild 8 zeigt eine schematische Darstellung des FAST-Diagramms.

Zusätzlich ermöglicht die Anwendung des FAST-Diagramms eine klare visuelle Eingrenzung des Untersuchungsrahmens über die Nutzung der „Scope Lines“, die Einbindung von Funktionen von außerhalb des Untersuchungsrahmens in Form von akzeptierten Funktionen sowie die Aufnahme von unerwünschten (schädlichen) Funktionen in die Struktur. Bedingt durch die Anordnung der Funktionen auf einem logischen Pfad und der dadurch implizierten logischen Zusammenhänge können Funktionen, welche nicht in die logische Struktur passen, die jedoch trotzdem vom betrachteten Objekt ausgeführt werden müssen, im oberen Bereich des Diagramms als Spezifikationen, einmalige Funktionen oder ständige Funktionen angeordnet werden.

Zur Bewertung der Funktionenstrukturen „Funktionenbaum“ und „FAST-Diagramm“ können die in Tabelle 1 dargelegten Vor- und Nachteile identifiziert werden:

¹ FAST = Function Analysis System Technique

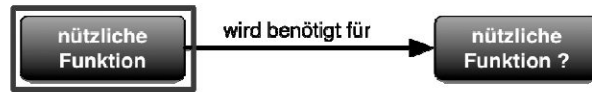
Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Baum- oder FAST Funktionenstruktur

	Vorteile	Nachteile
1	Systematisches Vorgehen in der Funktionenanalyse wird durch die „Wie-Warum“-Fragetechnik unterstützt.	In der Funktionenstruktur werden Probleme nicht direkt formuliert und visualisiert.
2	Modellierung im Team fördert die Entwicklung einer gemeinsamen Perspektive auf das System.	Keine systematische Vorgehensweise zur Identifikation und Behandlung von unnötigen und unerwünschten Funktionen.
3	Fokussierung durch Eingrenzung des Untersuchungsbereichs im FAST-Diagramm.	
4	Unterscheidung zwischen Basisfunktion (dem eigentlichen Systemzweck) und Folgefunktionen (Zur Realisierung notwendige Mittel).	

Die TRIZ-Funktionenmodellierung wird als Werkzeug zur Problemformulierung genutzt [6]. Ziel ist die Ermittlung von Relationen und die Identifikation von nützlichen und schädlichen Funktionen zur Aufdeckung von Widersprüchen. Die netzwerkartige Funktionenmodellierung dient dabei der Vorbereitung der Problemformulierung, bspw. mit Hilfe der Innovationscheckliste. Nützliche und schädliche Funktionen beeinflussen sich untereinander. Je nach Typ der betrachteten Funktion handelt es sich dann in Kombination mit dem von ihr ausgehenden Einfluss um eine nützliche oder eine schädliche Wirkung. Im Ganzen wird also als ein Netzwerk von Wirkungen modelliert.

Fragen an nützliche Funktionen

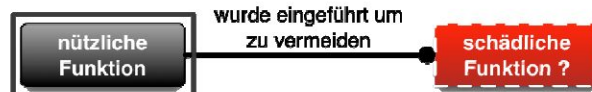
Wird diese nützliche Funktion (im Sinne des Objekts) für die Erfüllung einer weiteren nützlichen Funktion benötigt?



Verursacht diese nützliche Funktion irgendwelche schädlichen Funktionen?



Wurde diese nützliche Funktion eingeführt, um schädlichen Funktionen zu unterdrücken?



Setzt diese Funktion (im Sinne des Objekts) die Erfüllung weiterer nützlicher Funktionen voraus?

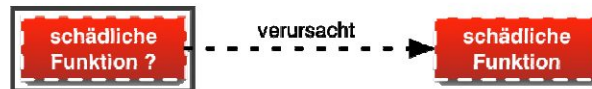


Fragen an schädliche Funktionen

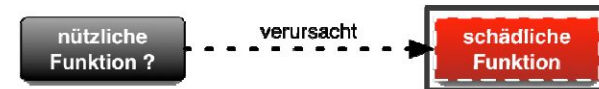
Wird diese schädliche Funktion durch eine andere schädliche Funktion verursacht?



Verursacht diese schädliche Funktion weitere schädliche Funktionen?



Wird diese schädliche Funktion durch eine nützliche Funktion verursacht?



Wurde eine nützliche Funktion eingeführt, um diese schädliche Funktion zu unterdrücken?

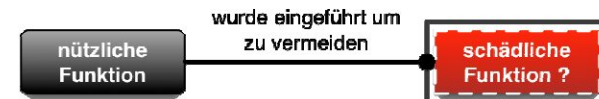


Bild 9: Vier Fragestellungen zur Modellierung von Funktionen in der netzwerkartigen Struktur [6], [19]

Die Vorgehensweise zur Modellierung einer netzwerkorientierten Funktionenstruktur gliedert sich in die folgenden sieben Schritte (Kombiniert aus [23] [19]):

1. Bestimmung der primär nützlichen Funktion
2. Bestimmung der primär schädlichen Funktion
3. Fragestellungen zur Modellierung an die primär nützliche Funktion stellen, weitere Funktionen und die Einflüsse zwischen den Funktionen ergänzen
4. Fragestellungen zur Modellierung an die primär schädliche Funktion stellen, weitere Funktionen und die Einflüsse zwischen den Funktionen ergänzen

5. Die neu hinzugekommenen Funktionen analog zu den Punkten 3 und 4 befragen und das Funktionsmodell um die zusätzlichen Funktionen und deren Einflüssen ergänzen
6. Überprüfung des Strukturgraphen, ob alle relevanten Funktionen und Einflüsse erfasst wurden.
7. Identifikation von Widersprüchen und Formulierung von Problemen aus dem Funktionsgraphen

Charakteristische Konstellationen	Problemformulierungen
	- Finde eine Möglichkeit um (NF 1) zu verbessern - Finde einen alternativen Weg um (NF 1) zu ermöglichen ohne (NF 0) vorauszusetzen
	- Finde (unter der Bedingung das (SF 0) erfolgt) eine Möglichkeit um (SF 1) zu vermeiden oder zu vermindern - Finde eine Möglichkeit von (SF 1) zu profitieren
	- Finde einen alternativen Weg um (SF 1) zu vermeiden oder zu vermindern, der nicht (NF 0) voraussetzt. - Finde eine Möglichkeit von (SF 1) zu profitieren
	- Finde eine Möglichkeit (NF 0) zu vermeiden - Finde (unter der Bedingung das (NF 0) erfolgt) eine Möglichkeit um (SF 1) zu vermeiden oder zu vermindern

Bild 10: Charakteristische Konstellationen zur Formulierung von Problemen und Widersprüchen [6], [19]

Die Fragen zur Modellierung von Funktionen unterscheidet man in zwei Gruppen. Vier Fragen für die Anwendung auf nützliche Funktionen, vier für schädliche Funktionen (vgl. Bild 9).

Charakteristische Konstellationen	Widerspruchsformulierung
	Man will (NF1) ermöglichen Man will (SF1) nicht verursachen Dann ist es nicht günstig (NF0) so auszuführen Man will (EF1+NF1) (verbessern) Das könnte man mit einer (Änderung) von (NF0) erreichen Dabei verschlechtert sich aber (EF2+SF1)
	Man will (SF1) vermeiden Man will (SF2) nicht verursachen Dann ist es nicht günstig (NF0) so auszuführen Man will (EF1+SF1) minimieren Das könnte man mit einer (Änderung) von (NF0) erreichen Dabei verschlechtert sich aber (EF2+SF2)

Bild 11: Charakteristische Konstellationen zur Formulierung von Widersprüchen

Im Schritt 7 können Standardformulierungen für Probleme und Widersprüche genutzt werden, die in Bild 10 und 11 angegeben sind. Beispiele zur Widerspruchsformulierung werden in Abschnitt 4.3 erläutert.

Zum Vergleich der WA- und der TRIZ-Funktionenmodellierung eignen sich die Tabellen 1 und 2.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile der TRIZ Funktionenmodellierung

	Vorteile	Nachteile
1	Systematische Modellierung von schädlichen Wirkungen im betrachteten Objekt	Anspruchsvoller als die Baum- oder FAST Funktionenmodellierung
2	Modellhaftes Abbild der Interaktionen im betrachteten System	
3	Netzwerkstruktur ermöglicht die Aufdeckung zweiparametriger Widersprüche	
4	Die Modellierung kombiniert die Zweck-Mittel-Beziehung der wertanalytischen Funktionenanalyse mit Ursache-Wirkungs-Beziehungen	

4. Verbesserte Problemformulierung aus der wertanalytischen Funktionenmodellierung

Zentrales Element der vorgeschlagenen Integration von TRIZ-Elementen in die WA ist die Funktionenmodellierung. Zur Orientierung ist eine Übersicht in Bild 12 dargestellt. Die Breite der Analyse wird vom Funktionenmodell und den darauf aufbauenden Verfahren zur Gewichtung und Kostenbewertung von Funktionen abgedeckt. Für eine Systematisierung der Problemerkennntnis wird mit dem vorzustellenden Konzept eine Vorgehensweise zur Vertiefung der Analyse dargelegt. Hierbei werden, ausgehend vom Funktionenmodell, zu ausgewählten Problemformulierungen die Schritte einer adaptierten Innovationsscheckliste zur Problembeschreibung ausgeführt. In Phase 5 „Lösungsideen sammeln und entwickeln“ können dann die Methoden der TRIZ zur Auflösung von Widersprüchen und schädlichen Effekten für die Erarbeitung von Lösungsideen genutzt werden.

4 Funktionen, Kosten, Detailziele festlegen

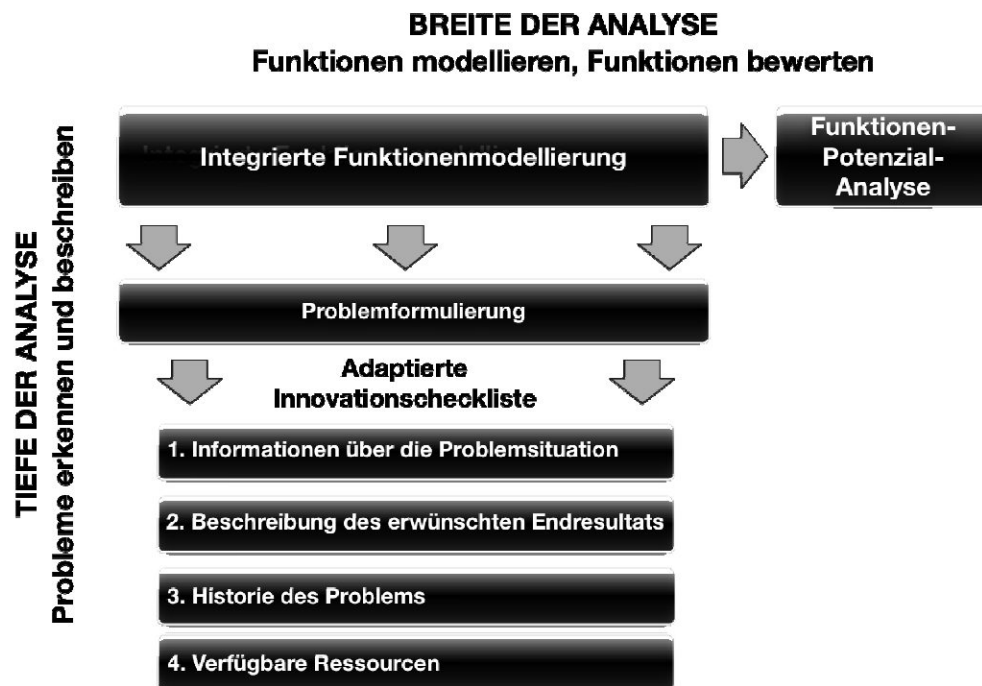


Bild 12: Modifizierte Vorgehensweise in Phase 4 des Wertanalyse-Arbeitsplans

4.1 Funktionenmodellierung

Die Vorteile der der WA- und der TRIZ-Funktionenmodellierung können je nach Anforderung kombiniert werden. Dadurch soll der für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Kompromiss zwischen Detailtreue und Aufwand eingesetzt werden. Wir schlagen vor, die neue Darstellung in Bild 13 als „integrierte Funktionenstruktur“ zu bezeichnen.

Das Gerüst der integrierten Funktionenmodellierung liefert das FAST-Diagramm. Die Visualisierung der Systemgrenzen über die Scope Lines ist ein signifikanter Vorteil sowohl gegenüber dem Funktionenbaum wie auch gegenüber der TRIZ-Funktionenstruktur. Die Darstellung von Funktionen links von der Left Scope Line erlaubt die Visualisierung des Zwecks, den das System im Obersystem einnimmt. Im Obersystem ist diese Funktion nur eine von möglicherweise vielen, die zusammenwirken, um einem höheren Zweck zu dienen. Die Darstellung von Funktionen rechts von der Right Scope Line erlaubt die Visualisierung von Funktionen, die zwar außerhalb der gewählten Systemgrenzen liegen, trotzdem jedoch Funktionen innerhalb des Objekts beeinflussen. Dies ist insbesondere dann ein entschei-

dender Vorteil, wenn diese großen Einfluss auf das Objekt haben, möglicherweise sogar

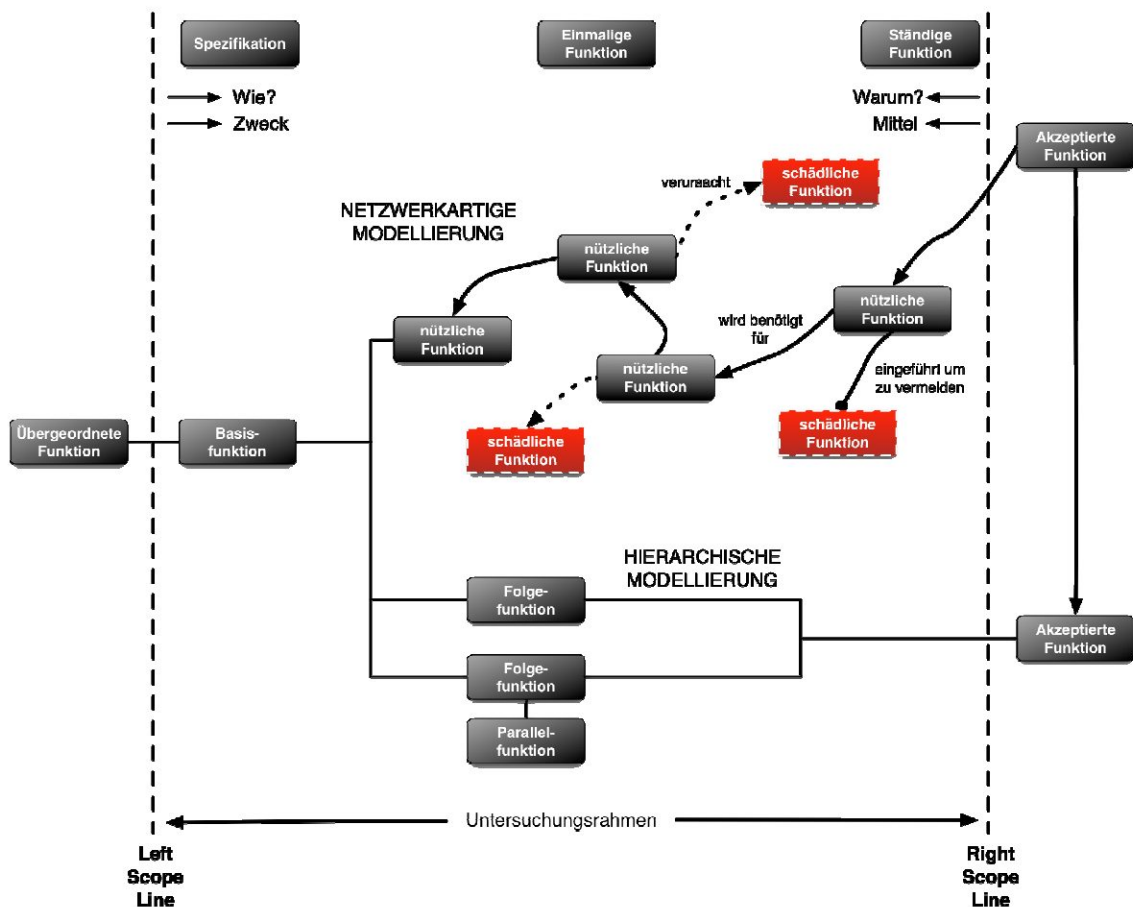


Bild 13: Integrierte Funktionenmodellierungen

schädliche Funktionen verursachen. Hier ist anzumerken, dass auch Einflüsse zwischen den akzeptierten Funktionen bestehen und diese auch modelliert werden können.

In vielen Fällen eignet sich die FAST-Basisfunktion bereits für die in der TRIZ-Fragentechnik geforderte „primär nützliche Funktion“.

Ebenfalls aus dem FAST stammt die Verwendung der „Kopfangaben“ Spezifikationen, einmaligen sowie ständigen Funktionen. Diese „Kopfangaben“ sind Funktionen, die nicht in die logische Folge der Modellierung passen, also sich weder über die Anwendung der „Wie?<->Warum?“-Fragelogik noch über die TRIZ-Fragestellung integrieren lassen.

Ebenfalls integriert wird die typische Modellierung des FAST-Diagramms, die im unteren Bereich des Bildes 14 dargestellt ist. Sie ist für die Modellierung von Funktionen in Bereichen des Objekts gedacht, in denen die Modellierung einer detaillierten Problemstruktur nicht erforderlich ist. Dies heißt nicht, dass diese Funktionen nicht wichtig sind, die detaillierte Betrachtung ist im betrachteten Fall aber nicht erforderlich. Ein weiterer Grund für die klassi-

sche FAST-Modellierung dieser Funktionen ist der Wunsch, alle relevanten Funktionen innerhalb der Systemgrenzen im Überblick zu behalten. Das kann für eine Funktionengewichtung oder Funktionen-Kosten-Analyse wichtig sein.

Für eine detaillierte Problemmodellierung, also für das Aufzeigen von Problemen und Widersprüchen, sollte das Ursache-Wirkungs-Prinzip hinzugezogen werden. Hier wird eine Erweiterung des zugrundeliegenden Funktionenbegriffs von der Wertanalyse hin zur TRIZ vorgenommen. Gerichtete positive und negative Einflüsse werden ergänzt. Diese Form der Modellierung ist aufwendiger, aber in vielen Fällen überwiegt der Vorteil zusätzlichen Informationsgewinns.

1 Informationen über die Problemsituation		
Tätigkeit	Fragestellungen	Quelle / Werkzeug
Welches Problem soll gelöst werden?	Was soll verbessert werden? Wie?	Widerspruchorientiertes Denken / integrierte Funktionenmodellierung
Mechanismus oder Wirkweise des Nachteils	Was steht der Verbesserung entgegen?	Bearbeitung im Team / mit Experten
Entwicklungsgeschichte des Problems	Was ist die Ursache des Nachteils? Wie wirkt der Nachteil?	
Andere zu lösende Probleme	Wann, wo und warum trat der Nachteil auf? Welche Probleme müssen auch gelöst werden, um den Nachteil auszuschalten?	

2 Beschreibung des idealen Endresultats		
Tätigkeit	Fragestellungen	Quelle / Werkzeug
Beschreibung des anzustrebenden idealen Endresultats		Idealitätskonzept der TRIZ / Bearbeitung im Team

3 Historie des Problems		
Tätigkeit	Fragestellungen	Quelle / Werkzeug
Wie wurde das Problem vorher gelöst?	Wurde das Problem von uns oder anderen schon einmal gelöst? Wie?	Phase 3 WA-Arbeitsplan / Bearbeitung im Team
Wie ist die Lösung? Kann diese übertragen oder abgewandelt werden?	Hat die bekannte Lösung Stärken / Schwächen? Wie muss diese Lösung angefasst werden?	

4 Verfügbare Ressourcen		
Tätigkeit	Fragestellungen	Quelle / Werkzeug
Verfügbare Ressourcen	Systemressourcen Informationsressourcen Funktionale Ressourcen Strukturressourcen Zeitliche Ressourcen Räumliche Ressourcen Stoffliche Ressourcen Energetische Ressourcen	Ressourcen-Konzept der TRIZ / Bearbeitung im Team

Bild 14: Innovationscheckliste

Die Modellierung erfolgt anhand der in Abschnitt 3.3 erläuterten aus sieben Schritten bestehenden Vorgehensweise. Kernelement sind hier die in Bild 9 dargelegten Fragestellungen. Die Problemformulierung wird auf zwei Arten gefördert.

- Diese Modellierung und der Prozess des Erarbeitens führt schon zu Erkenntniszuwächsen über die Funktionen und deren Interaktionen.
- Die Formulierung von Problemen und Widersprüchen wird durch die Untersuchung des Funktionsgraphen auf „charakteristische Konstellationen“ (siehe Bild 10) systematisiert.

Diese Formulierungen können dann mit Hilfe der adaptierten Innovationscheckliste in detaillierte Problembeschreibungen überführt werden.

4.2 Problemerkennntnis mit Hilfe der adaptierten Innovationscheckliste

Zur Integration des TRIZ-Werkzeugs „Innovationscheckliste“ in den Wertanalyse-Arbeitsplan muss diese Checkliste vereinfacht werden. In der modifizierten Form besitzt die Innovationscheckliste nur noch die in Bild 14 dargestellten vier Teilschritte, die in den Prozess der Problembeschreibung integriert werden.

Eine Voraussetzung für **Schritt 1** ist die Modellierung der integrierten Funktionenstruktur. Die Arbeitsweise des Systems und das Systemumfeld werden hierdurch deutlich.

Schritt 1 dient der Definition des Problems. Hier werden über die Anwendung der in den Bild 10 und 11 hinterlegten „charakteristischen Konstellationen“ Problemformulierungen und Widersprüche erarbeitet. Im Regelfall sind formulierte Widersprüche gegenüber „reinen“ Problemformulierungen vorzuziehen, da in der TRIZ die Auflösung eines Widerspruchs als die höchste Form der Problemlösung gilt (siehe Abschnitt 3.1.1.). Die weiteren Teilschritte dienen der Anreicherung der Problem- / Widerspruchsformulierung mit hilfreichen Informationen für die Erarbeitung von Lösungsansätzen. Gibt es mehrere Ansatzpunkte für Optimierungen, sollten die Schritte 2 bis 4 iterativ für jeden Ansatzpunkt einzeln durchlaufen werden.

Im **Schritt 2** wird das anzustrebende ideale Endresultat beschrieben. Diesem Schritt liegt die Ausrichtung auf die Idealität von technischen Systemen zugrunde (siehe Abschnitt 3.1.2). Im Wesentlichen stellt dabei die Definition des idealen Endresultats eine Denkübung für die Entwickler dar, mit der die Fokussierung auf die Verbesserung des Objekts in Richtung des „idealen Systems“ sichergestellt werden soll. Auch hier ist die gemeinsame Diskussion und Festlegung eines idealen Endresultats dem Problemverständnis und der Vorbereitung auf Lösungsideen in der Kreativphase förderlich.

In **Schritt 3** wird die Historie des Problems recherchiert. Im Falle eines vorher im Wesentlichen bekannten Problems können hier Informationen aus der Phase 3 des Wertanalyse-

Arbeitsplans bezogen werden. Ist dies nicht der Fall, müssen die Informationen durch die einzelnen Teilnehmer, evtl. zwischen einzelnen Teamsitzungen recherchiert werden.

Schritt 4 sieht das Zusammentragen aller in der Problemzone vorhandenen Ressourcen vor. Die Definition einer Problemzone dient der Eingrenzung aller relevanten Ressourcen. Die Problemzone wird dabei über die in der Problemformulierung hinterlegten Funktionen, also bspw. aus einem modellierten Widerspruch definiert. Alle an der Realisierung dieser Wirkungen (Funktionen plus Einflüsse) beteiligten Bauteile, Baugruppen etc. gehören zur Problemzone. Wenn keine weitere Analyse des Objekts (z.B. Funktionengewichtungen und / oder Funktionen-Kosten-Zuordnungen) vorgesehen ist, ist das Ende der adaptierten Innovationscheckliste gleichzeitig das Ende der Phase 4 des WA-Arbeitsplans.

4.3 Beispiel

Im folgenden Abschnitt wird anhand des Beispiels einer einfachen Kaffeemaschine der Prozess der Problemformulierung und der Überführung in die Kreativitätsphase exemplarisch durchgeführt. Dazu werden die einzelnen Schritte der adaptierten Innovationscheckliste durchlaufen und die erarbeiteten Informationen jeweils dargelegt. Bild 17 zeigt die für die Kaffeemaschine erarbeitete integrierte Funktionenstruktur.

Schritt 1 - Informationen über die Problemsituation:

Welches Problem soll gelöst werden?

Anhand der „charakteristischen Konstellationen“ in Bild 10 kann ein von der Funktion „Heißextraktion durchführen“ verursachter Widerspruch identifiziert werden. Mit Hilfe der ersten Standardformulierung aus Bild 11 kann man die Formulierung in Bild 15 hinschreiben.

Mechanismus oder Wirkweise des Nachteils

Widerspruch verursacht durch „Heißextraktion durchführen“

Wesentlicher Schritt der Erzeugung von Kaffee ist die Extraktion der Geschmacks- und In-

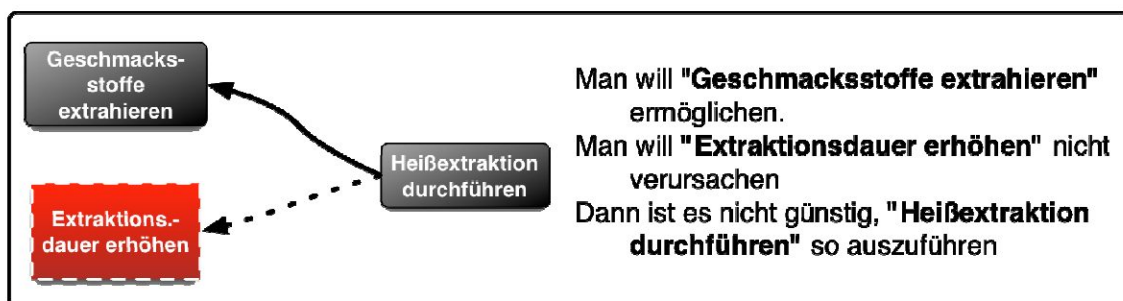


Bild 15: Widerspruchsformulierung für die Funktion „Heißextraktion durchführen“

haltsstoffe des Kaffees aus den gemahlenden Kaffeebohnen (Kaffeepulver). Durch den Extraktionsprozess werden nicht nur die gewünschten Geschmacksstoffe, sondern auch uner-

wünschte Bitter- und Gerbstoffe gelöst. Die Mengen steigen mit der Extraktionsdauer. Das gilt für die gewünschten und unerwünschten Stoffe.

Bei der zweiten Standardformulierung aus Bild 11 geht man von einer fiktiven Veränderung der drei beteiligten Funktionen aus. Bezieht man die beiden „Einflüsse“ der Funktion „Heißextraktion durchführen“ in die Formulierung ein, dann ergibt sich der Widerspruch in Bild 16

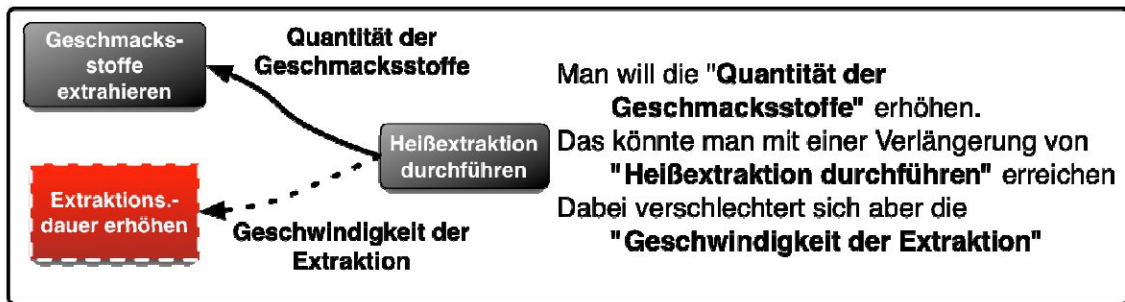


Bild 16: Weiterentwickelte Widerspruchsformulierung für die Funktion „Heißextraktion durchführen“

Entwicklungsgeschichte des Problems

Widerspruch verursacht durch „Heißextraktion durchführen“

Prinzipiell verursacht das Wirkprinzip „Extraktion durch Filtration und Schwerkraft“ das Problem. Das Wirkprinzip hat sich seit dem 18. Jahrhundert nicht geändert. Auch die Randbedingungen haben sich seitdem nicht verändert.

Andere zu lösende Probleme

Lässt sich die Weiterentwicklung eines Systems im Rahmen der Vorgaben so beeinflussen, dass die Ursachen des zu lösenden Problems ausgemerzt werden? Dabei könnten neue Probleme entstehen, die möglicherweise einfacher zu lösen sind [6].

Zum Beispiel könnte man anstatt der Lösung des Problems „Entfernen einer einen Knochenbruch fixierenden Schraube“ das Problem „komplikationsfreie Verträglichkeit der Schraube mit dem menschlichen Organismus“ lösen [6].

Widerspruch verursacht durch „Heißextraktion durchführen“

Im vorliegenden Beispiel ist die Verwendung des Wirkprinzips der Heißextraktion durch lsungsbedingenden Vorgaben vorgeschrieben. Aus diesem Grund ist eine Änderung des Wirkprinzips nicht vorgesehen und eine Definition anderer zu lösender Problem nicht sinnvoll.

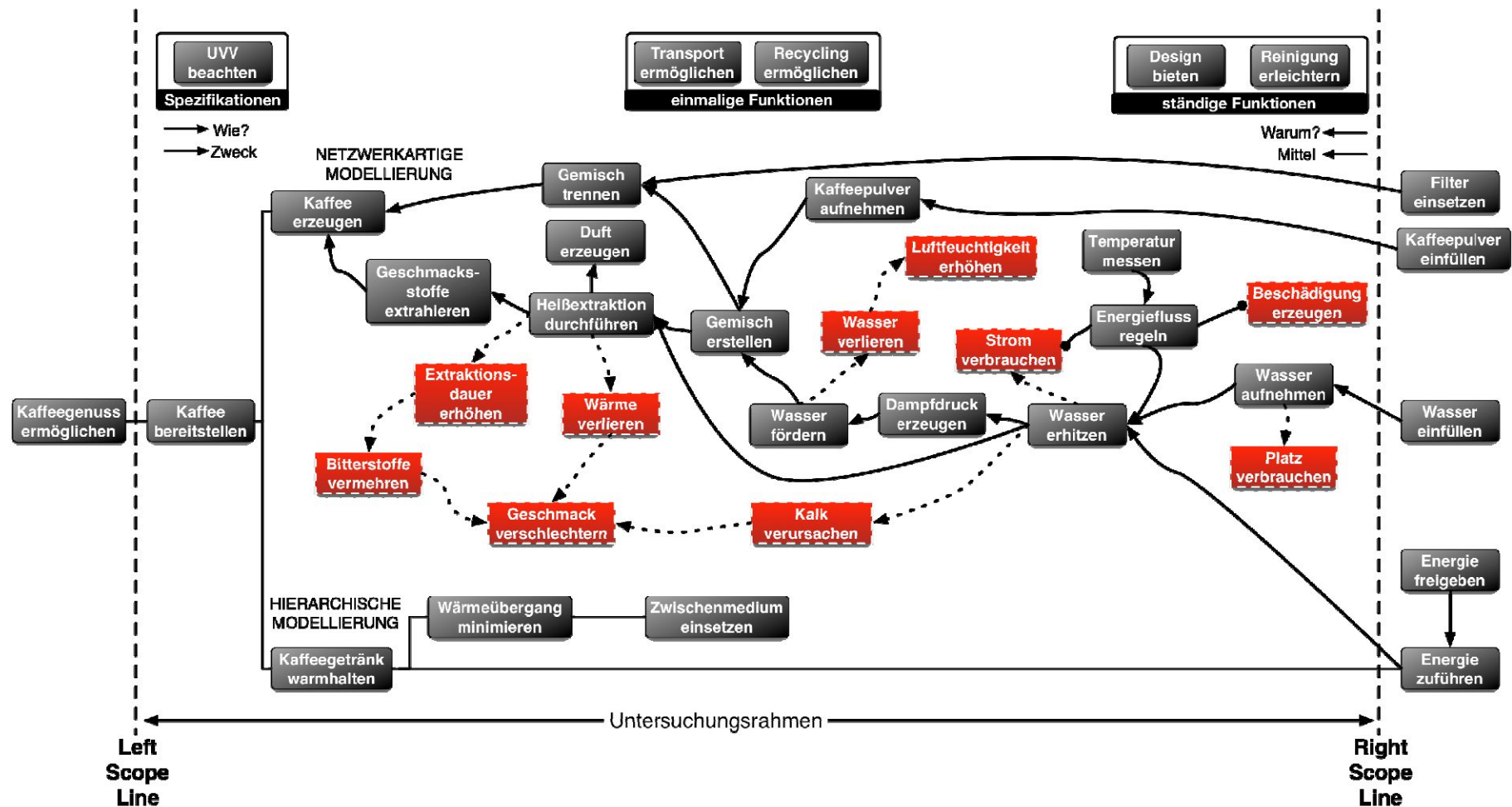


Bild 17: Integrierte Funktionenstruktur einer Kaffeemaschine

Schritt 2 - Beschreibung des idealen Endresultats:

Die ideale Kaffeemaschine würde nur die gewünschten Geschmacksstoffe extrahieren. Es entstehen keine Bitterstoffe. Es wird, keine Zeit benötigt und kein Strom, kein Wasser, kein Kaffee und kein Filtermaterial verbraucht. Es wird kein Abfall produziert.

Schritt 3 – Historie des Problems:

Wie wurde das Problem vorher gelöst?

Grundlegend wurde das Problem in Filterkaffeemaschinen bis jetzt gar nicht gelöst. Da bei der Heißextraktion immer Bitterstoffe auftreten, kann deren Entstehung nur minimiert werden.

Schritt 4 – Verfügbare Ressourcen:

Zunächst Konzentration auf die im Objekt bereits verfügbaren Ressourcen. Diese sollten als erstes bei der Entwicklung von Lösungsideen betrachtet werden.

Räumliche Ressourcen

- Bauraum des Filterbehälters
- Form des Filtereinsatzes
- Geometrie des Wasserzulaufs

Stoffliche Ressourcen

- Wasser (heiß)

Energetische Ressourcen

- Temperatur des Wassers

Informationsressourcen

- Messung der Temperatur des Wassers

Funktionale Ressourcen

Siehe integrierte Funktionenstruktur in Bild 17

Objektexterne Ressourcen

Stoffliche Ressourcen

- Material des Filters (Durchlässigkeit)
- Mahlgrad des Kaffeepulvers

Energetische Ressourcen

- Gravitation
- elektrische Energie

Funktionale Ressourcen

Siehe akzeptierte Funktionen in der integrierten Funktionenstruktur Bild 17

Übergang in die Phase der Kreativität

Das folgende Beispiel demonstriert die Nutzung der TRIZ-Widerspruchsmatrix zur Stimulierung der Erarbeitung von Lösungsideen. Ebenso können bereits bei der Durchführung der adaptierten Innovationscheckliste aufgekommene Ideen hier ausgearbeitet werden.

Identifizierung von technischen Parametern der Widerspruchsmatrix nach [7] aus dem im Bild 16 formulierten Widerspruch.

Identifizierte positive Parameter:

- 26 Stoffquantität

Identifizierte negative Parameter:

- 22 Geschwindigkeit
- 25 Zeitverluste

Identifizierung von sinnvollen Innovationsprinzipien

- 06 Nutzung mechanischer Schwingungen
- 14 Verwendung von pneumatischen oder hydraulischen Konstruktionen
- 15 Verwerfen und Regeneration von Teilen

Formulierung von Lösungsansätzen

Innovationsprinzip 06 – Nutzung mechanischer Schwingungen:

Einsatz einer Zentrifuge zur Extraktion des Kaffeegemisches

Innovationsprinzip 14 – Verwendung von pneumatischen oder hydraulischen Konstruktionen:

Verwendung von Druck zur Erhöhung der Geschwindigkeit des Extraktionsvorganges

Innovationsprinzip 15 – Verwerfen und Regeneration von Teilen:

Nutzung von Kaffeepads, die eine spezielle Form haben, die den Extraktionsvorgang begünstigt.

5. Schlussfolgerung

Der hier dargelegte Vorschlag zur Integration der Formen der Funktionenmodellierungen aus Wertanalyse und TRIZ systematisiert die Problemformulierung in der Phase 4 des Wertanalyse-Arbeitsplans. Dabei bietet die Rahmenstruktur des FAST-Diagramms in Verbindung mit der optionalen Einbindung zweier Typen der Funktionenstrukturierung die Ausgangsbasis für eine situationsgerechte adaptierbare Anwendung und genügt damit auch Anforderungen der Praxis nach Flexibilität. In Verbindung mit der Durchführung einer adaptierten Variante der Innovationscheckliste wird zudem eine systematische Problembeschreibung in die Vorgehensweise integriert. Das Beleuchten der Problemstellung aus verschiedenen Perspektiven ist hier insbesondere hilfreich und trägt zur späteren Erarbeitung von Lösungsideen bei.

6. Literatur

- [1] DIN EN 12973: Value Management. Deutsche Fassung EN 12973: 2000. Berlin: Beuth-Verlag 2002
- [2] Marchthaler, J. ; Wigger, T. ; Lohe, R: Innovatives Potenzial von Wertanalyse und Value Management. In: Maschinenbau - MB Revue 2008 Jahreshauptausgabe des Maschinenbau , 2008, S.30-33
- [3] VDI 2800: Wertanalyse. Berlin: Beuth-Verlag 2006
- [4] Akiyama, K.: Funktionenanalyse – Der Schlüssel zu erfolgreichen Produkten und Dienstleistungen. Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1994
- [5] Fey, V.; Rivin, E.: Innovation on Demand. Cambridge: Cambridge University Press 2005
- [6] Herb, R. (Hrsg.); Terninko J.; Zusman A.; Zlotin B.: TRIZ - Der Weg zum konkurrenzlosen Erfolgsprodukt. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie 1998
- [7] Orloff, M.: Grundlagen der klassischen TRIZ. Berlin: Springer Verlag 2006
- [8] Zobel, D.: TRIZ für alle - Der systematische Weg zur Problemlösung, Expert Verlag, 2006
- [9] Altschuller, G. S.: Erfinden - Wege zur technischen Problemlösung. Cottbus: PI Planung und Innovation, Hrsg. Prof. Dr. M. Möhrle 1998
- [10] Klein, B.: TRIZ/TIPS - Methodik des erfinderischen Problemlösens. München: Oldenbourg Verlag 2002
- [11] Pannenbäcker, T.: Methodisches Erfinden in Unternehmen. Bedarf, Konzept, Perspektiven für TRIZ-basierte Erfolge. Wiesbaden: Gabler 2001
- [12] Linde, H. J.; Hill, B.: Erfolgreich erfinden: Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure. Darmstadt: Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag, 1993
- [13] Mann, D.; Dewulf., S.; Zlotin, B.; Zusman, A.: Matrix 2003 – Updating the TRIZ Contradiction Matrix. Leper: CREAX nv 2003
- [14] Mann, D.: Hands-on systematic Innovation. Leper: CREAX 2002
- [15] Müller, S.: Methodisches Erfinden im Personalmanagement, Erfolgreiche Anpassung TRIZ-basierter Werkzeuge, Dissertation Universität Bremen. Deutscher Institutsverlag 2006
- [16] VDI 2803 - Funktionsanalyse. Berlin: Beuth-Verlag, 1996
- [17] Gimpel, B.; Herb, T.; Herb, R.: Ideen finden, Produkte entwickeln mit TRIZ. München: Hanser-Verlag 2000

- [18] Wenzke, S.: Flexible Gestaltung des Analyseprozesses technischer Probleme mit TRIZ-Werkzeugen, Dissertation Universität Bremen, Deutscher Universitätsverlag 2003
- [19] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. München: Springer Verlag, 2. Auflage, 2006
- [20] EN 1325-1: Value Management, Wertanalyse, Funktionenanalyse Wörterbuch. Teil 1:Wertanalyse und Funktionenanalyse. Deutsche Fassung. Brüssel: Europäisches Institut für Normung (CEN), 1996
- [21] Bytheway, C.: FAST- an organized stimulus to applied creativity. Salt Lake City, 1965, in: Lawrence D. Miles Value Engineering Reference Center. Universität Wisconsin-Madison: Wendt Library, erschienen im Internet:
(http://wendt.library.wisc.edu/miles/ve_studies/vecwfas.pdf)
- [22] Ideation International Inc., Innovation WorkBench. Version 2.8, Softwareapplikation, Southfield: Ideation International Inc. 2000
- [23] Möhrle, M. G.; Wenzke, S.: Exploring Problems with Function Analysis. Experimental Insights for Team Management, in: Creativity and Innovation Management, H.2, 15. Jg., 2006,
- [24] Gundlach, C.; Nähler, H.T.: TRIZ-Theorie des erfinderischen Problemlösens, 0488.01.01 - Symposium Publishing 2005