

Was bietet die Computer-Aided Innovation für den Konstrukteur?

Konstruktionspraxis 2002 - der Kongress - C-Technik -

Dr.-Ing. Pavel Livotov, TriSolver GmbH & Co. KG

Autor

Pavel Livotov, Dr.-Ing., Autor von mehr als 70 patentierten Erfindungen, beschäftigt sich mit der TRIZ-Methodologie seit 1980. Nach der Promotion und mehrjährigen Forschungs- und Lehrtätigkeit an der TU St.Petersburg und anschließend an der Universität Hannover, arbeitete er seit 1993 in der Industrie als Bereichsleiter Konstruktion und Entwicklung. Seit 1997 ist er als Innovationsmanager und TRIZ-Experte tätig. Mitbegründer und Vorstandsmitglied der Europäischen TRIZ Assoziation ETRIA. Geschäftsführender Gesellschafter der TriSolver GmbH & Co. KG.

E-Mail: livotov@trisolver.de

Background und Definitionen

TRIZ

TRIZ ist die international anerkannte russische Abkürzung für die *Theorie zur Lösung von Erfindungsaufgaben* (rus.: **T**eorija **R**ešenija **I**sobretatelskih **Z**adač; wird wie englisches „trees“ ausgesprochen), in den USA auch unter dem Kürzel TIPS (Theory of Inventive Problems Solving) bekannt.

Genrich Altschuller, der Erfinder von TRIZ

Die TRIZ wurde in den 60...80-er Jahren vom russischen Wissenschaftler Genrich Altschuller (1926-1998) und seinen Mitarbeitern entwickelt (erste Publikation in 1956). Im Gegensatz zu den gebräuchlichen Varianten des „Versuch-und-Irrtum“-Lösungsverfahrens wie z.B. Brainstorming, Synektik, Morphologische Analyse etc. berücksichtigt TRIZ die objektiven Entwicklungsgesetze technischer Systeme und ermöglicht daher eine gezielte Suche nach den Problemlösungen. Entdeckung und Systematisierung dieser Gesetze sowie anderer TRIZ-Bestandteile erfolgten durch eine globale mehrjährige Analyse und Auswertung weltweit verfügbarer Patentinformationen.

CAI – Computer Aided Innovation

Nach dem Einführen der TRIZ in die USA Anfang 90 wurden die TRIZ-Techniken und Datenbank als Grundlage für die Erfindungssoftware benutzt sowie für die computerbasierten Anwendungen modifiziert. Es entstand dadurch eine neue Art der technologischen Ingenieurstätigkeit – **CAI** (Computer-Aided Innovation bzw. rechnerunterstütztes Erfinden und Innovationsmanagement), die bereits eine breite und erfolgreiche Anwendung bei den zahlreichen renommierten Unternehmen weltweit gefunden hat.

**Technischer
Widerspruch**

Hauptmerkmal der Problemlösung mit TRIZ ist das Identifizieren, Verstärken und Eliminieren technischer und physikalischer Widersprüche in technischen Systemen statt der Suche nach Kompromissen, der scheinbar „Goldenen Mitte“. Der Begriff „Technischer Widerspruch“ (TW) – spielt eine der Schlüsselrollen in der TRIZ-Konzeption. Ein TW stellt zwei kontroverse Eigenschaften eines technischen Systems dar: bei der Verbesserung eines Teils bzw. Eigenschaft einer Maschine (z.B. Leistung des Motors) verschlechtert sich eine andere Eigenschaft (z.B. Gewicht oder Treibstoffverbrauch). Ein Problem ist nach TRIZ erst dann gelöst, wenn ein technischer Widerspruch erkannt und beseitigt ist. So genannte Betriebsblindheit, psychologische Trägheit und Unsicherheiten werden mit TRIZ konsequent überwunden. Dadurch wird auch in sehr schwierigen Fällen das Suchfeld erheblich verkleinert sowie der Blick über den Tellerrand ermöglicht.

TRIZ - Bestandteile**TRIZ -
Werkzeuge**

Die Bestandteile der Theorie zur Lösung der Erfindungsaufgaben werden in der Tabelle 1 zusammengefaßt. Die hinzugefügte Angabe über die empfohlenen Unterrichtsstunden hilft primär den relativen Komplexitätsgrad einzelner TRIZ-Bausteine abzuschätzen. Einfache Anwendungen, wie z.B. Prinzipien zur Lösung technischer Widersprüche, lassen sich schneller zu aktiven Arbeitswerkzeugen machen, sind jedoch in ihrer Wirksamkeit bei schwierigen Problemen eingeschränkt. Ein geübter TRIZ-Anwender setzt aber verschiedene Werkzeuge je nach Bedarf ein: es gibt gleichermaßen wenig Sinn mit einer Kanone auf Spatzen zu schießen, wie auch mit einem Knüppel auf Elefantenjagd zu gehen.

**Entwicklungsgesetze
in der Technik**

Den Kern der Theorie des Erfindens bilden die Entwicklungsgesetze der technischen Systeme (TS). Zu den wichtigsten klassischen Gesetzen hier gehören:

- Evolutions- oder Lebenslinien der TS,
 - Vollständigkeit und minimale Funktionsfähigkeit der Teile eines TS,
 - Energie- und Informationsleitfähigkeit innerhalb eines TS,
 - Erhöhung des Idealitätsgrads (z.B. Kosten-Leistung-Verhältnis) eines TS,
 - Abstimmung der Rhythmik der Teile eines TS,
 - Übergang eines TS in ein Obersystem und von der Makroebene zur Mikroebene,
 - Erhöhung des Steuerungs- und Flexibilitätsgrades eines TS
- u.a.

Ihre praktische Anwendung finden diese Gesetze nicht nur in verschiedenen TRIZ-Werkzeugen, beim flächendeckenden Patentieren und Erstellen der Patentschirme oder beim Entdecken von noch nicht besetzten Produktnischen. Sie sind auch ein strategisches Mittel zur Analyse des Entwicklungsniveaus und zur Vorhersage der Evolution technischer Systeme.

Tabelle 1: TRIZ-Bausteine

Nr.	TRIZ – Bestandteil, Werkzeug.	Anwendungsbereich	Lern-aufwand
1	40 Innovationsprinzipien zum Überwinden technischer Widersprüche; Anwendungssystem in Form der s. g. Widerspruchstabelle.	Leichte bis mittelschwere Erfindungsaufgaben, empfohlen für TRIZ-Anfänger.	4 h
2	System von abstrahierten Standardlösungen der Erfindungsaufgaben: 5 Klassen/76 Standards; Methode zur Anwendung der Standards.	Leichte bis schwierige Erfindungsaufgaben.	8...12 h
3	Algorithmus bzw. Schrittverfahren zur Lösung der Erfindungsaufgaben (Abkürzung: ARIZ). Universales Mittel zur Lösung aller Aufgaben.	Besonders schwierige Erfindungsaufgaben.	12...16 h
4	Methode der Stoff – Feld – Strukturanalyse technischer Systeme.	Abstrahierte Analyse technischer Systeme; Arbeitsmittel für Nr. 2 und 3.	4 h
5	Methoden zum Überwinden physikalischer Widersprüche.	Werkzeug von ARIZ (Nr.3).	4 h
6	Methoden zur Analyse der Systemressourcen.	Arbeitsmittel für Nr. 2 u. 3.	4 h
7	Datenbank physikalischer, chemischer, geometrischer und anderer Effekte und ihrer Anwendungen in der Technik.	Arbeitsmittel für TRIZ-Bestandteile Nr. 1 bis 5.	2...8 h
8	Techniken zur Steigerung des innovativen Denkens und Reduzierung der Denkrägheit: Operator GZK (Größe-Zeit-Kosten), Modellieren mit Hilfe „kleiner Männchen“ u.a.	Hilfsmittel für TRIZ-Bestandteile Nr. 1 bis 5.	2...4 h
9	Antizipierende bzw. vorausschauende Fehlererkennung (AFE) in technischen Systemen.	Spezielle Methode zur Analyse und Vorhersage möglicher Fehlerszenarien.	8...12 h
10	Entwicklungsgesetze der technischen Systeme (TS).	Evolutionprognose der TS. Erstellen der Patentschirme.	8...16 h

40 Prinzipien zum Überwinden technischer Widersprüche

40 grundlegende Innovations-Prinzipien Die Auswertung von mehreren hunderttausend Patenten ergab, daß die Erfindungsaufgaben bzw. technische Widersprüche aus verschiedenen Branchen sich durch eine begrenzte Anzahl von elementaren Prinzipien (Verfahren) lösen lassen. Die moderne TRIZ beinhaltet 40 grundlegende Innovationsprinzipien (mit Unterverfahren über 100). Hier sind einige Beispiele:

- 3. Prinzip der örtlichen Qualität.
- 10. Prinzip der vorherigen Wirkung
- 11. Prinzip des „vorher untergelegten Kissens“ (Vorbeugemaßnahme).
- 18. Prinzip der Ausnutzung mechanischer Schwingungen.
- 22. Prinzip der Umwandlung vom Schädlichen in Nützlich.
- 28. Ersetzen des mechanischen Systems.
- 35. Veränderung physikalischer und chemischer Eigenschaften.
- 40. Prinzip der Anwendung von Verbundwerkstoffen.

Bild 2 stellt eine Realisierung dieses TRIZ-Werkzeuges in Form eines PC-Programms dar.

Widerspruchstabelle Die Anwendung der Prinzipien kann auch in Form einer Matrix, genannt Widerspruchstabelle, mit 39 Zeilen- und 39 Spalteneingängen erfolgen. Diese 39 Eingänge sind die wichtigsten Charakteristika technischer Systeme:

39 Parameter Masse, Länge, Volumen, Geschwindigkeit, Temperatur, Materialverluste, Messgenauigkeit, Fertigungsqualität, Bedienungsfreundlichkeit usw.

Sie helfen ein technisches System in den standardisierten Begriffen zu beschreiben und treten in den Tabellenfeldern als kontroverse Eigenschaften eines technischen Widerspruchs auf: z.B. Masse-Festigkeit oder Temperatur-Meßgenauigkeit usw.

Die Tabelle zeigt anschließend, welche Prinzipien bei der Überwindung technischer Widersprüche besondere Aussicht auf Erfolg haben. Obwohl nicht alle Felder der Widerspruchstabelle ausgefüllt sind, bietet sie Lösungsprinzipien für mehr als 1200 Typen technischer Widersprüche an und kann im Einzelfall das Suchfeld nach den passenden Lösungsideen erheblich reduzieren.

Die Widerspruchstabelle gehört heute zur TRIZ-Geschichte. Grundsätzlich sind die 40 Innovationsprinzipien zur Lösung leichter bis mittelschwerer Probleme gut geeignet. Bei den komplexeren Problemen wird empfohlen, das System von 76 Standardlösungen oder den Erfindungsalgorithmus ARIZ anzuwenden.

Bild 1. Suche nach den Lösungsprinzipien mit der Widerspruchstabelle.

Was verschlechtert sich im System dabei? Was wird im System verändert?		1	...	27	28	...	39
		Masse des beweglichen Objekts	...	Zuverlässigkeit	Meßgenauigkeit	...	Produktivität
1	Masse des beweglichen Objekts			3, 11 1, 27	28,27 35,26		35, 3 24,37
...	...						
9	Geschwindigkeit	2, 28 13,38		11,35 27,28	28,32 1, 24		
10	Kraft	8, 1 37,18		3, 35 13,21	35,10 23,24		3, 28 35,37
...	...						
39	Produktivität	35,26 24,37		1, 35 10,38	1, 10 34,28		

Beispiel 1:

Bei dem Anstieg der Fahrgeschwindigkeit von KFZ über 100 km/h erhöht sich stark das Risiko eines schweren Unfalls infolge eines geplatzten Reifens. Ein technischer Widerspruch ist hier bereits formuliert und die Widerspruchstabelle kann eingesetzt werden: die Geschwindigkeitserhöhung eines Fahrzeugs (Zeile 9) beeinflusst negativ die Zuverlässigkeit seines Fahrwerks (Spalte 27). Im Tabellenfeld 9/27 findet man folgende Verfahren in der empfohlenen Reihenfolge: 11, 35, 27, 28 (Bild 1). Laut dem Prinzip Nr.11 *soll die unzureichende Zuverlässigkeit durch die vorher bereitgestellten Schaden-vorbeugungsmittel ausgeglichen werden*. Eine mögliche Lösung lautet: hinter jeder Felge wird eine feste Scheibe angebracht. Sie hält nach dem Platzen des Reifens das Fahrzeug im waagerechten Zustand und reduziert dadurch das Risiko eines schweren Unfalls (US Pat. 2879821).

Beispiel 2:

Ein weiteres Anwendungsbeispiel vom Prinzip des „vorher untergelegten Kissens“ (Nr.11) findet man auch in der Pharmaindustrie. Eine Schlaftablette wird mit einem dünnen Film eines erbrechenerzeugenden Mittels überzogen. Werden mehrere Pillen gleichzeitig geschluckt, erreicht die Menge des o.g. Mittels die kritische Masse und die gefährlichen Tabletten werden aus dem Magen ausgeschieden.

In der Praxis ist aber häufig sehr schwierig für eine konkrete Aufgabe einen technischen Widerspruch mit Hilfe der Widerspruchstabelle präzise zu formulieren. Zu empfehlen ist deshalb eine direkte Anwendung von Innovationsprinzipien.

TriSolver Neues Projekt Alle Projekte Optionen Administrator Abmelden

Projekt Navigator

- Vollständige Lösungssuche
 - 1. Ausgangssituation
 - 2. Lösungssuche
 - 2.1. Operativer Raum (OR)
 - 2.2. Operative Zeit (OZ)
 - 2.3. Anwendung von TRIZ
 - Veränderung der physik
 - Vorherige Wirkung
 - Idee Nr.4
 - Zerlegung
 - Ersetzen des mechanisc
 - Abtrennung
 - Dynamisierung
 - Periodische Wirkung
 - Funktionsumkehr (Inver
 - Übergang zu anderen C

Anwendung von TRIZ Innovationsprinzipien KP 1 Lichtquelle - LCD-Bildträger

Operativer Raum (OR)		Operative Zeit (OZ)	
Operativer Raum des Konflikts	Raum zwischen der Lichtquelle und dem Bildträger	Operative Zeit des Konflikts	Zeit der kontinuierlichen Beleuchtung des Bildträgers (z.B. von 10 Minuten bis 10 Stunden)
Nebenraum und Umgebung	Innenraum des Gehäuses, Raum außerhalb des Gehäuses	Zeit vor dem Konflikt	Zeitraum vor der Nutzung des Projektors - relativ groß
		Zeit nach dem Konflikt	Zeitraum nach der Nutzung des Projektors - relativ groß

Beschreibung des technischen Konflikts

Die Lichtquelle beleuchtet den Bildträger, führt aber zur seinen Erhitzung und begrenzt dadurch seine Lebensdauer.

Innovationsprinzip

Name: Vorherige Wirkung

Beschreibung: Vorherige Wirkung

a) Die erforderliche Wirkung ist vorher zu erzielen vollständig oder auch teilweise.

b) Die Objekte sind vorher so aufzustellen bzw. einzusetzen, dass sie ohne Zeitverlust vom geeignetsten Ort aus wirken können.

Beispiel 1:
Um die Strahlungsstärke einer Gasflamme zu erhöhen, wird das Gas vor dem Einführen in den Brenner auf 600°-700°C erhitzt.

Beispiel 2:
Als Warnung vor Leckagen bei geruchlosen, gefährlichen Gasen wird in diese Gase ein ungefährlicher, aber geruchsaktiver Zusatzstoff eingeführt, der auch in verschwindend

Bild 2. Anwendung von Innovationsprinzipien in der TriSolver-Software

76 Standardlösungen von Erfindungsaufgaben

Die Prinzipien und die Tabelle ihrer Anwendung gehören zu den einfachsten TRIZ- Werkzeugen. Die Analyse komplizierterer Aufgaben ergab aber, daß sie erst durch den gleichzeitigen Einsatz mehrerer elementarer Prinzipien mit Hilfe physikalischer Effekte zu lösen sind. Solche besonders starke und stabile Kombinationen der Prinzipien und Effekte bilden das System der Standardlösungen von Erfindungsaufgaben.

TRIZ - Standards TRIZ-Standards sind allgemeine Regeln zur Synthese und Umwandlung technischer Systeme (TS). Sie beruhen auf der Grundlage der Entwicklungsgesetze von TS. Mehrere Standardlösungen stellen direkt die praktischen Anwendungen dieser Gesetze dar. Das moderne System der Standardlösungen prägt eine strukturierte und hochsystematische Arbeitsweise und kann darüber hinaus zur Prognose technischer Produktentwicklung verwendet werden. Es besteht aus 5 Klassen von insgesamt 76 Standards:

**5 Klassen von
76 Standards**

- Klasse 1: Synthese und Umwandlung technischer Systeme.
- Klasse 2: Entwicklung und Effektivitätserhöhung der TS.
- Klasse 3: Übergang der TS zum Obersystem und von Makro- auf Mikroebene.
- Klasse 4: Messung und Ortung in technischen Systemen.
- Klasse 5: Überwindung physikalischer Widersprüche in TS. Hilfsmethoden zur Anwendung von Standards.

**Stoff-Feld
Analyse**

Die Standardlösungen operieren mit den abstrahierten Modellen technischer Systeme, die mit Hilfe der so genannten Stoff-Feld-Analyse leicht zu erstellen sind. Jedes technische System kann in den Begriffen der vorhandenen Stoffe, Felder und deren Wechselwirkung dargestellt werden. Als Stoffe bezeichnet man Objekte oder Teile des Systems unabhängig von ihrem Komplexitätsgrad. Unter den Begriff „Feld“ fallen nicht nur vier klassische physikalische Felder, wie elektromagnetisches Feld, Gravitationsfeld, sowie Felder starker und schwacher Wechselwirkung. In der TRIZ beinhaltet der Terminus „Feld“ auch alle möglichen „technischen“ Felder, wie Temperaturfeld (Wärmefeld), Feld der Zentrifugalkräfte, Druckfeld, akustisches Feld usw. Wird ein Stoff-Feld-Modell eines Systems formuliert, kann eine passende Standardlösung schnell vorgeschlagen werden. Betrachten wir zur Demonstration einen Standard, einen von insgesamt 76.

Beispiel 3:

Durch eine Rohrleitung mit vielen Bögen werden mit Hilfe eines Luftstroms kleine Metallkugeln transportiert (Bild 3). Aufgrund der Stoßwirkung der Kugeln nutzen sich die Rohrwände an den Krümmungen sehr schnell ab. Zusätzliche Schutzbeläge (typische Kompromißlösung) haben zwar eine höhere Standzeit, verschleifen sich aber trotzdem. Was ist zu tun?

Zwischen zwei Stoffen (Kugeln und Rohr) eines technischen Systems entsteht eine unerwünschte Wechselwirkung. Mit solchen Problemen beschäftigen sich die Standardlösungen der Klasse 1. Eine dieser Standardlösungen lautet:

„Wenn im Kontakt zwei zueinander bewogender Stoffe/Objekte eine negative Erscheinung auftritt, soll zwischen diesen Stoffen/Objekten ein dritter Stoff eingeführt werden, der eine Modifikation eines oder beider der bereits vorhandenen Stoffe darstellt“.

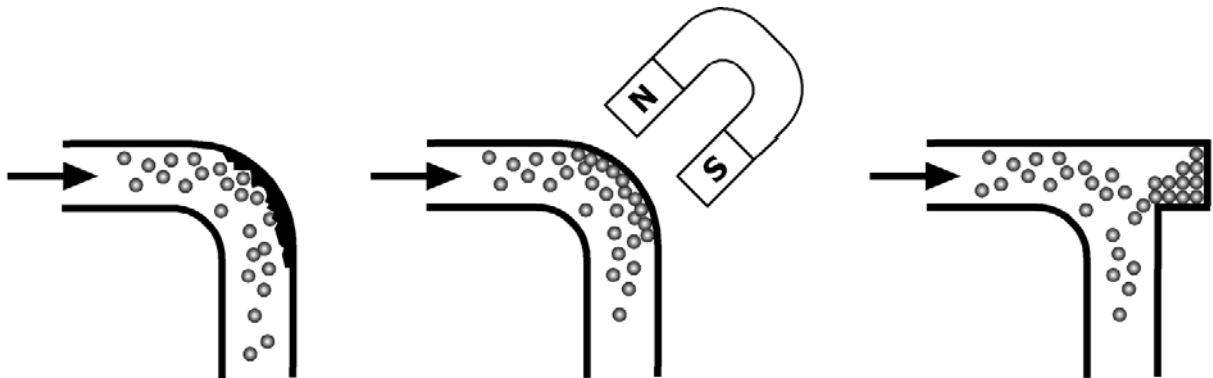
Bild 3. Grafische Darstellung des Beispiels 2.**Bild 3:**

Bild 3 präsentiert das Ergebnis. Zwischen der Rohrwand und dem Kugelstrom wird eine Schicht von denselben Kugeln platziert. Die Kugeln liegen entweder in einer Tasche der Rohrleitung oder werden in einer anderen Variante mit einem Dauermagneten festgehalten. Die strömenden Kugeln prallen nicht mehr gegen die Wand sondern gegen andere Kugeln. Wird eine der festgehaltenen Kugeln herausgeschlagen, so wird ihr Platz von einer anderen eingenommen. Der technische Widerspruch ist gelöst: es gibt keine Abnutzung in den Rohrbögen mehr. Nach dem gleichen Standard kann auch ein Problem aus einer anderen Branche bewältigt werden.

Beispiel 4:

Die Tragflächen von Schnellbooten werden oft der Kavitationswirkung (hydrodynamische Erosion) des Wasserstroms ausgesetzt. Kleine implodierende Luftbläschen zerstören allmählich selbst hochfeste Unterwasserflügel der Boote. Es gibt offensichtlich eine schädliche Wechselwirkung zwischen zwei Stoffen: Wasser und Metall, die laut o.g. Standard mit Hilfe der Modifizierung eines der bereits vorhandenen Stoffe beseitigt werden kann. Betrachten wir zunächst ein „modifiziertes Wasser“ (z.B. Eis oder Dampf) und kommen sofort auf die Lösung: ein Teil der Unterwassertragfläche wird gekühlt und auf ihm entwickelt sich eine dünne aber ständig erneuerbare Schutzschicht aus Eis.

An den Beispielen 2 und 3 wird auch deutlich, warum man als einzuführenden dritten Stoff eine Modifikation eines der vorhandenen Stoffe benutzen sollte. Ein „fremder“ Stoff paßt meistens nicht ohne Komplikationen in das ihm „fremde“ technische System.

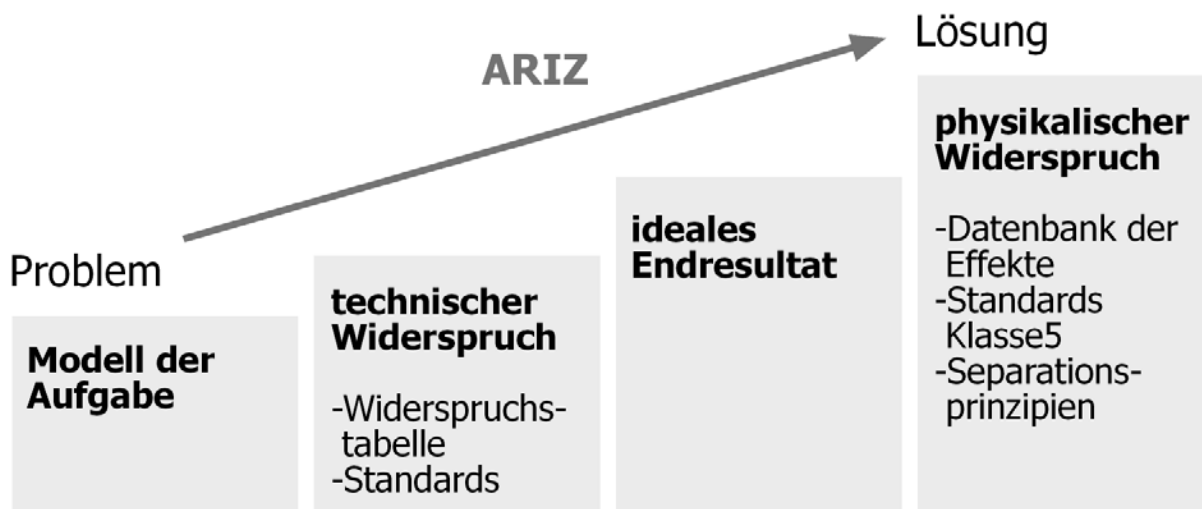
Algorithmus zur Lösung von Erfindungsaufgaben - ARIZ

ARIZ

Algorithmus bzw. Schrittverfahren zur Lösung der Erfindungsprobleme (kurz ARIZ) ist das universellste und stärkste TRIZ-Werkzeug zur Lösung aller Probleme von der Analyse der Problemsituation und Systemressourcen bis zur Auswertung der Lösungsansätze. Er wird in der Regel dann eingesetzt, wenn die 40 Innovationsprinzipien oder Standards kein befriedigendes Ergebnis liefern.

Sowohl einem erfahrenen als auch einem weniger geübten Anwender hilft ARIZ ein Problem zu analysieren, den technischen Widerspruch zu erkennen, das Ziel der Lösungssuche (s.g. ideales Endresultat) zu formulieren sowie anschließend den zugrunde liegenden physikalischen Widerspruch zusammenzufassen und zu überwinden. Diese ARIZ-Hauptstufen (Bild 4) werden anhand eines Beispiels näher erläutert. Ein kompletter ARIZ beinhaltet 9 Teile mit ca. 70 Arbeitsschritten.

Bild 4. Hauptstufen vom ARIZ-Verfahren.



Beispiel 5: Lösung einer Aufgabe mit ARIZ

Stufe 1: Formulieren des Aufgabenmodells.

Bei der Fertigung nahtloser Rohre wird ein erhitzter zylindrischer Rohling (Zylinder) mit einem angespitzten Formwerkzeug (Nadel) durchgedrungen. Der Rohling wird dabei in den Walzen von außen gelagert und gedreht (Bild 5). Nach dem Einführen des Nadelwerkzeugs in den heißen Rohling fängt häufig die Nadel an, im Zylinder zu verlaufen. Das Problem verschärft sich mit der Erhöhung der Rohr- bzw. Zylinderlänge, die bis zu 6 Meter betragen kann. Wie kann der Werkzeugverlauf beseitigt werden?

Stufe 2**Formulieren des technischen Widerspruchs.**

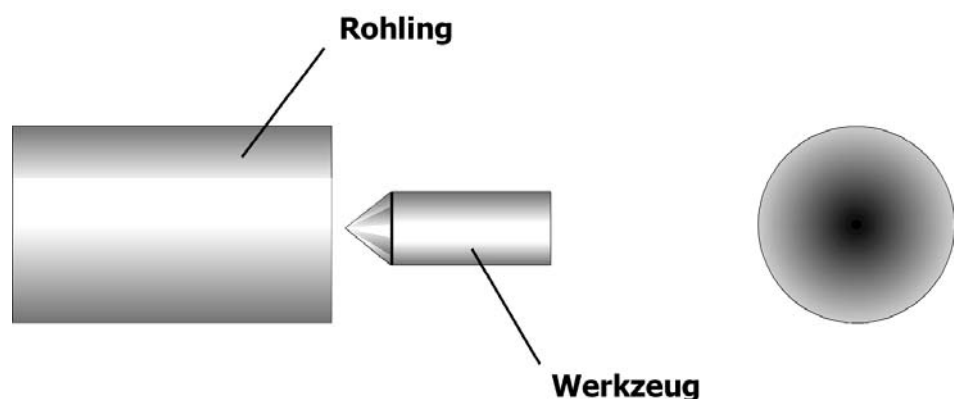
Mit der Erhöhung der Zylinderlänge nimmt die Unterstützung der Nadel ab und somit verringert sich die Maß- bzw. Fertigungsgenauigkeit des gewonnenen Rohrs. (Auf dieser Etappe kann es auch versucht werden, den technischen Widerspruch mit Hilfe der einfacheren Mittel wie die Widerspruchstabelle oder das System der Standardlösungen zu überwinden.)

Stufe 3**Formulieren des idealen Endresultats (IER) für die Aufgabe.**

Der unendlich lange Zylinder selbst unterstützt und führt die Nadel genau in seiner Mitte. Der technische Widerspruch wird durch solche Formulierung noch mehr verschärft. Das IER wirkt hier als ein Wegweiser zu einer starken Lösung. Jeder technische Widerspruch hat konkrete physikalische Ursachen, die im nächsten Schritt noch aufzuklären sind.

Stufe 4**Formulieren des physikalischen Widerspruchs.**

Für das Realisieren vom IER muß der Zylinder zwei sich ausschließende physikalische Zustände haben: *Der Zylinder muß hart sein, um sich selbst und die Nadel zu unterstützen, und muß weich sein, um die Nadel durch seine Mitte durchdringen zu lassen.* Das ist ein physikalischer Widerspruch. Für sein Überwinden stehen im ARIZ die Separationsprinzipien zur Überwindung physikalischer Widersprüche, Standards der Klasse 5 sowie eine Datenbank von mehr als 1000 physikalischer, chemischer und geometrischer Effekte zur Verfügung.

Bild 5. Zur Lösung einer Aufgabe mit ARIZ.

Eine der einfachsten Möglichkeiten einen physikalischen Widerspruch zu lösen ist es, die kontroversen Eigenschaften räumlich oder zeitlich zu trennen. In der Tat: *Der Zylinder muß hart sein vor allem von außen und weicher zur Mitte.* Jetzt bleibt es nur einen physikalischen Effekt in der Datenbank zu finden, der die Materialhärte beeinflussen kann.

Aber bevor irgendwelche „fremde“ Einwirkungen eingesetzt werden, sollen die bereits vorhandenen Eigenressourcen (Stoffe, Felder, Zeit, Raum, Information, Funktionen) gründlich untersucht und für die Lösung mobilisiert werden. Solche Analyse gehört zu den wichtigen ARIZ-Schritten.

Physikalischen Widerspruch überwinden

Der Zylinder wird ohnehin erwärmt, damit die Nadel ihn leichter durchdringen kann: Materialhärte ist u.a. eine Funktion der Temperatur. Dem System fehlt lediglich die erforderliche Verteilung des Wärmefelds: *außen kälter und zur Mitte wärmer*. Diese Bedingung kann aber ohne großen Aufwand durch Besprühen des Zylinders mit kaltem Wasser erfüllt werden. Die Nadel findet dann selbst den leichtesten Weg - die wärmste bzw. die weichste Stelle im Zylinder und zwar genau seine Mitte.

Datenbank der technologischen Effekte

Verbindungs- brücke zur Physik

Viele starke technische Lösungen basieren auf den physikalischen, chemischen, geometrischen und anderen Phänomenen und Effekten. Doch fehlt den Ingenieuren sehr häufig eine zuverlässige Verbindungsbrücke zwischen einer Aufgabe und der Physik. Dieser Mangel wird in TRIZ mit der Datenbank der Effekte beseitigt. Je nach vom physikalischen Widerspruch geforderter Wirkung oder Eigenschaft werden verschiedene Effekte mit Beispielen ihrer Anwendungen aufgelistet, wie die Tabelle 2 exemplarisch darstellt. Fast jeder Effekt wird in der Datenbank mit seinen Eingangs- und Ausgangsfeldern bezeichnet, z.B. *thermomechanischer* Effekt oder *mechanoelektrischer* Effekt. Das erlaubt unterschiedliche Effekte in die neuen Kombinationen zu koppeln und dadurch komplexere Aufgaben zu lösen.

Tabelle 2: Fragment der Datenbank physikalischer Effekte und Erscheinungen.

Geforderte Wirkung	Physikalische Effekte, Methoden
Erhöhung der Temperatur	Elektromagnetische Induktion, Wirbelströme, Skin-Effekt, dielektrische Erwärmung, thermoelektrische Erscheinungen, Strahlungsabsorption, exothermische Reaktionen usw.
Durchmischung von Stoffen; Bildung von Lösungen	Ultraschall, Kavitation, Diffusion, Elektrolyse, Elektrophorese, Magnetfeld in Verbindung mit einem ferromagnetischen Stoff, elektrische Felder, geometrische Effekte usw.
Veränderung der Abmessungen eines Objektes	Thermomechanische Effekte (Wärmeausdehnung, Gedächtnis der Metalle etc.), Deformation, magnetoelektrische Striktion, piezoelektrischer Effekt, Phasenübergänge, chemische Reaktionen usw.

TRIZ Software

Der Widerspruch „starke TRIZ-Werkzeuge sind aufwendiger in der Lehre und ihrer Anwendung“ läßt sich in TRIZ-Manier durch den Einsatz moderner Computerprogramme lösen. Obwohl es immer noch keine Erfindung auf Knopfdruck gibt, kann die TRIZ Software den Innovationsvorgang erheblich beschleunigen und die Qualität der Lösungsansätze erheblich steigern. Sie verlangt von einem Anwender wenigstens minimale TRIZ- Kenntnisse und hilft ihm mit verschiedenen TRIZ-Werkzeugen und Beispielen sein Problem zu analysieren und zu lösen.

Die deutschsprachige Software für Innovationen «TriSolver» (s. Bild 2) erschließt in einfacher Weise für alle innovativ Denkenden das gesamte TRIZ-Nutzungspotenzial und erweist sich darüber hinaus als komfortables Tool für Ideen- und Wissensmanagement. Die Software unterstützt sowohl eine schnelle Ideensuche bei der Lösung von Tagesproblemen als auch einen systematischen und flächendeckenden Ideenfindungsprozess.

Software erfolgreich einsetzen

Unterschiedliche TRIZ Komponenten sind sinnvollerweise je nach Schwierigkeitsgrad der Aufgabe einzusetzen. Die Praxis zeigt auch, daß die nachweisbaren Ergebnisse erst dann erreicht werden, wenn die Anwender mindestens 10%...15% vom gesamten TRIZ-Potential beherrschen, ohne sich an ein Lehrbuch oder elektronischen Thesaurus wenden zu müssen.

Qualifizierter Einsatz widerspruchsoientierter Denkmethode und verschiedener TRIZ-Werkzeuge mit der Softwareunterstützung ermöglicht es, schnell Probleme zu lösen und neue bahnbrechende Produkte zu entwickeln.

Die TRIZ Software beschleunigt den Innovationsvorgang und sichert anschließend die Qualität der Lösungsansätze. Es besteht auch kein Zweifel daran, daß die Computer-Aided-Innovation (CAI) in der Zukunft ähnlich wie CAD und CAM eine Norm der Ingenieurtaätigkeit sein wird.

Erfolgspotential von TRIZ & CAI

Vorteile und Zukunftspotential von TRIZ und CAI haben technische und psychologische Gesichtspunkte.

Technische Aspekte

- Schnellere und effektive Problemlösung und Innovation durch den konsequenten Verzicht auf die Versuch-und-Irrtum-Methode, Reduzieren des Entwicklungsrisikos und Verringern von Entwicklungskosten.
- Prognostizieren der Entwicklungsrichtung technischer Systeme, Erstellen von Patentschirmen, Entdecken von noch nicht besetzten Produktnischen.
- Qualitätssicherung und Produktoptimierung durch gezielte Suche nach überragenden Lösungsalternativen und Anwendung der Antizipierenden Fehlererkennung.
- Ideengenerierung in beinahe hoffnungslosen Situationen, wo praktisch alle denkbaren Wege durch Wettbewerbspatente bereits verschlossen erscheinen.
- Optimales Ausnutzen der Systemressourcen: z.B. einen negativen Effekt in einer fertigen Maschine zu beseitigen und dabei nur minimal ein technisches System zu verändern.
- Integrationsmöglichkeiten mit DFMA (Design for Manufacture and Assembly), FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), QFD (Quality Function Deployment), Taguchi (Robust Design) und anderen Methoden.

Psychologische Aspekte

- Fördert die Kreativität und den Innovationsgeist der Ingenieure und Projektteams.
- Unterdrückt die Denkrägheit und die sogenannte Betriebsblindheit.
- Unterstützt das systematische Denken und den Willen zur Suche nach nichttrivialen Lösungen.
- Verbessert die Teamarbeit; das Erfinden wird zum steuerbaren Vorgang und ist kein Akt der reinen Inspiration.

TRIZ ist kein Zauberstab und es gibt lange noch nicht Erfindungen auf Knopfdruck. Auch nicht jede „harte Nuß“ läßt sich mit TRIZ-Werkzeugen auf der Stelle garantiert knacken. Die Erfindungstechnologie gibt aber eine handfeste und überzeugende Vorgehensweise, so nah wie möglich an den Problemkern heranzukommen, und stellt fachübergreifendes Ingenieurwissen aus nahezu allen Bereichen der Technik und Wissenschaft zur Verfügung. Zumindest aus diesem Grund lohnt es sich, TRIZ einzusetzen.

Umsetzung von TRIZ und CAI im Unternehmen

Hürden überwinden

Aus praktischer Sicht entstehen vor einem TRIZ und CAI Anfänger zwei Hürden: eine technische und eine psychologische. Hier erscheinen die wohlbekannten Parallelen mit der noch nicht in Vergessenheit geratenen Einführung von CAD in die Konstruktionspraxis besonders hilfreich.

Erstens, eine moderne CAD-Workstation hilft kaum, wenn ihre Benutzer mit der Konstruktionslehre nicht vertraut sind. Absolut das gleiche gilt auch für die Computer-Aided-Innovation, die nicht am PC sondern mit dem Studieren der TRIZ-Grundlagen und mit dem Üben neuer Arbeitstechniken beginnen soll.

Zweitens, TRIZ erfordert von den Anwendern eine unkonventionelle, widerspruchorientierte Denktechnik und die konsequente Verzicht auf die «Versuch-und-Irrtum»-Methode bei der Lösung technischer Probleme. Die mit den Jahren eingeschliffene Denkweise zu verändern, ist für manche Konstrukteure und Entwickler nicht leichter, als beispielsweise vom Zeichenbrett zum CAD-Gerät zu wechseln.

Industrie- erfahrungen

Die Erfahrung zahlreicher TRIZ-Anwender bestätigt, daß TRIZ (nicht umsonst als „Theorie des Erfindens“ genannt) viel zu umfangreich ist, um sie parallel zum Tagesgeschäft mit eigenen Kräften erfolgreich einzuführen.

Eine systematische Unterstützung durch Methodenexperten ermöglicht eine effektive und ergebnisorientierte Integration der TRIZ-Arbeitstechniken mit ihren PC-basierten Ideendatenbanken in die Unternehmensprozesse. Je nach Bedürfnissen wird das TRIZ-Wissen durch die praxisnahen Schulungen vermittelt oder über Moderation von Pilotprojekten mit der Lösung aktueller Aufgabenstellungen umgesetzt.

Firmeninternes Training

Der Wunsch, eigene Führungskräfte und Entwicklungsteams mit den Techniken des systematischen und erfinderischen Problemlösens auszurüsten, kommt häufig in Konflikt mit hoher Arbeitsauslastung und allgemeiner Zeitnot im Tagesgeschäft. Ein mehrstufiges firmeninternes Trainingsprogramm hilft diesen Widerspruch zu überwinden. Die Unternehmen erhalten dadurch die Möglichkeit,

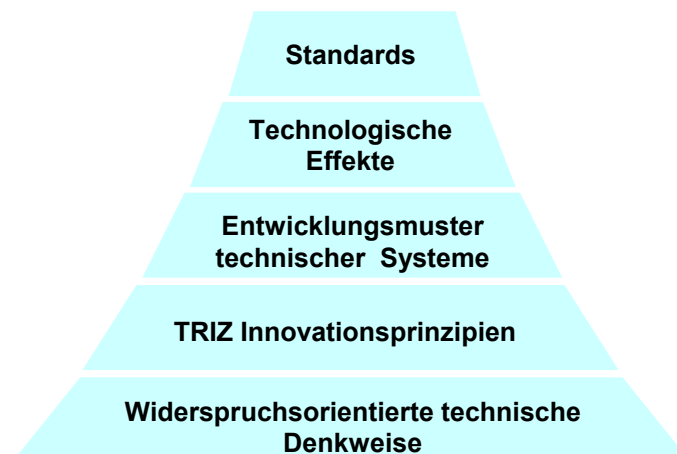
- eigene TRIZ Experten durch die Teilnahme an allen Stufen auszubilden sowie auch
- eine grössere Zahl von Mitarbeitern an verschiedenen Stufen durch Rotationsprinzip qualifizieren zu lassen.

Inhalte, Anzahl und Dauer der Stufen werden an die firmeninternen Bedürfnisse angepasst. Der gesamte Ausbildungszyklus kann somit je nach Zeitressourcen innerhalb von 2 bis 12 Monaten absolviert werden.

Aufbau des TRIZ-Wissens

Das Erwerben der TRIZ-Kenntnisse und Erfahrungen ist keineswegs die Sache weniger Stunden. Die Abbildung 6 stellt den empfohlenen Aufbau einer TRIZ-Wissenspyramide im Unternehmen dar. Die unteren Ebenen wie z.B. „Widerspruchsorientierte Denkweise“ oder „Innovationsprinzipien“ sollten eine maximale Verbreitung in allen Unternehmensebenen finden. Anwendung spezieller TRIZ-Werkzeuge ist dagegen die Aufgabe von internen Methodenspezialisten. Man sollte auch den Weg von einfacheren zu komplexeren Werkzeugen und Methoden wählen, der sich auf alle Fälle lohnt und keine Enttäuschungen bereitet.

Bild 6. Aufbau des TRIZ-Wissens im Unternehmen



Plattform für Innovations- und Qualitätsmanagement

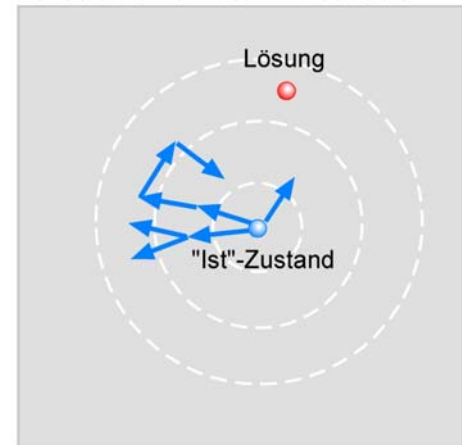
Im Vergleich mit den bekannten Methoden für Qualitätsmanagement und Produktentwicklung, wie QFD, FMEA, DFMA, Taguchi u.v.a., muss TRIZ als komplexe Innovationstechnologie, die aus mehreren Methoden und Tools besteht, erheblich höher angesiedelt werden. Sie erweist sich als Plattform für ein ausbaufähiges innenbetriebliches Innovations- und Qualitätsmanagement. Im dynamisch wachsenden globalen Wettbewerb kann eine schnelle TRIZ-Umsetzung für jedes Unternehmen nicht nur erfrischend und ermutigend sondern vielleicht lebenswichtig sein.

TRIZ im Vergleich zu herkömmlichen Kreativitätstechniken

Versuch-und-Irrtum-Methode

Die natürliche und älteste Vorgehensweise bei der Suche nach Ideen oder Problemlösungen kann als „Versuch-und-Irrtum-Methode“ bezeichnet werden. Dieses Verfahren ist nichts anderes als ein gedankliches Durchmustern von bekannten oder nahe liegenden Lösungswegen, auf den persönlichen Erfahrungen und dem Fachwissen der Erfinder basieren. Meist gehen die Ideen in die Richtung der so genannten psychologischen Denkrägheit, wo eine Lösung für das jeweilige Fachgebiet bereits existiert oder erwartet wird.

Versuch und Irrtum Methode



Nach einigen erfolglosen Denkversuchen wird die Suche nach Lösungsalternativen in der Regel abgebrochen. Falls der Erfinder sie zu einem späteren Zeitpunkt fortsetzt, beginnt er meist zunächst mit der gedanklichen Wiederholung bereits gemachter Vorschläge. Bei intensivem Nachdenken wird die Aufgabe zum Teil im Unterbewusstsein „verarbeitet“, bis gelegentlich eine Erleuchtung zu einem erfolgreichen Konzept führt.

Diese Arbeitstechnik ist sehr zufallsbehaftet und deshalb schlecht planbar. Sie ist für die Lösung einfacher Aufgaben im eigenen Fachgebiet geeignet, wo die Zahl von Denkversuchen bis zum Erreichen einer zufriedenstellenden Lösung im Allgemeinen kleiner als 10 ist.

Die Wirksamkeit des Versuch-und-Irrtum-Verfahrens kann durch mehr als 100 bekannte Kreativitätstechniken und Methoden gesteigert werden. Trotz der scheinbar großen Vielfalt solcher Techniken nutzen sie aber nur zwei grundlegende Ansätze zur Effektivitätserhöhung des kreativen Denkprozesses - den psychologischen und den systematischen Ansatz.

Psychologischer Ansatz und psychologische Kreativitätstechniken

Der psychologische Ansatz besteht in der Reduzierung der Denkrägheit durch die Aufhebung von Denkblockaden und Entfaltung assoziativer Denkfähigkeit von Menschen. Die Zahl von Ideen in verschiedenen unerwarteten Richtungen und die Wahrscheinlichkeit, durch einen „genialen“ Einfall eine gute Lösung zu finden, wird gegenüber der einfachen Versuch-und-Irrtum-Methode erhöht. Die Anwender erhalten aber keine Richtungsweisung für die Lösungssuche. Der psychologische Ansatz liefert gute Ergebnisse bei einfachen Aufgabenstellungen, die „in einem Zug“ gelöst werden können, wo die Zahl von Denkversuchen bis zum Erreichen einer zufriedenstellenden Lösung kleiner als 100 ist.

Eine Reihe von Kreativitätstechniken basieren auf dem psychologischen Ansatz. Die bekanntesten sind Brainstorming und seine zahlreichen Modifikationen (Brainwriting, Methode 6-3-5 u.a.), die Synektik, die Reizwortmethode u.a.

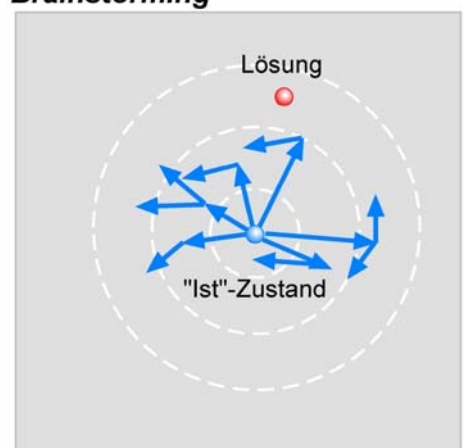
Zu den vier einfachsten psychologischen Kreativitätstechniken gehören:

- Analogie** - Suche nach einer ähnlichen Lösung aus der Natur oder Umgebung.
- Inversion** - Suche nach einer umgekehrten Wirkung, z.B. Objekt auf den Kopf stellen.
- Empathie** - ein Erfinder soll sich in ein Objekt hineinversetzen, seine Lage reflektieren und dabei nach neuen Lösungsideen suchen.
- Fantasie** - Suche nach fantasievollen Ideen.

Die Lösungssuche beim **Brainstorming** (Autor: Alex Osborn) erfolgt in zwei Etappen – Ideengenerierung und Ideenbewertung. Während der Ideengenerierung gilt das Prinzip „Quantität vor Qualität“. In entspannter Atmosphäre sollen die Teilnehmer spontan so viele Ideen wie möglich generieren, ohne Rücksicht auf ihre Realisierbarkeit. Jeder Vorschlag soll von der Gruppe aufgegriffen und weiterentwickelt

werden. Zur Kreativitätssteigerung wird jegliche Kritik während der Sitzung strikt verboten. Die Teilnehmer sollen nach Möglichkeit unterschiedliche Fachgebiete vertreten. Erfahrungsgemäß kann ein Team von 10 Personen 50 bis 60 Vorschläge machen, die allerdings oft entweder trivial oder zu fantasievoll sind. In der zweiten Phase erfolgt die Bewertung gemachter Vorschläge, die in der Regel in 3 bis 4 erfolgsversprechende Ideen umgesetzt werden können.

Brainstorming



In der **Synektik-Methode** von William Gordon wird Brainstorming mit unterschiedlichen Typen von Analogien verstärkt. Der Begriff „Synektik“ (griechisch) steht für das Zusammenbringen von unterschiedlichen Elementen.

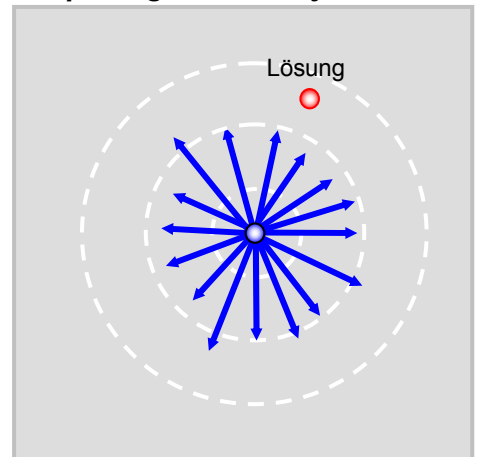
In der **Methode 6-3-5** schreiben in einer Sitzung 6 Personen jeweils 3 Ideen in 5 Minuten nieder und tauschen sie in der festgelegten Reihenfolge untereinander aus. Dadurch können die Ideen jedes Teilnehmers durch andere Personen weiterentwickelt werden.

Bei der **Reizwortmethode** werden die charakteristischen Merkmale von zufällig aus einem Buch, Katalog etc. ausgewählten Objekten auf das zu untersuchende Objekt übertragen. Dadurch entstehen neue Assoziationen bzw. unerwartete Produktmerkmale. Dieses Vorgehen liefert gute Ergebnisse bei der Gestaltung einfacher Produkte, wie z.B. Büroartikel, Haushaltsgeräte, Kleidung, Geschenkartikel etc.

Systematischer Ansatz und systematische Kreativitätstechniken

Der systematische Ansatz bringt Ordnung in den Prozess des Durchmusterens von möglichen Lösungsalternativen. Zu den bekanntesten systematischen Kreativitätstechniken gehören die Morphologische Analyse mit ihren Modifikationen, zahlreiche Fragelisten und -kataloge sowie die Funktionsanalyse.

Morphologische Analyse



Nach dem Prinzip der Morphologischen Analyse (F. Zwicky) wird ein Objekt gedanklich in seine Bestandteile (Morpheme) zerlegt. Für jeden Bestandteil sollen im nächsten Schritt alle denkbaren Ausführungsvarianten niedergeschrieben werden. Die dadurch entstandene morphologische Matrix (mit 3. Dimension: morphologischer Kasten) erlaubt es, sämtliche Ausführungskombinationen des Objekts systematisch auszuwerten. Eine sehr hohe Zahl von Varianten führt aber häufig zur Verwirrung. Zum Beispiel entspricht einem Objekt mit drei Komponenten mit jeweils 10 Ausführungsvarianten eine dreidimensionale Matrix mit bereits 1000 Gestaltungsmöglichkeiten.

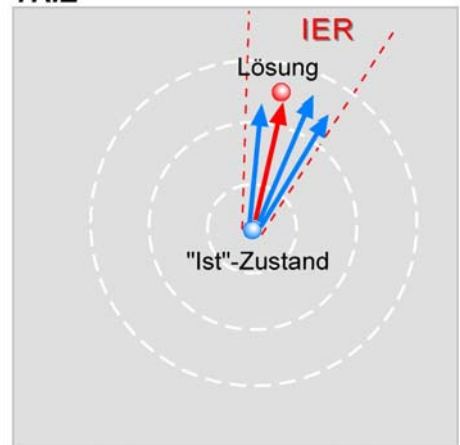
In der Praxis liefert der systematische Ansatz gute Ergebnisse bei Aufgaben, bei denen die Zahl von Denkversuchen bis zum Erreichen einer zufriedenstellenden Lösung geringer als 100 ist.

Rumpf \ Segel		1	2	3	4	...	n
		Bootrumpf	Katamaran	Unterwasserflügel	Luffkissen	U-Boot	kein Rumpf
1	Einfaches Segel						
2	Poly-Segel						?
3	Gleitschirm			?	?		
4	Luftballon	?			?		
...	Magnus-Effekt-Segel				?		
n	kein Segel						

Tabelle 3:
Beispiel einer zweidimensionalen morphologischen Matrix
Segelschiff = Rumpf + Segel

**Wissensbasierter
Ansatz und
gezielte
Lösungssuche
mit TRIZ**

Psychologische und systematische Kreativitätstechniken sind lediglich eine Modifizierung des natürlichen Versuch-und-Irrtum-Suchverfahrens. Diese Methoden lassen sich einfach modifizieren und kombinieren. Das erklärt ihre scheinbare Vielfältigkeit. Sie versagen bei schwierigen Aufgaben mit einem sehr grossen Suchfeld und hoher Zahl (1000...10000) von potenziellen Denkversuchen.

TRIZ

Im Gegensatz zu den Versuch-und-Irrtum-Methoden berücksichtigt der wissensbasierte Ansatz objektive Entwicklungsmuster in der Technik und verfügt über abstrakte Problemlösungstechniken. Entdeckung und Systematisierung dieser Gesetze und Innovationsprinzipien erfolgte im Rahmen der Entwicklung der Erfindungstheorie TRIZ.

Mit Hilfe von TRIZ können die Zielkorridore zu den so genannten Idealen Endresultaten (IER) festgelegt werden, die durch die Überwindung technischer Widersprüche zeitsparend zu mehreren starken Lösungsalternativen führen.

Psychologische Kreativitätstechniken können den wissensbasierten TRIZ-Ansatz bei der Aufhebung von Denkblockaden unterstützen. Systematische Methoden (Morphologische Analyse, Funktionsanalyse) werden oft in der Phase der Problemformulierung und für die Weiterentwicklung bereits gefundener Konzepte erfolgreich verwendet.

Die Effektivität der Anwendung im Vergleich

Die Effektivität der Anwendung von Kreativitäts- und Erfindungstechniken hängt in der Praxis vom Komplexitätsgrad von Aufgaben ab. Nach der von G. Altschuller vorgeschlagenen Klassifizierung (siehe Tabelle 4) gibt es in erster Näherung fünf Ebenen von Innovationen, die sich durch die Zahl von Denkversuchen bis zum Erreichen einer Lösung und durch die Größe des Suchfelds unterscheiden. Die psychologischen (Brainstorming) und systematischen (Morphologische Analyse) Kreativitätstechniken liefern gute Ergebnisse auf den unteren Ebenen. Die wissensbasierte TRIZ-Technologie reduziert die Zahl von „leeren“ Denkversuchen und ermöglicht dadurch wie keine andere Kreativitätstechnik eine schnelle und zielgerichtete Ideenfindung vor allem bei schwierigen Aufgaben.














				Vergleich der Lösungsverfahren				
Erfindungsniveaus nach G.S. Altschuller		Anzahl der Versuche	Anteil der Erfindungen	Suchfeld	Versuch und Irrtum	Brainstorming	Morph. Analyse	TRIZ
5	Grundlegende, bahnbrechende Erfindungen	> 10 000	1%	wissenschaftl. Entdeckungen				
4	Neue Generationen technischer Systeme	1000 - 10 000	4%	gesamte Wissenschaft				
3	Grundlegende substantielle Verbesserungen	100 - 1000	18%	gesamte Technik				
2	Verbesserungen i.d.R. mit Kompromissen	10 - 100	45%	technische Branche				
1	Offensichtliche, konventionelle Lösungen	bis 10	32%	enges Fachgebiet				

Tabelle 4: Klassifizierung von Innovationen nach G. Altschuller

Literatur

1. G.S. Altschuller: Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme. VEB Verlag Technik Berlin, 1984. Limitierter Nachdruck 1998, 280 Seiten, ISBN 3-00-002700-9
2. Pavel Livotov, Vladimir Petrov: Innovationstechnologie TRIZ. Produktentwicklung und Problemlösung. Handbuch. TriSolver GmbH & Co KG, Hannover, 284 Seiten, 2. Auflage, 2005