

**Gemeinsamkeiten und Unterschiede von  
TRIZ (Теория решения изобретательных  
задач), künstlicher Intelligenz und  
Kybernetik als wissenschaftsbasierte Methoden  
für die Lösung technischer Probleme**

**Dietrich Balzer**

## Генрих Саулович Альтшуллер



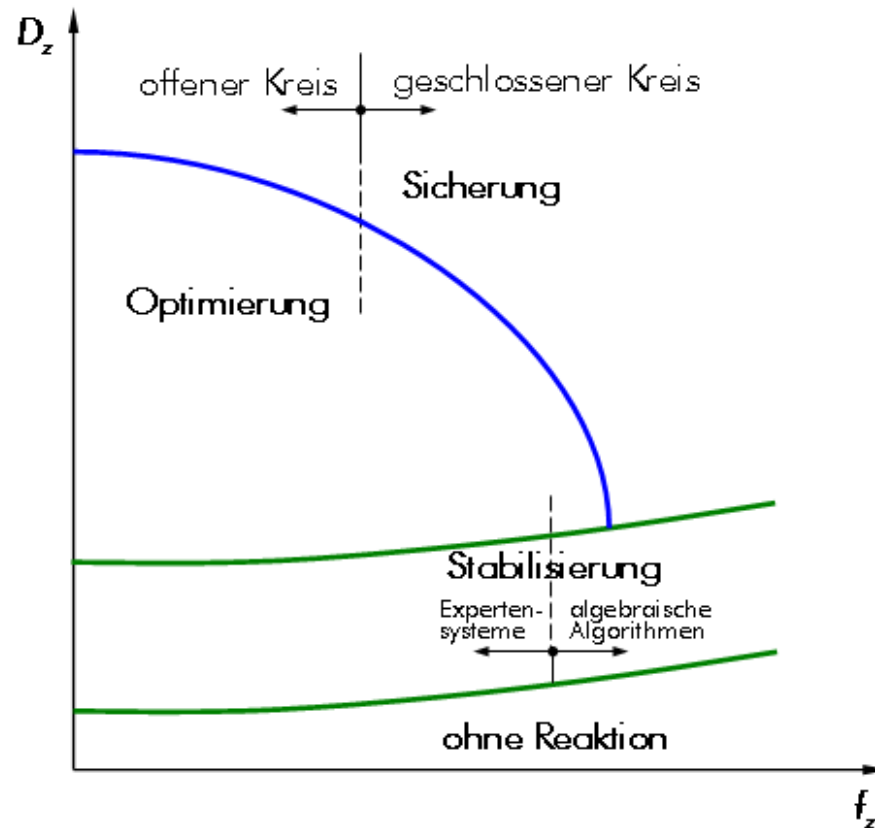
# Inhalt

- Gegenstand der Kybernetik
- Vergleich von TRIZ, künstlicher Intelligenz und Kybernetik
- Beispiele für die Lösung erfinderischer Problemstellungen (Zusatzpatente) in der Kybernetik durch Anwendung von TRIZ
- Wissensformen in der künstlichen Intelligenz
- Gegenseitige Verknüpfung von TRIZ , künstlicher Intelligenz und Kybernetik

# Aufgaben der Kybernetik (Einheit von Steuerungssystem und Steuerungsobjekt)

Steuerungsfunktion	Verbale Erläuterung des Inhaltes	Typische technische Lösungen
Prozesssicherung	Alarmierung, Notabschaltung bei Gefahrenzuständen, Verwirklichung von Abwehrstrategien, Verhinderung von Fehlbedienungen	Sicherheits-/ Schutzverriegelungssystem, Abfahrsteuerungen auf Basis schaltungsprogrammierter Steuerungstechnik, intelligente vorbeugende Prozesssicherung
Prozessstabilisierung	Automatische Kompensation von Störungsauswirkungen, dynamische Entkopplung von Teilsystemen	Regelsysteme, intelligente Prozesskoordinierung
Prozessoptimierung	Bestimmung und Einstellung optimaler Betriebsregime (Arbeitspunkte)  Bestimmung und Realisierung optimaler Übergangsvorgänge (Umstellen, Anfahren usw.)	Einsatz von Optimierungsalgorithmen

# Ableitung der Steuerungsfunktionen



$D_z$  – Amplitude der Störgröße

$F_z$  – Frequenz der Störgröße

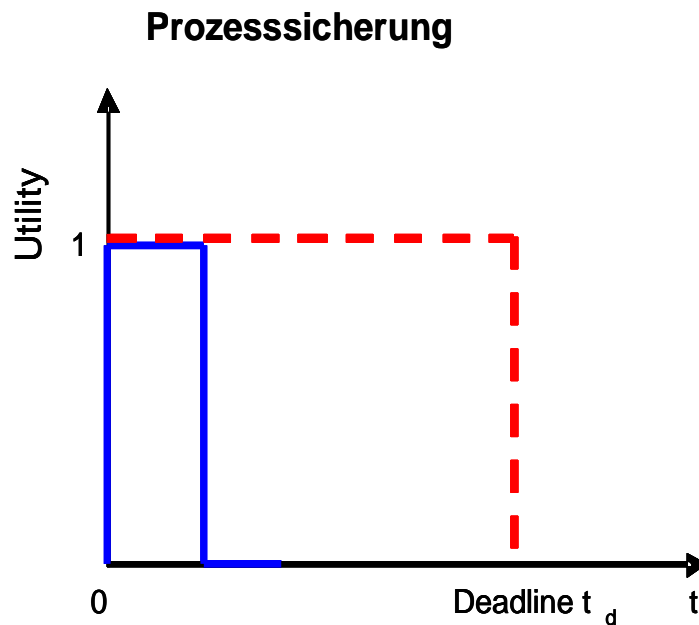
# Vergleich der wissensbasierten Methoden

	<b>Inhalt des Lösungsprozesses</b>	<b>Dynamik des Lösungsprozesses</b>	<b>Technische Umsetzung</b>
<b>TRIZ</b>	Widersprüche als dialektisches Prinzip, 40 innovative Grundprinzipien (Zerlegung, Integration, Rückkopplung u.a.)	Keine Echtzeitfähigkeit	Rechnergestützte Offline-Lösung mit dem Ziel einer Erfindung (CAI)
<b>Künstliche Intelligenz</b>	Phänomenologische (Experten- und Fuzzysysteme) und biologische (Neuronale Netze) Nachbildung des menschlichen Denkprozesses	Echtzeitfähigkeit möglich	In Automatisierungs- und Steuerungssysteme integrierbar mit dem Ziel einer Systemoptimierung, enge Beziehung zur technischen Kybernetik
<b>Kybernetik</b>	Informationsgewinnung, -verarbeitung und -nutzung, Anwendung mathematischer Modelle, online-Kopplung mit dem Steuerungsobjekt	Echtzeitfähigkeit unbedingt notwendig	Prozessleitsysteme, Nutzung virtueller Automatisierungsnetze, automatisierungsgerechte Gestaltung des Steuerungsobjektes

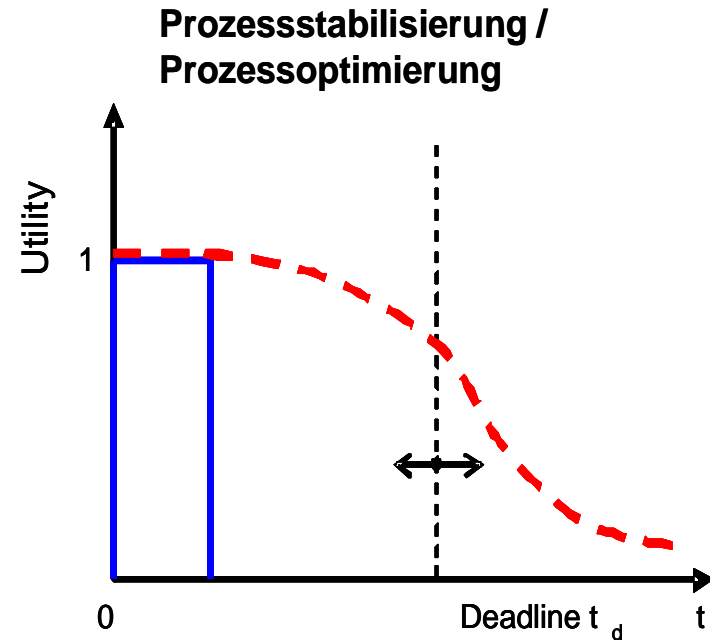
# Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit

Antwortzeit (zusätzliche Totzeit) → Echtzeitfähigkeit

Zeit/Dienste Funktionen in der Prozessindustrie



— Ereignis  
- - - Utility Function



— Ereignis  
- - - Utility Function

**Beispiele für die Lösung  
erfinderischer Problemstellungen durch Anwendung von**

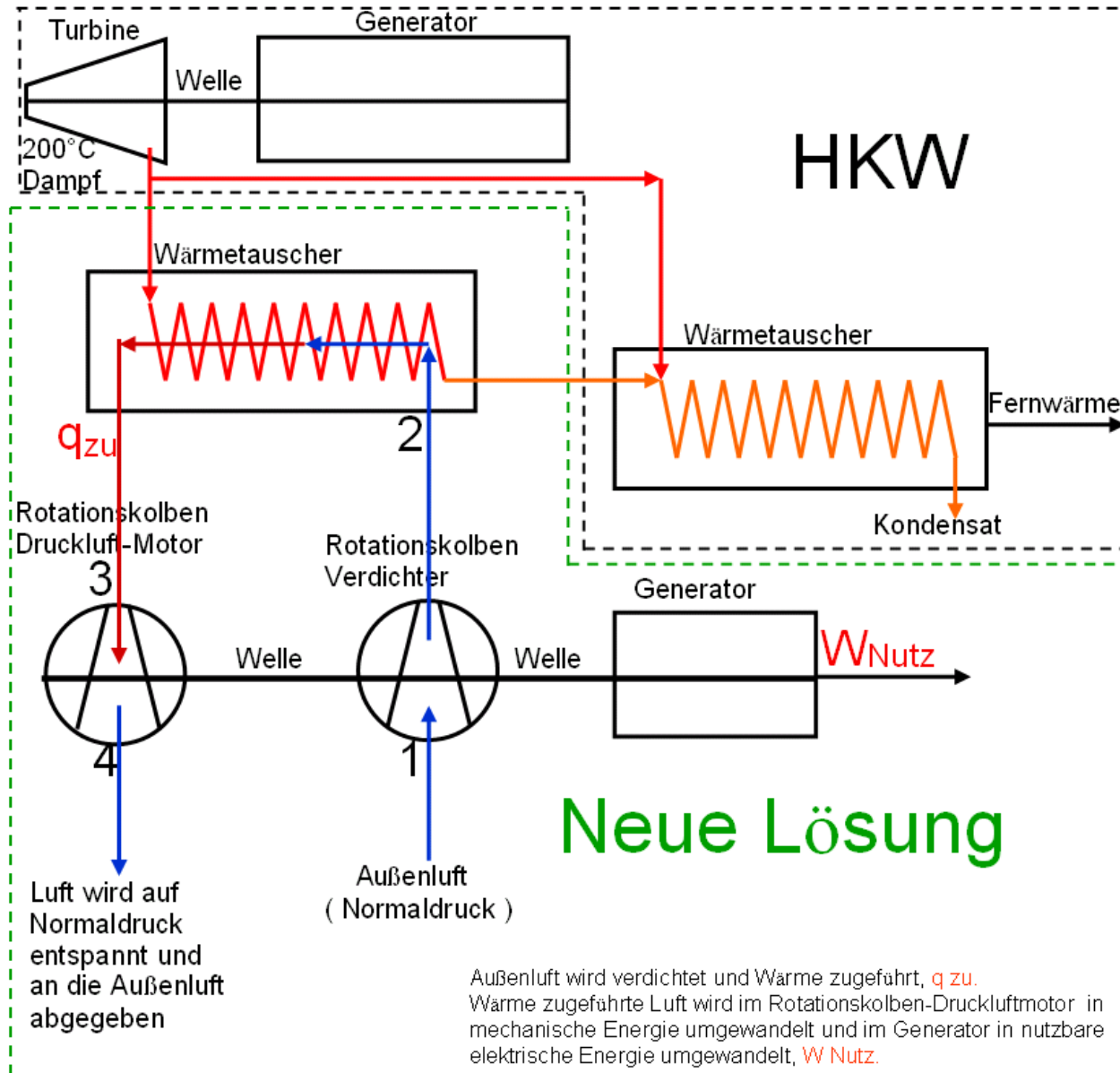
**TRIZ**

**unter Nutzung mathematischer und heuristischer Modelle  
mit dem Ziel einer**

**Patentanmeldung**



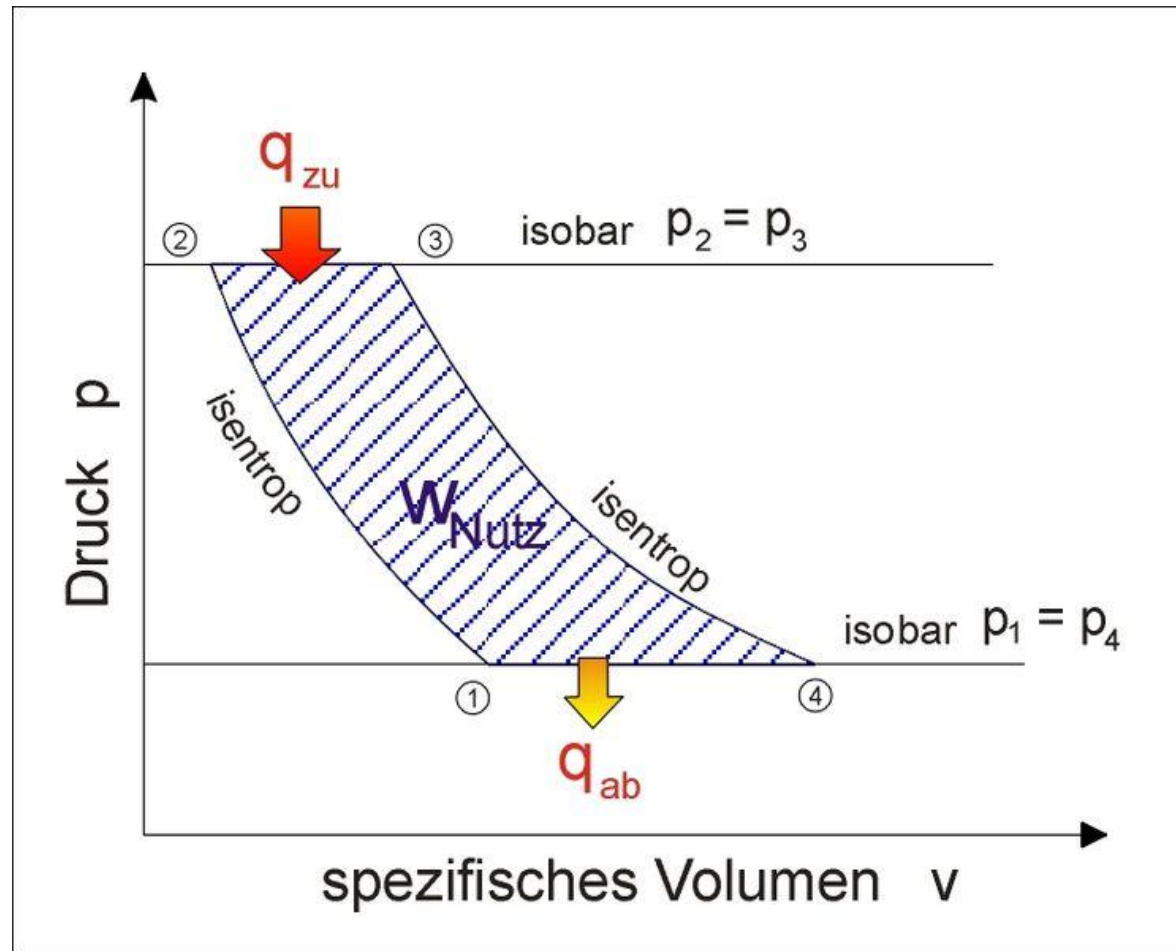
# Beispiel 1: Umwandlung von Wärme in Strom



# Merkmale der vorhandenen Lösung (Patent)

- Keine Beschränkungen bezüglich des Temperaturniveaus des Heizmediums bzw. der Restwärmequelle
- Arbeitsmedium Luft überall kostenlos verfügbar
- Offener thermodynamischer Kreislauf ohne Kühlung des Arbeitsmediums, dadurch hoher Wirkungsgrad

# Prozessanalyse (Thermodynamische Modellierung)



# Probleme beim Betreiben der Lösung

- Fehlende Stabilität bei  $q_{zu} \geq q_{ab}(W_{NUTZ})$
- Fehlende Betriebsfähigkeit bei  $q_{zu} \leq q_{ab}(W_{NUTZ})$

Theoretische und experimentelle Problemanalyse notwendig

# Anwendung von TRIZ

## Vorhandenes Problem:

Fehlende Stabilität beim Betreiben der Lösung, deshalb noch keine Realisierung

## Dialektische Widersprüche:

Optimalität ↔ Stabilität

Sollwert ↔ Istwert

## Anwendung innovativer Grundprinzipien:

- Dynamisierung
- Rückkopplung
- Zerlegung
- Anwendung von quantitativem Tiefenwissen (Mathematische Modelle)

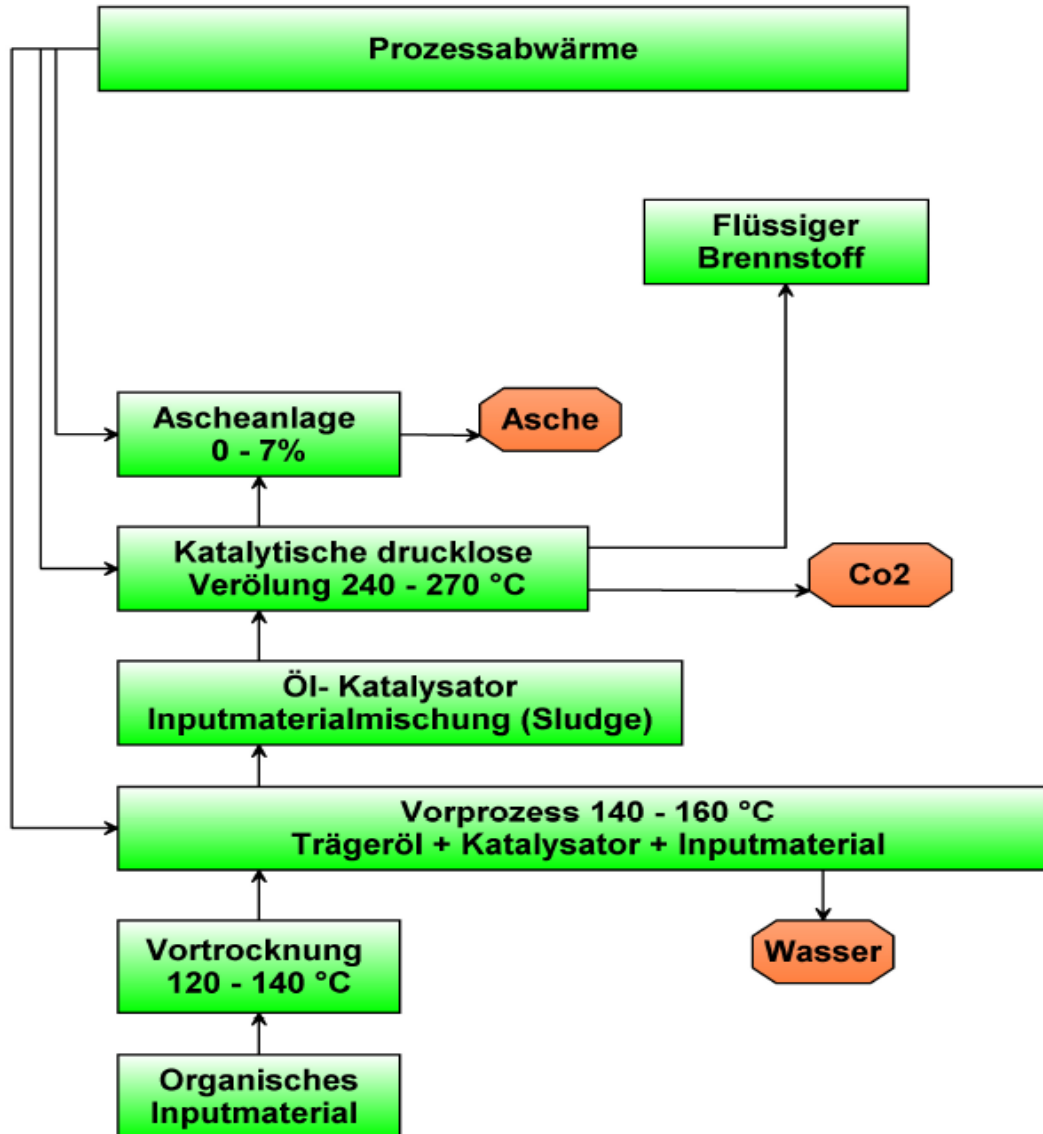
## Lösung (Zusatzpatent):

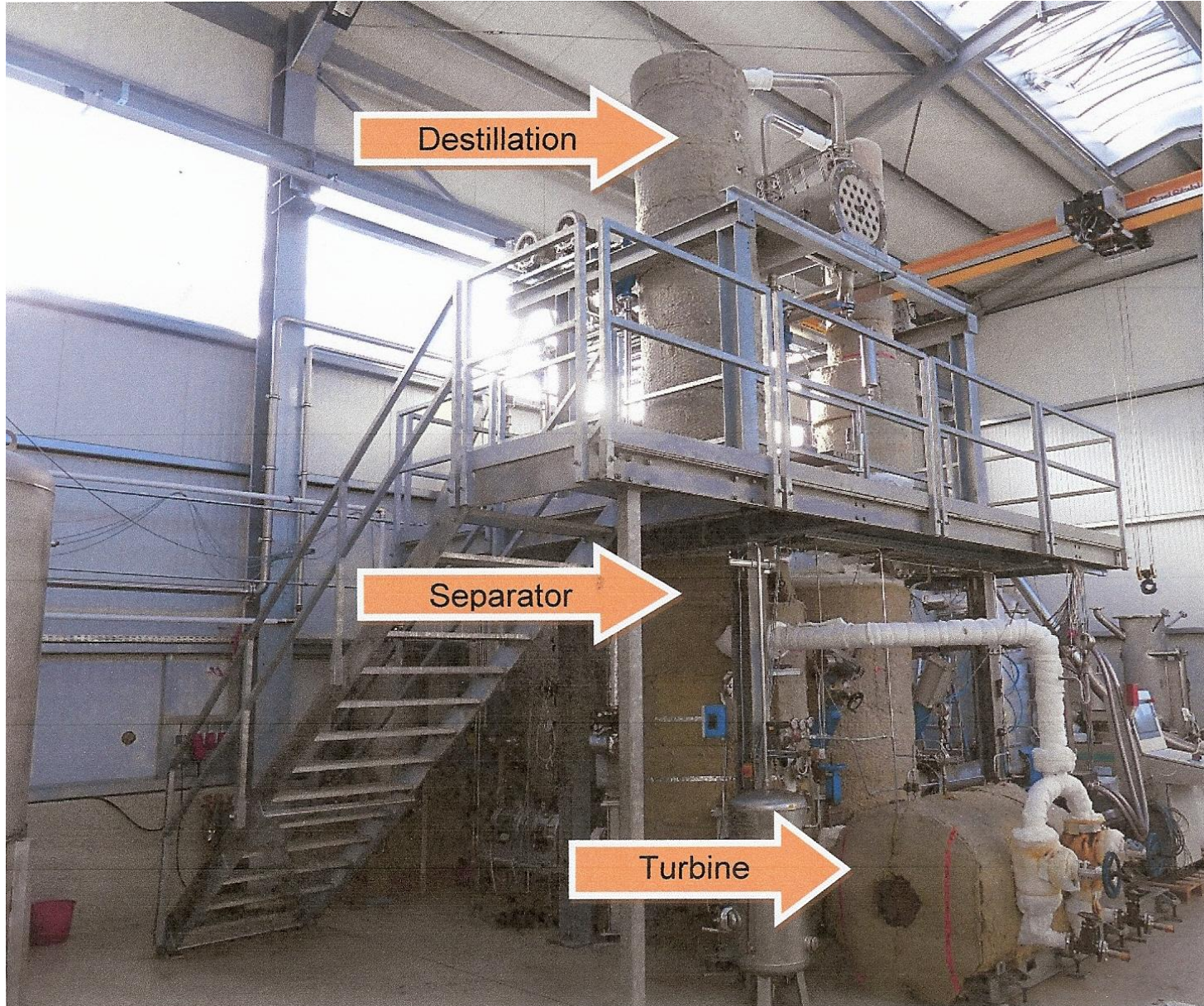
Kompensation der positiven inneren Rückkopplung des Systems „Verdichter-

Wärmetauscher-Motor-Generator“ durch ein wissensbasiertes

Prozessstabilisierungssystem mit  $q_{zu} = q_{ab}(W_{NUTZ})$

# Beispiel 2: Katalytische drucklose Verölung mit Sauerstoffinjektion





# Merkmale der vorhandenen Lösung (Patent)

- Katalytische Prozesse bei niedrigen Temperaturen
- Keine Bildung von Dioxinen
- Inputstoffe sind sowohl biogene (Stroh, Holz u.a.) als auch hochkalorische (Kunststoffe u.a.) Abfall- und Reststoffe
- Diesel wird in einem BHKW in Strom und Wärme umgewandelt, als Kraftstoff verwendet oder als chemischer Rohstoff genutzt



# Probleme beim Betreiben der Lösung

- Die Produktivität der Anlage ist zu gering
- Für die Erzeugung von Regelenergie in einem virtuellen Kraftwerk können die Leistungsparameter nicht schnell genug geändert werden
- Die Änderungsgeschwindigkeit der produzierten Dieselmenge/Zeiteinheit ist auf Grund der großen Totzeiten und Zeitkonstanten für die Erzeugung von Regelenergie zu gering.
- Theoretische und experimentelle Problemanalyse notwendig

# Prozessanalyse (Mathematische Modellierung)

Materialbilanzen:

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} + w \frac{\partial x_i}{\partial l} + D_L \frac{\partial^2 x_i}{\partial l^2} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, T)$$

$i=1,2,\dots,n$

$x_i(t, l)$  - Konzentration der Komponente  $i$

$T(t, l)$  - Temperatur

$f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, T)$  - Reaktionsgeschwindigkeit bei Bildung

bzw. Verbrauch der Komponente  $x_i$

$w$  - lineare Geschwindigkeit der Komponenten in der Friktionsturbine

$D_L$  - Längsvermischungskoeffizient in der Friktionsturbine

$t$  - Zeit

$l$  - laufende Länge des Reaktionsraumes der Friktionsturbine

# Prozessanalyse (Mathematische Modellierung)

Energiebilanz:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + w \frac{\partial T}{\partial l} + D_L \frac{\partial^2 T}{\partial l^2} = \sum_i h_i f_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, T)$$

$h_i$  - von der Wärmetönung der chemischen Reaktion und von der spezifischen Wärmekapazität des aufzuheizenden Mediums abhängiger Koeffizient

# Anwendung von TRIZ

## Vorhandenes Problem:

Keine Produktion von Regelenergie möglich

## Dialektische Widersprüche:

Sollwert ↔ Istwert

Zuverlässigkeit ↔ Wartungsaufwand

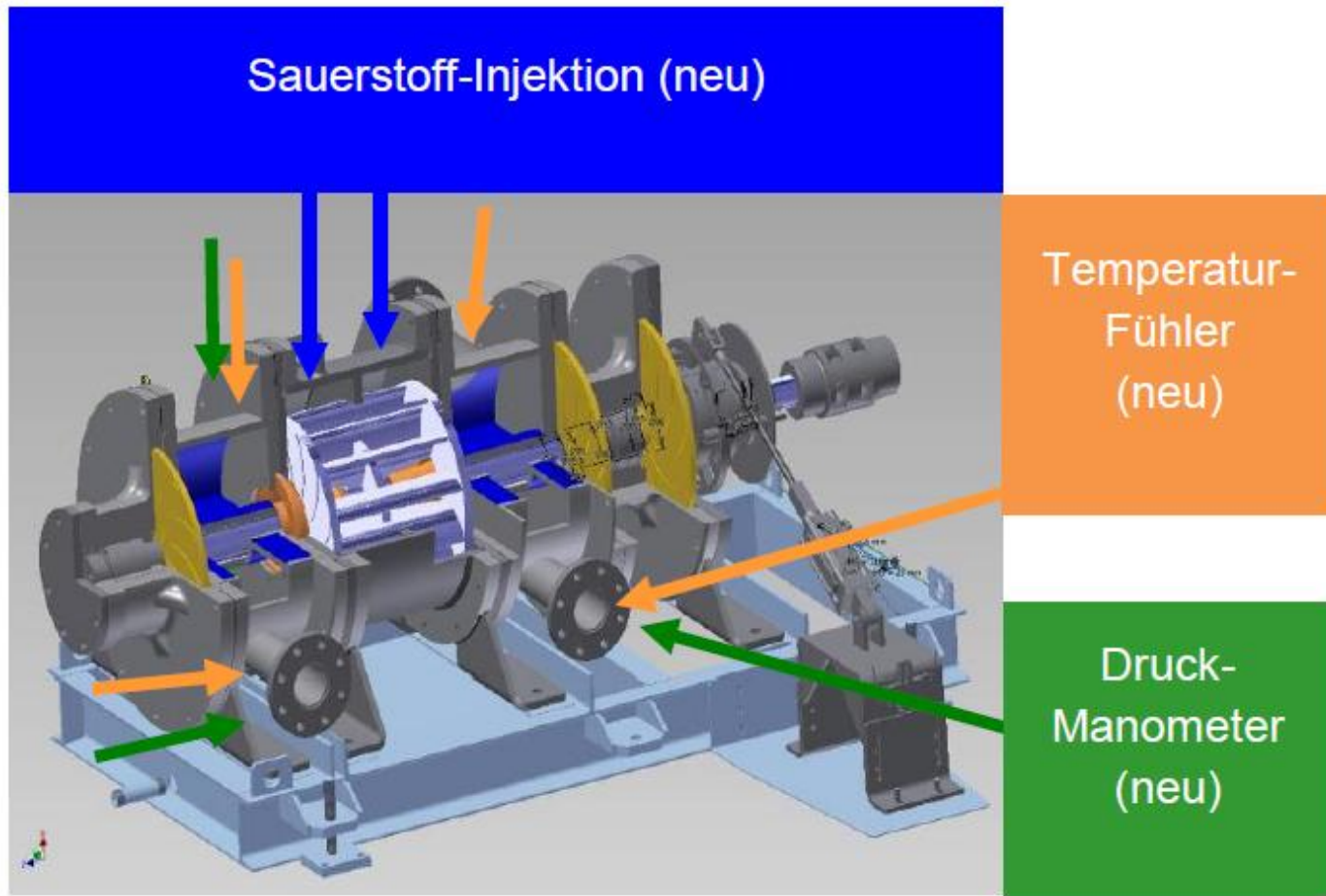
## Anwendung innovativer Grundprinzipien:

- Dynamisierung
- Rückkopplung
- Zerlegung
- Anwendung von quantitativem Tiefenwissen (Mathematische Modelle)
- Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften (Veränderung des Aggregatzustandes)

## Lösung (2 Zusatzpatente):

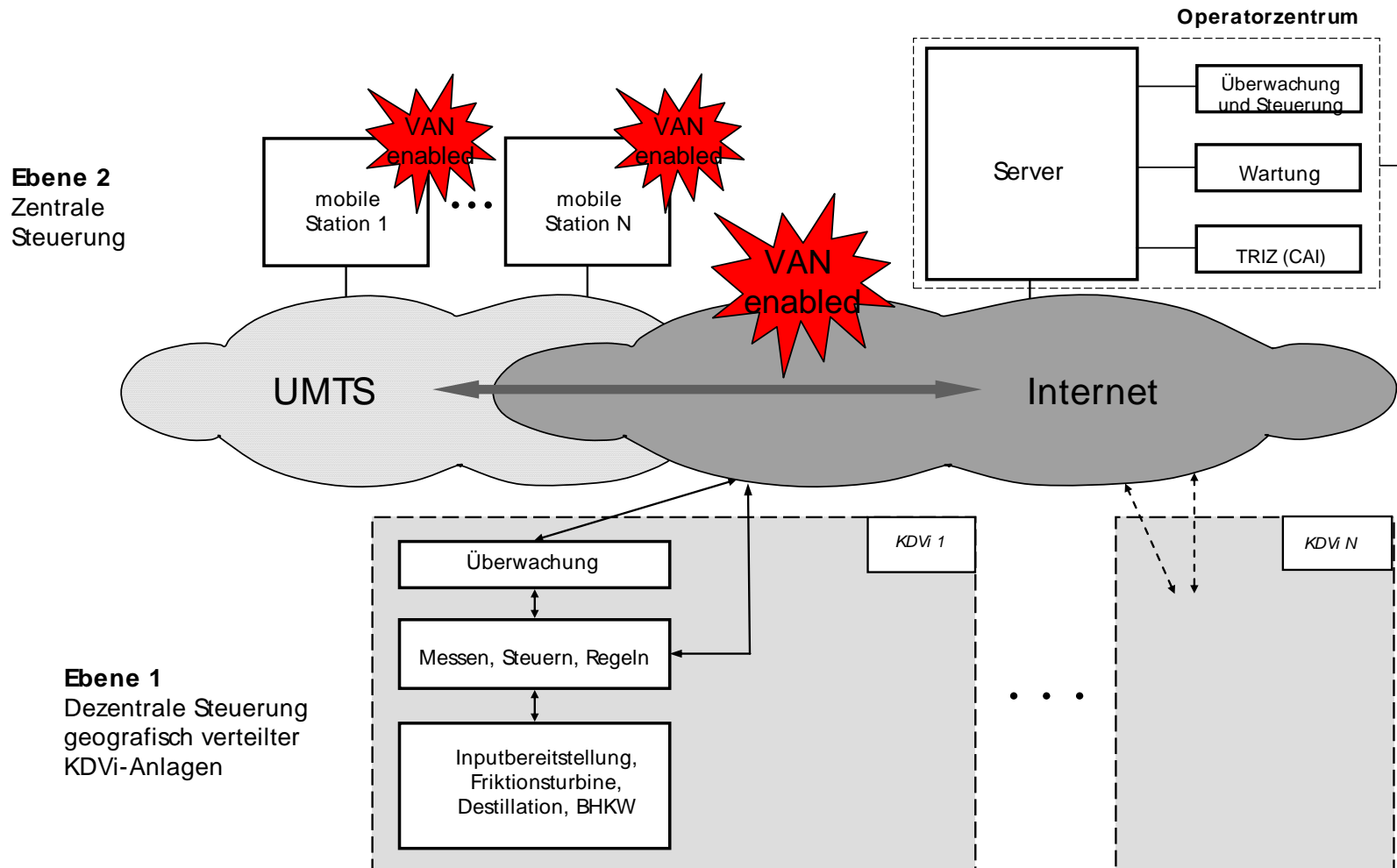
- Entwicklung einer Friktionsturbine mit Sauerstoffinjektion
- Zentrale Steuerung dezentraler Anlagen zur katalytischen drucklosen Verölung mit Sauerstoffinjektion

# Entwicklung einer Friktionsturbine mit Sauerstoffinjektion (Zusatzpatent)

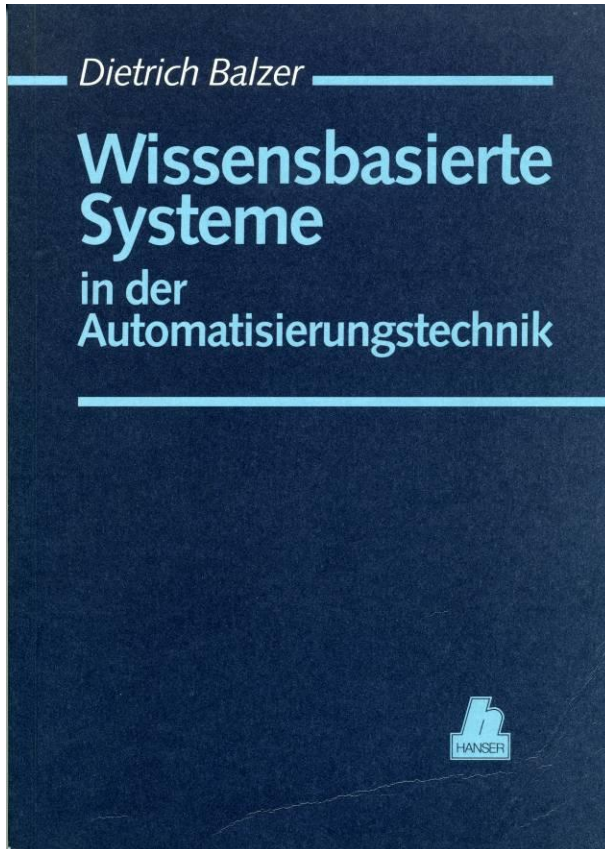


# Zentrale Steuerung (KI, TRIZ) dezentraler Anlagen zur katalytischen drucklosen Verölung mit Sauerstoffinjektion (Zusatzpatent)

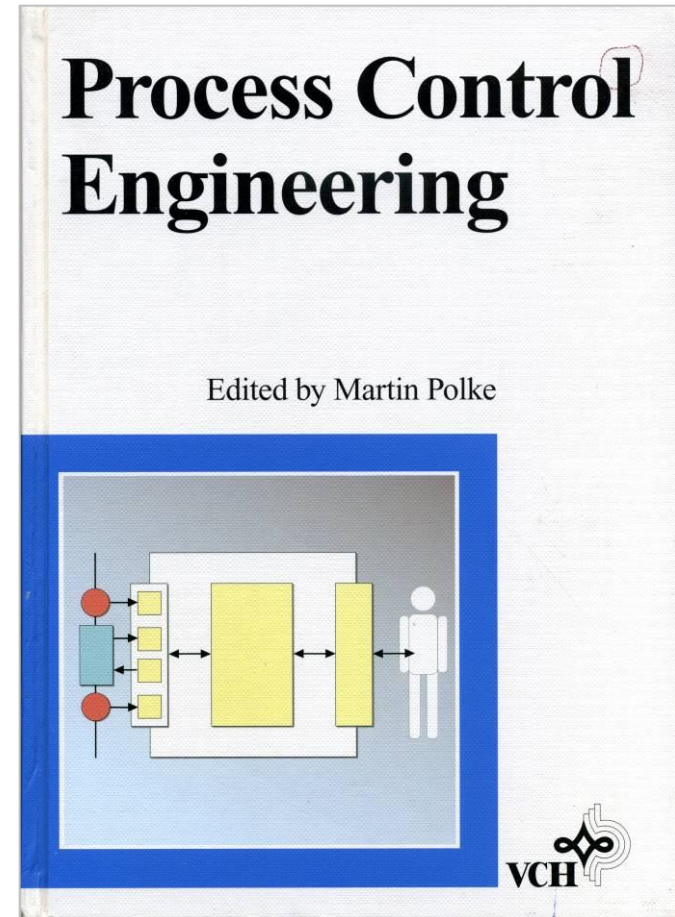
## Struktur von Prozessführung und Service



# Beginn der Forschung und Lehre auf dem Gebiet „Künstliche Intelligenz in der Prozessleittechnik“



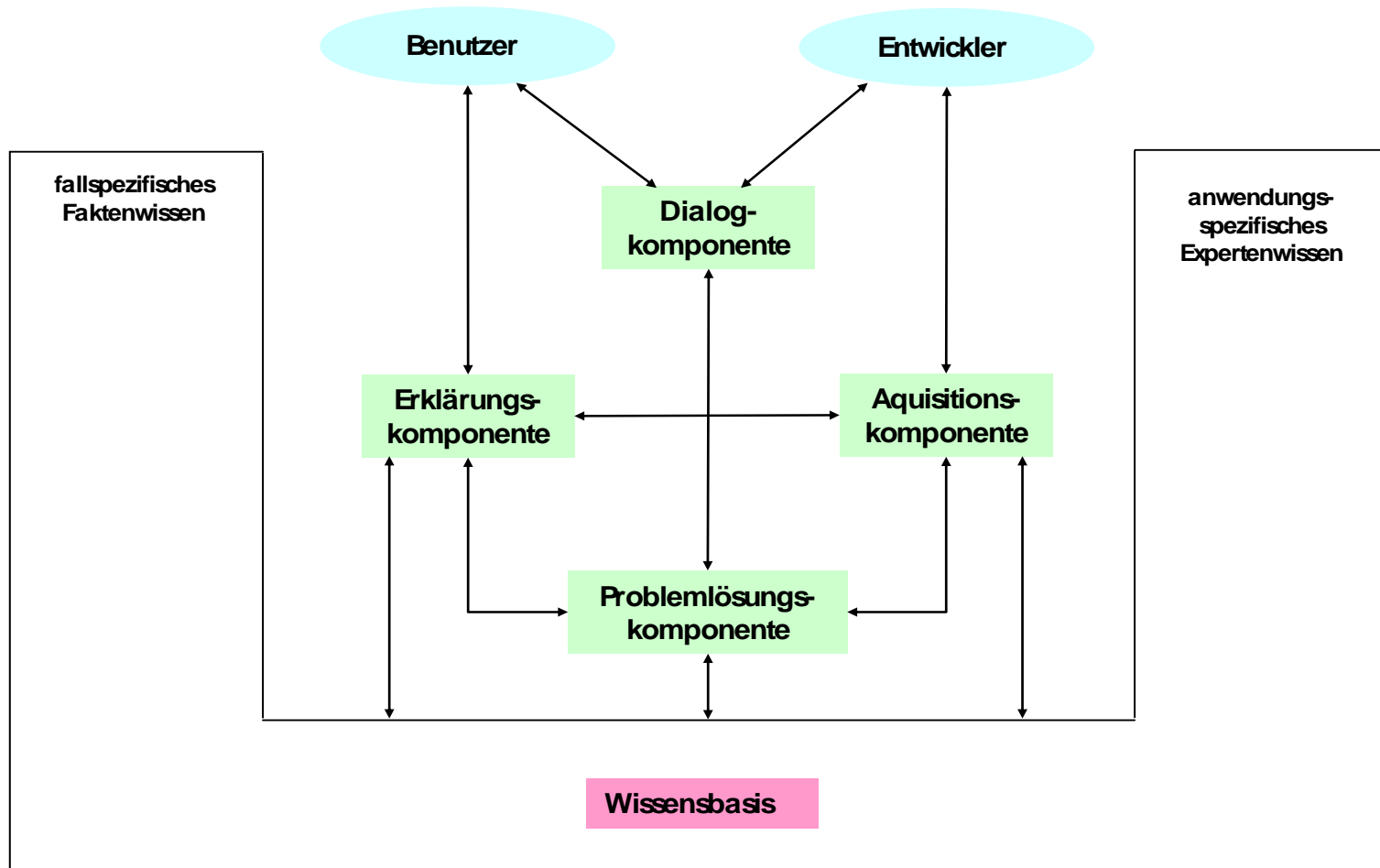
Carl Hanser Verlag, München. Wien,  
1991



VCH Verlagsgesellschaft mbH. Weinheim,  
New York, Basel, Cambridge, Tokyo, 1994

# Unterstützung der mathematischen Modellierung durch heuristische Modellierung (Künstliche Intelligenz)

## Grundarchitektur von Expertensystemen





# Wissensformen

## Assoziatives Oberflächenwissen:

**logische Beziehungen** zwischen Prozessmerkmalen und Schlussfolgerungen  
(Regeln: Symptome-Situationen, Situationen-Steuerungen, Steuerungen-Wirkungen)

Quellen:

- Erfahrungen des Betreibers,
- Klassifikation von Falldaten,
- Simulation von Modellen.

Vorteile:

- Integration von Erfahrungen (Modellierbarkeit),
- mittlerer Rechenaufwand (Echtzeitfähigkeit),
- explizites Wissen (Regeln, Erklärbarkeit),

Nachteile:

- höhere Spezialisierung (Wiederverwendbarkeit),
- Erfassung aller Fälle (Vollständigkeit).

Beispiel:

**WENN** Temperatur in der Friktionsturbine höher als 250 Grad Celsius,  
**DANN** Drehzahl herabsetzen **UND** Sauerstoffzufuhr reduzieren

# Wissensformen

## Qualitatives Tiefenwissen:

***relationale Modelle*** der Struktur (Abstraktion, Aggregation, Kopplung, Sicht) und Funktion (Kausalketten, Normalverhalten, Fehlverhalten) von Steuerungsobjekt und Steuerungssystem,

Vorteile:

- höhere Universalität (Wiederverwendbarkeit),
- Erfassung unvorgesehener Fälle (Vollständigkeit),
- explizites Wissen (Erklärbarkeit),

Nachteile:

- hoher Rechenaufwand (Echtzeitfähigkeit),
- einfache Zusammenhänge (Modellierbarkeit).

# Wissensformen

## Quantitatives Tiefenwissen:

***analytische Modelle*** des Systems (Mathematische Modelle für die Beschreibung von Übertragungsverhalten und Zustandsverhalten)

Vorteile:

- komplizierte Zusammenhänge (Modellierbarkeit),
- verwendbar für Simulation, Projektierung und Steuerung
- Ableitung von Regeln

Nachteile:

- hoher Rechenaufwand (Echtzeitfähigkeit),
- implizites Wissen (Erklärbarkeit).

# Wissensingenieurwesen

## 4-Phasenkonzept:

- Definitionsphase: Erarbeitung der Anforderungsspezifikation
- Akquisitionsphase: Analyse der Störgrößen, der kausalen Zusammenhänge innerhalb des Steuerungsobjektes und die Erstellung formaler Modelle.
- Operationalisierungsphase: Herstellung der Betriebsfähigkeit als wissensbasiertes System stellt.
- Wartungsphase: Gewinnung und Einfügung von neuem Wissen in die Wissensbasis

# Was kann die künstliche Intelligenz und Kybernetik für TRIZ leisten

- Unterstützung der innovativen Grundprinzipien durch regelbasierte Systeme
- Akquisition von quantitativem Tiefenwissen zur Beschreibung bzw. Auflösung von Widersprüchen
- Einsatz von Expertensystemschalen

# Was kann TRIZ für die Kybernetik leisten

## Lösung von dialektischen Widersprüchen (Beispiele):

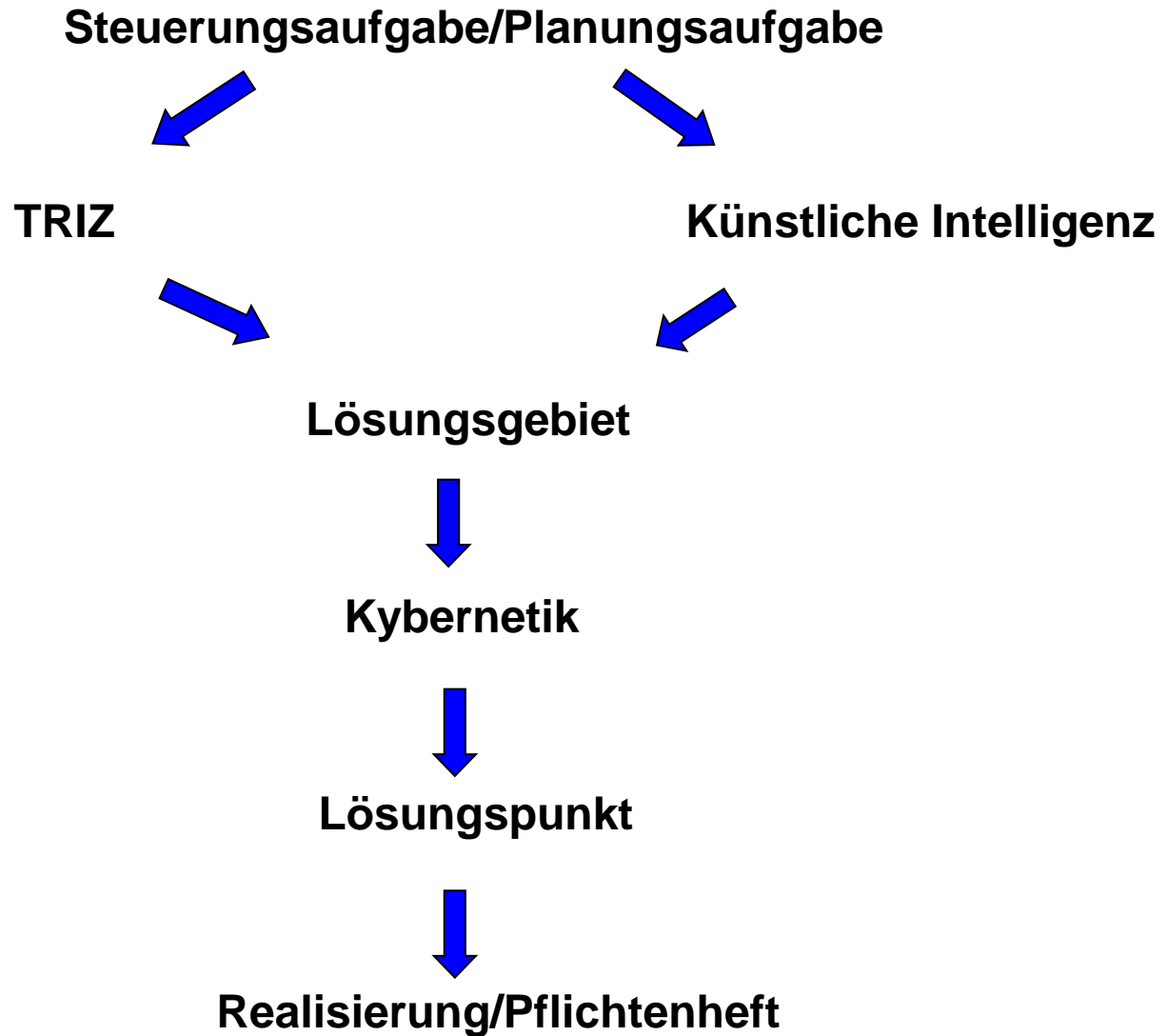
Optimalität ↔ Stabilität

Sollwert ↔ Istwert

## Anwendung innovativer Grundprinzipien (Beispiele):

- Integration
- Rückkopplung
- Zerlegung
- Dynamisierung

# Planung und Betrieb



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**



# Innovativer Kern

- Zuführung von Sauerstoff und Neukonstruktion der Injektionsturbine für 3000 U/min
- Erstellung von Bilanzgleichungen für Kunststoff, Zellulose, Diesel, Kohlendioxyd und Wasserstoff
- Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeiten
- Zentrale wissensbasierte Steuerung regional verteilter Anlagen

## **Aufgaben der TRIZ-Software (CAI):**

Unterstützung des Operators bei der Neubestimmung der Prozessführungsaufgaben:

- Vergleichende Analyse der Eigenschaften der Störgrößen (Frequenz und Amplitude) und der Eigenschaften des Steuerungsobjektes (Dynamische Charakteristika der Stör- und Steuerkanäle) mit dem Ziel der Bestimmung der Prozessführungsaufgaben (Prozessoptimierung, -stabilisierung und -sicherung)
- Echtzeitfähige Lösung der Prozessführungsaufgaben (Prozessoptimierung, -stabilisierung und -sicherung) durch die Lösung von Widersprüchen zwischen Sollwerten und Istwerten bei Temperaturen, Durchsätzen und Drücken.

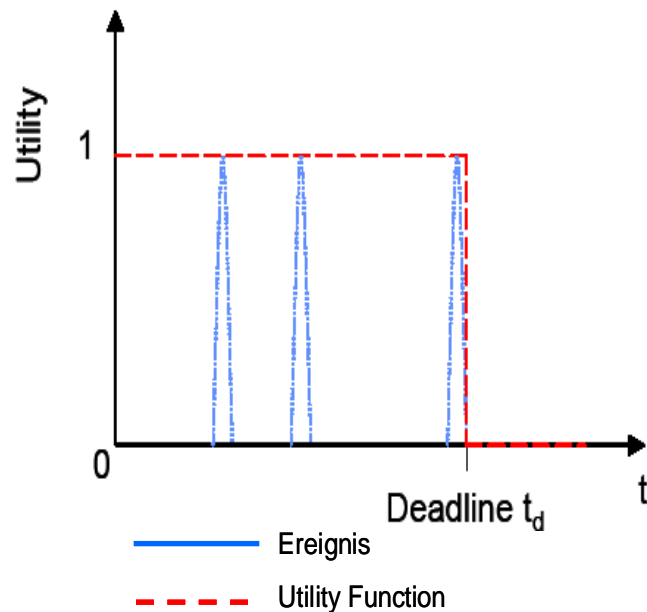
Unterstützung des Projektanten bei der Neuentwicklung des Turbogenerators mit Sauerstoffinjektion:

- Konstruktion des neuen Turbogenerators und Formulierung eines Patentes
- Erstellung der Fertigungsunterlagen

# Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit

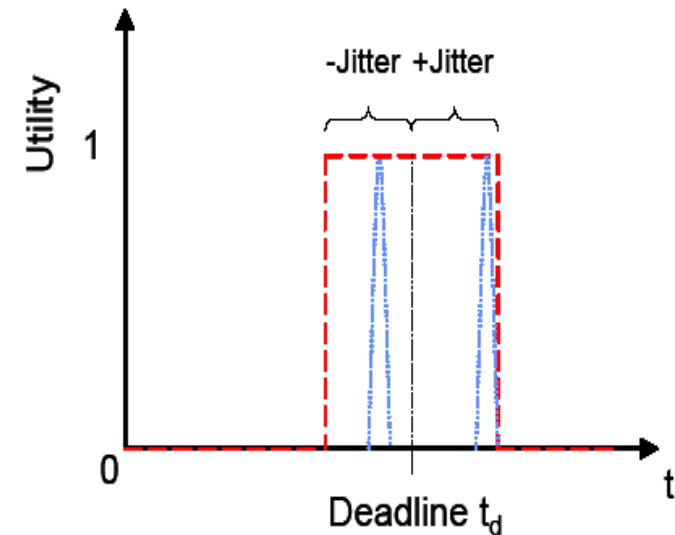
Zeit/Dienste Funktion (Time/Utility function) in der Fertigungsindustrie

## Rechtzeitigkeit



Deadline = *deadline* for execution

## Synchronisation

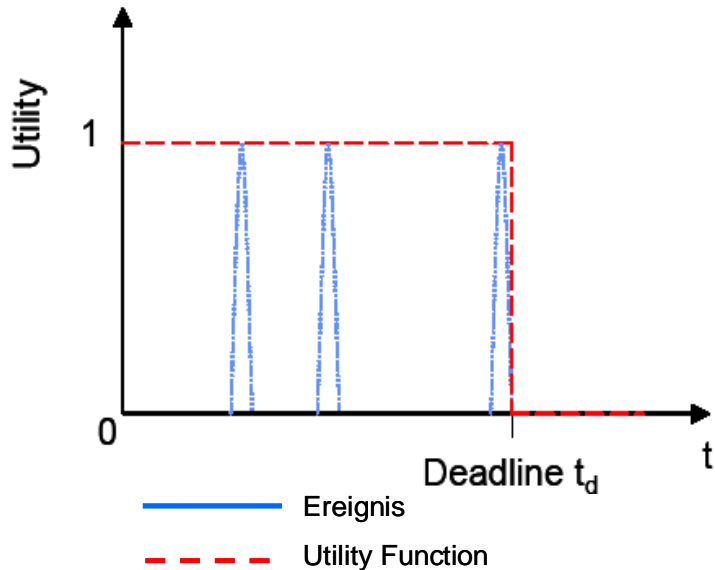


Deadline = *point* of execution

# Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit

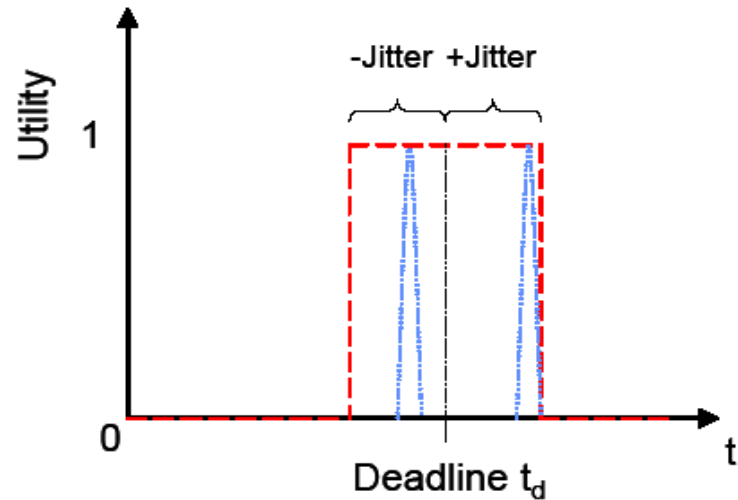
Zeit/Dienste Funktion (Time/Utility function) in der Fertigungsindustrie

## Rechtzeitigkeit



Deadline = *deadline* for execution

## Synchronisation



Deadline = *point* of execution

# Strukturierung und Manipulation des Wissens

	Struktur des Wissens	Wissensmanipulation
TRIZ	Widerspruchstabelle, innovative Vorgehensprinzipien (40)	Logik, CAI
Künstliche Intelligenz/Kybernetik	Oberflächenwissen (Regeln), Tiefenwissen (prozedural, mathematische Modelle)	Logik, Expertensystemscha le n