

ideendigest

INNOVATOR

Themen in dieser Ausgabe:

- **Inspiration auf Bestellung: Methodik des systematischen Erfindens TRIZ ... 3**
- **Ideendigest: Neue Ideen, Erfindungen, technische Lösungen ... 18**

Beiträge nach Branchen:

- **Innovations- und Qualitätssicherung**
- **Maschinenelemente**
- **Elektrotechnik**
- **Messtechnik u.a.**

EDITORIAL

Der Weg von Erneuerungen und Innovationen ist steinig und risikoreich. Oft werden interessante Lösungsideen im Industrielltag kurzerhand als perspektivlos eingestuft. Im Innovationsprozess bleiben daher immer mehr kreative Ideen ungeschützt.

Ein Schutzrecht entsteht erst durch Anmeldung, Prüfung und Registrierung eines Patents oder Gebrauchsmusters. Jedoch kann nicht jede Idee sofort zum Patent angemeldet werden. Eine Patentanmeldung nimmt viel Zeit in Anspruch, verursacht beträchtliche Kosten und ist nicht immer wirtschaftlich erfolgreich. Auch nicht alles ist patentierbar, wie z.B. Methoden, Geschäftskonzepte, Berechnungs- oder Softwarealgorithmen. Es kommt in der Praxis oft vor, dass eigene nicht mehr weiter verfolgte Ideen durch Dritte implementiert oder patentiert werden.

Der Zweck dieses Magazins besteht darin, allen innovativ und erfinderisch Denkenden, Personen und Unternehmen, eine Möglichkeit zu geben, eigene Ideen zu veröffentlichen, urheberrechtlich zu schützen und somit eine mögliche Patentierung durch Dritte zu verhindern.

Um den Innovations- und Ideenfindungsprozess zu unterstützen und zu beschleunigen werden im INNOVATOR auch methodische Beiträge über die Techniken des systematischen Erfindens und Problemlösens veröffentlicht.

Impressum INNOVATOR

ISSN 1866-4180
 Herausgeber: TriS Europe GmbH
 Redaktion: Dr.-Ing. Pavel Livotov (V.i.S.d.P.)
 Anschrift der Redaktion:
 Eichendorffstr. 9
 D-30175 Hannover
 Tel.: +49 (0)511 811 200 40
 Fax: +49 (0)511 811 200 45
 E-Mail: innovator@tris-europe.com

Nachdruck oder Publikation im Internet, auch auszugsweise, ist nicht gestattet.



Inhalt

Methodik des systematischen Erfindens TRIZ.....	3
Background und Definitionen.....	3
TRIZ - Bestandteile.....	4
40 Prinzipien zum Überwinden technischer Widersprüche.....	6
76 Standardlösungen von Erfindungsaufgaben	8
Algorithmus zur Lösung von Erfindungsaufgaben - ARIZ	11
Datenbank der technologischen Effekte	13
TRIZ Software	14
Erfolgspotential von TRIZ & CAI	15
Umsetzung von TRIZ und CAI im Unternehmen.....	16
Ideendigest	18
AC 000 000 002.....	19
AC 000 000 003.....	21
AC 000 000 004.....	22
AC 000 000 007.....	23
AC 000 000 008.....	24
AC 000 000 009.....	25

Inspiration auf Bestellung

Methodik des systematischen Erfindens TRIZ

Dr.-Ing. Pavel Livotov, verantwortlicher Herausgeber

Autor

Pavel Livotov, Dr.-Ing., Autor von mehr als 70 patentierten Erfindungen, beschäftigt sich mit der TRIZ-Methodik 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 1998 ist er als Innovationsmanager und TRIZ-Experte tätig. Mitbegründer und Vorstandsmitglied der Europäischen TRIZ Assoziation ETRIA. E-Mail: p.livotov@tris-europe.com.



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 Ingenieurleistung – **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	Lernaufwand
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 Denkfähigkeit: 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.

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.

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, verschleißen 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.

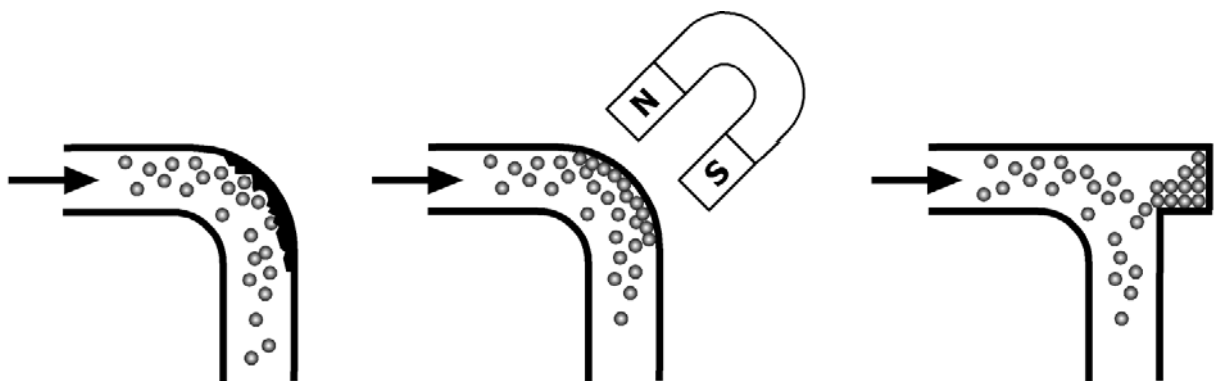


Bild 3:

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.

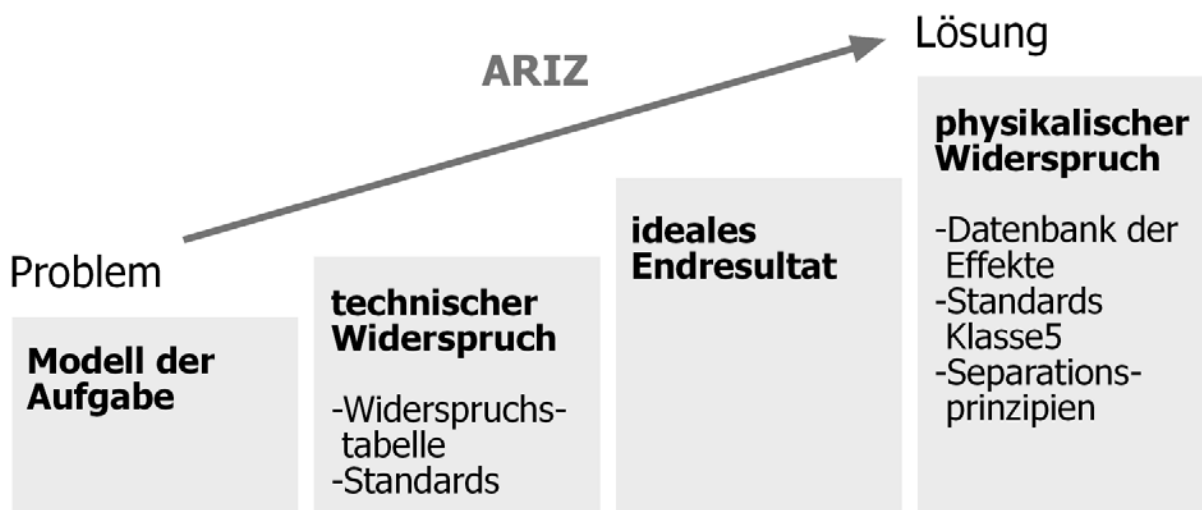
Algorithmus zur Lösung von Erfindungsaufgaben - ARIZ

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.

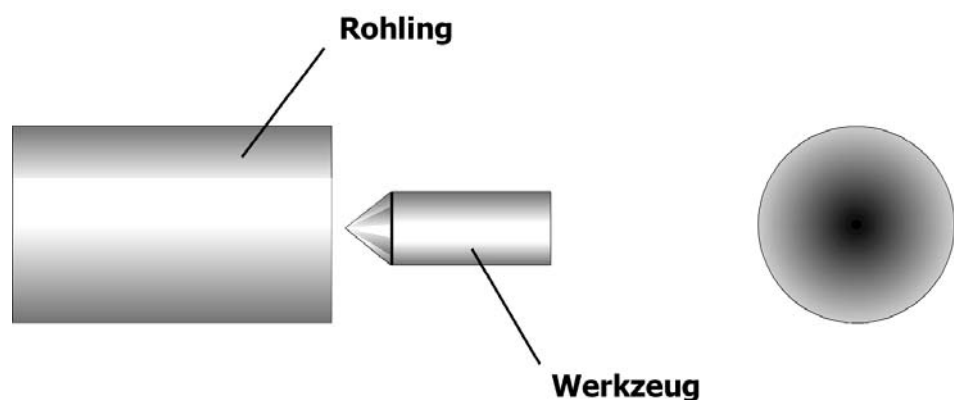
Der unendlich lange Zylinder selbst unterstützt und führt die Nadel genau in seiner Mitte. Der technische Widerspruch wird durch solche Formulierung noch mehr verschärft. Das IER wirkt hier als ein Wegweiser zu einer starken Lösung. Jeder technische Widerspruch hat konkrete physikalische Ursachen, die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

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 Ingenieurtaetigkeit sein wird.

Die TRIZ-basierten Softwaretools kommen diesem CAI-Anspruch am naechsten, wenn sie vor allem eine korrekte Auswahl von wichtigsten Innovationsaufgaben (bzw. der Innovationsstrategie) unterstuetzen und darueber hinaus eine objektive und veraendliche Bewertung von Ideen und neuen Produktkonzepten ermöglichen. Das eigene Denken auf einem anspruchsvollen intellektuellen Niveau wird mit der CAI-Software allerdings noch lange nicht ersetzt.

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,

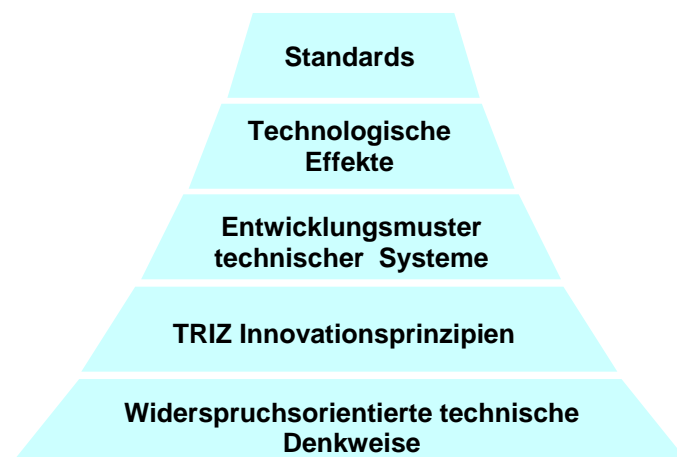
- eigene TRIZ Experten durch die Teilnahme an allen Stufen auszubilden sowie auch
- eine grössere Zahl von Mitarbeitern an verschiedenen Stufen durch Rotationsprinzip qualifizieren zu lassen.

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.

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. Hannover, 280

Ideendigest

Ideen urheberrechtlich schützen

Der Weg von Erneuerungen und Innovationen ist steinig und risikoreich. Oft werden interessante Lösungsideen im Industrialltag kurzerhand als perspektivlos eingestuft. Im Innovationsprozess bleiben daher immer mehr kreative Ideen ungeschützt.

Ein Schutzrecht entsteht erst durch Anmeldung, Prüfung und Registrierung eines Patents oder Gebrauchsmusters. Jedoch kann nicht jede Idee sofort zum Patent angemeldet werden. Eine Patentanmeldung nimmt viel Zeit in Anspruch, verursacht beträchtliche Kosten und ist nicht immer wirtschaftlich erfolgreich. Auch nicht alles ist patentierbar, wie z.B. Methoden, Geschäftskonzepte, Berechnungs- oder Softwarealgorithmen. Es kommt in der Praxis oft vor, dass eigene nicht mehr weiter verfolgte Ideen durch Wettbewerb implementiert oder patentiert werden.

Im Innovator werden verschiedene Beiträge von Personen und Unternehmen veröffentlicht, die eigene Ideen, technische Lösungen oder Innovationskonzepte durch diese Publikation urheberrechtlich schützen wollen. Ein veröffentlichter Beitrag gehört zum Stand der Technik und kann nicht zum Patent angemeldet werden. Für die Inhalte der Beiträge sind die Autoren verantwortlich.

Author's Certificate

Zu jedem im Innovator veröffentlichten Beitrag wird ein Autorenzertifikat AUTHOR'S CERTIFICATE als elektronische Urkunde (PDF-Format) zum objektiven und stichhaltigen Urhebernachweis ausgestellt. Die Autorenzertifikate werden mit der S-TRUST qualifizierten elektronischen Signatur nach Deutschem Signaturgesetz (SigG) mit einem integrierten Zeitstempel signiert.

Ein Autorenzertifikat ist allerdings kein Ersatz für ein Schutzrecht, das durch ein Patent oder ein Gebrauchsmuster gegeben wird.

Method of non-destructive interferential ultrasonic seal inspection

AC 000 000 002

Priorität: 20.03.2008
Ausgestellt: 28.04.2008
Veröffentlicht: Innovator 04/2008
Autoren: N.N.

Bezeichnung: Method of non-destructive interferential ultrasonic seal inspection

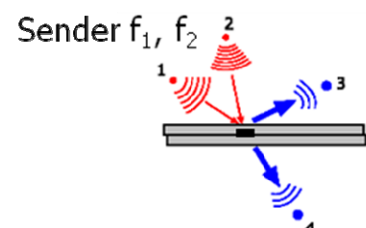
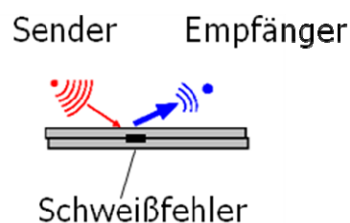
Beschreibung: Ultrasonic methods for inspecting packaging integrity and tightness seem to be more perspective for the flexible packaging now. They are fast, relatively low-cost, suitable for non-destructive automatic inspection in-line and off-line.

As both the tightness of seals and permeability of flexible bags are to be tested, the inspection procedure can be performed in two steps:

1. Test of seals and permeability of the bag before filling (for example with standard pressure decay method or other methods)
2. In-line test of the sealed bag opening after the filling using ultrasonic inspection

Ultrasonic control device for welded polymer parts consists of two acoustic generators 1, 2 with different frequencies (pulse mode with frequency 2,5; 5,0 and 10 MHz.), which are operating at different transmitting angles, and two receivers 3, 4. The receivers 3, 4 sense the reflected signals from welded connection and signals passed through welded connection.

A microprocessor based analyzer compares and evaluates these good measurable signals in order to control welds or seals for hidden defects. In any case for each design of the tested unit or part an individually designed sensor head is recommended. The electronic device remains certainly the same.



This method enables to identify hidden defects in welds and seals (so called «kissing bonds») and can be applied also in the automotive industry. This ultrasonic control method can be used for following purposes:

- In-line quality control of the welds directly in the manufacturing process
- Off-line selective control after manufacturing

Die Schweißnaht wird mit zwei Ultraschall-Sendern 1, 2 mit unterschiedlichen Ultraschall-Frequenzen und Eintrittswinkeln abgescannt. An einer defekten Stelle entsteht eine gut messbare Änderung der akustischen Phasenfront, die durch die Empfänger 3,4 erkannt wird.

Festkörperstoßdämpfer

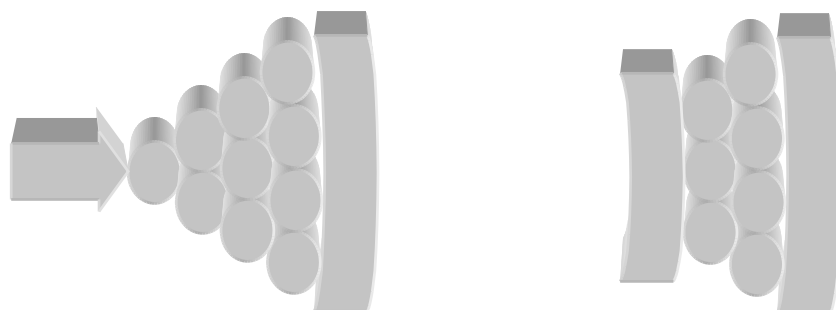
AC 000 000 003

Priorität: 20.02.2008
Ausgestellt: 28.04.2008
Veröffentlicht: Innovator 04/2008
Autoren: NN

Bezeichnung: Festkörperstoßdämpfer

Beschreibung: Mechanischer Stoßdämpfer, bestehend aus einem zweiteiligen Gehäuse aus einem elastischen oder festen Material gefüllt mit zylindrischen, kugelförmigen oder linsenförmigen u.a. Energieübertragungskörpern, z.B. Stahlkugeln mit dem Durchmesser von 1mm bis 10 mm, die als Stoßpartner auftreten. Bei der Übertragung mechanischer Energie (Stoß, Aufprall etc.) vom ersten Gehäuseteil über die Stoßpartner zum zweiten Gehäuseteil wird die kinetische Energie über mehrere Kontaktpunkte einzelner Körper weitergeleitet und in die Wärme umgewandelt.

Die Energieübertragung beim elastischen Stoß hängt von den Masseverhältnissen und den elastischen Konstanten der Stoßpartner ab. Die Ausbreitung elastischer Wellen in den Stoßpartner wird auch durch Reflexionen an inneren Grenzflächen beeinflusst. Die Phasenlagen der reflektierten Stoßwellen führen zu einer Veränderung der Rückstoßgeschwindigkeit.



Bistabile Stromschaltung mit Phasenumwandlung in ferromagnetischen Materialien

AC 000 000 004

Priorität: 20.02.2008
Ausgestellt: 28.04.2008
Veröffentlicht: Innovator 04/2008
Autoren: NN

Bezeichnung: Bistabile Stromschaltung mit Phasenumwandlung in ferromagnetischen Materialien

Beschreibung: Strom durch ein Ferromagnetikum führt zu dessen Erwärmung. Wird der Curie-Punkt erreicht, verschwindet die spontane Magnetisierung. Ein Sensor erkennt dies und schaltet den Heizstrom ab. Daraufhin kühlt sich das Material ab, bis der Curie-Punkt unterschritten wird und die spontane Magnetisierung wieder einsetzt. Dies erkennt der Sensor und schaltet den Strom wieder zu.

Durch die Auswahl eines ferromagnetischen Materials mit gewünschter Curie-Temperatur und entsprechend geringer Temperaturhysterese des Phasenüberganges kann eine Temperaturvorgabe bzw. Temperaturstabilisierung um den Curie-Punkt durch z.B. induktive Erwärmung ferromagnetischer Arbeitskörper.

Durch ferromagnetische Materialien mit verschiedenen Curie-Temperaturen (z.B. Ferrite mit 100...450 °C je nach Zusammensetzung) kann kontaktlose ferromagnetische Temperaturdetektion an schwer erreichbaren Stellen oder Objekten mit der Genauigkeit von ca. 10 Grad oder weniger erreicht werden.

Material	Curie-Temperatur
NdFeB	310 °C
Ni	354 °C
Ferrite	100..450 °C
Fe	770 °C

Hydraulischer Stoßdämpfer mit elektrorheologischem Arbeitsmedium

AC 000 000 007

Priorität: 20.02.2008
Ausgestellt: 28.04.2008
Veröffentlicht: Innovator 04/2008
Autoren: NN

Bezeichnung: Hydraulischer Stoßdämpfer mit elektrorheologischem Arbeitsmedium

Beschreibung: Ein adaptiver hydraulischer Stoßdämpfer eines Fahrzeugs verwendet elektrorheologisches Arbeitsmedium und ist in der Lage, seine Energieabsorption, Steifigkeit sowie geometrische Form der Kontaktzone je nach Art der Stoßbelastung, z.B. Vibration, Aufprall etc., sowie nach der Steifigkeit, Beschaffenheit und geometrischer Form und anderen physikalischen Eigenschaften eines externen Interaktionspartners zu verändern. Somit werden die Folgen einer Stoßbelastung für das Fahrzeug minimiert und der externe Interaktionspartner geschont.

Die Systemdämpfung wird über eine elektrorheologische Flüssigkeit variiert. Die Steifigkeit des Stoßdämpfers wird mit Hilfe eines Sensorsignals gesteuert. Je nach Stoßbelastung wird die an das Arbeitsmedium angelegte elektrische Spannung variiert. Das elektrorheologische Arbeitsmedium wird in unter anderem in umhüllten porösen Elementen gehalten.

Als elektrorheologisches Arbeitsmedium sind Dispersionen aus Metalloxiden, Kieselsäureanhydriten oder metallhaltigen Polymeren in Leichtöl, Silikonöl, Paraffin geeignet. Derartige Dispersionen aus kleinen Partikeln mit der Partikelgröße von 1 bis 100 µm mit hoher Polarisierbarkeit in Trägermedien mit niedriger Dielektrizitätskonstante können durch Anlegen eines elektrischen Feldes ihre Viskosität um Größenordnungen vergrößern. Volumenanteil der Feststoffe in der Dispersion kann bis 30 ... 50 % betragen.

Verfahren zur Herstellung elektrisch isolierter Stromleiter für mikroelektronische Schaltungen

AC 000 000 008

Priorität : 20.02.2008
Ausgestellt : 28.04.2008
Veröffentlicht: Innovator 04/2008
Autoren: NN

Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung elektrisch isolierter Stromleiter für mikroelektronische Schaltungen

Beschreibung: Gewöhnliche Metalldrähte sind für Verdrahtung mikroelektronischer Schaltungen immer weniger geeignet. Alternativ können Drähte aus Polymeren z.B. Polypyrrol hergestellt werden inklusive der für eine Stromleitung erforderlichen isolierenden Ummantelung. Dafür werden parallel angeordnete Kanäle bestimmter Silikate als Matrize für die Nanodrähte verwendet. Es können Monomere in bereits bestehende Kanäle gefüllt werden oder die Kanäle direkt in der Polymerfüllung erzeugt werden.

Für den zweiten Fall wird eine Lösung hergestellt, die das Ausgangsmaterial für das Silikat sowie die Polypyrrol-Bausteine mit den Tensid-Eigenschaften enthält. Die Tensid-Pyrrol-Hybride bilden lange, schlauchartige Mizellen, um die das Silikat herum kristallisiert. Anschließend werden die Pyrrol-Einheiten polymerisiert und zwar zu einem Komposit-Material als Polypyrrolfasern mit guten elektronischen Eigenschaften mit einer Silikatummantelung als Isolierung.

Verfahren zur Evaluierung technischer Schwachstellen an Produkten und Systemen

AC 000 000 009

Priorität: 20.02.2008

Ausgestellt: 28.04.2008

Veröffentlicht: Innovator 04/2008

Autoren: Pavel Livotov, Dr.-Ing. 30625 Hannover/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Evaluierung technischer Schwachstellen an Produkten und Systemen.

Beschreibung: Verfahren zur Evaluierung technischer Schwachstellen an Produkten oder technischen Systemen durch Erfassung deren nützlichen technischen Funktionen oder Eigenschaften, Ermittlung der Wichtigkeit von erfassten technischen Funktionen und der Zufriedenheit mit dem aktuellen Erfüllungsgrad dieser Funktionen im zu untersuchenden Produkt während seiner Anwendung durch Nutzer, Berechnung der Gesamtzufriedenheit mit dem Erfüllungsgrad aller nützlichen Funktionen des Produkts in Prozent während seiner Anwendung durch Nutzer, und Berechnung daraus einer Kennzahl für jede erfasste Funktion zur Erkennung, Bewertung und Vergleich der funktionsbezogenen technischen Schwachstellen. Kennzahlen K_i zur Erkennung, Bewertung und Vergleich der funktionsbezogenen technischen Schwachstellen werden als mathematische Funktion der ermittelten Wichtigkeit W_i und Zufriedenheit Z_i berechnet:

$$K_i = (W_i + a \cdot W_i \cdot (W_i - Z_i) \cdot (1 - Z_i)) / \sum_{i=1,n} (W_i + a \cdot W_i \cdot (W_i - Z_i)),$$

Gesamtzufriedenheit Z_{gesamt} wird berechnet, vorzugsweise als

$$Z_{\text{gesamt}} = \sum_{i=1,n} [Z_i \cdot (W_i + a \cdot W_i \cdot (W_i - Z_i)) / \sum_{i=1,n} (W_i + a \cdot W_i \cdot (W_i - Z_i))]$$

n - Zahl der erfassten technischen Funktionen, z.B. $n = 10 \dots 250$

a - Koeffizient, z.B. $a = 0,1 \dots 3,0$.

Wichtigkeits- und Zufriedenheitswerte von jeweiligen technischen Funktionen werden in mindestens 2 Teilbereiche zergliedert, und zwar in einen Teilbereich mit der hohen Zufriedenheit bzw. Wichtigkeit und in einen Teilbereich mit der niedrigen Zufriedenheit bzw. Wichtigkeit, und anschließend für jede technische Funktion die prozentuelle Segmente von Anwendungen ermittelt werden, die folgenden Bedingungen entsprechen:

- hohe Wichtigkeit und niedrige Zufriedenheit (primäre Schwachstellen),
- niedrige Wichtigkeit und hohe Zufriedenheit (sekundäre Schwachstellen),
- hohe Wichtigkeit und Zufriedenheit (ausreichend erfüllte Funktionen).

Dadurch werden die Mittelwerte für Zufriedenheit und Wichtigkeit von Funktionen über alle Produktanwendungen ermittelt, und anschließend technische Funktionen mit dem größten Nachbesserungsbedarf (primäre Schwachstellen) erkannt.

Die Grenze zwischen den Teilbereichen mit hohen und niedrigen Zufriedenheit bzw. Wichtigkeit wird vorzugsweise bei 60...75% definiert.

Für jede einzelne Anwendung des Produktes durch Nutzer werden die Wichtigkeits- und Zufriedenheitswerte von jeweiligen technischen Funktionen in mindestens 2 Teilbereiche zergliedert, und zwar in einen Teilbereich mit der hohen Zufriedenheit bzw. Wichtigkeit und in einen Teilbereich mit der niedrigen Zufriedenheit bzw. Wichtigkeit.

Anschließend für jede technische Funktion die prozentuelle Segmente von Anwendungen ermittelt werden, die folgenden Bedingungen entsprechen:

- hohe Wichtigkeit und niedrige Zufriedenheit (primäre Schwachstellen),
- niedrige Wichtigkeit und hohe Zufriedenheit (sekundäre Schwachstellen),
- hohe Wichtigkeit und Zufriedenheit (ausreichend erfüllte Funktionen).

Dadurch werden für jede einzelne technische Funktion prozentuelle Anteile von Anwendungen des Produkts ermittelt, die einen hohen Nachbesserungsbedarf aufweisen (primäre Schwachstellen), siehe z.B. 16%-Segment im Beispieldiagramm für eine Funktion.

