

Automatisierung - Fluch oder Segen

Teil 1

Dietrich Balzer zum 80. Geburtstag

Horst Cebulla, Werner Regen, Frieder Sieber
(Hrsg.)

LIFIS – Leibniz-Institut
für Interdisziplinäre Studien, Berlin

Horst Cebulla, Werner Regen, Frieder Sieber (Hrsg.)

Automatisierung – Fluch oder Segen
Teil1

Dietrich Balzer
zum 80. Geburtstag

LIFIS aktuell Heft 2

LIFIS – Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien
<https://leibniz.institut.de>

**Automatisierung -
Fluch oder Segen
Teil 1**

**Dietrich Balzer
zum 80. Geburtstag**

Horst Cebulla, Werner Regen, Frieder Sieber (Hrsg.)

LIFIS – Leibniz-Institut
für Interdisziplinäre Studien, Berlin

LIFIS AKTUEELL

Heft 2 Teil 1

LIFIS – Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien
<https://leibniz.iinstitut.de>

herausgegeben von Horst Cebulla, Werner Regen, Frieder Sieber

Redaktion dieses Heftes: Horst Cebulla

Satz und Druck: Thomas Jungnickel

ISBN: 978-3-949366-16-1

Dietrich Balzer



Dietrich Balzer. Foto: privat

Dietrich Balzer

***ist ein deutscher Ingenieur mit den Fachgebieten
Automatisierung, TRIZ und künstliche Intelligenz.***

Kurzlebenslauf Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Balzer

- Jahrgang 1941;
- Abitur 1961 in Brandenburg, Dipl.-Ing. 1965 in Leningrad (heute St. Petersburg), Dr.-Ing. 1968 in Leningrad, Dr.-Ing. habil. 1976 in Leipzig;
- Übte in der Industrie leitende Tätigkeiten in der Entwicklung und im Vertrieb (Petrolchemisches Kombinat Schwedt, Westinghouse Frankfurt/Main, ELPRO Berlin, AUCOTEAM Berlin) aus.
- In seiner Hochschularbeit war er Prorektor und Rektor der Technischen Hochschule Leipzig und Inhaber des Lehrstuhls für Prozessrechentechnik an der Technischen Hochschule Leipzig. Persönliche führte er wissenschaftlich 5 Habilitationen zum Dr.-Ing. habil., 19 Promotionen zum Dr.-Ing. und betreute 125 Diplomarbeiten.
- Es ist Autor bzw. Mitautor von 2 Lehrbüchern, 11 Monografien, mehr als 160 Fachartikeln sowie von diversen Vorträgen auf nationalen und internationalen Tagungen und Kongressen.
- Er ist gewähltes Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin (seit 2006) und aktiv im Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien (LIFIS) im Vorstand tätig.

Inhaltsverzeichnis

Automatisierung - Fluch oder Segen

Teil 1

Überwachung und Steuerung technologischer Prozesse und Systeme

Dietrich Balzer, Paul J. Thierse

Bauingenieurwesen als universelle Technikwissenschaft

Dietrich Balzer, Frieder Sieber

Die Einheit von Künstlicher Intelligenz und Allgemeiner Technologie als Koordinator von Innovationsprozessen

Dietrich Balzer, Frieder Sieber, Dieter Skrobotz

Künstliche Intelligenz und Spieltheorie

Dietrich Balzer, Frieder Sieber

Überwachung und Steuerung technologischer Prozesse und Systeme

Inhaltsverzeichnis

1 Warum brauchen wir überhaupt die Automatisierung?

- 1.1 Wahrnehmung in der Gesellschaft
- 1.2 Nachhaltigkeit (Sustainability) und Automatisierung
- 1.3 Technische Trends und Marktanforderungen

2 Zentrale Steuerung dezentraler technologischer Anlagen

- 2.1 Vorteile der zentralen Steuerung
- 2.2 Modell- und wissensbasierte zentrale Steuerung
 - 2.2.1 Definition der Überwachungs- und Steuerungsaufgaben
 - 2.2.2 Modellbasierte Prozessoptimierung
 - 2.2.3 Modellbasierte Prozessstabilisierung
 - 2.2.4 Modellbasierte vorbeugende Prozesssicherung

3 Sicherheit bei der Überwachung und Steuerung technologischer Prozesse und Systeme unter Verwendung öffentlicher Kommunikationsnetze

- 3.1 Sicherheitsanforderungen der Automatisierung
 - 3.1.1 Problemstellung
 - 3.1.2 Technische Ausgangssituation
 - 3.1.3 Anforderungen zu Safety und Security
 - 3.1.3.1 Safety-Problemstellungen
 - 3.1.3.2 Security-Problemstellungen
- 3.2 Methodische Ansätze für Sicherheitslösungen der Automatisierung
 - 3.2.1 Sicherheitsgerichtete Kommunikationsverbindungen
 - 3.2.2 IT-Sicherheit in Automatisierungslösungen
 - 3.2.2.1 VPN-Tunnel
 - 3.2.2.2 Security-Architektur
 - 3.2.2.3 Sicherheitszonen verteilter Automatisierungssysteme
 - 3.2.2.4 Security-Anforderungsprofile
 - 3.2.2.5 IT-Sicherheitskonzept für SCADA- bzw. Prozessleitsysteme
 - 3.2.2.6 Virtuelle Netze
- 3.3 Automatisierungsspezifische Sicherheitsaspekte
 - 3.3.1 Feldebene der Automatisierung
 - 3.3.2 Einsatz heterogener Kommunikationsnetze
 - 3.3.3 Anwendungsaspekte
 - 3.3.4 Modellbasierte Maßnahmen

4 Anwendungsbeispiel: Mobile Leittechnik in virtuellen Kraftwerken

- 4.1 Virtuelle Kraftwerke als hierarchisch strukturiertes technologisches System
- 4.2 Volkswirtschaftlicher und ökologischer Nutzen durch operative Optimierung in virtuellen Kraftwerken
- 4.3 Virtuelle Automatisierungsnetze als technische Basis eines automatischen Energiemanagement in virtuellen Kraftwerken

5 Ökonomische Probleme der Automatisierung

6 Soziale Probleme der Automatisierung

7 Schlussfolgerungen

8 Literaturquellen

1 Warum brauchen wir überhaupt die Automatisierung?

1.1 Wahrnehmung in der Gesellschaft

Unter Automatisierung verstehen wir erstens die Übertragung von Arbeit vom Menschen auf Automaten und zweitens die Unterstützung des Menschen bei der Ausführung von Arbeit. Wenn wir die in der Überschrift gestellte Frage beantworten wollen, so müssen wir sowohl technische und ökonomische als auch soziale Aspekte der Automatisierung betrachten. Im Einzelnen geht es darum zu beurteilen, wie die Automatisierung in der Gesellschaft wahrgenommen wird und wie sie die menschliche Entwicklung beeinflusst hat und weiter beeinflussen wird.

Automatisierungsobjekte sind alle Bereiche der menschlichen Tätigkeit: Produktion, Büro, Dienstleistungen, Transport, Altenpflege, Hauswirtschaft, wissenschaftliche Experimente usw. Um die Stellung der Automatisierung im Bewusstsein der Menschen zu analysieren müssen neben technischen, ökonomischen und sozialen auch historische, kulturelle und politische Fragen behandelt werden.

Die allgemeinbildenden Schulen vermitteln im Wesentlichen positiv gefärbte Grundkenntnisse über die Rolle der Automatisierung in der Gesellschaft. Die Automatisierung erhöht in Kombination mit der Mechanisierung den Lebensstandard. Solche Schlagworte wie „Weniger produzieren mehr“ oder die Einführung des Begriffes „Systemautomatisierung“ und „Herauslösung des Menschen aus dem Produktionsprozess“ für das Eindringen der Automatisierung in alle Bereiche der Gesellschaft haben eine berechtigte positive Grundstimmung geschaffen. Diese Aussage wird auch nicht dadurch außer Kraft gesetzt, dass die heutige Arbeitslosigkeit und der Weberaufstand sowie die Maschinenstürmer in der Vergangenheit mit der zunehmenden Automatisierung und Mechanisierung in Verbindung gebracht werden.

In der wissenschaftlichen Welt ist die Automatisierung als eine Integrations- bzw. Systemwissenschaft im Wesentlichen ebenfalls positiv belegt, obwohl in der Vergangenheit die Kybernetik als die allgemeine Wissenschaft von der automatisierten Steuerung sowohl gesellschaftlicher und technischer Prozesse als auch der Naturprozesse von bestimmten gesellschaftlichen Kreisen als „Wissenschaftslüge“ bezeichnet wurde. Automatisierungstechnische Systeme integrieren Komponenten der Technischen Physik, der Angewandten Mathematik und der Betriebswirtschaftslehre. Durch die stürmische Entwicklung der elektronischen Basis der Rechentechnik kommt es zu einer immer stärkeren Integration von Kommunikationstechnik, Informatik und künstlicher Intelligenz. In dem Kunstwort „Telematik“ ist die Automatisierung als Begriff enthalten. Die kognitive Psychologie als eine Gesellschaftswissenschaft findet als wissenschaftliche Basis der Mensch-Prozess-Kommunikation in der Automatisierung immer breitere Anwendung.

Wenn wir uns die Geschichte der Industrialisierung etwas genauer ansehen, so stellen wir fest, dass sie eng mit der Geschichte der Automatisierung verbunden ist. Durch den Einsatz von Komponenten der Mechanisierung und Automatisierung wurde das technologische Niveau der Produktion ständig erhöht. Es besteht allgemeiner Konsens darin, dass sich in der Geschichte der Technik zwei revolutionäre Entwicklungen nachweisen lassen, die die Arbeitsproduktivität sprunghaft erhöht haben: Die industrielle Revolution im 18./19. Jahrhundert und die wissenschaftlich-technische Revolution des 20. Jahrhunderts. Diese Sprünge in der Arbeitsproduktivität führten auch zu revolutionären Veränderungen in der Gesellschaft. Abbildung 1 stellt die geschichtliche Entwicklung der Produktivkräfte schematisch dar.

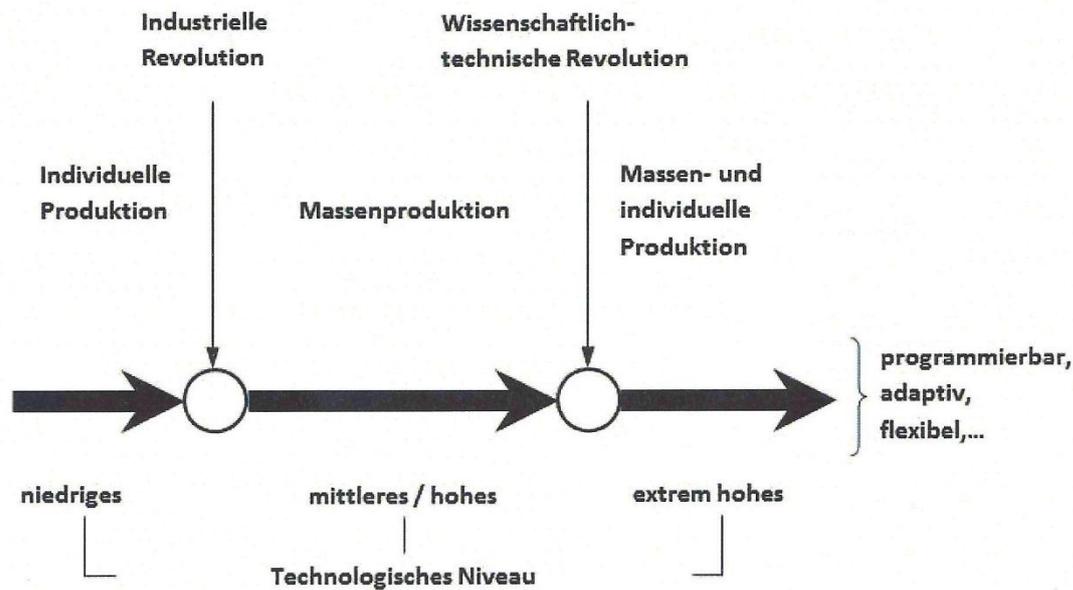


Abbildung 1: Geschichtlicher Zusammenhang zwischen Industrialisierung und Automatisierung Quelle: Balzer (2008)

In den jeweils revolutionären Perioden kommt der Zusammenhang zwischen Gegenstand und Mittel der Automatisierung in besonderem Maße zum Ausdruck (Iwainsky (2007)). Im Vorfeld und im Höhepunkt der industriellen Revolution bestimmen mechanische Regler als Automatisierungsmittel das höhere technologische Niveau der Automatisierungsgegenstände: Spinnrad (1298), Strickmaschine (1589), Dampfmaschine (1769), Konservendose (1849), Fließband (1908). Bei der wissenschaftlich-technischen Revolution erhöhen vor allem elektronische Automatisierungsmittel mit intelligenten Algorithmen das technologische Niveau der Automatisierungsgegenstände: Programmgesteuerte Rechenmaschine (1941), NC-Maschine (1954), Glassfaser (1966), Mikroprozessor (1971), Prozessleitsystem TCC 2000 (1975), GPS (1995).

1.2 Nachhaltigkeit (Sustainability) und Automatisierung

Der heute viel und manchmal auch etwas oberflächlich verwendete Begriff der Nachhaltigkeit kann auch mit der Automassierung in Beziehung gebracht werden, um die Frage: „Automatisierung - Fluch oder Segen“ zu beantworten. So hat sich z.B. J. Krüger (Krüger (2010)) dieser Frage gewidmet. Wenn wir von Nachhaltigkeit reden müssen wir ökonomische, ökologische und soziale Kriterien betrachten. Im Sinne der Nachhaltigkeit muss also eine polykriteriale Optimierungsaufgabe (Vektoroptimierung) gelöst werden. Es geht also um die Bestimmung einer Paretomenge. Es liegt auf der Hand, dass die Automatisierung als Schlüssel zu nachhaltigen technologischen Prozessen angesehen werden kann. Unter dem ökonomischen Kriterium verstehen wir die Wettbewerbsfähigkeit, unter dem ökologischen Kriterium die Ressourceneffizienz und unter dem sozialen Kriterium die physiologischen und psychologischen Arbeitsbedingungen. Die Automatisierung verfügt als integrierende Wissenschaftsdisziplin über alle Voraussetzungen, um diese Polyoptimierungsaufgabe zu lösen. Dazu ist es notwendig die Wechselwirkung von Nachhaltigkeit und Innovation neu zu analysieren. Ziel muss eine Human-orientierte Automatisierung sein. Dabei gehen wir davon aus, dass der Mensch die intelligenteste Ressource ist und durch künstliche Intelligenz nicht ersetzt werden kann.

Eine Nachhaltigkeit der Automatisierung wird auch dadurch erreicht, dass die Automatisierungslösungen und ihre Komponenten adaptierfähig und damit wieder verwendungsfähig gestaltet werden. Das ist eine der Schlussfolgerungen, die aus der Lösung der oben genannten Optimierungsaufgabe zur Bestimmung der Paretomenge gezogen werden kann.

1.3 Technische Trends und Marktanforderungen

Bei der Überwachung und Steuerung technologischer Prozesse spielt in zunehmendem Maße die Integration von Automatisierungstechnik, Informatik und Telekommunikation eine entscheidende Rolle. In diesem Kapitel werden vor allem Produktionsprozesse der Prozessindustrie betrachtet, die sich von denen der Fertigungsindustrie unterscheiden. In der Tabelle 1 sind die Unterschiede dargestellt.

	automatisierungsrelevante Eigenschaften
Prozessindustrie	<ul style="list-style-type: none"> – Kontinuierliche technologische Prozesse – Steuerungs- bzw. Automatisierungsaufgaben haben das Ziel, ausregelbare und nicht ausregelbare Störgrößen zu kompensieren – Steuerungsaktivitäten erfolgen nur im Fall von Störungen
Fertigungsindustrie	<ul style="list-style-type: none"> – Die Maschine kann ohne ein Steuerungssystem nicht funktionieren – Das Steuerungssystem ist integraler Bestandteil der Maschinen – Die Steuerungsaktivitäten sind kontinuierlich und erfolgen nicht nur bei Störungen

Tabelle 1: Spezifische automatisierungsrelevante Eigenschaften von Produktionsprozessen
 Quelle: Balzer (2007)

Die oben erwähnte Integration geht von den aktuellen technischen Trends der zu integrierenden technischen Disziplin bzw. von den Marktanforderungen an Systeme der Überwachung und Steuerung von Anlagen der Prozessindustrie aus.

Die aktuelle Entwicklung der Prozessindustrie bzw. der Verfahrenstechnik, die schon immer eng mit der Automatisierungstechnik verbunden war, kann wie folgt charakterisiert werden:

- Hohe Sicherheits- und Qualitätsanforderungen an die Produkte
- hohe Produktivität der verfahrenstechnischen Systeme
- Prozessoptimum befindet sich in der Nähe der Stabilitätsgrenze
- wenig oder keine Zwischenspeicher
- geografisch verteilte Anlagen mittlerer Leistung neben Anlagen größerer Leistung
- zentrale, dezentrale und hierarchische Strukturen der Leit- und Automatisierungstechnik

Für die Informations- und Kommunikationstechnik gelten folgende technische Trends:

- verstärkter Einsatz wissensbasierter Methoden
- Nutzung der mobilen Breitbandkommunikation
- Verwendung des Internet
- Einsatz der Mikrosystemtechnik für die Informationsgewinnung

In der Abbildung 2 sind die Schlussfolgerungen aus diesen Entwicklungen dargestellt. Es geht um eine wissens- und modellbasierte zentrale Überwachung und Steuerung dezentraler Anlagen unter Nutzung heterogener Kommunikationsnetze, an die erhöhte Anforderungen bezüglich Echtzeit (Real time), Funktionssicherheit (Safety) und Datensicherheit bzw. Zugriffsschutz (Security) zu stellen sind.

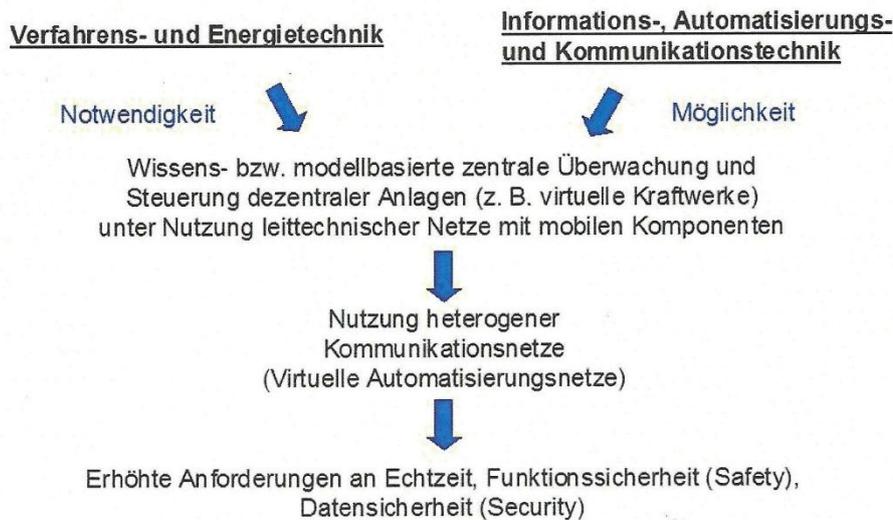


Abbildung 2: Technische Trends, Marktanforderungen Quelle: Balzer (2007)

Weitere Security-relevante Trends in der Automatisierungs- bzw. Leittechnik, die leider gleichzeitig die Möglichkeiten „erfolgreicher“ Angriffe erweitern, sind folgende:

- Es werden standardisierte Operationssysteme eingesetzt bei gleichzeitiger Abkehr (Linux, eCos, Windows XP, Windows 7 usw.) von angepassten proprietären Operationssystemen mit wenig Speicherplatzbedarf. Dadurch können die Angriffe auch standardisiert also „ausgefeilter“ und „intelligenter“ werden.
- Die Funktionalitäten der Leittechnik werden durch Parameteränderungen und durch das Herunterladen von Software ständig erweitert. Dadurch steigt der Kommunikationsaufwand und Angriffe werden wahrscheinlicher.
- Es werden zunehmend Mehrebenensysteme mit dezentralen Komponenten eingesetzt. Dadurch ist auch mehr Kommunikation notwendig, die natürlich ebenfalls weitere Angriffe ermöglicht.
- Automatisierungssysteme werden zunehmend zum Internet geöffnet, was ebenfalls zwangsläufig zu großen Angriffsmöglichkeiten führt.

Bezüglich der Internet-Nutzung in Automatisierungs- und Leitsystemen müssen die Vor- und Nachteile dieser Nutzung abgewogen werden.

Vorteile der Internettechnologie sind:

- weltweit akzeptierte und umgesetzte Kommunikationsstandards mit langer Tradition
- als Transportschicht bietet TCP/IP die Grundlage für alle wichtigen Anwendungsprotokolle und verteilten Objektmodelle (DCOM, CORBA ...)
- plattformübergreifende Verfügbarkeit, Integration von TCP/IP in nahezu jedes Betriebssystem
- Verfügbarkeit einer Vielzahl von Hard- und Software-Komponenten aus stückzahlintensiven Märkten, weltweite Kooperation bei der Weiterentwicklung
- Möglichkeit der breiten Nutzung von Internettechnologien oder Büro-Anwendungen auch für den Transport multimedialer Inhalte (neben Daten: Videosequenzen, Audioströme)

Nachteile der Internettechnologie sind:

- Orientierung nur auf guten Gesamtdurchsatz, keine garantierten Antwortzeiten der Ende-zu-Ende-Kommunikation

- aufwändige Implementierung mit relativ hohen Durchlaufzeiten durch die implementierten Kommunikationsfunktionen (Protocol Stack)
- ein weltweit akzeptierter Standard für die Anwendung in der Automatisierungs- und Leittechnik existiert noch nicht. Derzeit laufen eine Reihe von Spezifikations- und Entwicklungsarbeiten (u.a. Priorisierung von Nachrichten und Switch-Ports; Reservierungsprotokolle, internationale Projekte)

Die oben dargestellten theoretischen Möglichkeiten von Angriffen auf Automatisierungssysteme werden untermauert durch praktische Erfahrungen bzw. durch eine statistische Auswertung vorgenommener Angriffe in den ersten Jahren der Internetnutzung in Automatisierungssystemen:

1989	- 132 Angriffe
1998	- 3734 Angriffe
2003	- 137 529 Angriffe

Diese Angriffe erfolgen sowohl von außerhalb als auch von innerhalb der Unternehmen.

Im Weiteren werden Verfahren der zentralen Steuerung (Kapitel 2), die Nutzung öffentlicher Kommunikationsnetze sowie die daraus abgeleiteten automatisierungstechnischen Probleme der Datensicherheit unter den Bedingungen Echtzeitübertragung behandelt (Kapitel 3). Als Anwendungsbeispiel für die Überwachung und Steuerung technologischer Prozesse wird das Energiemanagement in virtuellen Kraftwerken behandelt. (Kapitel 4). Darüber hinaus werden in den Kapiteln 5 und 6 einige ökonomische und soziale Probleme der Automatisierung betrachtet.

2 Zentrale Steuerung dezentraler technologischer Anlagen

2.1 Vorteile der zentralen Steuerung

Die praktischen Vorteile der zentralen Steuerung dezentraler technologischer Anlagen sind:

- Das Know-how eines Operators oder Wartungsingenieurs ist für viele Anlagen ohne Zeitverzögerung für die Lösung von Prozessführungsaufgaben einsetzbar.
- Ein modellgestütztes Prozessführungssystem ist für viele Anlagen einsetzbar.
- Die Kosten für die zentrale Leittechnik werden durch die Anzahl der dezentralen Anlagen geteilt.
- Die Integration eines Trainingssimulators in die zentrale Leittechnik (e-learning) ist möglich.
- Der geschätzte ökonomische Nutzen in der Verfahrenstechnik (z. B. Stahlindustrie und Abfallwirtschaft) beträgt 30% Gewinnerhöhung.

2.2 Modell- und wissensbasierte zentrale Steuerung

2.2.1 Definition der Überwachungs- und Steuerungsaufgaben

Die zentrale Überwachung und Steuerung muss folgende Prozessführungs- bzw. Automatisierungsaufgaben lösen: Prozesssicherung, Prozessstabilisierung und Prozessoptimierung während die Prozessüberwachung keine eigentliche Automatisierungsaufgabe darstellt, sondern als informationstechnische Basis aller anderen Prozessführungsaufgaben dient. In der Tabelle 2 sind die Inhalte und die technischen Lösungen der Automatisierungsaufgaben zusammengestellt.

Funktion	Verbale Erläuterung des Inhaltes	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
Instandhaltung	Erkennen und Prognose des Anlagenzustandes, Realisierung von Maßnahmen der Wartung	Multimodale Zustandserkennung, Nutzung von Expertensystemen

Tabelle 2: Modell- und wissensbasierte Prozessoptimierung, -sicherung und -stabilisierung, Quelle: Balzer (2007)

Die Ableitung bzw. Formulierung von Aufgaben der Prozesssicherung, -stabilisierung und -optimierung hängt einerseits von den Eigenschaften der verfahrenstechnischen Elemente und Systeme und andererseits von der Amplitude D_z und der Frequenz f_z der Störgröße ab. Die Abbildung 3 zeigt exemplarisch, dass in der Ebene $D_z - f_z$ geschlossene Gebiete definiert werden können, für die Aufgaben der Prozesssicherung, -stabilisierung und -optimierung zu lösen sind.

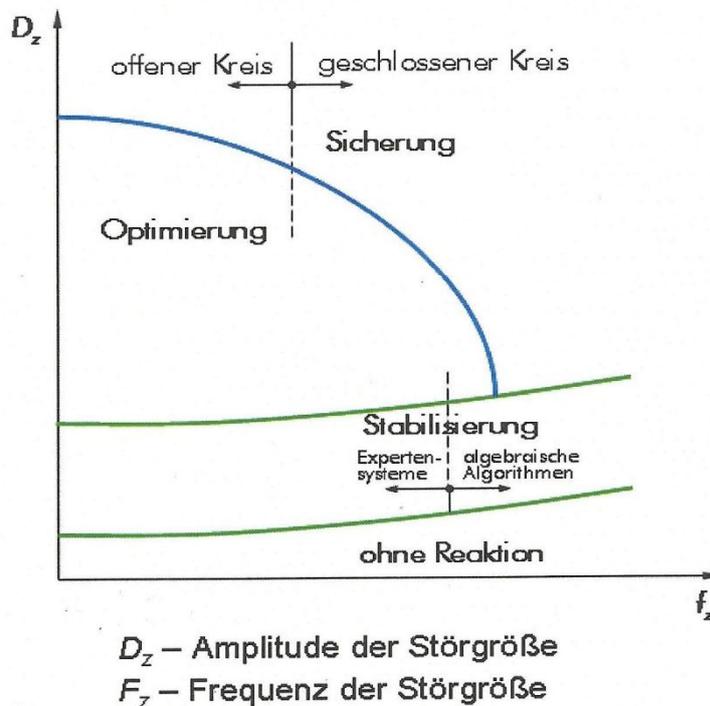


Abbildung 3: Ableitung der Steuerungsaufgaben, Quelle: Balzer (2007)

Die Abbildung 3 zeigt auch, dass in Abhängigkeit von der Frequenz der Störgrößen entweder Expertensysteme oder algebraische Algorithmen eingesetzt werden, die entweder im offe-

nen oder geschlossenen Kreis verwendet werden. Im Weiteren werden nun die Algorithmen der zentralen Steuerung dezentraler Anlagen beschrieben.

2.2.2 Modellbasierte Prozessoptimierung

Der Algorithmus der modellbasierten Prozessoptimierung besteht darin, folgende Optimierungsaufgabe zu lösen:

$$\max I = \max_u f_o(x,u) \quad (1)$$

bei

$$f_i(x, u) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$g_j(x, u) \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$x \in R_x, \quad u \in R_u \quad (4)$$

$f_o(x, u)$ Zielfunktion des Optimierungsproblems (z.B. Gewinn, Kosten)

$f_i(x, u)$ Nebenbedingungen des Optimierungsproblems (z.B. mathematisches Modell)

$g_j(x, u)$ Beschränkungen des Optimierungsproblems (z.B. technische Grenzen)

x Zustandsvektor des betrachteten Systems (z.B. Ausbeute, Temperatur)

u Steuervektor des betrachteten Systems (z.B. Durchfluss, Bandgeschwindigkeit)

Das zentrale Problem dieses Algorithmus besteht darin, ein adäquates mathematisches Modell in Form der Gleichung (2) zu erstellen. Aus Gründen der Echtzeitfähigkeit und der Vereinfachung des mathematischen Modells der technologischen Anlage wird eine Dekomposition des verfahrenstechnischen Systems mit dem Ziel der Vereinfachung des Optimierungsproblems vorgenommen. Dabei wird versucht, eine bereits vorhandene Gliederung des Gesamtsystems in verteilte Teilsysteme auszunutzen. Das Prinzip einer derartigen Dekomposition ist in Abbildung 4 dargestellt.

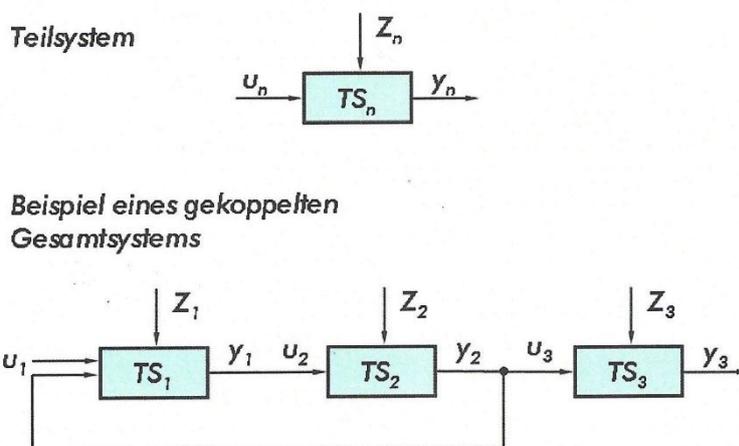


Abbildung 4: Dekomposition verfahrenstechnischer Systeme Quelle: Balzer (2007)

Ausgehend von Abbildung 4 werden folgende Bezeichnungen eingeführt:

$x_n = (u_n, z_n, y_n)$ - Vektor der Prozessparameter des n -ten Teilsystems

wobei:

u_n – Vektor der Steuergrößen

z_n – Vektor der Störgrößen

y_n – Vektor der Ausgangsgrößen

sind.

$X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ - Vektor der Prozessparameter des Gesamtsystems

Die vereinfachte Prozessoptimierungsanlage kann nun wie folgt formuliert werden:

$$Q(x) = \sum_{n=1}^N Q_n(x_n) \rightarrow \min_U \quad (5) \quad Q - \text{Optimierungskriterium}$$

$$f_n(x_n) = 0; \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (6) \quad f_n(x_n) - \text{mathematisches Modell des n-ten Teilsystems (z.B. Thermolysereaktor)}$$

$$G(x) = \sum_{n=1}^N g_n(x_n) = 0 \quad (7) \quad G - \text{Koppelbedingungen des Gesamtsystems}$$

2.2.3 Modellbasierte Prozessstabilisierung

Bei der Prozessstabilisierung geht es darum, den Einzugsbereich stabiler Prozesszustände zu berechnen. Dabei wird die Stabilitätstheorie von Ljapunov verwendet. Bei der Steuerung kommt es dann darauf an, den Prozess innerhalb dieser Einzugsbereiche zu halten. Bei der Ermittlung dieser Einzugsbereiche gehen wir folgendermaßen vor:

Das mathematische Modell des gesteuerten Systems hat folgendes Aussehen:

$$\frac{dx}{dt} = f(x) \quad (8)$$

Es wird folgende Ljapunov-Funktion definiert:

$$l(x) = \text{const} > 0 \quad (9)$$

Das System ist stabil, wenn $x(t)$ als Lösung von Gleichung (1) die Niveauperfläche (2) von außen nach innen durchstößt. Das bedeutet:

$$\frac{dl(x)}{dt} = p(x) \leq 0 \quad (10)$$

Für die Berechnung von $\frac{dl(x)}{dt}$ gilt:

$$\frac{dl(x)}{dt} = \frac{\partial l}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{\partial l(x)}{\partial x} \cdot f(x) \quad (11)$$

Die Gleichung (3) beschreibt den gesuchten Einzugsbereich. Durch die Minimierung der Ljapunov-Funktion des Gesamtsystems sind wir bei der Prozessstabilisierung auf der sicheren Seite. Dadurch wird eine weitgehende Toleranz gegenüber Modellfehlern erreicht. Für das Gesamtsystem werden die Einzugsbereiche durch die Lösung des folgenden Gleichungssystems bestimmt:

$$l(x) = \sum_{n=1}^N l_n(x_n) \rightarrow \min_x \text{ (ungünstigster Fall)} \quad (12)$$

$$p(x) = \sum_{n=1}^N p_n(x_n) = 0 \quad (13)$$

$$G(x) = \sum_{n=1}^N g_n(x_n) = 0 \quad (14)$$

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für Einzugsbereiche stabiler Zustände.

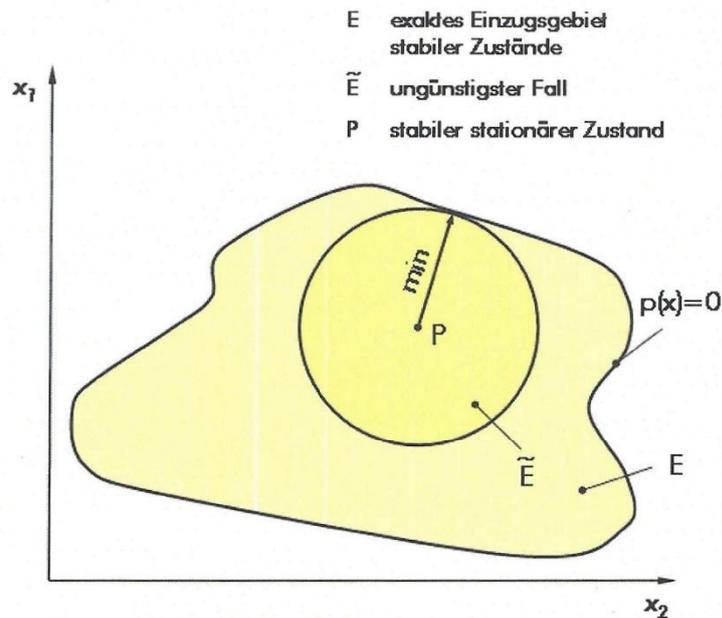


Abbildung 5: Einzugsbereiche stabiler Zustände Quelle: Balzer (2007)

2.2.4 Modellbasierte vorbeugende Prozesssicherung

Unter der vorbeugenden Prozesssicherung verstehen wir die Kompensation folgender nicht-ausregelbarer Störgrößen, die zu gefährlichen Situationen führen können:

- Ausfall von Teilanlagen
- Fehler im Automatisierungssystem
- Fehlhandlungen des Menschen
- außergewöhnliche Umwelteinflüsse
- Störungen in der Rohstoff- und Energiezufuhr.

Auswirkungen dieser gefährlichen Situationen können sein:

- Gefährdung von Menschen
- Produktionsausfälle
- Qualitätsabsenkungen
- Anlagenschäden.

Algorithmen zur vorbeugenden Prozesssicherung beziehen sich auf:

- Erkennen gefährlicher Situationen
- Automatisierte Realisierung einer Abwehrstrategie bzw. Durchführung von Reparaturmaßnahmen.

Abwehrstrategien sind:

- Aktivierung kalter oder heißer Redundanzen
- Lastabwurf (z.B. bei Energieverbrauchern)
- Steuerung der Hauptprozesse auf Teil- oder Nullproduktion
- sofortiges Abfahren der Anlage bei besonderer Gefahr für Menschen und Ausrüstungen
- Durchführung von ereignisorientierten Wartungs- und Reparaturmaßnahmen.

Bei der vorbeugenden Prozesssicherung geht es darum, die Prozessparameter in ein Gebiet zu überführen, aus dem sie in einem begrenzten Zeitbereich durch Anwendung der Abwehrstrategie keine gefährlichen Zustände erreichen (Quasistabilität). Für die Berechnung der Einzugsbereiche quasistabiler Zustände verwenden wir eine variierte Form der Stabilitätstheorie von Ljapunov.

Es kommt darauf an, die mögliche „Aufweitung“ des Zustandsbereiches des Systems bei Einwirkung nichtausregelbarer Störgrößen zu berechnen. Auch in diesem Fall gehen wir vom ungünstigsten Fall aus:

Maximierung von $\frac{dl(x)}{dt} = p$

Der quasistabile Bereich wird durch die Lösung des folgenden Gleichungssystems bestimmt:

$$p(x) = \sum_{n=1}^N p_n(x_n) \rightarrow \max \quad (15)$$

$$l(x) = \sum_{n=1}^N l_n(x_n) = \text{const} \quad (16)$$

$$G(x) = \sum_{n=1}^N g_n(x_n) = 0 \quad (17)$$

Für die vorbeugende Prozesssicherung werden in der Zukunft verstärkt Trainingssimulatoren zum Einsatz kommen, die folgende Aufgaben lösen:

- Schulung des Anlagenpersonals (Havarie-situationen)
- Test der Wirkungsweise von Abwehrstrategien im offenen Kreis
- Realisierung von Abwehrstrategien im geschlossenen Kreis.

Diese Trainingssimulatoren verwenden als Kern mathematische Modelle der zu sichernden verfahrenstechnischen Systeme. Als Beispiel soll hier das mathematische Modell eines Thermolysereaktors dargestellt werden (s. Abbildung 6).

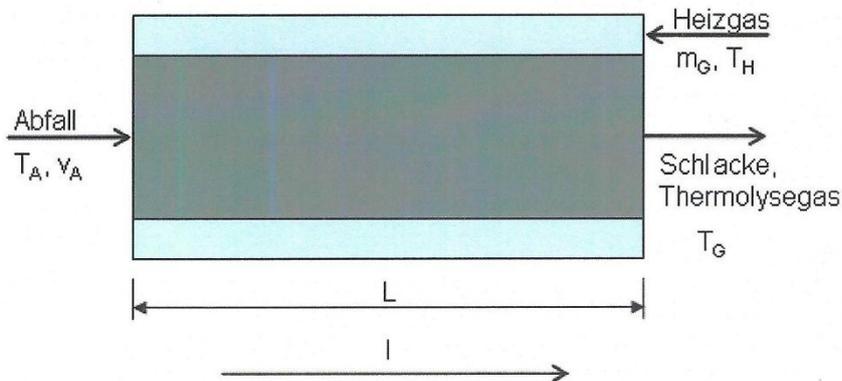


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines Thermolysereaktors

Das mathematische Modell besteht aus folgenden Bilanzgleichungen:

$$\frac{\partial m_G}{\partial t} + v_G \frac{\partial m_G}{\partial l} = m_G \cdot M \cdot \exp\left(\frac{-E}{RT_A}\right) \quad (11)$$

$$\frac{\partial T_A}{\partial t} + v_A \frac{\partial T_A}{\partial l} = q \cdot m_A \cdot M \cdot \exp\left(\frac{-E}{RT_A}\right) + K_1(T_A - T_G) \quad (12)$$

$$\frac{\partial T_G}{\partial t} + v_G \frac{\partial T_G}{\partial l} = -K_1(T_A - T_G) + K_2(T_G - T_H) \quad (13)$$

$$\frac{\partial T_H}{\partial t} + v_H \frac{\partial T_H}{\partial l} = -K_2(T_G - T_H) \quad (14)$$

Darüber hinaus sind Anfangsbedingungen und Randbedingungen Bestandteil des Modells.

3 Sicherheit bei der Überwachung und Steuerung technologischer Prozesse und Systeme unter Verwendung öffentlicher Kommunikationsnetze

3.1 Sicherheitsanforderungen der Automatisierung

3.1.1 Problemstellung

Bei der Nutzung moderner Kommunikationsnetze (Internet, Funkkommunikationsnetze, LAN bzw. WLAN u. a.) in der vernetzten Automatisierung von industriellen Systemen mit hohen Sicherheitsanforderungen entstehen spezifische Sicherheitsprobleme. Dabei werden die Automatisierungsnetze mit ihren Kommunikations-Infrastrukturen immer komplexer und die Gewährleistung der Sicherheit ein ständig größer werdendes Problem.

Die Verfahren zur Datensicherheit haben in den verbreiteten IT-Technologien ein hohes Entwicklungspotenzial erreicht, das in all seiner Vielfalt und mit allen Vorteilen auch in der Feldebene der Automatisierungstechnik zu nutzen ist. Die Integration der Informationstechnologie (IT) mit etablierten Standards wie z.B. TCP/IP in die Automatisierungstechnik (AT) eröffnet deutlich verbesserte Kommunikationsmöglichkeiten zwischen und in Automatisierungssystemen, weitreichende und verbesserte Konfigurations- und Diagnosemöglichkeiten und netzweite Servicefunktionen. Die vertikale Integration, d.h. die durchgängige Kommunikation zwischen allen Ebenen der Automatisierungstechnik bis hin zur Verbindung von Automatisierungsnetzen mit den klassischen ethernetbasierten Büronetzen oder Firmenintranets, wird durch die neuen IT-Kommunikationskonzepte erheblich vereinfacht. Neben den unbestreitbaren Vorteilen bringt eine durchgängige Kommunikationslandschaft aber auch die gleiche Security-Gefahr in die Automatisierungstechnik, die man schon seit Jahren aus der Office-Welt kennt.

Ein zunehmender Bestandteil ihrer Engineering-Leistungen für Automatisierungssysteme bzw. für zu automatisierende Prozesse unter Einbeziehung von Kommunikationsnetzen besteht in neuartigen Aufgaben zur funktionalen Sicherheit und zur Informationssicherheit. Diese Leistungen spiegeln sich im Lebenszyklus einer automatisierten technischen Anlage wieder:

- Realisierung und Modifikation von Sicherheitssoftware in der Prozessleitebene (Leitrechner) sowie in der Steuerungs- und Regelungsebene (prozessnahe Komponenten)
- deren Integration und Inbetriebnahme in der automatisierungstechnischen Gesamtlösung
- Sicherheitsservice und Gewährleistung der Sicherheit bei Wartungs-Dienstleistungen in der Betriebsphase der Anlagen.

Solche Aufgaben werden insbesondere bei der Realisierung sicherheitsgerichteter Automatisierungslösungen, insbesondere für sicherheitskritische Prozesse bzw. unter Bedingungen sicherheitskritischer Infrastrukturen besonders wichtig.

Dazu sind die in den modernen IT-Systemen integrierten Sicherheitsfunktionen als Vorbild zu betrachten. In solchen über öffentliche Kommunikationsnetze vernetzten Automatisierungssystemen geht es um den Schutz vor Bedrohung der Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von Informationen und Diensten. Das IT-Sicherheitsmanagement muss die mittels der Informationstechnik (IT) realisierten Produktions- und Geschäftsprozesse in Unternehmen und Organisationen systematisch *gegen beabsichtigte Angriffe (Security)* und *unbeabsichtigte Ereignisse (Safety)* schützen. Methoden hierzu sind die Erstellung von Sicherheitsmodellen und -konzepten, der Aufbau von Sicherungsinfrastrukturen sowie Risikoanalyse und -management.

Aufgaben zur Gestaltung der Sicherheit vernetzter Automatisierungslösungen sind z. B.:

- Steuerung verteilter Prozesse oder Fernwirken über VPN-Tunnel (Virtual Private Network) durch öffentliche Kommunikationsnetze,
- Security-Gateway's für verteilte bzw. vernetzte Automatisierungsanlagen,
- Security- Richtlinien für automatisierungstechnische Infrastrukturen.

Eine innovative Herausforderung ist die Einrichtung der Datenkommunikation verteilter Automatisierungssysteme über heterogene Kommunikationsnetze.

Dazu sind neue ingenieurmäßige Verfahren zur Einrichtung sicherer und automatisierungstechnisch unter den Bedingungen der Echtzeitübertragung angepasste effiziente IT-Infrastrukturen erforderlich.

Die Verfahren zur Datensicherheit haben in den verbreiteten IT-Technologien ein hohes Entwicklungspotenzial erreicht, das in all seiner Vielfalt und mit allen Vorteilen auch in der Feldebene der Automatisierungstechnik zu nutzen ist. Die Integration der Informationstechnologie (IT) mit etablierten Standards wie z.B. TCP/IP in die Automatisierungstechnik (AT) eröffnet deutlich verbesserte Kommunikationsmöglichkeiten zwischen und in Automatisierungssystemen, weitreichende und verbesserte Konfigurations- und Diagnosemöglichkeiten und netzweite Servicefunktionen. Die vertikale Integration, d.h. die durchgängige Kommunikation zwischen allen Ebenen der Automatisierungstechnik bis hin zur Verbindung von Automatisierungsnetzen mit den klassischen ethernetbasierten Büronetzen oder Firmenintranets, wird durch die neuen IT-Kommunikationskonzepte erheblich vereinfacht. Neben den unbestreitbaren Vorteilen bringt eine durchgängige Kommunikationslandschaft aber auch die gleiche Security-Gefahr in die Automatisierungstechnik, die man schon seit Jahren aus der Office-Welt kennt.

Ein zunehmender Bestandteil ihrer Engineering-Leistungen für Automatisierungssysteme bzw. für zu automatisierende Prozesse unter Einbeziehung von Kommunikationsnetzen besteht in neuartigen Aufgaben zur funktionalen Sicherheit und zur Informationssicherheit. Diese Leistungen spiegeln sich im Lebenszyklus einer automatisierten technischen Anlage wieder:

- Realisierung und Modifikation von Sicherheitssoftware in der Prozessleitebene (Leitrechner) sowie in der Steuerungs- und Regelungsebene (prozessnahe Komponenten)
- deren Integration und Inbetriebnahme in der automatisierungstechnischen Gesamtlösung
- Sicherheitsservice und Gewährleistung der Sicherheit bei Wartungs-Dienstleistungen in der Betriebsphase der Anlagen.

Solche Aufgaben werden insbesondere bei der Realisierung sicherheitsgerichteter Automatisierungslösungen, insbesondere für sicherheitskritische Prozesse bzw. unter Bedingungen sicherheitskritischer Infrastrukturen besonders wichtig.

Dazu sind die in den modernen IT-Systemen integrierten Sicherheitsfunktionen als Vorbild zu betrachten. In solchen über öffentliche Kommunikationsnetze vernetzten Automatisierungssystemen geht es um den Schutz vor Bedrohung der Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von Informationen und Diensten. Das IT-Sicherheitsmanagement muss die mittels der Informationstechnik (IT) realisierten Produktions- und Geschäftsprozesse in Unternehmen und Organisationen systematisch *gegen beabsichtigte Angriffe (Security)* und *unbeabsichtigte Ereignisse (Safety)* schützen. Methoden hierzu sind die Erstellung von Sicherheitsmodellen und -konzepten, der Aufbau von Sicherungsinfrastrukturen sowie Risikoanalyse und -management.

Aufgaben zur Gestaltung der Sicherheit vernetzter Automatisierungslösungen sind z. B.:

- Steuerung verteilter Prozesse oder Fernwirken über VPN-Tunnel (Virtual Private Network) durch öffentliche Kommunikationsnetze,
- Security-Gateway's für verteilte bzw. vernetzte Automatisierungsanlagen,
- Security- Richtlinien für automatisierungstechnische Infrastrukturen.

Eine innovative Herausforderung ist die Einrichtung der Datenkommunikation verteilter Automatisierungssysteme über heterogene Kommunikationsnetze.

Dazu sind neue ingenieurmäßige Verfahren zur Einrichtung sicherer und automatisierungstechnisch unter den Bedingungen der Echtzeitübertragung angepasste effiziente IT-Infrastrukturen erforderlich.

Grenzen z.B. wegen ihrer Übertragungsbandbreite. Die Entwicklung zu immer intelligenteren und verteilten, miteinander agierenden Systemen, fordert immer stärker steigende Übertragungsgeschwindigkeiten für eine ständig wachsende Datenmenge. Dabei spielen zunehmend Verfahren zur Funkkommunikation eine Rolle.

Eine ethernetbasierte Infrastruktur bietet das Potenzial für durchgängige Kommunikationslösungen, um alle Ebenen der Automatisierungspyramide zu vernetzen, die hierarchische Kommunikationsstruktur mit den proprietären Teilnetzen wird damit aufgegeben. Dadurch ergeben sich beim Zugriff auf die Feldebene komfortable Möglichkeiten der Fernsteuerung, der Fernwartung und Diagnose.

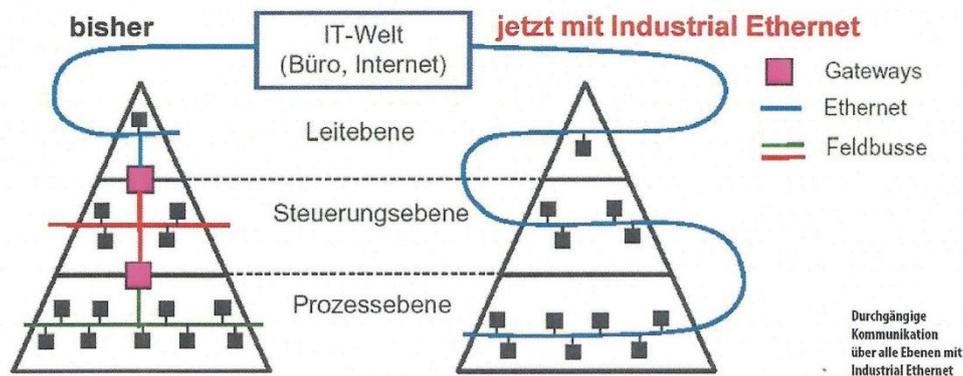


Abbildung 8: Kommunikationsinfrastrukturen in Automatisierungsnetzen
Quelle: Schönegger (2007)

Sicherheitsrelevante Arbeitsbereiche

Technischen Inhalte der Automatisierungsprojekte für vernetzte Systeme sind Aufgaben zur Prozesssicherung, -stabilisierung und -optimierung (siehe Tabelle 2), z. B. für sicherheitskritische Versorgungsstrukturen, z. B. für Elektroenergie, Wasser, Gas, Tanklager und Erdgasspeicher sowie Transportsysteme aber auch für sicherheitskritische Industriestrukturen wie Stahl- und Walzwerke, Biogas- und Thermolyseverfahren, Bergbauanlagen u. a.

Vernetzte Systeme ermöglichen eine zentrale Überwachung, Steuerung und Wartung. Anforderungen an das Engineering beinhalten neben steigender Produktivität, sinkender Projektdauer und damit auch höherer Rentabilität zusätzlich die Integration neuer Entwicklungsmethoden und Werkzeuge. Die zunehmende Komplexität von verfahrenstechnischen Anlagen mit der damit verbundenen stetig wachsenden Funktionsintegration in Prozessleitsystemen (PLS) bewirken höhere Ansprüche an das Test- und Qualitätsmanagement. Insbesondere die Simulation und die dafür eingesetzten Werkzeuge bieten in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, die Implementierungs- und Testzyklen von PLS entscheidend zu verkürzen.

Die Anforderungen zur Datensicherheit stellen sich in allen Aufgabenbereichen der industriellen Basisautomatisierung und der Prozessleittechnik (Tabelle 3). Dabei ist in den Automatisierungsprojekten

- eine Abkehr von klassisch hierarchisch strukturierten Automatisierungsstrukturen, d. h. für prozessnahe Automatisierungstechnik (Level 1) mit übergeordneter Prozessleittechnik (Level 2) entsprechend Abbildung 9, und statt dessen
- die Anforderungen zu flexiblen bzw. kundenspezifischen Sicherungslösungen der zu vernetzenden Automatisierungssysteme unter Beibehaltung der funktionellen Hierarchie (entsprechend Szenario nach Abbildung 10)

festzustellen.

Bereich	Funktionskomplexe	Aufgaben
Betriebsleitebene	MES (Fertigungsmanagementsystem) MIS (Management-Informationssystem)	Produktionsfeinplanung, Produktionsdatenerfassung, Leistungskennzahlen, Material-Management, Qualitätsmanagement
Prozessleitebene	Prozessleitsystem HMI- bzw. SCADA-Systeme	Bedienen und Beobachten, Rezeptverwaltung und Ausführung, Messwertarchivierung
Steuerungsebene	SPS	Steuerung, Regelung
Feldebene	Prozesssignale, Ein-/Ausgabemodule, Feldbus	Schnittstelle zum technischen Produktionsprozess über Ein- und Ausgangssignale
Sensoren-/Aktoren auf Prozessebene	Parallelverdrahtung oder Kommunikation über Feldbus mit Aktor- Sensor-Schnittstellen	Einfache und schnelle Datensammlung, meist binärer Signale

Tabelle 3: Aufgabenbereiche zur industriellen Basisautomatisierung und Prozessleittechnik

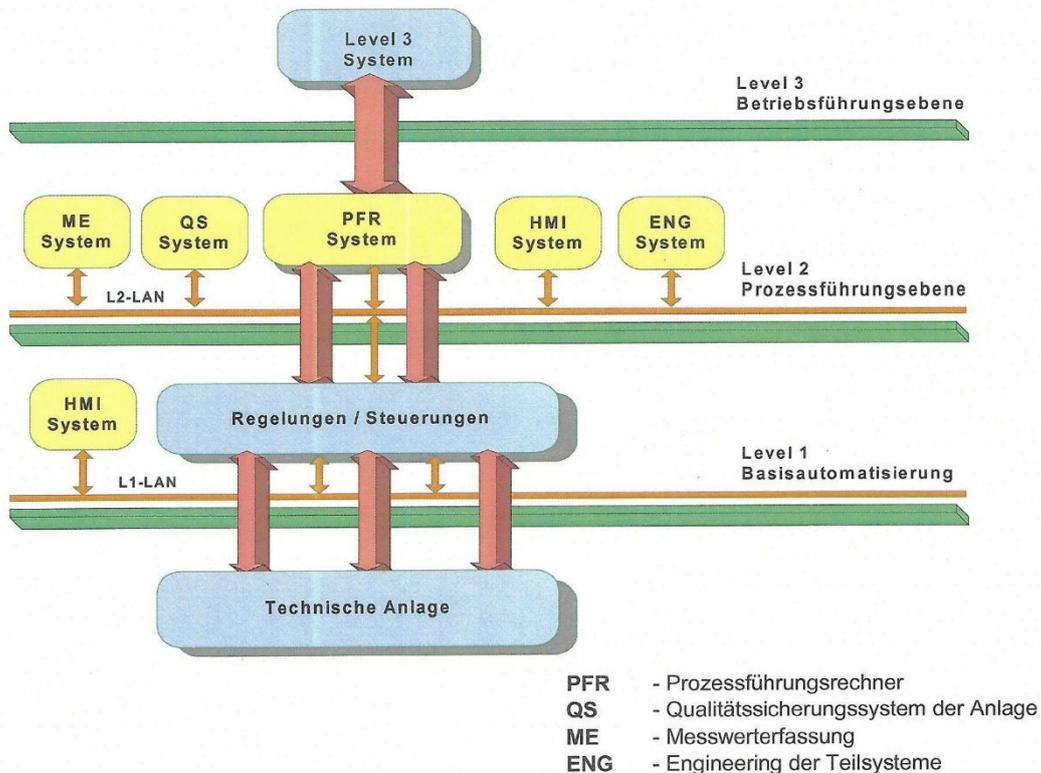


Abbildung 9: klassische Automatisierungsstruktur z. B. in Stahlwerken mit proprietären Kommunikationsnetzen in den Hierarchie-Ebenen
Quelle: AUCOTEAM (interne Unterlage)

Zunehmend werden verteilte Automatisierungslösungen eingesetzt, in denen die Prozesse über weite Räume zu steuern sind, mobile Funktionen und Teleservice eine Rolle spielen (Abb. 10).

Diese Entwicklung spiegelt sich in neuen Anforderungen wieder zur

- Nutzung der mobilen Funkkommunikation in der Prozessführung
- Nutzung heterogener Kommunikationsnetze
- zentralisierten modellbasierten Überwachung und Steuerung dezentraler Systeme
- zentralisierten und mobilen Instandhaltung und Wartung
- hohen Sicherheit der zu steuernden Prozesse
- Verbesserung der Qualität der Automatisierung bezüglich Sicherheit und Echtzeitfähigkeit.

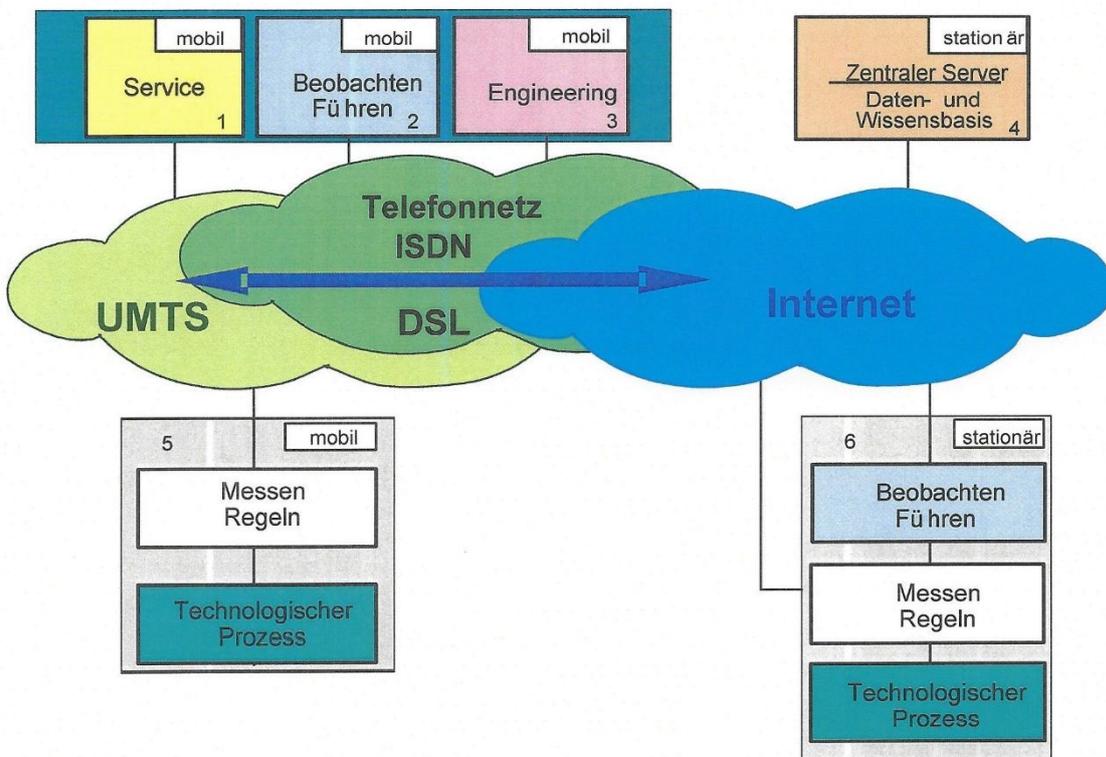


Abbildung 10: Prinzipielle Struktur vernetzter bzw. verteilter Automatisierungslösungen

Quelle: Thierse / Fuchs (2007)

3.1.3 Anforderungen zu Safety und Security

Die Sicherheitsaufgaben umfassen die Bereiche:

Funktionelle Sicherheit (Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit → Safety):

Gefordert wird der Schutz vor unbeabsichtigten Ereignissen bzw. deren Folgewirkungen durch technische Funktionen zur Überführung der technischen Anlagen bzw. Prozesse in einen gefahrlosen Zustand. Hierzu spielt die Fernwirktechnik zur Sicherheitsüberwachung eine wichtige Rolle.

Datensicherheit (IT-Sicherheit, Schutz vor Angriffen → Security):

Gefordert werden IT-spezifische Verfahren zur Datensicherung und Abwehr von Cyber-Angriffen.

3.1.3.1 Safety-Problemstellungen

Da hier nur die Informationsverarbeitung der Automatisierung betrachtet wird, reduziert sich die Betrachtung der Safety-Problematik auf die physische Sicherung der Kommunikation bzw. der Kommunikationskanäle. Dazu sind folgende Probleme zu bearbeiten:

- *Sicherheitsgerichtete Kommunikation mittels sicherheitsgerichteter Informationen z. B. über Feldbus, über Funkkanäle, über WLAN und Internet:*

Dazu können entsprechende Protokolle benutzt werden, die weitgehend schon genormt sind, z. B. ProfiSafe als universelles Protokoll für funktional sichere Übertragung, openSAFETY als Kommunikationsprotokoll für Industrial Ethernet, Namur-Empfehlung 97 zu Feldbus Safety, Integrated Functions für SIL-fähige Feldbusgeräte, RFID zur Identifikation u. a.

- *Einhaltung von Sicherheitsanforderungsstufen zur funktionalen Sicherheit:*

Safety Integrity Level (SIL) nach IEC 61508 (Basisnorm) und IEC61511(Funktionale Sicherheit für Prozessindustrie).

- *SIL-definierte Feldgeräte:*

Verfahren zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit von Feldgeräten in sicherheitskritischen Infrastrukturen.

- *Kommunikationsprofile für Datentunnel zur funktional sicheren Übertragung:*

White Channel entworfen und begutachtet nach IEC 61784-3 und IEC 61508 oder IEC 61511,

Black Channel nach IEC 61784 entworfen zur verschlüsselten Kommunikation (für Maschinen nach IEC 62280) und nicht nach IEC 61508 begutachtet.

- *Risikoanalyse:*

Maßnahmen über Risikograph, Bestimmung Performance-Level (PL) nach EN ISO 13849-1.

3.1.3.2 Security-Problemstellungen

Entsprechend dem Vorbild aus IT-Systemen sind integrierbare Sicherheitsfunktionen in Automatisierungssystemen für folgend genannte Schutzziele zu realisieren:

- *Vertraulichkeit (Confidentiality):* Schutz vor unautorisierten Lesezugriffen, Kopieren, falschen Empfängern
- *Integrität (Integrity):* Verhinderung unautorisierter Schreibzugriffe bzw. Datenmanipulation
- *Authentizität (Authentication):* Glaubwürdigkeit eines Benutzers (Mensch, Komm.-Gerät, Programm)
- *Zugriffskontrolle (Authorisation):* Zugelassene Personen und Dienste
- *Nichtbestreitbarkeit (Non-repudiability):* Verbindlichkeit, Empfangsbestätigung (erfolgt oder nicht erfolgt)
- *Verfügbarkeit (Availability):* Keine Verhinderung berechtigter Zugriffe
- *Aufzeichenbarkeit (Auditability):* Log-Files (Protokolldateien).

Auch in der Automatisierungstechnik muss durch ein spezifisches IT- Sicherheitsmanagement versucht werden, die mit Hilfe der Informationstechnik (IT) gesteuerten Prozessanlagen bzw. Produktionsprozesse systematisch gegen beabsichtigte Angriffe (*Security*) und unbeabsichtigte Ereignisse (*Safety*) zu schützen.

Dazu sind folgende Problemstellungen und methodische Ansätze zu bearbeiten:

- *Die Probleme der IT-Sicherheit sind für die Ebenen der Prozessleittechnik (PLT) und der Feldebene der Basisautomatisierung zu betrachten.*

Für beide Ebenen ergeben sich zu differenzierende Problemstellungen, z. B. über die Safety-Probleme. In der PLT-Ebene können IT-gerechte Security-Funktionen eingebaut werden, während auf der Prozessebene die Schnittstellen zu Feldgeräten einer spezifischen Sicherheitsergänzung bedürfen (Safety-Probleme).

- *Sicherheitsfunktionen für Einzelgeräte und ganze Anlagen*

Ein besserer Schutz vor Angriffen bedarf der Hardware-Software-Ergänzung (separate Sicherheitsmodule) von Einzelgeräten und ganzen Anlagen (Firewall-Hardware und – Software, Security-Gateway u. a.) und der Segmentierung von Automatisierungsnetzen.

- *VPN-Tunnelprotokolle*

Für Automatisierungsaufgaben ist Prüfung verschiedener Tunnelung-Protokolle und deren Verschlüsselung (z.B.: L2F, PPTP, L2TP, IPsec) in Bezug auf den Einsatz unter dem neuen Internetprotokoll IPv6 sowie unter Echtzeitbedingungen zu prüfen.

- *Risikoanalyse und –management*

Die Projektierung von Sicherheit ist aufwendig und kostenintensiv, darum muss der Aufwand durch Gefahren- und Risikoanalyse sowie Simulation minimiert werden nach dem Grundsatz: „Soviel Sicherheit wie nötig bei so wenig Sicherheitsaufwand wie möglich“.

- *Projektierung von Sicherungsinfrastrukturen*

Durch Erstellung von Sicherheitsmodellen und -Konzepten sowie daraus abgeleiteter Sicherheitsrichtlinien muss die Projektierung für den Automatisierungspraktiker nachvollziehbar und auf einen vertretbaren Aufwand reduziert werden.

3.2 Methodische Ansätze für Sicherheitslösungen der Automatisierung

Die Erhöhung der Verfügbarkeit technischer Systeme kann durch zusätzliche Sicherheitsfunktionen erreicht werden. Die Automation ermöglicht die Einhaltung hoher Sicherheitsstandards. Schutzfunktionen können über die Prozessleittechnik eingebaut werden.

Strategische Grundlagen zur Sicherheit kritischer Infrastrukturen sind in Strategiedokumenten des Bundesministeriums des Inneren (BMI) und des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) festgelegt und stellen die Ausgangsbasis der Sicherheitsanforderungen für die Automatisierungstechnik in solchen Infrastrukturen dar.

- [Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen](#) (BMI, 2009)
- [Cyber-Sicherheitsstrategie für Deutschland](#) (BMI, 2011)
- [Nationaler Plan zum Schutz der Informationsinfrastrukturen](#) (BMI, 2005) (NPSI, 2011 abgelöst durch die Cyber-Sicherheitsstrategie)

3.2.1 Sicherheitsgerichtete Kommunikationsverbindungen

Prinzipiell muss die technische Lösung als versagenssichere Technik so organisiert werden, dass kritische Situationen bzw. Gefahrenmomente für Menschen und technische Systeme absolut vermieden werden. Diese Sicherheit muss zertifiziert [Hülke (2006)] werden. Die Technik zur Vermeidung von Gefahren muss auch für die Kommunikationskanäle der Automatisierungssysteme eingerichtet werden, um z. B. den Informationsaustausch zum Abschalten in Gefahrensituation zu garantieren. Ein Gerät, ein System oder eine Anlage zeigt „Fail-Safe-Verhalten“, wenn es beim Auftreten eines internen Fehlers in einem sicheren Zustand bleibt oder in einen sicheren Zustand übergeht. Dazu werden technische Lösungen zu

- Fehlersicheren Steuerungen und
- Fernwirktechnik für sicherheitsgerichtete Steuerungen

eingesetzt. Um die sicherheitsgerichtete Signale über den Feldbus zu übertragen, wurden für die beiden mehrheitlich genutzten Feldbusse „Foundation Fieldbus H1“ und „Profibus PA“ zusätzliche Protokollstacks freigegeben. Die Namur-Empfehlung NE 97 beschreibt die entsprechenden Topologien und SIL-fähigen Feldbusgeräte.

Die NAMUR-Empfehlung NE 97 definiert die Anforderungen an sicherheitsgerichtete Feldbussysteme und gibt Richtlinien für deren Implementierung. Einige Anwendungen, wie z. B. PROFIsafe, werden bereits weltweit eingesetzt, die entsprechenden Protokolle und Geräte für andere Feldbusse befinden sich in der Entwicklungsphase.

Modernste Feldbus-Installationssysteme umfassen sämtliche Schutzmechanismen, um eine störungsfreie Kommunikation zu gewährleisten. In Verbindung mit den sicherheitsgerichteten Feldbusprotokollen werden diese Installationssysteme eine durchgängige digitale Kommunikation auch für sicherheitsrelevante Anwendungen ermöglichen. Dadurch kann die parallel zum Feldbusnetzwerk verlaufende konventionelle Verdrahtung entfallen. Somit lassen sich Installationskosten und vor allem die Betriebskosten, die während der Lebensdauer einer Anlage anfallen, signifikant reduzieren.

Ein inzwischen zur Marktreife gelangter Sicherheitsstandard für Feldbusse ist PROFI-safe (siehe Bild 11). Das PROFI-safe-Protokoll kann für sicherheitsgerichtete Anwendungen bis SIL3 gemäß IEC 61508 / IEC 62061, Sicherheitskategorie 4 entsprechend EN 954-1 oder PL "e" entsprechend ISO 13849-1 eingesetzt werden.

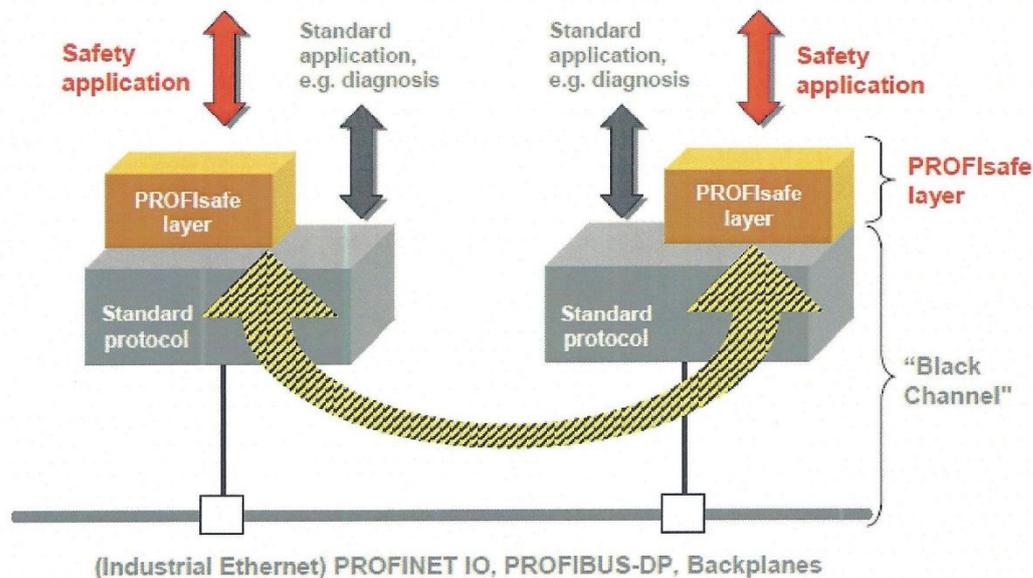


Abbildung 11: Das „Black Channel“-Prinzip mit PROFI-safe Quelle: PNO (2010)

3.2.2 IT-Sicherheit in Automatisierungslösungen

Security-Konzepte aus dem Office-Bereich tragen den besonderen Anforderungen im Automatisierungsumfeld jedoch kaum Rechnung. Zur Absicherung von neuen als auch von bereits bestehenden Anlagen, Systemen und Geräten ist ein wirkungsvolles, praktikables und kosteneffektives Data-Security-Konzept zu finden, das auch mit der sich entwickelnden internationalen Normung in Übereinstimmung zu bringen ist. Dazu müssen die Sicherheitsziele zunächst definiert und klassifiziert werden, um dann wirkungsvolle Abwehrmaßnahmen zu treffen. Hackerangriffe, Datenmanipulation und Spionage, Viren, Würmer und Trojaner oder Denial-of-Service-Attacken sind nur einige der Risiken, mit denen auch Automatisierungsnetze zunehmend konfrontiert sind.

Im folgendem werden einige Aspekte [Thierse/ Fuchs (2007), Balzer / Tursch (2010)], entsprechend der Erfahrung aus Automatisierungsprojekten [AUCOTEAM (interne Unterlagen)] kurz dargestellt.

3.2.2.1 VPN-Tunnel

Die Schaltung von *Virtual Private Networks* (VPN) über öffentliche Kommunikationsnetze ist eine grundlegende Methode. Es gibt verschiedene Protokolle, von denen IPsec die höchste Sicherheit bietet (Tabelle 4). Beispielhaft für eine geschützte Datenkommunikation wurde die Schaltung eines VPN-Tunnels durch das Internet entsprechend der in Abbildung 12 dargestellten Versuchsanordnung erprobt.

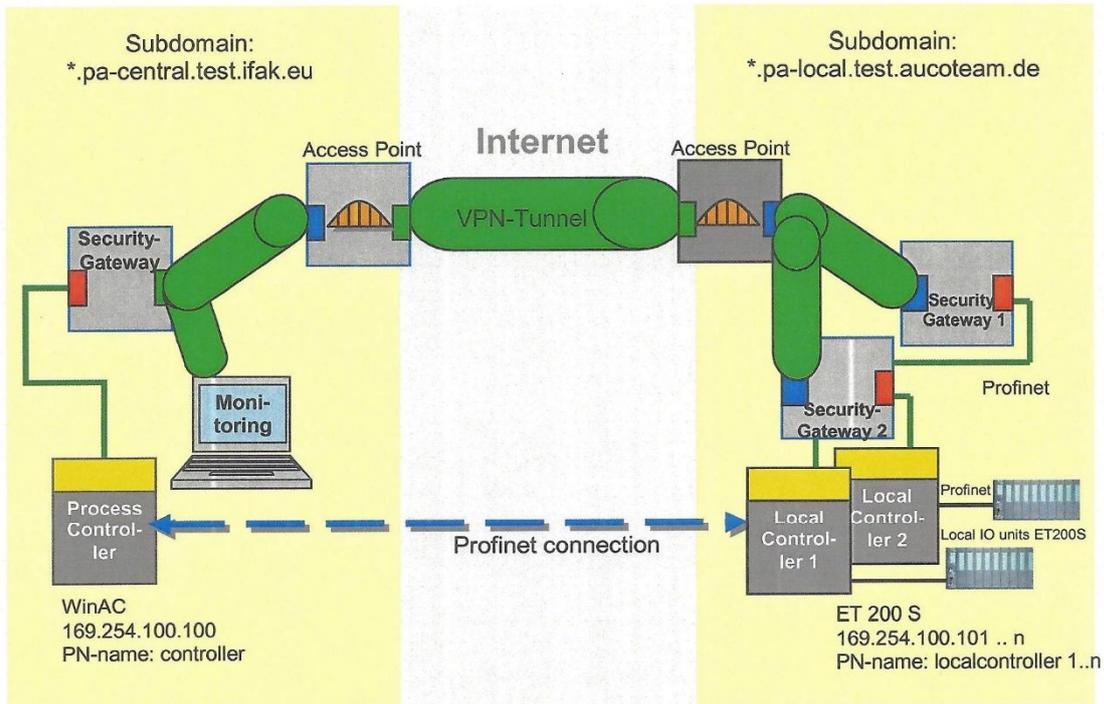


Abbildung 12: Testanordnung für eine geschützte Fernsteuerung von zwei Automatisierungsanordnungen für die Steuerung von Bioreaktoren
 Quellen: Tursch (2010), AUCOTEAM (interne Unterlage)

Die verschiedenen Verschlüsselungsprotokolle müssen auf ihre Eignung bezüglich Echtzeitfähigkeit und Sicherheit in Automatisierungssystemen bewertet werden.

	IPsec	L2TP	PPTP	MPLS
OSI-Schicht	Schicht 3	Schicht 2	Schicht 2	Schicht 2
Standard	Ja	Ja	Nein	Ja
Paketauthentifizierung	Ja	Nein	Nein	Nein
Benutzerauthentifizierung	Ja	Ja	Ja	Nein
Datenverschlüsselung	Ja	Nein	Ja	Nein
Schlüsselmanagement	Ja	Nein	Nein	Nein
Quality of Service	Ja	Nein	Nein	Ja
IP-Tunneling	Ja	Ja	Ja	Ja
IPX-Tunneling	Nein	Ja	Ja	Ja
Hauptanwendung	End-to-End	Provider	End-to-End	Netzbetreiber

Tabelle 4: Übersicht zu Eigenschaften von VPN-Protokollen
 Quelle: Elektronik-Kompodium (Webseite)

3.2.2.2 Security-Architektur

Die Architektur der Security-Systemlösung für ein komplettes Automatisierungsnetz ist entsprechend einer Intranet- bzw. Extranet-Struktur zu gestalten (Abbildung 13 und 14).

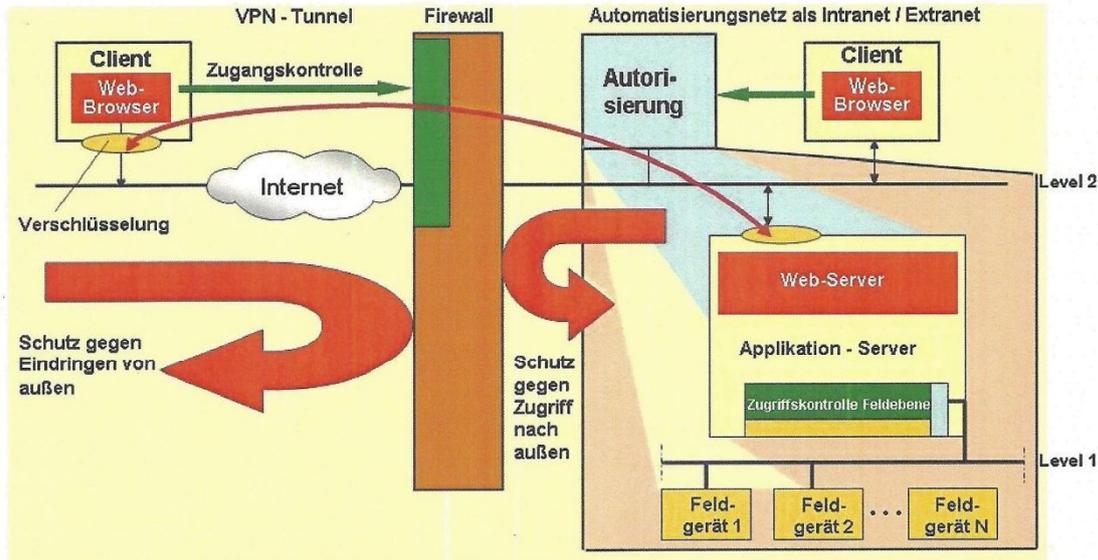


Abbildung 13: Security-Musterstruktur eines vernetzten Automatisierungssystems

Der IT-Verbund eines automatisierungstechnischen Systems besteht in der Integration unterschiedlicher Applikationen und verschiedener Funktionskomplexe im Zusammenspiel mit spezialisierten Servern. Diese Integration zu einem Web-Portal der Automatisierungsanlage wird über Web-Services [Hartmannsegger (2010)] organisiert (siehe Security-Musterstruktur in Abbildung 13)

Das auf diese Weise vernetzte Automatisierungssystem wird mit Security-Funktionen erweitert, die vorrangig über ein Security-Web-Portal wirksam sind. Das so ergänzte Automatisierungssystem ist von außen nur für die zugelassenen und geschützten Service-Dienste über das Web-Portal zugänglich (Abbildung 17). Alles Andere wird absolut gesperrt.

3.2.2.3 Sicherheitszonen verteilter Automatisierungssysteme

Bezugnehmend auf die Gefährdungspotentiale entsprechend einer Risikoanalyse sind z. B. in der Planungsphase eines Automatisierungssystems die Strukturierung einer Netzwerkinfrastruktur in logische Sicherheitszonen zweckmäßig, um unterschiedlichen Anforderungsklassen gerecht werden zu können.

Dazu sind Methoden und Vorgehensweisen auszuarbeiten, um Security in der vernetzten Automatisierungsstruktur entsprechend des jeweiligen Bedarfs differenzieren zu können, indem „Zonenmodelle“ zur Anwendung kommen. Mögliche Zonen-Einteilungen können sein:

- äußere Zone → mit Zugriff nach außen,
- mittlere Zone → Operatorfunktionen als „Vermittler“ nach innen und außen (z. B. VPN-Gateway)
- innere Zone → eigentliche Automatisierungsfunktion, die extrem abzusichern ist.

In den Zonen können einzelne Security-Funktionen der Office-Welt zum Einsatz kommen, aber es werden auch zusätzliche, automatisierungstypische Security-Funktionen erforderlich. So entspricht die Einteilung in Zonen (Abbildung 14) den Anforderungen einer flexiblen Anwendungsstruktur für leittechnische Systeme.

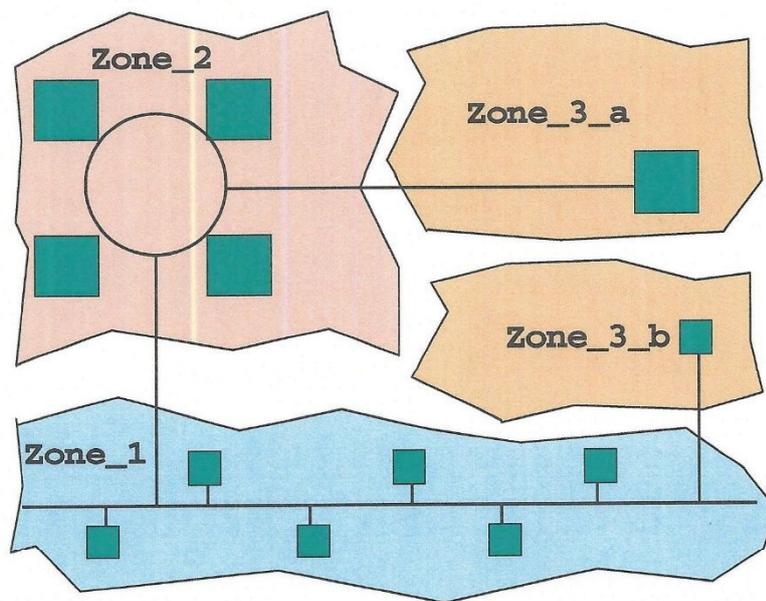


Abbildung 14: Netzwerk-Infrastruktur, Einteilung in Sicherheitszonen
Quelle: Thierse / Adamczyk (2004)

Alle drei Zonen bedienen sich offener Protokolle und sind daher aus Sicht der Kommunikation transparent miteinander verbunden. Die Zuordnung bekannter AT-Funktionen zu den einzelnen Zonen der im Abbildung 14 definierten Netzwerkzonen-Struktur wird wie folgt vorgenommen:

Zone-1: Prozessfunktionen, z. B. über PROFINET in der Feldebene

Zone-2: Engineeringfunktionen, z. B. Engineering und Werkzeuge für das Bedienen/ Beobachten, kann Bestandteil eines Office-Netzwerkes und damit auch eines „Intranet“ einer Institution sein

Zone-3: Remote Funktionen

Zone- 3_a: abgesetzte Teilnehmer der Fabrikebene, z. B.: Kopplung zweier Firmenstandorte (also zweier „Intranets“), mobiles Service-Personal

Zone- 3_b: abgesetzte Teilnehmer der Prozessebene.

Da PROFINET auf dem offenen Industrial-Ethernet-Netzwerk beruht, entstehen insbesondere bei drahtloser Übertragung zwangsläufig Fragen zur Datensicherheit. Mit der Strukturierung in Sicherheitszonen, die als geschlossene Netzwerke betrachtet werden können (Abbildung 14), sind definierbare Sicherheitskriterien implementierbar. Die einzige Möglichkeit, über ein offenes Ethernet-Netzwerk von einer Security-Zone in eine andere zu gelangen, führt durch sogenannte Security-Gates. Diese beinhalten bewährter Sicherheitstechniken wie VPN (Virtual Private Network) und Firewalls, um unerlaubte Zugriffe zu verhindern (Abbildung 15).

PROFIsafe-Netzwerke müssen sich immer in Security-Zonen befinden und durch Security-Gates geschützt werden, wenn Verbindungen zu offenen Netzwerken unvermeidbar sind.

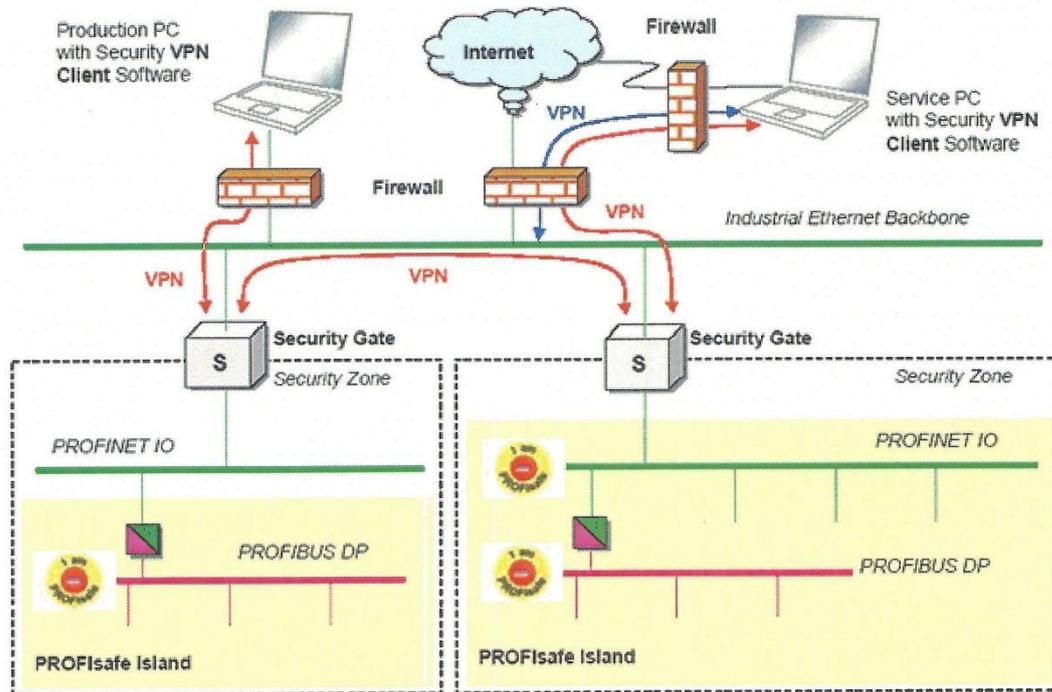


Abbildung 15: Security-Konzepte für "geschlossene" und "offene" Netzwerke
Quelle: PNO (2010)

3.2.2.4 Security-Anforderungsprofile

Eine Gefahren- und Risikoanalyse dieser Zonen entsprechend branchenspezifischer und konkreter Einsatzszenarien (z. B. Fabrikautomation, Prozessautomation, sicherheitskritische Infrastrukturen etc.) bei Berücksichtigung vielfältiger Sicherheitsstandards und Normen führt zu Anforderungsprofilen für das Security- Konzept der jeweiligen Anwendung (Abbildung 16).

Eine grobe Klassifizierung einer solchen Analyse ist in Tabelle 5 zusammengestellt.

Security-Klasse	Gefährdungspotential von innen und außen (Bedrohungsszenarien)	Sicherheitsaufwand
0	keines oder bei unsensiblen Prozessen	ohne
A	un-/gewollter Eingriff bei wenig sensiblen Prozessen	gering - mittelmäßig
B	Hacker, Spionage bei sensiblen Prozessen	hoch
C	Hacker, Spionage, Terrorismus bei hochsensiblen Prozessen	sehr hoch

Tabelle 5: Security-Klassen bezüglich der Gefährdungspotentiale und Sicherheitsaufwände

Zur Ermittlung des Anforderungsprofils ist eine Methodik zur Modellierung der Netzwerkstruktur zur Ermittlung der Gefahren und Risiken erforderlich, die auch dem Nicht-Security-Spezialisten ein sachgerechtes Vorgehen ermöglicht. Hilfestellung dazu bietet ein allgemeines Vorgehensmodell der Richtlinie VDI 2182 [Kuschmitz (2011)]

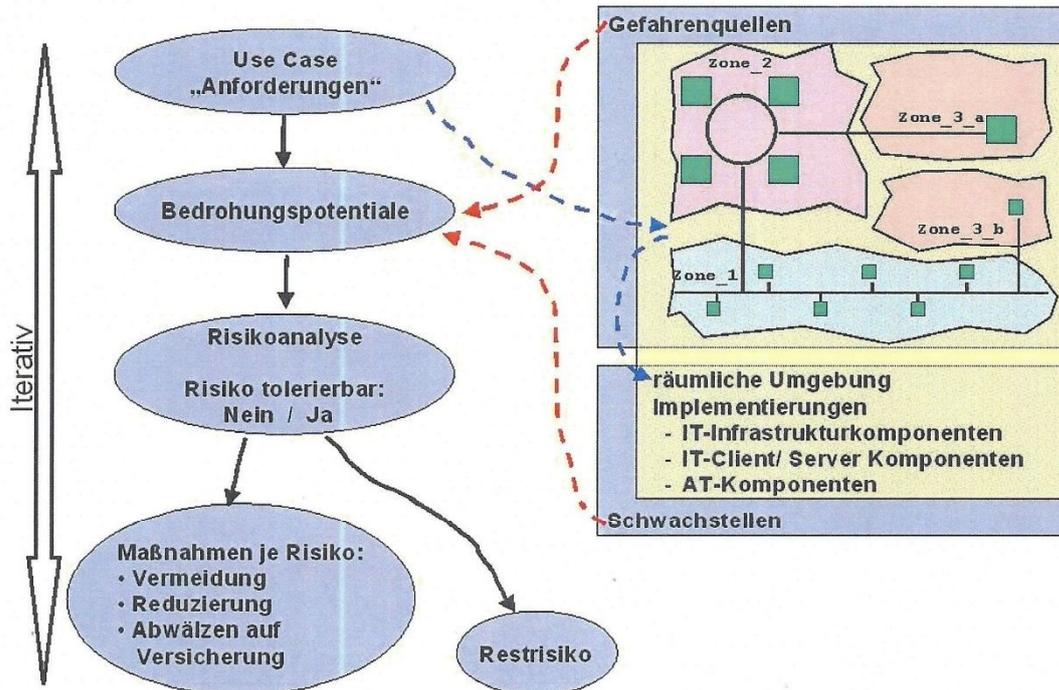


Abbildung 16: Risikoanalyse der Vernetzungsstruktur Quelle: Thierse / Fuchs

Aus den Gefährdungsklassen (Tabelle 5) können mit der Gefahren- und Risikoanalyse entsprechend der Sicherheitsziele verfeinerte Anforderungsprofile abgeleitet werden (Tabelle 6).

Klasse der Security-Anforderungen	Maßnahmen der Anforderungsklasse			
	0 keine	A niedrig bis mittelmäßig	B hoch	C sehr hoch
Vertraulichkeit	keine Maßnahmen	Zulässigkeit einfacher Fehler	Verwendung sicherer Kanäle	Datenverschlüsselung
Integrität	Temporäre Logdateien	Verwendung von Prüfsummen	Signierung der Daten, Dateien, Datenbanken	keine Fehler tolerierbar
Zugriffskontrolle	keine Prüfung	einfache Passwörter	Verwendung sicherer Autorisierungsdienste	Zertifikate und Authentifizierungsverfahren
Verbindlichkeit	keine Maßnahmen	Parametrierung der Logbücher	Authentisierung Backtrace	Zertifikate sichere Server
Verfügbarkeit	Ausfälle haben keine Folgen	Backup's zur Wiederherstellung	Wiederherstellung durch Tausch mit gespiegelten Komponenten	Hohe Redundanz der Systeme

Tabelle 6: Anforderungsklassen für Security-Maßnahmen

3.2.2.5 IT-Sicherheitskonzept für SCADA- bzw. Prozessleitsysteme

Das folgend skizzierte Einsatzkonzept entsprechend [Beirer (2007)] unter Verwendung einer AT-spezifischen Security-Gateway für SCADA- bzw. Prozessleit-Systeme folgt den Empfehlungen des BSI (KRITIS-Beispielrichtlinie [BSI]). Das ganze Automatisierungsnetz wird von

möglichen IT-Zugängen aus Office- und öffentlichen Netzen weitestgehend abgeschottet (Abbildung 17). Der Zugang aus Office-Netzen auf Daten der Automatisierungsanlage kann nur über Rechner in einer DMZ (Demilitarisierte Zone) erfolgen und die Datenkommunikation zwischen mehreren, räumlich verteilten Automatisierungsanlagen bzw. –Komponenten ist nur über maximal geschützte Datentunnel (VPN) möglich. Auf diesen Kommunikationstunnel hat kein Office-Nutzer Zugriff.

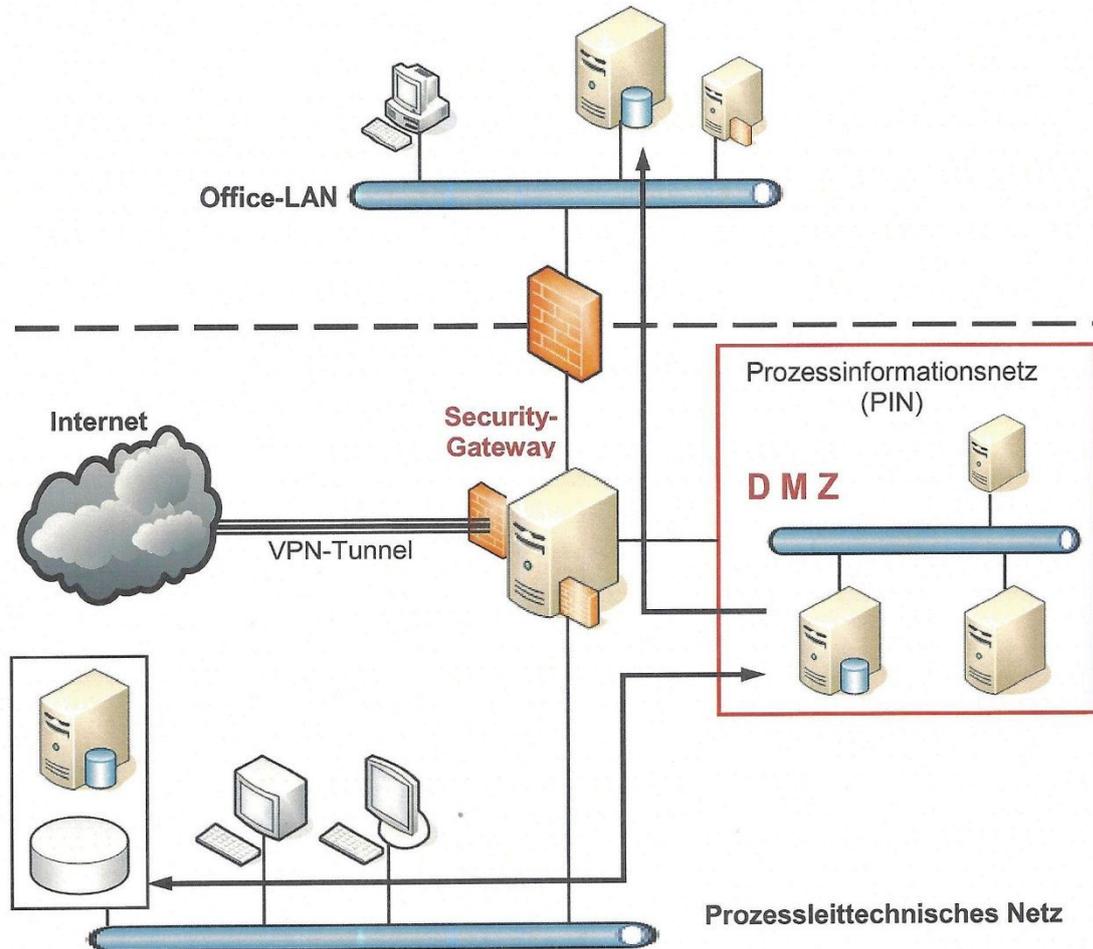


Abbildung 17: Datenaustausch zwischen Prozessnetz und Office-Netz nur über eine DMZ
Quelle: Beirer (2007)

Folgende Gestaltungsgrundsätze zur IT-Sicherheit von Automatisierungsnetzen der Prozessleittechnik erweisen sich als zweckmäßig:

- (1) Das Netzwerk eines Prozessleitsystems wird entsprechend Funktion und Schutzbedarf in getrennte Schichten aufgeteilt und die Kopplung mit externen Netzen über eine DMZ (Demilitarized Zone) realisiert (Abbildung 11):
 - *Verteilte dezentrale Automatisierungsnetze* in der Feldebene umfassen Sensoren und Steuergeräte zur Überwachung und Regelung der Anlagen. Der interne Aufbau der Automatisierungsnetzes kann herstellerspezifisch sein.
 - *Prozessleittechnisches Netz*: Im PLT-Netz befinden sich die geschäftskritischen Systeme, die direkt mit den Anlagensteuerungen interagieren. Deshalb muss der Zugriff auf diese PLT-Systeme stark eingeschränkt und gut abgesichert werden.
 - *Prozessinformationsnetz (PIN)*: Im PIN, das als DMZ ausgelegt wird, befinden sich die Systeme, die sowohl von dem prozessleittechnischen Netzwerk als auch von externen Büronetzwerk-Systemen genutzt werden. Im PIN wird über das Security-Gateway ein Mechanismus für einen sicheren Datenaustausch zwischen den beiden

Netzwerken bereitgestellt, ohne eine direkte Verbindung zwischen ihnen herzustellen.

- (2) Daten, die in Systeme und Anwendungen des Prozessinformationsnetzes importiert werden sollen (zum Beispiel Office-Dokumente oder Software-Updates), müssen grundsätzlich auf einem vom Prozessnetz isolierten Rechner auf Schadsoftware geprüft werden, bevor sie in das System eingespielt werden.
- (3) Entwicklungs- und Testsysteme dürfen nicht in produktiven Netzen betrieben werden sondern müssen in einem eigenen Test-Segment installiert werden, das durch das Security-Gateway von den übrigen Netzen getrennt ist. Wenn es unvermeidbar ist, dass die Testsysteme den Zugriff auf einzelne Komponenten im Prozessnetz zum Beispiel auf Sensoren oder Steuergeräte benötigen, dürfen diese nur selektiv freigegeben werden. Nach Wegfall der Anforderungen müssen diese Freigaben wieder annulliert werden. Software-Updates sollen zuerst in komplett isolierten Entwicklungs-Systemen getestet werden.
- (4) Die Datensicherung sollte nicht über Netzgrenzen hinweg, sondern lokal im Prozessnetz auf dezidierten Backup-Systemen erfolgen. Für die System-Wiederherstellung müssen dokumentierte und getestete Recovery-Prozeduren und Wiederanlaufpläne existieren.

3.2.2.6 Virtuelle Netze

Das Ziel besteht in der geschützte Datenkommunikation über heterogene Kommunikationsnetze mittels sichererer Datenübertragungskanäle (sogenannte Run-Time-Tunnel). Konzept und Realisierungsansätze wurden in einem EU-Forschungsprojekt ([Neumann 2010], [Klostermeyer 2007], [Balzer und andere 2006]) entwickelt.

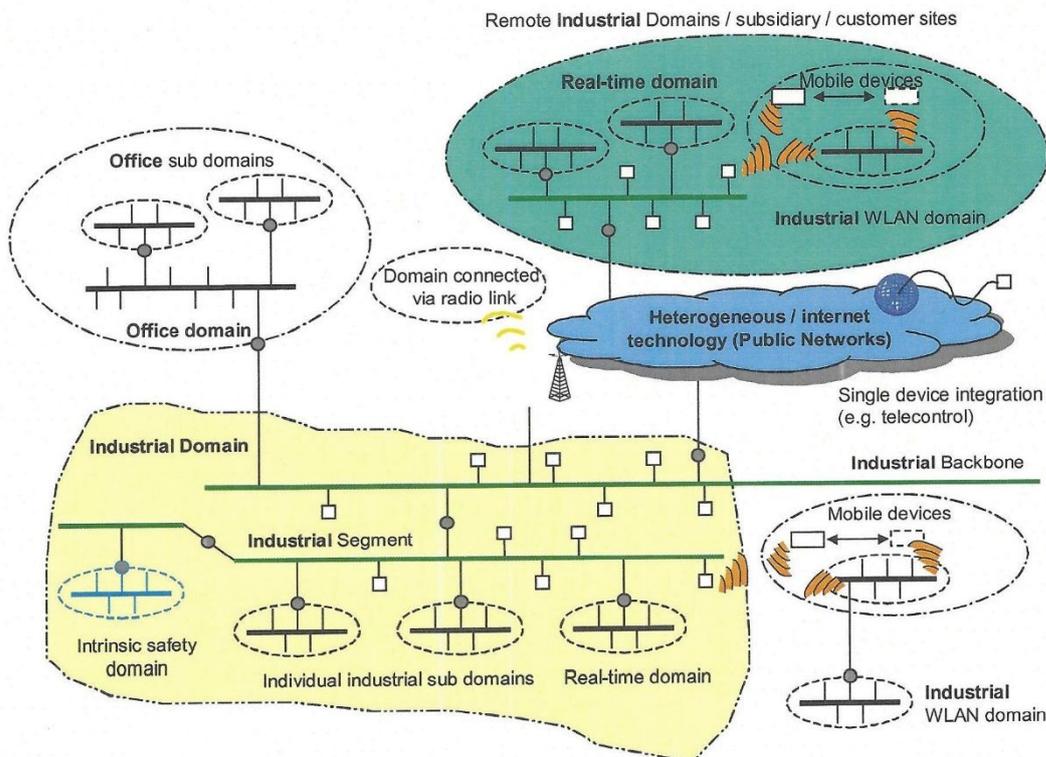


Abbildung 18: Muster für ein heterogenes industrielles Netzwerk

Quelle: Klostermeyer 2007

Unter einem "Virtual Automation Network" wird im Rahmen dieses Projekts ein heterogenes (Kommunikations-) Netzwerk verstanden, welches sowohl kabelgebundene als auch kabellose Feldbusnetzwerke, lokale Netzwerke (LANs), das Internet sowie kabelgebundene

und/oder kabellose Telekommunikationsnetzwerke integriert. Eine End-zu-End-Verbindung über ein derartiges Netzwerk muss nicht nur die Möglichkeit zur „Orts“-Bestimmung (Location Awareness), skalierbares Echtzeitverhalten, Daten-, Personen- und Geräte-Sicherheit gewährleisten, sondern soll darüber hinaus - im Sinne des Gedankens der verteilten Automation – auch die Kooperation dezentraler Anwendungsprogramme zur Erfüllung gemeinsamer Steuerungsaufgaben ermöglichen.

3.3 Automatisierungsspezifische Sicherheitsaspekte

3.3.1 Feldebene der Automatisierung

Als besonders kritisch ist der Problembereich zur IT-Sicherheit in der Feldebene zu betrachten. Wie unter Pkt. 1.2 schon dargelegt, ist die Sicherheit von automatisierten Systemen in den IT-spezifischen Bereichen beherrschbar, jedoch sind Einwirkungen und Auswirkungen von Angriffen und technischen Fehlern in die Feldebene hinein und auch in der Feldebene selbst, d. h. über die Sensoren und Aktoren, bei der Projektierung und der Wartung nicht eindeutig bestimmbar (Abbildung 19). Hier sind dringend Forschungsleistungen erforderlich.

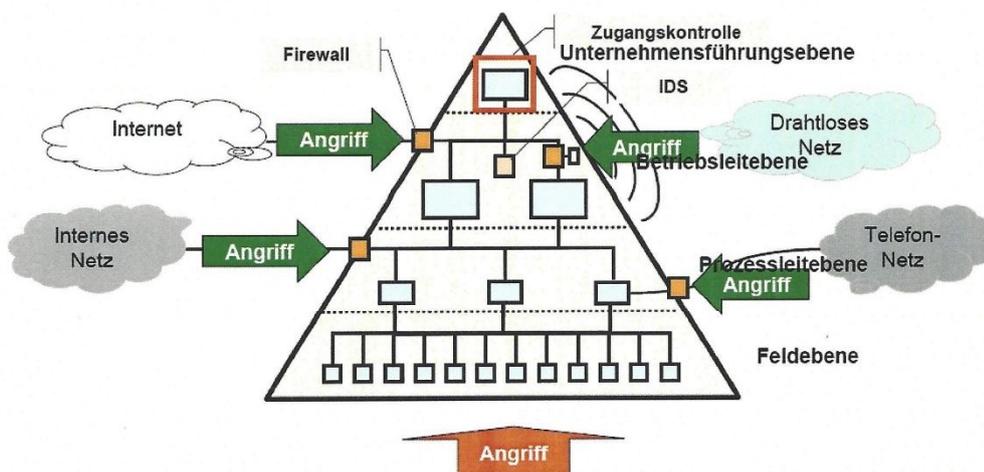


Abbildung 19: Beherrschbare Angriffe auf Prozess- und Betriebsleitungsebene und schwer beherrschbare Angriffe auf die Feldebene (Abbildung aus Quelle: Gutbrodt 2006)

Erforderlich dazu sind

- eine verfeinerte Projektierungsunterstützung zu Safety- und Security-Aufgaben mit Gefahren- und Risikoanalyse
- Simulation von Fehlern (Safety) und Angriffen (Security) an Modellen von automatisierten Systemen
- Bestimmung der Identität von Prozess-Situationen, d. h. von Mustern in Gefahrensituationen.

3.3.2 Einsatz heterogener Kommunikationsnetze

Der zu erwartende Trend zur Vernetzung von Automatisierungssystemen über heterogene Kommunikationsnetze (Abbildung 20) zur Überwachung und Steuerung von technologischen Prozessen und verteilten technischen Systemen [Balzer und andere 2006] erfordert weiteren Forschungsbedarf zur Sicherheit der Automatisierung für folgende Aspekte:

- Der Übergang von lokalen industriellen Kommunikationsstandards (z.B. für Feldbusse) hin zu offenen internet-basierten Kommunikationsstandards muss für die Automatisierung realisiert werden.

- Die Teilnetzwerke haben unterschiedliche Übertragungstechniken und haben ein unterschiedliches technisches Management. Drahtgebundene oder drahtlose Telekommunikationssysteme werden öffentlich (z. B. GSM-, UMTS-basierte Mobilkommunikationssysteme) und andere werden privat (z. B. Bündelfunksysteme, Bahn-Netz, Netze der Energieversorger) betrieben.

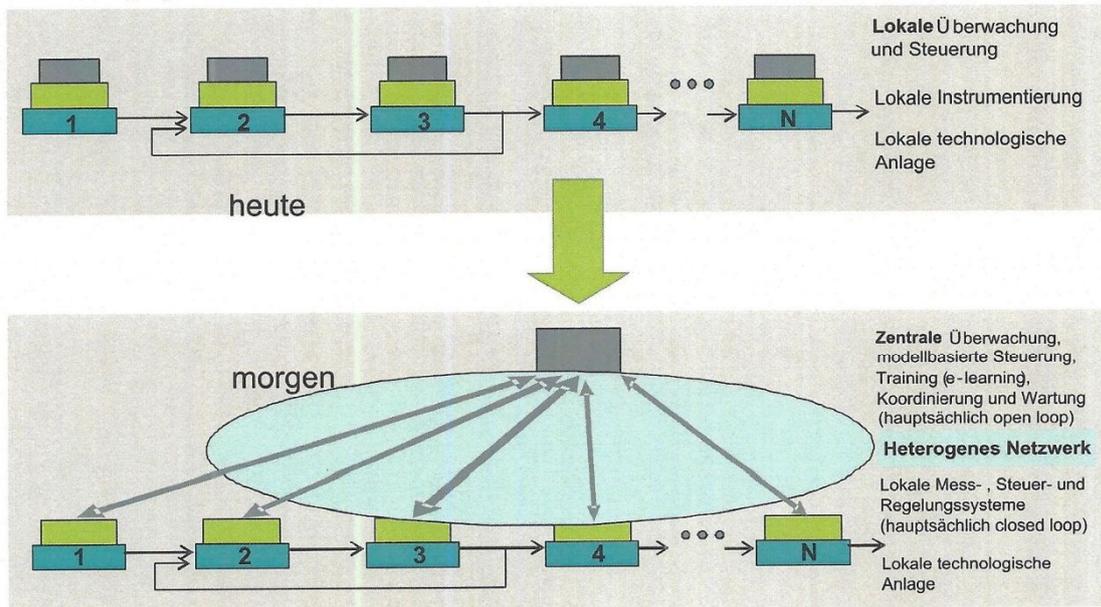


Abbildung 20: Verwendung heterogener Netze bei der zentralen Überwachung und Steuerung dezentraler Anlagen Quelle: Balzer und andere 2006

Vor dem Hintergrund dieses sich abzeichnenden Paradigmenwechsels in Richtung heterogener Kommunikation in der industriellen Automation ist für den Zugriffszugriffschutz dezentraler Automatisierungsgeräte und -anlagen bei Nutzung zentraler Dienste über öffentliche Netze die Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte erforderlich, um die gesicherte Ende-zu-Ende-Kommunikation (VPN-Tunnel) gewährleisten zu können.

3.3.3 Anwendungsaspekte

Die Anwendung von Sicherheitslösungen in der Automatisierung zielt insbesondere auf das Projektfeld *Sicherheit der Versorgungs- und Produktionssysteme*. Der Zwang zur Kostenreduzierung unter Beachtung der Forderung nach hoher Verfügbarkeit der Anlagen erfordert zusätzliche Maßnahmen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit.

Projekte in diesem Bereich bestehen in der automatischen Erhebung von Diagnosedaten an den realen Systemen, wie z.B. konkreten Steuerungen, die als verteilte Systeme unter Verwendung von privaten und öffentlichen Kommunikationsnetzen mit übergeordneten Systemen Daten austauschen können. Bei Umschaltung einzelner realer Systeme auf virtuelle System mit hinterlegtem Simulationsmodus können Störszenarien simuliert werden, die zwar keine Störungen an den lokalen Systemen hervorrufen, jedoch das Gesamtsystem hinsichtlich seiner Störfestigkeit prüfen können, um dieses hinsichtlich der Störfestigkeit optimieren zu können.

3.3.4 Modellbasierte Maßnahmen

Modellbasierte Sicherheitsmechanismen werden vor allem für Intrusion-Detection-Systeme eingesetzt. Aufgabe einer Intrusion-Detection ist es, Angriffe auf das Prozessleitsystem zu erkennen, um durch geeignete Maßnahmen des Betriebspersonals dessen Funktionsfähigkeit aufrechtzuerhalten. Dabei werden in der Regel wissensbasierte, bzw. modellbasierte Algorithmen eingesetzt. Vorzugsweise wird ein solcher Sicherheitsansatz bei Leitsystemen mit integrierten öffentlichen Netzen, einschließlich Internet eingesetzt (Abbildung 13 und 17).

Die Grundidee eines modellbasierten Security-Mechanismus wird in Folgenden beschrieben. Dabei wird davon ausgegangen, dass für das Steuerungsobjekt (z. B. Bioreaktor, Gasspeicher, Blockheizkraftwerke) ein adäquates mathematisches Modell existiert, das die Abhängigkeit der Ausgangsgrößen von den Eingangsgrößen beschreibt. Das bedeutet, dass die Ausgangsgrößen unter Verwendung der gemessenen Eingangsgrößen und des mathematischen Modells berechnet werden können. Der modellbasierte Security-Mechanismus befindet sich im zentralen Teil des Prozessleitsystems. Das Verfahren umfasst folgende Stufen:

- Datenerfassung der Eingangs- und Ausgangsgrößen im Steuerungsobjekt und Datenübertragung über das öffentliche Netz bzw. Internet zum zentralen Steuerungssystem
- Berechnung der theoretischen Ausgangsgrößen unter Benutzung der übertragenen Eingangsgrößen und des mathematischen Modells
- Vergleich der übertragenen Ausgangsgrößen und Prüfung der Adäquatheit dieser beiden Ausgangsgrößen
- Im Falle einer fehlenden Adäquatheit (Intrusion detection) wird die Datenverarbeitung im zentralen Steuerungssystem gestoppt (Intrusion response)
- Ermittlung der Ursachen der fehlerhaften Adäquatheit.

Im Prinzip wird also von einer quasi galvanischen Trennung von Datenübertragung und Datenverarbeitung ausgegangen (siehe Abbildung 21).

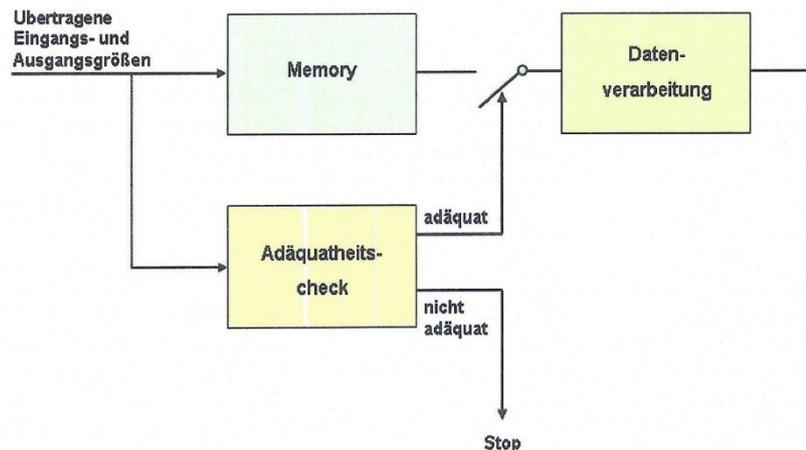


Abbildung 21: Logisches Schema des modellbasierten Security – Mechanismus

Dabei sind vor allem 2 Fragen zu beantworten:

- Welches mathematische Modell soll verwendet werden?
- Wie erfolgt der Adäquatheitstest der theoretischen und der gemessenen bzw. übertragenen Ausgangsgrößen?

Die Struktur des mathematischen Modells wird folgendermaßen dargestellt.

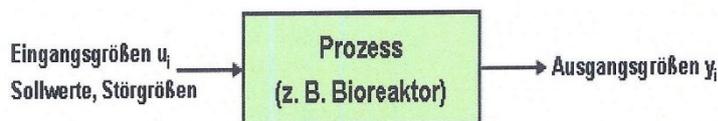


Abbildung 22: Steuerungsobjekt *Quelle: Balzer*

Für das mathematische Modell wurden folgende Bezeichnungen verwendet.

u_i - Durchsatz der Zuflüsse, Konzentration und Temperatur der Rohstoffe usw.

y_i - Durchsatz der Abflüsse, Konzentration und Temperatur der Abflüsse usw.

p_i - Systemparameter (Wärmeübertragungsfläche, Wärmeübertragungskoeffizient, kinetische Konstanten, Reaktionsenthalpie, geometrische Abmessungen usw.)

Zum Beispiel kann das dynamische Verhalten eines Bioreaktors als ein Differentialgleichungssystem dargestellt werden

$$\dot{y} = f(y, p, u, t) \quad (15)$$

Für den Adäquatheitstest sind folgende 2 Quadratsummen zu vergleichen:

- Defektquadratsumme

$$D = \sum_{i=1}^N (\tilde{y}^i - y^i)^2 \quad (16)$$

D stellt eine Abschätzung der Differenz zwischen den theoretischen Ausgangsgrößen y^i und den übertragenen bzw. gemessenen Ausgangsgrößen \tilde{y}^i dar.

- Fehlerquadratsumme

$$Q = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\tilde{y}^{ij} - \tilde{y}^i)^2 \quad (17)$$

Q stellt eine Abschätzung des Messfehlers dar. Gewöhnlich ist die Abschätzung der Dokumentation des Sensorlieferanten zu entnehmen.

M ist die Gesamtzahl der Messungen der Ausgangsgröße.

Für den Adäquatheitstest der theoretischen und der übertragenen Ausgangsgrößen wird das sogenannte Fisher – Kriterium verwendet:

$$P(K < \varepsilon) = F_{\varphi_1 \varphi_2}(\varepsilon) \quad (18)$$

$$K = \frac{D / \varphi_1}{Q / \varphi_2} \quad (19)$$

Dabei stellen φ_i die zu berechnenden Freiheitsgrade der Quadratsumme und ε eine vorzugebende Schranke dar. Wenn die Ausgangsgrößen die Bedingung $\dot{y} = f(y, p, u, t)$ nicht erfüllen, so liegt ein Angriff. Das Prozessleitsystem erfüllt die Sicherheitsanforderungen nicht und in diesem Fall muss die Datenverarbeitung gestoppt werden.

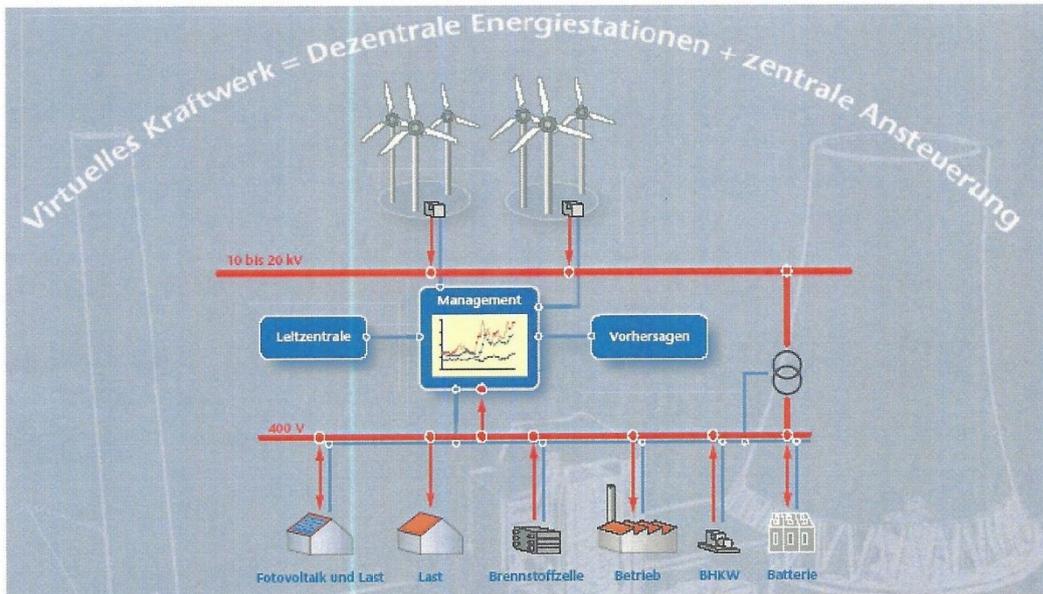
In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, dass das Fisher-Kriterium hier nicht wie sonst üblich für den Test der Adäquatheit des mathematischen Modells sondern für die Prüfung der Adäquatheit bzw. Richtigkeit von Messgrößen eingesetzt wird.

4 Anwendungsbeispiel: Mobile Leittechnik in virtuellen Kraftwerken

4.1 Virtuelle Kraftwerke als hierarchisch strukturiertes technologisches System

Ein virtuelles Kraftwerk ist einer Zusammenschaltung von kleinen, dezentralen Kraftwerken, wie zum Beispiel Windenergieanlagen, Blockheizkraftwerken, Photovoltaikanlagen, Biogasanlagen und Hausenergieversorgungsanlagen zu einem Verbund, die gemeinsam von einer zentralen Warte gesteuert werden. Diese dezentralen Kraftwerke sind im Sinne der allgemeinen Technologie geografisch verteilte technologische Anlagen

Die technologische und informationstechnische Struktur eines virtuellen Kraftwerkes ist auf Abbildung 23 dargestellt.



Quelle: BWK Bd. 58 (2006) Nr.6

Abbildung 23: Struktur eines virtuellen Kraftwerkes Quelle: Bitsch (2006)

Betriebskonzepte virtueller Kraftwerke sind:

- Alternative zum Kraftwerksneubau
 - Virtuelle Kraftwerke (z. B. Biokraftwerke, Mikro-KWK-Anlagen) einschließlich Zählerauslesung (Hausenergieversorgung) mit einer Leistung über 500 MW möglich
 - Hohe Zuverlässigkeit und Sicherheit der Kommunikationssysteme notwendig
- Virtuelles Regelleistungskraftwerk
 - Regelleistung durch dezentrale Erzeugung
 - Energiespeicherung notwendig (z. B. Methan, Ethanol)
- Peak-Shaving Konzept
 - Dezentrale Energieerzeugung bei hoher elektrischer Gesamtlast
 - Verkauf von Strom an der Strombörse zu hohen Preisen (11:00 Uhr bis 12:00 Uhr, 18 Uhr bis 19:00 Uhr)

- Lastflussoptimierung
 - Reduktion der Netzbelastung (verbrauchsnahe Erzeugung)
 - Geringere Kabelquerschnitte möglich

Verteilte Biokraftwerke sind ein typisches Beispiel für virtuelle Kraftwerke. Dabei spielen vor allem folgende Eigenschaften der Biokraftwerke beim Einsatz virtueller Automatisierungsnetze eine besondere Rolle:

Nutzung als Spitzenkraftwerk (4 - 20 Megawatt elektrisch)

- Energiespeicherung:
 - 6.000 m³ Methan
 - 200.000 Liter Ethanol
 - Vorrat für 1 bis 10 Tage
- Zeitverhalten (von 0 auf Nennleistung innerhalb 1 min)
- Nutzung der Wärme notwendig
 - technologische Nutzung
 - Gebäudeheizung

4.2 Volkswirtschaftlicher und ökologischer Nutzen durch operative Optimierung in virtuellen Kraftwerken

Der Nutzen virtueller Kraftwerke wird durch das so genannte energiepolitische Dreieck charakterisiert (Abbildung 24).

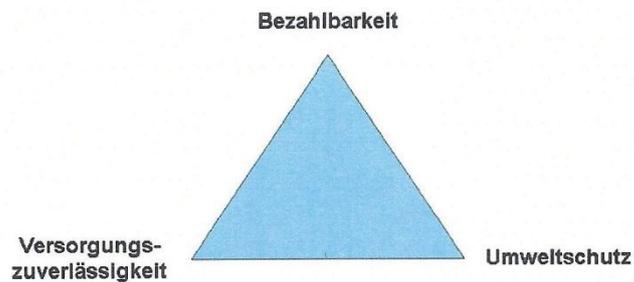


Abbildung 24: Energiepolitisches Dreieck Quelle: Vattenfall (2010)

Die Prozessführung virtueller Kraftwerke erfordert eine multikriterielle Optimierung durch Nutzung aller Energiepotentiale. Es muss also eine komplexe Nutzung aller Energieeinsparpotenziale bei der Projektierung und beim Betrieb von virtuellen Kraftwerken betrachtet werden (Abbildung 25).

Die Herangehensweise an die zentrale Koordinierung in virtuellen Kraftwerken soll mit den folgenden Abbildungen dargestellt werden. Dabei handelt es sich um eine modellgestützte Prozessoptimierung entsprechend Pkt. 2.2.2.

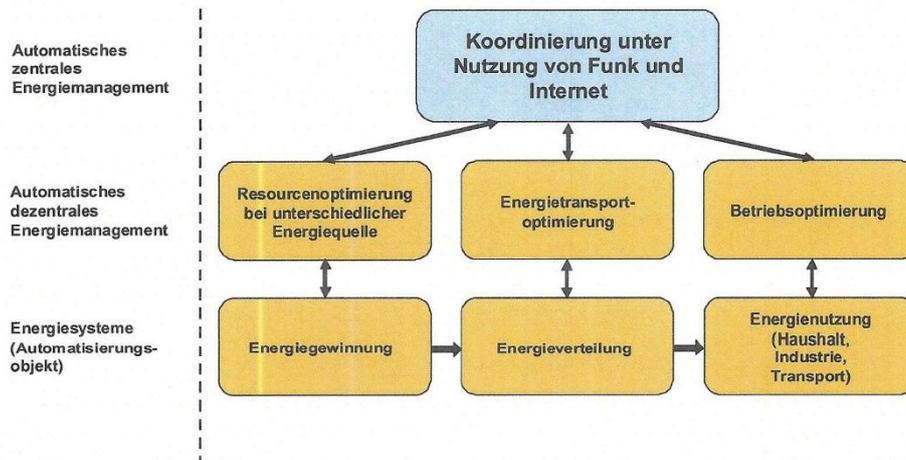


Abbildung 25: Energieeinsparpotentiale Quelle: Balzer

Die Erzeuger-Verbraucher-Beziehungen eines virtuellen Kraftwerks sind in Abbildung 26 schematisch dargestellt und die Struktur der Informationsübertragung in einem virtuellen Kraftwerk zeigt Abbildung 27.

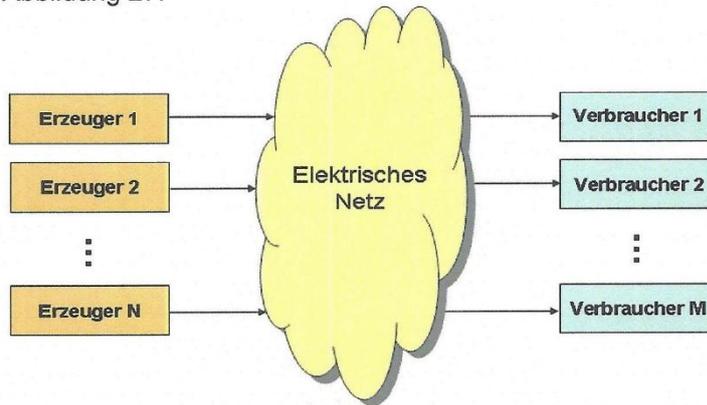


Abbildung 26: Erzeuger (Erneuerbare Energien)-Verbrauch-Beziehungen in einem virtuellen Kraftwerk Quelle: Balzer

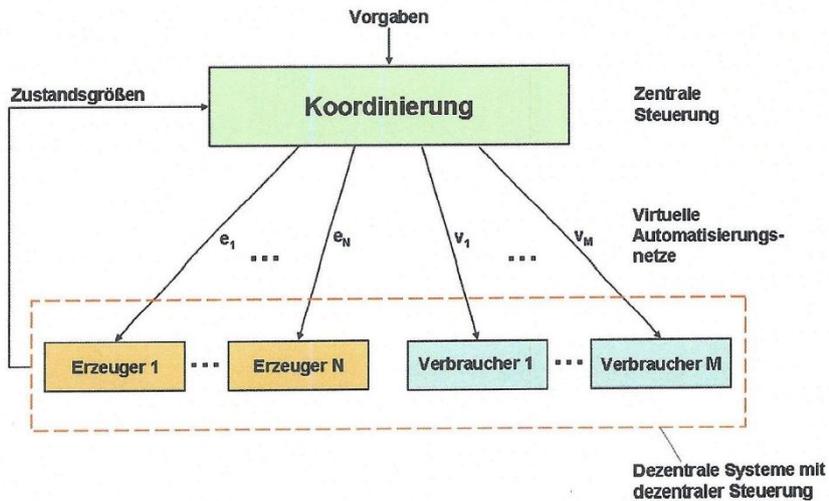


Abbildung 27: Struktur der Informationsübertragung Quelle: Balzer

Die Koordinationsalgorithmen in der Zentrale basieren auf folgender Annahme:

- Die mathematischen Modelle der Erzeuger und Verbraucher sind bekannt bzw. werden im Laufe des Projektes erstellt.
- Die Zielfunktion ist entweder die Kosten des Energielieferanten, was auf den Koordinierungsalgorithmus keine Auswirkungen hat.
- Das elektrische Netz hat auf Grund der begrenzten territorialen Ausdehnung keine Begrenzungen bezüglich der zu übertragenden Energiemenge.

Der Koordinierungsalgorithmus löst unter Verwendung der Methode nach Lagrange folgende Optimierungsaufgabe:

Optimierungskriterium:

$$\sum_{i=1}^N G_i(e_i) \rightarrow \max_e \quad (20)$$

Nebenbedingungen:

$$\sum_{i=1}^N E_i(e_i) = \sum_{j=1}^M V_j(v_j) \quad (21)$$

Lagrangefunktion:

$$L = \sum_{i=1}^N G_i(e_i) + \lambda \left(\sum_{i=1}^N E_i(e_i) - \sum_{j=1}^M V_j(v_j) \right) \quad (22)$$

Die Lösung der Optimierungsaufgabe geht von folgenden Optimalitätsbedingungen aus:

$$L(e^{opt}, v^{opt}, \lambda^{opt}) = \max_{e,v} \min_{\lambda} L(e, v, \lambda) \quad (23)$$

Aus (4) leitet sich folgender Koordinierungsalgorithmus ab:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial e_1} &= \frac{\partial G_1(e_1)}{\partial e_1} + \lambda \frac{\partial E_1(e_1)}{\partial e_1} = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial L}{\partial e_N} &= \frac{\partial G_N(e_N)}{\partial e_N} + \lambda \frac{\partial E_N(e_N)}{\partial e_N} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial v_1} &= \lambda \frac{\partial V_1(v_1)}{\partial v_1} = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial L}{\partial v_M} &= \lambda \frac{\partial V_M(v_M)}{\partial v_M} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^N E_i(e_i) - \sum_{j=1}^M V_j(v_j) = 0$$

In den Gleichungen (20) bis (24) werden folgende Bezeichnungen verwendet:

- $E_i(\mathbf{e}_i), V_j(\mathbf{v}_j)$ – Mathematisches Modell (Verhaltensmodell) des *i-ten* Erzeugers und des *j-ten* Verbrauchers
- $G_i(\mathbf{e}_i)$ – ökonomisches Modell des *i-ten* Erzeugers
- G_i – Gewinn des *i-ten* Erzeugers
- e_i – Steuergröße des *i-ten* Erzeugers (Rohstoffmenge als externe Größen; Temperatur, Druck, Durchsätze usw. als interne Größen)
- \mathbf{e} – Vektor der Steuergrößen der Erzeuger
- \mathbf{v}_j – Steuergrößen des *j-ten* Verbrauchers
- \mathbf{v} – Vektor der Steuergrößen der Verbraucher
- λ – Lagrange - Multiplikator

Die Maßnahmen zur Effizienzsteigerung in der Energiewirtschaft kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Dezentrale Energieerzeugung (von wenigen Großanlagen zu vielen Kleinanlagen - virtuelles Kraftwerk)
- Verbrauchernahe Erzeugung und Einspeisung in ein Verteilernetz
- Nutzung solarer Energie („Solarzeitalter“)
 - Sonnenlicht und -wärme
 - Thermische Winde und Wellen
 - Wasserkraft
 - Energie aus Pflanzen und anderen organischen Substanzen, d. h. durch Photosynthese erzeugte solare Rohstoffe (Biomasse, nachwachsende Rohstoffe, biogene Materialien, biogene Abfälle)
- Zentrale Steuerung unter Verwendung heterogener Kommunikationsnetze (Virtuelle Automatisierungsnetze)
- Energiemanagement
- Zählerfernauslesung
- Kopplung von Verfahrens-, Automatisierungs- und Informationstechnik

4.3 Virtuelle Automatisierungsnetze als technische Basis eines automatischen Energiemanagement in virtuellen Kraftwerken

Von großer Bedeutung ist die Anwendung der im Punkt 3. 2.2.6 genannten Konzeptes für virtuelle Automatisierungsnetze. Besonders hingewiesen werden soll auf Einsatz von Security-Gateways zum Schutz der Datenkommunikation. (s. Abb. 12 und 17)

Die Struktur eines virtuellen Automatisierungsnetzes für virtuelle Kraftwerke ist in Abbildung 28 dargestellt.

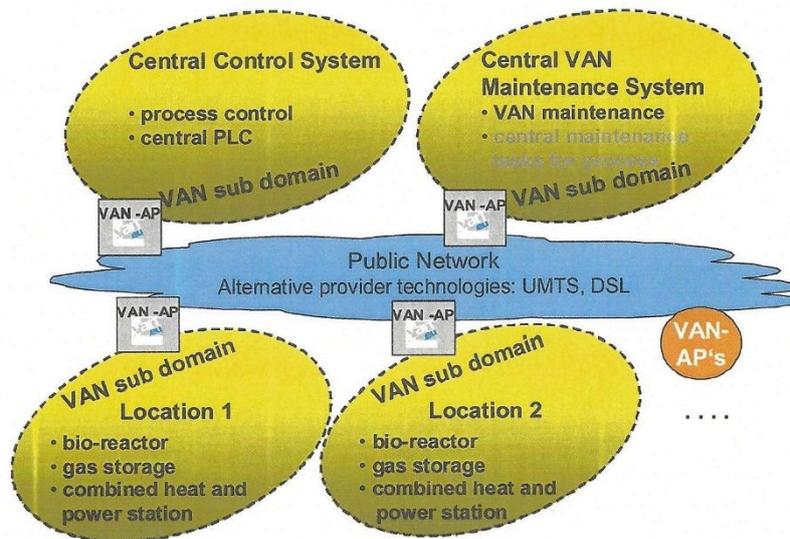


Abbildung 28: Allgemeine funktionelle Struktur eines virtuellen Automatisierungszuges für virtuelle Kraftwerke, Quelle: Balzer / Tursch (2010)

Beim Einsatz virtueller Automatisierungszuges kommt es vor allem darauf an, die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Stabilität der durch virtuelle Automatisierungszuges gesteuerten technologischen Anlagen zu bewerten. Bezüglich der Zuverlässigkeit kann man von dem auf Abbildung 29 dargestellten Modell ausgehen.

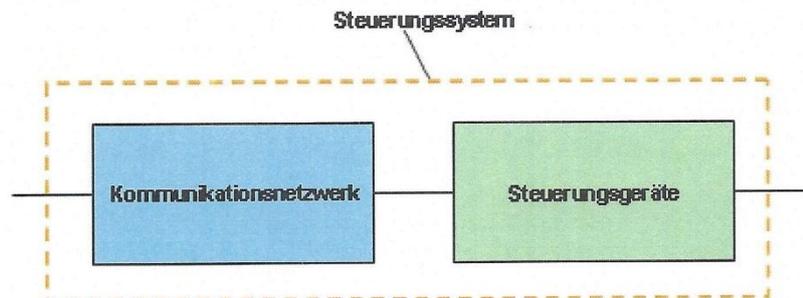


Abbildung 29: Zuverlässigkeitsmodell, Quelle: Balzer

Zur Berechnung der Zuverlässigkeit einer gesteuerten technologischen Anlage R_{ms} gilt dann:

$R_0(t), R_D(t)$ Zuverlässigkeit des Kommunikationsnetzwerkes und des Steuerungsgerätes

$\lambda_0(t), \lambda_D(t)$ Ausfallraten des Kommunikationsnetzwerkes und des Steuerungsgerätes

$\mu_0(t), \mu_D(t)$ Reparaturraten des Kommunikationsnetzwerkes und des Steuerungsgerätes

Für die Zuverlässigkeit der gesteuerten technologischen Anlage R_{ms} gilt dann:

$$R_{ms} = R_0 \cdot R_D$$

Die Ausfall- und die Reparaturrate der gesteuerten technologischen Anlage sind:

$$\lambda_{ms} = \lambda_0 + \lambda_D$$

$$\mu_{ms} = \mu_0 + \mu_D$$

Unter Nutzung der Wahrscheinlichkeitstheorie haben wir für ein reparierbares System:

$$\frac{dR_{ms}}{dt} = -R_{ms}(\lambda_0 + \lambda_D) + (1 - R_{ms})(\mu_0 + \mu_D) \quad (25)$$

Für die Berechnung der Verfügbarkeit der gesteuerten technologischen Anlage kann dann folgende Gleichung verwendet werden.

$$V(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{\mu_0 + \mu_D}{\lambda_0 + \lambda_D + \mu_0 + \mu_D} + \frac{\mu_0 + \mu_D}{\lambda_0 + \lambda_D + \mu_0 + \mu_D} \exp[-(\lambda_0 + \lambda_D + \mu_0 + \mu_D)t] \quad (26)$$

Für die Berechnung der Größen $\lambda_0, \lambda_D, \mu_0$ und μ_D verwenden wir folgende Gleichungen:

$$\lambda_0 = \frac{1}{T_0^f}, \lambda_D = \frac{1}{T_D^f}$$

Dabei sind:

T_0^f, T_D^f Mittlere Zeit zwischen 2 Ausfällen des Kommunikationsnetzwerkes und des Steuerungsgerätes.

$$\mu_0 = \frac{1}{T_D^r}, \mu_D = \frac{1}{T_D^r}$$

T_0^r, T_D^r Mittlere Reparaturzeit Kommunikationsnetzwerkes und des Steuerungsgerätes.

Bei der Bewertung der Stabilität der durch virtuelle Automatisierungsnetze gesteuerten technologischen Anlage kann man von einer Systemstruktur ausgehen, die in Abbildung 33 dargestellt ist:

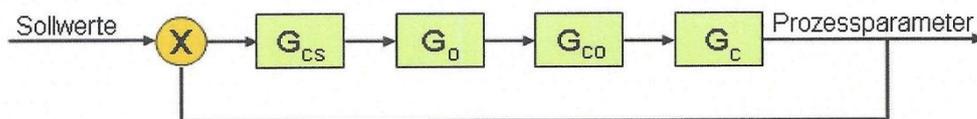


Abbildung 30: Struktur der gesteuerten technologischen Anlage unter Verwendung virtueller Automatisierungsnetze, Quelle: Balzer

In der Abbildung 30 wurden folgende Bezeichnungen verwendet:

G_{CS}, G_0, G_{C0}, G_C - Übertragungsfunktionen des Steuerungssystems, des Operators, des Steuerungsobjektes und des Kommunikationssystems (öffentliches Netz) mit Security Funktionen.

Vom Standpunkt der Steuerungstheorie kann die Übertragungsfunktion des Kommunikationssystems einschließlich Security-Funktion als Totzeit dargestellt werden.

$G_C = e^{-j\omega T}$ - mit T als Antwortzeit der öffentlichen Netze.

In Übereinstimmung mit dem Nyquist - Kriterium gilt folgende Bedingung für die Stabilität der gesteuerten technologischen Anlage:

$$1 + G_{CS} \times G_0 \times G_{C0} \times e^{-j\omega T} > 0 \quad \text{für alle} \quad 0 < \omega < \infty$$

In einem numerischen Beispiel werden nun der kritische Verstärkungskoeffizient K^{cr} und die kubische Antwortzeit T^{cr} des Kommunikationssystems für das virtuelle Kraftwerk berechnet. Für die Übertragungsfunktion sollen gelten:

$$G_{CS} = K, \quad G_0 = 1, \quad G_{C0} = \frac{1}{1+s}, \quad G_C = e^{-sT},$$

In diesem Fall haben wir die folgende Stabilitätsbedingungen: $1 + K \frac{e^{-j\omega T}}{1 + 0,1j\omega} > 0$

In Abbildung 31 ist die Grenze zwischen dem stabilen und dem nicht stabilen Gebiet der gesteuerten technologischen Anlage ersichtlich.

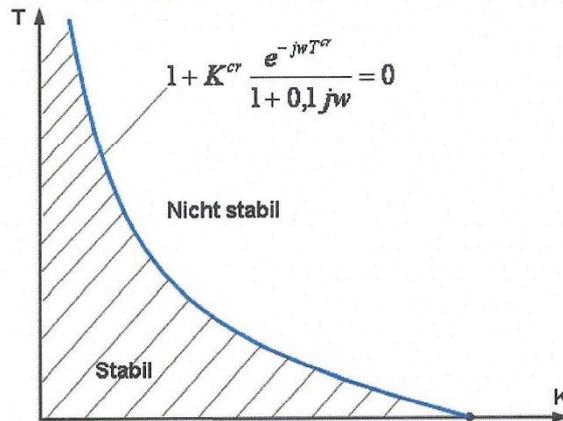
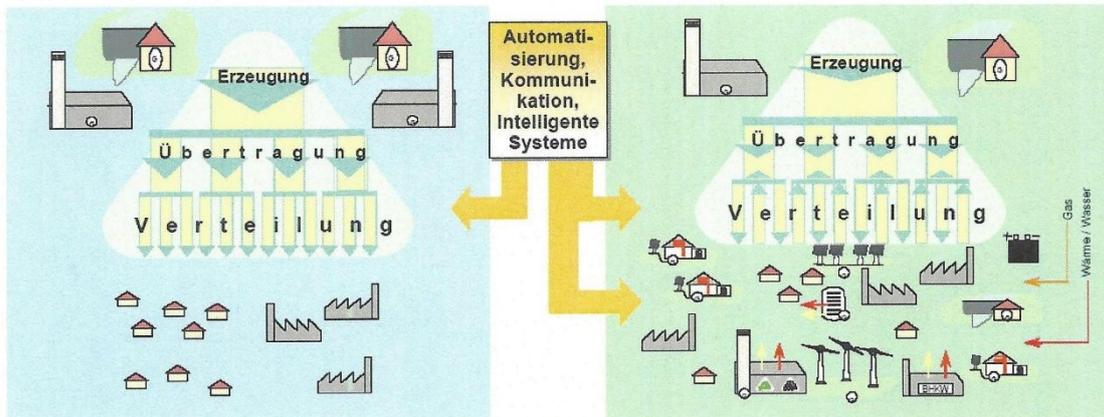


Abbildung 31: Beziehungen zwischen T^{cr} und K^{cr} in der gesteuerten technologisch Anlage,
Quelle: Balzer

Die Ziele der ganzheitlichen dezentralen Energieversorgung durch virtuelle Kraftwerke sind:

- die Energie möglichst dort bereitzustellen, wo sie gebraucht wird, bzw. zu verwenden, wo sie bereitgestellt wird,
- die verfügbare Energie - insbesondere dargebotsabhängige regenerative Energie- der Last zuzuführen, die im Augenblick des Dargebotes den dringendsten Bedarf bzw. die beste Verwendung hat,
- ggf. erforderlichen überregionalen Energieaustausch mit dem Netz zu optimieren und so
- die Versorgung des Gebietes energetisch, ökonomisch und/oder ökologisch nach vorzuziehenden Kriterien zu optimieren
- sichere und zuverlässige Kommunikation zwischen Erzeugung, Speicherung, Verbrauch und Leitstelle
- Energiemanagementsystem mit modellbasierter Prognose, operative und langfristige Optimierung, vorbeugende Prozesssicherung
- on-line Prozesskoppelung.

Virtuelle Kraftwerke werden als dezentrale Energieerzeugungsanlagen in bestehende Energiesysteme integriert. Dabei geht es um ein ganzheitliches dezentrales Energieversorgungskonzept (Abbildung 32).



Quelle: LIFIS ONLINE [25.11.2006]
ISSN 1864-6972

Abbildung 32: Integration von dezentralen Energieerzeugungsanlagen in bestehende Energiesysteme Quelle: Bitsch (2006)

5 Ökonomische Probleme der Automatisierung

Um die ökonomischen Probleme der Automatisierung zu analysieren ist es zuerst notwendig, die Stellung des Menschen im Produktionsprozess zu behandeln. Vom Standpunkt der Automatisierung sind dabei vor allem softwaretechnologische Aspekte von Bedeutung. Bei der Automatisierung muss der Mensch neben den oben betrachteten Methoden vor allem wissensbasierte Methoden verwenden.

Um die Möglichkeiten des Einsatzes wissensbasierter Systeme in der Automatisierungstechnik zu ermitteln, ist es notwendig, den Lebenszyklus einer Automatisierungsanlage unter dem Gesichtspunkt der schöpferischen Tätigkeit des Menschen zu analysieren. Dabei muss festgestellt werden, welche Tätigkeit des Menschen wissensbasiert durchgeführt werden können. Der Lebenszyklus technischer Produkte ändert sich generell unter dem Einfluss informationeller Techniken.

Besonders bezogen auf die Produktion von Software, die man als materialisiertes Wissen bezeichnen könnte, lassen sich wissensbasierte Methoden einsetzen. Es geht hierbei um die Verbesserung der Software-Technologie, die als eine wichtige Motivation für den Einsatz von Expertensystemen darstellt.

Unter Software-Technologie wird die Gesamtheit aller Methoden und Verfahren zur Lösung der wissenschaftlichen und wissenschaftsorganisatorischen Probleme bei der Herstellung und Anwendung der Software verstanden. Die Software-Technologie besteht aus den Phasen

- Prozessanalyse und Algorithmisierung (30 %),
- Programmierung (20 %)
- Wartung.(50 %).

Die anteiligen Kosten der einzelnen Phasen sind in den Klammern genannt.

Die Software-Technologie ist so zu gestalten, dass neben der Lösung quantitativer Probleme der Software-Produktion (Erhöhung der Produktivität) vor allem auch folgende Qualitätsmerkmale der Software optimiert werden: Zuverlässigkeit, Sicherheit, Wiederverwendbarkeit, Nutzerfreundlichkeit, Änderbarkeit, Testbarkeit. Der erreichte internationale Stand auf dem Gebiet der Software-Technologie kann z. B. durch folgende Zahlen charakterisiert werden:

- Die Menge an Software-Produktion steigt jährlich um 10% bis 15% bei einer Jährlichen Produktivitätssteigerung der Software-Entwicklung um nur 3% bis 6%.

- Die Produktivität der Software-Produktion ist stark qualifikationsabhängig (Schwankungen von 25:1), was auf große Reserven hinweist.
- Die Fehlerhäufigkeit beträgt 3 bis 5 Fehler pro 100 Befehle.
- Für die Qualitätssicherung der Software müssen 30% bis 40% der Herstellungskosten aufgewendet werden.

Die Software-Technologie kann nur dann optimal sein, wenn (ähnlich wie bei anderen technischen Produkten) industrielle Herstellungsverfahren für Software eingesetzt werden. Dabei ist natürlich zu beachten, dass es sich hier um informationelle bzw. geistige Produkte handelt, wobei Software selbst auch rechnergestützt produziert werden muss. Bezogen auf Software-Erstellung als industrielle Warenproduktion lässt sich die Darstellung in Abbildung 33 wie folgt interpretieren:

Für die Produktion und Anwendung von Software werden Software-Werkzeuge (Experten-system-Shells, Programm für Simulation, Übersetzung, Prüfung, Grafik usw.) eingesetzt, die selber wieder durch Software-Werkzeuge produziert werden. Diese „Kette“ der Werkzeugproduktion kann im Prinzip beliebig fortgesetzt werden, ohne an Genauigkeitsgrenzen zu stoßen, wie sie für „klassische“ Werkzeuge, z. B. der Metallbearbeitung, typisch sind. Verallgemeinert können also vom Standpunkt des Software-Produktionsprozesses folgende Beziehungen hergestellt werden:

Arbeitskraft = Software-Entwickler, Operator

Arbeitsmittel = Hardware- und Software-Werkzeuge, Verfahrenstechnik

Arbeitsgegenstand = Idee bzw. Spezifikation, die im Laufe des Bearbeitungsprozesses in konkrete Software überführt wird; Rohstoffe und Halbzeuge

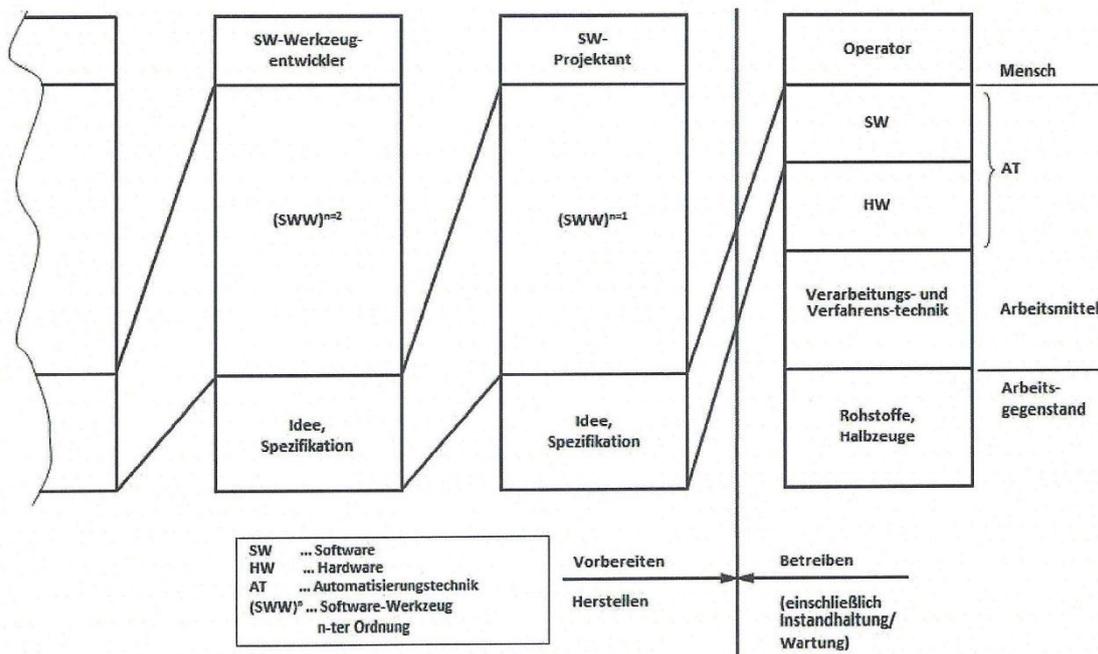


Abbildung 32: Grundkonzept der Software-Technologie und Software-Projektierung
 Quelle: nach Balzer (1992)

Wenn wir den kognitiven Prozess des Problemlösens (dieser Prozess wird dort als Expertise bezeichnet) bezogen auf den Lebenszyklus der Automatisierungstechnik im allgemeinen und auf die oben beschriebene automatisierungstechnische Software-Technologie im besonderen betrachten, so müssen folgende spezifische Merkmale des Problemlösungsprozesses genannt werden:

- Expertise basiert auf hochdifferenziertem Wissen, komplexen Problemlösungsstrategien, fachspezifischen Heuristiken sowie vielfältigen subjektiven Erfahrungen aus entsprechenden früheren Problemfällen.
- Das für eine Expertise relevante Wissen hängt in entscheidendem Maße von konkret zu lösenden Problemen ab und ist deshalb unterschiedlich strukturiert.
- Insbesondere in neuen, unbekanntenen Situationen gelangt nicht nur fachspezifisches, sondern auch allgemeines Wissen („common sense“) zur Anwendung.
- Komplexe Probleme werden auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus betrachtet und häufig über analog gelagerte Probleme gelöst.
- Die genutzten Problemlösungsstrategien sind ihrerseits in hohem Maße beeinfluss- bzw. steuerbar.

Aus den oben gemachten Ausführungen zur Softwaretechnologie geht eindeutig deren ökonomische Orientierung hervor. Auch der Inhalt der Automatisierungsfunktionen ist eindeutig auf die Verbesserung der ökonomischen Kennziffern des Automatisierungsobjektes ausgerichtet (siehe Abschnitt 2.2 und Tabelle 2). Das betrifft vor allem die Prozessoptimierung, die das Ziel verfolgt, solche Größen wie Gewinn und Kosten zu maximieren bzw. zu minimieren. Ein ähnliches Ziel verfolgt die Prozesssicherung, bei der es um die Minimierung von ökonomischen Verlusten geht.

Aus der Abbildungen 18 und 20 leitet sich der zusätzliche wirtschaftliche Nutzen der zentralen Steuerung geografisch verteilter dezentraler Anlagen ab:

- Nutzung des Wissens *eines* Operators oder Wartungsingenieurs für *mehrere* Anlagen ohne Zeitverzögerung;
- nur *eine* zentrale Steuerung notwendig (Kostenreduzierung);
- Gewinnerhöhung um 30 %.

Dieser wirtschaftliche Nutzen ist auf die Anwendung heterogener Netzwerke zurückzuführen. Die Gewinnerhöhung um 30 % ist durch eine wissensbasierte Prozessführung möglich. Weitere wichtige Aussagen zur Ökonomie der Automatisierung sind:

- Ein Wachstum der Wirtschaft wird durch wissens- und erfahrungsbasierte Automatisierungssysteme (Intelligenz) erreicht und nicht nur durch Erhöhung der Anzahl der Automatisierungssysteme, die ihrerseits zwangsläufig zu einem erhöhten Verbrauch von Rohstoffen, Energie und Umwelt führen.
- Der Automatisierungsgrad erreicht bezüglich Effektivität einen Sättigungsgrad (siehe Abbildung 34).

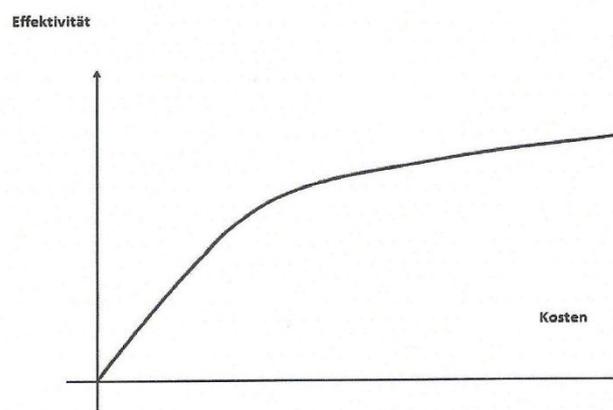


Abbildung 34: Verhältnis zwischen Effektivität und Kosten, Quelle: Balzer

Die Aussage bezüglich Sättigungsgrads lässt sich sowohl in der Fertigungsindustrie als auch in der Prozessindustrie durch eine Vielzahl von Beispielen belegen.

6 Soziale Probleme der Automatisierung

Neben den ökonomischen Problemen leiten sich die sozialen Probleme unmittelbar aus der Zielstellung der Automatisierungstechnik ab. Es geht heute nicht mehr nur darum, den Menschen durch Automatisierungstechnik zu ersetzen sondern ihn in die Automatisierungssysteme einzubeziehen. Das ist sowohl eine ökonomische Forderung als auch eine soziale Forderung.

Zu den sozialen Problemen im weiteren Sinne sind folgende Aussagen zu machen:

- Die Automatisierung vernichtet heute noch mehr Arbeitsplätze als sie schafft. Dadurch ist eine sogenannte „Sockelarbeitslosigkeit“ entstanden.
- Das Zusammenwirken von Mensch und Prozess ist zu verbessern. Dabei ist zu beachten, dass zwischen Mensch und Prozess lediglich ein vermittelter Austausch von Informationen über Aktoren (Bedienelemente) und Sensoren (Anzeigen) erfolgt.

Die letzte Aussage führt dazu, dass in Kooperation zwischen den Ingenieurwissenschaften der „Mensch als Regler“ zu untersuchen ist. Bei der Prozessüberwachung treten z. B. folgende Phänomene auf:

- vermindertes oder fehlendes Situationsbewusstsein (*situation awareness*);
- erlernte Sorglosigkeit (*complacency*).

Dieses Problem versucht man durch die Verwendung kognitiver Bilder (optische und akustische Darstellungen) für die Beschreibung von Situationen in der Anlage (z. B. Weltkugel, Darstellung der Natur, Gesichtsausdruck) entgegen zu wirken.

Insgesamt kann man sagen, dass die Mensch-Prozess-Schnittstelle optimiert werden muss unter Beachtung folgender Prämissen:

- Nachbildung des menschlichen Problemlösungsprozesses (Wissensakquisition, -präsentation, -manipulation, -konsultation);
- Anpassung des Operator-Interface an die kognitiven und sensormotorischen Fähigkeiten des Menschen;
- Verwendung einer Multimedia-Schnittstelle ohne praktische technische Beschränkungen (Hier: bimediale Schnittstelle: Sprache und Visualisierung);
- erforderlich ist eine Doppelstrategie: (1) der Mensch muss auf Maschinen trainiert werden und (2) die Maschine muss auf den Menschen eingestellt werden.

Zu den sozialen Problemen im weiteren Sinne gehören auch die Qualifizierungsanforderungen beim Einsatz der Automatisierungstechnik, die hier nur stichwortartig genannt werden sollen:

- zu lange Ausbildungszeiten (12 oder 13 Jahre Gymnasium und 5 Jahre Universität sind zu viel);
- es gibt mehr Studenten als Lehrlinge;
- Hochschulausbildung ist keine elitäre Ausbildung mehr;
- ständige Weiterbildung ist notwendig.

Wie bereits dargestellt erhöht die Automatisierung die Arbeitsproduktivität und entscheidet damit über den Sieg von Gesellschaftsordnungen. Andererseits wird damit das Problem der Arbeitslosigkeit verstärkt. Das bedeutet, dass die Automatisierung sowohl Segen als auch Fluch ist. Wenn wir vom Charakter der Arbeit reden, so müssen wir sowohl ihre quantitative als auch ihre qualitative Dimension betrachten.. Das heißt, dass es sowohl um die Existenzsicherung als auch um die Sozialisierung des Individuums geht. Mit dieser –frage hat sich G. Spur beschäftigt [Spur (2006)]. Arbeit ist die Quelle des Einkommens. Wir alle wissen, dass Arbeitslosigkeit die politische, wirtschaftliche und soziale Stabilität gefährdet. Obwohl diese Erkenntnis im wesentlichen Allgemeingut ist besteht zu den Ursachen und zu den Folgen der Arbeitslosigkeit weder politischer noch wissenschaftlicher Konsens. Die tiefer gehende Dis-

kussion dieser Frage wird nicht vordergründig vom Inhalt des Problems als vielmehr von gesellschaftlichen Interessen bestimmt.

Quantitative Analysen zeigen, dass demnächst 20 % der Bevölkerung die gesamte Menschheit mit materiellen Gütern versorgen können. Diese Einschätzung scheint realistisch zu sein, wenn man bedenkt, dass in den letzten 10 Jahren folgende Arbeitsplatzverluste in den Industrieländern zu verzeichnen waren: Druckgewerbe 25 %, Fertigungsindustrie durch Robotertechnik 50 %, Bankgewerbe 30 %, Groß- und Einzelhandel 25 %. Angesichts dieser dramatischen Entwicklungen existieren widersprüchliche Meinungen bezüglich notwendiger neuer sozialer Strukturen. Man muss allerdings ehrlicherweise sagen, dass das Problem der Arbeitslosigkeit kein Problem nur der Neuzeit ist. Bereits hat in der Antike der römische Kaiser im Jahr 75 gefordert, keine Wasserkraft für technische Prozesse zu verwenden, um Arbeitsplätze zu erhalten.

7 Schlussfolgerungen

Es lassen sich folgende allgemeine technische, ökonomische und soziale Schlussfolgerungen ziehen:

- (1) Die Automatisierung von Produktionsprozessen folgt den Megatrends der Wirtschafts- und Arbeitswelt:
 - weitgehende Automatisierung der Routinetätigkeiten
 - Flexibilisierung von Produkten und Diensten
 - Umkehr des bisherigen Trends zur Großtechnologie
 - Umkehr des bisherigen Trends zur innerbetrieblichen Arbeitsteilung
 - örtliche und zeitliche Entkoppelung von Mensch und Maschine (Arbeits- und Betriebsort, Arbeits- und Betriebszeit)
 - Übergang zu individuellen Arbeitszeiten.
- (2) Es vollzieht sich ein Strukturwandel, der mit dem Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft vergleichbar ist.

Vom Standpunkt der Automatisierung ergeben sich folgende neue Anforderungen an die Gestaltung von Arbeit und Technik (Leitbilder):

- (3) „Attraktive“ Arbeit durch
 - Nutzung von Erfahrungen
 - Mensch steht im Mittelpunkt
 - Integration von jüngeren und älteren Mitarbeitern.
- (4) „Automatisierungstechnik als Werkzeug“:
 - Unterstützung der menschlichen Tätigkeit
 - Nachholbedarf bei arbeitsunterstützender Software.
- (5) „Durch Automatisierungstechnik sozial und ökologisch produzieren“:
 - nicht nur Wertfrage, sondern Überlebensfrage
 - Betrachtung des gesamten Lebenszyklus (Kreislaufwirtschaft).

Damit sind einige wichtige gemeinsame Forschungsthemen von Natur- und Technikwissenschaften einerseits und Geistes- und Sozialwissenschaften andererseits genannt.

8 Literaturquellen

AUCOTEAM

AUCOTEAM GmbH Berlin, interne Projektunterlagen

Balzer (1992)

Wissensbasierte Systeme in der Automatisierungstechnik. München/Wien

Balzer (1994)

Prozessleittechnik. 2. Aufl. München/Wien

Balzer und andere (2006)

Virtual Automation Networks - Notwendigkeit und Beherrschbarkeit heterogener Netzwerke. Diskussionsforum „Factory Automation“ Hannovermesse Industrie, 28. April 2006

http://www.van-eu.eu/sites/van/pages/files/HMI_Forum_2006-Ind_Komm.pdf

Balzer (2007):

Integration von Automatisierungstechnik, Informatik und Telekommunikation bei der Steuerung von Produktionsprozessen. Vortrag auf der Sitzung der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät, Berlin Februar 2007.

Balzer (2008)

Technische, ökonomische und soziale Probleme der Automatisierung von Produktionsprozessen. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät Bd.99 Jahrgang 2008, S. 203-220.

Balzer / Werner / Messerschmidt (2009)

Public network and telecontrol concepts in virtual automation networks, 17 th IFAC World Congress, 6th-11th July 2009, Seoul, Korea

Balzer / Tursch (2010)

Anwendung virtueller Automatisierungsnetze bei der Steuerung von verteilten Biokraftwerken. msr-Magazin, 2010

Beirer (2007)

IT-Security in Automatisierungs- und Prozesssteuerungssystemen; Stephan Beirer, GAI NetConsult GmbH, 2007

https://www.gai-netconsult.de/show/fileadmin/download/sicherheitPDV/wp/WP_SCADA_v1.2.pdf

Bitsch (2006)

Integration von erneuerbaren Energiequellen und dezentralen Erzeugungen in bestehende Elektro-Energiesysteme. Lifis online 25.11.2006

BSI (Webseite)

ITSEC/CC - Sicherheitskriterien

https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ZertifizierungundAnerkennung/ZertifizierungnachCCundITSEC/ITSicherheitskriterien/ITSEC/itsec_node.html

BWK (2006),

Virtuelle Kraftwerke: Theorie oder Realität? BWK Energie-Fachmagazin, 2006

Elektronik-Kompendien (Webseite)

<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1410141.htm>

Gutbrodt (2006)

IT-Sicherheit auf der Feldebene von Automatisierungssystemen; Felix Gutbrodt, Universität Stuttgart, Vortrag Mai 2006

<http://www.ias.uni-stuttgart.de/forschung/veroeffentlichungen/pdf/eka2006-gt-goe-vortrag.pdf>

Hartmannsegger (2010)

Fernwartung von Automatisierungsanlagen über Internet, Johann Hartmannsegger, Siemens München 2010

Hülke (2009)

Bewertung von Sicherheitssteuerungen: Von der Sicherheitsfunktion zum Performance Level (PL); Dr. Michael Huelke, BGIA - Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Un-

Überwachung-Steuerung-technolog-Prozesse-3 (1).doc

fallversicherung (DGUV), Sankt Augustin, VDMA 2009

http://www.industrieanzeiger.de/c/document_library/get_file?uuid=924e2f33-2d20-4ac6-85dc-0799477671fe&groupId=32536721

Klostermeyer (2007)

VAN - Virtual Automation Networks

ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/dir_c/ems/van-v1_en.pdf

Krüger (2010)

Automatisierungstechnische Systeme in der Produktion, in

<http://www.elektrotechnik.vogel.de/jubilaem/articles/123893/>

Kuschmitz (2011)

VDI/VDE-Richtlinie 2182 Informationssicherheit in der industriellen Automatisierung, Michael Kuschmitz, atp edition 1-2 / 2011

http://www.namur.de/fileadmin/media/Pressespiegel/atp/atp_01_02_2011_IT_Sicherheit_Kuschmitz.pdf

Leibniz (2008)

LIFIS-Online, „Solarzeitalter 2008“.

Neumann (2010)

Vom Prozessleitsystem „audatec“ zum „Virtual Automation Network“, Peter Neumann

<http://edoc.hu-berlin.de/conferences/iddr2010/neumann-peter-197/PDF/neumann.pdf>

PNO (2010)

PROFIsafe Systembeschreibung 2010, Profibus Nutzerorganisation e.V.(PNO), Karlsruhe 2010

Schönegger (2007)

Durchgängige Kommunikation in der industriellen Automatisierung mit Industrial Ethernet, Stefan Schönegger, A&D September 2007

<http://www.aud24.net/pi/index.php?StoryID=189&articleID=7510>

Spur (2006)

Wirtschaftliche und soziale Sicherung durch industrielle Revolution, in (1997) Optionen zukünftiger industrieller Prozesse, S.109-130.

Thierse / Adamczyk (2004)

IT-Sicherheit bei Engineering und Wartung von Automatisierungsanlagen über öffentliche Netze. VDI-Kongress 2004

Thierse / Fuchs (2007)

IT-Sicherheit in Automatisierungsanlagen bei Nutzung öffentlicher Netze. ETZ 2007- Heft 6

Tursch (2010)

EU-Projekt „Virtual Automation Networks“ erfolgreich abgeschlossen (AUCOTEAM-Veröffentlichung)

<http://www.aucoteam.de/aucotimes/2010/van.htm>

VAN (Webseite)

Virtual Automation Network, EU-gefördertes Forschungsprojekt 2005-2009

<http://www.van-eu.eu/>

Vattenfall (2010)

Mitteilung der Firma Vattenfall, 2010.

Bauingenieurwesen als universale Technikwissenschaft

Dietrich Balzer, Frieder Sieber

1. Die Stellung des Bauingenieurwesens innerhalb der technischen Wissenschaften

Sowohl die Geschichte der technischen Wissenschaften als auch die gegenwärtige theoretische und praktische Ingenieur Tätigkeit zeigen, dass das Bauingenieurwesen eine zentrale Rolle in der Entwicklung und Anwendung von Ingenieurmethoden spielt.

So wurde bereits im Mittelalter der Begriff Ingenieur mit der Tätigkeit eines Baumeisters in Verbindung gebracht. Im 17. Jahrhundert bedeutete dann das Wort *ingénieur* (franz.) Fachmann auf technischem Gebiet mit theoretischer Ausbildung.



Bild 1 zeigt die Stellung des Bauingenieurwesens innerhalb der technischen Wissenschaften.

Von besonderer Bedeutung sind die Beziehungen zwischen dem Bauingenieurwesen einerseits und dem Elektroingenieurwesen, dem

Verfahrenswesen, dem Maschineningenieurwesen und der Informatik andererseits. Die Beziehung zur Kunst wird vor allem durch die Architektur charakterisiert. Innerhalb der technischen Wissenschaften hat eine besonders enge Beziehung zur Ökonomie das Bauingenieurwesen, das oft auch als ökonomisierte Naturwissenschaften bezeichnet wird.

Ein markantes Beispiel für den Einfluss des Bauingenieurwesens auf die Entwicklung der Rechentechnik und der Informatik ist die Tätigkeit des Bauingenieurs Konrad Zuse.

Da die statischen Berechnungen im Bauingenieurwesen sehr zeitaufwendig waren, kam Zuse die Idee, diese zu automatisieren. Er entwickelte deshalb eine Rechenmaschine auf der Basis der elektromechanischen Relais-technik (Bild 2).

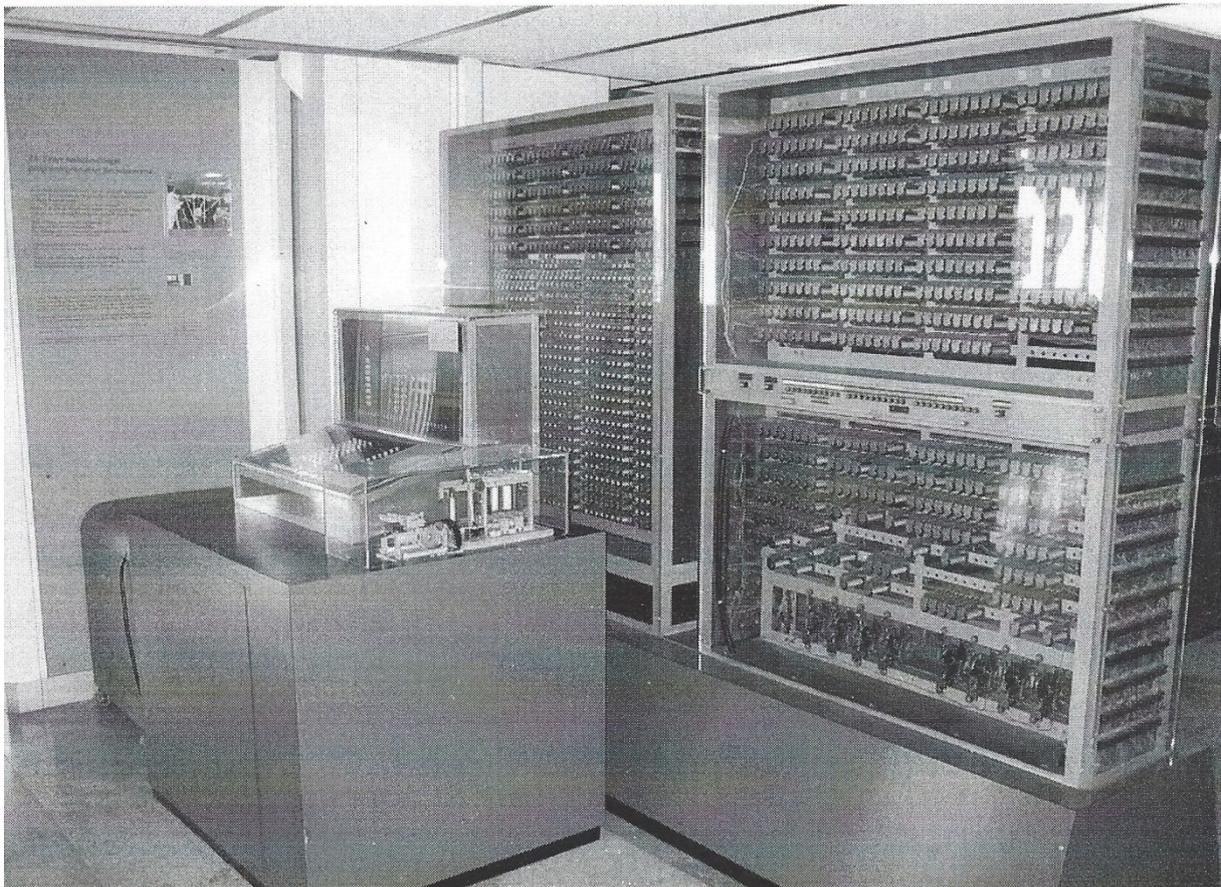


Bild 2: Erste elektromechanische Rechenmaschine (1941)

Der Einfluss des Bauingenieurwesens auf die Wissenschaftsentwicklung kommt in besonderem Maße dadurch zum Ausdruck, dass sich neue Fachdisziplinen in Lehre und Forschung herausgebildet haben, wie zum Beispiel: Bauphysik, Bauautomatisierung, Bauinformatik.

In den nächsten Abschnitten wird erstens auf die Bauautomatisierung als neue Wissenschaftsdisziplin eingegangen. Zweitens wird die Rolle des

Bauingenieurwesens im Umweltschutz beschrieben. Außerdem werden Fragen der Rekonstruktion im Bauwesen behandelt.

2. Bauautomatisierung als neue Wissenschaftsdisziplin

Seit Anfang der 80er Jahre wird die Mechanisierungsphase im Bauwesen von einer Automatisierungs- und Optimierungsphase mit zunehmender Anwendung der Rechentechnik abgelöst. Elektronische Komponenten und Systeme werden in Baumaschinen vor allem zuerst punktuell als Ergänzung und Modifizierung der hergebrachten Technik eingeführt. Bei der Automatisierung bautypologischer Prozesse kommen heute vor allem Bauroboter zum Einsatz.

Ein hoher Automatisierungsgrad ist seit Jahren bei den stationären Anlagen zum Mischen von Baustoffen (Beton und Asphalt) und bei der Serienfertigung standardisierter Betonwaren erreicht. Die automatisierte Vorfertigung großformatiger Stahlbetonfertigteile entwickelt sich zügig. Das betrifft vor allem computerunterstützte (CAM) und – in Ansätzen – auch computer-integrierte Fertigungsanlagen (CIM).

Von besonderer Bedeutung ist die automatisierte Steuerung von Transport-, Umschlag- und Lagerprozessen (TUL-Prozesse) in der Bautechnologie. In Tabelle 1 sind die dabei verwendeten mathematischen Modelle und Optimierungsmethoden zusammengestellt. Nach dem Grad des Zusammenhanges zwischen Abnehmer und Transporttechnologie wird unterschieden nach:

- technologisch gebundenen Transporten (Nr. 1 und 2 in Tabelle 1)
- technologisch nicht gebundenen Transporten (Nr. 2 und 3 in Tabelle 1)

Bestimmend dafür ist der Grad der Lagerfähigkeit der zu transportierenden Güter. Anfang der 1980-er Jahre wurde an der Technischen Hochschule Leipzig gemeinsam mit der Bauakademie in Berlin erstmals in Lehre und Forschung eine Spezialrichtung Bauautomatisierung ins Leben gerufen.

Die dafür verantwortlichen Hochschullehrer waren Werner Kriesel und Hans-Jürgen Sebastian, unter Mitwirkung von Dietrich Balzer.

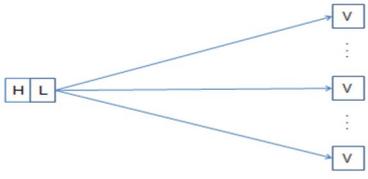
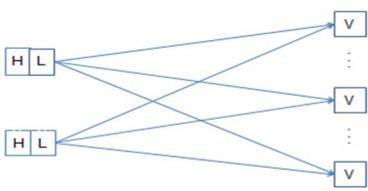
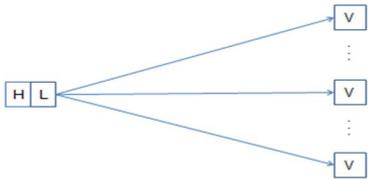
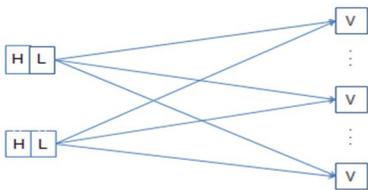
Nr.	Graph der Hersteller-Abnehmer-Relation	Typisches Modell und Lösungsverfahren
1		Modellierung als N-stufiger Entscheidungsprozess
2		Dynamische Optimierung im allgemeinen in Verbindung mit Echtzeitalgorithmen zur Steuerung
3		Bilanzmodell zum Ausgleich von Transportleistungen und Bedarf
4		Transportmodell Lineare Optimierung, insbesondere klassische Transportoptimierung

Tabelle 1: Klassifizierung der TUL-Prozesse im Bauwesen bezüglich der verwendeten mathematischen Modelle und Optimierungsmethoden, H-Hersteller, V-Verbraucher, L- Lager.

3. Klimawandel und die moralische Verantwortung von Bauingenieuren

Der Klimawandel ist ein globales Problem mit Auswirkungen auf die Häufigkeit, Intensität und Verweildauer von Naturereignissen wie z.B. von Windstürmen, von Sturmfluten und von extremer Trockenheit. Die Forschungsergebnisse von Klimawissenschaftler/ in belegen, dass bereits geringe Temperaturänderungen eine außerordentlich große Wirkung bei den Extremwerten von Umwelteinwirkungen entfalten und z.B. starke Niederschläge oder Hitzewellen verursachen. Beispiele für solche extreme Umwelteinwirkungen sind das Elbehochwasser von 2002 oder der Hurrikan von New Orleans in 2005. Dadurch ändern sich die hervorgerufenen Belastungen auf die Bauwerke und müssen überprüft werden, da die Infrastruktur auf solche Extreme nicht ausreichend sicher geschützt ist.

Es stellen sich Grundsatzfragen des Handelns im Alltag von Bauingenieuren insbesondere im Hinblick auf den Stellenwert, die Möglichkeiten und die Hemmnisse zur Wahrnehmung moralischer Verantwortung. In einem allmählichen Prozess zunehmender Nachdenklichkeit hat sich die Gewissheit gefestigt, dass Technikanwendungen im Bauwesen bei allen positiven Einsatzmöglichkeiten und gewinnbringenden Vorteilen durchaus auch Zweifel hervorbringen können. Moralische Verantwortung von Bauingenieuren ist mehr denn je gefordert.

Es wird deutlich, dass die Folgen des Klimawandels bereits spürbar sind. Wie aber wirkt sich ein verändertes Klima auf das Bauen im städtischen und ländlichen Bereich aus? Steigende Temperaturen mit meteorologischen Extremen wie Hitzewellen und Starkregen haben weitreichende Folgen zum Beispiel für Infrastruktur, Städtebau, konstruktiven Ingenieurbau und Wasserwirtschaft sowie Hochwasser- und Küstenschutz in Planung, Bau und Unterhaltung.

Der Bauingenieur kennt alles Wichtige über die Tragwerkslehre sowie über Baustoffe und Materialeigenschaften. Ebenso zu den Inhalten gehören die Bereiche der Bauwirtschaft. Das Wissen darüber sorgt dafür, dass ein Gebäude dem Eigengewicht wie auch einwirkenden Kräften sicher standhält. Bauingenieure sind im

Hochbau tätig, man findet diese Berufsgruppe jedoch auch im Straßen- und Tiefbau und häufig als Planer für Haussanierungen. Der Bereich der Naturwissenschaften und der Mathematik spielt beim Studium eine große Rolle, auch Baumaterialien, Verbindungen und Befestigungen werden intensiv behandelt.

Ein Bauingenieur bildet daher häufig mit einem Architekten ein Team. Vereinfacht gesagt sind die Ästhetik, Funktionalität, Harmonie in der Umgebung und langfristige Nutzbarkeit die Aufgaben des Architekten.

Der Bauingenieur hat seinen Fokus dagegen auf den Entstehungsprozess des Gebäudes, der geplant werden muss. Dadurch ist er meistens wesentlich öfter auf der Baustelle und seine Verantwortung geht weit über die Berechnung der Statik eines Gebäudes hinaus.

Aber auch Faktoren wie die Größe des Bauprojektes, der Kontext in dem Gebäude und in der Umgebung spielen im Arbeitsalltag eines Bauingenieurs eine große Rolle.

Klimaforscher rechnen mit einer deutlichen Zunahme von sommerlichen Hitzeperioden. Auch Starkregen-Ereignisse scheinen zuzunehmen. Eine Herausforderung auch für die Stadtplanung: Schattige Plätze und Frischluftschneisen werden immer wichtiger. Und wie lassen sich plötzlich Wassermassen am besten im Zaum halten?

Große Städte sind immer ein paar Grad wärmer als die Umgebung. Weil sie sich tagsüber stärker aufheizen, weil sie trockener sind als Freiflächen und somit weniger Wasser verdunstet, und weil Fabriken und Haushalte Abwärme produzieren. Das hat auch positive Seiten. Ohne diesen Wärme-Inseleffekt in Städten gebe es im Winter mehr Probleme mit Eis und Schnee, die Bewohnerinnen und Bewohner müssten mehr heizen und hätten höhere Energiekosten.

Dieser Klimawandel verändert den Städtebau und die Anforderungen und die Verantwortung des Bauingenieurs.

Gebäude auf Basis nachwachsender und wiederverwerteter Rohstoffe zu bauen, dabei Wasser- und Energieverbrauch zu minimieren und auch unter Berücksichtigung der Biodiversität Ressourcen zu schonen und die Umwelt zu schützen, das alles sind wichtige Bestandteile des nachhaltigen Bauens und in moralischer Verantwortung des Bauingenieurs.

Das bedeutet einerseits den Bedarf decken, aber die Natur erhalten. Nachwachsende Rohstoffe nachhaltig einsetzen, Recycling auf hohem Niveau ausführen sowie Bau- und Abbruchabfälle schadlos verwerten.

Energieeffizienz ist ein Muss. Um nachhaltiger zu bauen, sind aber nicht nur die Ressourcen ausschlaggebend, sondern auch die verwendeten Fertigungstechniken der Bauelemente. Eine innovative und ressourcenschonende Technik ist das modulare Bauen.

Auch hat in den letzten Jahren die additive Fertigung enorme Fortschritte gemacht. So ist es bereits möglich, mittels 3D-Drucker komplette Häuser zu drucken. So wurde in China bereits im Jahr 2015 ein Wohnhaus additiv gefertigt

und das US-Unternehmen Apis Cor bietet einen mobilen 3D-Drucker mit einer Druckzone von 132 qm für Wohnhäuser an.

Zahlreiche Hürden verhindern, dass vorhandene Möglichkeiten zum Energiesparen stärker genutzt werden. Dazu gehören beispielsweise unzureichende Markttransparenz, Risikoscheu und der begrenzte Zugang zu Kapital. Schon heute gibt es das Know-how für die Modernisierung von Bestandsgebäuden und den Neubau von Niedrigstenergie - und Nullenergiegebäuden – was häufig mit nur marginalen Zusatzkosten verbunden ist. Außerdem steht eine breite Palette an wirksamen politischen Instrumenten zur Verfügung, mit denen sich die genannten Hürden beseitigen lassen.

Die erwarteten Folgen des Klimawandels bergen ein großes Risiko für Gebäudeschäden. Bereits in den vergangenen Jahrzehnten haben die Schäden durch Extremwetterereignisse deutlich zugenommen. Intensität und Art dieser Klimafolgen werden wahrscheinlich regional ungleich verteilt sein.

Zusammenfassend muss eingeschätzt werden: Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel sind im gesamten Bausektor gefragt. Das betrifft u.a. die allgemeine Bauplanung, die Regelwerke für das Bauen, die technische Ausstattung von Gebäuden, den Einsatz geeigneter Baustoffe aber auch die Bautätigkeit. Der Anpassungsbedarf wird besonders an den Regelwerken für das Bauen deutlich. Entsprechende Normen und Richtlinien basieren derzeit weitgehend noch auf Klimadaten aus der Vergangenheit. Neue Erkenntnisse aus der Klimaforschung, z.B. Ergebnisse regionaler Klimamodelle, fließen bis dato kaum in diese Regelwerke ein. Das wäre jedoch unbedingt notwendig, da die Normen und Richtlinien eine wesentliche Grundlage für die Bauwerksplanung darstellen und somit darüber entscheiden, inwieweit das Bauwerk auch zukünftig seine Funktion erfüllt.

Die moralische Verantwortung des Bauingenieurs, seine Bereitschaft und sein Denken zu technologischen Innovationen spielen dabei eine entscheidende Rolle.

4. Methoden zur Sanierung von Industriebrachen für optimale Wiederverwendung in Produktionsbereichen

Nach der Wiedervereinigung gab es einen umfangreichen alten Baubestand in den neuen Bundesländern. Viele Fabriken konnten aufgrund des steigenden Konkurrenzkampfes, der geänderten Produktionsbedingungen und des Strukturwandels ihre Produktion nicht mehr aufrechterhalten.

Wenn die Fabrik ihre ursprüngliche Produktion nicht mehr weiterführt, kommt es zwangsweise zu Leerstand und Verfall. In den meisten Fällen sind diese alten

Fabriken in ihrer Infrastruktur in die Umgebung integriert und besitzen oft - stadtbildtragende Charakterzüge.

Um eine Voraussetzung für die Erhaltung der Fabriken zu schaffen, sind neue Nutzungskonzepte zu entwickeln, die ein Überleben der Gebäude gewährleisten. Die Nutzungskonzepte sind von der vorhandenen Bausubstanz und von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten der Fabrikgebäude abhängig.

1. Bauzeit und Erstinvestition
2. Technische Wertminderung
3. Modernisierung (Fenster, Heizung)
4. durchgreifende Sanierung
5. Verfall – Abbruch- eventueller Restwert

Eine Umstrukturierung und ein Umbau von Gebäuden ist eine gute Alternative zum Abbruch. Der Begriff Umbau von Gebäuden beinhaltet einen sehr komplexen Bereich, der von der Fassadenerneuerung bis zum Totalumbau reicht.

Der Umbau eines Gebäudes ist immer mit einer Sanierung und Modernisierung verbunden, aber der entscheidende Vorteil ist darin zu sehen, dass das Gebäude in seiner Grundform erhalten bleibt. In den meisten Fällen spielt der Denkmalschutz eine entscheidende Rolle, welcher bei der Planung berücksichtigt werden muss.

Durch die revolutionären Veränderungen in den unterschiedlichsten Berufsgruppen wurde und wird es immer notwendiger, Gebäude umzustrukturieren, da in der Verwaltung und in der Produktion neue Technologien Einzug gehalten haben, und dadurch die Betriebsstruktur verändert wurde.

Altlastsanierung

Unter dem Begriff Altlastsanierung werden die Maßnahmen verstanden, die gewährleisten, dass nach der Durchführung von Sanierungsverfahren keine Gefahren von der Altlast mehr für das Leben und die Gesundheit des Menschen ausgehen. Des Weiteren soll die belebte und unbelebte Umwelt geschützt werden. Es dürfen für die vorhandene oder geplante Nutzung des Standortes keine Nutzungsbeschränkungen auftreten.

Gefährdungsabschätzung von Altlasten

Bei der Einschätzung von Altlasten liegt in der Gefahrenbeurteilung eine besondere Bedeutung. Die Gefahrenbeurteilung ist bei allen Flächen durchzuführen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit Altlasten behaftet sind oder die es werden können. Dies können Altablagerungen, Altstandorte und sonstige Bodenkontaminationen sein.

Eine Klassifizierung von Altlasten kann nach folgenden Kriterien vorgenommen werden:

1. Ursprünge der Verunreinigungen
2. Zeitpunkt der Entstehung der Verunreinigungen
3. Ausdehnung, Volumen, Menge, Freisetzungsart
4. Schadstoffarten
5. Arten der Gesundheits- und Umweltgefährdung

Das Ziel einer Sanierung muss deshalb immer die Gefahrenbeseitigung der bestehenden Altlasten sein. Allerdings ist nicht in jedem Fall davon auszugehen, dass eine vollständige natürliche Bodenbeschaffenheit erreicht wird. Der Sanierungsaufwand muss im Verhältnis zu der weiteren Nutzung stehen, was bedeutet, dass eine intensivere Sanierung gewährleistet werden muss, wenn nach der Sanierung eine direkte Nutzung durch den Menschen erfolgt, z.B. Wohn- und Erholungsstätten. Ein geringerer Sanierungsaufwand ist erforderlich, wenn durch die Nutzung nicht unmittelbar Menschen betroffen werden, z.B. Schaffung von Parkflächen.-

Die Auswahl der Sanierungsverfahren richtet sich nach dem Schadstoffpotential, den örtlichen Gegebenheiten und den Sanierungszielen. Weitere Kriterien wie Arbeitsschutz, rechtliche Bestimmungen, Transparenz für die Öffentlichkeit, Verfügbarkeit der Sanierungsverfahren, technologische Voraussetzungen für die entsprechenden Verfahren, Reststoffentsorgung sowie Kostenfaktoren haben Einfluss auf die Wahl der Sanierungsverfahren. Diese können in Sicherungsverfahren und in Sanierungsverfahren unterschieden werden.

Wie wird eine erfolgreiche Sanierung beurteilt?

Von einer erfolgreichen Sanierung kann gesprochen werden, wenn

- mit tragbaren Kosten die Sanierung technische realisiert wurde,
- die Sanierung von der Bevölkerung akzeptiert wurde,
- das Gesamtprojekt mit einer positiven Umweltbilanz abschließt.

Um eine positive Umweltbilanz beurteilen zu können, müssen Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) und Technikfolgenabschätzungen eingesetzt werden. Die Sanierung von Altlasten ergibt nur dann einen Sinn (umweltpolitisch), wenn die Bodenbelastungen, bei derzeit noch betriebenen Industriestandorten, vermieden oder vorbeugend Bodenbelastungen ausgeschlossen werden.

Sanierung, Instandhaltung, Modernisierung und Nutzungsänderung von Gebäuden

Sanierung

Eine Sanierung kennzeichnet nach § 136 BauGB alle Maßnahmen, durch die ein Gebiet zur Behebung städtebaulicher Missstände wesentlich verbessert oder umgestaltet wird.

Besonders in den neuen Bundesländern befindet sich die flächendeckende Sanierung im Aufschwung. Eine große Bedeutung haben aber auch Baulückenprojekte, d.h. Neubauten im Bestand, Erweiterungen und Umsetzung von bestehenden Gebäuden.

Umstrukturierung und Umbau sind deshalb ein Mittel der Gebäudeerhaltung. Würden diese Maßnahmen nicht durchgeführt, so wären viele alte Gebäude nicht länger lebensfähig und müssten dem Abbruch zum Opfer fallen.

Unter dem Begriff Sanierung wird die grundlegende Erneuerung der Bausubstanz, verstanden. Dabei bleibt der Kern der Konstruktion erhalten, aber es erfolgt eine Erneuerung im funktionellen und im technischen Bereich, wobei immer das Maß aller Dinge der gegenwärtige Stand der Technik ist. Dabei ist stets das Baurecht zu beachten und einzuhalten.

In der Praxis werden im Flächennutzungsplan Sanierungsgebiete ausgezeichnet, welche nach § 136 BauGB Gebiete sind, in denen städtebauliche Sanierungsmaßnahmen zur Behebung städtebaulicher Missstände durchgeführt werden.

Die Sanierung kann in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Instandhaltung
2. Modernisierung
3. Nutzungsänderung

Instandhaltung

Unter Instandhaltung werden Reparaturarbeiten verstanden, die an baulichen Anlagen und Gebäuden durchgeführt werden und der Werterhaltung und der Erhaltung der Bausubstanz dienen. Die Gebäudeidentität (äußeres und inneres Erscheinungsbild) bleibt erhalten und es werden nur kaputte Teile ausgetauscht oder repariert. Im Vergleich dazu handelt es sich um eine Modernisierung, wenn dem Gebäude eine neue früher nicht vorhandene Qualität verliehen wird.

Zu den Instandsetzungsarbeiten zählen aber auch Reparaturen an der Außenhülle, Tragwerkskonstruktion und an haustechnischen Anlagen und Installationen. Um Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen, müssen die bautechnischen Bestimmungen sowie die anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden. Diese Regeln finden aber nur auf das zu reparierende Objekt Anwendung, wenn die Bauaufsichtsbehörde nach §§ 84 BauO, §84 SächsBO unter bestimmten Voraussetzungen nicht anderes verlangt.

Instandsetzungs- und Instandhaltungsarbeiten an oder im Gebäude sind in der Regel baugenehmigungsfrei. Sollte aber die Tragwerkskonstruktion in die Instandsetzung mit einbezogen werden, bedarf es einer Baugenehmigung. Die Baubehörde verlangt in diesem Fall vor Beginn der Instandsetzungsmaßnahmen einen Standsicherheitsnachweis. Steht das Gebäude unter Denkmalschutz, so ist die Denkmalschutzbehörde über die Maßnahmen zu unterrichten und diese mit der Behörde abzustimmen.

Nach § 3 HOAI zählen zur Instandsetzung alle Maßnahmen zur Wiederherstellung des zum Bestimmungsmäßigen Gebrauchs geeigneten Zustandes (Soll-Zustand) eines Objektes, soweit sie nicht zu den Wiederaufbauten oder Modernisierungen gehören.

Modernisierungen

Von einer Modernisierung wird gesprochen, wenn dem Gebäude eine neue, früher nicht vorhandene Qualität verliehen wird. Die zu reparierenden Teile werden nicht nur instandgesetzt, sondern es erfolgt eine Erneuerung der einzelnen Teile oder der technischen Anlagen nach dem derzeitigen Stand der Technik. Eine Modernisierung ist nach § 3 HOAI eine bauliche Maßnahme zur nachhaltigen Erhöhung des Gebrauchswertes eines Objektes, einschließlich der dadurch verursachten Instandsetzung.

Modernisierungsmaßnahmen können sein:

1. der Austausch normaler Fenster gegen Schallschutzfenster
2. eine Wärmedämmung an Dach und Außenwand
3. der Austausch der Heizungen zur effektiveren Energieausnutzung

Reine bauplanungsrechtliche Anforderungen sind zu beachten, wenn die Modernisierungsmaßnahmen keine Nutzungsänderungen oder Anbauten beinhalten.

Nach §84BauO kann die Bauaufsichtsbehörde unter bestimmten Voraussetzungen verlangen, dass auch teile, die nicht unmittelbar vom Umbau betroffen werden, den baulichen Anforderungen entsprechen müssen. Für die Teile, die durch die Modernisierungsmaßnahmen betroffen werden, sind bauliche Anforderungen und die anerkannten Regeln der Technik nach § 3 BauO einzuhalten.

Beinhalten Modernisierungsmaßnahmen auch Nutzungsänderungen, so müssen Stellplatznachweise (§ 49 BauO, Nr. 49.11 VVbauO) durchgeführt werden, sofern ein höherer Kraftfahrzeugverkehr entsteht.

Modernisierungsmaßnahmen bedürfen grundsätzlich einer Baugenehmigung, und es müssen die Anforderungen des Brandschutzes, der Standsicherheit, der Verkehrssicherheit und des Wärme- und Schallschutzes nach §§ 15-20 BauO genehmigungsbedürftige Anlagen sind.

Modernisierung ist aber auch nicht mit dem Begriff der Bauunterhaltung zu verwechseln, denn Bauunterhaltung ist die normale Erhaltung aller Bauteile, die durch Einwirkungen äußerer Einflüsse (Strahlung, Klima, Feuchtigkeit) geschädigt worden sind. Die Bauunterhaltung ist ausschlaggebend für die Lebensdauer eines Gebäudes. Bei einer mangelnden Bauunterhaltung wird die Lebensdauer des Gebäudes sehr verkürzt.

Nutzungsänderung

Ein Gebäude in seinem Bestand umzunutzen, ist besser als es leer stehen zu lassen. Dennoch stellt eine Nutzungsänderung alle Beteiligten vor große Probleme, da am Anfang eine neue Nutzungsform gefunden werden muss.

Wenn ein Gebäude oder einzelne Räume eine neue Zweckbestimmung erhalten, kann von einer Nutzungsänderung ausgegangen werden. Bei jeder Nutzungsänderung spielen individuelle Voraussetzungen eine primäre Rolle, die den weiteren Planungs- und Bauablauf bestimmen.

Die Probleme bei Nutzungsänderungen liegen aber nicht nur beim Finden einer neuen Idee, sondern es treten auch verstärkt technisch-konstruktive Probleme auf. Begründet sind diese Probleme in der mangelnden Deckentragfähigkeit und im Fehlen von notwendigen Treppen und Fluchtwegen. Weitere wichtige

Gesichtspunkte sind der Wärme-, Schall- und Feuchtigkeitsschutz, die den heutigen baurechtlichen Anforderungen entsprechen müssen.

Durch die Erfahrungen der letzten Jahre kann gesagt werden, dass der Rohbauzustand bei alten Gebäuden meist gut ist, während die technischen Installationen in den meisten Fällen veraltet sind. Diese Installationen müssen überwiegend entfernt und neu geplant werden, da sie den technischen Anforderungen der heutigen Zeit nicht mehr entsprechen.

Wird der Gebäudebestand bei Altbauten betrachtet, so lässt sich feststellen, dass bei einer Nutzungsänderung eine viel bessere Anpassungsfähigkeit vorliegt, als bei Neubauten. Dies resultiert aus den vorhandenen Raumgrößen, die nicht auf den Flächenbedarf eines speziellen Zwecks zugeschnitten wurden. Mit geringen baulichen Veränderungen können hohe Anpassungsfähigkeiten erzielt werden, wenn die Raumprogramme etwas mehr als den Mindestbedarf decken. Auch Gebäude mit einfachen Konstruktionen oder einfachen Konzeptionen lassen sich für neue Funktionen leicht umgestalten.

Die beste Form der Nutzungsänderungen, -ausweitungen oder -schrumpfungen bieten große, zusammenhängende Flächen. Dabei werden Möglichkeiten für eine freie und großzügige Raumaufteilung geschaffen.

Nach § 63 Abs. 3 BauO ist eine Nutzungsänderung baugenehmigungspflichtig, was auf folgende Beispiele zutrifft:

- Umnutzung von nicht Wohnzwecken dienenden Räumen in Gebäuden zu Aufenthaltsräumen
- Umnutzung von Wohngebäuden in gewerbliche Gebäude (Gaststätten, Arztpraxen)
- Umnutzungen, wenn andere planungsrechtliche Vorschriften gelten, die sich insbesondere auf die Art der baulichen Nutzung beziehen (Umwandlung eines nicht störenden Gewerbebetriebes in einen störenden Gewerbebetrieb)

Ist eine Nutzungsänderung baugenehmigungspflichtig, so führt dies zum Erlöschen des Bestandschutzes, was zur Folge hat, dass die aktuellen bauordnungsrechtlichen Anforderungen erfüllt werden müssen. Eine Befreiung kommt nur in Betracht, wenn durch die Nutzungsänderung keine zusätzlichen Gefahren oder Belästigungen entstehen. Eine Nutzungsänderung kann unzulässig sein, wenn in einem gemischten Gebäude die Grenzbestände nicht eingehalten werden können, weil das störende Gewerbe z.B. zu nah an einer Wohneinheit ist. Durch die Nutzungsänderung des Gebäudes kommt es zu einem zusätzlichen Stellplatzbedarf, der, wie schon im Abschnitt Modernisierung beschrieben, einen Nachweis erfordert (§ 49 BauO). Technische Maßnahmen für den Schutz des Gebäudes vor Wärme, Feuchtigkeit und Schall.

Aus dem Jahre 1977 stammt die „Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden“ die besagt, dass bei einem Bauwerk nicht nur die Bauteile wie Fenster, Türen und Wände betrachtet werden, sondern es wird die gesamte Hülle des Bauwerkes mit berücksichtigt, wie Fußböden, Wände und Dächer. Dadurch gelangt man von der flächigen zur räumlichen Betrachtungsweise. Die obengenannte Verordnung stellt neue Anforderungen an die Bauteile, die etwa doppelt so hoch sind wie die alten Anforderungen der DIN 4108 (z.B. bei Wänden).

Von der Wärmeschutzverordnung vom Energieeinsparungsgesetz und von der DIN 4108 und deren Ergänzungen werden im wesentlichen die brandschutztechnischen Konstruktionen von Gebäuden und Bauteilen bestimmt. Nach der Wärmeschutzverordnung sind das A/V-Verfahren, das km-verfahren bzw. das Kurzverfahren (Einhalten bestimmter Werte des Wärmedurchgangskoeffizienten) für die Berechnung zulässig.

5. Projekt und Projektmanagement eines Bauvorhabens – Ein Überblick

Um ein Bauvorhaben erfolgreich zu beginnen und abzuschließen, ist es von großer Bedeutung, dass ein Projektteam gebildet wird und erfolgreich zusammenarbeitet. Durch die in der heutigen Zeit immer komplizierteren Bauvorhaben mit einer großen Anzahl von Beteiligten ist es notwendig, besondere Maßnahmen einzuleiten bzw. zu beachten, um eine immer besser werdende Qualität bei der Bauausführung, über den gesamten Bauverlauf hinweg, zu realisieren.

Historische Entwicklung des Projektmanagements

Die Durchführung projektmäßiger Unternehmungen lässt sich in der Geschichte der Menschheit weit zurückverfolgen. Frühe Projekt von beeindruckender Größe sind der Bau der Pyramiden oder der Chinesischen Mauer. Aus der jüngeren Vergangenheit lassen sich beispielsweise der Bau des Panama- und Suezkanals, die Errichtung des Eiffelturmes zur Weltausstellung in Paris oder der Aufbau von Kriegsflotten nennen.

Ausgangspunkt für das moderne Projektmanagement waren die großen Vorhaben der USA während des II. Weltkrieges; insbesondere das 1941 begonnene Manhattan Engineering District Project, die Entwicklung der ersten Atombombe, aber auch das 1947 in Angriff genommene Marshal Plan Project spielten eine wichtige Rolle.

Weitere Eckpunkte der Entwicklung des Projektmanagements waren die Realisierung des Polaris-Programms, die Großprogramme der US-Luftwaffe und das Apollo-Programm der NASA. Die enorme Verflechtung von Wissenschaftlern und Ingenieuren aus Universitäten, Industrie und Regierung

erforderte völlig neue Organisationsstrukturen. Neben Managementsystemen wie Phased Project Planning (NASA) oder PERT (US Navy), wurde 1966 das aus mehreren Bänden bestehende Luftwaffen-Projektmanagementkonzept (Systems Management der USAF) herausgegeben. Im Rahmen des Apollo-Programms der NASA fand eine ständige Weiterentwicklung dieses Konzeptes statt. Die Verflechtung mit der Industrie und eine Fülle von Publikationen trugen in den sechziger und siebziger Jahren zur Ausbreitung des Projektmanagements in den USA bei.

Auch in Europa erkannte man schnell die Vorteile der neuen Management-Methoden, und die Zusammenarbeit europäischer und US-amerikanischer Organisationen sorgte für teilweise oder komplette Übernahme der Konzepte. Ebenso wie in den USA begann hier die Industrie, die neuen Ideen für eigene Zwecke einzusetzen.

Wodurch ist die gegenwärtige und zukünftige Arbeit des Bauingenieurs geprägt: In der klassischen Bauplanung erstellt ein Architekt einen Entwurf und zeichnet diesen auf, heutzutage mit Hilfe von CAD-Systemen. Die Pläne werden unter anderem Fachingenieuren, Brandschutzgutachtern und Behörden vorgelegt.

Zur Kostenkalkulation wird eine Mengenermittlung auf Basis der Zeichnungen erstellt. Dazu ist eine Verknüpfung der Geometrien mit qualitativ und monetär definierten Leistungsbestandteilen erforderlich, sodass die einzelnen Mengendetails in Leistungspositionen bzw. kalkulatorischen Teilleistungen aufsummiert werden können.

Tritt eine Änderung der Planung auf, müssen die Zeichnungen geändert werden, die Mengenermittlung muss angeglichen werden, alle Beteiligten erhalten aktualisierte Zeichnungen und müssen diese mit ihren Fachplanungen abgleichen. Dies verursacht einen erheblichen Koordinierungs- und Arbeitsaufwand.

Beim Building Information Modeling (BIM) wird ein Bauwerk zunächst als virtuelles, dreidimensionales Gebäude erstellt und mit allen relevanten Ausstattungsmerkmalen versehen. Alle integrierten Elemente können zum Beispiel für Kollisionskontrollen, Simulationen und Berechnungen zueinander in Abhängigkeit gebracht werden.

Aus diesem zentralen, gewerkeübergreifenden Modell werden alle technischen Zeichnungen widerspruchsfrei abgeleitet.

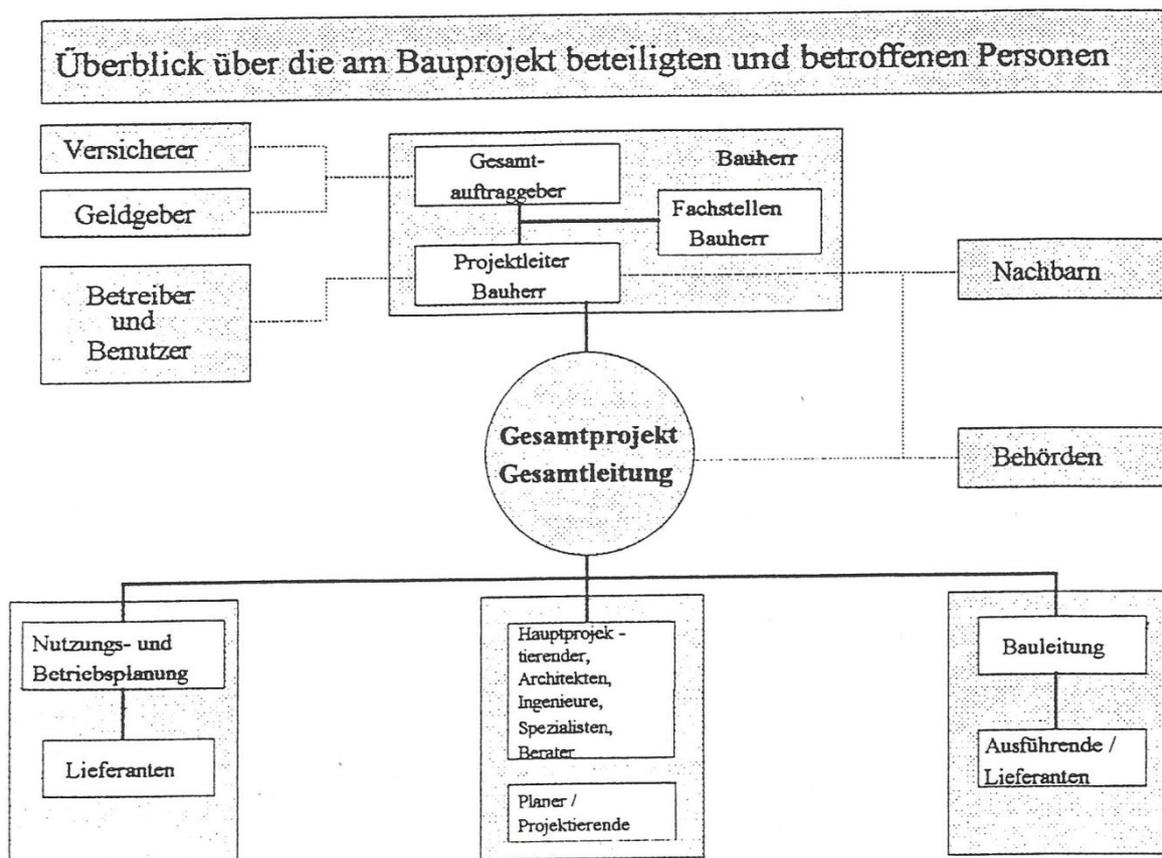
In den USA, in den nordischen Ländern und Großbritannien ist die BIM-gestützte Planung erheblich fortgeschritten. Deutschland zieht jetzt nach.

Mit BIM nimmt der Architekt oder Fachplaner Änderungen an der Projektdatei, am Modell vor. Diese Änderungen sind für alle Beteiligten, sowohl als Zeichnung

als auch als Datenpaket, direkt verfügbar. Neue innovative Verfahren helfen dem Bauingenieur.

Am Bauvorhaben beteiligte Personen

Um ein Bauprojekt so schnell wie möglich und in der geforderten Qualität zu realisieren, ist es von besonderer Bedeutung, alle beteiligten Personen zu koordinieren und zu lenken. Einen Überblick, der am Bau beteiligten Personen, soll im Bild gegeben werden.



Am Bau beteiligte Personen

Durch diese Abbildung kommt deutlich zum Ausdruck, vor welche Schwierigkeiten der Planer gestellt wird. Er muss auf alle Wünsche und vor allem auf alle rechtlichen Ansprüche der einzelnen Beteiligten eingehen und ordnungsgemäß und soweit möglich, realisieren.

Das Projekt

Der in den letzten Jahren fast inflationäre Gebrauch des Projekt-Begriffs, hat dessen Bedeutung nicht unbedingt klarer erscheinen lassen. Nichts ist mehr

Routine. Alles ist modern, ein „Projekt zu machen“, denn ein Projekt ist etwas Besonderes, etwas, da aus dem Alltäglichen herausragt, und wer an etwas Besonderem beteiligt ist, ist etwas Besonderes.

Bei nüchterner Betrachtung des Sachverhaltes macht es jedoch wenig Sinn, den Begriff Projekt für jede beliebige Aufgabe anzuwenden, nur um dieser damit scheinbar höheren Wert in den Augen des Betrachters zu verleihen. Der undifferenzierte Gebrauch lässt den Begriff eher verblassen, diffus erscheinen und wertlos werden.

Was sind dann aber die wesentlichen Merkmale, die eine Aufgabe zu einem Projekt werden lassen? In der Fachliteratur sind folgende Punkte als kennzeichnend aufzufinden:

- eindeutige inhaltliche und zeitliche Zielsetzung,
- ungewisse Einmaligkeit der Aufgabe,
- innovativer Charakter,
- begrenzte und klar zugeordnete Ressourcen,
- klare Ergebnisverantwortung,
- gewisses Risiko.

Ein Projekt ist demzufolge ein über das Tagesgeschäft hinausgehendes, klar beschriebenes innovatives Vorhaben von besonderer Bedeutung und begrenzter Dauer und mit fest definierter Ressourcenausstattung und Ergebnisverantwortung.

Was ist ein Projekt?

- einmaliges Vorhaben
- zeitlich begrenzt
- bereichsübergreifend
- mit Investitionen und Risiken verbunden
- Projekt ist ein Vorhaben, das für ein Unternehmen volle Wichtigkeit hat, das es besonders bedeutend werden soll.
- Projekt ist ein Ganzes
- Teilaufträge sind nicht selbstständige „Ganze“

6. Vorgehensweise bei der Industriebranchensanierung und - Umnutzung

Industriebrache

Unter Industriebrache wird eine stillgelegte Fabrik oder eine aufgegebene Produktion in Gewerbegrundstücke verstanden.

Dabei wird das Wort Industriebrache irreführend verwendet, denn unter dem Begriff Brache versteht der Duden einen ruhenden Acker nach dem Umpflügen. Bei einem stillgelegten Gebäude kann aber davon nicht ausgegangen werden. Vielmehr handelt es sich um ein Gebäude, welches in der Regel für den Abbruch bestimmt ist. Erst in den letzten Jahren wurde verstärkt darüber nachgedacht, die Industriebrachen einer neuen Nutzung zuzuführen, um den vorhandenen Baubestand zu erhalten. Die Gebäude haben städtebaulichen Charakter und tragen vielerorts zur Stadtgestaltung bei.

Industriebrachen entstanden durch die immer fortschreitende Stadtentwicklung in den letzten Jahrzehnten. Durch das Ausbreiten der Städte wurden die Betriebe, die vor 30 – 40 Jahren noch am Stadtrand lagen, in die Stadtplanung und Stadtentwicklung integriert. Die Städte entwickelten sich um diese Fabrikgebäude, und plötzlich befanden sich die Gebäude in den Kerngebieten der Stadt. Durch immer strengere Gesetze und Verordnungen (Immissions- und Emissionsschutz, Lärm, Schall usw.) kam es wiederum zur Verlagerung der Betriebe an den Stadtrand mit dem Resultat der vorher beschriebenen Industriebrachen.

In den neuen Bundesländern ist noch eine weitere Besonderheit zu registrieren. Durch den plötzlichen Wegfall der Absatzmärkte und dem ansteigenden Konkurrenzkampf konnten viele Produktionsbereiche nicht mehr aufrechterhalten werden. Nach dem Zusammenbruch der verschiedenen Bereiche mussten viele Fabriken schließen und der Bestand von Industriebrachen nahm drastisch zu. Dennoch bieten die stillgelegten Industriebrachen einige Vorteile. Die Grundstücke befinden sich in einer guten Infrastruktur mit einem gut ausgebauten Straßennetz und Anschlüssen für Strom, Gas, Wasser und Abwasser.

Die Bewertung einer Industriebrache hängt vom jeweiligen individuellen Charakter eines Gebäudes ab. Allgemeine Kriterien sind Lage und Nutzungsmöglichkeiten der Industriebrache sowie seine vorhandene Infrastruktur. Neben den allgemeinen Kriterien müssen, für das jeweilige Gebäude, weitere Merkmale berücksichtigt werden.

Dies sind:

1. Bauzustandsanalyse (Art und Zustand der Industriebranche)
2. Können unterschiedliche Branchen das Gebäude nutzen?
3. Welche Nutzungsarten wurden bisher auf dem Grundstück ausgeübt?
4. Alter des Gebäudes
5. Altlastenpotential (Branchenbezogen)

Die aufgeführten allgemeinen und speziellen Kriterien sind wert beeinflussende Merkmale der Beurteilung des Objektes.

Erarbeitung von Nutzungsänderungsvarianten für eine Industriebranche

In Anlehnung an die Vorstudie des Planungsalgorithmus und der Aufgabenstellung wurden Nutzungsänderungen für eine Industriebranche im Dienstleistungsbereich gesucht.

Die Ursachen für stillgelegte industrielle und gewerbliche Bausubstanzen sind die oftmals gravierenden Strukturwandlungen in den Städten und Gemeinden. Die Gründe für eine Aufgabe der Gebäude sind von vielfältiger Natur.

Dennoch lassen sie sich in vier Hauptgruppen unterteilen:

1. Betriebsaufgaben und Betriebsschrumpfungen
2. teilweise oder völlige Betriebsverlagerung (fehlende Absatzmärkte)
3. betriebliche Umstrukturierung (rationelle und neu Produktionsmethoden oder – Bereiche)
4. Auslagerung aufgrund von Sanierungs- oder Erneuerungsmaßnahmen

Von einer Umnutzung von Industriebrachen wird gesprochen, wenn die alten Bausubstanzen eine neue Nutzungsmöglichkeit erhalten.

Bei einer Nutzungsänderung kann von drei Nutzungsvarianten ausgegangen werden. Es wird unterschieden in Dienstleistungsbereiche, Produktionsbereiche und Mischnutzungen. Auf die Produktionsbereiche soll im weiteren nicht näher eingegangen werden. Der Bereich der Dienstleistungen kann in vier Kategorien eingeteilt werden.

1. Umnutzung für gewerbliche Zwecke (kleine Handwerksbetriebe)
2. Umnutzung für kommerzielle Zwecke
3. Umnutzung für soziale Zwecke
4. Umnutzung für Wohnungen

Die Auflistung der Nutzungsarten widerspiegelt auch ungefähr die Rangfolge bei einer Nutzungsänderung, was an einem Beispiel verdeutlicht werden soll. Die

Weiternutzung für industrielle und gewerbliche Zwecke ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt die unproblematischste Lösung, um stillgelegte Fabriken wieder zu nutzen. Es können die vorhandenen Gegebenheiten ausgenutzt werden, und die neuen Funktionen lassen sich bei einfachen Konzeptionen und Konstruktionen leicht anpassen, ohne dass groß bauliche Veränderungen erforderlich werden.

Literatur

Balzer, D (1987) : Wissenschaftskonzeption der Technischen Hochschule Leipzig (Archiv der Technischen Hochschule Leipzig)

Balzer, D., Kriesel, W, Sebastian; H.-J. (1985): Ausbildungskonzeption "Bauautomatisierung" (Archiv der Technischen Hochschule Leipzig)

Balzer D. (Federführender Autor) (1989): Wissensspeicher Prozessrechentchnik. Fachbuchverlag Leipzig, 1989, S.343 bis 357.

Sieber, Fritzsche
Bauen in der DDR, 2006 Huss-Medien GmbH

Sieber , Ulrich
Nutzungsänderung von Bausubstanz, 2005 Hochschule für Technik

Freyer, Bernd
Methoden zur Sanierung von Industriebrachen, Universität für Weltwirtschaft

Sieber, Frieder
Projektmanagement bei der Nutzungsänderung von Bauwerken und Industriebrachen
Vorlesungsreihe Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia 1998 – 2009

Sieber, Frieder
Baumanagement und Wassermanagement
Vortragsreihe Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia 1997 – 2011

Sieber Frieder
Workshop Industriebrachensanierung und Umnutzung
Universität für Bauwesen und Architektur Sankt Petersburg 2015

B. Dortsch
bauen in alter Substanz, Verlag Rudolf Müller 2011

Franz Voigt, Frieder Sieber
Methoden zur Sanierung von Industriebrache in der Landwirtschaft, Universität
für Landwirtschaft Wolgograd 2013

Frieder Sieber
Projektsteuerung, INSE 2014 Berlin

Leila Weltersbach
Umweltschutz durch Technik 2017

Michael Schufter
Moralische Verantwortung Am Bauingenieurwesen, Springer 2018

Der Bauingenieur, Bachelor-Print 2018

Gerhard Paal
Der Klimawandel verändert den Städtebau, SWR Wissen 2016

Nachhaltiges Bauen – aktiver Klimaschutz
Bauökonomie BW 2019

Klimawandel: Was er für das Bauen bedeutet
ECF / Stiftung 2° 2015- 2 -

U. Wienert, A. Walter
Klimawandel und Bauen, Klimastatusbericht 2011

Kampmann
BIU 2016

Grundlage für diesen Beitrag ist die Auswertung von Aktivitäten und
Forschungsprojekten zum Klimawandel. Die wichtigsten Projekte und Quellen
sind:

- Klimaservice DWD – Deutscher Wetterdienst: www.klima.dwd.de,
www.dwd.de/Klimawandel
- DWD Deutscher Klimaatlas: www.deutscher-klimaatlas.de
- DWD Climate Data Center: www.dwd.de/cdc

- Regionale Klimabüros der Helmholtz-Gemeinschaft: www.klimabuero.de
- Regionaler Klimaatlas Deutschland: www.regionaler-klimaatlas.de
- Stakeholder Dialog-Chancen und Risiken des Klimawandels:
www.umweltbundesamt.de/themen/Klima-energie/klimafolgen-anpassung/kompass-Veranstaltungen
- KlimaExWoSSt – Urbane Strategien zum Klimawandel mit den zwei Forschungsschwerpunkten „Stadt-Klima – Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel“ und „ImmoKlima – Immobilien- und wohnungswirtschaftliche Strategien und Potenziale zum Klimawandel“:
www.klimaexwest.de

Dietrich Balzer, Frieder Sieber, Dieter Skrobotz

Die Einheit von Künstlicher Intelligenz und Allgemeiner Technologie als Koordinator von Innovationsprozessen

1. Einleitung

Der Begriff Innovation ist bekanntlich vom lateinischen Verb *innovare* (erneuern) abgeleitet. Erneuerungsprozesse bei Produkten und Systemen zu betreiben, bindet einen großen Teil der Aktivitäten in der heutigen Wirtschaft, weshalb dem Innovationsmanagement eine besondere Bedeutung für die Stabilität von Wirtschaft und Gesellschaft zukommt. Entscheidend für sein erfolgreiches Wirken ist Interdisziplinarität im Sinne der Zusammenarbeit zwischen Natur-, Technik- und Sozialwissenschaften (LIFIS 2018).

Bisherige Vorstellungen zur Bedeutung und Wirkung von Innovationen für die Wirtschaftsentwicklung gingen vor allem von *Transferinnovationen* aus, bei denen Firmen und Organisationen sich bereits vorhandenes Wissen zu eigen machen und es auf ihre Produkte oder Prozesse anwenden (,Technologietransfer'). Gegenwärtig ist das Innovationsmanagement deshalb vor allem auf die Erschließung von Wissensquellen und die Vermittlung von Partnerschaften mit Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen, als vorrangige Quelle für neuartige Technologien und Problemlösungen, orientiert.

Inzwischen hat aber ein *deutlicher Paradigmenwechsel* eingesetzt: Wissenschaft, Firmen und Organisationen können sich in einer zunehmend vernetzten Welt mit weit verteiltem Wissen nicht nur auf ihre eigene Innovationskraft verlassen, sondern sind verstärkt auf die Integration und Nutzung externer Informationen und Kompetenzen angewiesen. Forschung und Entwicklung nimmt zunehmend einen kollektiven Charakter an. Gegenwärtig setzt sich daher immer deutlicher das Paradigma der *Open Innovations'* durch. Diese sind davon gekennzeichnet, dass Innovationen nicht nur in der geschlossenen Struktur einer Organisation, oftmals unter strenger Geheimhaltung, entstehen, sondern in einem kooperativ- kreativen Prozess unter Beteiligung verschiedener, auch wirtschaftlich unabhängiger Partner (,offen'). Diese Organisationen bilden vielfach eine territorial verteilte Struktur mit heterogener Vernetzung. Das Ergebnis des innovativen Prozesses kann dann durchaus wieder dem Schutzrecht unterliegen.

Die bisherige Fokussierung auf *Verbesserungs- und Anpassungsinnovationen* wird schrittweise aufgegeben, und das Erreichen völlig neuartiger Lösungen im Sinne von *Sprung- oder Basisinnovationen* in den Mittelpunkt gerückt.

Entsprechende Kompetenzen und leistungsfähige Innovationsmethodiken für einen solchen Qualitätssprung stehen in der Praxis noch nicht oder nicht in ausreichend in breitem Maße zur Verfügung. Damit fehlt eine entscheidende

Grundlage dafür, in der aktuellen Wirtschaftsentwicklung Innovationsstrategien tiefgreifend und nachhaltig zu gestalten. Klein- und mittelständische Unternehmen sind aus diesen Gründen oft nicht in der Lage, vorhandene Innovationspotentiale zu erkennen und zu nutzen, eigene innovative Produkte, Prozesse und Strategien zu entwickeln und als Partner in komplexeren Projekten mitzuwirken.

Die territorial verteilte Struktur mit heterogener Vernetzung der Partner, die typisch für ‚Open Innovations‘ ist, bedeutet außerdem, dass in einem konkreten kooperativen Prozess der Entwicklung neuer Lösungen, eine Vielfalt von Innovationsmethoden zu koordinieren sind.

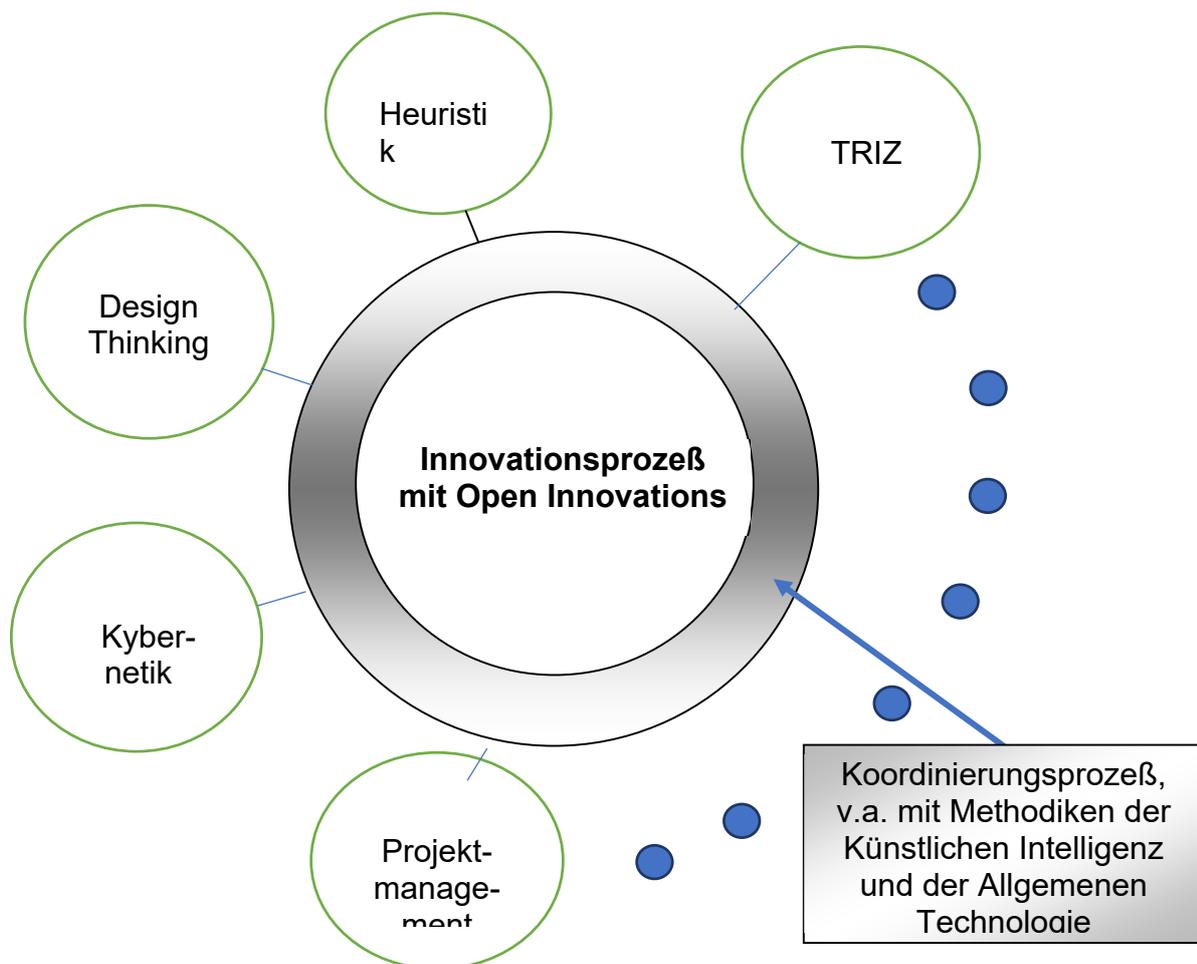


Bild 1: Open Innovations durch Koordinierung von Innovationsmethoden (eigene Darstellung)

Im Weiteren wird an zwei konkreten Beispielen automatisierter technologischer Systeme in der Prozessindustrie (Katalytische drucklose Verölung mit Sauerstoffinjektion, Nutzung von Restwärme zur Stromerzeugung) gezeigt, wie durch Koordinierung von Innovationsmethoden neue nachhaltige energie- und ressourceneffiziente technologische Systeme geschaffen und betrieben werden können

Ziel der angestrebten Sprung-Innovation war eine Anlage zur Erzeugung von Diesel aus organischen Abfällen, die in ein virtuelles Kraftwerk (Mikro grid) integriert werden kann. Die in einem BHKW aus Diesel erzeugte Energie (Strom und Wärme) wird, außer im virtuellen Kraftwerk, auch direkt vor Ort genutzt. Teure Energietrassen entfallen. Gleichzeitig werden im Vergleich zu zentralen Energieerzeugungs-anlagen die Transportkosten für die Input-Stoffe drastisch reduziert.

Künstliche Intelligenz im Zusammenhang mit Open Innovations ist das Teilgebiet der Informatik, welches sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens und dem Maschinellen Lernen befasst.

Allgemeine Technologie liefert die systemtheoretische Analyse des gesamten Lebenszyklus eines technologischen Systems (Forschung, Projektierung, Konstruktion, Realisierung, Betrieb, Entsorgung). Mit ihren Erkenntnissen zur einer übergreifende Systematik technischer Funktions- und Strukturprinzipien ist sie ein wichtiges Element für die Entwicklung disruptiver Lösungen mit neuartigen technologischen Ansätzen..

2. Ein Koordinierungsalgorithmus für kontinuierliche technologische Systeme

Der im Koordinierungsprozess verwendete Algorithmus hat die Aufgabe, Innovationsprinzipien und -Methoden sinnvoll miteinander zu kombinieren und Synergien daraus zu nutzen.

Die Schaffung eines optimalen kontinuierlichen technologischen Systems besteht aus 4 Schritten (s. Bild 2). Für die Lösungsfindung im vorliegenden Fall wurden in jedem Schritt die Innovationsmethoden der Allgemeinen Technologie und der Künstlichen Intelligenz koordiniert genutzt.

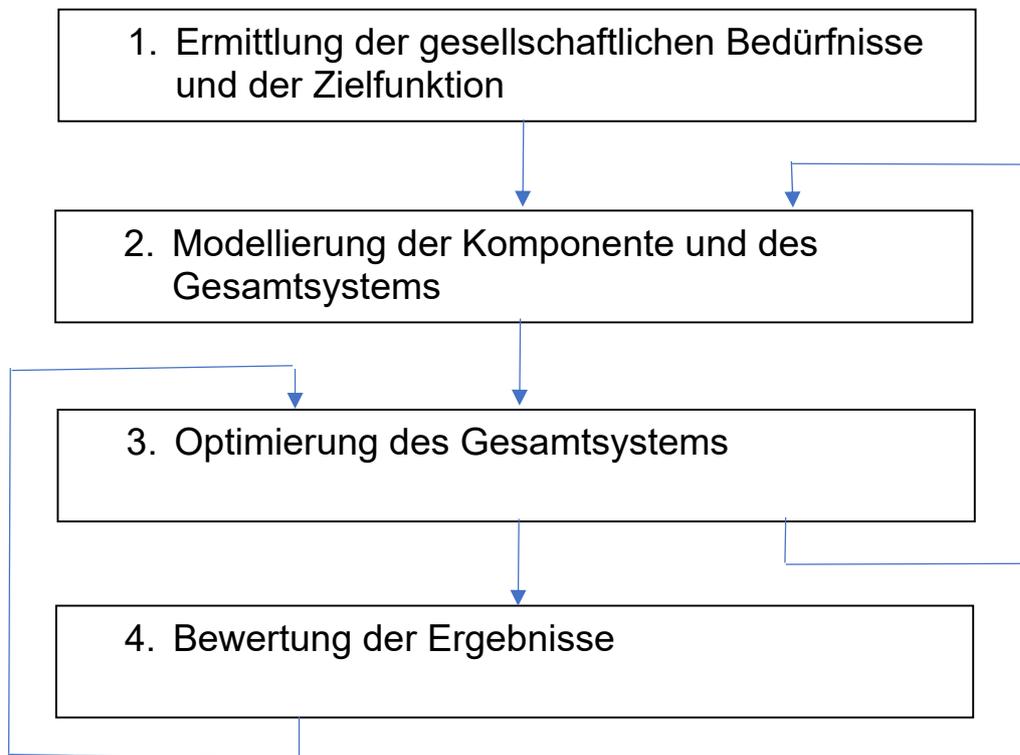


Bild 2: Lösungsalgorithmus (Eigene Darstellung)

Innerhalb des Lösungsalgorithmus existieren Rückführungen. Jeder Schritt beinhaltet sowohl mathematische als auch heuristische Methoden sowie methodische Schritte der Künstlichen Intelligenz.

Das Prinzip des in allen Schritten angewandten Koordinierungs-algorithmus beruht auf der Anwendung von *Erfahrungen aus der Entwicklung echtzeitfähiger Expertensysteme*, vor allem dem dafür typischen Wissensmanagement. Durch den gezielten Einsatz von Erkenntnissen aus diesem Gebiet kann die koordinierte Anwendung von unterschiedlichen Innovationsmethodiken auch aus anderen Bereichen erreicht werden.

Die *Allgemeine Technologie** ist die Wissenschaft von den allgemeinen Funktions- und Strukturprinzipien der technischen Sachsysteme und ihrer soziokulturellen Entstehungs- und Verwendungszusammenhänge.

Sie verbindet natur- und technikwissenschaftliches Wissen einerseits mit gesellschaftswissenschaftlichem Wissen andererseits. Für Open Innovations ist besonders der letztere Aspekt wichtig, weil bei innovativen Projekten in Zukunft vor allem die gesellschaftliche Notwendigkeit und Nützlichkeit einer neuen Lösung im Mittelpunkt stehen wird.

in den hier vorgestellten Fällen nutzen wir die systemtheoretischen Modellvorstellungen der Allgemeinen Technologie. Dabei spielt die mathematische Modellierung technischer Systeme eine besondere Rolle. Die Methodik der mathematischen Modellierung basiert auf Bilanzgleichungen. Die Bilder 3 und 4 zeigen die bei der mathematischen Modellierung verwendeten Beziehungen.

* Bezüglich der Allgemeinen Technologie beziehen wir uns hier vor allem auf die die Kolloquien zur Allgemeinen Technologie an der Technischen Hochschule

Leipzig, über die in den Wissenschaftlichen Berichten der Technischen Hochschule von 1977 bis 1990 (TH Leipzig 1977-1990) berichtete wurde, und die Ergebnisse des Arbeitskreises "Allgemeine Technologie" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften (Banse, Reher 2017)

Materialbilanz

$$\begin{array}{l}
 \boxed{\text{Die zeitliche Änderung des Stoffes } i \text{ in einem Volumen } V} = \boxed{\text{der durch Strömung zugeführten Stoffmenge } i} + \boxed{\text{der durch Diffusion zugeführten Stoffmenge } i} \\
 \\
 + \boxed{\text{der durch eine Quelle zugeführten Stoffmenge (für den Fall eines chemischen Reaktionssystems der im Verlauf von } m \text{ Reaktionen entstehenden Stoffmenge } i)}
 \end{array}$$

Bild 3: Grundgleichung der Materialbilanz (Eigene Darstellung)

Energiebilanz

$$\begin{array}{l}
 \boxed{\text{Zeitlicher Zuwachs an Energie im Volumen } V} = \boxed{\text{dem Volumen durch Strömung zugeführte Energie}} + \boxed{\text{dem Volumen durch Leitung zugeführte Energie}} \\
 \\
 + \boxed{\text{dem Volumen durch Diffusion zugeführte Energie}} + \boxed{\text{dem Volumen durch chemische Reaktion zugeführte Energie}}
 \end{array}$$

- Bild 4: Grundgleichung der Energiebilanz (Eigene Darstellung)

Die Nachbildung des menschlichen Denkprozesses bei der Automatisierung intelligenten Verhaltens und dem Maschinellen Lernen erfolgt einerseits durch regelbasierte Systeme und andererseits durch Neuronale Netze. Bei der Darstellung der Methoden der Künstlichen Intelligenz gingen wir davon aus, dass in erster Linie echtzeitfähige Expertensysteme für die Projektierung und Prozesssteuerung zum Einsatz kommen, deren Grundstruktur seit 1992 Bestand hat und auf Bild 4 gezeigt wird (vgl. Balzer et al. 1992) Der Entwickler und der Benutzer des Expertensystems ist oft ein und dieselbe Person.

Grundarchitektur von Expertensystemen

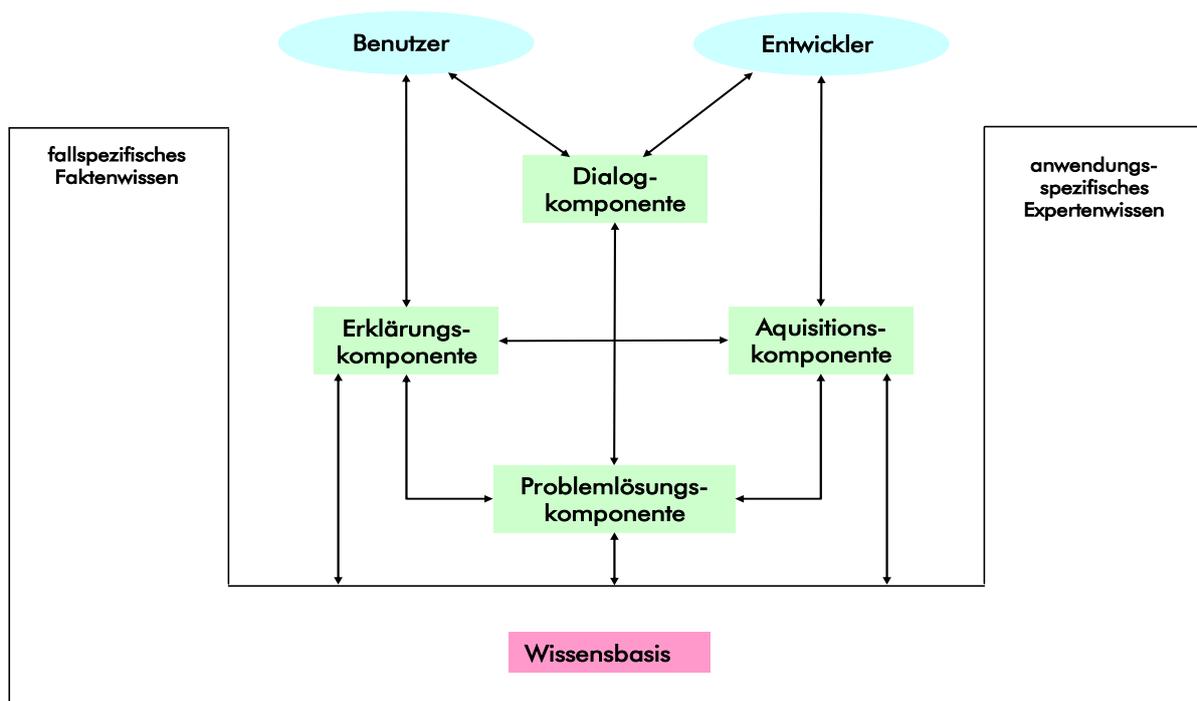


Bild 5: Echtzeitfähige Expertensysteme zur Lösung von Steuerungsaufgaben (Balzer, D. 1992)

In Tabelle 1 werden die Funktionen der Komponenten des auf Bild 5 dargestellten Expertensystems erläutert.

Grundkomponente	Grundfunktion	Erläuterung
Wissensbasis	Wissensrepräsentation	enthält das anwendungsspezifische Wissen
Problemlösungskomponente	Wissensmanipulation	beruht auf Theorien und Strategien zur Lösung von Aufgaben in bestimmten Problemklassen
Akquisitionskomponente	Wissensakquisition	unterstützt den Experten bei der Entwicklung von Wissensbasen
Erklärungskomponente	Erklärung	erklärt dem Entwickler bzw. Nutzer einen Lösungsweg
Dialogkomponente	Dialog	kommuniziert mit dem Entwickler bzw. Nutzer

Tab.1: Erläuterung der Funktionen des Expertensystems (Eigene Darstellung)

Die online erfassten Prozessdaten der zu steuernden und zu beobachtenden technologischen Anlage werden als fallspezifisches Faktenwissen in die Wissensbasis übertragen. Das anwendungsspezifische Expertenwissen besitzt folgende Wissensformen:

- **Assoziatives Oberflächenwissen** als logische Beziehungen zwischen Prozessmerkmalen und Schlussfolgerungen in Form von Regeln: Symptome-Situationen, Situationen-Steuerungen, Steuerungen-Wirkungen)
- **Qualitatives Tiefenwissen** als relationale Modelle der Struktur (Abstraktion, Aggregation, Kopplung, Sicht) und Funktion (Kausalketten, Normalverhalten, Fehlverhalten) von Steuerungsobjekt und Steuerungssystem
- **Quantitatives Tiefenwissen** als analytische Modelle des Systems (Mathematische Modelle für die Beschreibung von Übertragungsverhalten und Zustandsverhalten)

Dieses Wissen spielt bei der Koordinierung von Innovationsmethoden eine wichtige Rolle.

Während das Oberflächenwissen in der Regel aus Erfahrungen des Betreibers der Anlage abgeleitet wird stellt das Tiefenwissen das Ergebnis einer mathematisch-naturwissenschaftlichen Analyse des Steuerungsobjektes dar.

Ein Beispiel für assoziatives Oberflächenwissen bezogen auf die Steuerung der im Pkt. 3 beschriebenen KDV-Anlage ist:

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

Bild 6 zeigt als allgemeines Beispiel für qualitatives Tiefenwissen die Struktur eines aus 3 Teilsystemen bestehenden Gesamtsystems.

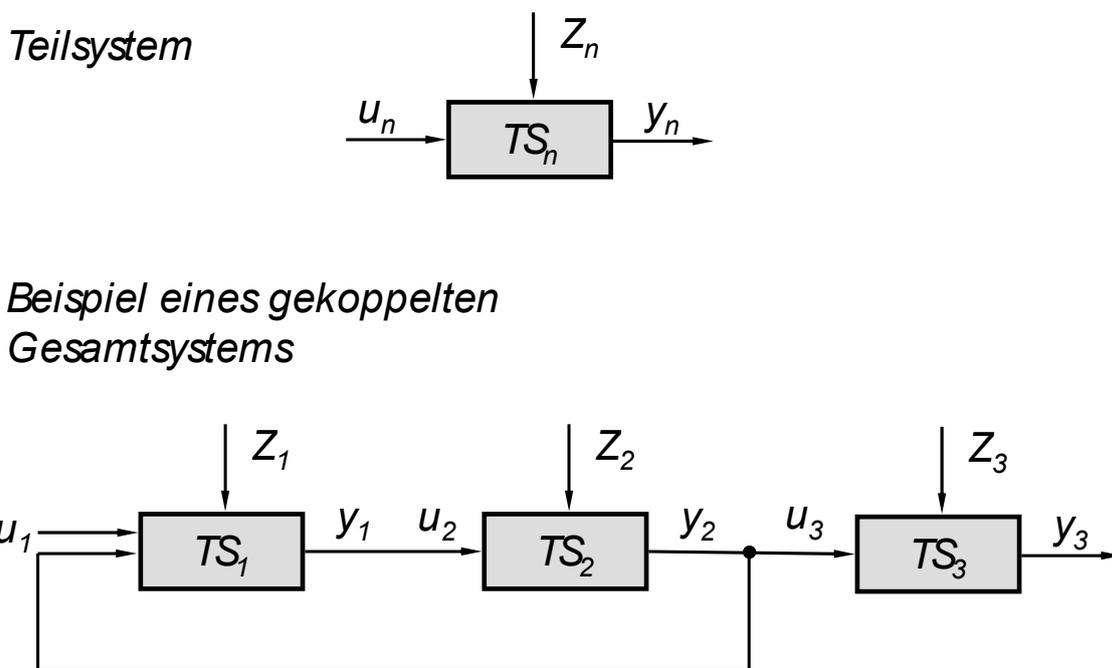


Bild 6: Beispiel für qualitatives Tiefenwissen (Eigene Darstellung)

z_n – Vektor der Störgrößen, u_n - Vektor der Steuergrößen, y_n – Vektor der Ausgangsgrößen

Tabelle 2 beschreibt die Vor- und Nachteile der verschiedenen Wissensformen.

Wissensform	Vorteile	Nachteile
Assoziatives Oberflächenwissen	Integration von Erfahrungen (Einfache Modellierbarkeit), mittlerer	höhere Spezialisierung (eingeschränkte Wiederverwendbarkeit),

	Rechenaufwand (gute Echtzeitfähigkeit), explizites Wissen (Regeln, Erklärbarkeit)	Erfassung aller Fälle notwendig (Vollständigkeit nicht garantiert)
Qualitatives Tiefenwissen	höhere Universalität (gute Wiederverwendbarkeit), Erfassung auch unvorgesehener Fälle (Vollständigkeit), explizites Wissen (gute Erklärbarkeit)	hoher Rechenaufwand (eingeschränkte Echtzeitfähigkeit), Darstellung einfacher Zusammenhänge (eingeschränkte Modellierbarkeit von Zusammenhängen)
Quantitatives Tiefenwissen	Darstellung komplizierter Zusammenhänge (gute Nachbildung durch mathematische Modelle, Ableitung von Regeln), verwendbar für Simulation, Projektierung und Steuerung (hohe Adäquatheit der Modelle)	hoher Rechenaufwand (eingeschränkte Echtzeitfähigkeit), implizites Wissen (schwierige Erklärbarkeit).

Tab.2: Vor- und Nachteile der verschiedenen Wissensformen (Eigene Darstellung)

3. Anwendungsbeispiel 1: 'Katalytische drucklose Verölung mit Sauerstoffinjektion'

Im Folgenden wird die Leistungsfähigkeit des Koordinierungsalgorithmus mit seinen Schritten am Beispiel der Innovation 'Katalytische drucklose Verölung mit Sauerstoffinjektion' dargestellt.

3.1 Ermittlung der gesellschaftlichen Bedürfnisse und der Zielfunktion

Das bisherige technologische Schema der katalytischen drucklosen Verölung ist auf Bild 7 dargestellt. Damit ist der Ausgangspunkt des ersten Schrittes des Koordinierungsalgorithmus zur Ermittlung der Open Innovation definiert.

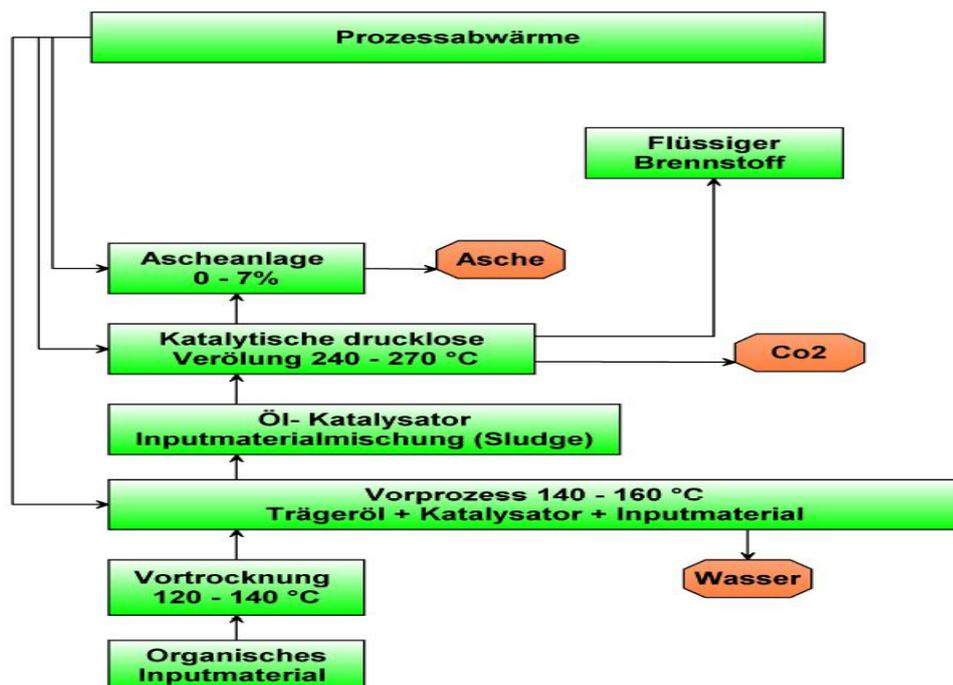


Bild 7: Bisheriges Prinzipschema der Technologie zur katalytischen drucklosen Verölung (vgl. Alphakat, Vesper, Aumos, TUD 2015)

Für dieses verfahrenstechnische System der katalytischen drucklosen Verölung (KDV) besitzt die Firma Alphakat GmbH ein Hauptpatent DE 100 49 377 und mehrere weitere Patente der letzten Jahre. Diese KDV-Anlage zur Erzeugung von

Diesel aus organischen Abfällen soll in ein virtuelles Kraftwerk (Mikro grid) integriert werden. Die vor Ort in einem BHKW aus Diesel erzeugte Energie (Strom und Wärme) wird auch vor Ort genutzt. Teure Energietrassen entfallen. Gleichzeitig werden im Vergleich zu zentralen Energieerzeugungsanlagen die Transportkosten für die Input-Stoffe drastisch reduziert.

Zentrale Elemente der KDV-Anlage sind eine Turbine(Turbogenerator) für die Erzeugung von Diesel, ein Separator und eine Destillationskolonne zur Trennung des Diesels von den übrigen Kohlenwasserstoffen (s. Bild 8).

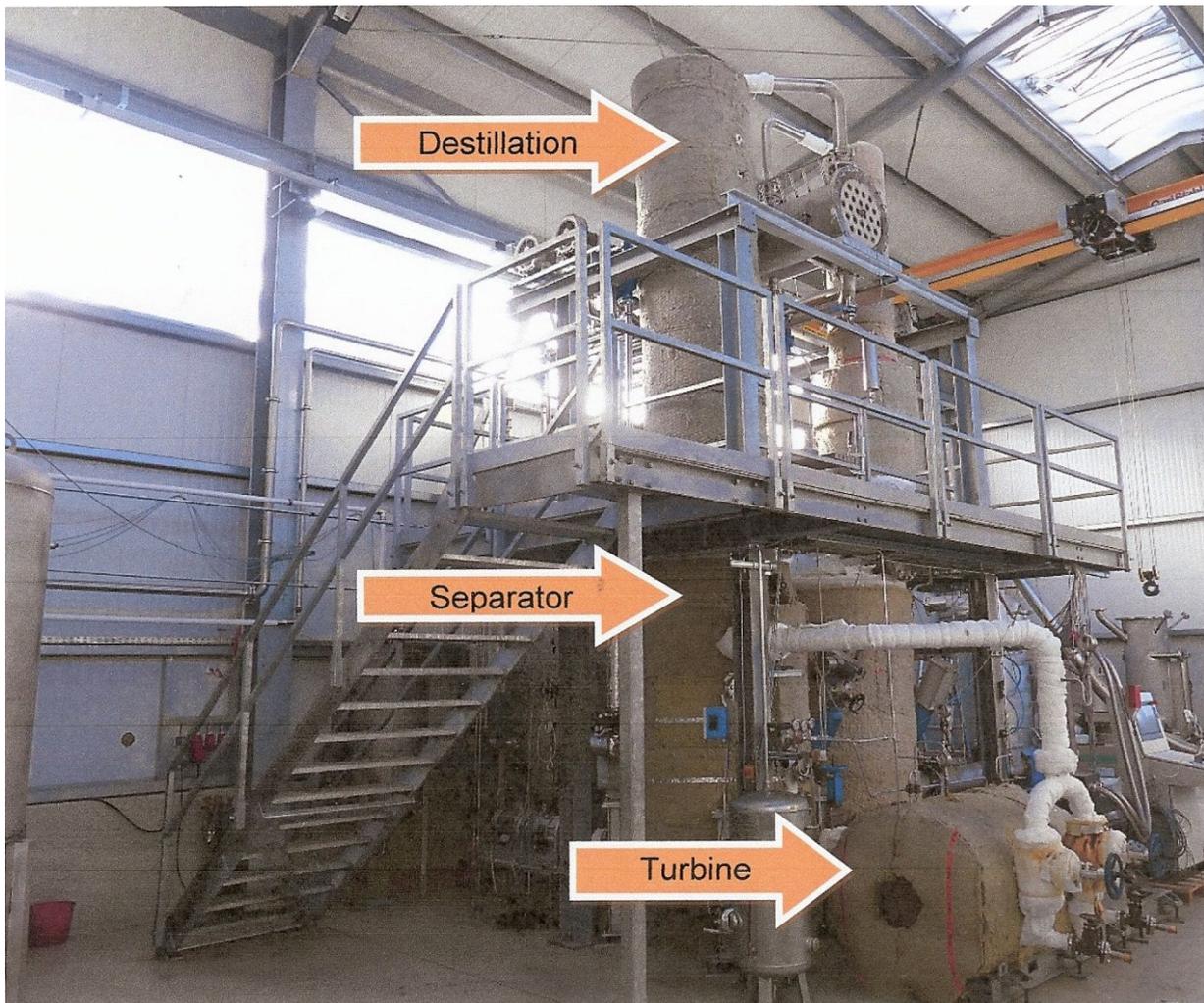
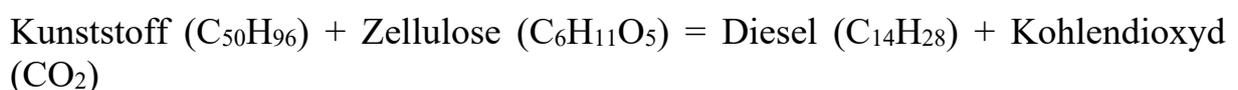


Bild 8: Außenansicht der KDV-Anlage (vgl. Alphakat, Vesper, Aumos, TUD 2015)

In der Turbine laufen tribochemische katalytische Reaktionen der Stoffumwandlung vor allem als Depolymerisation und Polymerisation ab. Die chemische Summgleichung der Depolymerisation ohne Beachtung der stöchiometrischen Koeffizienten lautet:



Die chemische Summengleichung der Polymerisation ebenfalls ohne Beachtung der stöchiometrischen Koeffizienten lautet:

Zellulose ($C_6H_{11}O_5$) = Diesel ($C_{14}H_{28}$) + Kohlendioxyd (CO_2) + Wasserstoff (H)

Hauptmerkmale der bisherigen verfahrenstechnischen Anlage auf der Basis des oben genannten Patenten sind:

- Katalytische Prozesse laufen bei niedrigen Temperaturen ab
- Keine Bildung von Dioxinen (Umweltschutz)
- Inputstoffe sind sowohl biogene (Stroh, Holz u.a.) als auch hochkalorische (Kunststoffe u.a.) Abfall- und Reststoffe

Beim Betreiben dieser Anlage traten folgende Probleme auf:

- Die Produktivität der Anlage ist zu gering
- Für die Erzeugung von Regelenergie in einem virtuellen Kraftwerk sind die möglichen Änderungsbereiche der Leistungsparameter zu gering
- Die Änderungsgeschwindigkeit der produzierten Dieselmenge/Zeiteinheit ist auf Grund der großen Totzeiten und Zeitkonstanten für die Erzeugung von Regelenergie nicht ausreichend gering.

Das gesellschaftliche Bedürfnis besteht darin, diese Probleme zu lösen, um einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende zu liefern. Alle Bedürfnisse wurden mit Hilfe regelbasierter Systeme der Künstlichen Intelligenz und mit Hilfe einer Strukturanalyse im Rahmen der Allgemeinen Technologie in Form von Zielfunktionen quantifiziert.

3.2 Methodik der mathematischen Modellierung der Friktionsturbine

Im Rahmen des zweiten Schrittes des Koordinierungsalgorithmus wurde das theoretische mathematische Modell, das die in der Friktionsturbine mit Sauerstoffinjektion ablaufenden chemisch-katalytischen und physikalischen Prozesse beschreibt und universell nachbildet, unter Verwendung der Grundgleichungen für die Material- und Energiebilanz (s. Bilder 3 und 4) erstellt.

•

In Abhängigkeit von der Verweilzeitverteilung als universelle Charakteristik der Hydrodynamik existieren in der Friktionsturbine 3 Teilsysteme. Im Bereich der Turbinenschaufeln haben wir ein System mit idealer Durchmischung. In den Bereichen der Zuführung und der Abführung des Reaktionsgemisches haben wir ein System mit eindimensionaler Diffusion in Bewegungsrichtung. Das bedeutet, dass wir 2 Typenmodelle verwenden, die wir im Weiteren erläutern werden:

- Eindimensionales Diffusionsmodell für die Bereiche der Zuführung und Abführung des Reaktionsgemisches

- Ideales Mischungsmodell für den Bereich der Turbinenschaufeln

Aus den Modellen der Zuführung des Reaktionsgemisches, des Raumes der Turbinenschaufeln und der Abführung des Reaktionsgemisches wird ein Gesamtmodell erstellt, indem diese 3 Modelle in Reihe geschaltet werden.

Eindimensionales Diffusionsmodell

Materialbilanzen:

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

- Konzentration der Komponente i
 - Temperatur
 - Reaktionsgeschwindigkeit auf der Basis der Formalkinetik bei Bildung bzw. Verbrauch der Komponente
- lineare Geschwindigkeit der Komponenten in der Friktionsturbine
- Längsvermischungskoeffizient in der Friktionsturbine
- Zeit
 - laufende Länge des Reaktionsraumes der Friktionsturbine

Der Koeffizient D_L wird aus der geschätzten oder experimentell ermittelten Verweilzeitverteilung $\varphi(\tau)$ unter Verwendung folgender aus der Hydrodynamik bekannten Gleichung bestimmt:

$$\varphi(\tau) = \frac{w}{\sqrt{4\pi D_L \tau}} \exp \left[-\frac{w^2 (\tau - \frac{L}{w})^2}{4D_L \tau} \right]$$

L - die Länge des Raumes der Zuführung bzw. der Abführung des Reaktionsgemisches

τ - Verweilzeit

Energiebilanz:

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

$T(t)$ - Temperatur

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

Ideales Mischungsmodell

Materialbilanzen:

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{V_i}{V_0} (x_i - x_{ie}) + f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, T) \quad (3)$$

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

$x_i(t)$ - Konzentration der Komponente i

$T(t)$ - Temperatur

x_{ie} - Konzentration der Komponente i am Eingang in die Friktionsturbine

\dot{V}_i - Menge der zugeführten Menge der Komponente i pro Zeiteinheit

V_0 - Inneres Volumen der Friktionsturbine

Wärmebilanz:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\sum_i V_i}{V_0} c(T - T_e) + \sum_i g_i f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, T) \quad (4)$$

T_e - durch eine Mischungsgleichung zu bestimmende mittlere Eingangstemperatur aller Komponenten

c - Spezifische Wärme des Mediums im Reaktionsraum

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

Sowohl für das eindimensionale Diffusionsmodell als auch für das ideale Mischungsmodell wurden für folgende Komponenten Bilanzgleichungen unter Verwendung der Beziehungen (1) bis (5) aufgestellt:

Kunststoff ($C_{50}H_{96}$), Zellulose ($C_6H_{11}O_5$), Diesel ($C_{14}H_{28}$) + Kohlendioxyd (CO_2)

Wasserstoff (H_2), Sauerstoff (O_2)

Für beide Modelle müssen noch die Anfangs- und Randbedingungen formuliert werden, was aber grundsätzlich keine Schwierigkeiten bereitet. Außerdem sind noch die Wärmeverluste in der Zu- und Abführung in Gleichung (2) zu bestimmen. Darüber hinaus muss noch die durch Reibung der Turbinenschaufeln mit dem Reaktionsgemisch zugeführte Wärme in Gleichung (4) berechnet werden. Die Menge an zugeführtem Sauerstoff als Funktion der Zeit geht in die Randbedingungen ein.

Eine Simulation bzw. Nachbildung des dynamischen und statischen Verhaltens der Friktionsturbine mit dem Ziel der Prozessoptimierung, -stabilisierung und -sicherung sowie der Prognose erfolgt durch gleichzeitige Lösung der oben dargestellten Differentialgleichungssysteme (1) bis (4).

3.3 Optimierung des Gesamtsystems

Im Rahmen der Optimierung des Gesamtsystems wurde die Nutzung folgender Innovationsmethoden koordiniert: TRIZ, Künstliche Intelligenz, Allgemeiner Technologie, Paradigmenwechsel, Kybernetik.

Die Anwendung von TRIZ (Theorie der Lösung von Erfindungsaufgaben) basiert auf den dialektischen Prinzipien der Lösung von Widersprüchen, der Negation der Negation und dem Übergang der Quantität in eine neue Qualität (vgl. LIFIS 2017, Buchmann 2012)

Zur Lösung der im Pkt. 3.1 beschriebenen Probleme beim Betreiben der Anlage wurden für die Rekonstruktion und für die Steuerung der Anlage TRIZ-Methoden in Kombination mit Methoden der Künstlichen Intelligenz und der Allgemeinen Technologie eingesetzt.

Im Laufe des Lösungsprozesses wurden folgende dialektische Widersprüche (nach TRIZ) behandelt.

Der Widerspruch zwischen Sollwert und Istwert beim Betreiben einer technologischen Anlage ist ein charakteristischer dialektischer Widerspruch in der Prozessindustrie. Das trifft natürlich auch auf die katalytische drucklose Verölung zu,

Der Sollwert ist eine zeitabhängige Funktion, die als Vorgabe für einen zu messenden Istwert dient. In unserem Fall ist das z.B. der Durchsatz an Diesel am Ausgang der Destillationskolonne in Abhängigkeit von der Zeit.

Der Widerspruch zwischen Zuverlässigkeit und Wartungsaufwand besteht darin, dass aus ökonomischen Gründen die Zuverlässigkeit der technologischen Anlage, bestehend aus Steuerungsobjekt und Steuerungssystem, zu erhöhen und der Wartungsaufwand für Hardware und Software zu reduzieren ist

Der Widerspruch zwischen Funktionalität und Bedienkomfort ist darauf zurückzuführen, dass mit steigender Anzahl und Kompliziertheit der durch den Operator zu verwaltenden Funktionen des Steuerungssystems, die ihrerseits gleichzeitig miteinander verknüpft sind, die Übersichtlichkeit und Sicherheit bei der Einschätzung von Situationen zunehmend verloren geht. Das führt dazu, dass die Gefühlswelt des Operators durch Stress und Angst bestimmt wird, was zwangsläufig zu einer Reduzierung der Zuverlässigkeit der Operator-Prozess-Kommunikation führt.

Zur Lösung dieser Widersprüche wurden folgende innovative Grundprinzipien der Allgemeinen Technologie und der Künstlichen Intelligenz eingesetzt:

- Dynamisierung des Gesamtsystems und seiner Teile

- Einführung von Rückkopplungen
- Zerlegung des Gesamtsystems in Teilsysteme
- Universalität durch Nutzung von quantitativem Tiefenwissen (Mathematische Modelle)
- Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften
- Anwendung starker Oxydationsmittel
- Prinzip des "Vermittlers"

Aus den oben beschriebenen dialektischen Widersprüchen wurde als erstes der Widerspruch bzw. die fehlende Übereinstimmung zwischen Sollwert und Istwert behandelt. Dabei spielte die innovativen Grundprinzip **„Veränderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften“** und **„Anwendung starker Oxydationsmittel“** eine entscheidende Rolle. Unter Nutzung der Kenntnisse und Erfahrungen aus anderen katalytischen Prozessen mit Gleichgewichtsreaktionen wurden die Eigenschaften der Inputstoffe und damit der Zwischen- und Endprodukte dahingehend geändert, dass durch die Zuführung von Sauerstoff erstens eine Beschleunigung der katalytischen Reaktionen erreicht wurde und dass zweitens durch den Sauerstoff als starkes Oxydationsmittel hervorgerufene Oxydationsprozesse eine zusätzliche Wärmezuführung erfolgte. Das hatte den Vorteil, dass die Produktivität der Anlage um ca. 30% erhöht wurde. Um den Ort und die Menge der Zufuhr von Sauerstoff genau zu bestimmen wurde das innovative Grundprinzip **„Universalität durch Nutzung von quantitativem Tiefenwissen (Mathematische Modelle)“** in Form von mathematischen Modellen angewendet. Dadurch war es möglich, die wesentlichen Eigenschaften einer Friktionsturbine mit Sauerstoffinjektion vorherzusagen und gleichzeitig die konstruktiven Parameter der Friktionsturbine zu bestimmen (s. Bild 7).

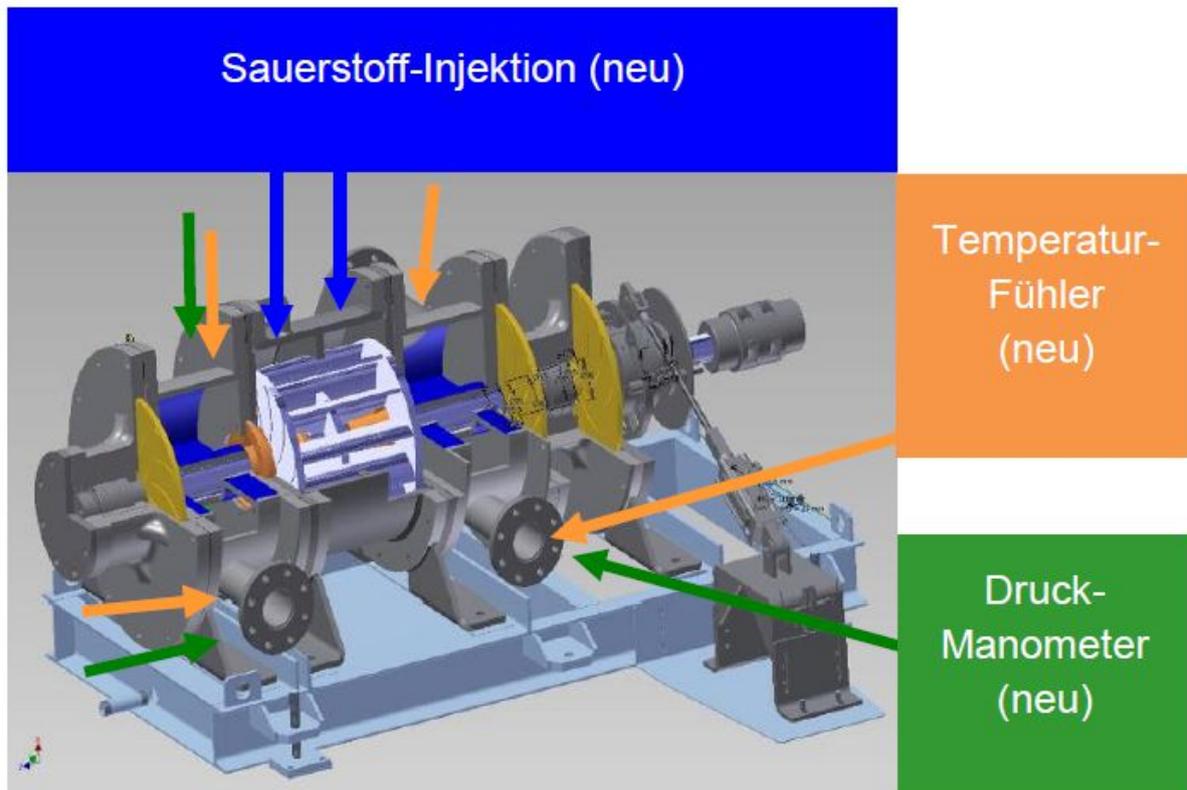


Bild 9: Neue Turbine mit Sauerstoffinjektion (vgl. Alphakat, Vesper, Aumos, TUD 2015)

Das war die Grundlage für ein Zusatzpatent. Als weitere innovative Grundprinzipien wurden die „**Einführung von Rückkopplungen**“ und die „**Dynamisierung des Gesamtsystems und seiner Teile**“ verwendet. Dabei wurde nach den Regeln der Kybernetik die Differenz von Soll- und Istwert als Eingangssignal für einen Informationsverarbeitungsalgorithmus verwendet. Das Ausgangssignal dieses Algorithmus dient als Steuergröße. Diese beiden Prinzipien führten zur Schaffung eines Systems der zentralen Steuerung dezentraler Anlagen zur katalytischen drucklosen Verölung mit Sauerstoffinjektion. Die Struktur dieses Systems entspricht der Struktur des Steuerungssystems für mobile Biogasanlagen, das auf Bild 4 des Artikels "TRIZ als eine Methode zur Analyse und Projektierung von umweltfreundlichen und nachhaltigen technologischen Systemen" (vgl. Balzer, Regen, Sieber, 2019) dargestellt ist.

Bei der Lösung des Widerspruchs zwischen Zuverlässigkeit und Wartungsaufwand wurde das innovative Grundprinzip „**Zerlegung des Gesamtsystems in Teilsysteme**“ angewendet. Nur durch diese Zerlegung in Teilsysteme kann eine Berechnung und Optimierung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems durchgeführt werden. Darüber hinaus macht eine solche Zerlegung eine sinnvolle Wartung und eine Ermittlung des Wartungsaufwandes erst möglich. Durch die jetzt mögliche quantitative Bewertung der

Zuverlässigkeit und des Wartungsaufwandes kann eine Systemoptimierung erfolgen.

Die Behandlung des Widerspruches zwischen Funktionalität und Bedienkomfort erfordert, wie bei der Bearbeitung des Widerspruches zwischen Soll- und Istwert, den Einsatz des innovativen Grundprinzips „**Universalität durch Nutzung von quantitativem Tiefenwissen(Mathematische Modelle)**“, denn nur adäquate mathematische Modelle können die Funktionalität nachbilden. In diesem Sinne könnte man auch die mathematische Modellierung als Anwendung des innovativen Grundprinzips „**Prinzip des Vermittlers**“ bezeichnen, denn das mathematische Modell „vermittelt“ zwischen Steuerungsobjekt und Operator. In der Kybernetik spricht man dabei von modellbasierter Steuerung.

Diese Nachbildung ist auch notwendig um den Bedienkomfort abschätzen und optimieren zu können. Außerdem wird das Grundprinzip „**Zerlegung des Gesamtsystems in Teilsysteme**“ zur Verbesserung der Übersichtlichkeit und damit zur Verbesserung des Bedienkomforts angewendet. Hier soll auf die Arbeit von A. M. Dvorjakin und R.R. Romanenko bezüglich der Generierung von Ideen bei der Lösung von Erfindungsaufgaben in der Programmierung zur Lösung des Widerspruches zwischen Funktionalität und Bedienkomfort hingewiesen werden (vgl. Дворянкин, А. М., Романенко, Р. Р. 2012).

Das eigentliche Ziel bei der Lösung des Widerspruches zwischen Funktionalität und Bedienkomfort ist die Optimierung der Mensch-Prozess-Schnittstelle im Sinne der Maximierung der Zuverlässigkeit dieser Schnittstelle. . Dabei spielen beim Einsatz der TRIZ-Software folgende Gesichtspunkte eine Rolle:

- Verwendung kognitiver Bilder (optische und akustische Darstellungen) für die Beschreibung von Situationen in der Anlage (z.B. Weltkugel, Darstellung der Natur, Gesichtsausdrücke für Freude, Wut, Ekel, Furcht, Verachtung, Traurigkeit, Überraschung u.a.))
- Unterstützung des menschlichen Problemlösungsprozesses (Wissensakquisition, -präsentation, -manipulation, -konsultation)
- Anpassung des Operator Interface an die kognitiven und sensormotorischen Fähigkeiten des Menschen durch Lösung von Widersprüchen (CAI)
- Schaffung einer Multimedia-Schnittstelle ohne praktische technische Beschränkungen (Hier: bimediale Schnittstelle: Sprache und Visualisierung)
- Realisierung einer Doppelstrategie: den Menschen auf Maschinen trainieren und die Maschine auf den Menschen einstellen

Diese Gesichtspunkte beschreiben auch das Zusammenwirken von kognitiver Psychologie und TRIZ bei der Lösung von Aufgaben der Kybernetik.

Bei der Entwicklung der zentralen Steuerung dezentraler Anlagen wurde zusätzlich eine Analyse von Paradigmenwechsel am Beispiel der Paradigmenwechsel-Kaskade Elektronik, Automatisierung, Verfahrenstechnik durchgeführt (s. Bild 10)

Paradigmenwechsel-Kaskade: Elektronik, Automatisierung, Verfahrenstechnik

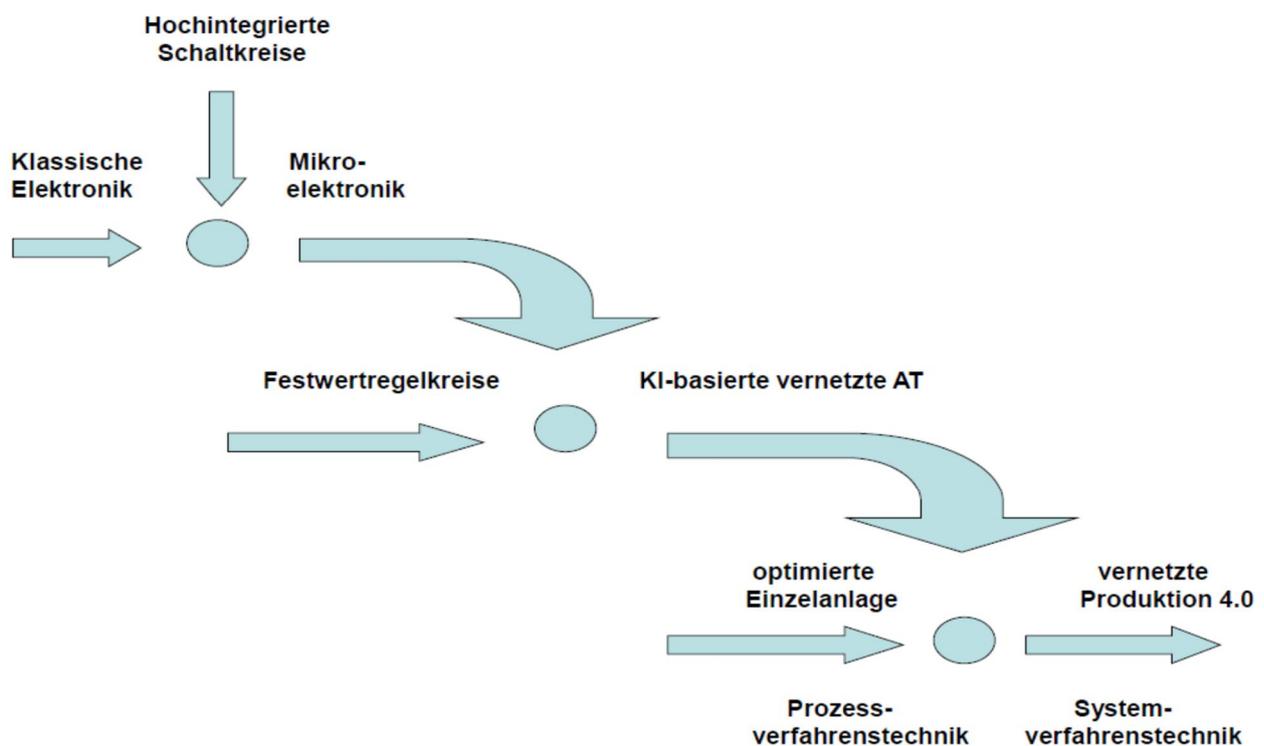


Bild 10: Analyse von Paradigmenwechseln (Eigene Darstellung)

AT-Automatisierungstechnik, KI-Künstliche Intelligenz

4. Anwendungsbeispiel 2 : Restwärmenutzung zur Stromerzeugung

4.1 Konzept der Umwandlung von Restwärme in elektrische Energie

Es geht in diesem Fall um einen neuen Ansatz zur Erhöhung der Energieeffizienz. Genau darin besteht das gesellschaftliche Bedürfnis, aus der die Zielfunktion abzuleiten ist. Die bei vielen industriellen Prozessen anfallende „Abwärme“ bzw. „Restwärme“ in Form von thermischer Energie auf aus energietechnischer Sicht niedrigem Temperaturniveau ($< 300 \text{ }^\circ\text{C}$, „Niedertemperaturwärme“) soll für die

Elektroenergiegewinnung nutzbar gemacht werden. Um Technologien für die Nutzbarmachung immer niedriger temperierter „Abwärme“ letztlich als Produkt erfolgreich platzieren zu können, benötigt man einen innovativen Ansatz und eine kostengünstige Lösung mit verbesserten technischen Parametern.

Ausgehend von dieser Einschätzung wurde die Patentanmeldung der Fa. Ackermann und Partner beim DPMA mit dem Aktenzeichen 10 2013 104 868.4 „Anordnung und Verfahren zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme in mechanische Energie“ als aussichtsreicher Ansatz für die Entwicklung einer neuen Variante zur Gewinnung von Elektroenergie aus Niedertemperaturwärme identifiziert.

Laut Patentbeschreibung besteht die Aufgabe der Erfindung in einer effizienten Umwandlung von Niedertemperaturwärme in mechanische bzw. elektrische Energie. Insbesondere sollen die Kondensationswärme in Kraftwerken, Abwärme und solar erzeugte Wärme als Energiequelle zu Bereitstellung mechanischer Energie genutzt werden können.

Das Verfahren zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme in mechanische Energie arbeitet mit einem gasförmigen Arbeitsmittel – vorrangig verdichteter Außenluft. Dazu wird von einer Wärmequelle Wärme mittels Wärmeübertrager auf das verdichtete Gas, insbesondere Luft, übertragen. Dabei dehnt sich das Gas aus, was zu einer Volumenvergrößerung und / oder Druckerhöhung des Gases führt. Nachfolgend wird das erwärmte Gas in einer Kraftmaschine entspannt und dabei mechanische Arbeit zur Erzeugung elektrischer Energie verrichtet.

Die Vorteile dieses Konzeptes gegenüber den bekannten Lösungen (ORC-Prozess, Stirling-Maschinen u.a.) sind:

- 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

In einem Heizkraftwerk soll dieses Konzept prototypisch umgesetzt werden (s. Abbildung 11).

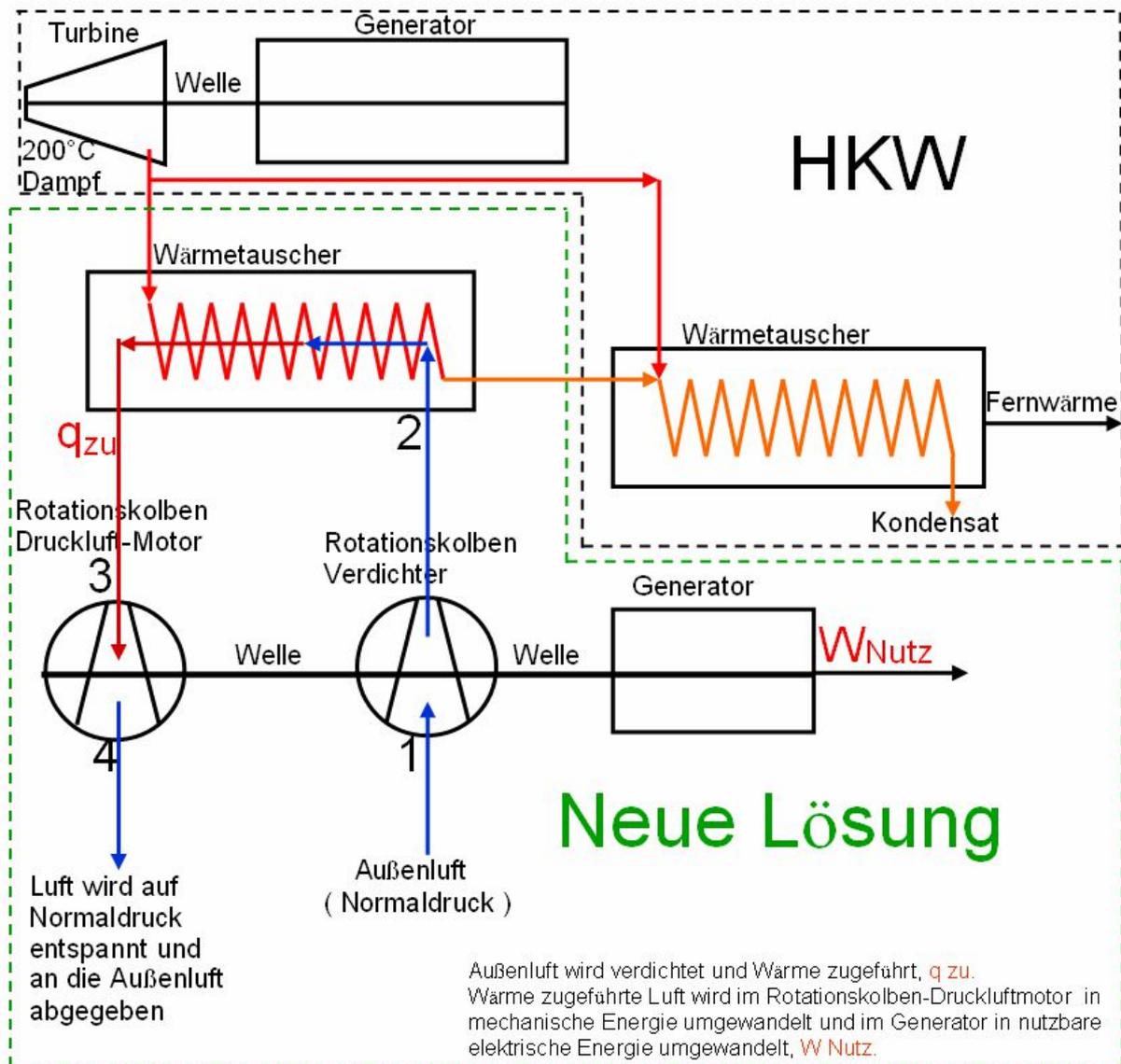


Bild 11: Nutzung von Niedertemperaturwärme in einem Heizkraftwerk (HKW) zur Stromerzeugung (vgl. ILK, Kunz, GAD ,2016)

Erhebliche Mengen an Niedertemperatur-Abwärme fallen in konventionellen Heizkraftwerken an. Dort wird durch die Verbrennung von Rohbraunkohle Elektroenergie und Wärmeenergie erzeugt. Mit der Wärme kann ein großer Teil einer Stadt mit Heizwärme und Warmwasser versorgt werden.

In einem abgeschlossenen System der Energieumwandlung wird zunächst im konventionellen Dampfturbinenprozess Dampf erzeugt, um eine Turbine für die Elektroenergie-Erzeugung anzutreiben. Nachdem der Dampf die Turbine verlassen hat, ist dieser entspannt und muss kondensiert werden. Dazu wird der Dampf durch einen Wärmetauscher geleitet, der das Wasser der Heiztrasse für die Wärmeversorgung aufheizt. Dem Dampf wird die Energie entzogen, er

kondensiert und kann wieder erhitzt werden, um ihn erneut als Dampf der Turbine zuzuführen. Damit gestaltet sich die Erzeugung von Elektroenergie abhängig von der Möglichkeit, den entspannten Dampf kondensieren zu lassen, mit anderen Worten: eine energieeffiziente Produktion von Elektroenergie ist nur möglich, wenn ausreichend Heizwärme abgenommen wird.

Um diesem Zustand abzuhelpen und die Elektroenergieerzeugung kontinuierlich und unabhängig von den Jahreszeiten gestalten zu können, soll eine Anlage entwickelt werden, die als Regelungs- bzw. Ausgleichselement in diesem Prozess fungiert und dabei idealerweise noch weitere Elektroenergie erzeugen kann. Mit der zu entwickelnden Anlage könnten sowohl die Dampferzeugung als auch die Erzeugung von Elektroenergie erheblich verstetigt werden. Wird im Wärmetauscher eine zu geringe Temperaturdifferenz zwischen abgegebenem und rückgeführtem Dampf erreicht, wird ein Teil des Dampfes umgeleitet und durch das zu schaffende Regelungselement dem Dampf Wärme entzogen. Die Abbildung 11 ist eine konkrete Untersetzung dieser Lösungsprinzips unter Nutzung von Rotationskolbenmaschinen (vgl. ILK, Kunz, GAD 2016).

4.2 Modellierung der Teilprozesse und des Gesamtsystems

Der Motor und der Verdichter sind mit einer starren Welle verbunden. Es ist die Frage zu beantworten, wie hoch der zu erwartende Wirkungsgrad bzw. die Machbarkeit der Anlage zur Restwärmenutzung ist. Zu diesem Zweck wurde der zugrunde liegende Kreislaufprozess thermodynamisch analysiert (. Den entsprechenden Prozessverlauf (Übergänge zwischen vier thermodynamischen Zuständen) zeigt die Bild 12.

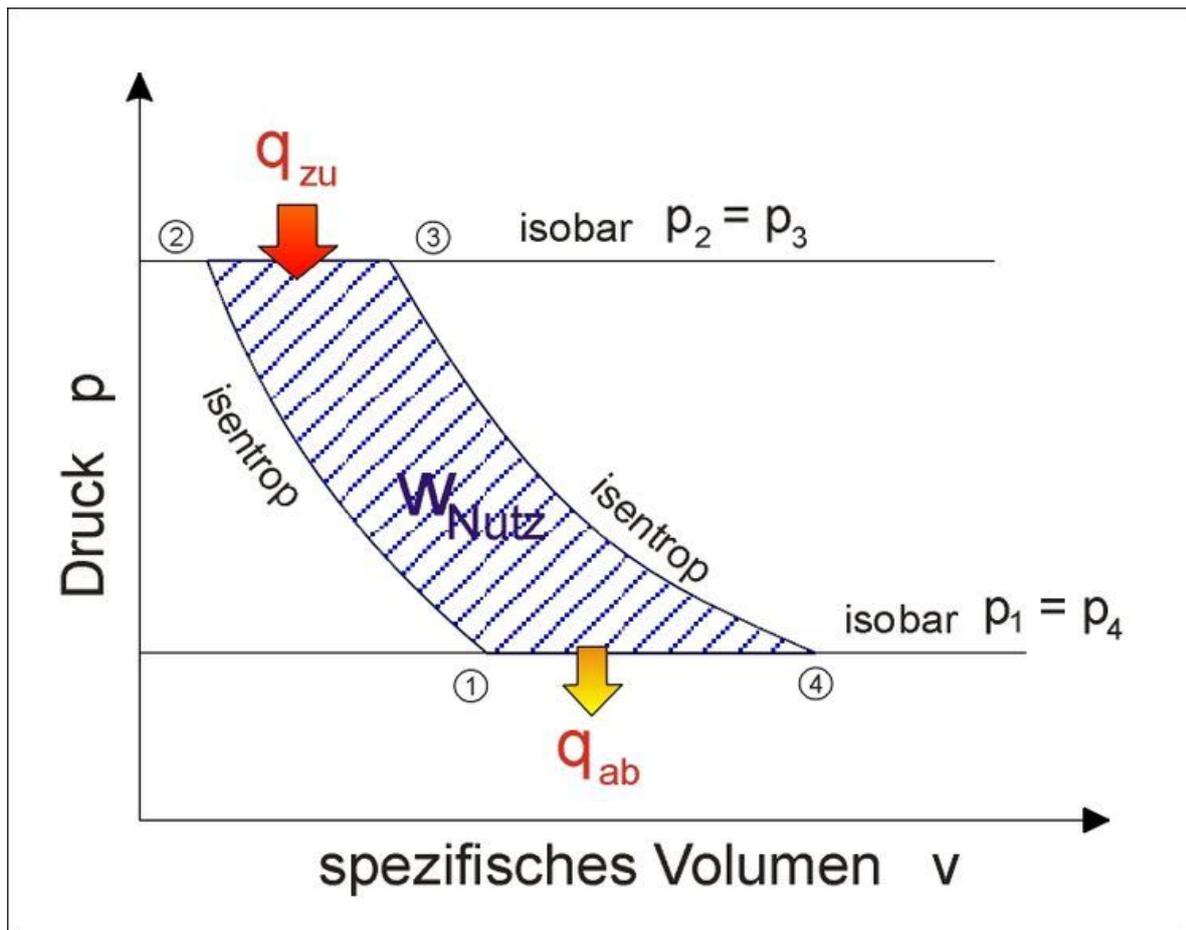


Bild 12: Thermodynamische Analyse des Prozessverlaufs (vgl. ILK, Kunz, GAD (2016))

Um die im Prozess der Restwärmenutzung gewonnene Arbeit zu ermitteln, betrachten wir die Übergänge zwischen den in Bild 12 dargestellten Zuständen. Für die thermischen und energetischen Abschätzungen wurden folgende Prozessberechnungen auf der Basis von mathematischen Modellen durchgeführt, die im Einzelnen aus Platzgründen aber nicht dargestellt werden sollen:

Isentrope Kompression Zustand ① → Zustand ②

Die Verdichtungsendtemperatur T_2 nach der isentropen Kompression berechnet sich unter Nutzung der bekannten thermodynamischen Beziehungen aus der Eintrittstemperatur T_1

Isobare Erwärmung ② → ③

Die isobare Erwärmung der komprimierten Luft erfolgt in einem Wärmetauscher, der einen Teil der Abwärme q_{zu} an die komprimierte Luft überträgt. Dabei werden Wärmebilanzgleichungen verwendet, die nach den auf der Abbildung 10 dargestellten Prinzipien erstellt wurden.

Isentrope Expansion ③ → ④

Die Endtemperatur nach der isentropen Expansion T_4 berechnet sich analog wie bei der isentropen Kompression aus der Anfangstemperatur der Expansion T_2 . Aus der Differenz der Anfangs- und der Endtemperatur, der isochoren spezifischen Wärmekapazität und dem Expander-Wirkungsgrad berechnet sich die spezifische Abtriebsarbeit des Expanders q_{ab} .

Es treten folgende Probleme beim Betreiben der Lösung auf.

Bei

$$q_{zu} \geq q_{ab}(W_{NUTZ}) + \text{Reibungsverluste} \quad (5)$$

erhöht sich die Drehgeschwindigkeit der Welle kontinuierlich (Fehlende Stabilität), was zu einer Zerstörung des Systems führen kann.

Bei

$$q_{zu} \leq q_{ab}(W_{NUTZ}) + \text{Reibungsverluste} \quad (6)$$

ist die Betriebsfähigkeit des Systems nicht gegeben.

Auf Grund dieser Probleme konnte das System der Restwärmenutzung zur Stromerzeugung noch nicht realisiert werden. Es muss ein Steuerungssystem entwickelt werden, mit dessen Hilfe die Bedingung

$$q_{zu} = q_{ab}(W_{NUTZ}) + \text{Reibungsverluste} \quad (7)$$

erfüllt wird.

4.3 Optimierung des Gesamtsystems und seiner Komponenten

Der Optimierungsprozess besteht hier in der Koordinierung folgender Innovationsmethodiken: TRIZ, Allgemeine Technologie, Kybernetik, Projektmanagement.

Grundlage sind noch vorhandene dialektische Widersprüche, die durch die Anwendung innovativer Grundprinzipien beseitigt werden, wodurch ein Zusatzpatent entwickelt werden konnte.

Ohne ein Steuerungssystem kann die neue Lösung nicht betrieben und nicht auf dem Markt angeboten werden, da die Stabilität des Gesamtsystems und die geforderten Parameter nicht eingehalten werden können. Das ist vor allem auf folgendes zurückzuführen:

- Die Zielfunktionen und die Nebenbedingungen sind nicht stationär sondern stark zeitabhängig. Eine Nachführung muss zeitoptimal und mit hoher Genauigkeit erfolgen.
- Die Prozessgrößen „Durch den Verdichter transportierte Luftmenge pro Zeiteinheit“ und „Drehzahl der Welle“ besitzen eine positive Rückkopplung, was zu Instabilitäten führen kann.
- Die beiden Wärmetauscher (Neue Lösung und HKW) sind technologisch in Reihe geschaltet. Das führt zu bedeutenden Totzeiten und Zeitkonstanten der Übertragungskanäle „Eingang in den neuen Wärmetauscher – Ausgang aus dem HKW-Wärmetauscher“. Um der Steuerung vorausschauenden Charakter zu verleihen, wird als Regelgröße nicht, wie allgemein üblich, die Temperatur am Ausgang des Wärmetauschers, sondern das Temperaturfeld über die Länge des Wärmetauschers benutzt. Nach dem gleichen Prinzip wird der Sollwert für diese Regelgröße berechnet.

Zur Lösung der oben beschriebenen Probleme beim Betreiben der Anlage wurden, wie auch bei der Rekonstruktion der KDV-Anlage für die Entwicklung des Steuerungssystems als ein Zusatzpatent, TRIZ-Methoden in Kombination mit Methoden der Künstlichen Intelligenz und der Kybernetik eingesetzt.

Der Lösungsprozess wird durch folgende **dialektische Widersprüche** charakterisiert.

Die Behandlung des **Widerspruches zwischen Sollwert und Istwert** entspricht im Prinzip der Vorgehensweise bei der KDV-Anlage. Der Sollwert ist in diesem Fall die Drehzahl der Welle als eine zeitabhängige Funktion, die als Vorgabe für einen zu messenden Istwert dient. Die Lösung dieses Widerspruchs erfolgte mit Hilfe der innovativen Grundprinzipien **Dynamisierung** und **Rückkopplung**. Damit wurde die erste Komponente des Steuerungssystems geschaffen, die eine Kompensation der positiven inneren Rückkopplung des Systems „Verdichter-Wärmetauscher-Motor-Generator“ durch ein wissensbasiertes Prozessstabilisierungssystem unter Einhaltung der Bedingung (7) zum Ziel hatte. Diese Kompensation erfolgte durch eine äußere negative informationelle Rückkopplung.

Der **Widerspruch zwischen Optimalität und Stabilität** wird in der Prozessindustrie oft dadurch charakterisiert, dass das Optimum in der Nähe der Stabilitätsgrenze liegt. Es kommt deshalb darauf an, beim Betreiben der Anlage erstens die Steuergrößen mit hoher Genauigkeit zu bestimmen und zweitens das Prozessoptimierungssystem mit einem Prozessstabilisierungssystem zu koppeln.

Die Entwicklung des Prozessoptimierungssystems und seiner Kopplung mit dem Prozessstabilisierungssystem erfolgte durch Anwendung der innovativen Grundprinzipien **Universalität durch Anwendung von quantitativem Tiefenwissen (Mathematische Modelle)** und **Zerlegung**. Die **Zerlegung** war die Voraussetzung für die Modellierung der einzelnen Elemente des

Gesamtsystems. Das Grundprinzip **Anwendung der Wärmeausdehnung** ist die generelle Grundlage für das Konzept der Nutzung der Restwärme zur Stromerzeugung. Die Ergebnisse bei der Lösung der Widersprüche unter Anwendung der genannten innovativen Grundprinzipien kann wie folgt zusammengefasst werden. Das System der Prozessführung bzw. Steuerung der Anlage zur Restwärmennutzung wird nach verschiedenen Zielfunktionen in Abhängigkeit von den sich dynamisch ändernden energetischen und wirtschaftlichen Anforderungen an das Heizkraftwerk betrieben:

- Erzeugte Elektroenergiemenge/Zeiteinheit;
- zugeführte Dampfmenge/Zeiteinheit;
- kombinierte Zielfunktion (gewichtete Zielfunktionen): erzeugte Elektroenergiemenge/Zeiteinheit und zugeführte Dampfmenge/Zeiteinheit.

Dabei sind folgende technologische Größen bzw. Parameter automatisiert zu erfassen, zu verarbeiten und zu optimieren:

- Steuergrößen:
 - Durchsatz der Luftmenge/Zeiteinheit am Eingang in den Wärmetauscher;
 - zugeführte Dampfmenge/Zeiteinheit (kann auch Zielfunktion sein).
- Regelgrößen:
 - Temperaturfeld des Wärmetauschers (neues Prinzip: Regelung nach dem Temperaturfeld);
 - Drehgeschwindigkeit der Welle.
- Störgrößen:
 - Variation der Sollwerte für die zu erzeugende Fernwärmemenge/Zeiteinheit;
 - Variationen der Außenlufttemperatur;
 - Variationen der Zielfunktion;
 - Variationen der Nebenbedingungen.
- Nebenbedingungen bzw. einzuhaltende Vorgaben:
 - Erzeugte Fernwärmemenge/Zeiteinheit unter Beachtung der kritischen Unterbrechungszeiten;
 - vollständige Kondensierung des Dampfes am Ausgang aus dem Wärmetauscher des HKW;
 - Begrenzung der Änderungsgeschwindigkeiten der zugeführten Dampfmenge nach der Zeit und der produzierten Elektroenergiemenge nach der Zeit.

Aus der Beschreibung der Prozessführungsaufgabe geht hervor, dass zwei intelligente Schnittstellen zu entwickeln sind:

- Schnittstelle zwischen Restwärmeproduzent (Heizkraftwerk) und der neuen Lösung mit dem Ziel der Bestimmung und Einstellung der zugeführten Wärmemenge/Zeiteinheit;
- Schnittstelle zwischen dem Generator der neuen Lösung und dem Elektroenergiesystem, das die erzeugte Elektroenergie aufnimmt.

Diese Prozessführungsaufgabe wird mit einem Steuerungssystem mit drei Hierarchieebenen gelöst (siehe Tabelle 5). Die Struktur dieses Steuerungssystem ist ähnlich der Struktur des VAN-basierte Systems auf Abbildung 8.

Ebene	Informationsverarbeitungsalgorithmus	Bemerkungen
1. Stabilisierung der Steuergrößen	Eindimensionale Festwertregelkreise mit linearen Reglern	Einsatz von Standardkomponenten möglich
2. Bestimmung der Sollwerte für die Regelgrößen	Neuartige Steuerung des Wärmetauschers nach dem Temperaturfeld, mehrdimensionale nichtlineare Regelungssysteme, Beachtung der Nebenbedingungen bei der Optimierung der Sollwerte	Keine Standardsysteme vorhanden, mathematische Modellierung der Dynamik des Wärmetauschers notwendig
3. Auswahl der Zielfunktion und der Nebenbedingungen	Nutzung von Elementen der künstlichen Intelligenz, Modellierung des Gesamtsystems Heizkraftwerk-neues System,	Keine Standardlösungen vorhanden

Tab. 3: Aufgaben des Steuerungssystems bei der Nutzung der Restwärme zur Stromerzeugung (Eigene Darstellung)

Das *Projektmanagement* nutzt eigenständige Innovationsmethodiken, aber auch TRIZ, Kybernetik und Künstliche Intelligenz kann hier zur Lösung von Aufgaben sowohl im Echtzeitbetrieb (Online-Projektierung) als auch ohne Zeitbeschränkungen eingesetzt werden.

Bei Open Innovationsprojekten besteht eine wesentliche Aufgabe darin, das Finden einer gemeinsamen optimalen Lösung zu koordinieren, obwohl zu Anfang oft weit auseinandergehende Vorstellungen der Projektteilnehmer dazu existieren. Das hierzu nötige Vorstellungs- und Interessen- Koordinierungsverfahren sollte sich daher einer speziellen Koordinierungsstrategie bedienen, bei der TRIZ und Künstliche Intelligenz das Lösungsgebiet einschränken, während die Kybernetik den Lösungspunkt definiert.

Bild 13 zeigt das diesbezügliche Zusammenwirken von TRIZ, Künstlicher Intelligenz und Kybernetik.

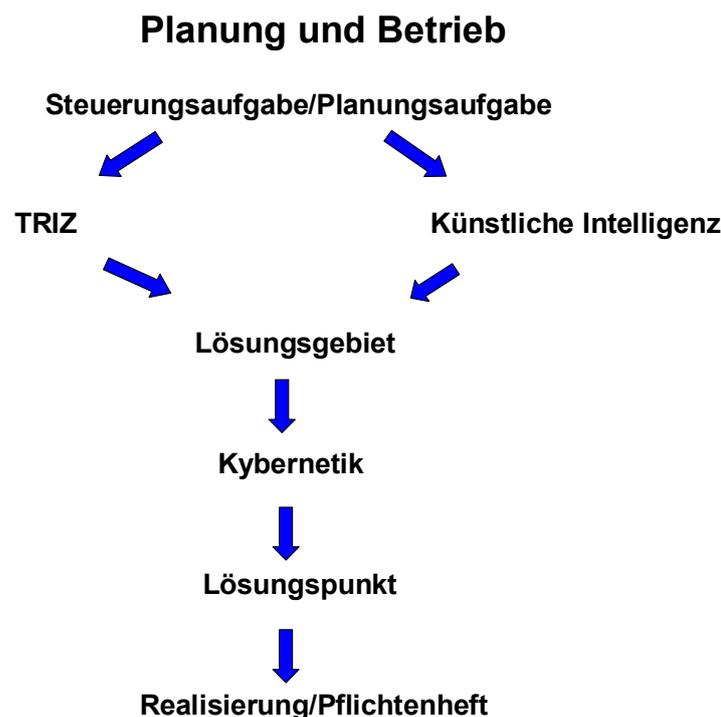


Bild 13: Zusammenwirken von TRIZ, Künstlicher Intelligenz und Kybernetik beim Projektmanagement (Eigene Darstellung).

5. Literatur

LIFIS (2018) : INNOVATIONSMETHODISCHES NETZWERK Erzgebirge-Lausitz (Unveröffentlichter Förderantrag)

TH Leipzig (1977-1990): Wissenschaftliche Berichte zur Allgemeinen Technologie, 1977-1990

Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg) (2017) :Technologie und nachhaltige Entwicklung. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 130, Jahrgang 2017.

Balzer,D. et al. (1992) : Wissensbasierte Systeme in der Automatisierungstechnik. Carl Hanser Verlag München Wien, 1992.

Alphakat, Vesper, Aumos, TUD (2015): Automatisierte Anlage zur katalytischen drucklosen Verölung (Unveröffentlichte Projektbeschreibung)

ILK, Kunz, GAD (2016) :“Restwärmennutzung unter Verwendung einer Rotationskolbenmaschine“ (Unveröffentlichte Projektbeschreibung)



Künstliche Intelligenz und Spieltheorie

Dietrich Balzer, Frieder Sieber

Der Vortrag behandelt folgende Themen: Zusammenwirken von Künstlicher Intelligenz und Spieltheorie, Spieltheorie in der schöngeistigen Literatur, Optimierung von emergenten Systemen unter Anwendung von Künstlicher Intelligenz und Spieltheorie.

Durch die gleichzeitige Nachbildung des menschlichen Denkprozesses und des Spieltriebes des Menschen erfolgt eine Verhaltensmodellierung des Menschen.

Sowohl Künstliche Intelligenz als auch Spieltheorie sind wissensbasierte Methoden. Für beide Methoden werden die Wissensformen, die Wissensgewinnung und die Wissensverarbeitung dargestellt.

Es werden die spieltheoretischen Überlegungen von F. Dostojewski („Der Spieler“), S. Zweig („Schachnovelle“) und V. Nabokov („Lushins Verteidigung“) analysiert.

Von großer praktischer Bedeutung ist die Lösung von Polyoptimierungsaufgaben, bei denen mehrere Optimierungsaufgaben durch die Auswahl der gleichen Steuergrößen zu lösen sind. Eine solche Aufgabe ist im Sinne der klassischen Optimierungstheorie nicht korrekt. Diese Nichtkorrektheit wird durch koordinierte Anwendung von Künstlicher Intelligenz und Spieltheorie überwunden. Dabei existieren zwei Lösungsmöglichkeiten:

- Überführung der nicht korrekten Aufgabenstellung in eine klassische Optimierungsaufgabe mit skalarer Zielfunktion
- Bestimmung einer Kompromissmenge (Paretomenge): Wenn mit keiner Variation der optimalen Steuergrößen der Wert einer beliebigen Zielfunktion erhöht werden kann, ohne gleichzeitig der anderen Zielfunktionen zu verringern.

Am Beispiel der optimalen Projektierung und Steuerung von verteilten mobilen Biogasanlagen wird die kombinierte Anwendung von Künstlicher Intelligenz und Spieltheorie für emergente Systeme unter Einbeziehung von Coaching-Methoden gezeigt. In diesem Fall wurde die Überführung in eine klassische Optimierungsaufgabe mit skalarer Zielfunktion dadurch erreicht, dass als skalare Zielfunktion die Summe der gewichteten Teilzielfunktionen verwendet wurde. Die Auswahl der Wichtungskoeffizienten erfolgte durch Spieltheorie und Coaching. Die Optimierung der gewichteten Summe der Teilzielfunktionen erfolgte durch Künstliche Intelligenz und algebraische Methoden.