

Dietrich Balzer, Frieder Sieber, Dieter Skrobotz

Künstliche Intelligenz und Allgemeine 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.

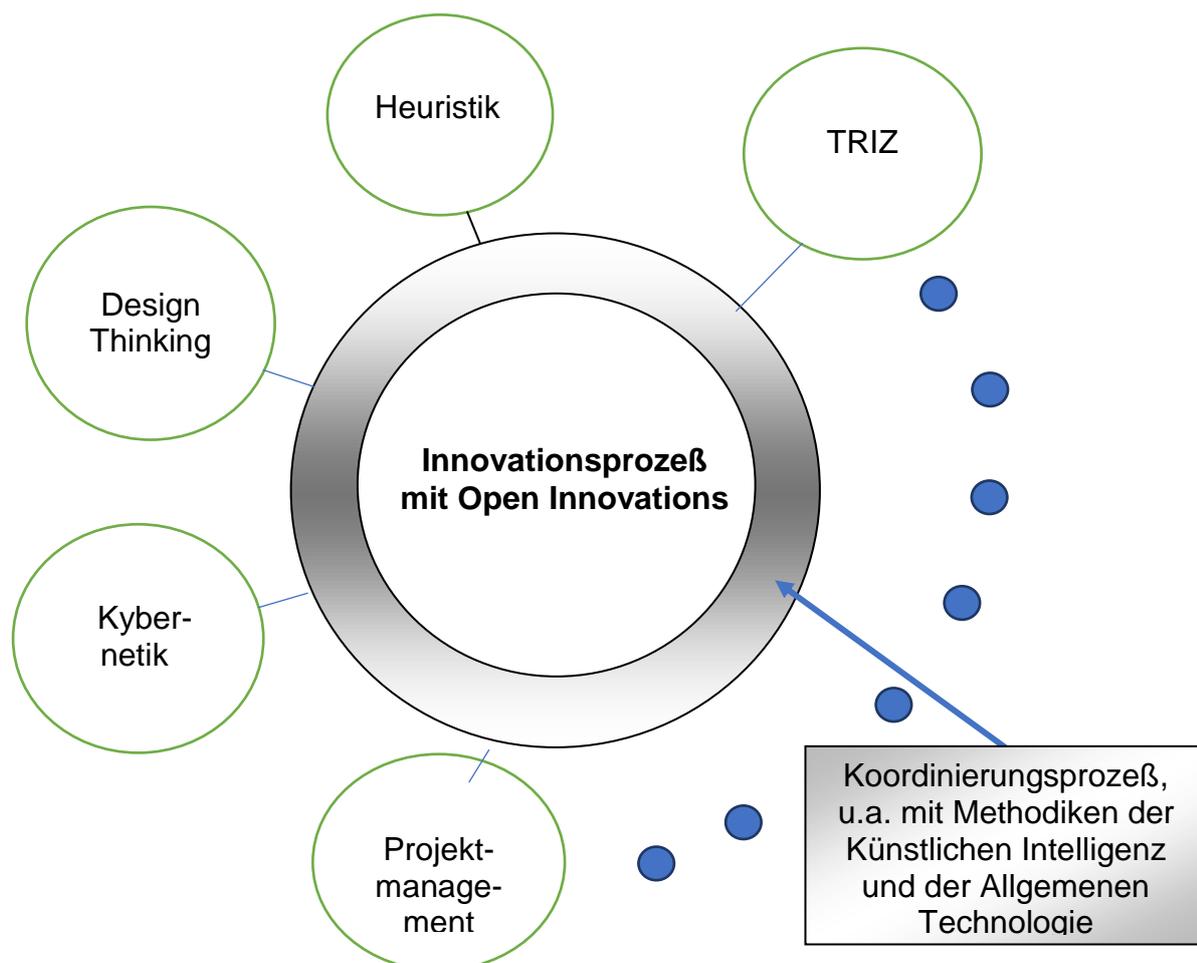


Bild 1: Open Innovations durch Koordinierung von Innovationsmethoden (eigene Darstellung)

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 Energieerzeugungsanlagen 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.

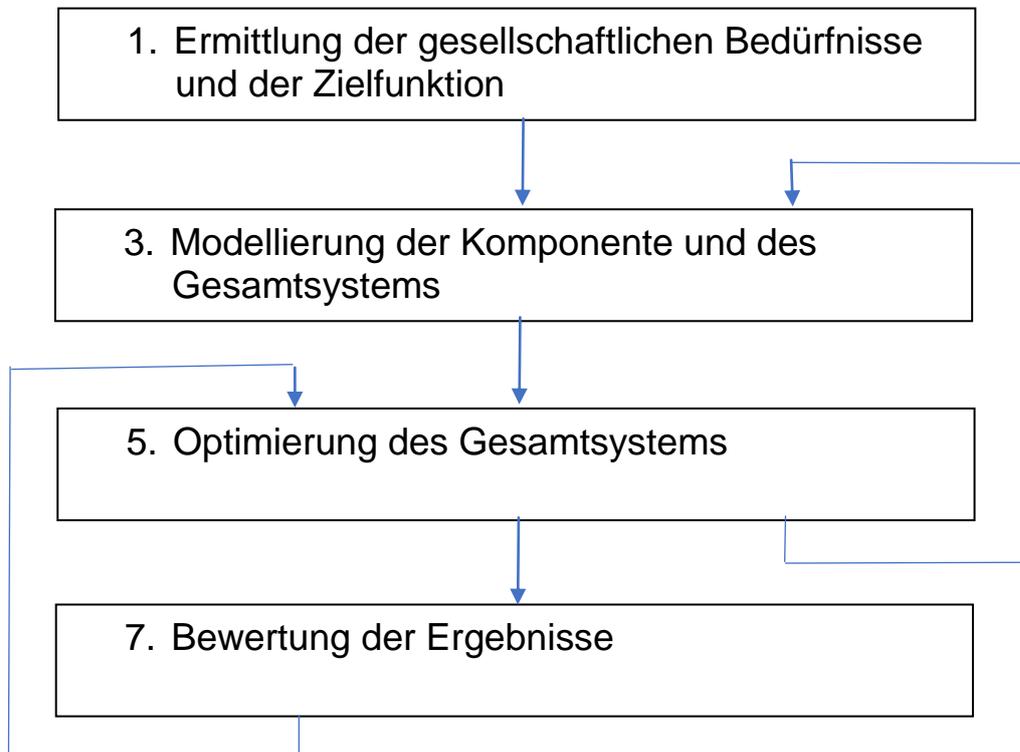


Bild 2: Lösungsalgorithmus (Eigene Darstellung)

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 Koordinierungsalgorithmus 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 nutzten 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

$$\begin{array}{l} \boxed{\text{Die zeitliche \u00c4nderung des}} \\ \boxed{\text{Stoffes } i \text{ in einem Volumen } V} \end{array} = \begin{array}{l} \boxed{\text{der durch Str\u00f6mung}} \\ \boxed{\text{zugef\u00fchrten Stoff-}} \\ \boxed{\text{menge } i} \end{array} + \begin{array}{l} \boxed{\text{der durch Diffusion}} \\ \boxed{\text{zugef\u00fchrten Stoff-}} \\ \boxed{\text{menge } i} \end{array} + \begin{array}{l} \boxed{\text{der durch eine Quelle zugef\u00fchrten}} \\ \boxed{\text{Stoffmenge (f\u00fcr den Fall eines}} \\ \boxed{\text{chemischen Reaktionssystems der}} \\ \boxed{\text{im Verlauf von } m \text{ Reaktionen}} \\ \boxed{\text{entstehenden Stoffmenge } i)} \end{array}$$

Bild 3: Grundgleichung der Materialbilanz (Eigene Darstellung)

Energiebilanz

$$\begin{array}{l} \boxed{\text{Zeitlicher Zuwachs an}} \\ \boxed{\text{Energie im}} \\ \boxed{\text{Volumen } V} \end{array} = \begin{array}{l} \boxed{\text{dem Volumen durch}} \\ \boxed{\text{Str\u00f6mung zugef\u00fchrte}} \\ \boxed{\text{Energie}} \end{array} + \begin{array}{l} \boxed{\text{dem Volumen durch}} \\ \boxed{\text{Leitung zugef\u00fchrte}} \\ \boxed{\text{Energie}} \end{array} + \begin{array}{l} \boxed{\text{dem Volumen durch}} \\ \boxed{\text{Diffusion zugef\u00fchrte}} \\ \boxed{\text{Energie}} \end{array} + \begin{array}{l} \boxed{\text{dem Volumen durch}} \\ \boxed{\text{chemische Reaktion zugef\u00fchrte}} \\ \boxed{\text{Energie}} \end{array}$$

-
- 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

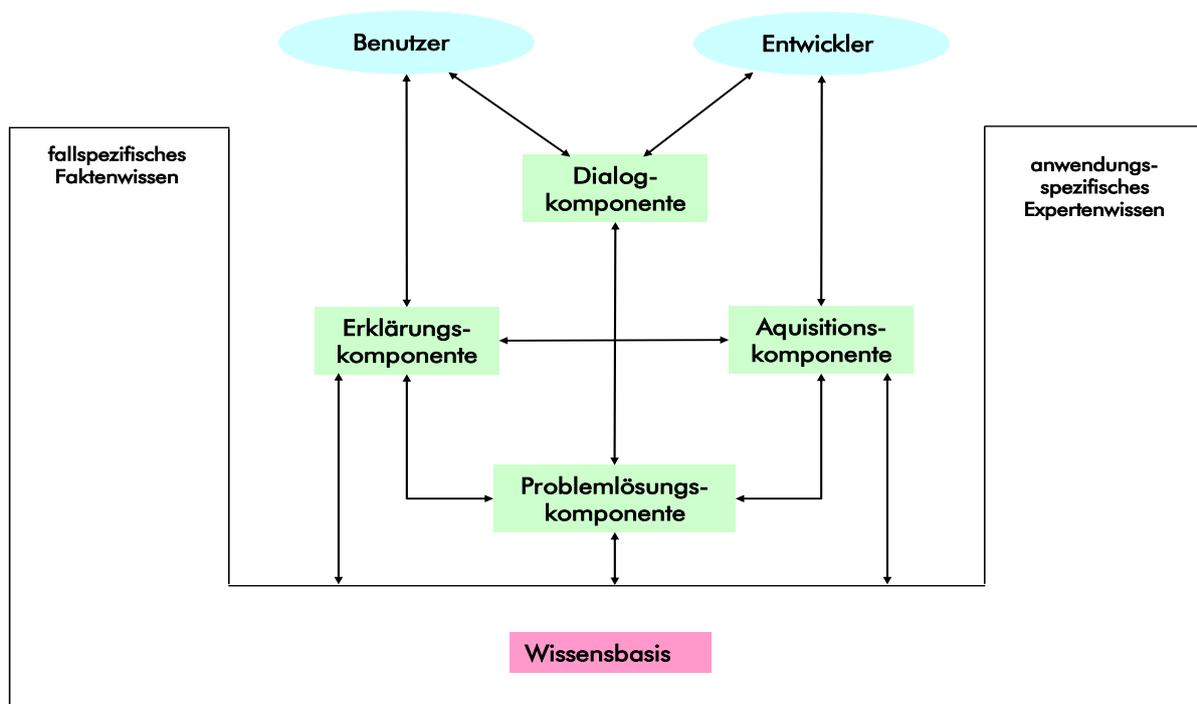


Bild 5: Echtzeitfähige Expertensysteme zur Lösung von Steuerungsaufgaben (Balzer,D. 1992)

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.

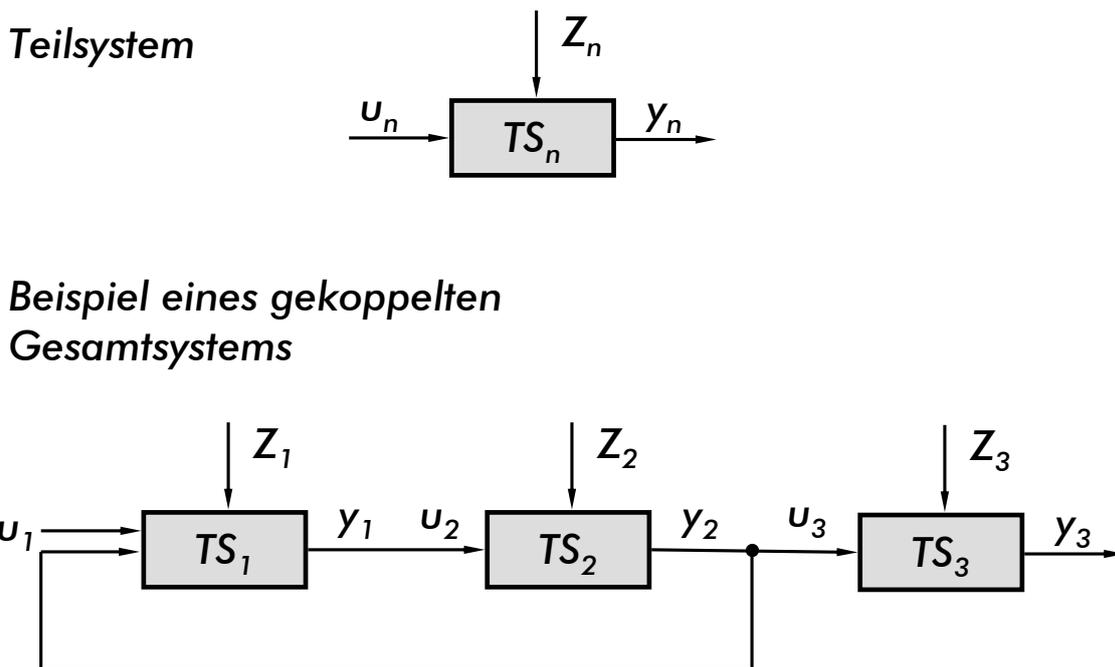


Bild 6: Beispiel für qualitatives Tiefenwissen (Eigene Darstellung)

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 Rechenaufwand (gute Echtzeitfähigkeit), explizites Wissen	höhere Spezialisierung (eingeschränkte Wiederverwendbarkeit), Erfassung aller Fälle notwendig (Vollständigkeit nicht garantiert)

	(Regeln, gute Erklärbarkeit)	
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.

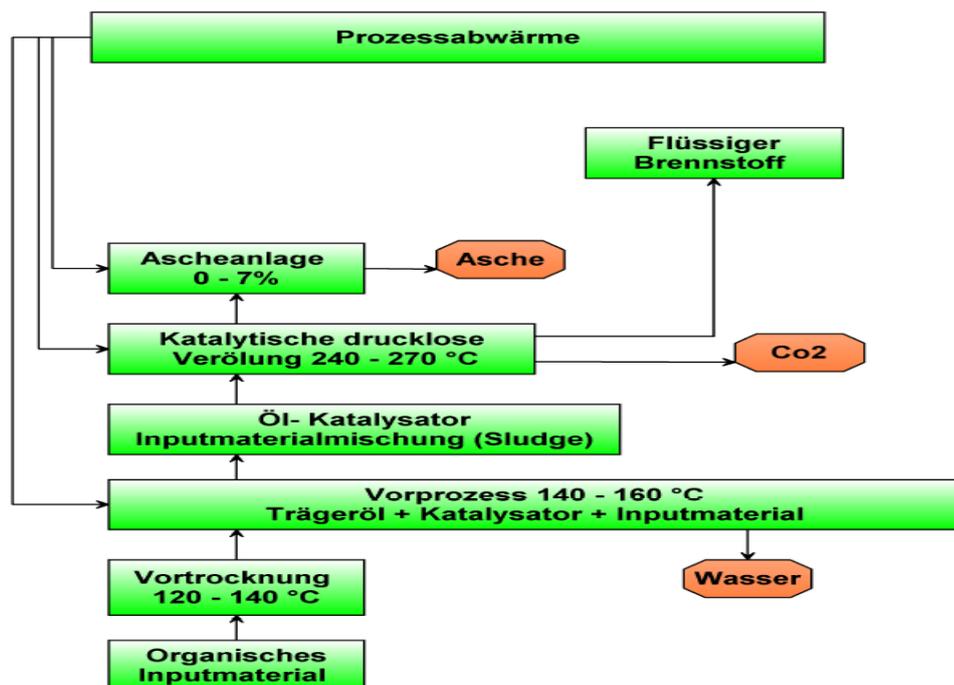


Bild 7: Bisheriges Prinzipschema der Technologie zur katalytischen drucklosen Verölung (vgl. Alphakat, Vesper, Aumos, TUD 2015)

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).

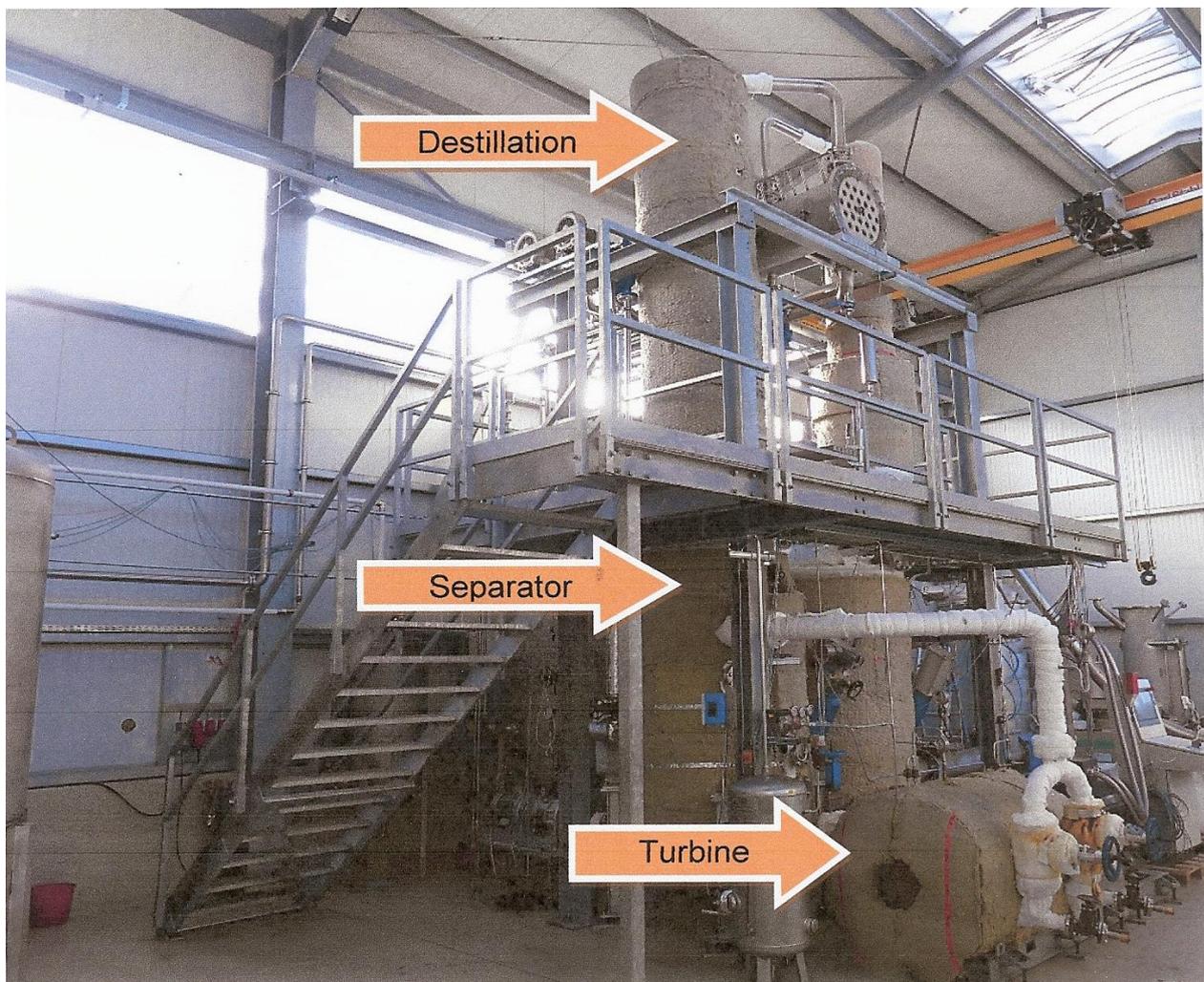
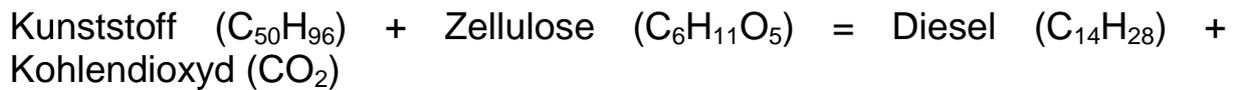


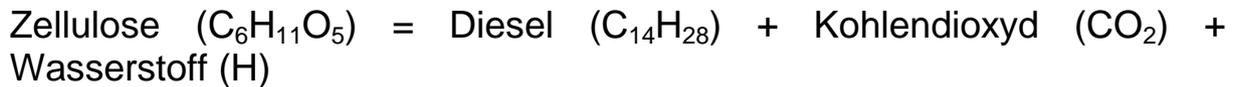
Bild 8: Außenansicht der KDV-Anlage (vgl. Alphakat, Vesper, Aumos, TUD 2015)

In der Turbine laufen tribochemische katalytische Reaktionen der Stoffumwandlung vor allem als Depolymerisation und Polymerisation ab.

Die chemische Summengleichung der Depolymerisation ohne Beachtung der stöchiometrischen Koeffizienten lautet:



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



Hauptmerkmale der bisherigen verfahrenstechnischen Anlage auf der Basis des oben genannten Patentes 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:

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} + w \frac{\partial x_i}{\partial l} + D_L \frac{\partial^2 x_i}{\partial l^2} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, T) \quad (1)$$

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

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

$T(t, l)$ - Temperatur

$f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, T)$ - Reaktionsgeschwindigkeit auf der Basis der

Formalkinetik bei Bildung bzw. Verbrauch der Komponente x_i

w - lineare Geschwindigkeit der Komponenten in der Friktionsturbine

D_L - Längsvermischungskoeffizient in der Friktionsturbine

t - Zeit

L - laufende Länge des Reaktionsraumes der Friktionsturbine

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

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

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

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_i - 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 innovative 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).

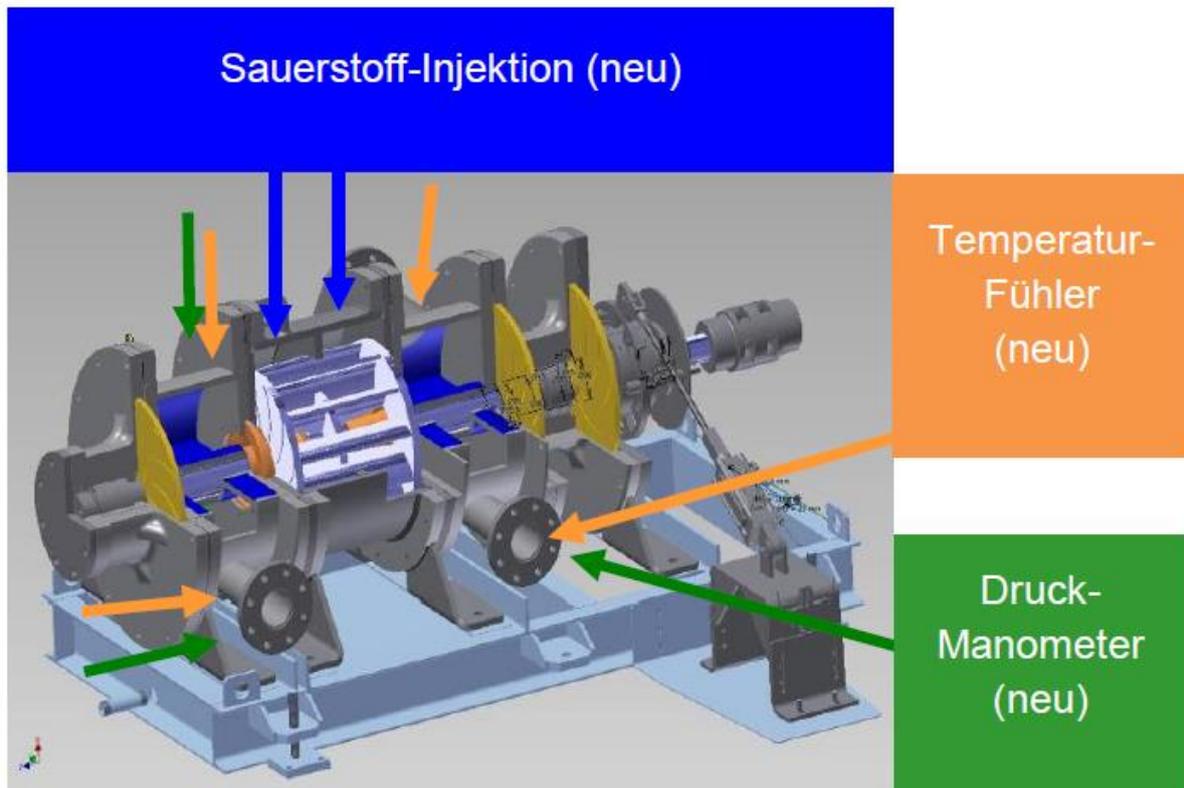


Bild 9: Neue Turbine mit Sauerstoffinjektion (vgl. Alphakat, Vesper, Aumos, TUD 2015)

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 Widerspruchs zwischen Funktionalität und Bedienkomfort hingewiesen werden (vgl. Дворянкин, А. М., Романенко, Р. Р. 2012).

Das eigentliche Ziel bei der Lösung des Widerspruchs 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

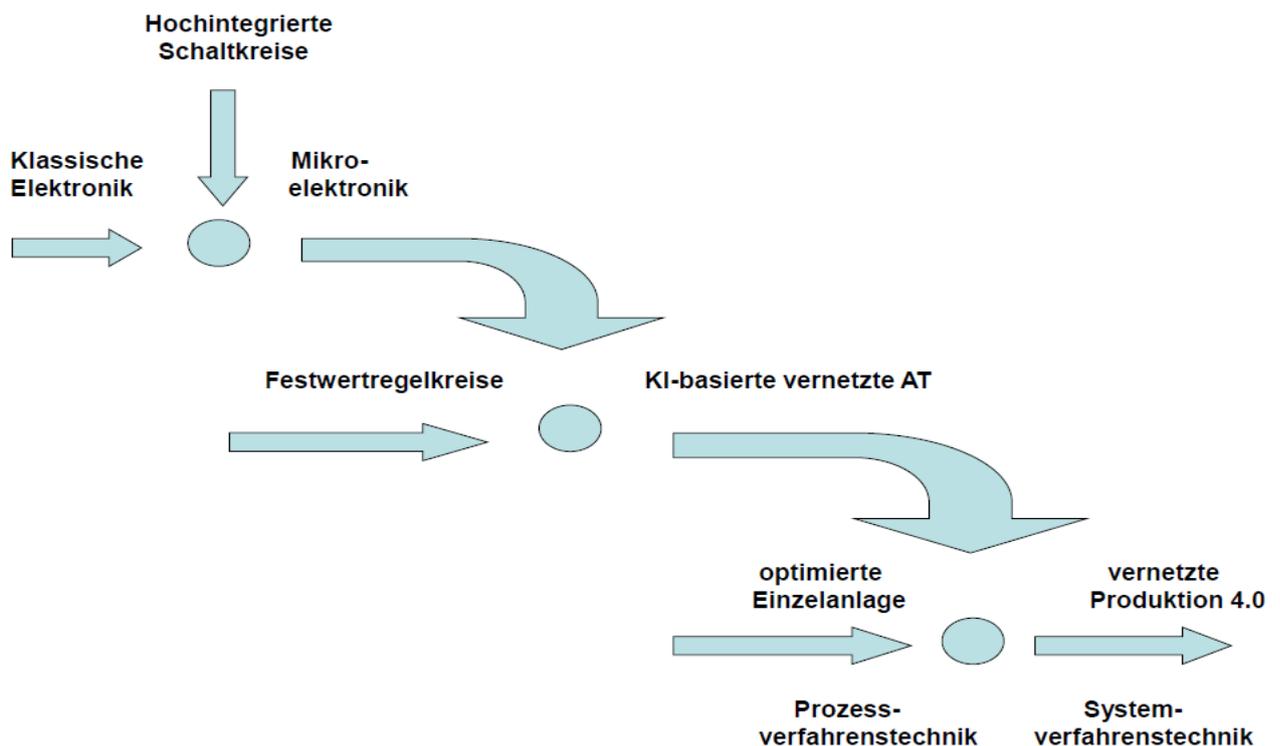


Bild 10: Analyse von Paradigmenwechseln (Eigene Darstellung)
AT-Automatisierungstechnik, KI-Künstliche Intelligenz

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 ($< 300\text{ °C}$, „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).

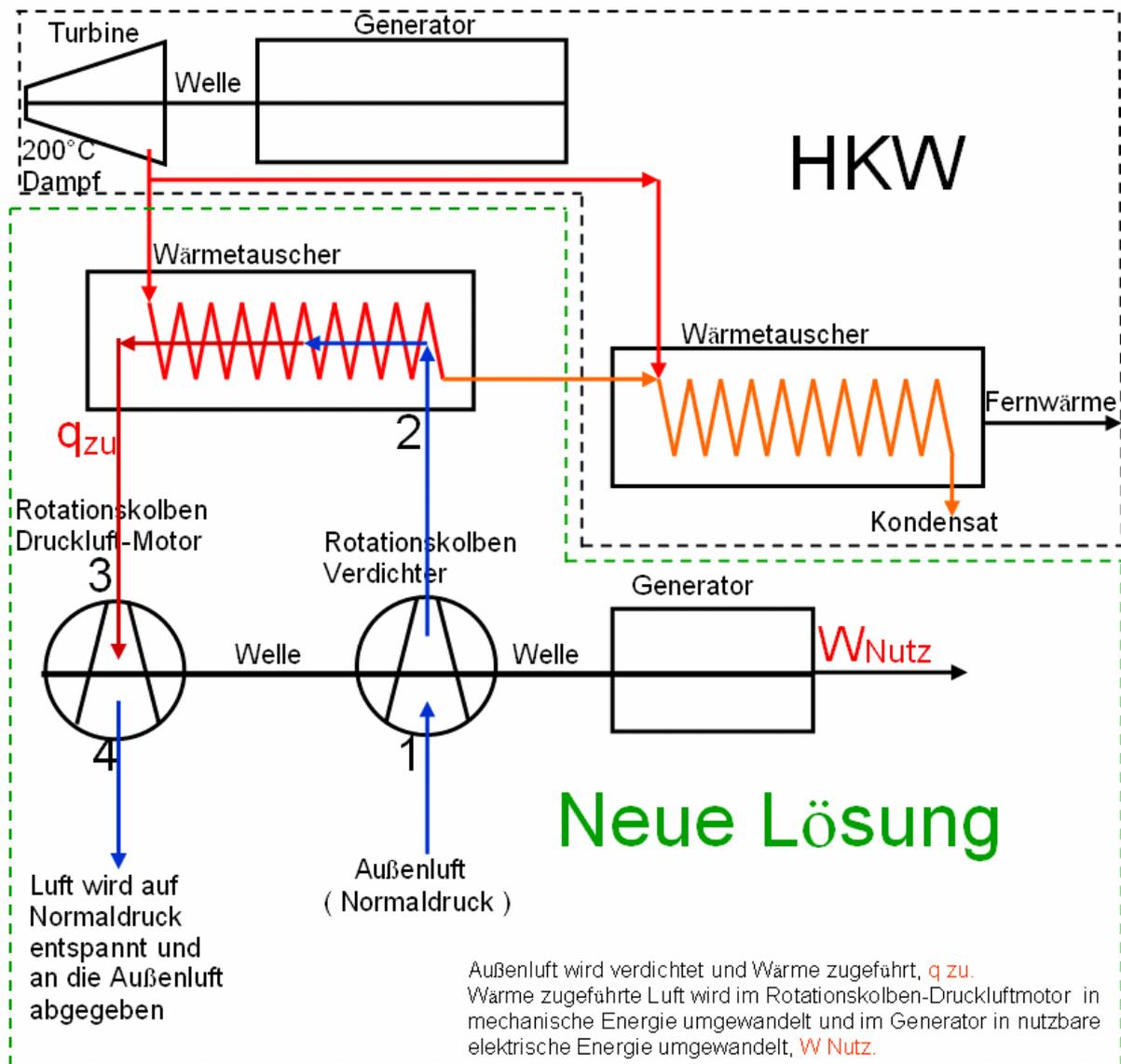


Bild 11: Nutzung von Niedertemperaturwärme in einem Heizkraftwerk (HKW) zur Stromerzeugung (vgl. ILK, Kunz, GAD ,2016)

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.

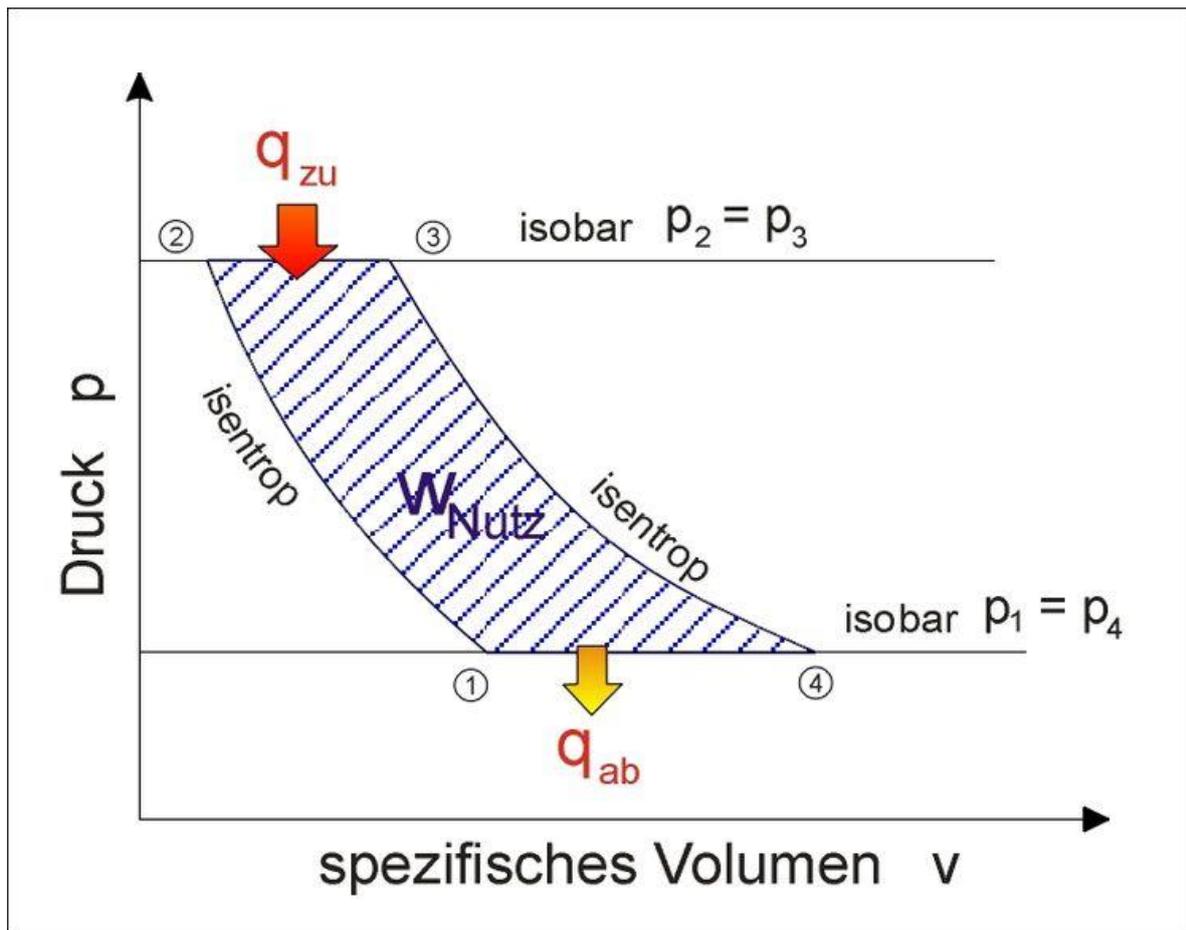


Bild 12: Thermodynamische Analyse des Prozessverlaufs (vgl. ILK, Kunz, GAD (2016))

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 Innovations Projekten 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.

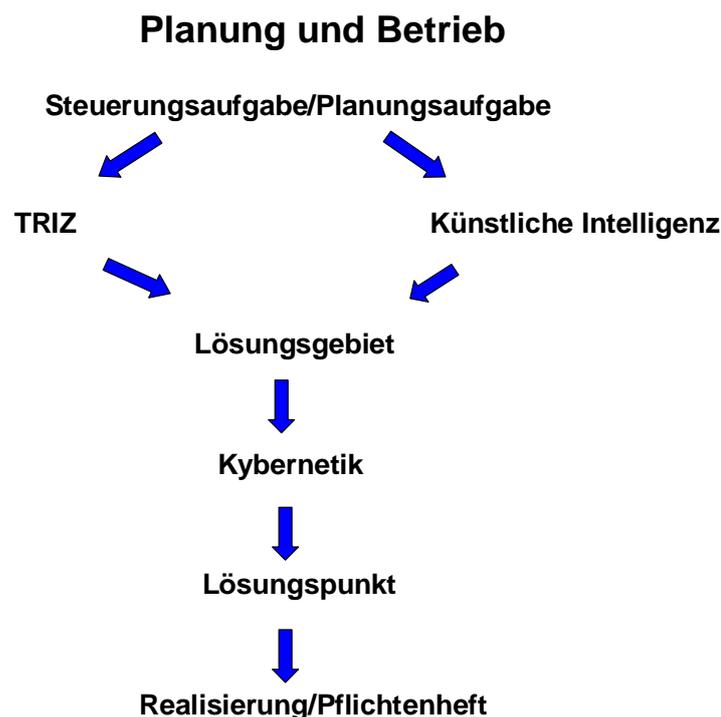


Bild 13: Zusammenwirken von TRIZ, Künstlicher Intelligenz und Kybernetik beim Projektmanagement (Eigene Darstellung).

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)

Überarbeitet:
D.Skrobotz
21.08.2019