

# Erfinderungen leicht gemacht? Anwendung der Methode TRIZ in der Kautschukverarbeitenden Industrie

J. Schiemann\*

*TRIZ ist eine Problemlösungsmethode, die in den 50er Jahren von dem russischen Ingenieur Altschuller entwickelt wurde. Sie ist für die innovative Lösung schwieriger Aufgaben geeignet und kann auch in die Methoden 8D und DMAIC integriert werden. Die Grundzüge der Methode werden mit Hilfe von Beispielen erläutert. Die Anwendung der Methode eignet sich besonders gut für die Kautschuktechnologie. Es wird gezeigt, wie dazu die Probleme systematisch aufgearbeitet werden und die Lösungsbausteine angepasst werden müssen.*

*TRIZ is a problem solving method that has been developed by the Russian engineer Altschuller in the fifties. It is applicable for innovative solutions of difficult tasks and can be integrated in the methods 8D and DMAIC. The basics of the method will be explained by examples. This method can be used in the rubber technology. It is shown how the problems have to be treated systematically and the problem solving method has to be fitted for the use in the rubber technology.*

## 1. Einführung

### 1.1 Entwicklung der Methode TRIZ

Hinter TRIZ verbirgt sich eine systematische Vorgehensweise für das Erarbeiten innovativer Lösungen.

Der etwas außergewöhnliche Name TRIZ entstand aus der russische Bezeichnung **Theorija Reschija Izobretatel'skich Zadac.** Nachvollziehbarer ist die Abkürzung aus der englischen Beschreibung „theory of inventive problem solving“. Dort wird sie danach auch TIPS genannt. Im Deutschen hat sich die Bezeichnung „Theorie des erfinderischen Problemlösens“ eingebürgert.

Vater der Methode ist der russische Ingenieur Genrich Saulowitsch Altschuller.

Nach Abschluss der Militärakademie arbeitete er in einem sowjetischen Patentamt. Aus dem Studium der eingegangenen Patentanmeldungen und der Bewertung der

Lösungen erkannte er eine Systematik des Erfindens. Daraus entwickelte er ein methodisches Vorgehen.

Nach ersten Veröffentlichungen in den 50er Jahren wurde TRIZ von Altschullers Schülern immer weiter entwickelt [1].

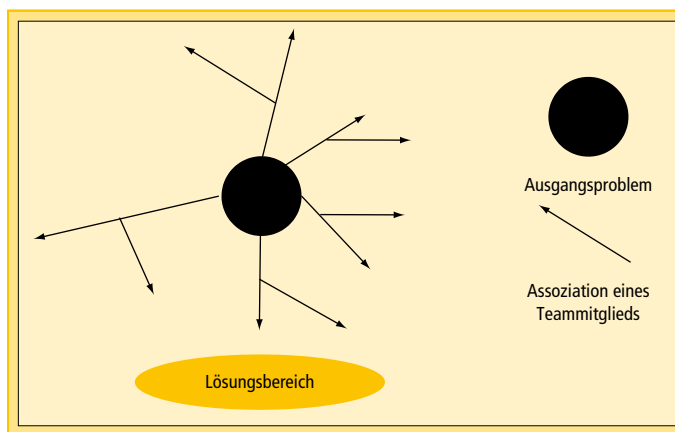
Heute ist die Methode zwar nicht sehr verbreitet, aber in Großunternehmen wie VW und Siemens durchaus etabliert. TRIZ gehört somit auch zum Methodenbaukasten, welcher vom VDA-QMC empfohlen wird [2, 3].

### 1.2 TRIZ im Vergleich zu anderen Problemlösungsmethoden

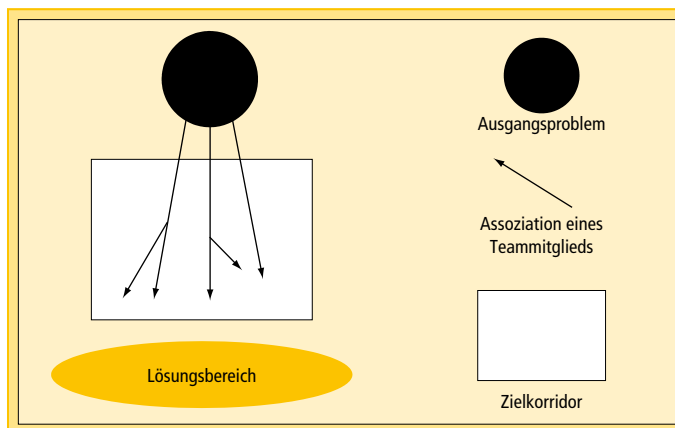
TRIZ kann man in die Gruppe der Kreativmethoden einordnen. Es wird besonders für die Findung innovativer Lösungen von Problemen eingesetzt.

Anders als beim klassischen Brainstorming kann man die Vorgehensweise beim TRIZ jedoch als gelenkte Kreativität bezeichnen.

Grundlage sind in allen Fällen die Assoziationsmuster in den Gehirnen der Teammitglieder. Diese sind durch die persönlichen Erfahrungen geprägt und daher individuell. Beim klassischen Brainstorming werden ganz



**Abb. 1:** Assoziationen bei klassischen Brainstormingmethoden



**Abb. 2:** Assoziationen beim Brainstorming nach TRIZ

\* Dr. Jan Schiemann,  
kontakt@schiemann-consulting.de  
Schiemann Consulting, Glinde

unterschiedliche Assoziationsmuster bei den Teammitgliedern angesprochen (Abb. 1). Die Vielfalt der kreativen Gedanken geht in alle Richtungen. Das mag durchaus gewollt sein, eine teamorientierte Lösungsfindung erfolgt jedoch eher zufällig.

Bevor der Brainstormingprozess bei TRIZ in Gang gesetzt wird, erfolgt eine sehr sys-

tematische und zielorientierte Problemaufbereitung. Die dadurch angesprochenen Assoziationsmuster sind zwar weiterhin individuell, doch sie befinden sich in einem Korridor (Abb. 2). Es bleibt noch in hohem Maße Spielraum für kreative Ideen, diese sind im Problemfindungsprozess allerdings gelenkt. Bei TRIZ ist es dadurch auch viel eher möglich, die bei der Brainstormingthe-

orie erwünschte, gegenseitige Ergänzung der Teamgedanken zu realisieren, da auch die Assoziationsmuster gegenseitig angesprochen werden. Lösungen werden so schneller erarbeitet.

TRIZ kann sehr gut in den klassischen Problemlösungsprozess der Kfz-Industrie (8D-Methode) integriert werden (Abb. 3). Der 8D-Prozess wird bei der systematischen Abarbeitung von Kundenbeanstandungen innerhalb der Kfz-Lieferkette vorgegeben. Die Erfahrung zeigt, dass innerhalb der 8D-Systematik sehr schnell notwendige Sofortmaßnahmen eingeleitet und auch gemäß den Vorgaben dokumentiert werden (Schritt 1 bis 3). Die weiter geforderte systematische Analyse der Ursachen für die Beanstandung und die daraus sich ergebenden grundlegenden Abstellmaßnahmen (Schritt 4 und 5) werden jedoch in der Regel nicht befriedigend abgearbeitet. Als Folge treten dann Wiederholungsbeanstandungen auf.

Bei komplexen Themen kann man die TRIZ-Methodik anwenden, um das Problem systematisch zu analysieren und zielgerichtet Lösungen zu erarbeiten.

TRIZ kann ebenfalls verwendet werden, um die Six-Sigma-Methode DMAIC (= define measure analyse improve control) zu ergänzen. Die Forschungsgemeinschaft Qualität (FQS) hat in ihrem Projekt IPO (Innovative Prozesskettenoptimierung) TRIZ in die DMAIC-Methodik integriert [4]. Eine sinnvolle Einbindung von TRIZ und DMAIC in die 8D-Methode ist in **Abbildung 3** grün hinterlegt.

## 2. Vorgehensweise von TRIZ

Für die Anwendung von TRIZ wurde ein umfangreicher Methodenbaukasten entwickelt. Bei dieser Veröffentlichung soll das Prinzip von TRIZ erläutert, sowie auf die Besonderheit der Anwendung in der kautschukverarbeitenden Industrie eingegangen werden. Für weiter Interessierte sei auf die Literatur verwiesen [1 – 4].

Die Vorgehensweise bei TRIZ lässt sich am ehesten anhand von drei Schritten erläutern:

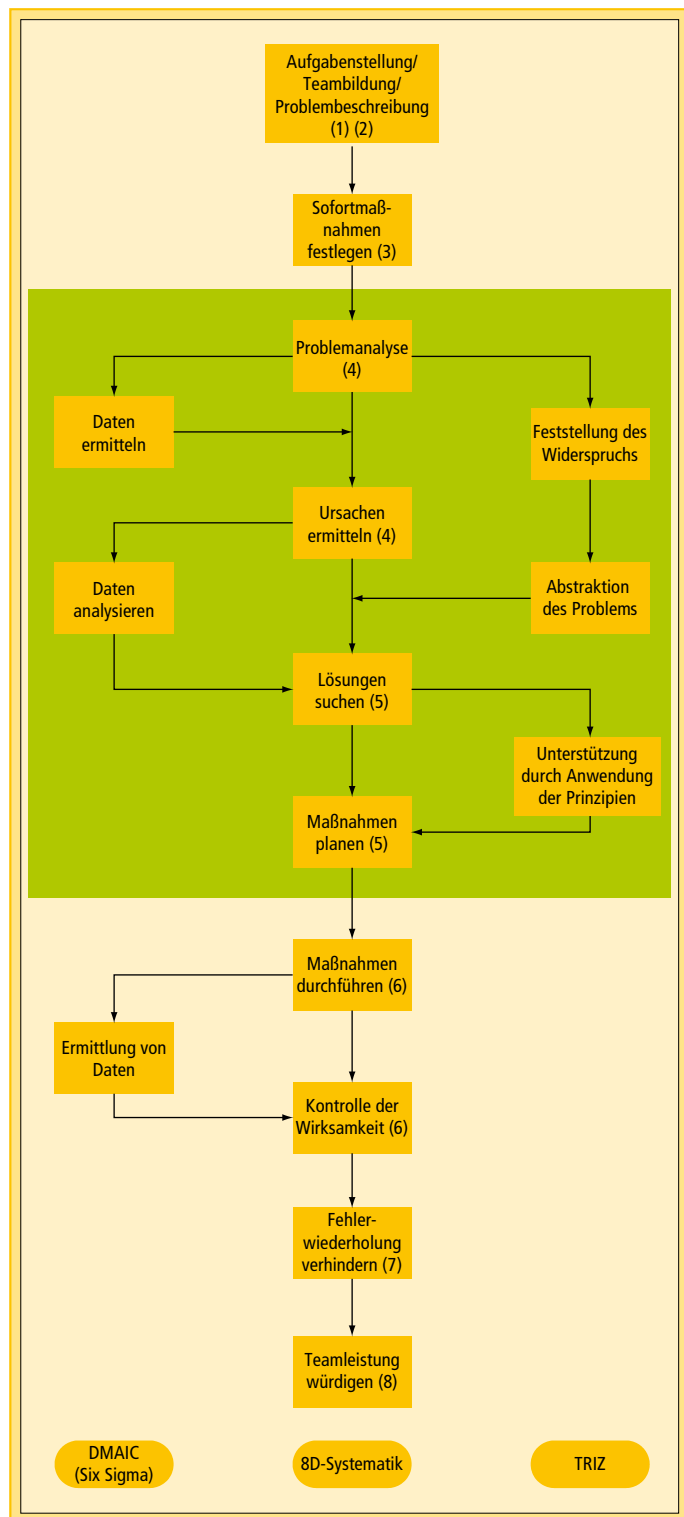


Abb. 3: Vergleich der Problemlösungsmethoden

- Problemaufbereitung mit Feststellung des Widerspruchs
- Abstraktion des Problems
- Lösungsfindung

In **Abbildung 4** ist ein vereinfachter Ablauf dargestellt.

Die Vorgehensweise wird anhand eines klassischen Beispiels aus der TRIZ-Literatur [4] erläutert: Ein Sessellift an einem Ski-Ort soll so konstruiert werden, dass zum einen ein schneller Transport der zahlenden Gäste erreicht wird und zum anderen der Ein- und Ausstieg möglichst sicher erfolgen kann.

### 2.1 Problemaufbereitung mit Feststellung des Widerspruchs

Bei vielfältigen Problemen muss zunächst einmal eine Priorisierung erfolgen. Sodann klärt man die Ebene, auf der man das Thema betrachten will. Wenn wir beim elastomeren Werkstoff ein Problem des Abriebs lösen wollen, dann müssen wir uns im Klaren darüber sein, ob wir Kräfte zwischen dem Reibbelag und dem kompakten Gummikörper betrachten wollen oder die Ebene der Wechselwirkung zwischen dem aktiven Füllstoffteilchen und dem Kautschukmolekül verlagern wollen.

Ein wichtiger Schritt der Problemaufbereitung ist die Feststellung des Widerspruchs. Hier versteckt sich die Grunderkenntnis von Altschuller. Er unterschied eine Erfindung von einer Optimierung. Bei einer Erfindung muss im Gegensatz zu einer reinen Optimierung ein Widerspruch gelöst werden.

Das Problem stellt sich zunächst so dar, dass zur Lösung mehrere Parameter gleichzeitig geändert werden müssen, die sich jedoch gegenläufig beeinflussen.

Eine klassische Lösung versucht einen Kompromiss bei der Optimierung dieser gegenläufigen Parameter zu finden. Bei der Lösung nach TRIZ wird der Widerspruch identifiziert. Dessen Überwindung ist der Kern der Lösung.

Bei unserem Beispiel liegt der Widerspruch in der Zeit: ich kann nicht gleichzeitig den Sessellift schnell fahren lassen, um den

schnellen Transport zu ermöglichen und ihn für den sicheren Ein- und Ausstieg langsam fahren lassen.

Wir kennen derartige Widersprüche in der Kautschuktechnik. Beispiele dafür sind:

- Gegenläufigkeit von Ausheizgrad und Weiterreißfestigkeit
- Haftungsverschlechterung bei Einsatz von Wachsen zur Ozonschutzverbesserung
- Verschlechterung der Kälteflexibilität bei Polymeren durch Erhöhung der Konzentration einer quellbeständigen Komponente.

### 2.2 Abstraktion des Problems

Um in unseren Gedankengängen viele Assoziationsmuster anzusprechen, muss man das Problem möglichst allgemein formulieren.

Bei der Abstraktion spricht man dann nicht mehr von den konkreten Interaktionspartnern, sondern man beschreibt die Situation mit Hilfe von Kräften, Geschwindigkeiten und Bewegung von Molekülen.

Bei unserem Sessellift kann man die abstrakte Formulierung folgendermaßen gestalten: Ein Objekt soll sich ungebremst schnell bewegen (Transport) und gleichzeitig langsam bewegen, um eine weitere Aktion (Ein- und Ausstieg) zu ermöglichen.

### 2.3 Lösungsfindung mit Hilfe der Prinzipien

Nachdem das Problem in der Art aufbereitet worden ist, wird im Team nach kreativen Lösungsmöglichkeiten gesucht. Dazu bedient sich jedes Teammitglied bewusst oder unbewusst der Lösungsbeispiele aus seinem Erfahrungsschatz. Durch Ordnung von verschiedensten Beispielen in Kategorien gelingt es, diesen Prozess zu systematisieren und die kreativen Gedanken zu lenken.

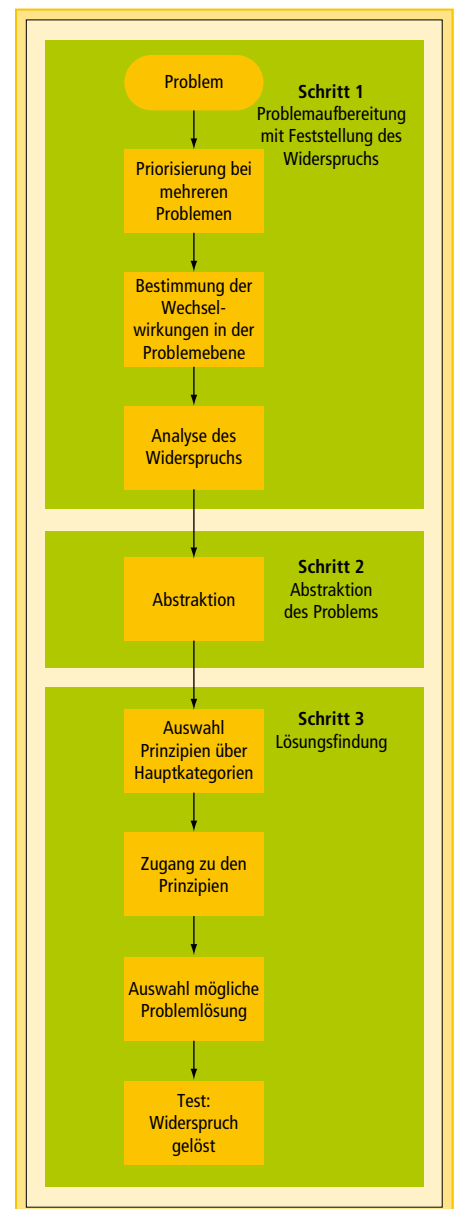
## 3. Die 40 Prinzipien

Altschuller hat dieses Vorgehen systematisiert, indem er die Lösungen von über 250 000 Patenten 40 Prinzipien zuordnete.

In **Tabelle 1** sind diese aufgeführt. Zum Einstieg zu jedem Prinzip gibt es Leitlinien, die die Prinzipien erläutern. Die Prinzipien lassen sich in die Kategorien Räumlich, Zeitlich, Stofflich und Übergeordnet einteilen. Diese werden genutzt, um geeignete Prinzipien zur Lösung des abstrahierten Problems auszuwählen.

Auf den ersten Blick erscheinen jetzt Prinzipien der Kategorie Räumlich nicht zur Problemlösung bei chemischen Problemen zu passen. Dies kommt in Wirklichkeit aber genau auf die Betrachtungsweise an: bei sterischen Fragen auf Molekularebene schaut man sich sehr wohl räumliche Pro-

Abb. 4: Vorgehensweise bei TRIZ



Tab. 1: Übersicht der 40 Prinzipien

Prinzip			Beschreibung Leitlinien	Beispiel
Nr.	Bezeichnung	Kategorie		
1	Zerlegung	Räumlich	1. Zerlege das Objekt in unabhängige Teile 2. Führe das Objekt zerlegbar aus 3. Erhöhe den Grad an Unterteilung	Durch Verwendung von zwei Peroxiden kann die Entformung von EVM-Mischungen verbessert werden, ohne das Elastomereigenschaftenbild zu verschlechtern. Die beiden verwendeten Peroxide (DiCup und TOP50) reagieren unabhängig voneinander.
2	Abtrennung	Räumlich	1. Entfernung oder Abtrennung des störenden Teils eines Objekts 2. Den notwendigen Teil bzw. die wesentliche Eigenschaft alleine nutzen	Cold-Temperung: Vorgeschlagene Tempermethode für Siliconartikel. Die geheizten Teile werden mit Kohlendioxid unter Druck gewaschen und freie Siliconöle reduziert.
3	Örtliche Qualität	Räumlich	1. Übergang von homogener Struktur des Objekts zu einer heterogenen Struktur 2. Die verschiedenen Teile eines Systems sollen verschiedene Funktionen erfüllen	Erhöhung der Diffusionsbeständigkeit von Wasser durch Einsatz inerter Füllstoffe. Der Querschnitt der Permeationsfläche wird verringert, da die Wassermoleküle um die Füllstoffteilchen herumwandern müssen.
4	Asymmetrie	Räumlich	1. Ersetze symmetrische Formen durch asymmetrische 2. Erhöhe den Grad an Asymmetrie, wenn diese schon vorliegt	Prinzip der Tomografie: Räumliche Informationen, indem ein Magnetfeld mit einem zusätzlichen Magnetfeld überlagert wird, welches in einer Raumrichtung linear zunimmt.
5	Vereinen	Räumlich oder Zeitlich	1. Gruppieri gleichartige oder zur Zusammenarbeit bestimmte Objekte räumlich zusammen 2. Vertakte gleichartige oder zur Zusammenarbeit bestimmte Objekte, d. h. koppelte sie zeitlich	Gürtelreifen mit endlos aufgewickeltem Stahldraht haben längere Lebensdauer (InfiniCoil Technologie).
6	Universalität	Übergeordnet	Das Prinzip erfüllt mehrere Funktionen, wodurch andere Systeme oder Objekte überflüssig werden	Heutige Waschmittel erfüllen sowohl die Schmutzlösfunktion als auch die Bleichfunktion (mit Natriumpercarbonat). Ein Bleichvorgang wie früher fällt fort.
7	Verschachtelung	Räumlich	1. Ein Objekt befindet sich im Innern eines anderen Objekts, das sich ebenfalls im Innern eines dritten befindet. 2. Ein Objekt passt in oder durch den Hohlraum eines anderen	Chirurgie mit Hilfe der Endoskopietechnik
8	Gegengewicht	Räumlich	1. Das Gewicht des Objekts kann durch Kopplung an ein anderes, entsprechend tragfähiges Objekt kompensiert werden 2. Das Gewicht des Objekts kann durch aerodynamische oder hydraulische Kräfte kompensiert werden	Aufzug mit Gegengewicht
9	Vorgezogene Gegenaktion	Zeitlich	1. Vor der Ausführung einer Aktion muss eine erforderliche Gegenaktion vorab ausgeführt werden 2. Muss ein Objekt in Spannung sein, dann muss vorab die Gegenspannung erzeugt werden	Um bei Endlospressen eine saubere Trennung von vulkanisiertem und unvulkanisiertem Bereich zu gewährleisten, kühlen spezielle Heizplatten die Einlaufzone.
10	Vorgezogene Aktion	Zeitlich	1. Führe die notwendige Aktion teilweise oder ganz im voraus aus 2. Ordne Objekte so an, dass sie ohne Zeitverlust vom richtigen Ort aus arbeiten können	Qualitätssicherung beim Anfahrvorgang: bei hohen Anforderungen ist das Hydrauliköl auf Betriebstemperatur zu bringen.
11	Vorbeugemaßnahme	Zeitlich	1. Kompensiere die schlechte Zuverlässigkeit eines Systems durch vorher ergriffene Gegenmaßnahmen 2. „Vorher untergelegte Kissen“	Bei IM kühlt an der Kernoberfläche die Schmelze ab. Dieses kann durch eine Kernheizung verbessert werden.
12	Äquipotenzial	Räumlich	Verändere die Bedingungen so, dass das Objekt mit konstantem Energiepotenzial arbeiten kann, also bspw. weder angehoben noch abgesenkt werden muss	Senkung des Aktivierungspotenzials bei chemischen Reaktionen durch Katalysatoren.
13	Umkehr	Übergeordnet	1. Implementiere anstelle der durch Spezifikation diktierten Aktion die genau gegenteilige Aktion 2. Mache ein unbewegtes Objekt beweglich oder ein bewegtes Objekt unbeweglich 3. Stelle das System „auf den Kopf“, kehre es um	Abrasives Reinigen von Teilen durch Vibration der Teile selbst statt durch Vibration des Abrasivums.
14	Krümmung	Räumlich	1. Ersetze lineare Teile oder flache Oberflächen durch gebogene, kubische Strukturen durch sphärische 2. Benutze Rollen, Kugeln, Spiralen 3. Ersetze lineare Bewegungen durch rotierende, nutze die Zentrifugalkraft aus	Eine PC-Maus benutzt eine Kugelkonstruktion zur Umsetzung einer linearen, biaxialen Bewegung in einen Vektor.
15	Dynamisierung	Zeitlich	1. Gestalte ein System so, dass es sich automatisch unter allen Betriebszuständen auf optimale Performance einstellt 2. Zerteile ein System in Elemente, die sich untereinander optimal arrangieren können 3. Mache ein unbewegliches Objekt beweglich	Bei Brillengläsern ändern Metallsalze ihren Bindungszustand unter Lichteinwirkung und werden dadurch dunkler (Eu-, Ce-, Ti-, AgCl-Verbindungen)
16	Partielle oder überschüssige Wirkung	Übergeordnet	Wenn es schwierig ist, 100 % einer geforderten Funktion zu erreichen, verwirkliche etwas mehr oder weniger, um so das Problem deutlich zu vereinfachen.	Nachlaufzeit bei Weichmacherzugabe: Durch eine vom System vorgegebene Nachlaufzeit werden Restmengen in der Einspritzphase von Ölwaage und Ölnachlaufbehälter sicher zur Mischung befördert.
17	Höhere Dimension	Räumlich	1. Umgehe Schwierigkeiten bei der Bewegung eines Objekts entlang einer Linie durch eine zweidimensionale Bewegung (in einer Ebene) 2. Ordne Objekte in mehreren statt in einer Ebene an 3. Platziere das Objekt geneigt oder kippe es 4. Nutze Projektion in die Nachbarschaft oder auf die Rückseite des Objekts	Datenprojektion als Montagehilfe: Bei der Montage wird auf das Bauteil, welches mit einer Kamera aufgenommen wird, eine Bauzeichnung projiziert. Wichtige Montageschritte sind eingezeichnet. Die durchgeführten Schritte werden fotografisch protokolliert.
18	Mechanische Schwingungen	Zeitlich	1. Versetze ein Objekt in Schwingungen 2. Oszilliert das Objekt bereits, erhöhe die Frequenz 3. Benutze die Resonanzfrequenz(en) 4. Piezovibration 5. Ultraschall zusammen mit elektromagnetischen Feldern	Rastertunnelmikroskopie – Bewegung der Spitze: Sie erfolgt mit Piezokeramiken wie Bariumtitanat. Durch Anlegen einer Spannung können Bewegungen bis hin zum Sub-Ångström-Bereich erzeugt werden.
19	Periodische Wirkung	Zeitlich	1. Übergang von kontinuierlicher zu periodischer Wirkung 2. Liegt bereits eine periodische Aktion vor, verändere deren Frequenz 3. Benutze Pausen zwischen einzelnen Impulsen, um andere Aktionen einfügen zu können	ABS
20	Kontinuität	Zeitlich	1. Führe eine Aktion ohne Unterbrechung aus, alle Komponenten sollen ständig mit gleichmäßiger Belastung arbeiten 2. Schalte Leerläufe und Unterbrechungen aus.	Bei der Rapid-Cure-Technologie wird die Masse komplett aus der Düse ins Werkzeug gespritzt. Es verbleibt in der Düse kein Restmaterial, das anvulkanisieren könnte. Somit kann eine homogene Temperaturverteilung der Masse beim Einspritzen realisiert werden.

Prinzip			Beschreibung Leitlinien	Beispiel
Nr.	Bezeichnung	Kategorie		
21	Überspringen	Zeitlich	1. Führe schädliche oder gefährliche Aktionen mit sehr hoher Geschwindigkeit durch	Bolzensezgeräte schießen Nägel in Beton oder Stahl.
22	Schädliches in Nützlichem verwandeln	Übergeordnet	1. Nutze schädliche Faktoren oder Effekte - speziell aus der Umgebung positiv aus 2. Beseitige den schädlichen Effekt durch Kombination mit einem anderen schädlichen Faktor 3. Verstärke einen schädlichen Effekt soweit, bis er aufhört, schädlich zu sein	Temperaturreduzierung von Glasschmelze durch Netzwerkwandler. Das sind vor allen Dingen Alkalimetalloxide sowie CaO, SrO und BaO. Sie vermindern die dreidimensionale Vernetzung durch Bildung von Trennstellensauerstoff. Dadurch wird die Schmelztemperatur um mehrere 1 000 °C herabgesetzt.
23	Rückkopplung	Übergeordnet	1. Führe eine Rückkopplung aus 2. Ist eine Rückkopplung vorhanden, ändere sie oder kehre sie um	Bei Schädel- oder Rückenmarksoperationen wird der Fräskopf vor Erreichen empfindlichen Gewebes gewarnt. Dazu misst er die Schwingungen, die auf die Umgebung übertragen werden. In der Nähe von elastischem Material werden diese geschluckt.
24	Nutzung eines Mediators/ Vermittlers	Übergeordnet	1. Nutze ein Zwischenobjekt, um die Aktion weiterzugeben oder auszuführen 2. Verbinde das System zeitweise mit einem anderen, leicht zu entfernenden Objekt.	Die Verwendung von einfachen Aminen erzeugt durch das ausgefallene Ammoniumchlorid schwer handhabbare Suspensionen. Durch Verwendung der Hilfsbase 1-Methylimidazol entsteht die ionische Flüssigkeit Methylimidazoliumchlorid. Diese lässt sich als unmischbare flüssige Phase leicht vom Reaktionsgemisch abtrennen.
25	Selbstversorgung	Übergeordnet	1. Das System soll sich selbst bedienen und Hilfs- sowie Reparaturfunktionen selbst ausführen 2. Nutze Abfall und Verlustenergie	Kerzendochte werden mit Phosphaten und Borsäure imprägniert. Dadurch entsteht am Ende eine Schmelzperle. Diese verhindert ein Abfallen von Ascheteilen in das flüssige Wachs sowie das Nachglühen der Dochtspitze nach dem Ausblasen
26	Kopieren	Übergeordnet	1. Nutze eine billige, einfache Kopie anstatt eines komplexen, teuren, zerbrechlichen oder schlecht handhabbaren Objekts 2. Ersetze ein System oder Objekt durch eine optische Kopie oder Abbildung. Hierbei kann der Maßstab verändert werden 3. Gehe zu infraroten oder ultravioletten Abbildern über	DNA - Analytik mit PCR = Polymer Chain Reaction = Polymerase-Kettenreaktion. Automatische vervielfältigung in vitro gezielter DNA-Sequenzen. Vielfältige Anwendung auch z. B. auch in der Paläontologie, da man auch mit vereinzelt DNA-Strängen (Saurierblut im Mückenstachel) arbeiten kann.
27	Billige Kurzlebigkeit	Übergeordnet	Ersetze ein teures System durch ein Sortiment billiger Teile, wobei auf einige Eigenschaften (Langlebigkeit bspw.) verzichtet wird	MPEG-Verfahren zur erheblichen Reduzierung von Datenmengen bei Videosequenzen.
28	Mechanik ersetzen	Übergeordnet	1. Ersetze ein mechanisches System durch ein optisches oder akustisches System 2. Benutze elektrische, magnetische, oder eine Kombination aus beiden. Ersetze Felder: stationäre durch bewegliche, konstante durch periodische, strukturelose durch strukturierte	Druckmessung mit Hilfe von Rubinkristallen: Rubin fluoresziert. Die Wellenlängen verschieben sich zu hohen Werten bei steigendem Druck.
29	Pneumatik und Hydraulik	Übergeordnet	Ersetze feste, schwere Teile eines Systems durch gasförmige oder flüssige. Nutze Wasser oder Luft zum Aufpumpen, Luftkissen, hydrostatische Elemente	Airbags fangen den Impuls bei einem Crash auf und sorgen so für vermindertes Verletzungsrisiko
30	Flexible Hüllen und Filme	Stofflich	1. Ersetze übliche Konstruktionen durch flexible Hüllen oder dünne Filme 2. Isoliere ein Objekt von der Umwelt durch einen dünnen Film oder eine Membran	Rostfreier Stahl entsteht, indem man ihn so legiert, dass er eine dünne, undurchlässige Oxidschicht ausbildet.
31	Poröse Materialien	Stofflich	1. Gestalte ein Objekt porös oder füge poröse Materialien (Einsätze, Überzüge...) hinzu 2. Ist ein Objekt bereits porös, dann fülle die Poren vorab mit einem vorteilhaften Stoff	Größere Weichmachermengen über Up-Side-Down einmischen
32	Farbveränderung	Stofflich	1. Verändere die Farbe oder Durchsichtigkeit eines Objektes oder der Umgebung 2. Nutze zur Beobachtung schlecht sichtbarer Objekte oder Prozesse geeignete Farbzusätze 3. Setze Leuchtstoffe, lumineszente oder anderweitig markierte Substanzen ein	Nutzung der Lumineszenz bei der Analyse der Deformation von Kunststoffen
33	Homogenität	Stofflich	Fertige interagierende Objekte aus demselben oder aus ähnlichem Material	Schwer einmischbare Füllstoffe werden mit Kautschuk angebackt, damit sie beim Mischen besser verteilt werden.
34	Beseitigung und Regeneration	Übergeordnet	1. Beseitige und verwerte (ablegen, auflösen, verdampfen) diejenigen Teile des Systems, die ihre Funktion erfüllt haben oder unbrauchbar geworden sind 2. Stelle verbrauchte Systemteile unmittelbar – im Arbeitsgang – wieder her	Bei Halogenleuchtlampen sind im Glaskolben Halogen und Sauerstoff zugesetzt. An der Glaskolbenwand entstehen flüchtige Wolframoxihalogenide, die wieder zur Wendel wandern, sich dort zersetzen und so beschädigte Wendelbereiche wieder reparieren. So können höhere Wendeltemperaturen genutzt werden.
35	Eigenschaftsänderung	Stofflich	Ändere den Aggregatzustand eines Objekts: fest, flüssig, gasförmig, aber auch quasiflüssig oder ändere andere Eigenschaften wie Konzentration, Dichte, Elastizität, Temperatur	Thermisch schaltbare Lösemittel: Substanzen wie Ethylenglykol-Polymere. Sie mischen sich bei erhöhter Temperaturen mit Lipophilen. Bei Raumtemperaturen kommt es durch Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen zu einer zweiten polaren Phase.
36	Phasenübergang	Stofflich	Nutze die Effekte während des Phasenübergangs einer Substanz aus: Volumenveränderung, Wärmeentwicklung oder -absorption	Tigelzucht eines Einkristalls nach dem Czochralskiverfahren. Es ist ein langsames Zonenschmelzverfahren. Die Verschmutzung verbleibt in der Schmelzphase.
37	Wärmeausdehnung	Stofflich	1. Nutze die thermische Expansion oder Kontraktion von Materialien aus 2. Benutze Materialien mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten	Wenn Turbinenräder sich erhitzen, dann dehnen sie sich aus und drohen, das Gehäuse zu berühren. Wenn das Gehäuse durch erhitze Luft erwärmt wird, ist der Unterschied im Ausdehnungseffekt geringer.
38	Starke Oxidationsmittel	Stofflich	1. Ersetze normale Luft durch sauerstoffangereicherte Luft 2. Ersetze angereicherte Luft durch reinen Sauerstoff 3. Setze Luft oder Sauerstoff ionisierenden Strahlen aus 4. Benutze Ozon	Bei Küpenfarbstoffen erfolgte die Rückoxidation der Leukoform in die oxidierte Farbform beim Trocknen mit Luftsauerstoff. Das Ergebnis war erst spät im Prozess sichtbar und konnte nur schwer korrigiert werden. Jetzt benutzt man Wasserstoffperoxid und kann das Ergebnis viel früher erkennen.
39	Inertes Medium	Stofflich	1. Ersetze die übliche Umgebung durch eine inerte 2. Führe den Prozess im Vakuum aus	Herstellung von Carbonfasern durch Pyrolyse unter Schutzgas.
40	Verbundmaterial	Stofflich	Ersetze homogene Stoffe durch Verbundmaterialien	Maldi-Technologie (matrix assisted laser desorption ionization) dient der schonenden MS-Analyse von Biomolekülen.

bleme oder die Wechselwirkung von Kräften an.

Über das Prinzip Asymmetrie lässt sich die Anwendung eines asymmetrischen Magnetfeldes als Voraussetzung der Tomografie einordnen. Zu jedem Prinzip ist in der Tabelle ein Beispiel beigefügt (**Tab. 1**).

Es gibt zahlreiche vorgefertigte Datenbanken, die Beispiele aus unterschiedlichen Bereichen enthalten. Es empfiehlt sich aber, diese für die eigenen Lösungen aufzubereiten und dem Anwenderbereich ansprechende Beispiele (z. B. aus dem modernen naturwissenschaftlich-technischen Gebiet) hinzuzufügen.

Sinnvoll ist es auch, eine derartige Datenbank unternehmensspezifisch als Wissensdatenbank aufzubauen. Die Kategorisierung nach Altschuller ist nicht zwingend vorgeschrieben sondern dient als Einstieg. Letztendlich sollte etwas erarbeitet werden, was zum Unternehmen passt.

Zur Lösung unseres Sesselliftbeispiels wählt man das Prinzip 1 der Zerlegung: Zum Aussteigen wird der Sessel vom Zugseil abgekoppelt und gebremst. Nach dem Einsteigen wird er wieder ans Zugseil gekoppelt und beschleunigt. Der Widerspruch in der Zeit wird durch ein Prinzip im Raum gelöst.

#### 4. Anwendung in der kautschukverarbeitenden Industrie

Wie bei der Anwendung in anderen Bereichen muss man bei Problemen in der kautschukverarbeitenden Industrie das Thema

einer Betrachtungsebene zuordnen. Hierzu kommen in Frage:

- Gummikörper – Außeneinfluss
- Elastomer – Füllstoffsystem – Vernetzungssystem
- Makromolekülbestandteile

Andere Ebenen können die Verarbeitbarkeit der Mischung oder die Konstruktion des Artikels betreffen. Im Folgenden werden zwei Beispiele für die Anwendung der TRIZ-Methode für Problemlösungen in der kautschukverarbeitenden Industrie erläutert.

##### 4.1 Beispiel 1: Guter Ozonschutz bei gleichzeitig guter Metallhaftung

Der Widerspruch liegt in der möglichen Barrierebildung der Ozonschutzwachse und dadurch Störung der notwendigen Diffusionsvorgänge bei der Ausbildung der Haftschiicht. Zur Abstraktion kann man die Problematik formulieren zu:

- Soll: Ausbildung einer Schutzschicht im Anwendungsfall
- Soll nicht: Ausbildung einer Störschicht bei einem Verarbeitungsschritt.

Durch diese Problemaufbereitung liegt die Lösung zum Teil auf der Hand.

Anders als beim Sesselliftbeispiel hat man ein Problem im Raum, welches man durch ein Prinzip in der Zeit lösen kann. Mögliche Lösungsansätze, wie sie ja auch in der Praxis angewendet werden, sind:

- a) Prinzip 15 – Dynamisierung: Auswahl von Ozonwachsen, die langsam ausdiffundie-

ren und somit während der Ausbildung der Bindungsschicht nicht stören

- b) Prinzip 13 – Eigenschaftsänderung: Auswahl von Ozonwachsen, die unter Bedingungen der Haftungs Ausbildung (im Allgemeinen während der Vulkanisation) in der Mischung gelöst sind.

Daneben kommt man aber auch zu innovativen Ansätzen, wie die Anwendung des Prinzips 2 (Abtrennung). Daraus würde sich als eine Möglichkeit die Bildung der Ozonwachse unter Vulkanisationsbedingungen ergeben.

##### 4.2 Beispiel 2: Reifenmischungen mit reduziertem Rollwiderstand und gutem Nassrutschverhalten

Dieses Beispiel ist klassisch für eine Widerspruchsformulierung bei elastomeren Werkstoffen. Als magisches Dreieck in die Literatur eingegangen besagt es, dass es nicht möglich ist, gleichzeitig den Abrieb, den Rollwiderstand und den Nassrutschwiderstand eines Reifens zu verbessern [5].

Die Problemlösungsebene liegt auf der Hand und behandelt die Wechselwirkungen zwischen Kautschukmolekülen, Füllstoffen und dem Vernetzungssystem. Schwierig wird es allerdings, die Problematik des magischen Dreiecks in die Problemlösungsebene zu übertragen.

Ein allgemein akzeptierter Ansatz läuft über das Verhältnis von Verlustmodul zu Speichermodul ( $\tan \delta$ ).

Gute Nassrutschfestigkeit:

$\tan \delta$  bei 0 – 20 °C ist möglichst hoch.

Niedriger Rollwiderstand:

$\tan \delta$  bei 50 – 70 °C ist möglichst niedrig.

Für die Problemlösung muss also die Abhängigkeit des  $\tan \delta$  von der Temperatur betrachtet werden. In der Literatur sind verschiedene Ansätze vertreten, die in das Prinzip der veränderten örtlichen Qualität passen (Prinzip 3).

Lösung: Verringerung des Füllstoff-Füllstoffnetzwerkes durch Verstärkung der chemischen Anbindung heller Füllstoffe an das Polymer.

Tab. 2: Beispiele für Problemebenen bei elastomeren Werkstoffen

Problem/Detailproblem	Mögliche Problemebene
<b>Medieneinfluss</b>	
Quellung des Basispolymers	Quellmedium/Polymer/Netzwerk
Herauslösung von Mischungsbestandteilen	Quellmedium/Polymer/Netzwerk/Weichmacher/Alterungsschutzmittel
Abbau von Vernetzungsstellen	Quellmedium/Polymer/Netzwerk
Abbau Polymerkette	Quellmedium/Polymer
<b>Lebensdauer</b>	
Weiterreißeenergie	Polymer/Netzwerk
Heat-build-up	Polymer/Netzwerk
Korngrößenverteilung	Füllstoffe/Mischenergie
Fließfehler	Vulkanisationssystem/homogene Verteilung/Formgebung

Am bekanntesten ist die Verbesserung der Anbindung der Kieselsäure durch Silane [5]. Bei anderen Lösungsmöglichkeiten werden modifizierte Polymere eingesetzt [6, 7].

#### 4.3 Anmerkungen zur Problemlösung in der kautschukverarbeitenden Industrie

Gerade das letzte Beispiel hat sehr gut gezeigt, dass unser Detailwissen bei der Interaktion der Makromoleküle mit den chemischen und physikalischen Netzwerken noch recht lückenhaft ist. Innovative Problemlösungen können nach der TRIZ-Vorgehensweise zunächst nur im Rahmen der möglichen Theorien erstellt werden. Weitere Versuche sind notwendig, um die theoretischen Ansätze zu bestätigen oder zu verwerfen. Sehr große Sorgfalt muss auf die Herausarbeitung der richtigen Problemebene verwendet werden. Spezifikationsvorgaben können in der Regel nicht direkt übernommen werden, da die Prüfungen komplexen Einflüssen unterliegen [8]. In **Tabelle 2** sind beispielhaft mögliche Problemebenen für die Medienbeständigkeit und für die Lebensdauer aufgeführt.

#### 5. Weiterentwicklung von TRIZ

TRIZ wird als etabliertes Werkzeug in vielen Managementmethoden eingebunden [4]. Darüber hinaus wird die grundlegende Denkweise von TRIZ auch genutzt, um die Unternehmensstrategie voran zu bringen. In dem Ansatz der widerspruchsorientierten Innova-

tionsstrategie wird die Entwicklungsstrategie eines Unternehmens vorgebracht. Im Sinne von TRIZ werden Entwicklungsaufgaben nicht als Optimierung bereits vorhandener Lösungen betrachtet. Durch bewusstes Herausarbeiten funktionaler Widersprüche werden Anforderungen an ein ideales System herausgearbeitet, die als Grundlage für die weitere Entwicklung verwendet werden [9].

#### 6. Anmerkungen und Schlussbetrachtung

Problemlösungsworkshops nach der Methode TRIZ verlaufen sehr intensiv. Durch die systematische Bearbeitung in der Problemebene werden den Teilnehmern sehr schnell die Grenzen des eigenen Wissens bewusst. Das ist nicht unbedingt ein Mangel der eigenen Ausbildung, sondern liegt daran, dass so manche Phänomene in der Kautschuktechnologie noch nicht hundertprozentig verstanden sind.

Es muss allerdings unbedingt darauf geachtet werden, dass der Teilnehmerkreis dem Problem angepasst ist, da TRIZ nicht Trial-and-Error-Techniken unterstützt, sondern auf ein Verständnis der Vorgänge und Kräfte in der Problemzone aufbaut.

TRIZ ist im Gesamtlösungsprozess eingebunden, daher verhindert es nicht weitere Optimierungsschleifen, die am besten mit Hilfe von Versuchsplanungen durchgeführt werden.

Die Ergebnisse werden auf jeden Fall sehr übersichtlich dargestellt und können so immer wieder als Einstieg für vergleichbare Themen verwendet werden.

#### 7. Literatur

- [1] Michael A. Orloff: Grundlagen der klassischen TRIZ, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2. Auflage 2005
- [2] VDA Band 4 (Ergänzung), Kapitel TRIZ, 1. Auflage 2008
- [3] VDA Band 14, Präventive Qualitätsmanagementmethoden in der Prozesslandschaft, 1. Auflage 2008
- [4] Qualitätsgerechte Prozesskettenoptimierung (FOS-DGQ Band 86-03)
- [5] W. Niedermeier u. B. Schwaiger: „Performance Enhancement in Rubber by modern Filler Systems“, Kautsch. Gummi Kunstst. 60 (2007), 184
- [6] W. Obrecht : „Magisches Dreieck durchbrochen“, Kautsch. Gummi Kunstst. 62 (2009), 502
- [7] M. M. Jacobi, M. V. Braum, T. L. A. C. Rocha u. R. H. Schuster: „Lightly Epoxidized Polybutadiene with Efficient Interaction to Precipitated Silica“, Kautsch. Gummi Kunstst. 60 (2007), 460
- [8] Chr. Ziegler, Vortrag Tagung Haus der Technik „Grundlagen zur Gestaltung von dynamisch belasteten Elastomerbauteilen“, Essen, März 2007
- [9] H. Linde u. B. Hill : Erfolgreich erfinden. Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure, Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag, 1993

*Achtung!*

## Abonnenten aufgepasst!

Wussten Sie schon, dass Sie unsere Magazine auch ganz bequem online lesen können? Wenn Sie daran interessiert sind, kontaktieren Sie bitte einfach schriftlich oder telefonisch unseren Abonentenservice:

**Sabrina Somnitz**

**Telefon: +49 2102 9345-12 · E-Mail: [service@gupta-verlag.de](mailto:service@gupta-verlag.de)**