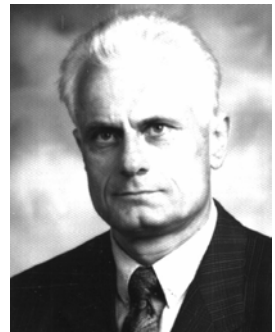


# Offensive Qualitätssicherung mittels der Antizipierenden Fehlererkennung - AFE

## Vorausschauende Ermittlung möglicher Störungen und Fehler-Szenarien an Maschinen und Anlagen

**Dr.-Ing. Gerhard Weimar**, hat in München und Hannover Maschinenbau studiert. Anschließend war er langjährig in der chemischen Industrie als Betriebsingenieur, Anlagenplaner und Leiter der Technik tätig. Seit 1995 Jahren ist er als Moderator und Seminarleiter für Problemlösungstechniken und als Berater für die Analyse möglicher Störungen in Maschinen und Anlagen selbstständig.



---

### Ausgangslage

Hohe Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen ist ein wichtiger Wettbewerbsfaktor der Unternehmen. Doch Kostendruck und Optimierungsmaßnahmen reduzieren zunehmend die Toleranz technischer Systeme gegen mögliche, schwer kalkulierbare Beanspruchungen. Neue Techniken und Systeme erlangen oft erst nach zahlreichen Ausfällen eine ausreichende Zuverlässigkeit. An Bedeutung gewinnen deshalb die Methoden der vorausschauenden Fehlererkennung, die potentielles Versagen auch bei fehlenden Eigenerfahrungen ermitteln lassen.

### AFE-Methode

Hier setzt die Methode der Antizipierenden Fehlererkennung, kurz AFE, an. Die Suche nach möglichen Fehlern wird umgewandelt in die Aufgabe, Fehler unbedingt zu erfinden. Engagement der Beteiligten und das Einbringen der Fachkenntnisse, haben in dieser Phase das Ziel, zu einem Versagen zu führen. Man spricht daher auch von „subversiver“ Fehleranalyse.

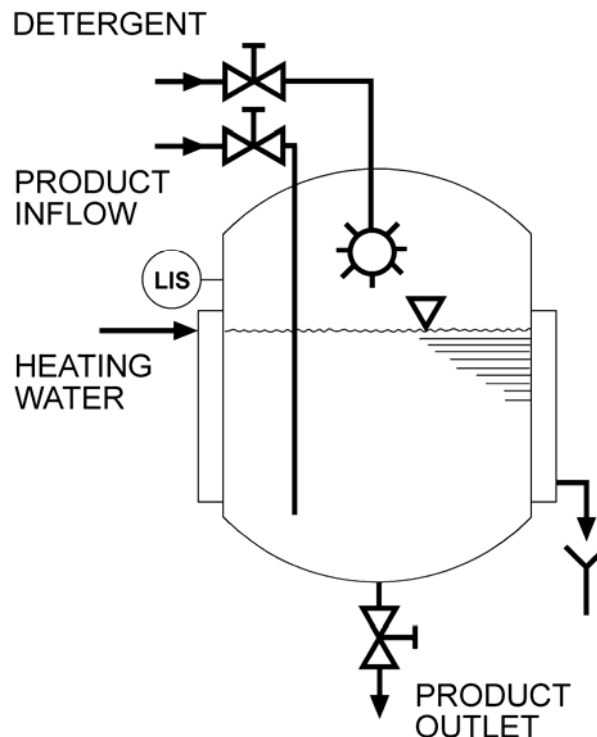
Solche „destruktiven“ Aufgaben werden dann mit Hilfe kreativer Techniken der Theorie zur Lösung erfinderischer Probleme - TRIZ analysiert und gelöst. Die Ergebnisse übertreffen manchmal alle Erwartungen und lassen Murphy's Gesetz „Wenn ein Fehler überhaupt passieren kann, wird er unbedingt einmal vorkommen“ keine Chance.

**Fallbeispiel 1:  
Lebensmittel-  
industrie**

In einem Rührkessel sind zur Reinigung Sprühköpfe eingebaut. Durch sie kann Reinigungsflüssigkeit unter hohem Druck gegen alle vom Produkt berührten Flächen gespritzt werden (Bild 1). Kesselwandung und Rührwerk werden also sauber. Mit der Technik der Antizipierenden Fehlererkennung wird es trotzdem versucht, das System zum Versagen zu bringen.

Die invertierte Aufgabenstellung lautet nun: Suche eine Fläche, die nie abgespritzt wird. Das ist vielleicht der Sprühkopf selber. Er befindet sich über dem höchsten Flüssigkeitsspiegel, der durch eine Niveaumessung und Verriegelung gesichert wird.

Das „subversive“ Ziel ist deshalb, trotzdem Produktrückstände an den Sprühkopf zu bringen. Der Flüssigkeitsspiegel wird z.B. durch Differenzdruck gemessen. Kann man bei maximalem Differenzdruck einen Spiegel erzeugen, der höher ist, als vorgesehen? Eine Antwort lautet: das spezifische Gewicht der Flüssigkeit verringern, z.B. durch Aufkochen oder Schäumen! Zur Vermeidung dieser Fehlermöglichkeit muss also beides mit Sicherheit verhindert werden. Eine alternative Lösung sieht ein anderes Messverfahren für das Flüssigkeitsniveau im Kessel vor.



**Bild 1: Rührkessel mit Reinigungsprüchkopf**

## Methoden der Fehlerverhütung im Vergleich

### Verfügbare Methoden

Die Möglichkeiten, Versagensfälle an Maschinen und Anlagen zu finden sind begrenzt:

1. Die Auswertung von Erfahrungen. - Jede Erfahrung ist aber ein schon einmal eingetretener Fehler!
2. Die FMEA-Methode (Fehler-Möglichkeiten-und-Einfluss-Analyse).
3. Die Fragetechnik der HAZOP- bzw. PAAG-Methode (Hazard and Operability / Prognose von Störungen, Auffinden der Ursachen, Abschätzen der Auswirkungen, Gegenmaßnahmen).
4. Die Antizipierende Fehlererkennung und die Theorie zur Lösung erfinderischer Probleme (TRIZ).

### FMEA

Die am meisten bekannte und stark verbreitete FMEA-Methode (2) zwingt

- zur Aufgliederung der betrachteten Einheit in ihre Funktionselemente,
- zur Aufzählung von Versagensmöglichkeiten,
- zur Abschätzung und Bewertung der Folgen,
- zu Verbesserungsmaßnahmen, wenn ein Risiko (aus Wahrscheinlichkeit, Folgen und Erkennbarkeit) als nicht akzeptabel eingestuft wurde.

Die Ermittlung von Versagensmöglichkeiten muss als ein schwacher Punkt dieser Methode angesehen werden, denn FMEA enthält keine Werkzeuge oder Fragetechniken hierfür.

### HAZOP / PAAG

Die HAZOP- bzw. PAAG-Methode (3) stellt ein strukturiertes Brainstorming dar. Hierbei werden

- die Anlagen (Maschinen) in leicht überschaubare Abschnitte unterteilt,
- je Anlagenteil die Sollfunktionen definiert,
- alle Sollfunktionen in Frage gestellt auf eine Art und Weise, die die Phantasie des Teams anregt (besondere Fragetechnik),
- Verbesserungen vorgeschlagen bei Versagensmöglichkeiten, die kritisch sind.

Oft gelingt es aber nicht, die übliche Denkrägheit zu überwinden. Dann werden u.U. wesentliche Versagensmöglichkeiten nicht gesehen. Auch ist die notwendige Objektivität fraglich, wenn Konstrukteure ihre Arbeit selbst analysieren. Man gibt ungern zu, dass eine eigene Konstruktion versagen kann.

Die herkömmlichen Methoden, wie FMEA und HAZOP, enthalten keine Hilfe beim Suchen nach grundsätzlich besseren Lösungen. Oft werden daher lediglich Vorrichtungen zum Kompensieren von Fehlern oder sogar nur zur besseren Erkennung von Fehlern hinzugefügt. Das macht Maschinen und Anlagen dann komplexer und teurer.

**AFE-Methode**

Antizipierende Fehlererkennung (4) ist radikaler im Ansatz, kann bestehende Verfahren (1-3) effektiv ergänzen und oben erwähnten Nachteile vermeiden (siehe Tabelle 5):

- Fehlermöglichkeiten werden systematisch „erfunden“. Dieses Vorgehen verhindert Denkblockaden und ermöglicht es den Beteiligten, ihr Wissen ohne Hemmungen für die gestellte Aufgabe einzusetzen.
- Die Funktionen werden nicht nur daraufhin analysiert, ob sie gar nicht erfüllt werden, sondern auch daraufhin, ob sie evtl. nur unzureichend oder zu stark erfüllt werden könnten.
- Fehlermöglichkeiten werden gedanklich jeweils bis zu einem maximalen Fehler verstärkt.
- Für jeden maximalen Fehler werden Ursachen gesucht und Ressourcen bereitgestellt.
- Nach Umkehrung des Problems kann man Lösungen des Problems dann – ebenfalls erfinderisch - mit den TRIZ-Werkzeugen finden.

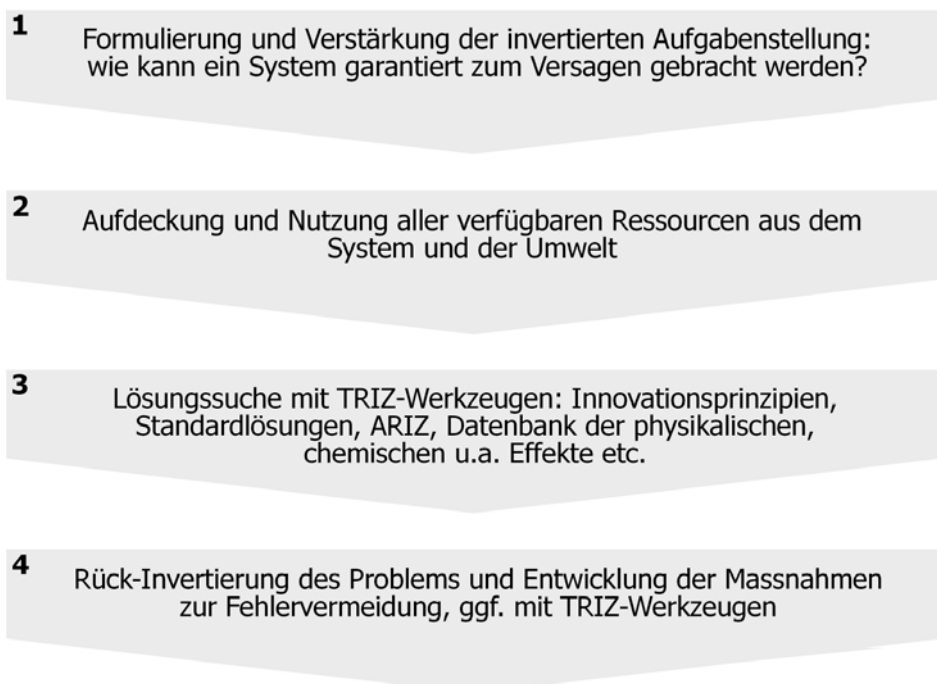
**Tabelle 5: Gegenüberstellung der FMEA mit der AFE-Methode**

Vergleichskriterien	FMEA	AFE
Ziel der Methode	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifizierung von Fehlermöglichkeiten und Bewertung ihrer Auswirkungen.</li> <li>• Identifizierung kritischer Merkmale.</li> <li>• Ordnung der Versagensmöglichkeiten nach ihrem Gewicht.</li> <li>• Hilfe bei der Beseitigung von Mängeln am Produkt oder Prozess.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse aufgetretener Fehler, Kenntnisse im „Erfinden“ solcher Fehler.</li> <li>• Erstellung einer vollständigen Liste möglicher Fehler, sowie negativer, schädlicher oder unerwünschter Effekte.</li> <li>• Umwandlung der Problemanalyse von der Frage „warum ein Fehler passierte?“ zu der Frage „wie man einen Fehler erzeugen kann?“</li> </ul>
Anwendungsbereich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung und Konstruktion von Systemen, Produkten und Prozessen.</li> </ul>	
Werkzeuge für die Analyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorhergehende FMEA's; Fachkenntnisse; Spezifikations- und Garantiedaten; Logik der FMEA Methode.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei FMEA, zusätzlich exakte Problemformulierung und erfinderische Werkzeuge der TRIZ-Methode: 40 Innovationsprinzipien, 76 Standardlösungen, Aufdecken von Ressourcen aus dem System oder der Umwelt etc.</li> </ul>
Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• im Allgemeinen linear, entsprechend dem Vorgehen beim Entwurf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• iterativ und „umgekehrt“, indem geprüft wird, wie man Fehler bewusst erzeugen kann.</li> </ul>
Gründlichkeit der Analyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mittelmäßig bis gut, abhängig von den Fachkompetenzen des Teams.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gut bis sehr gut durch die TRIZ-Wissensbasis und Erfindungsprinzipien.</li> </ul>

## Arbeitsschritte der AFE-Methode

<b>Sollfunktionen definieren</b>	Zur Ermittlung möglicher Störungen mit der AFE-Methode werden zunächst die Sollfunktionen je Anlagenteil und Phase definiert, und dann die Funktionen invertiert, d.h. die Nichterfüllung jeder Funktion ausdrücklich als Erfindungsaufgabe definiert (siehe Bild 7). Das Versagen „passiert“ dann nicht, sondern wird „produziert“. Im nächsten Schritt werden Ereignisse am Anfang, in der Mitte und am Ende der Funktionsketten gesucht, die das gewünschte Ziel - nämlich ein Versagen - bewirken würden.
<b>Ressourcen mobilisieren</b>	Als weiterer Schritt werden alle verfügbaren Ressourcen aufgelistet. Das sind - nach TRIZ - u.a. alle Stoffe, Räume, Zeiten, Felder und physikalischen Effekte, die benutzt werden können, um ein Versagen zu erzeugen. Dabei kommen oft spontan neue Versagensmöglichkeiten in den Blick und werden festgehalten.
<b>Checklisten anwenden</b>	Wenn nötig, können auch Checklisten mit typischen Versagensmöglichkeiten benutzt oder technische Widersprüche formuliert und überwunden werden. Unverzichtbar ist die Verstärkung jeder gefundenen Fehlermöglichkeit und ihre „Maskierung“, d.h. der Versuch, den Fehler zu verstecken.
<b>Fehler verhindern</b>	Schließlich wird zurück-invertiert: ausgewählte Fehlermöglichkeiten sollen nun mit Sicherheit verhindert werden. Mit den TRIZ-Werkzeugen entstehen oft grundsätzlich bessere Lösungen, weil mit ihnen die übliche Bereitschaft der Bearbeiter zu technischen Kompromissen umgangen wird.

### Bild 7. Wichtigste AFE- Arbeitsschritte



## Fallbeispiele

### Beispiel 2: Sicherheits- technik

Eine vorgespannte Druckfeder, die als Rückstellelement wirken sollte, konnte manchmal die erforderliche Rückstellkraft aus unerklärlichen Gründen nicht erreichen. Mit der Antizipierenden Fehlererkennung wurde das Problem so umformuliert: Mittel erfinden, um die Kraft einer komprimierten Feder zu verringern oder ganz aufzuheben.

Alle im System vorhandenen Materialien, Energieflüsse und Kräfte wurden im ersten Schritt untersucht. Unter anderen fiel auch das Korrosionsschutzmittel (ein dünner Schmierstofffilm) dem Arbeitsteam unter die Lupe. Eine Frage, wie kann man ein Schmiermittel in ein Haftmittel verwandeln, konnte mit folgenden TRIZ-Innovationsprinzipien schnell beantwortet werden:

- Prinzip der Änderung von physikalischen und chemischen Eigenschaften (Temperatur, Dichte, Viskosität, Druck etc.),
- Prinzip der Änderung des Aggregatzustandes,
- Prinzip der vorherigen Wirkung.

In der Tat klebte das manchmal im Überschuss aufgetragene Korrosionsschutzmittel bei niedrigen Temperaturen die Federwindungen zusammen und reduzierte dadurch die Rückstellkraft.

### Beispiel 3: Elektrotechnik

Bei der Analyse möglicher Versagensfälle in den gegen Spritzwasser geschützten elektrischen und elektronischen Schaltungen wird in der klassischen FMEA-Methode kaum darüber nachgedacht, ob die Systemkomponenten jemals „unter Wasser“ stehen können und deshalb aufgrund des trivialen Kurzschlusses ausfallen werden. Ein solches Risiko wird in der Regel als sehr unwahrscheinlich eingestuft.

Anders ist es bei der Anwendung der Antizipierenden Fehlererkennung. Wenn eine Schaltung auch absolut dicht ist, wird es erfinderisch nach Umwegen gesucht, die Feuchtigkeit in den abgesicherten Raum zu bringen. Eine der Verbindungsmöglichkeiten zur Umwelt ist in diesem Fall das elektrische Kabel bzw. ein isolierter Stromleiter. Unter der Isolation befindet sich häufig eine dünne Vliesschicht, die durch die Kapillareigenschaften ihrer Fasern die Feuchtigkeit gut transportieren kann. Eine weitere Verstärkung des „subversiven“ Kapillareffekts kann darüber hinaus mit elektrischem Spannungsunterschied erreicht werden.

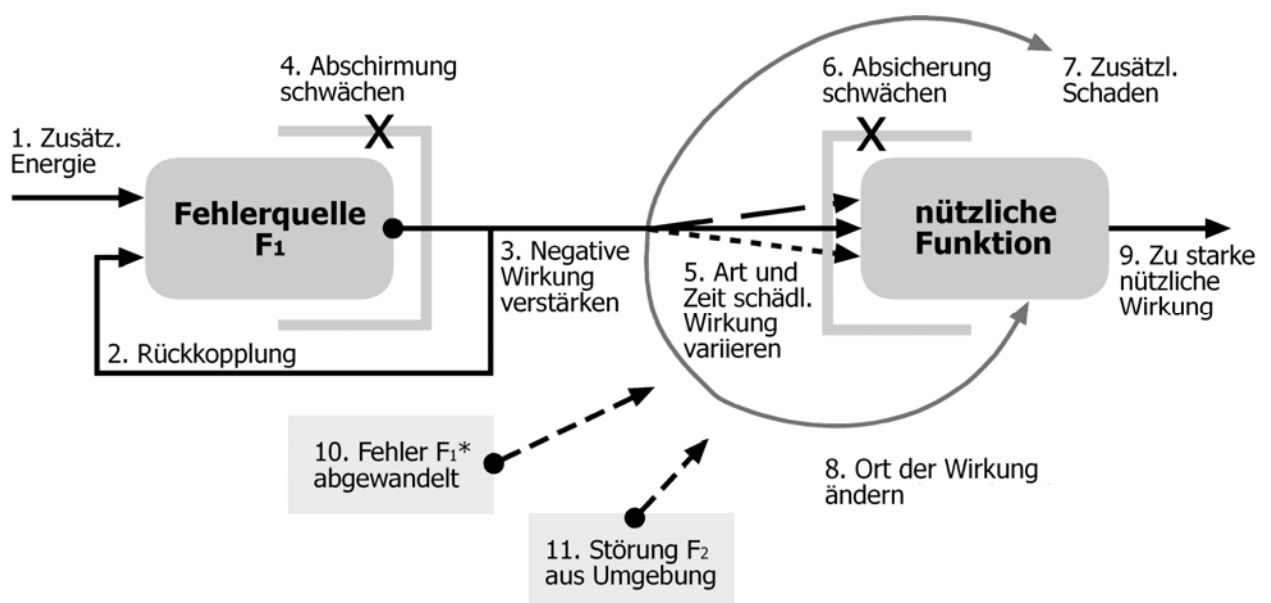
## AFE - Softwaretool

### TriSolver-Software

Mit der Software-Unterstützung wird die Anwendung der AFE-Methode am effektivsten. Ein kompaktes und gleichzeitig vollständiges AFE-Schrittverfahren ist Form eines Softwaremoduls in der TriSolver-Software realisiert. Das Programm führt den Benutzer Schritt für Schritt durch die Methode, bietet alle in Frage kommenden Denkopertoren und Checklisten an und ermöglicht:

- aufgetretene Fehler gründlich zu analysieren und ihren Ursachen auf die Spur zu kommen,
- mögliche Fehler-Szenarien mit Hilfe zahlreicher Checklisten im voraus zu identifizieren und
- erfinderische Lösungsansätze mit Hilfe der TRIZ-Werkzeuge und -Wissensbasis zu entwickeln, um mögliche Fehler zu verhindern oder ihren Folgen entgegenzuwirken.

Es besteht die Möglichkeit eine schnelle Systemprüfung in weniger als 20 Arbeitsschritten zu absolvieren oder im Detail auf alle AFE-Operatoren zurückzugreifen (Bild 2). Entdeckte Versagensmöglichkeiten und unerwünschte Erscheinungen können mit einem weiteren systematischen Vorgehen und mit der Unterstützung von TRIZ Innovationsprinzipien beseitigt werden.



**Bild 2. AFE-Methode - mögliche Wirkungen einer Fehlerquelle**

## Umsetzung der AFE-Methode im Unternehmen

### **Moderierte Einführungs- projekte**

Die AFE-Software ist ein sehr effektives und kreatives Tool, das zeitsparend „im Tagesgeschäft“ oder ergänzend zu anderen QS-Methoden eingesetzt werden kann. Für eine effektive Anwendung der AFE-Methode sind allerdings nicht nur die Softwaretools sondern auch die Kenntnisse der TRIZ-Innovationstechniken von entscheidender Bedeutung. Die AFE-Methode lässt sich deshalb im Rahmen moderierter Einführungsprojekte an Beispielen aktueller Aufgabenstellungen am besten umsetzen.

Die Erfahrung zahlreicher AFE-Anwender bestätigt die Wirksamkeit der Antizipierenden Fehlererkennung. Innerhalb von nur zwei Projekttagen wurde z.B. an einem Aggregat, trotz vorheriger Risikoanalyse, über 90 übersehener verdeckter Fehlermöglichkeiten entdeckt, davon ca. 10% mit einem hohen Gefahrenpotenzial.

In den Projekten kommt es häufig vor, dass durch die Vielzahl von entdeckten Versagensmöglichkeiten ein funktionierendes technisches System scheinbar wertlos wird. Das Projektteam hat dann die Aufgabe, das Eintreten der provozierten Fehler zu verhindern und den Wert der Konstruktion weiter zu steigern.

### **Plattform für Qualitäts- management**

Das Potenzial der Anwendung der AFE-Methode reicht weit über die Aufgaben der Fehlerverhütung hinaus. Die Vorgehensweise motiviert die Anwender zu neuen erfinderischen Lösungen und erweist sich als Plattform für ein modernes ausbaufähiges Qualitäts- und Innovationsmanagement in Unternehmen.