



25 Jahre Kreislaufwirtschaft

**Dietrich Balzer
Frieder Sieber**

Werner Regen, Frieder Sieber (Hrsg.)

LEIBNIZ-INSTITUT
für Interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS)

Werner Regen, Frieder Sieber (Hrsg.)

25 Jahre Kreislaufwirtschaft

Dietrich Balzer
Frieder Sieber

LIFIS aktuell Heft 5

LEIBNIZ-INSTITUT für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS)
<https://leibniz-institut.de>

25 Jahre Kreislaufwirtschaft

**Dietrich Balzer
Frieder Sieber**

Werner Regen, Frieder Sieber (Hrsg.)

LEIBNIZ-INSTITUT
für Interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS), Berlin

LIFIS AKTUEELL

Heft 5

LEIBNIZ-INSTITUT für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS)
<https://leibniz-institut.de>

herausgegeben von Werner Regen, Frieder Sieber

Satz und Druck: Thomas Jungnickel

ISBN: 978-3-949366-34-5

Hinweise

Der vorliegende Heft 5 LIFIS aktuell wird von Mitarbeitern des Leibniz Institutes für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS) in Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern, aufgrund der langfristigen Erfahrungen in der Kreislaufwirtschaft, gestaltet.

Sowohl wissenschaftliche Ergebnisse als auch fachpraktische Erfahrungen werden dabei vorgestellt.

Insbesondere die gegenwärtige Tätigkeit in Übertragung der Erfahrungen in Thüringen und Sachsen auf osteuropäische Regionen sowie Usbekistan und Kasachstan verdeutlichen, die Nachhaltigkeit der Kreislaufwirtschaftsprojekte in der Gesellschaft und in der Gesamtwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Artikel/Präsentation

Dietrich Balze

Theoretische Grundlagen der wissensbasierten Kreislaufwirtschaft

Dietrich Balzer, Frieder Sieber

Paradigmawechsel und ihr Einfluss auf Innovationsprozesse

Dieter Skrobotz, Dietrich Balzer

Entwicklung und Einführung neuer Methoden der Arbeitsgestaltung

Dietrich Balzer, Werner Regen, Frieder Sieber

General Technology (Elements of Theory and Application)

Dietrich Balzer, Frieder Sieber, Dieter Skrobotz

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

Ralf Ackermann, Dietrich Balzer, Bernd Pfalz

Nutzung von Restwärme im Niedertemperaturbereich zur Stromerzeugung
Kreislaufwirtschaft“

Creative Lab #7 Kreislaufwirtschaft

Zirkular in die Zukunft

Frieder Sieber, Dietrich Balzer

Innovations- und Bildungszentrum „Wissensbasierte Kreislaufwirtschaft“

Staatliche Dokumente zur Kreislaufwirtschaft

Sächsisches Kreislaufwirtschaftsgesetz

Abschlussbericht des Arbeitskreises Kreislaufwirtschaft – Auszug

Bauindustrie Sachsen/Sachsen-Anhalt, Rundschreibdienst

Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau

3. Monitoring Bericht – Auszug

Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen
(Deutscher Ressourceneffizienzprogramm II) - Auszug

Resümee

Vita der Autoren

Vorwort

Dietrich Balzer, Frieder Sieber

Der Zweck des LIFIS ist es, zwischen der Wissenschaft im Allgemeinen, der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. (kurz Leibniz-Sozietät) im Besondern, sowie anderen Bereichen der Gesellschaft – vorrangig der klein- und mittelständischen Wirtschaft – praxisrelevante Beziehungen zu initiieren und zu fördern. Mit Blick auf die zunehmende Komplexität gegenwärtiger und zukünftiger Problemstellungen steht dabei die interdisziplinäre bzw. fachübergreifende Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft im Mittelpunkt aller Bemühungen.

Kooperationspartner sind:

- Märkisches Institut für Technologie- und Innovationsförderung
- AKATE Akademie für Technik GmbH
- Kompetenzzentrum Kreislaufwirtschaft in Kirchheim
- Regionales Kompetenzzentrum für Recycling und Kreislaufwirtschaft
- Nationale Technische Universität Cherson (Ukraine)
- Akademie für Bankwesen und Finanzen (Usbekistan)
- Internationale Akademie für Personalmanagement (MAUP) Kiev (Ukraine)
- Internationale Universität für Business und Recht Cherson (Ukraine)

Der vorliegende Band enthält Beiträge, die aus Aktivitäten des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien hervorgegangen sind. Das Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien e.V. – kurz: LIFIS – wurde am 3. Mai 2002 auf Anregung des Präsidiums der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften gegründet. Sein Zweck ist – entsprechend § 2 seiner Satzung – „die Initiierung und Förderung der interdisziplinären bzw. fachübergreifenden Zusammenarbeit von Forschungs- und Entwicklungspotentialen auf ausgewählten Gebieten der Natur-, Technik-, Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften, insbesondere

- der damit zusammenhängenden Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung,
- des wissenschaftlichen Informationsaustauschs,
- der Aus- und Weiterbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses.“

Mit Blick auf die zunehmende Komplexität gegenwärtiger und zukünftiger Problemstellungen steht dabei die interdisziplinäre bzw. fachübergreifende Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft im Mittelpunkt aller Bemühungen. Dabei will das LIFIS keine Forschungseinrichtung im herkömmlichen Sinne sein, sondern als „virtuelle“ Institution an anderen Orten verfügbare Potentiale organisieren und koordinieren, also Netzwerke jeweils zweckmäßiger Kompetenz konstituieren.

Bereits seit 2002 sind verantwortlich das LIFIS in den Aufbau und die Gesetzgebung der Kreislaufwirtschaft in Sachsen eingebunden. Durch ihre Einflussnahme wurden die Gesetzgebung und insbesondere die Richtlinien für die Kreislaufwirtschaft in Sachsen und der Bauindustrie in Deutschland nach umfangreichen Diskussionen geschaffen.

Die weltweite strategische Bedeutung der Kreislaufwirtschaft schafft hervorragende Voraussetzungen für die Schaffung nachhaltiger Strukturen im Forschungsbereich bei der Kooperation mit Zentralasien und Osteuropa. Eine weitere Voraussetzung für die angestrebten stabilen kooperativen Beziehungen für die Forschung ist die Einheit von Bildung und

Forschung. Es werden konkrete innovative gemeinsame Projekte realisiert und eine internationale Universität geschaffen. Diese Vorhabenziele werden durch internationale wissenschaftliche Konferenzen und Kolloquien unterstützt.

Die beteiligten ausländischen Partner des Vorhabens waren bisher auf eine wissenschaftliche Zusammenarbeit mit der russischen Föderation orientiert. Diese Partner werden jetzt ihre wissenschaftliche und bildungsorientierten Systeme transformieren und sich stärker europäischen Strukturen annähern bzw. sich integrieren (unter anderem in den europäischen Forschungsraum). Diese Integration wird dadurch gefördert, dass die ausländischen Partner in die deutschen Netzwerke des LIFIS und EuReffus einbezogen werden.

Unter dem Begriff „Wissensbasiert“ verstehen wir das Zusammenwirken von Methoden der Künstlichen Intelligenz mit den übrigen Innovationsmethoden.

Unter dem Begriff „Kreislaufwirtschaft“ verstehen wir ein Modell der Produktion und des Verbrauchs, bei dem bestehende Materialien und Produkte so lang wie möglich benutzt, aufgearbeitet und recycelt werden.

Das Vorhaben „Wissensbasierte Kreislaufwirtschaft“ umfasst die Lösung folgender Aufgaben:

- Schaffung und Weiterentwicklung der theoretischen Grundlagen der Sammlung und Verarbeitung von Abfall- und Reststoffen,
- Umsetzung der theoretischen Grundlagen innerhalb des Lebenszyklus (Prozessanalyse, Entwurf, Realisierung, Betrieb, Wiederverwendung von Reststoffen) technologischer Anlagen im Rahmen des Netzwerkes,
- Umsetzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse in konkrete praktische Lösungen,
- Erarbeitung und Umsetzung einer Konzeption für die Aus- und Weiterbildung (Einheit von Forschung, Bildung und Praxis) auf dem Gebiet der wissensbasierten Kreislaufwirtschaft.

Die Kreislaufwirtschaft leistet einen wesentlichen Beitrag zum Kampf gegen den Klimawandel bzw. zur Anpassung an den Klimawandel. Die konkreten Projekte in Deutschland und in Kasachstan dieses Vorhabens dienen zum Beispiel der Reduzierung des Ausstoßes von Kohlendioxid und Methan in die Atmosphäre und der verstärkten Nutzung von Wind- und Solarenergie. In diesem Zusammenhang geht es vor allem um ein hohes Niveau der theoretischen und praktischen Ingenieur Tätigkeit.

Artikel/Präsentation

Dietrich Balzer

Theoretische Grundlagen der wissensbasierten Kreislaufwirtschaft

1. Einleitung

Unter dem Begriff „Wissensbasiert“ verstehen wir das Zusammenwirken von Methoden der Künstlichen Intelligenz mit den übrigen Innovationsmethoden. Unter dem Begriff „Kreislaufwirtschaft“ verstehen ein Modell der Produktion und des Verbrauchs, bei dem bestehende Materialien und Produkte so lange wie möglich benutzt, , aufgearbeitet und recycelt werden.

Ein Grundgedanke des Vorhabens ist die die Interdisziplinarität Durch die Anwendung vieler Methoden kann das Optimierungspotential des Vorhabens im Unterschied zur Anwendung nur einer Methode voll ausgeschöpft werden. Dabei geht es um die Anwendung von zwei Aspekten der Interdisziplinarität: Kooperation der verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen und Kooperation der verschiedenen Innovationsmethoden. Eine zentrale Rolle bei der Kooperation der Wissenschaftsdisziplinen spielt das Bauingenieurwesen (Bild 1).



Bild 1: Stellung des Bau Ingenieurwesens innerhalb der technischen Wissenschaften

2. Koordinierte Anwendung verschiedener Innovationsmethoden

2.1. Künstliche Intelligenz

Die Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) werden für die koordinierte Anwendung vieler Ingenieurmethoden eingesetzt (Bild 2).



Bild 2: Koordinierung von Innovationsmethoden durch Künstliche Intelligenz

Bei der Nutzung von Methoden der **Künstlichen Intelligenz** gehen wir davon aus, dass in erster Linie Expertensysteme zum Einsatz kommen, deren Grundstruktur auf Bild 3 dargestellt ist. Der Entwickler und der Benutzer des Expertensystems sind oft ein und dieselbe Person.

Grundarchitektur von Expertensystemen

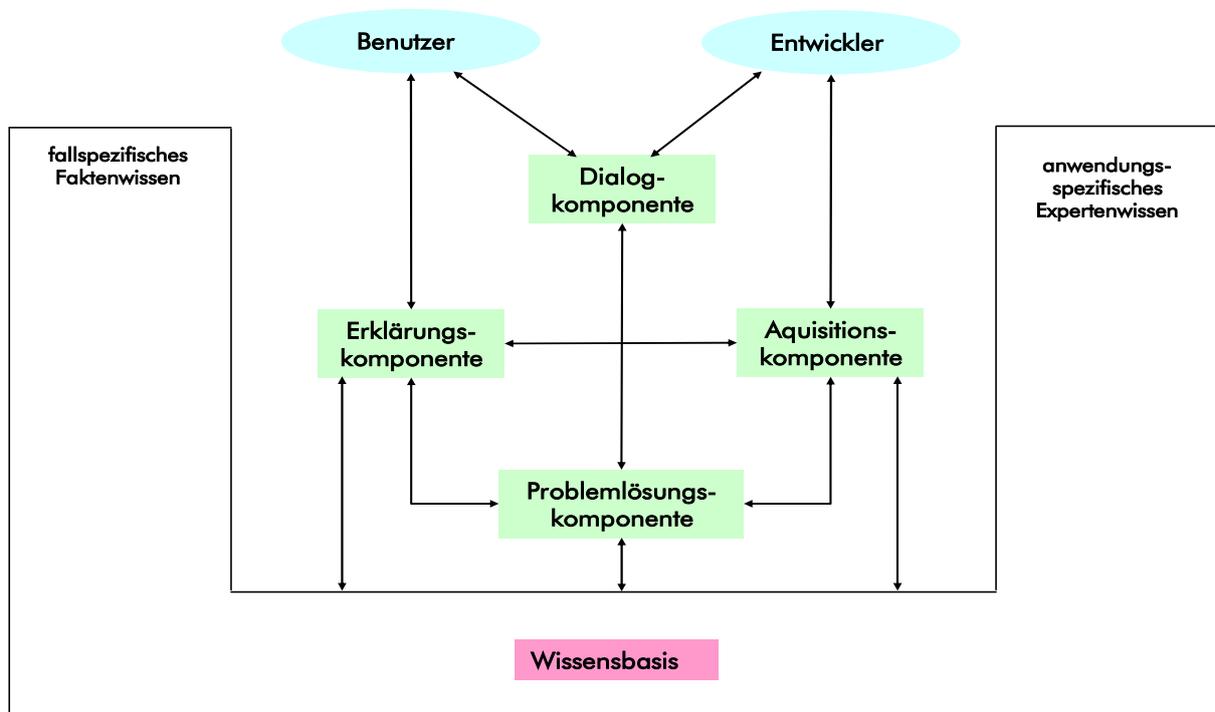


Bild. 3: Expertensysteme zur Lösung von Projektierungs- und Steuerungsaufgaben

In Tabelle 1 werden die Funktionen der Komponenten des auf Bild g 3 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

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)

2.2 Allgemeine Technologie

Das Ziel der Allgemeinen Technologie als Technikwissenschaft besteht darin, Struktur und Parameter technologischer Systeme zu analysieren und zu bestimmen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es besonders wichtig, neben den qualitativen Methoden auch quantitative Methoden einzusetzen. Zu den quantitativen Methoden gehört vor allem die mathematische Modellierung technologischer Systeme. Die mathematischen Modelle basieren auf Bilanzgleichungen in Form von Material-, Energie- und Impulsbilanzen.

2.2.1 Methodik der mathematischen Modellierung

Die Methodik der mathematischen Modellierung als Bestandteil der Allgemeinen Technologie basiert auf Bilanzgleichungen (Materialbilanz, Energiebilanz, Impulsbilanz). Die Bilder 3 und 4 zeigen die bei der mathematischen Modellierung verwendeten Beziehungen.

Materialbilanz

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

Bild 4: Grundgleichung der Materialbilanz

Energiebilanz

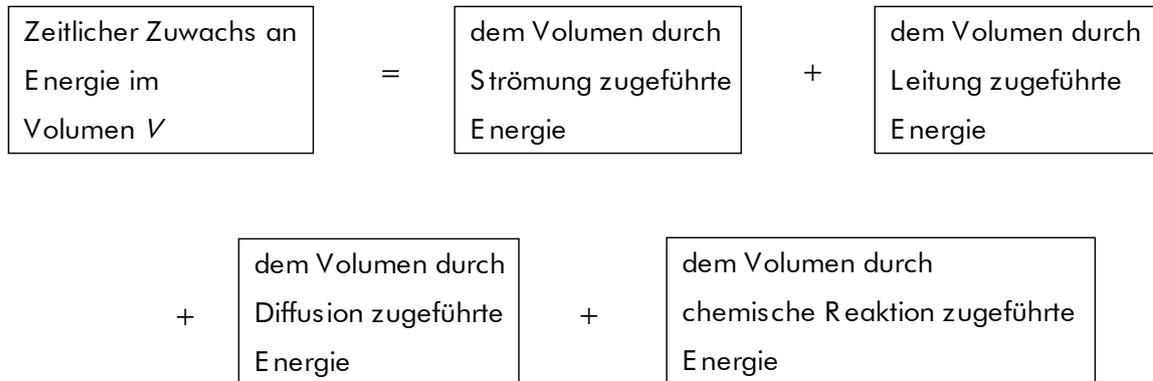


Bild 5: Grundgleichung der Energiebilanz

Auf eine Impulsbilanz wird oft verzichtet.

2.2.2 Mathematische Modelle kontinuierlicher Systeme

Das mathematische Modell eines Systems mit verteilten Parametern besteht aus zwei Gleichungen:

Materialbilanzen

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

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

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

$T(t, l)$ – Temperatur

$f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, T)$ – Reaktionsgeschwindigkeit auf der Basis der Formalkinetik bei Bildung bzw. Verbrauch der Komponente x_i

w – lineare Geschwindigkeit der Komponenten im Reaktor

D_L – Längsvermischungskoeffizient

t – Zeit

l – laufende Länge des Reaktionsraumes

Energiebilanz

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

T – Temperatur des Reaktionsgemisches

T_k – Temperatur des Heizmediums in Abhängigkeit von der Länge des Reaktors und von der Zeit

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

l, t – laufende Länge des Reaktors bzw. laufende Zeit

α – von den Wärmeübertragungseigenschaften abhängiger Koeffizient

$$f_i = \frac{dx_i}{dt} \text{ – Reaktionsgeschwindigkeit}$$

Aus diesen beiden Gleichungen kann ohne Probleme ein mathematisches Modell für Systeme mit konzentrierten Parametern abgeleitet werden.

2.3. TRIZ

Auf Bild 5 sind der Inhalt und das methodische Vorgehen bei der spezialisierten TRIZ für kontinuierliche technologische Prozesse dargestellt. Zwei inhaltliche Besonderheiten sind hervorzuheben:

- die Interdisziplinarität der Methode
- die hierarchische Struktur der Lösung

Die Interdisziplinarität wird durch das Zusammenwirken von Verfahreningenieurwesen, Kybernetik und Künstlicher Intelligenz charakterisiert.

Bezüglich der Hierarchie der Lösung sind folgende Bemerkungen zu machen:

- auf der unteren Ebene sind Lösungen auf drei Gebieten zu entwickeln: Automatisierung, Wissensakquisition und Wissensverarbeitung, Prozessoptimierung
- auf der oberen Ebene sind die Lösungen der unteren Ebene zu koordinieren und in ein wissensbasiertes, automatisiertes und adaptives System zu integrieren

hierarchisch strukturierte Lösungen sind sowohl für die Projektierung als auch für den Betrieb der Systeme zu entwickeln.

Während des Lösungsprozesses zu bearbeitende typische dialektische Widersprüche vom Standpunkt der Natur- und Technikwissenschaften sind z. B.:

- der Widerspruch zwischen Soll- und Istwerten bei der Systemsteuerung
- der Widerspruch zwischen Optimalität und Stabilität des Systems

Typische innovative Lösungsprinzipien bei der Bearbeitung der Widersprüche sind die mathematische Modellierung der technologischen Systeme als Nutzung von Tiefenwissen und die Dekomposition des Gesamtsystems in Untersysteme bzw. Teilsysteme.

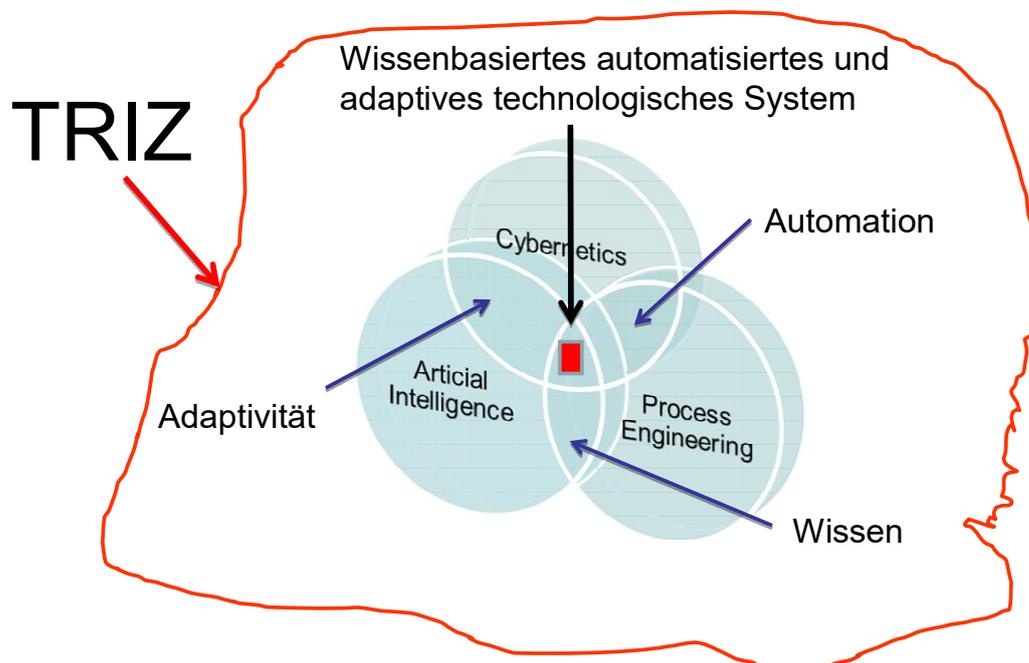


Bild 6: Methodik der spezialisierten TRIZ für kontinuierliche technologische Prozesse

2.4 Nutzung der Spieltheorie

Um bei der Nutzung von externen und territorial verteilten Ressourcen aller Art bei der Projektierung und beim Betrieb technologischer Anlagen zu quantifizierten optimalen Lösungen zu kommen werden erstmals Methoden der Polyoptimierung (Vektoroptimierung) eingesetzt, bei denen mehrere Optimierungsaufgaben durch die Auswahl der gleichen Konstruktionsparameter und Steuergrößen zu lösen sind:

$$I(x, u) = \{f_{01}(x, u), f_{02}(x, u), \dots, f_{0m}(x, u)\} \rightarrow \max_u$$

$$f_{0i}(x, u) \rightarrow \max_u$$

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

$$u_i^{opt} = \arg \max_u f_{0i}(x, u)$$

$$u_1^{opt} \neq u_2^{opt} \neq \dots \neq u_m^{opt}$$

$I(x, u)$ – Gesamtziel­funktion; $f_{0i}(x, u)$ – Teilziel­funktion; x – Prozessparameter; u – Steuergrößen, Konstruktionsparameter

In den Teilziel­funktionen sind die Modelle des Menschen (Verhaltensmodellierung) und des technologischen Prozesses bzw. der technologischen Anlage (Mathematische Modelle) integriert.

Die oben beschriebene 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 (Pareto-Menge): Wenn mit keiner Variation der optimalen Steuergrößen der Wert einer beliebigen Zielfunktion erhöht werden kann, ohne gleichzeitig der anderen Zielfunktionen zu verringern.

Die Überführung in eine klassische Optimierungsaufgabe kann mit folgenden Methoden erreicht werden:

- Auswahl und Optimierung der wichtigsten Teilziel­funktion:

$$I(x, u) = f_{0k}(x, u) \rightarrow \max_u$$

$$f_{0i}(x, u) = c_i$$

$$i = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, m$$

- Einführung von Wichtungskoeffizienten:

$$I(x, u) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_{0i}(x, u) \rightarrow \max_u$$

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1 \quad \alpha_i \geq 0$$

- Bildung globaler Abstandsmaße:

$$I(x, u) = \sum_{i=1}^m [f_{0i}^{opt}(x, u) - f_{0i}(x, u)]^\eta \rightarrow \min_u \quad \eta \geq 0$$

Durch die oben beschriebenen Algorithmen ist die Basis für eine Digitalisierung der Arbeitsprozesse gegeben.

Am Beispiel der optimalen Projektierung und Steuerung einer technologischen Anlage in einem Green Innovation Competence Center wird die Anwendung der Algorithmen bei gleichzeitiger kombinierter Nutzung von Künstlicher Intelligenz und Spieltheorie für emergente Systeme unter Einbeziehung von Coaching-Methoden gezeigt. Damit wird ein Prototyp geschaffen, der sowohl für die Akquisition als auch für eine Bildungsinitiative genutzt werden kann. Wir erwarten, dass in diesem Fall die Überführung in eine klassische Optimierungsaufgabe mit skalarer Zielfunktion dadurch erreicht wird, dass als skalare Zielfunktion die Summe der gewichteten Teilzielfunktionen verwendet werden kann. Die Wichtungskoeffizienten werden durch Spieltheorie und Coaching bestimmt. Die Optimierung der gewichteten Summe der Teilzielfunktionen erfolgt durch Künstliche Intelligenz und algebraische Methoden.

Es geht auch um eine intelligente Mensch-Technik-Schnittstelle für den gesamten Lebenszyklus (Entwicklung, Realisierung, Betrieb, Rekonstruktion, Entsorgung) einer technologischen Anlage bzw. eines territorial verteilten technologischen Systems. Folgende Probleme sind dabei zu lösen:

- Gestaltung einer intelligenten Mensch-Technik-Schnittstelle bei Open Innovation;
- Entwicklung und Nutzung von Simulationssystemen für kontinuierliche technologische Anlagen;
- Koordinierung von mehreren Innovationsmethoden (TRIZ, Design Thinking, Künstliche Intelligenz u.a.) im Rahmen eines anlagenorientierten Innovationsmanagements.

Bei der Gestaltung der Schnittstelle werden Methoden der kognitiven Psychologie mit folgenden Zielen eingesetzt: der Nachbildung des menschlichen Problemlösungsprozesses (Wissensakquisition, -präsentation, -manipulation, -konsultation).

2.5 Design Thinking

Es existieren mehrere Vorgehensmodelle von Design-Thinking-Prozessen.^[8] Nach dem [Hasso-Plattner-Institut](#) in [Potsdam](#) lassen sich die sechs Schritte des Design Thinkings folgendermaßen beschreiben: Das zu Beginn stehende Problem wird bestenfalls mit einem Team aus mehreren Personen definiert. Wichtig ist dabei, ein allgemeines Verständnis zu schaffen und alle Beteiligten auf denselben Stand zu bringen. Konkrete Fragen können zum Beispiel sein: *Was* soll neu entwickelt werden? Für *wen* soll die Entwicklung relevant sein? *Welche* wesentlichen (aktuellen oder zukünftigen) *Rahmenbedingungen* müssen berücksichtigt werden? Welcher *Endzustand* soll durch die Lösung erreicht werden?

- Beobachten: Beim Beobachten geht es darum, sich in den Kunden hineinversetzen zu können. Eine [Analyse](#) des Kundenwillens ist zum Beispiel durch ein [Interview](#) oder [Rollenspiele](#) möglich. Dabei ist es wichtig, den Kunden reden zu lassen. Gutes Zuhören ist der ausschlaggebendste Teil der Arbeit, denn sonst können Missverständnisse entstehen. Die Wünsche des Kunden stehen immer im Vordergrund.

- Standpunkt definieren: Die Ergebnisse der ersten beiden Schritte werden vereint. Techniken wie **Personas** oder Point-of-View werden dazu verwendet, den Standpunkt bildlich wie schriftlich zu definieren.
- Ideen finden: Zu Beginn der Ideenfindung steht ein allgemeines **Brainstorming**, in dem jegliche Ideen, seien sie noch so verrückt oder **utopisch**, zusammengetragen werden. Die Resultate werden strukturiert und nach Prioritäten sortiert. Dabei sind Fragen nach der **Effizienz**, der Umsetzbarkeit oder der **Wirtschaftlichkeit** der einzelnen Ideen von Bedeutung. Ebenfalls ist ein Blick zur Konkurrenz nicht unüblich.
- Prototyp: Ein **Prototyp** wird zu Anschauungszwecken erstellt. Perfektion und Vollendung sind dabei unbedeutend. Wichtiger ist: je einfacher, desto besser. Der Kreativität wird freien Lauf gelassen. Techniken, die beim Prototyping zum Einsatz kommen, sind unter anderem **Wireframes**, **Post Its**, Rollenspiele, **Storyboards** oder Modelle. Ausgerichtet wird der Prototyp auf die Bedürfnisse des Kunden. Wichtig ist, dass dieser sich anhand des Prototyps die Lösung seines Problems vorstellen kann.
- Testen: Zuletzt muss das Erarbeitete getestet werden. Dabei spielt **Feedback** eine wichtige Rolle. Außerdem ist **Flexibilität** gefordert. Funktioniert eine Idee nicht, darf sie verworfen werden. Kunden werden bei Tests mit den Prototypen genau beobachtet. Anhand ihrer Reaktion entwickeln sich weitere Ideen und Verbesserungen. Design Thinker sind bei diesem Schritt ebenfalls offen für neue Anregungen. Wird bei einem Test ein Mangel festgestellt, wird dieser eliminiert und die Schritte mit den verbesserten oder neuen Prototypen wiederholt. Es ist durchaus üblich, dass es bei neuen Produkten mehrere Testphasen gibt, bis der Kunde zufrieden ist und das Produkt freigegeben werden kann.

Nach **IDEO** lassen sich die sechs Schritte des Design Thinkings folgendermaßen beschreiben:

- Frame a Question: Finden Sie eine treibende Frage, die andere dazu inspiriert, nach kreativen Lösungen zu suchen.
- Gather Inspiration: Inspirieren Sie zum Denken von Neuem, indem Sie herausfinden, was Menschen brauchen.
- Generate Ideas: Lassen Sie offensichtliche Lösungen hinter sich, um zu bahnbrechenden Ideen zu gelangen.
- Make Ideas Tangible: Erstellen Sie grobe Prototypen, um zu begreifen, wie Sie Ideen verbessern können.
- Test to Learn: Verfeinern Sie Ideen, indem Sie Feedback sammeln und vorwärts experimentieren.
- Share the Story: Erstellen Sie eine menschliche Geschichte, um andere zum Handeln anzuregen.

2.6 Kybernetik

Die Aufgaben der **Kybernetik** sind in Tabelle 2 zusammenfassend beschrieben. Auf eine Darstellung der Prozessüberwachung als selbstständige Prozesssteuerungsaufgabe wird an dieser Stelle verzichtet, da das eigentliche Ziel der Kybernetik in der zielgerichteten

Beeinflussung des Steuerungsobjektes im Sinne der Prozesssicherung, -stabilisierung und –optimierung besteht.

Steuerungsfunktion	Verbale Erläuterung des Inhaltes	Typische technische Lösungen
Prozesssicherung	Alarmierung, Notabschaltung bei Gefahrezuständen, Verwirklichung von Abwehrstrategien, Verhinderung von Fehlbedienungen	Sicherheits-/ Schutzverriegelungssysteme, 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

Tab. 2: Steuerungsfunktionen als Aufgaben der Kybernetik

Die Methoden der Kybernetik basieren auf der Einheit von Steuerungssystem und Steuerungsobjekt. Aus diesem Grund werden auch die Aufgaben des Steuerungssystems durch eine vergleichende Analyse der Amplitude und der Frequenz der auf das Steuerungsobjekt einwirkenden Störgrößen bestimmt (s. Bild 1). Darüber hinaus zeigt die Abbildung 1, dass mit sinkender Frequenz der Störgrößen ein Einsatz von Systemen der künstlichen Intelligenz (Expertensysteme) sinnvoll ist. Die gleiche Aussage trifft auch auf den Einsatz von TRIZ-Methoden und auf den Einsatz des Menschen als Regler (Offener Kreis) zu.

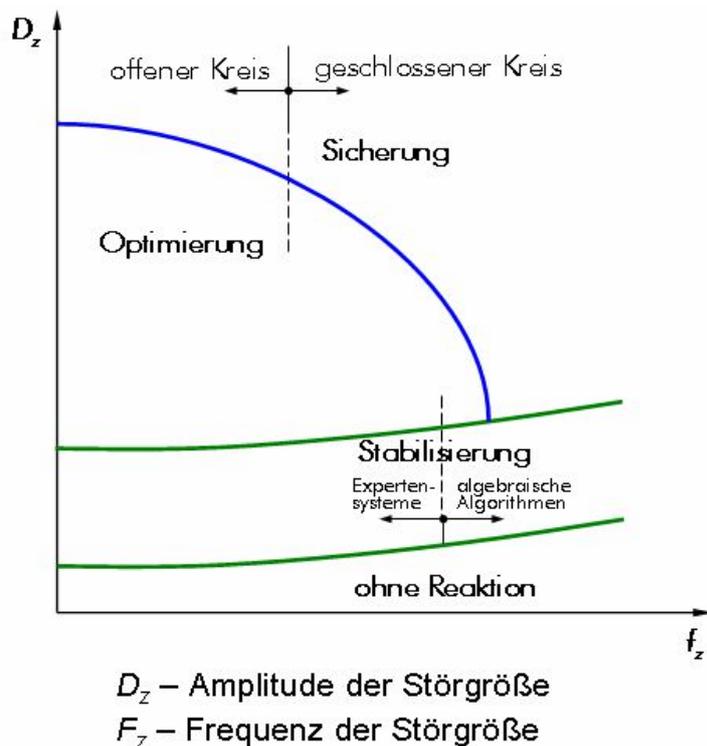


Bild 7: Ableitung von Steuerungsaufgaben

2.7 Paradigmenwechsel als selbstständige Innovationsmethode

In den technischen Wissenschaften haben wir eine besonders enge Beziehung zwischen Paradigmenwechsel und der Gestaltung von Innovationsprozessen zu verzeichnen.

Unter Paradigma verstehen wir: Konzeption, Denkweise, Wissenschaftstheorie. Beispiele für Paradigmenwechsel sind der Übergang zu folgenden Konzeptionen:

- Künstliche Intelligenz als Universaltechnologie;
- Big Data, deep learning;
- Arbeitsfreie Gesellschaft;
- Globale Vernetzung, Produktion 4.0;
- Automatische Psychografie;
- e-Learning, Trainingssimulatoren;
- sich selbst verstärkendes Lernen (positive Rückkopplung);
- Kognitive Psychologie.

In immer stärkerem Masse haben wir es aber auch mit sogenannten Paradigmenwechsel-Kaskaden zu tun. Darunter verstehen wir, dass ein Paradigmenwechsel in einer Wissenschaftsdisziplin zu Paradigmenwechseln in anderen Wissenschaftsdisziplinen führt. Die Paradigmenwechsel beziehen sich *erstens* auf innovative Lösungen in den technischen Wissenschaften selber und *zweitens* auf neue Methoden im Innovationsmanagement, mit denen diese innovativen Lösungen geschaffen werden.

Die hier beschriebenen Probleme wollen wir am automatisierten Verfahreningenieurwesen und am Bauingenieurwesen beispielhaft darstellen. Dabei gehen wir von dem Prinzip von Gottfried Wilhelm Leibniz „*teoria cum praxi*“ aus. Die ausgewählten Beispiele beziehen sich auf gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit Klein- und mittelständischen Unternehmen.

Bei der Erarbeitung neuer technischer Konzepte gehen wir davon aus, dass wir eine Vielzahl von Innovationsmethoden anwenden, die miteinander koordiniert werden müssen.

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 ein erfolgreiches Wirken der Erneuerungsprozesse ist Interdisziplinarität im Sinne der Zusammenarbeit zwischen Natur-, Technik- und Sozialwissenschaften.

2.8 Open Innovation

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.

Paradigmenwechsel und ihr Einfluss auf Innovationsprozesse

1. Einleitung

In den technischen Wissenschaften haben wir eine besonders enge Beziehung zwischen Paradigmenwechsel und der Gestaltung von Innovationsprozessen zu verzeichnen.

Der Begriff Paradigma ist ein griechischer Begriff und bedeutet so viel wie Beispiel oder Vorbild. Heute verstehen wir unter Paradigma : Konzeption, Denkweise, Wissenschaftstheorie. Beispiele für Paradigmenwechsel sind der Übergang zu folgenden Konzeptionen:

- Künstliche Intelligenz als Universaltechnologie,
- Big Data, deep learning,
- Arbeitsfreie Gesellschaft,
- Globale Vernetzung, Produktion 4.0,
- Automatische Psychografie,
- e-learning, Trainingssimulatoren,
- sich selbst verstärkendes Lernen (positive Rückkopplung),
- Kognitive Psychologie.

In immer stärkerem Masse haben wir es aber auch mit so genannten Paradigmenwechsel-Kaskaden zu tun. Darunter verstehen wir, dass ein Paradigmenwechsel in einer Wissenschaftsdisziplin zu

Paradigmenwechseln in anderen Wissenschaftsdisziplinen führt. Die Paradigmenwechsel beziehen sich erstens auf innovative Lösungen in den technischen Wissenschaften selber und zweitens auf neue Methoden im Innovationsmanagement, mit denen diese innovativen Lösungen geschaffen werden. Die hier beschriebenen Probleme wollen wir am automatisierten Verfahrensingénieurwesen und am Bauingénieurwesen beispielhaft darstellen. Dabei gehen wir von dem Prinzip von Leibniz aus: Teoria cum Praxi. Die ausgewählten Beispiele beziehen sich auf gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit Klein- und mittelständischen Unternehmen. Die dabei betrachteten

Systeme wurden teilweise unter dem Gesichtspunkt der Interdisziplinarität bereits im Band 57 der Abhandlungen der Leibniz-Sozietät analysiert (Banse G., Sieber F. 2019).

2. Paradigmenwechsel und methodische Innovationen

Bei der Erarbeitung neuer technischer Konzepte gehen wir davon aus, dass wir eine Vielzahl von Innovationsmethoden anwenden, die miteinander koordiniert werden müssen.

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 ein erfolgreiches Wirken der Erneuerungsprozesse ist Interdisziplinarität im Sinne der Zusammenarbeit zwischen Natur-, Technik- und Sozialwissenschaften.

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. Diese Herangehensweise ist die Grundlage für die der Zusammenarbeit aller Partner in dem vorliegenden Kooperationsprojekt.

Für den oben genannten Prozess der Koordinierung einer Vielfalt von Innovationsmethoden im Rahmen der ‚*Open Innovations*‘ werden die Künstliche Intelligenz und die Allgemeine Technologie verwendet (Abbildung 1).

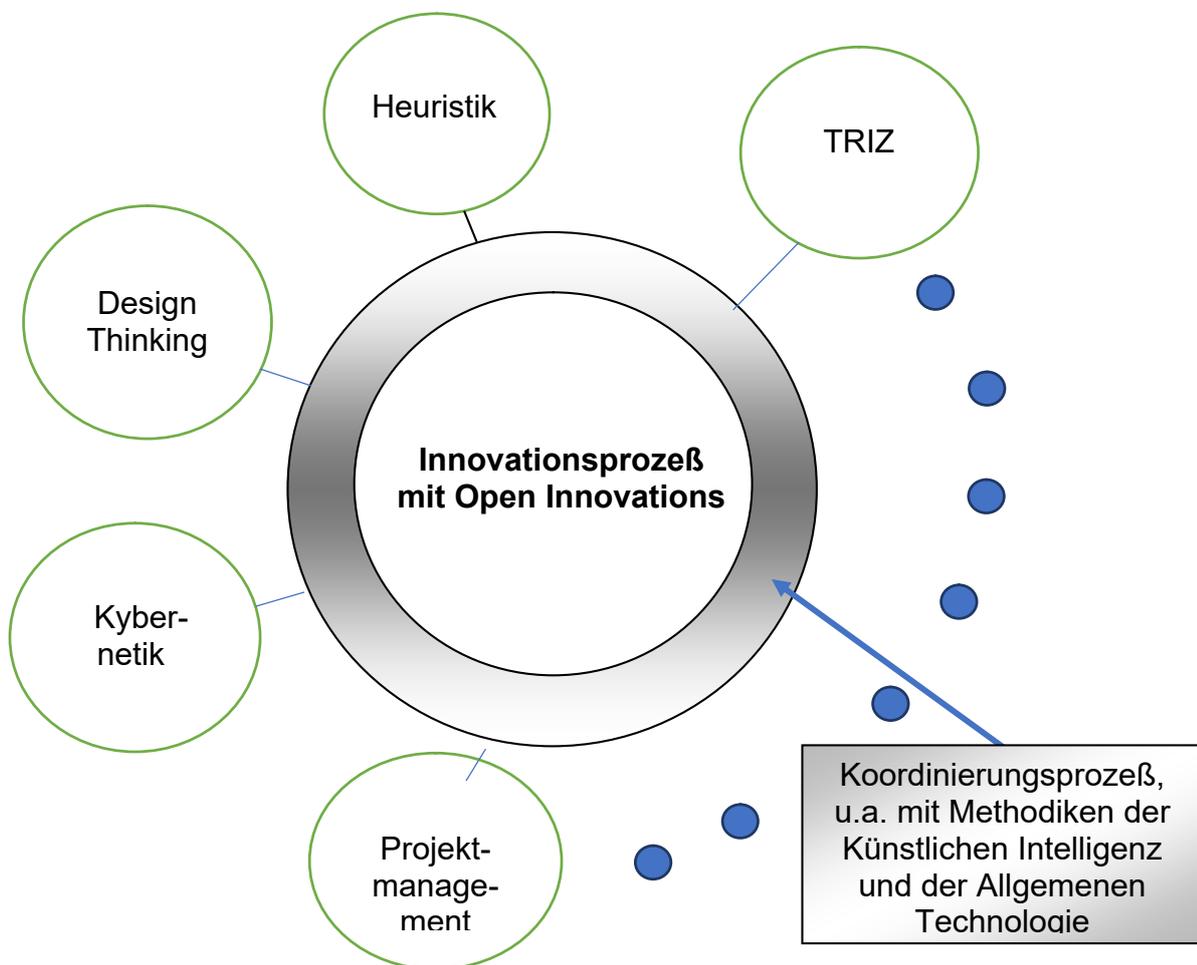


Abbildung 1: Open Innovations durch Koordinierung von Innovationsmethoden (vgl. auch Balzer D. 2017):

Unter Künstlicher Intelligenz im Zusammenhang mit Open Innovations verstehen wir das Teilgebiet der [Informatik](#), welches sich mit der [Automatisierung](#) intelligenten Verhaltens und dem [Maschinellen Lernen](#) befasst.

Die Allgemeine Technologie liefert die systemtheoretische Analyse des gesamten Lebenszyklus eines technologischen Systems (Forschung, Projektierung, Konstruktion, Realisierung, Betrieb, Entsorgung). Mit ihren Erkenntnissen zu einer übergreifenden Systematik technischer Funktions- und Strukturprinzipien ist sie ein wichtiges Element für die Entwicklung disruptiver Lösungen mit neuartigen technologischen Ansätzen. Ein wichtiges Element der Allgemeinen Technologie ist die mathematische Modellierung. In der Konzeptionsphase werden vor allem experimentelle Methoden der mathematischen Modellierung verwendet. Dabei werden erstens Methoden der optimalen Versuchsplanung und zweitens Methoden für die Analyse der Reaktion des Systems auf zufällige Eingangssignale verwendet.

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. Abbildung 2). Für die Lösungsfindung im vorliegenden Fall wurden in jedem Schritt die Innovationsmethoden der Allgemeinen Technologie und der Künstlichen Intelligenz koordiniert genutzt.

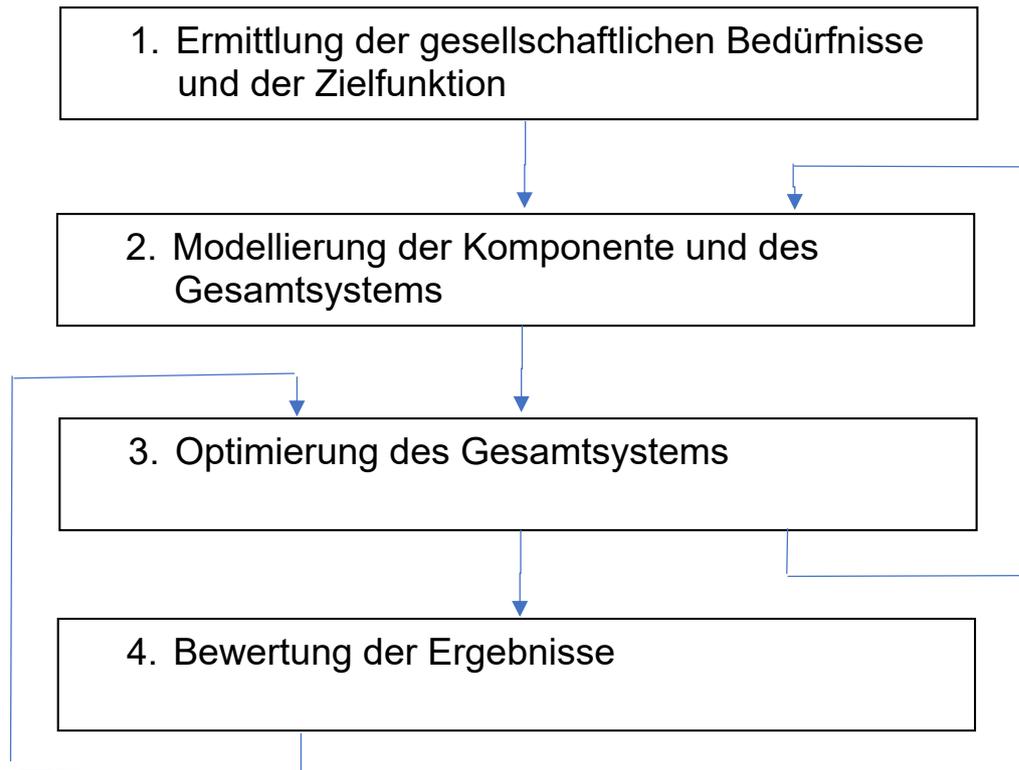


Abbildung 2: Lösungsalgorithmus für die Koordinierung von Innovationsmethoden

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

Das Prinzip des in allen Schritten angewandten Koordinierungsalgorithmus beruht auf der Anwendung von Erfahrungen aus der Entwicklung echtzeitfähiger Expertensysteme. Im vorliegenden Fall geht es vor allem um das dafür typische Wissensmanagement.

Eine besonders wichtige Rolle in diesem Zusammenhang spielt die Innovationsmethode TRIZ (Теория решения изобретательских задач, Theorie zur Lösung von Erfindungsaufgaben), die bereits in Abbildung 1 genannt wurde.

Auf Abbildung 3 sind der Inhalt und das methodische Vorgehen bei der spezialisierten TRIZ für die automatisierte Verfahrenstechnik dargestellt (Balzer D., Regen W., Sieber F. 2019):“.

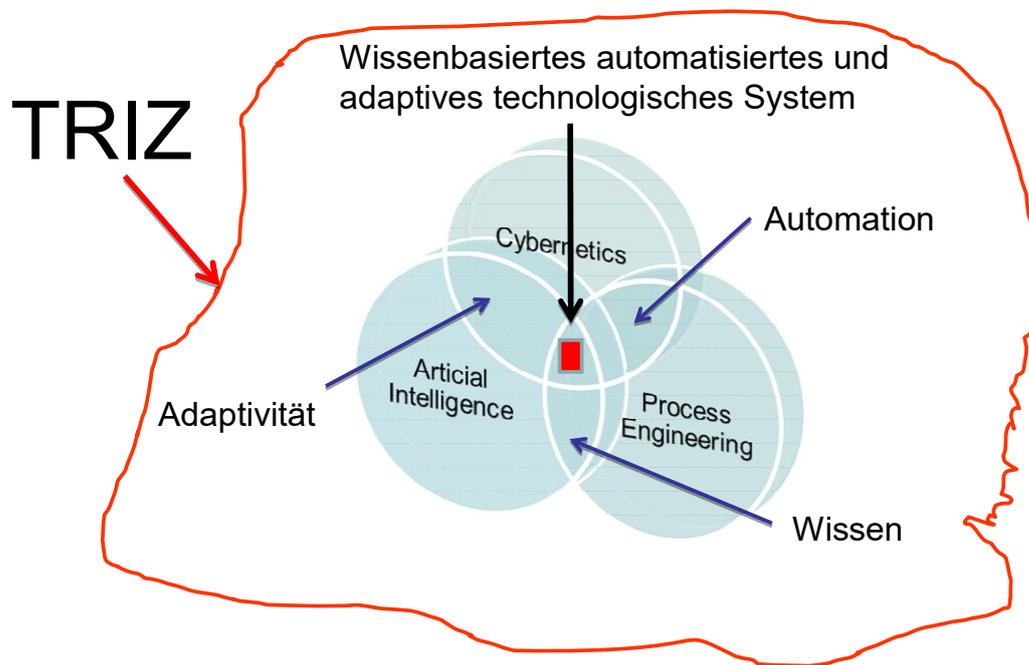


Abbildung 3: Methodik der spezialisierten TRIZ für die automatisierte Verfahrenstechnik

Folgende inhaltliche Besonderheiten der spezialisierten TRIZ für die Verfahrenstechnik sind hervorzuheben (Balzer D., Sieber F. 2018):“:

- Anwendung der Dialektik als universelle Denkmethode
- Interdisziplinarität der Methode
- hierarchische Struktur der Lösung

Die dialektische Denkmethode zeichnet sich in diesem Fall dadurch aus, dass erstens die zu lösenden Widersprüche beim Entwurf und beim Betrieb des Gesamtsystems zu analysieren sind. Eine Lösung dieser Widersprüche erfolgt erstens durch eine Negation der Negation und zweitens durch einen Umschlag der Quantität in eine neue Qualität.

Die Interdisziplinarität wird durch das Zusammenwirken von Verfahrensingenieurwesen, Kybernetik und Künstlicher Intelligenz charakterisiert. Unter Künstlicher Intelligenz verstehen wir die

Nachbildung bzw. Modellierung des menschlichen Verhaltens einschließlich der menschlichen Denkprozesse.

Bezüglich der Hierarchie der Lösung sind folgende Bemerkungen zu machen:

- auf der unteren Ebene sind Lösungen auf drei Gebieten zu entwickeln: Automatisierung, Wissensakquisition und Wissensverarbeitung, Prozessoptimierung
- auf der oberen Ebene sind die Lösungen der unteren Ebene zu koordinieren und in ein wissensbasiertes, automatisiertes und adaptives System zu integrieren

Hierarchisch strukturierte Lösungen sind sowohl für die Projektierung als auch für den Betrieb der Systeme zu entwickeln.

Während des Lösungsprozesses zu bearbeitende typische dialektische Widersprüche vom Standpunkt der Natur- und Technikwissenschaften sind z. B.:

- Der Widerspruch zwischen Optimalität und Stabilität des Systems. Das Wesen dieses Widerspruches besteht darin, dass das Optimum des Gesamtsystems sehr oft in der Nähe der Stabilitätsgrenze des Systems liegt.
- Der Widerspruch zwischen Funktionalität und Bedienkomfort. Dieser Widerspruch 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.
- Der Widerspruch zwischen Sollwert und Istwert beim Betreiben der biotechnologischen Anlage. Dabei handelt es sich um einen charakteristischen dialektischen Widerspruch in der Prozessindustrie.
- Der Widerspruch zwischen Zuverlässigkeit und Wartungsaufwand. Dieser Widerspruch besteht darin, dass aus ökonomischen Gründen die Zuverlässigkeit der technologischen Anlage, bestehend aus technologischer Anlage und Steuerungssystem, zu erhöhen und der Wartungsaufwand für Hardware und Software zu reduzieren ist

Die Komponenten der Widersprüche müssen mathematisch beschrieben werden, um bei deren Lösung quantifizierte Ergebnisse zu erhalten.

Typische innovative Lösungsprinzipien bei der Bearbeitung der Widersprüche sind die mathematische Modellierung der technologischen Systeme als Nutzung von Tiefenwissen und die Dekomposition des Gesamtsystems in Untersysteme bzw. Teilsysteme. Insgesamt sind ca. 40 Lösungsprinzipien bekannt.

Abbildung 4 enthält eine schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufes einer Paradigmenwechsel-Kaskade im automatisierten Verfahrensingieurwesen.

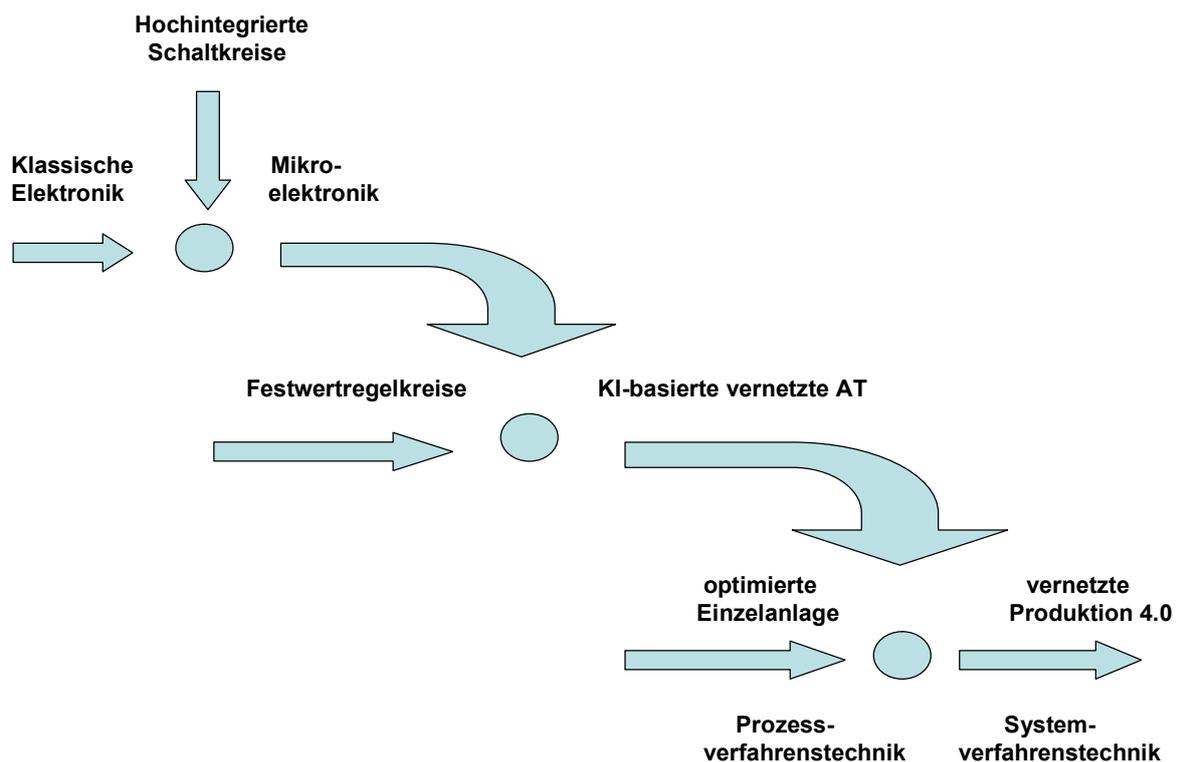


Abbildung 4: Paradigmenwechsel-Kaskade: Elektronik, Automatisierung, Verfahrenstechnik

Die auf Abbildung 4 dargestellte Paradigmenwechsel-Kaskade leistet einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit technologischer Lösungen. In Tabelle 1 sind die einzelnen Aspekte der Nachhaltigkeit durch die Nutzung von Paradigmenwechsel-Kaskade zusammengestellt.

Kriterium der Nachhaltigkeit	Inhalt
technisch	Einhaltung von Optimalitätsbedingungen, adaptive Lösungen unter Nutzung echtzeitfähiger Elemente der KI, Wiederverwendbarkeit von Automatisierungslösungen
ökonomisch	Wettbewerbsfähigkeit
ökologisch	Energie- und Ressourceneffizienz
sozial	physiologische und psychologische Arbeitsbedingungen

Tab. 1: Nachhaltigkeit durch Paradigmenwechsel-Kaskaden

Im Weiteren werden innovative Lösungen auf der Basis der Paradigmenwechsel-Kaskade „Elektronik, Automatisierung, Verfahrenstechnik“ beschrieben als Beitrag zum Strukturwandel in den Regionen in Deutschland (z.B. Lausitz, Erzgebirge, Havelland). Dabei werden folgende Ziele angestrebt:

- Nachhaltige Entwicklung eines strukturschwachen Gebietes
- Nutzung von bereits in der Region vorhandenen Erfahrungen und Lösungsansätzen
- Schaffung einer postcarbonen Energiewirtschaft
- Kopplung der Energiewirtschaft mit einer ökologischen Abfallwirtschaft
- Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen und Erhöhung der Attraktivität der Region

- Verbindung von Industrie und Aus- und Weiterbildung
- Kopplung von KMU mit universitären und außeruniversitären Forschungs- und Bildungseinrichtungen
- Interdisziplinäre Forschung und Bildung

3. Innovative Lösungen auf der Basis der Paradigmenwechsel-Kaskade „Elektronik, Automatisierung, Verfahrenstechnik“

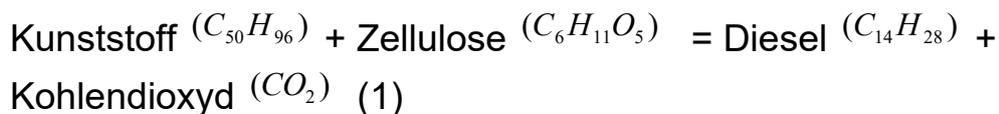
Die erste Lösung behandelt ein Beispiel aus der Kreislaufwirtschaft (Balzer D., Regen W. 2021): Es geht dabei um ein automatisiertes Verfahren zur Herstellung von Dieselöl aus organischen Abfall- und Reststoffen basierend auf Technologien zur katalytischen drucklosen Verölung (KDV)

Energie aus nachwachsenden Rohstoffen sowie aus organischen Reststoffen der Abfallwirtschaft mit hohem Kohlenstoffgehalt durch neue innovative Technologien mit Modellcharakter verfügbar zu machen, stellt zunehmend eine Alternative zur Produktion von Energieträgern aus fossilen Ressourcen dar. Das ist von besonderer Bedeutung bei der Sicherung der Energieautonomie im kommunalen Bereich. Um diese im gesamtstaatlichen Interesse liegende Forderung umzusetzen ist ein neues dezentrales automatisiertes verfahrenstechnisches System zur Gewinnung von Dieselöl aus Haus- und Gewerbemüll sowie Kunststoff, Holz und Klärschlamm durch ein Konsortium aus Industrieunternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen (Balzer D. (2018)) entwickelt und in mehreren Anlagen im In- und Ausland erfolgreich getestet worden. Das technologische Schema dieser Anlage ist in der Abbildung 5 dargestellt. Diese KDV-Anlage wird in ein virtuelles Kraftwerk (Mikrogrid) integriert, Zentrale Elemente der KDV-Anlage sind ein Turbogenerator, welcher sich mit hoher Dynamik an Änderungen in der Wärmezufuhr anpassen kann, optimierte Katalysatoren, eine Kompakteinheit zur Substitution der bisherigen einzelnen Verfahreseinheiten zur katalytischen drucklosen Verölung und ein wissenschaftsbasiertes Mischungssystem für die Input-Stoffe. Das Inputmaterial soll aus regionalem Aufkommen an Siedlungsreststoffen generiert werden. Dies sind insbesondere Kunststoffe und Holz („gelber Sack“-Fraktionen, Holzschnitzel), Klärschlamm aus Kläranlagen, Braunkohlenstaub und ggf. weitere organische Reststoffe, die derzeit noch verklappt werden, wie z. B. Trester. Dazu sind neue Anlagenteile zur Materialkennung,

Materialaufbereitung, Mischung, Dosierung und Prozesseinbringung zu entwickeln.

Im Turbogenerator laufen die tribochemischen katalytischen Reaktionen der Stoffumwandlung vor allem als Depolymerisation und Polymerisation ab.

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



Die chemische Summengleichung der Depolymerisation ebenfalls ohne Beachtung der stöcheometrischen Koeffizienten lautet:



Diese chemischen Gleichungen (1,2) bilden die Grundlage für die Erstellung des mathematischen Modells in Form von Material- und Energiebilanzgleichungen. Unter Nutzung des mathematischen Modells erfolgt dann die operative Prozessoptimierung, -stabilisierung und -sicherung als Beitrag zur Nachhaltigkeit.

Es wurde ein neuartiges Steuerungs- und Regelungssystem sowohl für die Leitebene als auch für die Feldebene entwickelt (s. Abbildung 6). Die Abwärme wird innerhalb der Anlage genutzt. Dadurch wird eine höhere Wirtschaftlichkeit und Effizienz des Prozesses erreicht. Gleichzeitig muss aber auch beachtet werden, dass das optimale Betriebsregime der Anlage in der Nähe der Stabilitätsgrenze liegt. Es ist deshalb notwendig, dass mit Hilfe der Automatisierungssysteme ein entsprechender Sicherheitsabstand zur Stabilitätsgrenze eingehalten wird. Die Gesamtanlage wird in ihrer Größe so konzipiert, dass mit ihr ein regionaler Wertstoff- und Wirtschaftskreislauf durchgeführt werden kann. Die Inputmaterialien werden aus regionalem Aufkommen generiert und das Endprodukt Diesel kann sowohl in einem BHKW zur Erzeugung von Regelenergie als auch in der Region in Industrie und Landwirtschaft

verwendet werden. Dadurch können Umweltbelastungen durch Transporte minimiert werden.

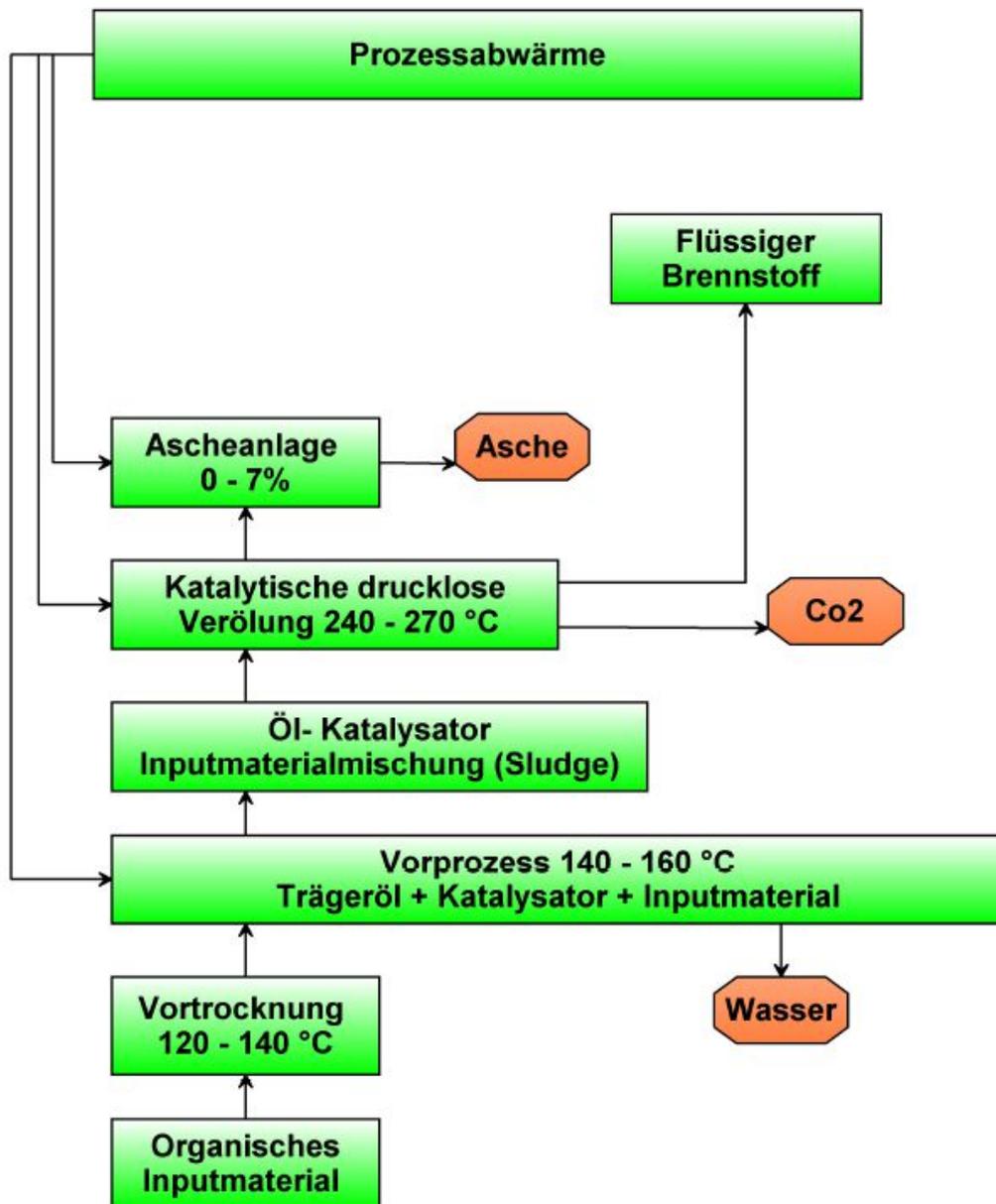


Abbildung 5 :Prinzip Schema der Technologie zur katalytischen drucklosen Verölung (Eigene Darstellung)

Für die Integration von KDV-Anlagen in das automatische Energiemanagement in virtuellen Kraftwerken für Gewerbe- und Wohngebiete sind insbesondere folgende Aufgaben zu lösen:

- Modellierung und optimale Auslegung der KDV-Anlagen mit dem Ziel, durch die Erhöhung der Zuverlässigkeit, Flexibilität und Steuerbarkeit der Anlagen Regelenergie bereitzustellen,
- Untersuchungen zum Einfluss des Katalysatortyps und Prozessbedingungen auf die katalytische Verölung von individuellen biogenen und polymeren organischen Reststoffen und deren Gemischen,
- Entwurf eines modellbasierten Prozessführungssystems für die KDV-Anlagen mit standardisierten Schnittstellen zum Energiemanagementsystem,
- Bestimmung der dynamischen und statischen Vorgaben bzw. Sollwerte für die Steuerung der KDV-Anlagen (Requirement-Engineering) unter Beachtung der Anforderungen an die Energieversorgung für Gewerbe- und Wohngebiete sowie der Quantität und Qualität der zur Verfügung stehenden Input-Stoffe.

Das neue verfahrenstechnische System besitzt folgende Alleinstellungsmerkmale:

- hohe Kraftstoffausbeute bezogen auf die verwendeten Einsatzstoffe,
- keine Erzeugung von Dioxinen oder Furanen durch Betrieb bei Temperaturen unterhalb der Pyrolysetemperatur,
- Umsetzung unter Normaldruckbedingungen,
- flexibler und modularer Betrieb der Anlage sowohl mit biogenen als auch mit mineralischen und synthetischen Abfallstoffen oder Mischungen derselben,
- die geringen Totzeiten und Zeitkonstanten der Steuerkanäle gestatten die Erzeugung von Regelenergie für virtuelle Kraftwerke auch ohne zusätzliche Speicherkapazität für den Kraftstoff. Die Speicherkapazität kann damit optimiert werden,

- Inputstoffe können Altöle, Fettrückstände, Plastikmaterial einschließlich PVC, Gummireifen, sortierter Müll einschließlich Krankenhausmüll, Klärschlämme etc. sein.

Die notwendigen Elemente bei der Lösung der Automatisierungsaufgaben führen dazu, dass die Struktur des Automatisierungs- und Steuerungssystems der KDV-Anlage eine 2-stufige Hierarchie besitzen (s. Abbildung 6).

Dazu wurde im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes die Konzeption für „Virtual Automation Networks (VAN)“ entwickelt, in dem sowohl öffentliche und private als auch industrielle Kommunikationstechnologien zu einem einzigen skalierbaren System mit einer im Idealfall garantierten Dienstgüte (Quality of Service - QoS) integriert werden kann. Abbildung 6 stellt die Grundstruktur für Automatisierungssysteme bei räumlich verteilten Automatisierungsobjekten dar, die in mehreren Artikeln in diesem Sammelband verwendet werden (Balzer D., Regen W. 2021).

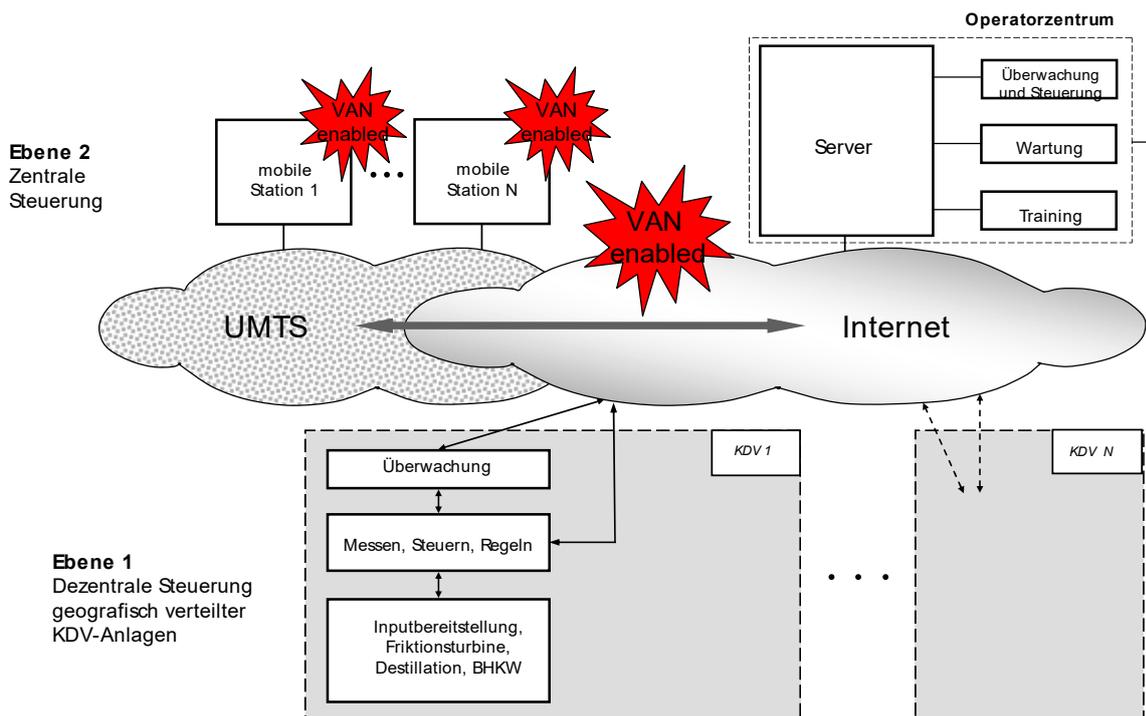


Abbildung 6: VAN (Virtuelles Automatisierungsnetz) basierte Automatisierungsstruktur geographisch verteilter KDV-Anlagen (Eigene Darstellung)

Die praktischen Vorteile und damit die Nachhaltigkeit der zentralen Steuerung und Wartung dezentraler technologischer Anlagen mit Hilfe eines Operatorzentrums sind:

- 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,
- Integration eines Trainingssimulators in die zentrale Leittechnik (e-learning) ist möglich,
- Der geschätzte ökonomische Nutzen bei der Steuerung von KDVi-Anlagen beträgt unter Beachtung der Erfahrungen in der Verfahrenstechnik (z. B. Abfallwirtschaft, Nutzung erneuerbarer Energien) beträgt ca. 30% Gewinnerhöhung.

Bei dem zweiten Beispiel geht es um neue Formen und technische Lösungen des Wohnens und Arbeitens unter den Kerngesichtspunkten Nachhaltigkeit, Energie- und Ressourceneffizienz und Gesundheit (s. Abbildung 7). Dieses Beispiel ist eng verbunden mit dem Bauingenieurwesen ([EuReffuS](#), HS Senftenberg, Vesper, IAT 2017).

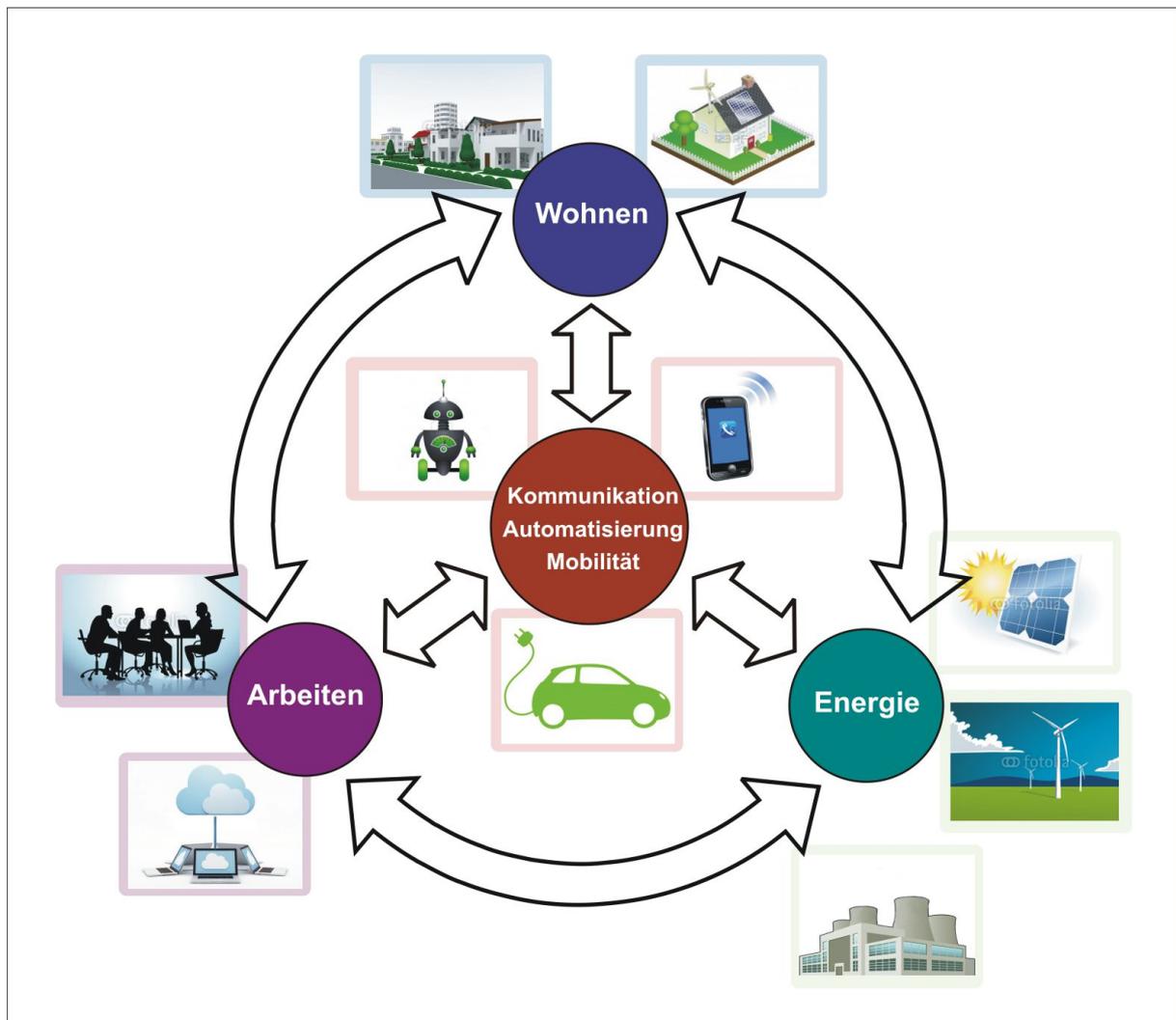


Abbildung 7: Neue Formen des Wohnens und Arbeitens

Das Automatisierungssystem ist inhaltlich auf Abbildung 8 dargestellt. Die informationelle Struktur dieses Systems entspricht der Darstellung auf Abbildung 6.

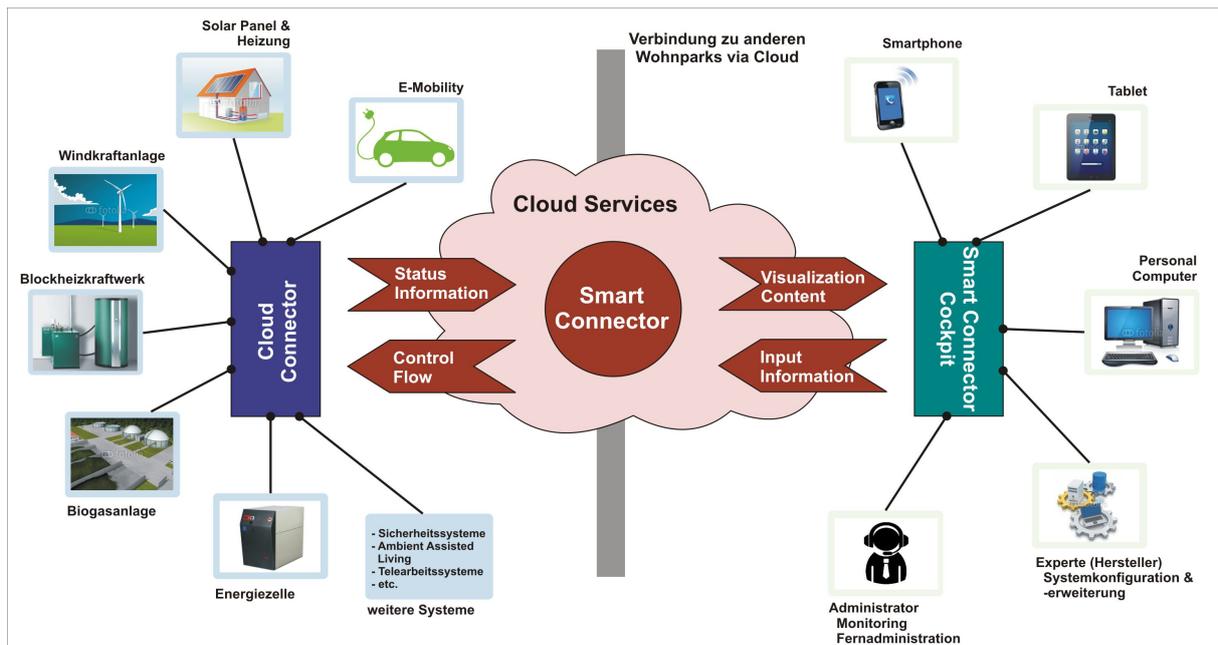


Abbildung 8: Automatisierungssystem für die neuen Formen des Wohnens und Arbeitens

Die innovativen Alleinstellungsmerkmale dieses Beispiels sind die folgenden (Balzer D. 2018 und Balzer D., Regen W., Sieber F. 2019):

- Ganzheitliche Technologieplattform für eine neue Generation der Gebäudesteuerung und -automation unter Nutzung neuer Paradigmen unter Beachtung aktueller gesellschaftlicher Herausforderungen,
- Optimiertes operatives und proaktives Energiemanagement unter Nutzung verschiedener erneuerbarer Energiequellen bis hin zur Energieautonomie,
- Neue Formen des Wohnens und Arbeitens durch die konzeptuelle Integration von Remote-Arbeitsplätzen (Virtuelle Unternehmen),
- Entwicklung telemedizinischer Komponenten in das Gesamtdesign der Anlage,
- Schaffung und Integration von Komponenten des e-learning (Virtuelle Bildungseinrichtungen) in die bauliche Anlage,
- Integration von Systemlösungen der e-Mobilität in die Kommunikations- und Automatisierungsstrukturen von baulichen Anlagen,

4. Rolle des Bauingenieurwesens als universaler Technikwissenschaft beim Paradigmenwechsel im Rahmen von Innovationsprozessen

4.1 Die Stellung des Bauingenieurwesens innerhalb der technischen Wissenschaften

Sowohl die Geschichte der technischen Wissenschaften als auch die gegenwärtige theoretische und praktische Ingenieurstätigkeit 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. Abbildung 9 zeigt die Stellung des Bauingenieurwesens innerhalb der technischen Wissenschaften.



Abbildung 9: Die Stellung des Bauingenieurwesens innerhalb der technischen Wissenschaften

Von besonderer Bedeutung sind die Beziehungen zwischen dem Bauingenieurwesen einerseits und dem Elektroingenieurwesen, dem Verfahreningenieurwesen, 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 [Relaistechnik](#) (Abbildung 10).

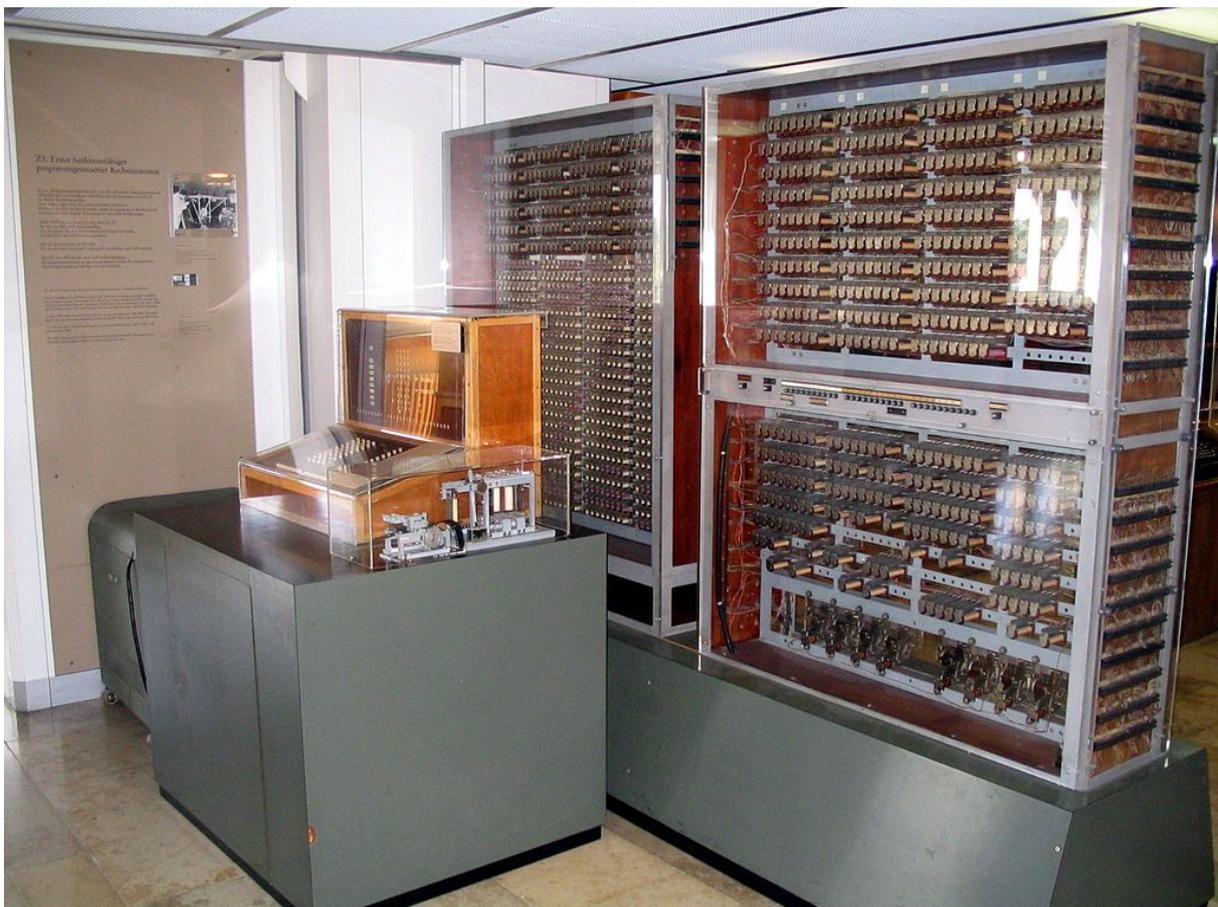


Abbildung 10: Erste elektromechanische Rechenmaschine (1941)

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. Im weiteren 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. Drittens werden die Erfahrungen beim Paradigmenwechsel innerhalb der Innovationsprozesse im Bauwesen beschrieben.

4.2 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 bautechnologischer 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 computerintegrierte Fertigungsanlagen (CIM).

Von besonderer Bedeutung ist die automatisierte Steuerung von Transport-, Umschlag- und Lagerprozessen (TUL-Prozesse) in der Bautechnologie. In Abbildung 11 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 Abbildung 11),
- technologisch nicht gebunden Transporten (Nr. 2 und 3 in Abbildung 11).

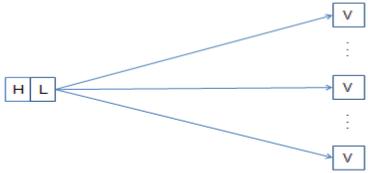
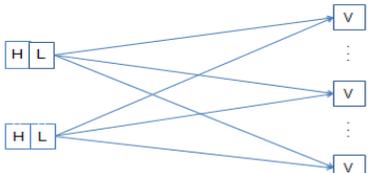
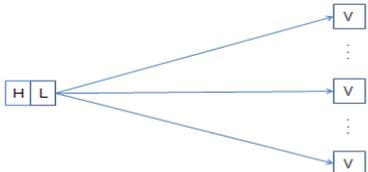
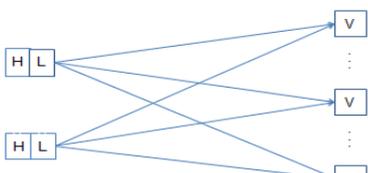
Nr.	Graph der Hersteller-Abnehmer-Relation	Typisches Modell und Lösungsverfahren
1		Modellierung als N-stufiger Entscheidungsprozess
2		Dynamische Optimierung im allgemeinen in Verbindung mit Echtzeitalgorithmen zur Steuerung
3		Bilanzmodell zum Ausgleich von Transportleistungen und Bedarf
4		Transportmodell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

Abbildung 11: Klassifizierung der TUL-Prozesse im Bauwesen bezüglich der verwendeten mathematischen Modelle und Optimierungsmethoden, H - Hersteller, V – Verbraucher, L – Lager. (vergl. (Balzer 1992)

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

4.3 Erfahrungen beim Paradigmenwechsel innerhalb der Innovationsprozesse im Bauwesen

Die Erfahrungen basieren auf den Darstellungen der Punkte 4.1 und 4.2.

Was sind die Potenziale für Künstliche Intelligenz (KI) im Bauwesen?

KI Im Bauwesen ist eine von mehreren großen Innovationen in der Bautechnologie in den letzten Jahren. Obwohl diese Technologie noch neu und nicht weit verbreitet ist, wird ihr ein großes Wachstumspotential zugetraut.

Künstliche Intelligenz bedeutet, dass Maschinen „trainiert“ werden, um menschliche kognitive Funktionen nachzuahmen. KI und Innovationsprozesse

sind heute aus Gesellschaft, Wissenschaft und Industrie nicht mehr wegzudenken. Anwendungsfälle gibt es in nahezu jedem Bereich des Lebens.

Vielen Unternehmen fällt es jedoch schwer, konkrete Anwendungsmöglichkeiten in der eigenen Organisation zu finden. Dabei gibt es in fast allen Bereichen, so im Bauwesen, Anknüpfungspunkte, wie zum Beispiel: Kundenkommunikation, Produktionsentwicklung, Qualitätssicherung, vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) usw.

Eine der großen Stärken der KI ist die Fähigkeit viele verschiedene Variationen schnell

zu untersuchen, um die beste Option zu finden, also generatives Design.

Einen wichtigen Anwendungsbereich haben wir in der Kombination mit BfM, Mittels KI werden BIM-Modelle auf tausende mögliche Designänderungen untersucht, um ein Design stabiler oder billiger zu machen. Wofür ein Mensch Monate benötigen würde, erfolgt dank KI in Stunden.

Weitere wichtige Anwendungsgebiete der KI im Bauwesen sind Probleme der vorausschauenden Problemerkennung:

- Risikominimierung,
- Projektplanung,
- Steigerung der Produktivität auf Baustellen,
- Sicherheit auf der Baustelle,
- Erkennen von Engpässe bei Arbeitskräften,
- Big Data im Bauwesen (BIM) vor allem nach Bauabschluss,

Welcher Prozess ist am schwierigsten über KI zu steuern?

Alles, was mit Dingen wie Massenermittlung (wie viel Mauerwerk, wie viel Aushub, etc.) zu tun hat.

Ebenfalls problematisch sind Prozesse, bei denen sehr personenbezogen dokumentiert wird. Das

hängt sicherlich vom Anwendungsfall ab. Es wird sicherlich immer Sinn machen, Menschen als

Experten einzusetzen. Gerade bei Bestandsbauten können Daten oft nicht gut erfasst werden,

wodurch KI-gesteuerte Prozesse schnell an ihre Grenzen kommen

Unter Nutzung der gesammelten Erfahrungen beim Einsatz von Innovationsmethoden im Bauwesen und auf der Grundlage eines Beschlusses des Deutschen Bundestages wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie der Prozess der

Einführung moderner Innovationsmethoden im Bauwesen gefördert. So wurde das Forschungsprojekt

„KI meets BIM -Künstliche Intelligenz im Bauwesen“ ins Leben gerufen (BMWi 2019). Im Focus. stehen folgende Schwerpunkte:

- Bauwerksplanung,
- Bauablaufplanung,
- Automatisierung der Baustelle,
- Betriebsphase.

5. Literatur

Banse G., Sieber F. (Hg.) (2019) : Einblicke in Ergebnisse interdisziplinärer Arbeit. trafo Wissenschaftsverlag. Berlin

Balzer D. (2017): „Gemeinsamkeiten und Unterschiede von TRIZ, künstlicher Intelligenz und Kybernetik als wissensbasierte Methoden für die Lösung technischer Probleme“. LIFIS-Online, 10.01.2017019)

Balzer D., Regen W., Sieber F.(2019):“Теория решения изобретательских задач как метод анализа и создания экологических и устойчивых технологических систем“(TRIZ als Methode zur Analyse und Synthese ökologischer und nachhaltiger technologischer Systeme) (russ.) . In: «Экономические проблемы в архитектуре, градостроительстве и инвестиционно-строительной деятельности. Современное состояние и вызовы: материалы Всероссийской научно-практической конференции членов РААСН, профессорско-преподавательского состава, молодых ученых СПбГАСУ и специалистов инвестиционно-строительной сферы СПбГАСУ. St. Petersburg, 2019.

Balzer D., Sieber F. (2018):“TRIZ as a method for analysing and designing environmentally friendly and sustainable technological systems“. TRIZCON2018, Altshuller Institute for TRIZ Studies , Purdue University West Lafayette (USA).

Balzer D., Regen W. (2021): „Die Vektoroptimierung als quantitative Methode der Kommunikationswissenschaft“. Vorliegender Sammelband.

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

EuReffuS, HS Senftenberg, Vesper, IAT (2017): „Neue Formen und technische Lösungen des Wohnens und Arbeitens unter den Kerngesichtspunkten Nachhaltigkeit, Energie- und Ressourceneffizienz und Gesundheit“. Unveröffentlichtes Manuskript.

BMWi (2019): KI meets BIM – bauing.uni-kl.de

Balzer D. (2018): „Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen aus organischen Abfall- und Reststoffen“: Vortrag auf der EuReffuS-Veranstaltung „Innovative Anlagen für das Altenburger Land“

Balzer D., Regen W., Sieber F. (2019): „Spieltheorie und Kommunikation-mögliche Ansätze unter Berücksichtigung von TRIZ, Spieltheorie, Coaching und Mediation (Kommunikation)“.. Vortrag auf der 24. Leibniz-Konferenz am 08.11.2019

Entwicklung und Einführung neuer Methoden der Arbeitsgestaltung in der Kreislaufwirtschaft

1. Einleitung

Bei der Entwicklung und Einführung neuer Methoden der Arbeitsgestaltung müssen vor allem folgende Probleme gelöst werden:

- Koordinierte Anwendung einer Vielzahl von Innovationsmethoden bei der Projektierung und beim Betrieb von technologischen Anlagen bei gleichzeitiger Anwendung des Prinzips der "Open Innovations".
- Nutzung territorial und zeitlich verteilter menschlicher und materieller Ressourcen bei der Gestaltung neuer Arbeitswelten

An zwei Beispielen aus der Energiewirtschaft (Nutzung von Restwärme zur Stromerzeugung, Kopplung von Strom- und Wärmenetzen) wird gezeigt, wie die neuen Methoden der Arbeitsgestaltung eingesetzt werden können.

2. Open Innovation und die Koordinierung von Innovationsmethoden

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. 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 Innovation‘ 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.

Open Innovation Prozesse haben die auf Bild 1 dargestellte Grundstruktur:

Open Innovation

Quelle: innovationmanagement.se

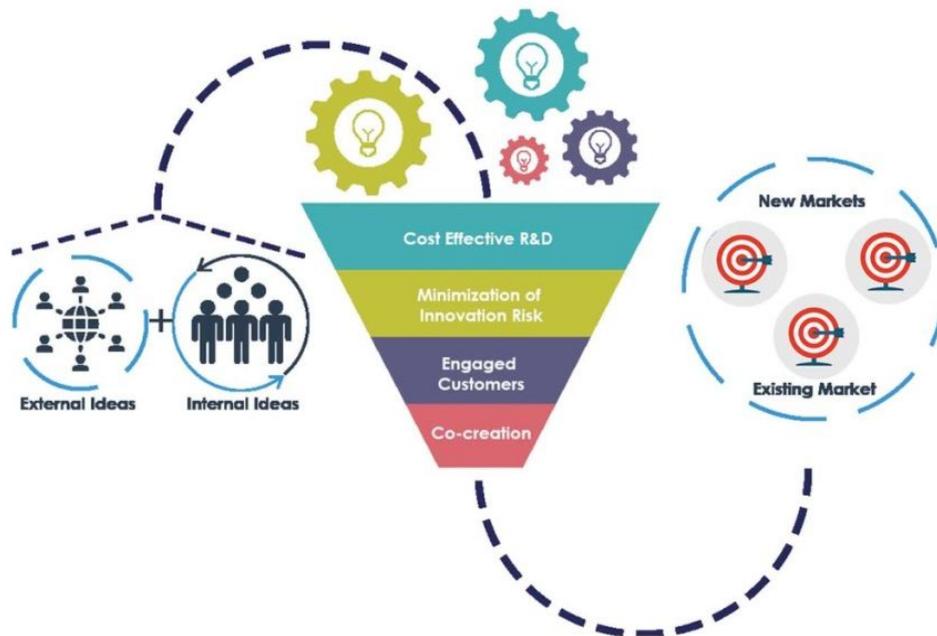


Bild 1: Die Open Innovativen Grundstruktur

Neben dem in der umgekehrten Pyramide dargestellten Kernprozess, der auf dem Innovations-orientierten Konstrukt eines OI-Business-Ökosystems beruht, spielt die Beschaffung und Nutzung interner und externer Ideen eine entscheidende Rolle. Auf diesem Gebiet gibt es bei aktuellen Strategien noch Defizite, da der Focus weiterhin auf der Ideen-Sammlung und –Stimulation liegt. Kreativitätstechniken mit systematischer Herangehensweise an die Problemlösung werden noch sehr unzureichend verwendet.

Im Projekt sollen daher, neben der Einführung erprobter Methoden, auch *neue Ansätze* für das OI- Innovations- und Kooperationsmanagement entwickelt und getestet werden, die auf der *koordinierten* Einbeziehung von *systematischen Innovationsmethoden und -prozessen* und der Anwendung von Erkenntnissen aus den Bereichen der *Künstlichen Intelligenz* und der *Allgemeinen Technologie* beruhen. Zielbereich ist die Nutzung dieser Methoden in emergenten Systemen (Energiesysteme,

Innovationsökosysteme, neue Systeme des Wohnens und Arbeitens u.a.).

Die territorial verteilte Struktur mit heterogener Vernetzung der Partner, die typisch für ‚Open Innovations‘ ist, sowie die oftmals erforderliche gleichzeitige Anwendung verschiedener Innovationsmethoden bedeutet, dass in einem konkreten kooperativen Prozess der Entwicklung neuer Lösungen, eine Vielfalt von Innovationsmethoden *zu koordinieren sind* (s. Bild 2).

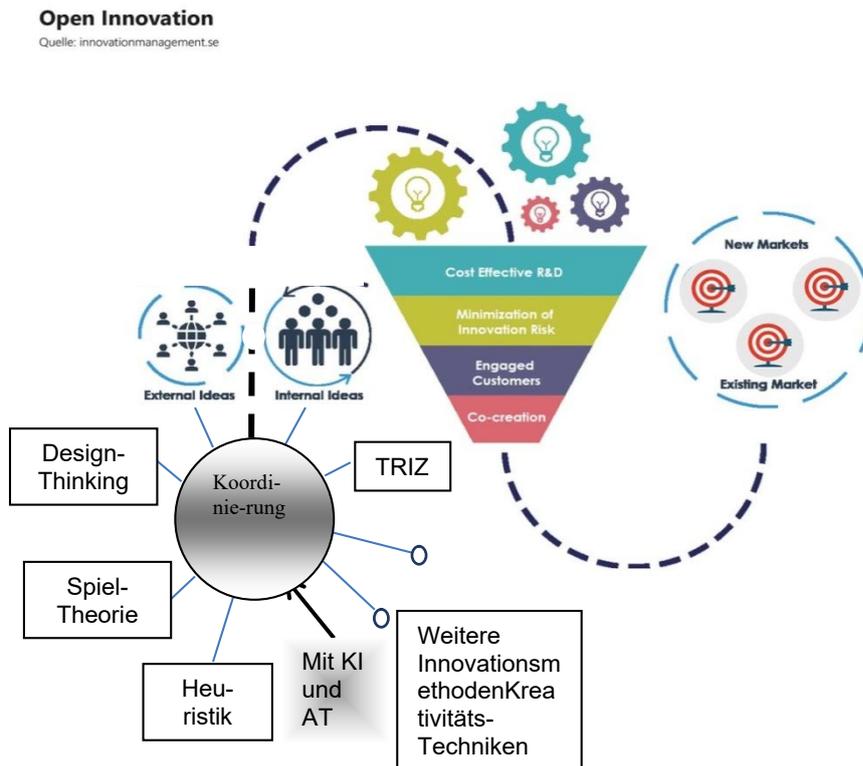


Bild 2: Koordinierte Einbeziehung von Innovationsmethoden in Open Innovation

Unter Künstlicher Intelligenz (KI) im Zusammenhang mit Open Innovation verstehen wir ein Teilgebiet der Informatik, welches sich mit der Anwendung intelligenten Verhaltens in der Automatisierung und dem Maschinellen Lernen befasst.

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

Beide Wissensgebiete stellen Methoden zur Verfügung, mit denen die koordinierte Einbeziehung von Kreativitätstechniken in einen Ideenfindungsprozeß organisiert werden kann.

Besondere Probleme für das Innovationsmanagement bereitet die aktuelle Entwicklung dadurch, dass immer mehr Systemlösungen nicht nur komplex, sondern auch emergent sind, das heißt, daß sie selbstorganisierende Eigenschaften und Autonomiebereiche aufweisen, die ihr Verhalten nicht vollständig beschreiben und vorhersagen lassen. Moderne Energiesysteme zeichnen sich durch hohe Komplexität und Dimension, durch eine komplizierte Kopplung von Material-, Energie- und Kommunikationsströmen sowie dadurch aus, dass der Mensch mit seinen kognitiven und psychologischen Eigenschaften unmittelbar in die Planung und in den Betrieb der Energiesysteme integriert ist. Das hat zwangsläufig zur Folge, dass diese Systeme nur eine begrenzte Vorhersagbarkeit und Modellierbarkeit besitzen. Diese Systemeigenschaft, die durch die Herausbildung von neuen Eigenschaften oder Strukturen eines Systems infolge des Zusammenspiels seiner Elemente charakterisiert wird, ist eine der Zielfunktionen zukünftiger Lösungen im Energiebereich. Dabei lassen sich die emergenten Eigenschaften des Systems in der Regel nicht auf Eigenschaften der einzelnen Elemente zurückführen. Solche emergente Systeme können nur durch ebenfalls emergente Steuerungssysteme optimal betrieben werden.

3. Restwärmenutzung zur Stromerzeugung

3.1 Konzept der Umwandlung von Restwärme in elektrische Energie

Es geht in diesem Fall um einen neuen Ansatz zur Erhöhung der Energieeffizienz. 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.

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 wurde dieses Konzept prototypisch umgesetzt (s. Bild 3).

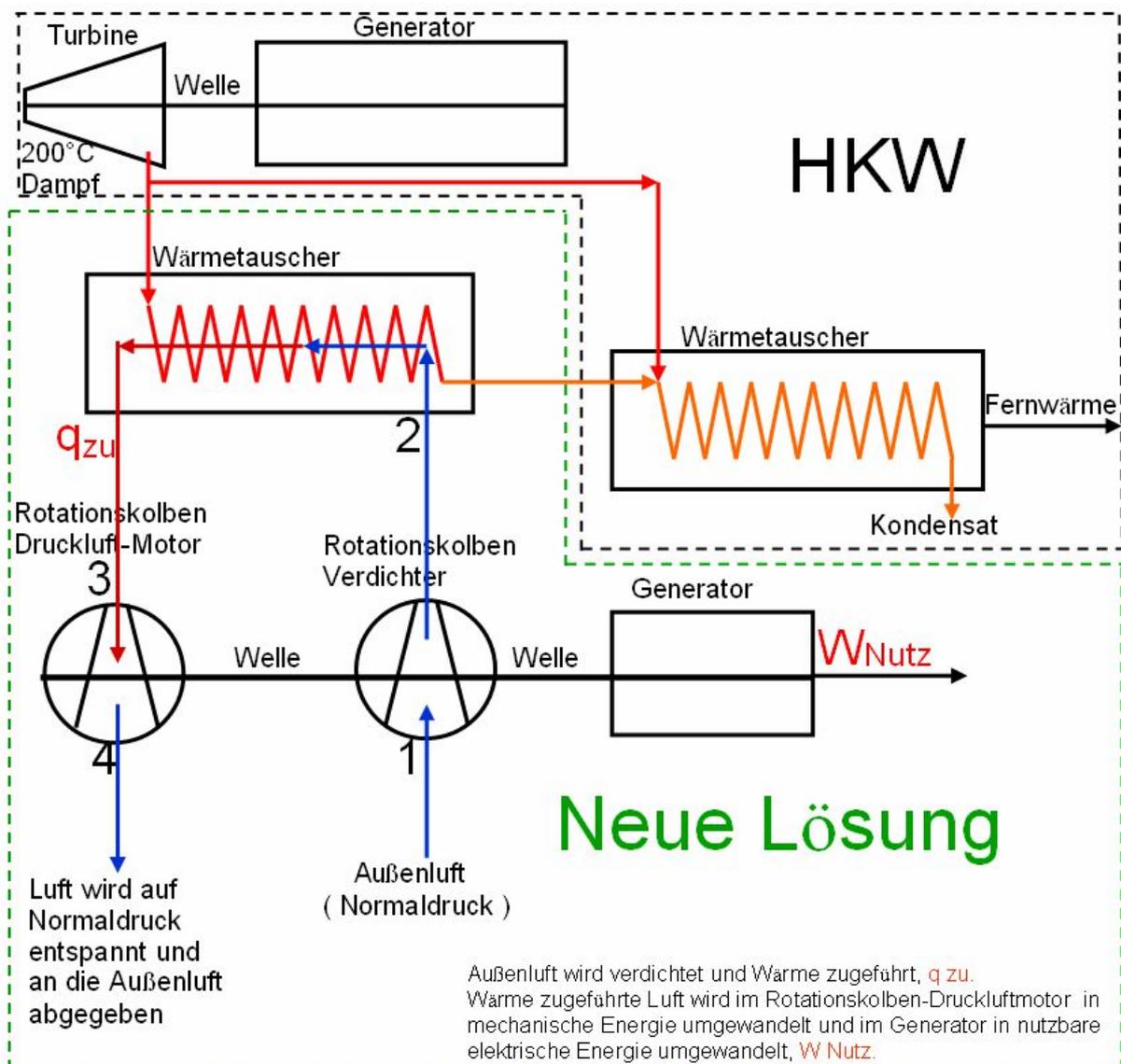


Bild 3: Nutzung von Niedertemperaturwärme in einem Heizkraftwerk (HKW) zur Stromerzeugung

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 rückgeführten Dampf erreicht, wird ein Teil des Dampfes umgeleitet und durch das zu schaffende Regelungselement dem Dampf Wärme entzogen. Das Bild 3 ist eine konkrete Untersetzung dieser Lösungsprinzips unter Nutzung von Rotationskolbenmaschinen.

3.2 Machbarkeitsanalyse

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 Restwärmennutzung ist. Zu diesem Zweck wurde der zugrunde liegende Kreislaufprozess thermodynamisch analysiert (. Den entsprechenden Prozessverlauf (Übergänge zwischen vier thermodynamischen Zuständen) zeigt das Bild 4.

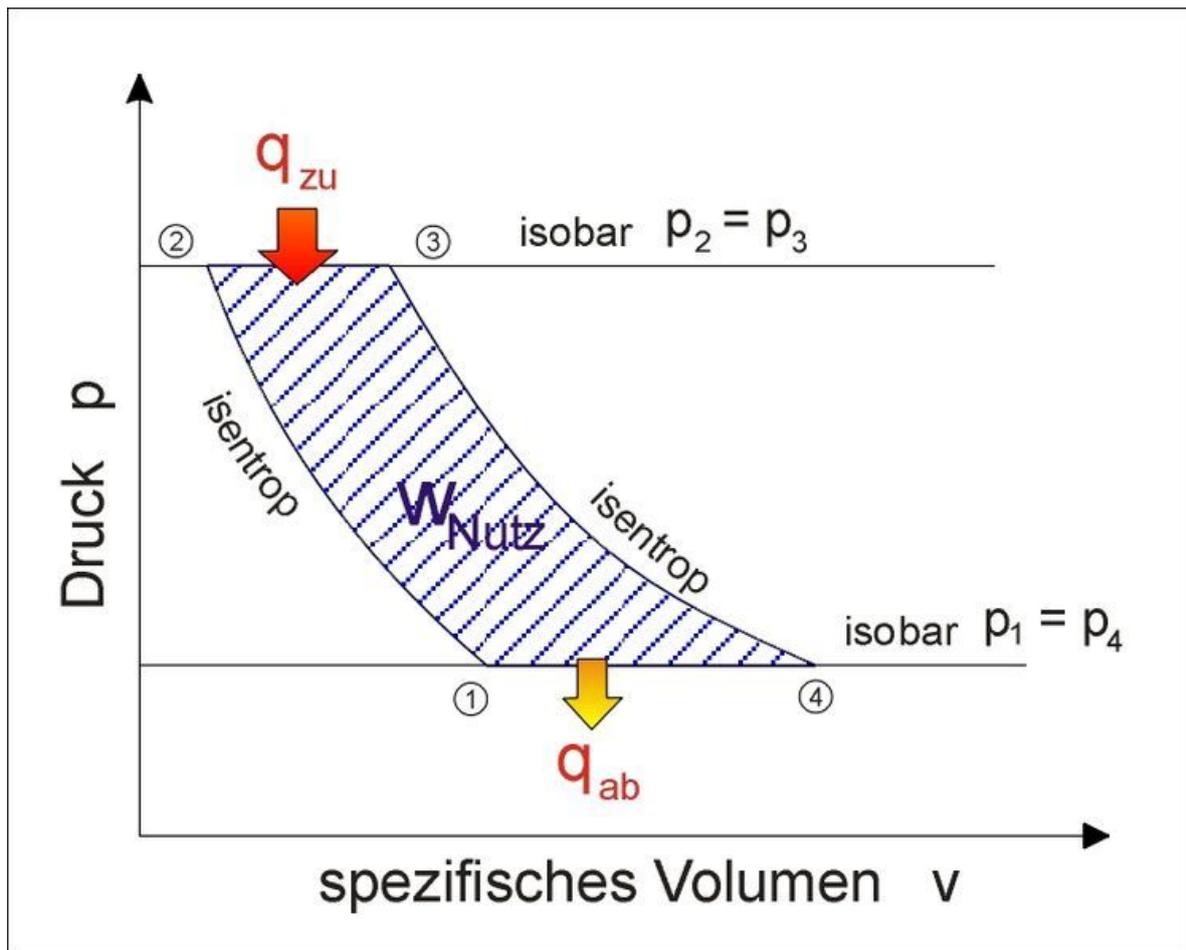


Bild 4: Thermodynamische Analyse des Prozessverlaufs

Um die im Prozess der Restwärmenutzung gewonnene Arbeit zu ermitteln, betrachten wir die Übergänge zwischen den in Abb. dargestellten Zuständen. Für die thermischen und energetischen Abschätzungen wurden folgende Prozessberechnungen 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

$$q_{zu} \geq q_{ab}(W_{NUTZ}) + \text{Reibungsverluste} \quad (1)$$

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

Bei

$$q_{zu} \leq q_{ab}(W_{NUTZ}) + \text{Reibungsverluste} \quad (2)$$

ist die Betriebsfähigkeit des Systems nicht gegeben.

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

$$q_{zu} = q_{ab}(W_{NUTZ}) + \text{Reibungsverluste} \quad (3)$$

erfüllt wird.

3.3 Dialektische Widersprüche und Anwendung innovativer Grundprinzipien

Ohne das oben erwähnte 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 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 1).

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, 1: Aufgaben des Steuerungssystems bei der Nutzung der Restwärme zur Stromerzeugung

4. Kopplung von Strom- und Wärmenetzen

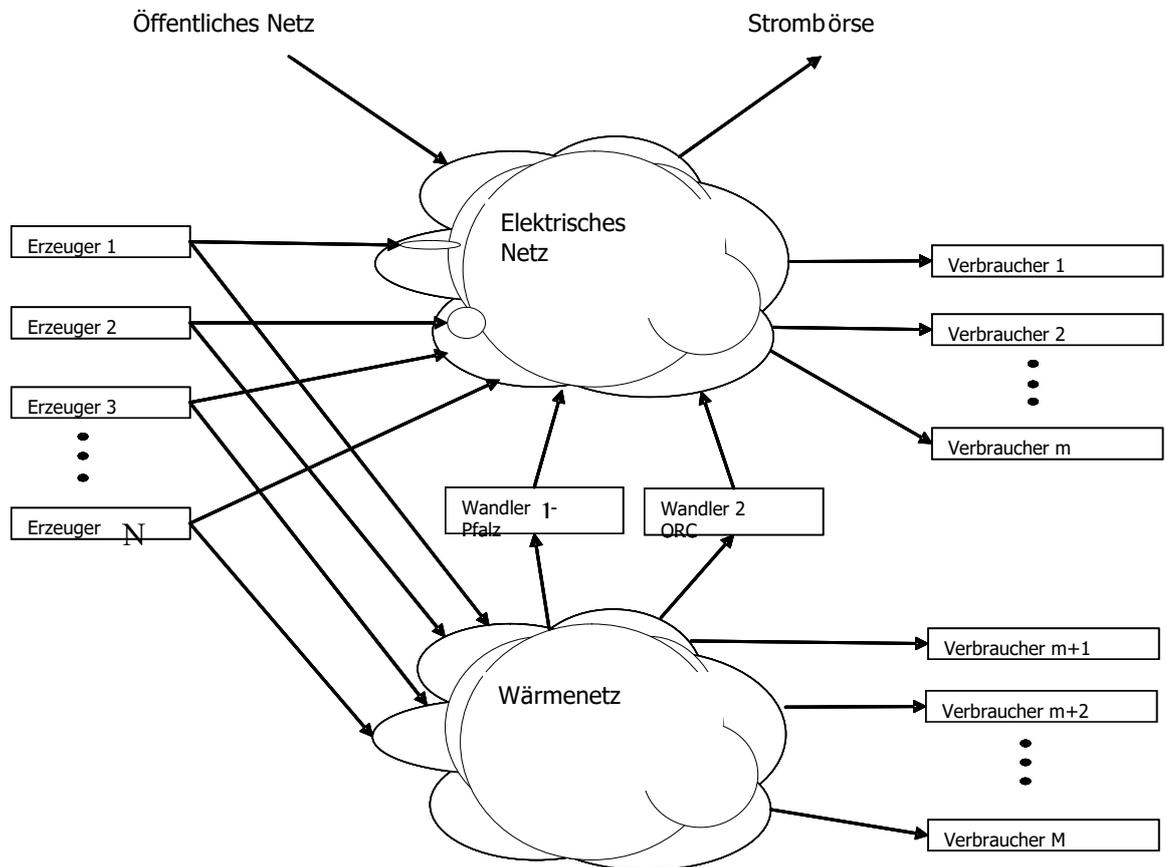


Bild 5: **Kopplung von Strom- und Wärmenetzen**

Wir betrachten zwei Anwendungsfälle:

- Bei dem gekoppelten Strom- und Wärmenetz haben wir einen Gesamteigentümer,
- Jeder Erzeuger und Verbraucher hat einen eigenen Besitzer.

Im ersten Fall haben wir folgende Details des Prototypen bzw. Beispiels:

Projektierungs- und Steuerungsaufgabe

Optimierungskriterium:

$$G(e, v) + K(e, v) \rightarrow \max_{e, v}$$

Nebenbedingungen:

$$E_0 + \sum_{i=1}^N E_i(e_i) = V_0 + \sum_{j=1}^M V_j(v_j)$$

Lagrangefunktion

$$L = G(e, v) + K(e, v) + \lambda \left(E_0 + \sum_{i=1}^N E_i(e_i) - V_0 - \sum_{j=1}^M V_j(v_j) \right) \rightarrow \max_{e, v} \min_{\lambda}$$

Lösungsalgorithmus

$$\begin{aligned}\frac{\partial L}{\partial e_1} &= \frac{\partial G_1(e_1)}{\partial e_1} + \lambda \frac{\partial E_1(e_1)}{\partial e_1} = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial L}{\partial e_N} &= \frac{\partial G_N(e_N)}{\partial e_N} + \lambda \frac{\partial E_N(e_N)}{\partial e_N} = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial L}{\partial v_1} &= \lambda \frac{\partial V_1(v_1)}{\partial v_1} = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial L}{\partial v_1} &= \lambda \frac{\partial V_1(v_1)}{\partial v_1} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= \sum_{i=1}^N E_i(e_i) - \sum_{j=1}^M V_j(v_j) = 0\end{aligned}$$

Bezeichnungen

$G(e, v), K(e, v)$ – Gewinn aus der in das öffentliche Netz eingespeisten Energiemenge bzw. Kosten der aus dem öffentlichen Netz entnommenen Energiemenge

e – Vektor der Einflußgrößen der Erzeuger

v – Vektor der Einflußgrößen der Verbraucher

$E_i(e_i), V_j(v_j)$ - Mathematische Modelle (Abhängigkeit der erzeugten bzw. verbrauchten Energiemenge von den jeweiligen Einflußgrößen) des *i-ten* Erzeugers bzw. des *j-ten* Verbrauchers

E_0, V_0 – Aus dem öffentlichen Netz entnommene Energiemenge bzw. in das öffentliche Netz eingespeiste Energiemenge

λ - Lagrange– Multiplikator

Im zweiten Fall ist eine Optimierung der Gesamtzielfunktion auf Grund unterschiedlicher Interessen der Betreiber der einzelnen dezentralen Fermenteranlagen nicht möglich. Die Polyoptimierung bzw. Vektoroptimierung berücksichtigt genau diese Situation. An dieser Stelle beschreiben wir, bezogen auf die Aufgabenstellung des FuE-Projektes, die Lösungsmöglichkeiten im Rahmen der Polyoptimierung und wählen die beste Lösung aus.

Wir haben folgende Vektorzielfunktion:

$$I(x, u) = \{f_{01}(x, u), f_{02}(x, u), \dots, f_{0m}(x, u)\} \quad ((4))$$

wobei $I(x, u)$ die Gesamtzielfunktion und $f_{0i}(x, u)$ die Teilzielfunktionen sind. Die Größe x ist der Vektor der Prozessparameter und u der Vektor der Steuergrößen. Jede Teilzielfunktion ist zu optimieren:

$$f_{0i}(x, u) \rightarrow \max_u$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$u_i^{opt} = \arg \max_u f_{0i}(x, u)$$

$$u_1^{opt} \neq u_2^{opt} \neq \dots \neq u_m^{opt}$$

Allerdings ist die Aufgabenstellung (6) im Sinne der klassischen Optimierungstheorie nicht korrekt. Um die Korrektheit der Aufgabenstellung herzustellen gibt es zwei Möglichkeiten:

- Überführung in eine klassische Optimierungsaufgabe mit skalarer Zielfunktion
- Bestimmung einer Kompromissmenge (Paretomenge): Wenn mit keiner Variation von u^{opt} der Wert einer beliebigen

Zielfunktion $f_{0i}(x, u)$ erhöht werden kann, ohne gleichzeitig den Wert der anderen zu verringern

Aus Gründen der Echtzeitfähigkeit und der Betriebssicherheit des Gesamtsystems haben wir uns für die erste Möglichkeit entschieden. Für die Überführung in eine Optimierungsaufgabe mit skalarer Zielfunktion gibt es wiederum mehrere Möglichkeiten.

Die erste Möglichkeit besteht darin, für die Optimierung die wichtigste Zielfunktion auszuwählen

$$I(x, u) = f_{0k}(x, u) \rightarrow \max_u \quad (6)$$

Alle anderen Zielfunktionen werden auf einem konstanten Wert stabilisiert

$$f_{0i}(x, u) = c_i \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, m$$

Im Rahmen einer zweiten Möglichkeit werden Wichtungskoeffizienten eingeführt

$$I(x, u) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_{0i}(x, u) \rightarrow \max_u \quad (8)$$

Die Wichtungskoeffizienten in Gleichung (8) müssen folgenden Bedingungen genügen:

$$\alpha_i \geq 0 \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$$

Bei einer dritten Möglichkeit werden globale Abstandsmasse eingeführt, deren Summe zu minimieren ist.

$$I(x, u) = \sum_{i=1}^m \left[f_{0i}^{opt}(x, u) - f_{0i}(x, u) \right]^{\eta} \rightarrow \min_u \quad (9)$$

$$\eta \geq 0$$

Wir haben uns für die zweite Möglichkeit entschieden, da in diesem Fall durch eine Kombination von Künstlicher Intelligenz und Spieltheorie die Interessenskonflikte zwischen den Betreibern der einzelnen dezentralen Systeme am einfachsten zu lösen sind

Der Steuerungsalgorithmus hat folgendes Aussehen:

$$G = \sum_{i=1}^m \alpha_i G_i \rightarrow \max_{u, I_{ij}} \quad (10)$$

$$G_i = (E_i - A_i)$$

$$\sum_i I_{ij}(t) \leq I_j(t)$$

Die Umsetzung des Steuerungsalgorithmus erfolgt in 2 Stufen:

- Auswahl der Koeffizienten α_i durch Spieltheorie und Coaching
- Lösung der Optimierungsaufgabe

$$G = \sum_{i=1}^m \alpha_i G_i \rightarrow \max_{u, I_{ij}} \quad (11)$$

durch Methoden der Künstlichen Intelligenz und algebraische Methoden

Die Auswahl der Koeffizienten α_i erfolgt durch Spieltheorie und Coaching mit dem Ziel, Interessenkonflikte zwischen den Verantwortlichen für die einzelnen mobilen Biogasanlagen zu lösen.

Ursachen der Konflikte sind:

- angenommene oder tatsächliche Konkurrenz,
- Verfahrensinteressen,
- psychologischen Interessen,
- Eigeninteressen, Eigennutz.

Mögliche Interventionen sind:

- Positionen stehen im Vordergrund, daher auf Interessen und Bedürfnisse eingehen,
- Suche nach objektivierbaren Kriterien,
- Suche nach Wegen, die Optionen und Ressourcen zu erweitern,
- Suche nach umfassenden Lösungen, die den Interessen und Bedürfnissen optimal entsprechen,
 - Aushandeln von globaleren Lösungen,
 - Gerechtigkeitsaspekte ansprechen.

Die Lösung der Optimierungsaufgabe (12) kann nun durch Künstliche Intelligenz (Expertensysteme) erfolgen, deren Struktur auf Bild 2 zu sehen ist. Derartige Systeme der Künstlichen Intelligenz werden im gesamten Konsortium für die Lösung von Aufgaben der Projektierung und Konstruktion als auch von Aufgaben der Automatisierung und Steuerung eingesetzt.

4. Gegenseitiger Nutzen aus der Kooperation von TRIZ, künstlicher Intelligenz und Kybernetik,

An dieser Stelle soll ausgehend von Erfahrungen der in den Punkten 3, 4 und 5 beschriebenen Beispielen der Nutzen der Kooperation der 3 Wissenschaftsdisziplinen zusammengefasst werden.

Die **künstliche Intelligenz** und die **Kybernetik** können für **TRIZ** folgendes leisten:

- Unterstützung der innovativen Grundprinzipien durch regelbasierte Systeme,
- Akquisition von Oberflächenwissen und Tiefenwissen zur Beschreibung bzw. Auflösung von Widersprüchen,
- Einsatz von Expertensystemschalen für die Entwicklung und den Betrieb von TRIZ-Systemen (CAI).

Dabei spielt die Erstellung der Wissensbasis die entscheidende Rolle. Dazu werden Methoden des Wissensingenieurwesens verwendet. Das Wissensingenieurwesen basiert auf einem 4-Phasenkonzept:

- Definitionsphase,
- Akquisitionsphase,
- Operationalisierungsphase,
- Wartungsphase.

Innerhalb der Definitionsphase wird eine Anforderungsspezifikation erarbeitet. Mit anderen Worten: Es ist die Steuerungsaufgabe zu bestimmen: Prozessstabilisierung, Prozessoptimierung oder Prozesssicherung.

In der Akquisitionsphase erfolgen eine Analyse der Störgrößen, der kausalen Zusammenhänge innerhalb des Steuerungsobjektes und die Erstellung formaler Modelle. In dieser Phase werden vor allem Methoden der Kybernetik eingesetzt. Dabei geht es um eine „technologienahen Strukturierung“ des Wissens.

Während der Operationalisierungsphase wird das Wissen systemnah strukturiert. Außerdem wird die Betriebsfähigkeit des Steuerungssystems als wissensbasiertes System hergestellt.

In der Wartungsphase wird neu gewonnenes Wissen (z.B. in Form von neuen Regeln) in die Wissensbasis eingefügt.

TRIZ kann für die **Kybernetik** folgendes leisten:

- Lösung von dialektischen Widersprüchen (z.B. zwischen Optimalität und Stabilität , zwischen Sollwert und Istwert),

- Anwendung innovativer Grundprinzipien (z. B. Integration, Rückkopplung, Zerlegung, Dynamisierung).

Diese Leistungen führen zu einer wesentlichen Vereinfachung der Projektierung und des Betriebens von technischen Systemen. Bild 5 zeigt das diesbezügliche Zusammenwirken von TRIZ, Künstlicher Intelligenz und Kybernetik.



Bild 5: Zusammenwirken von TRIZ, Künstlicher Intelligenz und Kybernetik bei der Planung und beim Betrieb von technischen Systeme.

TRIZ und Künstliche Intelligenz bestimmen das Lösungsgebiet und schränken damit den Lösungsraum ein, während die Kybernetik den Lösungspunkt definiert.



General Technology (Elements of Theory and Application)



Dietrich Balzer*, Werner Regen and Frieder Sieber

Professor University of Leibniz Institute for Interdisciplinary Studies, Germany

Submission: March 28, 2023; Published: May 17, 2023

*Corresponding author: Dietrich Balzer, Professor University of Leibniz Institute for Interdisciplinary Studies, Germany

Abstract

The goal of general technology as a technical science is to analyze and determine the structure and parameters of technological systems. In order to achieve this goal, it is particularly important to use quantitative methods in addition to qualitative methods. Starting from the central position of civil engineering within the technical sciences, the special role of construction technology within general technology is also presented. Quantitative methods include above all the mathematical modelling of technological systems. The mathematical models are based on balance equations in the form of material, energy, and momentum balances. Many publications and inventories on general technology neglect the quantitative methods that are of particular importance for practical engineering. Of particular importance for the further development and application of general technology are the relations with ergonomics and communication science. This involves a contribution to the design of a new world of work, which consists above all in the coordinated development and application of a variety of innovation methods and in the first-time creation of optimization algorithms for increasing the effectiveness of work processes. The methods of general technology for the analysis, modelling and optimization of technological processes and plants have been or are used in the realization of the following projects:

- Production of diesel from organic waste and residues.
- Conversion of waste heat into electricity.
- Mobile and energy self-sufficient technological systems for waste processing.
- Transport, handling, and storage processes in construction technology.
- Increasing the effectiveness of biogas plants by methanisation of biogas.

Keywords: Methods of Innovation; Life Cycle of a Technical System; Mathematical Modelling; Universal Technology; Optimization Algorithms; Waste Heat; Methanizing Biogas; Materials Economy; Material Balance; Energy Balance; Momentum Balance; Heat Mobility; Heat Transfer Area; Heat Transfer Coefficient; Kinetic Constants; Enthalpy of Reaction; Geometric Dimensions

Summary

The goal of general technology as a technical science is to analyze and determine the structure and parameters of technological systems. In order to achieve this goal, it is particularly important to use quantitative methods in addition to qualitative methods. Based on the central position of civil engineering within the technical sciences, the special role of construction technology within general technology is also presented. Quantitative methods include, above all, the mathematical modeling of technological systems. The mathematical models are based on balance equations in the form of material, energy and momentum balances. Many publications and inventories on general technology neglect these quantitative methods, which are of particular importance for practical engineering activities. In addition to the results of the

“General Technology” working group of the Leibniz Society of Sciences and Humanities, previously unnoticed sources from teaching, research and practice are analyzed and included in our considerations. Of particular importance for the further development and application of general technology are the relationships with ergonomics and communication science. The aim is to contribute to the design of a new world of work, which consists primarily in the coordinated development and application of a variety of innovation methods and in the initial creation of optimization algorithms to increase the effectiveness of work processes. The methods of general technology for the analysis, modeling and optimization of technological processes and equipment have been or are used in the implementation of the following projects:

- Production of diesel from organic waste and residues.
- Conversion of waste heat into electricity.
- Mobile and self-powered technological systems for waste processing.
- Transport, transshipment and storage processes in construction technology.
- Increasing the effectiveness of biogas plants by methanizing biogas.

Introduction

The objectives of general technology, which can also be referred to as universal technology, can be summarized as follows:

- analysis and determination of the structure and parameters of technological systems throughout the life cycle of a technical system (design, implementation, operation, reconstruction, disposal) using qualitative and quantitative methods
- analysis of the feasibility (methodological, personnel, economic) of a technological system.
- coordination of content between the technical sciences, the natural sciences and the social sciences.
- Role as a driving force in the development of science and elaboration of recommendations for the application of innovative methods.

Based on the central position of civil engineering within the technical sciences, the special role of construction technology within general technology is also presented. In describing the role of general technology in the context of the development of science, the relationships with communication science and labor science are described. Quantitative methods include, first of all, mathematical modeling of technological systems, which will be discussed in the next section. Many publications and inventories on general technology neglect the quantitative methods that are of particular importance for practical engineering activities. In this context, reference should be made to the book "Analysis and Control of Processes in the Materials Economy", which was published in 1971 by Akademie-Verlag and Deutscher Verlag für Grunds to technologies. The editor is Klaus Hartmann, a member of the Leibniz Society. In terms of content, this book is dedicated to the system-theoretical analysis of technological systems (cf. Hartmann 1971). Another publication in this field is the book "Knowledge-based Systems in Automation Technology", which deals primarily with the dynamics of technological systems in the life cycle of these systems (cf. Balzer et al. 1991).

With regard to general technology, the colloquia on general technology at the Technical University of Leipzig from 1970 to 1990, which were reported in the "Scientific Reports of the Technical University of Leipzig", and the results of the "General Technology"

working group of the Leibniz Society of Sciences and Humanities should be mentioned here. It should also be noted that the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University) / St. Petersburg State Technological Institute (Technical University) has had a chair of "General Technology" for 60 years. The current activity of this Technical University is characterized by the unity of teaching and research in the fields of general technology and special technologies in materials management. Details are published on the website of this Russian technical university. The focus is on chemical technology and process engineering. Within the 5 faculties of this university, the Faculty of Information Technologies and Control and the Faculty of Engineering and Technology deal with issues of general technology. For example, at the Chair of Systems Analysis and Information Technologies, scientific activities are oriented towards mathematical modeling and optimization of technological processes. It is recommended to close the gaps in the analysis of publications on general technology. To this end, we want to contribute, which refers primarily to the development and application of quantitative methods in general technology based on mathematical modeling

Methodology of Mathematical Modelling

The methodology of mathematical modeling as a component of general technology is based on balance equations (material balance, energy balance, momentum balance). Figures 1,2 show the relationships used in mathematical modeling.

An impulse balance is often omitted.

At LIFIS, the following research and customer projects have been and are being carried out using methods of general technology:

- Design and control of horizontal fermenters
- Automated process for the production of diesel oil from organic waste and residues
- Project planning and control of decentralized, mobile and energy self-sufficient biogas plants
- production of agrosubstrate from sewage and fermentation residues
- Exhaust gas heat recovery in biogas plants for electricity generation
- Increasing the effectiveness of biogas plants by methanizing carbon dioxide
- Heat mobility.

The use of mathematical modelling methods is shown below using the example of increasing the effectiveness of biogas plants by methanation of carbon dioxide (see Figure 3). The innovative content of this project consists firstly in the production of green hydrogen by high-temperature electrolysis and secondly in the methanation of biogas (Figure 3).

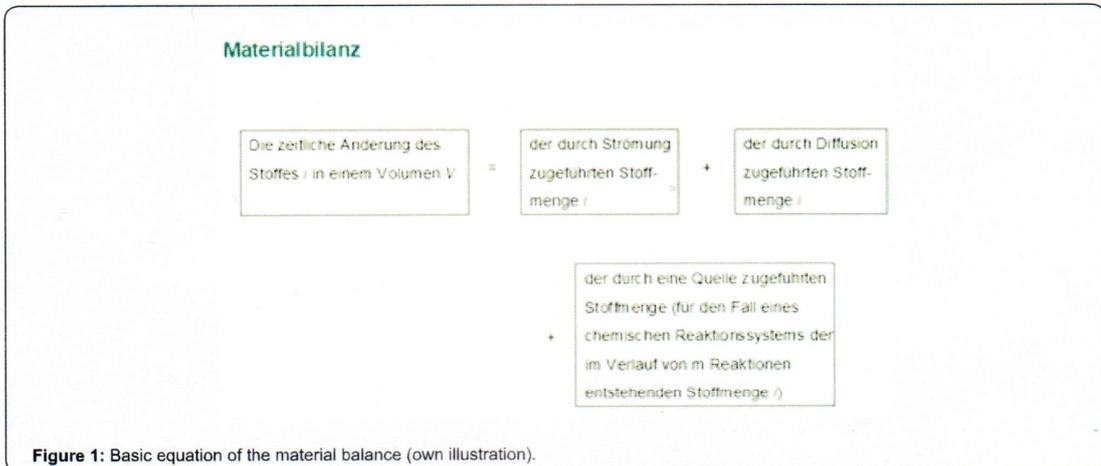


Figure 1: Basic equation of the material balance (own illustration).

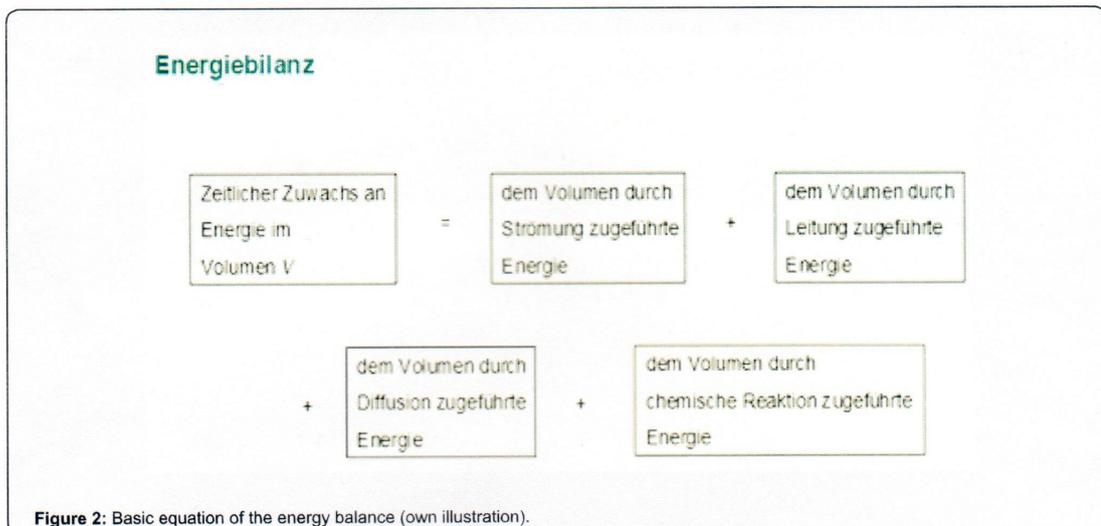


Figure 2: Basic equation of the energy balance (own illustration).

The mathematical model of the methanizer consists of two equations:

- **One-dimensional diffusion model (material balances)**

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

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

$x_i(t, l)$ - concentration of component i

$T(t, l)$ - Temperature

$f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, T)$ = Reaction rate based on the formal

kinetics of formation or consumption of component x_i

w - linear velocity of the components in the reactor

D_L - Longitudinal mixing coefficient

t - Time

l - running length of the reaction chamber

- **One-dimensional diffusion model (energy balance)**

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

T - Temperature of the reaction mixture

T_k - temperature of the heating medium as a function of the length of the reactor and time

h_i - coefficient dependent on the heat tint of the chemical reaction and on the specific heat capacity of the medium to be heated

l, t - running length of the reactor or running time

α - coefficient depending on the heat transfer properties

$$f_i = \frac{d_i}{d} \text{ -Responsiveness}$$

The mathematical models described above are used for optimal design and control.

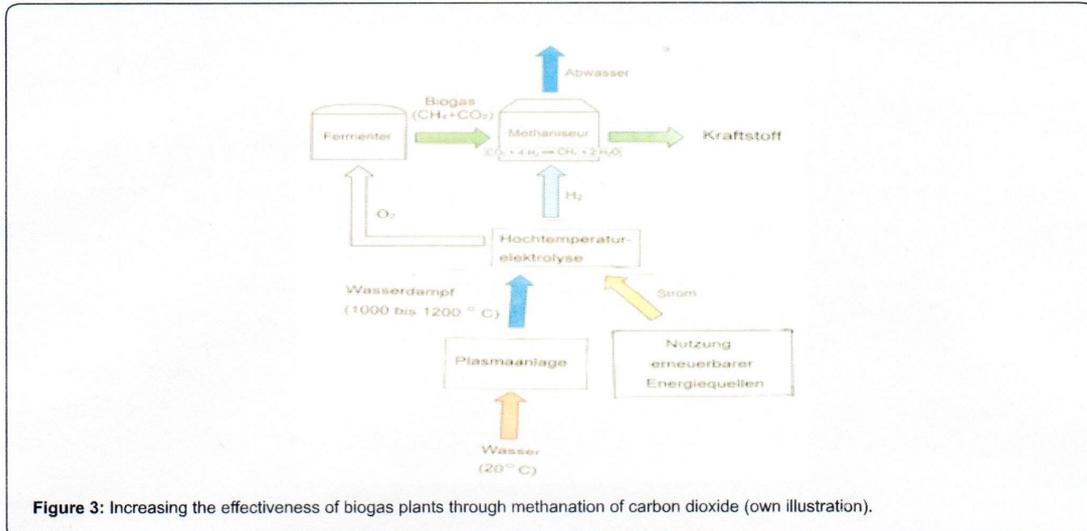


Figure 3: Increasing the effectiveness of biogas plants through methanation of carbon dioxide (own illustration).

Adequacy Test of Mathematical Models

To explain the principle of the adequacy test, we present the developed mathematical models in the following form:

$$y = f(y, p, u, t,) \tag{3}$$

The following designations were used:

u_i - Input variables

y_i - output variables

p_i - system parameters (heat transfer area, heat transfer coefficient, kinetic constants, enthalpy of reaction, geometric dimensions, etc.)

For the adequacy test, the following two sums of squares must be compared:

Defect Sum of Squares

$$D = \sum_{i=1}^N (Y^{\sim i} - y^i)^2 \tag{4}$$

D represents an estimation of the difference between the theoretical output variables $Y^{\sim i}$ and the transmitted or measured output variables y^i .

Sum of Squares of Errors

$$Q = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (Y^{\sim ij} - y^i)^2 \tag{5}$$

Q represents an estimation of the measurement error. Usually,

the estimation can be found in the documentation of the sensor supplier. M is the total number of measurements of the output quantity.

For the adequacy test of the theoretical and the measured process variables, the so-called Fisher criterion is used:

$$P(K < \varepsilon) = F_{\varphi_1 \varphi_2}(\varepsilon) \tag{6}$$

$$K = \frac{D / \varphi_1}{Q / \varphi_2} \tag{7}$$

φ_i represent the degrees of freedom of the sum of squares to be calculated and ε a boundary to be specified.

We specify P and determine the corresponding value for ε . If $K < \varepsilon$, the model is assumed to be adequate, otherwise not adequate.⁰⁰

The unity of qualitative and quantitative methods of general technology in the design and reconstruction as well as in the safeguarding of technological systems

The model-based optimization of the structure and parameters of technological systems is carried out using algebraic methods and artificial intelligence methods.

Optimal Design

The optimal design uses a mathematical model of the steady state of the methanizer. The steady-state model is derived from equations (1) and (2) by

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = 0 \text{ and } \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

can be set. The design parameters to be optimized are part of the sizes α and DL. The following is used as an optimization criterion:

$$F = x_{Methan}(L) \xrightarrow{\text{Konstruktionsparameter}} \max$$

where $x_{Methan}(L)$ is the methane concentration at the outlet of the methanizer. (8)

Optimal Control

Optimal control is firstly about completing the start-up and shutdown as well as the reversal processes as quickly as possible. Secondly, the aim is that during these dynamic processes the deviation from the optimal state is as small as possible.

Therefore, the following is used as an optimization criterion:

$$Q = \int_0^L [T(t,l) - T^{opt}(l)]^2 dt \xrightarrow{V(t)_{Biogas}, V(t)_{Wasserstoff}, T(t,l)_{Heizmedium}} \max$$

With equation (9), the following designations were used:

$T(t, l)$ - temperature of the reaction mixture

$T^{opt}(l)$ - optimal temperature profile of the reaction mixture in steady state under the condition

$$x_{Methan}(L) \xrightarrow{V(t)_{Biogas}, V(t)_{Wasserstoff}, T(t,l)_{Heizmedium}} \max$$

Control variables:

$V(t)_{Biogas}$ - Quantity of biogas/unit of time at the entrance to

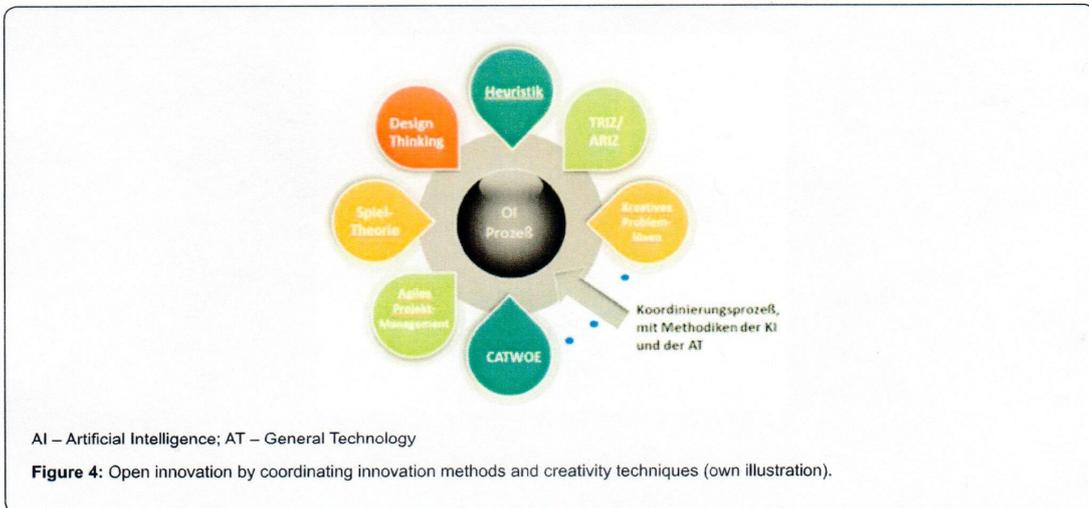
the methanizer

$V(t)_{hydrogen}$ - quantity of hydrogen/unit of time at the entrance to the methanizer

$T(t, l)$ heating medium - temperature of the heating medium that varies over the length of the methanizer

In solving the optimization tasks (8) and (9), the mathematical models of the technological processes to be constructed and controlled are used as constraints. In order to successfully solve the above-mentioned tasks of design and control, a novel hierarchically structured model-based optimization method is used, which has two levels. At the lower level, the construction is optimized autonomously according to equation (8) using the following methods: Gauss-Seidel method, gradient method, steepest climb method. As a constraint, the mathematical model of the statics of the methanizer is used. In addition, at the lower level, the optimal control variables according to equation (9) are calculated autonomously using the maximum principle according to Pontryagin for systems with distributed parameters.

On the upper level, the design and control are coordinated. In addition, it is about the selection of fields of innovation and the organization of cooperation between the cooperation partners. In this context, the specification of the fields of innovation and innovation ideas on the one hand and the introduction and development of new innovation methods on the other hand are to be regarded as a single unit. This means that a variety of innovative methods have to be coordinated in a cooperative process of developing new solutions (Figure 4).



The coordination process includes, firstly, mathematical modelling as a replication of the static and dynamic properties of technological processes within the framework of general technology, and secondly, the execution of logical operations

within the framework of artificial intelligence. In this context, general technology contributes to the modeling of business processes.

Using methods from communication sciences and ergonomics, an OOI business model (OOI = Overall Open of Innovation) was created. In this model, external resources are divided into industrial and non-industrial units in order to be able to determine the methods of interaction between manufacturing enterprises and external resources. Particular attention is paid to the management of external resources involved in a TOI cycle (TOI = Technology Open Innovation). These include:

- The classification of the external resources of a TOI.
- The creation of general mechanisms or algorithms that can be used to select and use qualified resources and non-qualified resources.
- The creation of a business model for cooperation between companies and external resources.

• When developing the business models, the following questions must be answered:

- What types of external resources could be identified to facilitate the development of open innovation?
- What business model is required to develop cooperation between manufacturing companies and external resources during an open innovation process
- How can a manufacturing company apply a certain mechanism to effectively manage these external resources?

Model-Based Backup Systems

Model-based security mechanisms are primarily used with the aim of detecting and defending against attacks on the process control system of a technological plant (Figure 5).

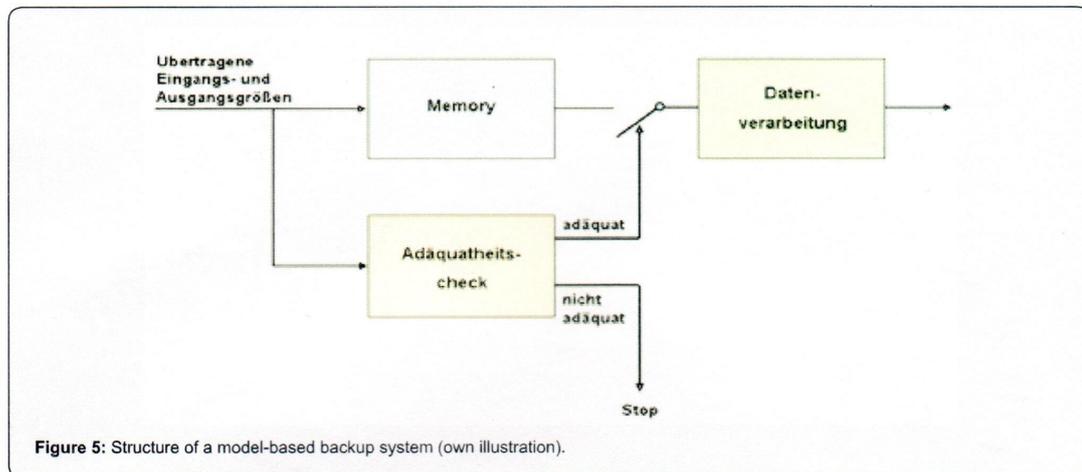


Figure 5: Structure of a model-based backup system (own illustration).

As a rule, knowledge-based or model-based algorithms are used. It is assumed that an adequate mathematical model exists for the control object (e.g. bioreactor, gas storage tank, combined heat and power plant) that describes the dependence of the output variables on the input variables. This means that the output variables can be calculated using the measured input variables and the mathematical model. The model-based security mechanism is located in the central part of the process control system. The algorithm itself consists of the following stages:

- Data acquisition of the input and output variables in the control object and data transmission (e.g. via the public network or Internet) to the central control system.
- Calculation of the theoretical output variables using the transferred input variables and the mathematical model.
- Comparison of the transmitted and calculated outputs

and checking the adequacy of these two outputs using equations (3) to (7).

- In the event of a lack of adequacy (intrusion detection), data processing in the central control system is stopped (intrusion response).
- Identification of the causes of defective adequacy.

Control of external resources through vector optimization as a new method of general technology

The optimal management of external resources is a contribution of general technology to the development of science (cf. Balzer/Regen 2021). Particular emphasis is placed on human behavioral modeling as a qualitative method of general technology (Figure 6). In this context, the contribution of game theory is also described (cf. Leyendecker et al. 2021). In order to arrive at quantified optimal solutions in the use of external and territorially

distributed resources of all kinds in the project planning and operation of technological plants, methods of polyoptimization (vector optimization) are used for the first time, in which several optimization tasks have to be solved by selecting the same design parameters and control variables:

$$I(x, u) = \{f_{01}(x, u), f_{02}(x, u), \dots, f_{0m}(x, u)\} \rightarrow \max_u \quad (10)$$

$$f_{0i}(x, u) \rightarrow \max_u$$

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

The following designations were used:

$I(x, u)$ - Overall objective function, which is a generalization of equations (8) and (9)

$f_{0i}(x, u)$ - subobjective functions

x - Process parameters

u - control variables, design parameters

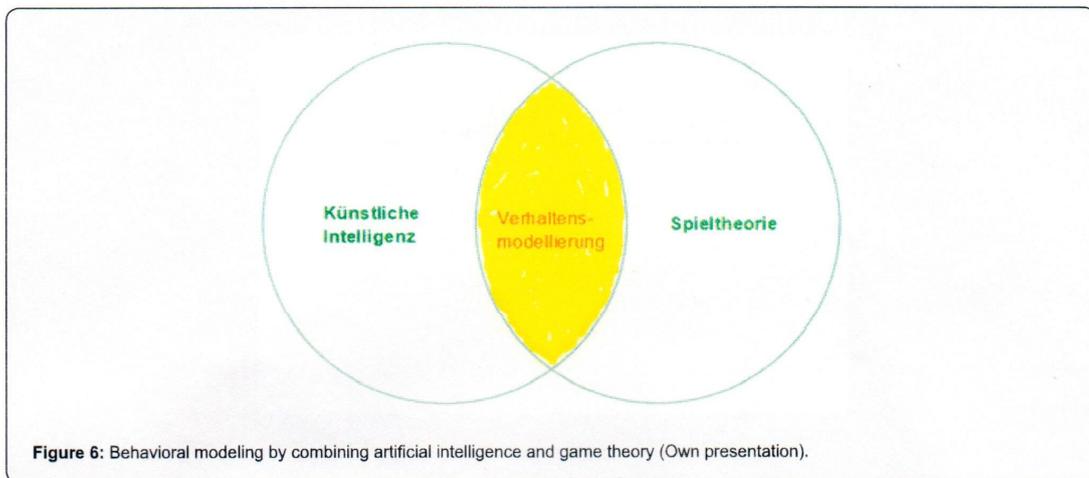


Figure 6: Behavioral modeling by combining artificial intelligence and game theory (Own presentation).

The behavioral models of humans (behavioral modeling) and the technological process or disposition (mathematical models) are integrated into the sub-objective functions.

The task described above is not correct in the sense of classical optimization theory. This incorrectness is overcome by coordinated application of artificial intelligence and game theory. There are two possible solutions:

- ✓ Transfer of the incorrect task into a classical optimization task with a scalar objective function.
- ✓ Determination of a compromise set (Pareto set): If no variation of the optimal control variables can increase the value of an arbitrary objective function without simultaneously decreasing the other objective functions.

We use the first solution. The transfer to a classic optimization task can be achieved with the following methods:

- Selection and optimization of the most important sub-objective function

$$I(x, u) = f_{0k}(x, u) \rightarrow \max_u \quad (11)$$

$$f_{0i}(x, u) = c_i$$

$$i = 1, 2, \dots, K - 1, K, K + 1, \dots, m$$

- Introduction of weighting coefficients

$$I(x, u) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_{0i}(x, u) \rightarrow \max_u \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1 \quad \alpha_i \geq 0$$

- Formation of global distance measures

$$I(x, u) = \sum_{i=1}^m [f_{0i}^{opt}(x, u) - f_{0i}(x, u)]^\eta \rightarrow \min_u \quad (13)$$

$$\eta \geq 0$$

The algorithms described above also provide the basis for the digitization of work processes.

We have decided to introduce weighting coefficients (Equation 12). since in this case the conflicts of interest between the operators of each decentralised system are the easiest to resolve

The control of external resources is carried out in two stages:

- Selection of coefficients α_i .
- Solving the optimization problem (12) by methods of artificial intelligence and algebraic methods.

Prospects of Mechanical Engineering & Technology

The selection of the coefficients α_j is carried out through game theory and coaching with the aim of resolving conflicts of interest between those responsible for the individual mobile biogas plants.

The causes of the conflicts are:

- perceived or actual competition.
- Procedural interests:
- psychological interests.
- Self-interest, self-interest.

Possible interventions include:

positions are in the foreground, therefore respond to interests and needs.

- Search for objectifiable criteria.
- Look for ways to expand the options and resources.
- Search for comprehensive solutions that best meet the interests and needs.

Negotiating more global solutions.

- Address equity aspects.

Development of biosystems process engineering as a new scientific discipline

The theoretical results described in points 2 to 4 were partly achieved and tested within the framework of the project "Project planning and control of decentralized, mobile and energy self-sufficient biogas plants". In the process, biosystems process engineering emerged as a new scientific discipline in which general technology acted as a driving force. An essential part of biosystems engineering is the integration of systems theory and biotechnological process knowledge. It is important to combine mathematical and information technology techniques with biotechnological material transformations.

The following content is relevant:

- Systems theoretical analysis of biotechnological plants.
- Mathematical modelling (kinetics, thermodynamics, hydrodynamics) of components and systems.
- sensitivity and stability.
- System optimization of biotechnological plants (design of the optimal structure and parameters);
- Optimal control of systems.

Role of Civil Engineering as a Universal Engineering Science within General Technology

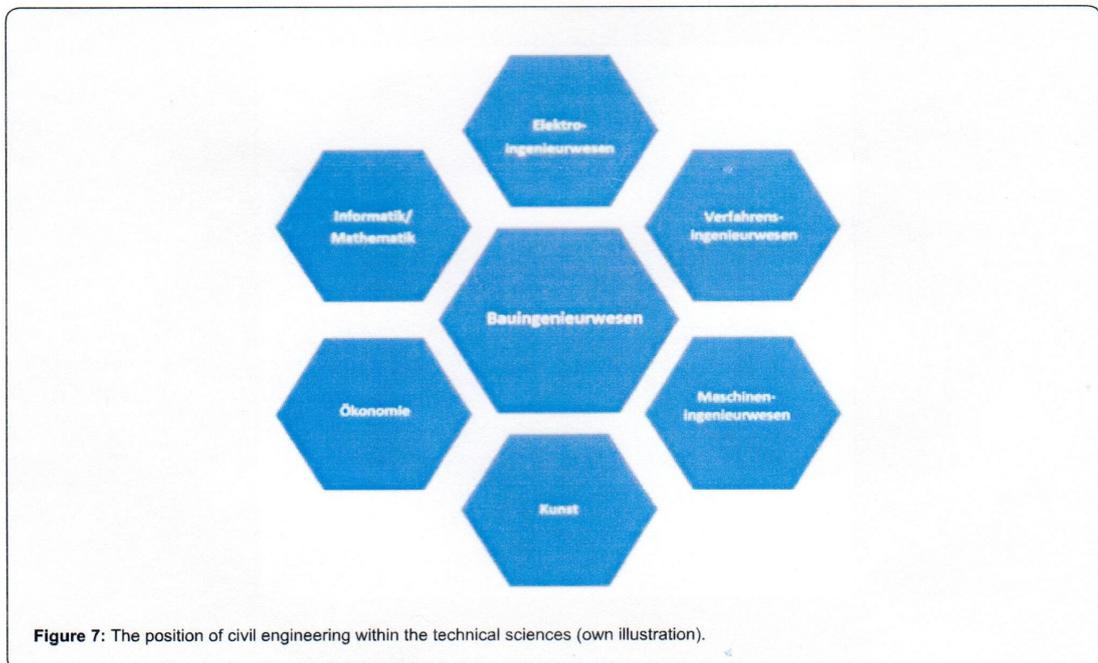


Figure 7: The position of civil engineering within the technical sciences (own illustration).

Prospects of Mechanical Engineering & Technology

The position of civil engineering within the technical sciences is an important starting point for the development of general technology. Both the history of technical sciences and current theoretical and practical engineering activities show that civil engineering plays a central role in the development and application of engineering methods. Thus, already in the Middle Ages, the term engineer was associated with the activity of a master builder. In the 17th century, the word *ingénieur* (French) meant Professional in the technical field with theoretical training. Figure 7 shows the position of civil engineering within the technical sciences, which are often referred to as economized natural sciences.

Of particular importance are the relationships between civil engineering on the one hand and electrical engineering, process

engineering, mechanical engineering and computer science on the other. The relationship to art is characterized above all by architecture. The influence of civil engineering on the development of general technology is primarily interdisciplinary. (A description of this aspect can be found in Sieber/Balzer 2021).

A striking example of the influence of civil engineering on the development of computer technology and computer science is the work of the civil engineer Konrad Zuse. Since static calculations in civil engineering were very time-consuming, Zuse came up with the idea of automating them. He therefore developed a calculating machine based on electromechanical relay technology (Figure 8). This was the first step towards converting the mathematical models into concrete software.



Figure 8: First electromechanical calculating machine Zuse Z3 (1941; Replica in the Deutsches Museum in Munich).

The influence of civil engineering on the development of science is particularly evident in the fact that new disciplines have emerged in teaching and research, such as: building physics, construction automation, construction informatics. In addition, construction automation as a new scientific discipline is discussed.

Since the beginning of the 1980s, the mechanization phase in the construction industry has been replaced by an automation and optimization phase with increasing application of computer technology. Electronic components and systems are first introduced in construction machinery selectively as a supplement and modification of conventional technology. Today, construction robots are mainly used in the automation of construction technology processes [1-7].

A high degree of automation has been achieved for years in stationary systems for mixing building materials (concrete and asphalt) and in the series production of standardized concrete products. The automated prefabrication of large

format prefabricated reinforced concrete elements is developing rapidly. This applies above all to computer-aided (CAM) and computer-integrated manufacturing systems (CIM). Of particular importance is the automated control of transport, handling and storage processes (TUL processes) in construction technology. According to the degree of connection between the customer and the transport technology, there are:

- Technologically bound transport (e.g. transport of fresh concrete).
- Non-technological transport (e.g. container transport with finishing materials for complex housing construction).

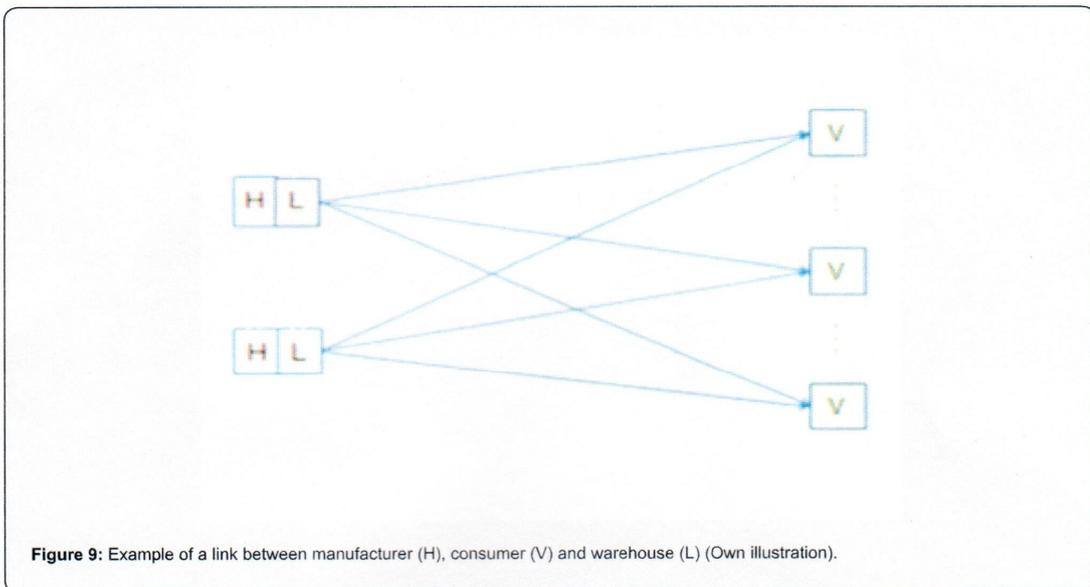
This is determined by the degree of storage capacity of the goods to be transported.

The mathematical modeling and control of technological processes is based on decomposition into classes of process states:

- Undisturbed process with constant parameters.

- Undisturbed process with scheduled changes of parameters.
 - Disrupted process due to unknown and unpredictable changes in parameters.
 - Accident with the need to prevent damage and hazards.
- Important for modeling TUL processes in the construction

industry, the following tasks are the solution: modeling of N-step decision-making processes, dynamic optimization in conjunction with real-time algorithms, balancing models for balancing transport services and demand, transport models using linear optimization (Figure 9). At the beginning of the 1980s, a special field of construction automation was launched for the first time in teaching and research at the Leipzig University of Applied Sciences together with the Bauakademie in Berlin.



References

1. Balzer, Dietrich, Volker or Müller, Rainer (1991) Knowledge-based systems in automation technology. Munich or Vienna: Carl Hanser Verlag.
2. Balzer, Dietrich or Regen, Werner (2021) Vector optimization as a quantitative method of communication science. Insights into Arginase's interdisciplinary work - creative activity in the focus of LIFIS e V ed by Gerhard Banse or Werner Regen or Frieder Siebert Berlin: trafo Wissenschaftsverlag, pp. 89-108 (papers of the Leibniz Society of Sciences 69).
3. Cebulla, Horst or Regen, Werner or Sieber, Frieder (eds.) (2021) Automation - curse or blessing. 2 parts. Berlin: Leibniz Institute for Interdisciplinary Studies (LIFIS aktuell 2).
4. Fritsche, Hans or Sieber, Frieder (2006) Building in the GDR. Berlin: Beuth Verlag.
5. Hartmann, Klaus (ed.) (1971) Analysis and Control of Processes in Material Management. Berlin or Leipzig: Akademie-Verlag, German publisher for primary industry.
6. Leyendecker, Aloys or Regen, Werner or Sieber, Frieder (2021) Game Theory and Systemic Work in Communication Theory and Practice. Insights into the results of interdisciplinary work - creative activity in the focus of LIFIS e.V., ed. by Gerhard Banse or Werner Regen or Frieder Siebert. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag pp. 109-136 (papers of the Leibniz Society of Sciences 69).
7. Sieber, Frieder or Balzer, Dietrich (2021) Construction industry between continuity and change - problem structures and solution approaches. Insights into the results of interdisciplinary work - creative activity in the focus of LIFIS e.V., ed. by Gerhard Banse or Werner Regen or Frieder Siebert. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag pp. 155-160 (papers of the Leibniz Society of Sciences 69).

Nutzung von Restwärme im Niedertemperaturbereich zur Stromerzeugung

1. Vorbemerkung

Mit dem 21. Jahrhundert begann der Übergang zu einem neuen Energiezeitalter. Die damit gekoppelten Herausforderungen ergeben sich aus der mittel- bis langfristig absehbaren Verknappung fossiler Grundstoffe für die Energie- und Rohstoffwirtschaft sowie der Notwendigkeit, die Emission von Schadstoffen und Kohlenstoffoxiden gleichermaßen erheblich zu reduzieren. Um in diesem Sinne die hochgesteckten Ziele der gesamtgesellschaftlichen Aufgabe zur Energieeinsparung, Einführung von Maßnahmen der Energieeffizienz sowie der zunehmenden Nutzbarmachung regenerativer Energien zu erreichen, sind neue und innovative Lösungen notwendig.

Ein Ansatz zur Erhöhung der Energieeffizienz soll in dem vorgeschlagenen Projekt verfolgt werden, indem die bei vielen industriellen Prozessen anfallende „Abwärme“ bzw. „Restwärme“ in Form von thermischer Energie auf aus energetischer Sicht niedrigem Temperaturniveau ($< 300\text{ °C}$, im Weiteren kurz „Niedertemperaturwärme“ genannt) für die weitere Energiegewinnung nutzbar gemacht werden soll. Da die allgemeine Entwicklung zum Energieträger Elektroenergie festzustellen ist, soll die Umwandlung der auftretenden Niedertemperaturwärme in Elektroenergie verfolgt werden. Auch im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung wird gefordert, dass die Abwärme von thermischen Prozessen mittels Umwandlung in elektrische Energie zu einer alternativen Energiequelle werden sollte. Die initiale Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens in einem Heizkraftwerk soll darüber hinaus einen zusätzlichen Nutzen erzielen, indem durch die zu entwickelnde Anlage das Kondensieren des Dampfes nach der Turbine in den Sommermonaten unterstützt wird und ein möglichst großer Teil der dabei anfallenden Kondensationswärme einer energetischen Nutzung zugeführt wird. Damit kann ein sonst notwendiger Kühlaufwand verringert und die Energiebilanz des Gesamtprozesses verbessert werden. Weitere Anwendungsfelder für die zu entwickelnde Technologie werden in der Umwandlung von beim Betrieb von Bioenergie- oder Geothermieanlagen bzw.

fertigungstechnischen Wärmebehandlungsanlagen anfallende Niedertemperaturwärme in Elektroenergie gesehen.

Das Feld der Nutzung von Energien, die als Niedertemperaturwärme bei vielen thermischen Prozessen entstehen, ist ein intensiv untersuchtes und bearbeitetes Gebiet. Viele Unternehmen möchten Lösungen auf den Markt bringen, die diese Ressource für die Energiegewinnung nutzbringend einsetzen können. Die Nutzung anfallender Restwärme ist technisch umso schwieriger, je niedriger das Temperaturniveau der betreffenden Wärmequelle im Vergleich zum verfügbaren Referenzniveau ist. 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.

Die beteiligten Einrichtungen streben an, die Ergebnisse dieses Projektes gemeinsam in Form einer energietechnischen Gesamtanlage zu vermarkten, parallel wird die Möglichkeit der Bedienung weiterer Märkte mittels Teilkomponenten gesehen. Damit ergibt sich für die Unternehmen die Möglichkeit, als Komponentenzulieferer in einer festen Verbindung oder als Systemanbieter aufzutreten.

2. Beabsichtigte technologische Entwicklung

Ausgehend von den in den Vorbemerkungen gemachten Ausführungen wurde die Patentanmeldung 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 mechanischer bzw. elektrischer Energie aus Niedertemperaturwärme identifiziert. Insbesondere sollen die Kondensationswärme im Kraftwerk, 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 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. Abb. 1 ist als Bestandteil der Patentbeschreibung eine schematische Darstellung dieses Verfahrens.

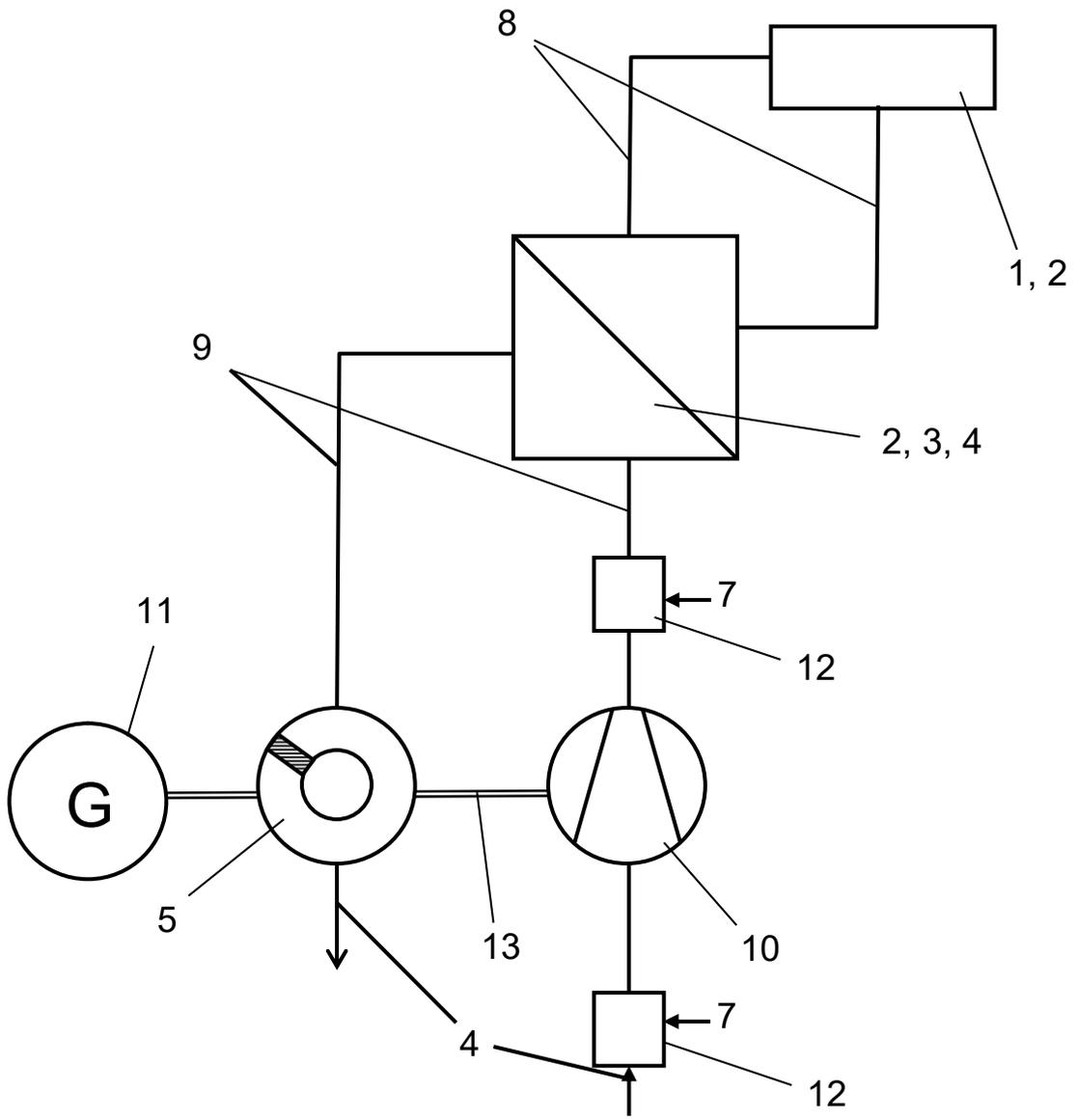


Abb.1: Anordnung und Verfahren zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme in mechanische Energie (s. Patentbeschreibung)

Ziel des Kooperationsprojektes ist es unter Nutzung des technologischen Ansatzes dieses Patentbeschlusses am Beispiel eines Heizkraftwerkes eine Anlage zur Nutzung der Abwärme für die Stromerzeugung zu entwickeln und zu testen. Dabei gehen wir von folgenden

Voraussetzungen aus:

- Die Kraftmaschine 5 und der Verdichter 10 werden als gleichartige Rotationskolbenmaschine in einem vorgelagerten Kooperationsprojekt mit einem zeitlichen Vorlauf von etwa 9 Monaten entwickelt. Im vorliegenden Projekt erfolgt eine Anpassung der Rotationskolbenmaschine auf die Anwendung in einem Heizkraftwerk
- Auf die Einspritzvorrichtungen 12 und die Zugabe von Wasser 7 wird verzichtet, um die Konstruktion zu vereinfachen

Anwendung der Lösung in einem Heizkraftwerk

Erhebliche Mengen an Niedertemperatur-Abwärme fallen in konventionellen Heizkraftwerken an, weshalb die Entwicklungsziele des Projekts in Zusammenhang mit den besonderen Eigenschaften solcher Anlagen erläutert werden sollen, hier speziell bezogen auf das Heizkraftwerk Cottbus (Abb. 2). Dort wird durch die Verbrennung von Rohbraunkohle Elektroenergie und Wärmeenergie erzeugt. Mit der Wärme kann ein großer Teil der Stadt mit Heizwärme und Warmwasser versorgt werden.



Abb. 2: Luftbild des HKW Cottbus

In einem abgeschlossenen System der Energieumwandlung (Abb. 3) wird zunächst im konventionellen Dampfturbinenprozess Dampf erzeugt, um eine Turbine für die Elektroenergieerzeugung 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.

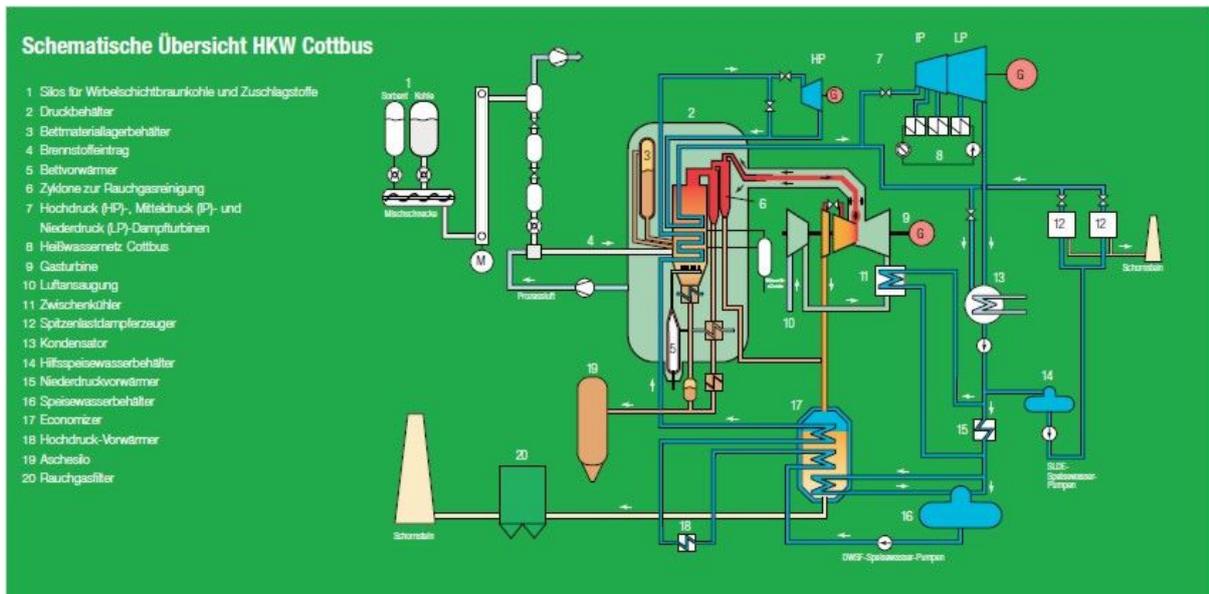


Abb. 3: Prozessschema des HKW Cottbus

Um diesem Zustand abzuwehren und 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 über den zu schaffenden Regelungsteil kondensiert. Dazu kann ein oder mehrere in Kaskade angeordnete Wärmetauscher eingesetzt werden. Das Funktionsschema einer solchen Anlage ist in Abb. 4 dargestellt.

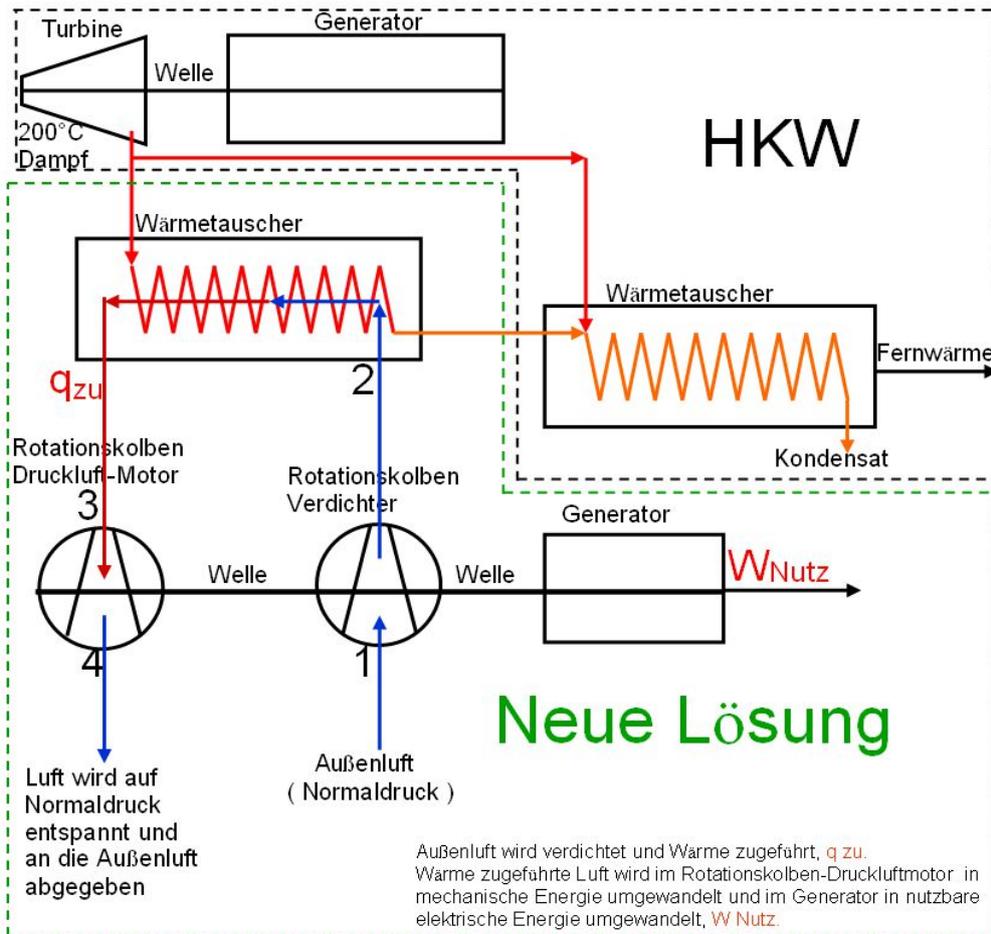


Abb. 4: Lösungsprinzip am Beispiel eines Heizkraftwerkes (HKW)

Das Ziel des Projektes besteht dabei darin, aus der Restwärme des Dampfes Strom zu erzeugen bei gleichzeitiger Kondensation des Dampfes. Dadurch kann als zusätzlicher Effekt auf Kühltürme verzichtet werden. Um die Machbarkeit der neuen Lösung bewerten zu können wird der der neuen Lösung zugrunde liegende Kreislaufprozess thermodynamisch bzw. energetisch analysiert.

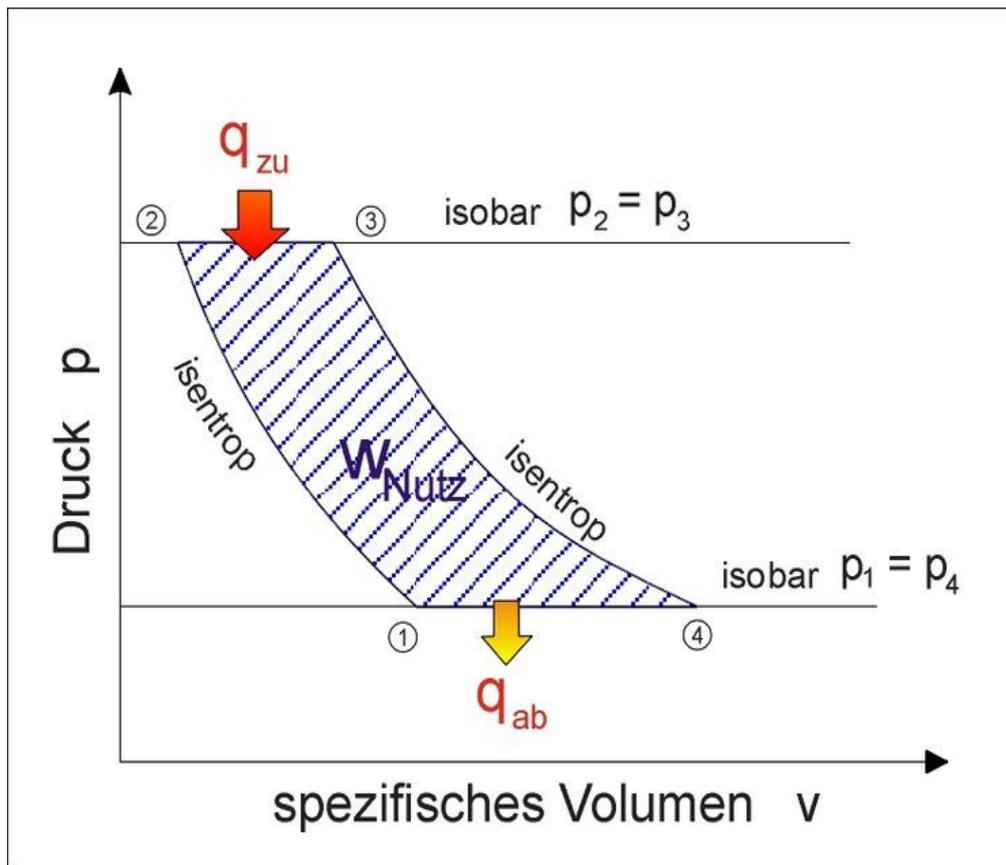


Abb. 5: Prozess der Gewinnung technischer Arbeit
Den entsprechenden Prozessverlauf zeigt Abb. 5.

In letzter Zeit sind weiterführende Überlegungen zur Verfeinerung der in Abb. 4 dargestellten Lösung angestellt worden, um zu einer noch besseren Ausnutzung der Restwärme zu kommen. Zu diesem Zweck wurde ein Vorwärmer in den Kreisprozess integriert. Aus diesem Grund soll von einem Prozessschema ausgegangen werden, wie es auf Abbildung 6 dargestellt ist.

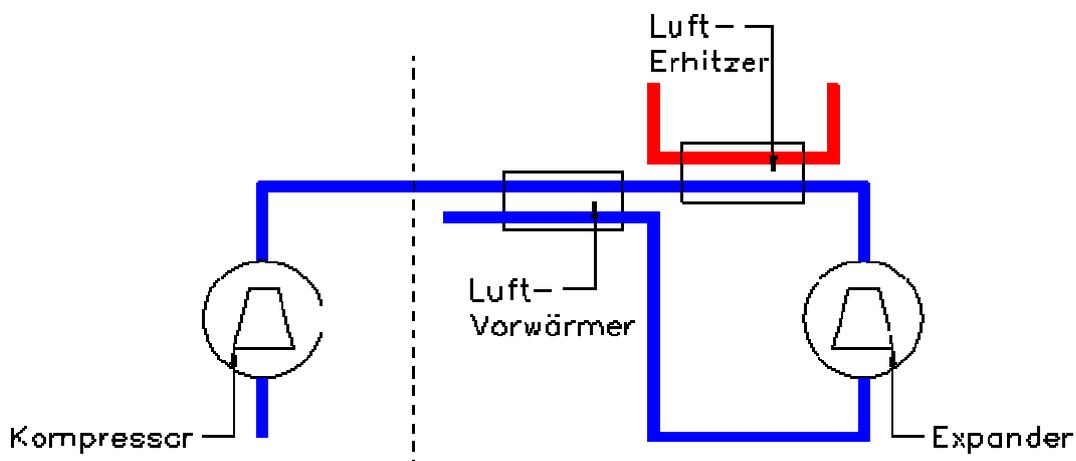


Abb. 6: Prozessschema des Joule-Kreisprozesses

Als Arbeitsmedium (blau dargestellt) soll atmosphärische Luft eingesetzt werden. Die Lufterhitzung erfolgt durch die Kondensation von Satttdampf (rot dargestellt). Die isentrope Kompression erfolgt durch den Kompressor, welcher atmosphärische Umgebungsluft ansaugt. Die isobare Erwärmung erfolgt in zwei Stufen. Im Luftvorwärmer wird die komprimierte Luft durch die Abluft des Expanders vorgeheizt. Die weiter notwendige Erhitzung erfolgt durch den Lufterhitzer durch Satttdampf-Kondensation. Die isentrope Expansion der erhitzten Luft erfolgt mit dem Expander. Die isobare Abkühlung der Abluft des Expanders wird zur Luftvorwärmung genutzt. Der Einsatz eines Luftvorwärmers ist nicht unbedingt erforderlich. Er trägt jedoch zu einer wesentlichen Verbesserung des Systemwirkungsgrads bei.

3. Mathematische Modellierung der Abwärmenutzung und Wärmeübertragung

Um die im Prozess der Restwärmenutzung gewonnene Arbeit zu berechnen betrachten wir die Übergänge zwischen den auf Abb. 5 dargestellten Zuständen:

Isentrope Kompression ① → ②

Isobare Erwärmung ② → ③

Isentrope Expansion ③ → ④

Für die thermischen und energetischen Abschätzungen wurden folgende Prozessberechnungen durchgeführt:

Die Wirkungsgrade der isobaren Luftvorwärmung mit der Abluft des Expanders und der isobaren Lufterhitzung durch Satttdampfkondensation sind situationsbezogen. Sie hängen von den konkreten Prozessparametern ab und wurden deshalb mit Hilfe mathematischer Modelle berechnet.

In beiden Fällen werden die Wärmeübertragungsprozesse mit Hilfe von Oberflächenwärmetauschern mit Gegenstrom (z.B. Rohrbündelwärmeübertrager) durchgeführt. Zur Berechnung der übertragenen Wärmemenge wird ein mathematisches Modell des Wärmetauschers verwendet, das auf Wärmebilanzen beruht. Dabei wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Die Wärmeleitung durch die Wände wird vernachlässigt. Deshalb kann auf eine Bilanzgleichung für die Rohrwand verzichtet werden.
- In Strömungsrichtung findet sowohl bei der Luft als auch beim Dampf keine Rückvermischung statt, während in der zur Strömung senkrechten Richtung eine vollständige Vermischung stattfindet (Pfropfenströmung). Wir haben es mit einem System mit verteilten Parametern zu tun.

Die allgemeine Herangehensweise bei der Aufstellung der Wärmebilanzgleichungen für den Dampf und für die Luft ist auf Abb. 7 dargestellt. In unserem Fall findet keine Energiezufuhr durch eine chemische Reaktion und durch Diffusion statt [1 bis 6]

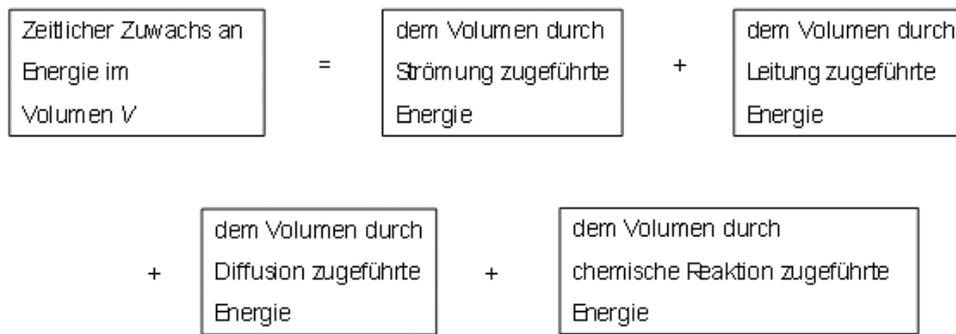


Abb. 7: Mathematisches Modell für die allgemeine Energiebilanz von Prozessen

Mit Hilfe des hier dargestellten mathematischen Modells wurden erstens die Temperatur der Wärmequelle (150 Grad Celsius) bzw. die Temperatur der Luft am Ausgang des Wärmetauschers und zweitens die Gradigkeit des Rekuperators mit 5 K berechnet.

4. Prozessführung und Automatisierungstechnik

Es ist die Frage zu beantworten wie die zu entwickelnde Anlage als Regelungselement in das Heizkraftwerk eingebunden ist und wie die Prozessführung dieser Anlage zu organisieren ist.

Eine erste Systemanalyse des zu schaffenden Gesamtsystems hat gezeigt, dass die Prozessführung bzw. Steuerung der neuen Anlage zur Restwärmenutzung nach verschiedenen Zielfunktionen in Abhängigkeit von den sich dynamisch ändernden energetischen und wirtschaftlichen

Anforderungen an das Heizkraftwerk zu erfolgen hat. Das bedeutet, dass die Anlage nach verschiedenen Zielfunktionen zu steuern ist:

- Erzeugte Elektroenergiemenge/Zeiteinheit
- Zugeführte Dampfmenge/Zeiteinheit
- Kombinierte Zielfunktion (Gewichtete Zielfunktionen): Erzeugte Elektroenergiemenge/Zeiteinheit und zugeführte Dampfmenge/Zeiteinheit

Neben dieser Zeitabhängigkeit der Sollwerte bzw. Vorgaben ist außerdem zu beachten, dass innere technologische Rückkopplungen existieren, die zu Instabilitäten führen können. Aus diesen Gründen muss für die neue Vorrichtung zur Restwärmenutzung eine intelligente Automatisierungs- und Steuerungstechnik entwickelt werden.

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

1. Steuergrößen:

- Durchsatz der Luftmenge/Zeiteinheit am Eingang in den RENIS-Wärmetauscher
- Zugeführte Dampfmenge/Zeiteinheit (Kann auch Zielfunktion sein)

2. Regelgrößen:

- Temperaturfeld des Wärmetauschers
- Drehgeschwindigkeit der Welle

3. Nebenbedingungen:

- 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

Diese Prozessführungsaufgabe wird mit einem Steuerungssystem mit 3 Hierarchieebenen gelöst (s. Tab. 1)

Ebene	Informationsverarbeitungsalgorithmus
1. Stabilisierung der Steuergrößen	Eindimensionale Festwertregelkreise mit linearen Reglern
2. Bestimmung der Sollwerte für die Regelgrößen	Neuartige Steuerung des RENIS-Wärmetauschers nach dem Temperaturfeld, mehrdimensionale nichtlineare Regelungssysteme, Beachtung der Nebenbedingungen bei der Optimierung der Sollwerte
3. Auswahl der Zielfunktion und der Nebenbedingungen	Nutzung von Elementen der künstlichen Intelligenz, Modellierung des Gesamtsystems Heizkraftwerk-RENIS-System,

Tab. 1: Struktur des Steuerungssystems

Ohne dieses Steuerungssystem kann die neue Lösung nicht betrieben und nicht auf dem Markt angeboten werden, da die Stabilität 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“ und „Drehzahl der Welle“ besitzen eine positive Rückkopplung, was zu Instabilitäten führen kann
- Die beiden Wärmetauscher sind technologisch in Reihe geschaltet. Das führt zu bedeutenden Totzeiten und Zeitkonstanten der Übertragungskanäle. 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. Auf diese Problem wird im Weiteren noch eingegangen.

5. Anforderungen an die Projektierung der Prozessführung (Requirement-Engineering)

Technische Basis der Prozessführung ist das in Tab.1 dargestellte neuartige 3-stufige Prozessführungssystem. Durch dieses System erfolgt eine operative Änderung der Sollwerte für die Regelgrößen (Temperatur am Ausgang aus dem Wärmetauscher und Drehzahl der Welle) in Abhängigkeit von den Störgrößen und von den geänderten Zielfunktionen. Bei einer geschätzten Zeitkonstante der Steuerkanäle von ca. 50 min und der Störkanäle von ca. 60 min ist durch eine operative Prozessoptimierung eine zusätzliche Erhöhung der Stromausbeute um ca. 20 % gegenüber dem stationären optimalen Wert der Steuergrößen, der dem Mittelwert der Störgrößen entspricht, zu erwarten, . Das neue System der Restwärmenutzung wird also in einem dynamischen Regime betrieben, während die auf dem Markt vorhandenen Systeme in einem stationären Regime betrieben werden. Diese Werte können jedoch nur erreicht werden, wenn eine hohe Regelgüte garantiert wird. Die Anforderungen an die Regelgüte leitet sich ab aus der Sensibilität des Wirkungsgrades des Gesamtsystems COP bezüglich des Regelfehlers. Mit Hilfe der Tab. 2 kann diese Sensibilität abgeschätzt werden.

Temperatur	der	Wirkungsgrad	der	Wirkungsgrad	der
-------------------	------------	---------------------	------------	---------------------	------------

Luft am Ausgang des Wärmetauschers, T_3	Rotationskolbenmaschine 97 %	Rotationskolbenmaschine 90%
150 Grad C=423 Grad K	15,4 %	3,0 %
180 Grad C =453 Grad K	16,3 %	3,8 %
210 Grad C =483 Grad K	27,5 %	14,0 %

Tab. 2: Wirkungsgrad des Gesamtsystems COP bei einem Verdichtungsdruck von 1,6 Bar in Abhängigkeit von der Lufttemperatur am Ausgang aus dem Wärmetauscher und vom Wirkungsgrad der Rotationskolbenmaschine

Nehmen an, dass die Lufttemperatur am Ausgang aus dem Wärmetauscher im Bereich zwischen 180 Grad und 210 Grad Celsius stabilisiert wird. In diesem Bereich beträgt die Sensibilität 0,37 %/Grad. Bei der Abschätzung der Effektivität des Gesamtsystems sind wir von einem Wirkungsgrad der Rotationskolbenmaschine von 97 % und des Gesamtsystems von 15,4 % ausgegangen. Aus 80 MW Dampf (Restwärme) wird in einem Jahr elektrische Energie im Wert von 3,679 Mio € hergestellt. Bei einem durchschnittlichen Regelfehler von nur einem Grad gehen 0,91 Mio € verloren.

Neben den erhöhten Anforderungen an die Regelgüte auf Grund der Sensibilität des Wirkungsgrades bezüglich der Temperatur der Luft am Ausgang aus dem Wärmetauschers führt die positive innere Rückkopplung im Steuerungsobjekt zu besonderen Schwierigkeiten bei der Stabilisierung des Gesamtsystems. Der Durchsatz (Volumenstrom) der Luft durch den Motor (Expander) ist mit dem Durchsatz der Luft durch den Verdichter positiv rückgekoppelt, was in Übereinstimmung mit der Gasgleichung durch folgende Beziehung beschrieben werden kann:

$$V_{La}(t) = V_{Le}(0) + \int_0^t \Delta T \frac{mR}{p} dt$$

wobei: $V_{La}(t), V_{Le}(0)$ - die Volumenströme der Luft am Ausgang und am Eingang des Wärmetauschers zu den Zeitpunkten t und $t=0$,

ΔT - die Temperaturdifferenz zwischen Ausgang und Eingang des Wärmetauschers,

p - der Druck

m - Koeffizient

R - Gaskonstante

t - Zeit

sind.

Die Rückkopplung erfolgt also über ein Integralglied. Ohne ein System zur automatischen Stabilisierung kann also das Gesamtsystem nicht betrieben werden, da sonst der Volumenstrom unbegrenzt wächst, was zur Zerstörung des Systems führen kann.

Besonders wichtig ist die Stabilisierung der Temperatur der Luft am Ausgang aus dem Wärmetauscher auf einem sich dynamisch veränderlichen Sollwert auf der zweiten Steuerungsebene.. Dieser Sollwert wird durch Lösung einer Optimierungsaufgabe auf der dritten Steuerungsebene bestimmt. Die geforderte hohe Regelgüte (Quadratische Regelfläche und Stellaufwand) bei einer Änderung der Sollwerte für die Temperatur am Ausgang aus dem Wärmetauscher erfordert normalerweise eine zeitoptimale Steuerung nach dem Maximumprinzip. Die Erfahrungen bei der Steuerung von Systemen mit verteilten Parametern (Rohrreaktoren) zeigen jedoch, dass durch eine Feldregelung mit einfacheren Mitteln ähnliche Ergebnisse erzielt werden können^[1]. Gleiche Erfahrungen konnten auch bei einem kürzlich durch die AiF geförderten FuE-Projekt zur Steuerung von Horizontalreaktoren gemacht werden^[2]. Diese Erfahrungen sollen nun auf die Steuerung von Wärmetauschern übertragen werden. Im vorliegenden FuE-Projekt soll eine Methodik für die Projektierung und den Test der Temperaturfeldregelung von Wärmetauschern bei der Restwärmenutzung zur Stromerzeugung entwickelt werden. Die Grundzüge dieser Methodik werden im Weiteren beschrieben.

Bezüglich der Projektierung der Prozessführung ist die Feststellung wichtig, dass das dynamische Verhalten des Gesamtsystems im allgemeinen und des Wärmetauschers im besonderen vor der

Herstellung und der Systemintegration der einzelnen Komponenten mathematisch modelliert werden muss, um die Übertragungsfunktionen der Steuer- und Störkanäle vor der Herstellung der Komponenten zu bestimmen. Das schafft die Grundlage für die Simulation und Optimierung des gesteuerten Gesamtsystems. Das ist vor allem aus wirtschaftlichen Gründen notwendig. Es kann dadurch auf nachträgliche größere Korrekturen des einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems verzichtet werden. Darüber hinaus ist auch keine experimentelle Bestimmung der Übertragungsfunktionen notwendig.

Das vorhandene mathematische Modell der Dynamik des Wärmetauschers kann ohne Veränderungen und ohne zusätzliche Kosten unter Nutzung der optimalen Versuchsplanung auch für die optimale Auslegung verwendet werden. Im Weiteren wird das am Beispiel der Optimierung der Wärmeübertragungsfläche gezeigt. Ein weiterer Vorteil gegenüber den klassischen Ansätzen ist die um das 20-fache erweiterte Maßstabsübertragung, was besonders für die Vermarktung wichtig ist. Kosteneinsparung und bedeutend höhere Genauigkeit ist also der Vorteil des neuen Ansatzes. Diese Aussagen werden in den Veröffentlichungen zur Auslegung von Wärmetauschern bestätigt. Dynamische Modelle werden bisher nicht verwendet^[3,4,5,6].

6. Methodik für die Projektierung der Steuerung des Wärmetauschers nach dem Temperaturfeld

a) Auswahl der Struktur des Regelkreises

Bei einer Temperaturfeldregelung des Wärmetauschers haben wir zwei mögliche Steuergrößen: Volumenstrom der Luft und Volumenstrom des Dampfes. Der Regelfehler hat bei einer Temperaturfeldregelung folgendes Aussehen:

$$\varepsilon_k(t) = \int_0^L \left\langle \left[T_1(t,l) - T_1^{opt}(l) \right] g_k^1(l) + \left[\frac{\partial T_1(t,l)}{\partial l} - \frac{\partial T_1^{opt}(l)}{\partial l} \right] g_k^2(l) \right\rangle dl$$

Die Temperatur der Luft $T_1(t,l)$ wird über die Länge des Wärmetauschers an mehreren Stellen automatisch gemessen und mit einem optimalen Temperaturprofil $T_1^{opt}(l)$ verglichen.

b) Bestimmung des Temperatursollprofils

Dieses optimale Temperaturprofil stellt die Lösung des folgenden Gleichungssystems dar:

$$\frac{dT_1}{dl} = (T_2 - T_1) \frac{\alpha S_1 Q_1}{U_1 c_1 V_1}$$

$$\frac{dT_2}{dl} = -(T_2 - T_1) \frac{\alpha S_2 Q_2}{U_2 c_2 V_2}$$

mit folgenden Anfangs- und Randbedingungen:

$$T_1(L) = T_1^{opt} = \text{Sollwert}$$

$$T_1(0) = T_{1e}$$

$$T_2(L) = T_{2e}$$

c) Bestimmung der Zeitabhängigkeit der Prozessparameter (Temperaturen) bei der Einwirkung von Störgrößen

Für die Ermittlung der Zeitabhängigkeit gibt es 2 Möglichkeiten.

Die erste Möglichkeit besteht darin das folgende Gleichungssystem (Dynamisches Modell des Wärmetauschers) zu lösen:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} + \frac{V_1}{Q_1} \frac{\partial T_1}{\partial l} = (T_2 - T_1) \frac{\alpha S_1}{U_1 c_1}$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} - \frac{V_2}{Q_2} \frac{\partial T_2}{\partial l} = -(T_2 - T_1) \frac{\alpha S_2}{U_2 c_2}$$

Anfangsbedingungen:

$$T_1(l), T_2(l) \quad \text{bei} \quad \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\partial T_2}{\partial t} = 0$$

Randbedingungen:

$$T_1(0, t) = T_{1e}(t) \quad T_2(L, t) = T_{2e}(t)$$

Für die numerische Lösung dieses Gleichungssystems werden Standardprogramme eingesetzt.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, die Übertragungsfunktionen direkt aus dem dynamischen Modell des Wärmetauschers abzuleiten. Die Vorgehensweise ist in diesem Fall die folgende:

Erster Schritt: Linearisierung der Gleichungen des mathematischen Modells um den stationären Punkt

$$\frac{\partial \Delta T_1}{\partial t} + a_1 \frac{\partial T_{10}}{\partial l} \Delta T_1 + \frac{V_{10}}{Q_1} \frac{\partial \Delta T_1}{\partial l} = (\Delta T_2 - \Delta T_1) \frac{\alpha S_1}{U_1 c_1}$$

$$\frac{\partial \Delta T_2}{\partial t} + a_2 \frac{\partial T_{20}}{\partial l} \Delta T_2 + \frac{V_{20}}{Q_2} \frac{\partial \Delta T_2}{\partial l} = -(\Delta T_2 - \Delta T_1) \frac{\alpha S_2}{U_2 c_2}$$

wobei

- $T_{10}, T_{20}, V_{10}, V_{20}$ die stationären Werte bzw. Punkte der Zustandparameter

- $a_1 = \left[\frac{\partial V_1}{\partial T_1} \right], a_2 = \left[\frac{\partial V_2}{\partial T_2} \right]$ die ersten partiellen Ableitungen in den stationären Punkten V_{10} und V_{20}

sind

Zweiter Schritt: Transformation der linearisierten Gleichungen nach Laplace

$$\frac{\partial \overline{\Delta T_1}}{\partial l} = \frac{Q_1}{V_{10}} \left(-\frac{\alpha S_1}{U_1 c_1} - p \right) \overline{\Delta T_1} + \frac{Q_1}{V_{10}} \frac{\alpha S_1}{U_1 c_1} \overline{\Delta T_2}$$

$$\frac{\partial \overline{\Delta T_2}}{\partial l} = \frac{Q_2}{V_{20}} \left(\frac{\alpha S_2}{U_2 c_2} - p \right) \overline{\Delta T_2} - \frac{Q_2}{V_{20}} \frac{\alpha S_2}{U_2 c_2} \overline{\Delta T_1}$$

Mit den Anfangs- und Randbedingungen:

$$\overline{\Delta T_1}(0, p) = \overline{\Delta T_1}(e)$$

$$\overline{\Delta T_2}(L, p) = \overline{\Delta T_{2e}}$$

wobei $\overline{\Delta T_1}$ und $\overline{\Delta T_2}$ die nach Laplace transformierten Abweichungen vom stationären Zustand sind

Dritter Schritt: Berechnung der Übertragungsfunktionen

Die Übertragungsfunktion ist der Quotient aus der transformierten Ausgangsgröße und der transformierten Eingangsgröße.

Als Beispiel soll die Übertragungsfunktion des Kanals „Eingangstemperatur des Dampfes – Ausgangstemperatur der Luft“ berechnet werden. Dazu werden die nach Laplace transformierten Gleichungen durch die nach Laplace transformierte Eingangstemperatur dividiert:

$$\frac{\partial W_{\overline{\Delta T_1} / \overline{\Delta T_{2e}}}}{\partial l} = \frac{Q_1}{V_{10}} \left(-\frac{\alpha S_1}{U_1 c_1} - p \right) W_{\overline{\Delta T_1} / \overline{\Delta T_{2e}}} + \frac{Q_1}{V_{10}} \frac{\alpha S_1}{U_1 c_1} W_{\overline{\Delta T_1} / \overline{\Delta T_{2e}}} \overline{\Delta T_2}$$

$$\frac{\partial W_{\frac{\Delta T_2}{\Delta T_{2e}}}}{\partial l} = \frac{Q_2}{V_{20}} \left(\frac{\alpha S_2}{U_2 c_2} - p \right) W_{\frac{\Delta T_2}{\Delta T_{2e}}} - \frac{Q_2}{V_{20}} \frac{\alpha S_2}{U_2 c_2} W_{\frac{\Delta T_1}{\Delta T_{2e}}}$$

Anfangsbedingungen:

$$W_{\frac{\Delta T_{2e}}{\Delta T_{2e}}} = 0 \quad W_{\frac{\Delta T_2}{\Delta T_{2e}}} = 1$$

wobei $W_{\frac{\Delta T_2}{\Delta T_{2e}}}$ die Übertragungsfunktion des Kanals „Eingangstemperatur des Dampfes – Ausgangstemperatur der Luft“ ist.

Die Lösung dieses Gleichungssystems erfolgt numerisch unter Verwendung von vorhandenen Standardprogrammen. Dabei werden für die Variable p verschiedene Werte eingesetzt. Danach erfolgt eine Approximation der Abhängigkeit der Übertragungsfunktion von der Variablen p .

Die zweite Möglichkeit hat den Vorteil, dass die dynamischen Eigenschaften des Wärmetauschers einfacher überschaubar sind. Diese Möglichkeit hat allerdings den Nachteil, dass die Übertragungsfunktionen die dynamischen Eigenschaften des Wärmetauschers nur in der Nähe des stationären Punktes adäquat beschreiben.

Vierter Schritt: Auswahl der linearen Regelalgorithmen

Es wird empfohlen einen PID-Algorithmus zu verwenden

d.) Bestimmung der Gewichtskoeffizienten $g_k^i(l)$

Die Bestimmung der Gewichtskoeffizienten $g_k^i(l)$ erfolgt durch Minimierung des Gütemaßes (Quadratische Regelfläche und Stellaufwand) durch die Lösung folgender Optimierungsaufgabe:

$$I = \int_0^{\infty} [\varepsilon_k^2(t) + \beta u^2(t)] dt \xrightarrow{g_k^1(l), g_k^2(l), \text{Regelparameter}} \min$$

wobei u die Steuergrößen sind.

e) Test und Anpassung des Regelsystems an der realen Anlage der Restwärmenutzung zur Stromerzeugung

Diese oben beschriebene Methodik hat den Vorteil, dass bereits bei der Projektierung die Gewichtsfunktionen (Gewichtsparemeter) und die Reglerparameter festgelegt werden können. Dazu ist es notwendig, ein analytisches mathematisches Modell der Dynamik des Steuerungsobjektes zu besitzen.

Wenn dieses Modell um eine Wärmebilanzgleichung für Wände des Wärmetauschers ergänzt wird ist es auch für die konstruktive Auslegung des Wärmetauschers einsetzbar.

7. Optimierung der Wärmeübertragungsfläche des Wärmetauschers

Bei der Auslegung des Wärmetauschers gehen wir davon aus, dass die Differenz aus Gewinn und Kosten maximiert wird. Um die Maximierung dieser Differenz durchzuführen gehen wir nach folgender Methodik vor.

- a) Ermittlung der Kosten des Wärmetauschers nach folgender Beziehung:

$$\text{Kosten} = F \frac{\text{Kosten}}{F}$$

wobei:

F - Wärmeübertragungsfläche

$\frac{\text{Kosten}}{F}$ - flächenbezogene Kosten des Wärmetauschers

sind.

Bei der Abwärmenutzung zur Stromerzeugung gehen wir von flächebezogenen Kosten von ca 1,5 TEUR/m² aus.

- b) Ermittlung der Abhängigkeit der Temperatur der Luft am Ausgang aus dem Wärmetauscher T_{La} von der Wärmeübertragungsfläche und von Eingangstemperatur des Heizmediums T_{He} durch numerische Lösung der Gleichungen des mathematischen Modells :

$$T_{La} = f(F, T_{He})$$

- c) Ermittlung der Abhängigkeit der übertragenen Wärmemenge im Wärmetauscher W von T_{La} durch numerische Lösung des mathematischen Modells des thermodynamischen Kreislaufs:

$$W = \Phi(T_{La})$$

- d) Ermittlung der für die Stromerzeugung genutzten

Wärmemenge W_{Strom} :

$$W_{Strom} = k_{COP} W$$

wobei k_{COP} - der Wirkungsgrad der Gesamtanlage ist.

- e) Ermittlung des Gewinns aus der Stromerzeugung:

$$\text{Gewinn} = \text{Preis/MWh} \times W_{Strom}$$

Wir gehen bei der Abwärmenutzung zur Stromerzeugung bei der Gewinnberechnung von 35 EUR/MWh aus.

- f) Maximierung des Erlöses aus dem Einsatz des Wärmetauschers durch Auswahl der Größe der Wärmeübertragungsfläche F :

$$Erlös = Gewinn - Kosten \xrightarrow{F} \max$$

Diese Optimierungsaufgabe wird mit vorhandenen Standardmethoden unter Verwendung der in den vorangegangenen Schritten ermittelten Abhängigkeiten der Werte für Gewinn und Kosten von der Wärmeübertragungsfläche gelöst. Die Abhängigkeit des Gewinns von der Wärmeübertragungsfläche zeigt bei steigender Wärmeübertragungsfläche Sättigungsverhalten, während die Kosten von der Wärmeübertragungsfläche linear abhängen.

8. Anpassung der Rotationskolbenmaschine an die Nutzung der Restwärme zur Stromerzeugung in einem Heizkraftwerk

Wie zu Beginn des Punktes 1.1 bereits dargestellt wurde die Rotationskolbenmaschine in einem vorgelagerten Projekt in Form einer Prinziplösung entwickelt und getestet. Im vorliegenden Projekt soll eine Methodik zur Anpassung der Rotationskolbenmaschine an konkrete Anwendungsgebiete der Restwärmenutzung entwickelt werden. Diese Methodik soll am Beispiel von Heizkraftwerken getestet werden. Das Ziel dieser Methodik besteht darin, einerseits die auf **eine** Rotationskolbenmaschine bezogene Summe aus Entwicklungskosten und Fertigungskosten zu minimieren und andererseits die wirtschaftlichen Effekte beim Einsatz der Rotationskolbenmaschine zu maximieren. Die für die Lösung dieser mehrdimensionalen Optimierungsaufgabe zu schaffende Methodik besteht aus zwei Etappen:

- a. Erste Etappe: Definition von Klassen für die Parameter der Rotationskolbenmaschine
- b. Zweite Etappe: Zuordnung der konkreten Anwendung zu einer der in der ersten Etappe definierten Klassen

Im Rahmen der ersten Etappe erfolgt durch die Bestimmung der optimalen Klassenanzahl m eine Minimierung der Summe aus Entwicklungskosten und Fertigungskosten pro Rotationskolbenmaschine. Diese Optimierungsaufgabe wird mit

regelbasierten Methoden der künstlichen Intelligenz gelöst. Die dafür notwendigen Regeln werden mit folgenden Wissensakquisitionsmethoden gewonnen: Regel-UND/ODER-Graf, Konstruktgitter-Verfahren, Induktionsmethode. Die Ermittlung der optimalen Klassenanzahl setzt voraus, dass die Klassenmerkmale und damit die Dimension des Merkmalraumes bekannt sind. Um die Klassenmerkmale zu bestimmen wird ein rekursiver Algorithmus zur Merkmalsextraktion eingesetzt, der auf folgendem Prinzip basiert: Die Startdimension des Merkmalsvektors wird bewusst eingeschränkt. Die Dimension des Merkmalraumes wird schrittweise erhöht. Nach jedem Schritt wird die Klassifikationsgüte bestimmt. Die Klassifikationsgüte ist direkt proportional zu den Gesamtkosten. Die Formierung des Merkmalsvektors gilt als beendet, wenn durch Hinzufügen eines weiteren Merkmals keine weitere Reduzierung der Gesamtkosten erreicht wird. In unserem Fall wird als Startdimension eine bestimmte Anzahl der Leistungsbereiche der Rotationskolbenmaschine angenommen. In einem weiteren Schritt werden die Anforderungen an die Änderungsgeschwindigkeit und die Amplitude der Motordrehzahl als weitere Merkmale verwendet. Dann wird geprüft, ob durch ein Hinzufügen der Anforderungen an die notwendige Schwankungsbreite (Steuerreserven) des Eingangsdruckes und des Massendurchsatzes eine weitere Reduzierung der Gesamtkosten erreicht wird.

Im Rahmen der zweiten Etappe wird aus den in der ersten Etappe definierten Klassen A_i diejenige ausgewählt, bei der folgende Zielfunktion ein Minimum erreicht:

$$Z(A_1, A_2, \dots, A_m) = \sum_{j=1}^m \sum_{i \in A_j} d(x_i, x_j) \xrightarrow{A_j, x_j} \min$$

Dabei sind:

x_i - die geforderten Werte des Merkmalvektors, die die wirtschaftlichen Effekte beim Einsatz der Rotationskolbenmaschine zu maximieren (z.B. Maximum an elektrischer Leistung bei vorgegebener Menge an Abwärme)

x_j - der Klassenrepräsentant der Klasse A_j

Die Funktion $d(x_i, x_j)$ stellt dabei eine lineare oder nichtlineare Distanzfunktion dar, die den Abstand zwischen den geforderten bzw. gewünschten Werte des Merkmalsraumes und den jeweiligen Klassenrepräsentanten bewertet.

Als Abstandsmaß zwischen den Vektoren x_i und x_j , die als Punkte im n - dimensionalen Raum interpretiert werden, verwenden wir:

$$d(x_i, x_j) = \left[\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{ji})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Die oben beschriebene Aufgabe der zweiten Etappe (Zuordnung der konkreten Anwendung zu einer der in der ersten Etappe definierten Klassen) wird mit Methoden der nichtlinearen Optimierung gelöst.

Es ist offensichtlich, dass die zu entwickelnde Methodik zur Anpassung der Rotationskolbenmaschine an die konkrete Nutzung fundamentale Bedeutung für die spätere Vermarktung der Lösung hat.

9. Angestrebte technische Funktionalitäten und relevante Parameter

Die angestrebten technischen Funktionalitäten bzw. Eigenschaften sind folgende:

- Erzeugung von Strom unter Nutzung des Systems Motor-Verdichter-Generator

- Sicherung der Stabilität des ungesteuerten Systems unter Beachtung der positiven Rückkopplung zwischen Verdichter und Motor
- Nutzung einer Reihenschaltung mehrerer Systeme mit dem Ziel der maximalen Ausnutzung der Restwärme
- Automatisches An- und Abfahren des Systems
- Erzeugung von Regelenergie für ein virtuelles Kraftwerk
- Optimaler Wirkungsgrad der Wärmetauscher
- Sicherung der Korrosionsfestigkeit der Wärmetauschers
- Automatisierungsgerechte Gestaltung der Wärmetauscher
- Optimierung und Stabilisierung der Motordrehzahl unter Nutzung der Steuergrößen: Volumenstrom am Ausgang des Verdichters und zugeführte Wärmemenge
- Stabilisierung der zugeführten Wärmemenge unter Nutzung der Steuergrößen: Temperatur des Heizmedium am Eingang der Wärmetauscher und Volumenstrom des Heizmediums
- Vollständige Steuerbarkeit aller Teilsysteme

Relevante Parameter sind folgende:

- Verfügbarkeit der Teilsysteme 0,98
- Zuverlässigkeit des Prototypen 0,99
- Dauerverfügbarkeit des Prototypen 0,96
- Sicherheit des Prototypen 100 %
- Wirkungsgrad der Wärmetauscher $\geq 0,5$
- Anteil der in Strom umgewandelten Restwärme in einem System $\geq 0,15$, bei einer Reihenschaltung mehrerer Systeme kann dieser Wert erhöht werden

10. Vergleich mit dem internationalen Stand

Bei der Betrachtung des Standes der Technik wird sowohl das Prinzip der Energieerzeugung als auch die Schaffung einer Gesamtanlage betrachtet .

Die Energierückgewinnung aus Niedertemperaturwärme stellt noch immer eine Herausforderung hinsichtlich der Wirkungsgradoptimierung von Energiewandlern dar. Besonders für den Einsatz an

Verbrennungskraftanlagen sind die unterschiedlichsten Lösungen entwickelt und untersucht worden, von denen im Folgenden zwei technische Lösungswege auf der Basis von Dampfprozessen kurz vorgestellt und mit den Zielstellungen von RENIS verglichen werden sollen.

Auf eine breite Behandlung thermoelektrischer Generatoren nach dem Seebeck-Effekt (deren Einsatzfähigkeit insbesondere an Fahrzeugen breit untersucht worden ist) wird verzichtet, da die bisher nachgewiesenen Wirkungsgrade deutlich unter denen eines vergleichbaren Carnot-Prozesses liegen und somit eine Anwendung in Zusammenhang mit der großtechnischen Aufgabenstellung dieses Projektes nicht sinnvoll erscheint.

Es erfolgt ein Vergleich mit folgenden Verfahren:

- **Thermo-mechanische Energiewandlung mittels Dampfturbine**
Ein repräsentatives Beispiel für am Markt angebotenen Lösungen von kompakten, dezentralen Energieerzeugungsanlagen zur Nutzung von Abwärme ist die Kompakt-Dampfturbine SST-040 der Firma Siemens Energy Sector (Abb. 8). Die Kompakt-Dampfturbine SST-040 dient als Generatorantrieb und wurde speziell für den Leistungsbereich von 75–300 kW konzipiert. Sie kann für die Abwärmenutzung z.B. hinter Gasmotoren und Biogasmotoren, in kleinen KWK-Anlagen oder in dezentralen solarthermischen Anlagen eingesetzt werden. Die Turbine wird mit einem Frischdampfdruck von 2 bis 40 bar und einer Frischdampf Temperatur bei trockenem Sattdampf bis 400 °C betrieben, kann also nicht mit Niedertemperaturwärme gespeist werden.

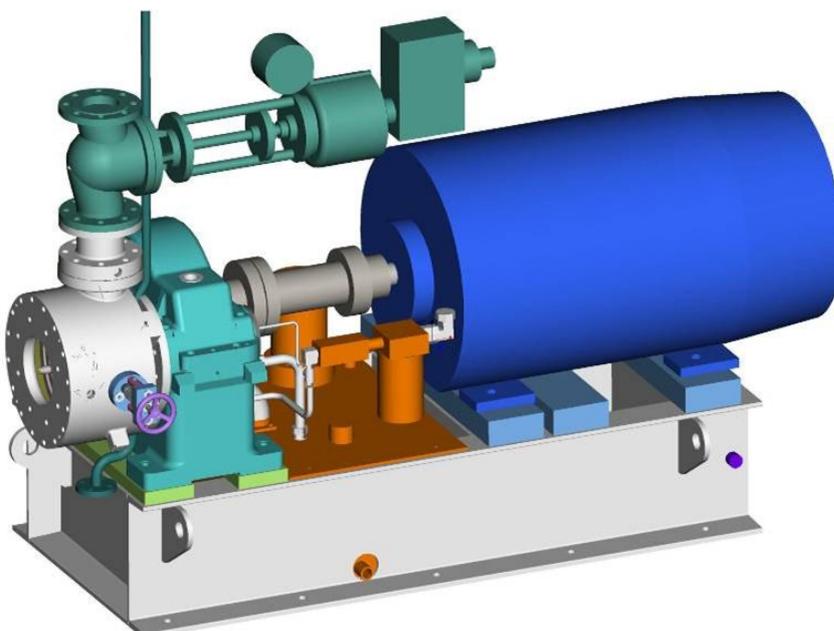


Abb. 8: Layout der Siemens Kompakt-Dampfturbine SST-040 [7]

■ ORC-Prozeß

Die Grundlagen für die ORC-Technik (Organic Rankine Cycle) wurden bereits im Jahr 1850 vom schottischen Professor William Rankine als Technik für die Nutzung von Niedertemperaturquellen zur Stromerzeugung geschaffen. Es handelt es sich hier auch um ein Dampfkraftsystem, in dem jedoch nicht Wasser sondern ein organisches Medium mit niedrigeren Siedebedingungen verdampft wird (Abb. 9).

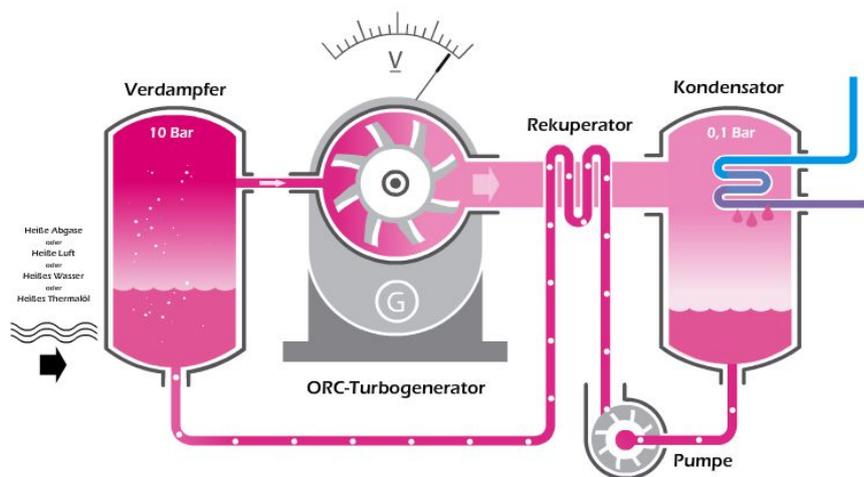


Abb. 9: Fließschema des ORC-Prozesses [8]

Wie bei der konventionellen Wasserdampftechnik auch, wird Dampf in einer Expansionsmaschine (Dampfturbine oder -motor) entspannt und ein Generator zur Stromerzeugung angetrieben, der Dampfdruck ist jedoch meist erheblich niedriger und macht deshalb nicht den Einsatz teurer Hochdrucktechnik erforderlich. Die Anwendung von ORC-Technik ist mittlerweile im Bereich der Biomasse- und Erdwärmenutzung fast alltäglich geworden. Die auf dem Markt angebotenen Systeme haben ihre Alltagstauglichkeit bewiesen, zeichnen sich jedoch durch ein vergleichsweise hohen apparativen Aufwand und ein dementsprechend hohes Preisniveau aus.

In diesem Zusammenhang sollen noch folgende Bemerkungen gemacht werden.

Der **Nachweis der Effektivität neuer technischer Lösungen** kann grundsätzlich nicht im Vorfeld sondern erst nach der Realisierung und Erprobung erbracht werden. Genau darin liegt ja auch das technische Risiko. Allerdings hat der in Vorversuchen erreichte Wirkungsgrad der Rotationskolbenmaschine von 97 % gezeigt, dass das angestrebte Ziel realistisch ist. Nach den Erkenntnissen der technischen Wissenschaften

muss im Vorfeld jede neue technische Lösung modelliert und die zu erwartende Effektivität berechnet werden. Bei dem Vergleich mit dem des ORC-Prozess (Stand der Technik) ergaben sich für die neue Lösung folgende Vorteile:

- Niedrige relative Investitionskosten (Neue Lösung ca. 1000 bis 2500 € pro KW erzeugter elektrischer Leistung (ORC ca. 4900 € pro KW erzeugter elektrischer Leistung)
- Nutzung der Luft als Arbeitsmedium führt zu höherem Wirkungsgrad (neue Lösung ca. 15 %, ORC ca. 10 %). Die Gründe für den hohen Wirkungsgrad der neuen Lösung sind: Offener Kreislauf ohne Kühlung des Arbeitsmediums, keine Änderung des Aggregatzustandes des Arbeitsmediums im Arbeitsbereich.
- Die neue Anlage zur Restwärmenutzung verfügt über 2 intelligente Schnittstellen, die eine operative Anpassung an die sich ändernden Bedingungen beim Produzenten der Restwärme und beim Elektroenergiesystem zulassen.

Diese Vergleiche basieren auf der Anwendung moderner Methoden der Thermodynamik und der mathematischen Modellierung. Besonders großen Einfluss auf die Effektivität der neuen Lösung hat der Wärmeübertrager. Aus diesem Grund wurden für die Abschätzung der übertragenen Wärmemenge nicht wie oft üblich mit mittleren bzw. logarithmischen Temperaturdifferenzen gerechnet sondern mit mathematischen Modellen (Bilanzgleichungen in Form von Systemen partieller Differentialgleichungen), die in jedem Punkt die genaue Temperatur bestimmen. Dadurch wurde die Genauigkeit der Berechnungen wesentlich verbessert. Außerdem soll darauf hingewiesen werden, dass die Kostenvergleiche zwischen der ORC-Lösung und der neuen Lösung unter Verwendung sowohl wissenschaftlicher Veröffentlichungen als auch technischer Beschreibungen der Anbieter durchgeführt wurden. Wie in den technischen Wissenschaften üblich handelt es sich hier um relative Vergleiche, die für alle Leistungsbereiche gelten.

Die Preisangaben der neuen Lösung basieren auf wissenschaftlich fundierten Bewertungen aus den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik.

■ **Niedertemperatur-Stirlingmaschine** **(LTD-Stirling)**

Aus dem solar-thermischen Bereich sind langsam laufende, atmosphärische Stirlingmaschinen bekannt. Diese sind zumeist für den Einsatz in Entwicklungsländern vorgesehen und werden

beispielsweise zum Pumpen von Wasser in Gegenden ohne elektrischen Strom eingesetzt.

Umfangreiche Entwicklungsarbeiten wurden dazu an der technischen Universität Dresden [9] durchgeführt. Niedertemperatur-Stirlingmaschinen sind nicht zur Wandlung höherer Leistungen geeignet. Bei einer typischen Absorberfläche von ca. 1 m² können Abtriebsleistungen von einigen 10 W erreicht werden.



Abb. 1: solarer Niedertemperatur-Stirlingmotor der TU Dresden [9]

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Entspannung von Wasserdampf in Turbinen (Siemens)
 ■ Thermisch angepasste Kreisprozesse (ORC)
 ■ Stirlingmaschinen | <ul style="list-style-type: none"> - Vorteil: erprobte und robuste Technologie, insbesondere für große Leistungen - Nachteil: hohe Eingangstemperaturen erforderlich, kostenintensive Technik
 - Vorteil: bei vergleichsweise niedrigen Systemdrücken an verschiedene Arbeitstemperaturniveaus anpassbar - Nachteil: systembedingt vergleichsweise niedriger Wirkungsgrad bei relativ hohen Investitionskosten
 - Vorteil: übersichtliches Aggregatkonzept durch äußere Wärmezu- und -abführung - Nachteil: technologische Probleme beim konkreten Aufbau und Betrieb, derzeit Beschränkung auf Leistungen < 100 kW |
|--|--|

Tab.3: Stand der Technik bei der Restwärmenutzung

Tabelle 3 zeigt den Stand der Technik bei der Restwärmenutzung. Im Vergleich zum Stand der Technik werden durch die neue Lösung die Nachteile der vorhandenen Lösungen kompensiert worden.

Hervorzuheben sind vor allem folgende Vorteile der konzipierten neuen Lösung:

- Niedrige relative Investitionskosten

- Im Vergleich zu den Konkurrenzprodukten bei bedeutend niedrigerem Temperaturniveau des Heizmediums bzw. der Restwärmequelle anwendbar
- Arbeitsmedium Luft überall kostenlos verfügbar
- Offener thermodynamischer Kreislauf ohne Kühlung des Arbeitsmediums, dadurch hoher Wirkungsgrad
- Neue Lösung ist in Abhängigkeit vom vorgegeben Wirkungsgrad konfigurierbar

11. Lösungswege und Gegenstand der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Die Lösungswege und der Inhalt der Forschung und Entwicklung wurden im Pkt. 1.1 bei der Vorstellung des neuen Produktes bereits beschrieben.

An dieser Stelle soll eine diesbezügliche Zusammenfassung erfolgen:

- Mathematische Modellierung der Elemente der Anlage zur Restwärmenutzung
- Optimale Anpassung der statischen und dynamischen Eigenschaften der Rotationskolbenmaschine (Verdichter, Motor) an die Erfordernisse der Restwärmenutzung unter Verwendung des mathematischen Modells der Rotationskolbenmaschine. Als Optimierungskriterium wird das Minimum des Preis/Leistungsverhältnisses verwendet, während die konstruktiven und fertigungstechnischen Parameter die zu optimierenden Größen sind.
- Verknüpfung der Modelle der einzelnen Elemente zu einem Gesamtmodell mit dem Ziel das Systemverhalten zu simulieren und zu optimieren
- Konstruktion und Herstellung des Gesamtsystems einschließlich des Steuerungssystems
- Prototypische Erprobung im Heizkraftwerk Cottbus mit dem Ziel Strom zu erzeugen und den Dampf ohne Kühltürme zu kondensieren
- Lösung noch vorhandener Dichtungsprobleme der Rotationskolbenmaschine , z.B. durch den Einsatz von PTFE-Folie (Vorzugsvariante), Einsatz von Labyrinth-Kolben, Nutzung des Grenzflächeneffektes.

Es ergeben sich folgende Innovationsschwerpunkte:

- Entwicklung und Optimierung der Anlagenstruktur (Entwurf und Konstruktion des thermodynamischen Wandlers) für einen offenen Wirkungskreislauf des Arbeitsmediums,
- Adaption der Rotationskolbenmaschine auf den Leistungsbereich der Restwärmenutzung zur Stromerzeugung
- Einsatz der mathematischen Modellierung für einen Variantenvergleich und die Auswahl der optimalen Wärmetauschervariante: Oberflächenwärmetauscher, Wärmetauscher mit direktem Phasenkontakt oder regenerativer Wärmetauscher)
- Entwicklung eines Kaskadensystems zur optimalen Steuerung des verfahrenstechnischen Systems „Verdichter-Wärmetauscher-Motor-Generator“
- Integration der Anlage zur Restwärmenutzung in ein virtuelles Kraftwerk
- Erarbeitung einer Projektierungsmethodik für den Entwurf und die Skalierung von Anlagen zur Restwärmenutzung für die Stromerzeugung

12.Literatur

[1] Autorenkollektiv: Analyse und Steuerung von Prozessen der Stoffwirtschaft. Akademie-Verlag, Berlin, 1971, und Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1971, S. 676.

[2] D. Balzer und B. Linke: Steuerung von Horizontalfermentoren als Systeme mit verteilten Parametern. LIFIS ONLINE [27.06.11].

[3] K. Rümmler und J. Hilpsch: Grundlagen des Einsatzes von Wärmetauschern in Dampfanlagen. Spirax Sacro, 2009.

[4] G. Strohmann: Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse. Oldenburg Industrieverlag GmbH, München, Wien, 2002

[5] Th. Mewer: Regelung verteilt-parametrischer Systeme. Lehrstuhl für Regelungstechnik, Christian-Albrecht-Universität Kiel, 2013

[6] O. Schulz: Simulation von Wärmetauschern mit Simulink. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2013

[7] Kompakt-Dampfturbine Siemens SST-040 Firmenschrift Siemens Energy Sector 2011

[8] Webseite der GMK - Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH, <http://www.gmk.info/forschung-entwicklung/der-orc-prozess.html>, Kopie vom 30.04.2013

[9] Dejin Chen: Untersuchungen zur Optimierung eines solaren Niedertemperatur-Stirlingmotors, Dissertation, TU Dresden, 2004

Creative Lab #7 Kreislaufwirtschaft



Bereits seit Mitte Februar läuft nun das **Creative Lab #7 Kreislaufwirtschaft**. Inzwischen haben die fünf Teams ihre innovativen Ideen weiterentwickelt und unternehmerisches Wissen dazugewonnen. Zeit für ein Fazit und einen Ausblick, wie es bei den Teams nach dem Creative Lab weitergeht.

Wir laden euch zum **Finale des Creative Lab #7 Kreislaufwirtschaft** am **Donnerstag, den 11. Juli 2024** in die **prächtige Kuppelhalle des Silent Green Kulturquartiers** in **Berlin** ein. Dort werden die entstandenen Prototypen und wichtigsten Erkenntnisse als Learning Journey vorgestellt. Beim Finale erhaltet ihr letztmalig im Rahmen des Creative Lab die Möglichkeit, euch mit den Projektteams auszutauschen, exklusive Einblicke in ihre Entwicklungsprozesse zu gewinnen und euch mit Akteur*innen zu vernetzen, die das Thema Kreislaufwirtschaft bewegen.

Vor dem Finale finden **ab 14 Uhr geschlossene Roundtables** mit Expert*innen zu den Themen Produktentwicklung, Geschäftsmodelle und Prozessentwicklung statt, die sich mit den unternehmerischen Perspektiven der Teams beschäftigen. Die Roundtables sind nur auf Einladung zugänglich. Sofern ihr daran teilnehmen möchtet, wendet euch bitte an Ida Larcen über larcen@kreativ-bund.de. **Ab 17 Uhr** startet dann der **öffentliche Teil**, für den ihr euch unten anmelden könnt.

Innovations- und Bildungszentrum „Wissensbasierte Kreislaufwirtschaft“

1. Informationen zum Projektkoordinator und zu den deutschen und ausländischen Projektpartnern

Projektkoordinator ist das LIFIS (<http://www.leibniz-institut.de>). Der Zweck des LIFIS ist es, zwischen der Wissenschaft im Allgemeinen, der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. (kurz Leibniz-Sozietät) im Besonderen, sowie anderen Bereichen der Gesellschaft – vorrangig der klein- und mittelständischen Wirtschaft – praxisrelevante Beziehungen zu initiieren und zu fördern. Mit Blick auf die zunehmende Komplexität gegenwärtiger und zukünftiger Problemstellungen steht dabei die interdisziplinäre bzw. fachübergreifende Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft im Mittelpunkt aller Bemühungen.

Ein Großteil der Mitglieder des LIFIS und der anderen Projektpartner war längere Zeit im Rahmen einer universitären Ausbildung und intensiver Geschäftstätigkeiten in den Zielregionen Zentralasien (z. B. Kasachstan) und der östlichen Partnerschaft (z. B. Ukraine) tätig. Die Ausführenden des Vorhabens „Innovations- und Bildungszentrum Wissensbasierte Kreislaufwirtschaft“ können den Stand der Wissenschaft und Technik in den Zielregionen sowie die entsprechenden Verwertungs-/Anwendungsmöglichkeiten gut einschätzen. Die dabei notwendigen Sprachkenntnisse in Wort und Schrift sind perfekt. Insgesamt sind damit gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchführung des Vorhabens gegeben. Ein wichtiger Projektpartner für die Integration der Zielregionen in den europäischen Forschungsraum ist das Kooperationsnetzwerk EuReffuS (www.Eureffus.de), das 30 Partner (Universitäten, Forschungseinrichtungen, Unternehmen) beinhaltet und das von der Europäischen Union für Forschungs- und Entwicklungskooperation empfohlen wurde.

Weitere Kooperationspartner aus Deutschland sind:

- Märkisches Institut für Technologie- und Innovationsförderung.
- AKATE Akademie für Technik GmbH
- dbi Akademisches Studienzentrum GmbH
- Kompetenzzentrum Kreislaufwirtschaft in Kirchheim
- Regionales Kompetenzzentrum für Recycling und Kreislaufwirtschaft in NRW

Weitere Kooperationspartner aus der Zielregion Ukraine sind:

- Nationale Technische Universität Cherson (Ukraine)
- Akademie für Bankwesen und Finanzen (Usbekistan)
- Internationale Akademie für Personalmanagement (MAUP) Kiev (Ukraine)
- Nationale Pädagogische Universität Kiev(Ukraine)
- Management Akademie für internationale Ausbildung Kiev(Ukraine)
- Internationale Universität für Business und Recht Cherson (Ukraine)

Als zusätzliche Partner sind zu nennen das Altshuller Institute (USA), die Bau-Universität Sofia (Bulgarien) und die Universität für innere Sicherheit (WSBW) Łodz (Polen)

Damit sind die personellen und organisatorischen Voraussetzungen geschaffen, neue Kooperationsbeziehungen zu Einrichtungen in der Zielregion zu etablieren und bestehende Kooperationen zu festigen sowie im Rahmen gemeinsamer Forschungs- und Innovationstätigkeit nachhaltige internationale Wissens- und Innovationsnetzwerke zu knüpfen.

2. Darstellung des Vorhabensziels

- Das Vorhaben hat als Zielrichtung, im Rahmen des Modul 9 (Maßnahmen zur Etablierung nachhaltiger gemeinsamer Partnerstrukturen) die Kreislaufwirtschaft weiterzuentwickeln und anzuwenden. In der Zukunft wird angestrebt, das Innovations- und Bildungszentrum auf weitere Wissenschaftsdisziplinen auszurichten.

Die weltweite strategische Bedeutung der Kreislaufwirtschaft schafft hervorragende Voraussetzungen für die Schaffung nachhaltiger Strukturen im Forschungsbereich bei der Kooperation mit Zentralasien und Osteuropa. Eine weitere Voraussetzung für die angestrebten stabilen kooperativen Beziehungen für die Forschung ist die Einheit von Bildung und Forschung. Es werden konkrete innovative gemeinsame Projekte realisiert und eine internationale Universität geschaffen. Diese Vorhabensziele werden durch internationale wissenschaftliche Konferenzen und Kolloquien unterstützt.

Die beteiligten ausländischen Partner des Vorhabens waren bisher auf eine wissenschaftliche Zusammenarbeit mit der russischen Föderation orientiert. Diese Partner werden jetzt ihre wissenschaftlichen und bildungsorientierten Systeme transformieren und sich stärker europäischen Strukturen anzunähern bzw. sich integrieren (unter anderem in den Europäischen Forschungsraum). Diese Integration wird dadurch gefördert, dass die ausländischen Partner in die deutschen Netzwerke des LIFIS und EuReffuS einbezogen werden.

Unter dem Begriff „Wissensbasiert“ verstehen wir das Zusammenwirken von Methoden der Künstlichen Intelligenz mit den übrigen Innovationsmethoden. Unter dem Begriff „Kreislaufwirtschaft“ verstehen ein Modell der Produktion und des Verbrauchs, bei dem bestehende Materialien und Produkte so lange wie möglich benutzt, aufgearbeitet und recycelt werden. . Das Vorhaben „Wissensbasierte Kreislaufwirtschaft“ umfasst die Lösung folgender Aufgaben:

- Schaffung und Weiterentwicklung der theoretischen Grundlagen der Sammlung und Verarbeitung von Abfall- und Reststoffen
- Umsetzung der theoretischen Grundlagen innerhalb des Lebenszyklus (Prozessanalyse, Entwurf, Realisierung, Betrieb, Wiederverwendung von Reststoffen) technologischer Anlagen im Rahmen eines Netzwerkes
- Umsetzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse in konkrete praktische Lösungen
- Erarbeitung und Umsetzung einer Konzeption für die Aus- und Weiterbildung (Einheit von Forschung, Bildung und Praxis) auf dem Gebiet der wissensbasierten Kreislaufwirtschaft.

Die Kreislaufwirtschaft leitet einen wesentlichen Beitrag zum Kampf gegen den Klimawandel bzw. zur Anpassung an den Klimawandel. Die konkreten Projekte in Deutschland und in Kasachstan dieses Vorhabens dienen zum Beispiel der Reduzierung des Ausstoßes an Kohlendioxid und Methan in die Atmosphäre und der verstärkten Nutzung von Wind- und Solarenergie. In diesem Zusammenhang geht es vor allem um ein hohes Niveau der theoretischen und praktischen Ingenieur-tätigkeit.

Ein Grundgedanke des Vorhabens ist die die Interdisziplinarität Durch die Anwendung vieler Methoden kann das Optimierungspotential des Vorhabens im Unterschied zur Anwendung nur einer Methode voll ausgeschöpft werden. Dabei

geht es um die Anwendung von zwei Aspekten der Interdisziplinarität: Kooperation der verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen und Kooperation der verschiedenen Innovationsmethoden. Eine zentrale Rolle bei der Kooperation der Wissenschaftsdisziplinen spielt das Bauingenieurwesen (Bild 1).

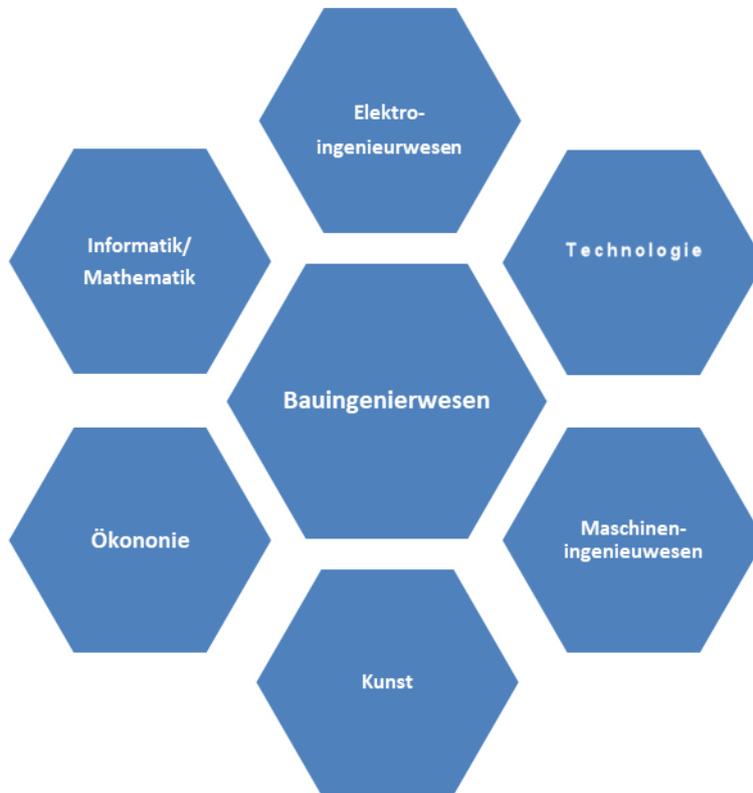


Bild 1: Stellung des Bau Ingenieurwesens innerhalb der technischen Wissenschaften

Die Methoden der Künstlichen Intelligenz(KI) werden für die koordinierte Anwendung vieler Innovationsmethoden eingesetzt (Bild 2).



Bild 2: Koordinierung von Innovationsmethoden durch Künstliche Intelligenz

Es wird eine neue Forschungsrichtung, einschließlich konkreter Anwendungen in der Kreislaufwirtschaft, im europäischen Raum mit einer Vielzahl von Hochschulen und meist mittelständigen Unternehmen in Deutschland sowie in Zentralasien und in den östlichen Partnerschaften, die bisher vor allem mit der russischen Föderation zusammengearbeitet haben, etabliert. Die Kreislaufwirtschaft ist in besonderer Masse für eine Anwendung der Interdisziplinarität geeignet und fordert auch diese Anwendung. Um eine einheitliche Führung und Ausrichtung des Vorhabens und die Sicherung einer nachhaltigen Partnerschaft zu gewährleisten wird eine Monographie mit Lehrbuchcharakter unter dem Titel „Interdisziplinarität – Theorie und Anwendungen“ vorbereitet und veröffentlicht.

Bei der Nutzung von Methoden der **Künstlichen Intelligenz** gehen wir davon aus, dass in erster Linie Expertensysteme zum Einsatz kommen, deren Grundstruktur auf Bild 3 dargestellt ist. Der Entwickler und der Benutzer des Expertensystems sind oft ein und dieselbe Person.

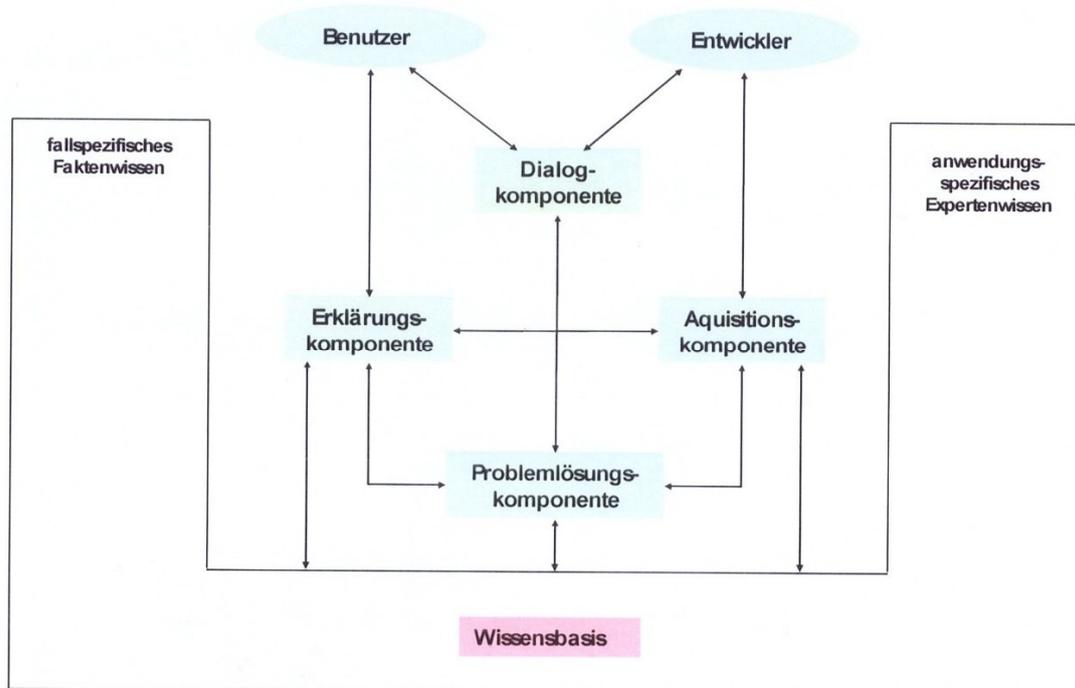


Bild. 3: Grundstruktur von Expertensystemen zur Lösung von Projektierungs- und Steuerungsaufgaben

In Tabelle 1 werden die Funktionen der Komponenten des auf Bild g 3 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

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 statische und dynamische Modelle, die in der Regel partielle Differentialgleichungen darstellen, für die Beschreibung von Übertragungsverhalten und Zustandsverhalten)

Die Methodik der mathematischen Modellierung als eine der theoretischen Grundlagen der Allgemeinen Technologie basiert auf Bilanzgleichungen. Die Bilder 4 und 5 zeigen die bei der mathematischen Modellierung verwendeten Beziehungen.

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 4 : Grundgleichung der Materialbilanz

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 5: Grundgleichung der Energiebilanz

Auf eine Impulsbilanz wird oft verzichtet. Die mathematischen Modelle sind in der Regel Systeme gewöhnlicher und partieller Differentialgleichungen.

Die Umsetzung der theoretischen Grundlagen im Rahmen des Lebenszyklus einer technologischen Anlage erfolgt nach dem Prinzip **Open Innovation** (Bild 4).

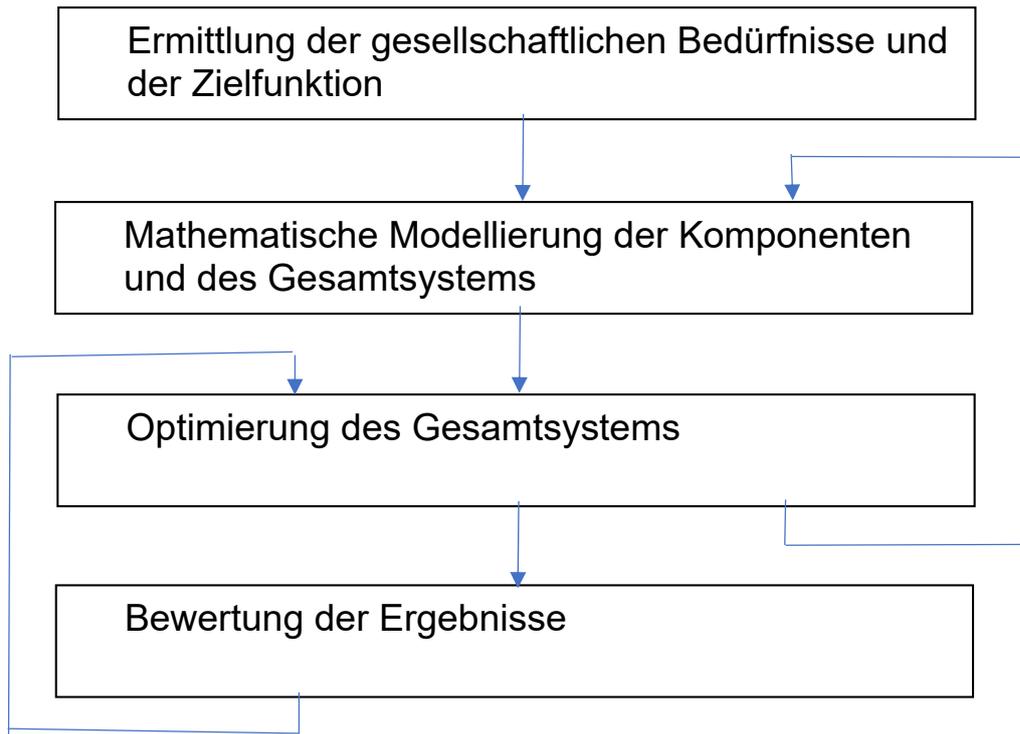


Bild 4: Algorithmus der Umsetzung

Bei der Planung und Durchführung der **Aus- und Weiterbildung** gehen wir unter Nutzung unserer jahrelangen Erfahrungen von folgenden Grundprinzipien aus:

- Die Ausbildung erfolgt in Einheit von Lehre, Forschung und Praxis. Die Studenten werden in Forschungsprojekte der Industrie integriert, die mit dem Studieninhalt korrespondieren. Diese Forschungsprojekte sind inhaltlich und organisatorisch zum großen Teil Bestandteil der bereits genannten Kooperationsnetzwerke
- Während des Studiums werden Praktika in führenden Unternehmen in Europa durchgeführt
- Studienvoraussetzungen sind Grundkenntnisse in Mathematik, Physik, Chemie, Ökonomie
- Die Ausbildung umfasst Vorlesungen und Seminare.

Für die Realisierung dieser Grundprinzipien wird eine internationale Universität für Kreislaufwirtschaft vorbereitet und gegründet unter Nutzung der Erfahrungen in Deutschland und in den Ländern der Kooperationspartner. Der Sinn dieser Universität liegt insbesondere darin, eine Generation junger Talente aus den unterschiedlichsten Wissensgebieten darauf vorzubereiten, mit globalen, gesellschaftlich eingebettet, visionären Gedanken und gebietsübergreifend die Welt von morgen sozial zu gestalten und ihr maßgebliche Impulse für neues

Wachstum und allgemeinen Sinn und Wohlstand zu geben. Das erfordert zum einen ein allgemeines Grundwissen auf einem oder mehreren Fachgebieten, es erfordert zum anderen jedoch im Besonderen, die Zeichen der Zeit in Bezug auf die Zunahme der Weltbevölkerung, eine sich verändernde Wirtschafts- und Staatenstruktur, das Zusammenwachsen und -wirken ganzer Völker und Staaten, aber auch die Grenzen konventioneller Systeme zu erkennen und sie erforderlichenfalls zu ändern. Dabei ist soziales Denken und Handeln vereint.

Die Lehrveranstaltungen orientieren einmal auf die Vermittlung fachlichen Wissens auf dem Gebieten der Grundlagenwissenschaften (Mathematik, Physik, Chemie, Biologie u.a.), der Ingenieurwissenschaften, der Informatik und der Ökonomie.

Darüber hinaus werden folgende Lehrveranstaltungen angeboten:

- Innovationsmanagements
- Strategisches Management
- Informations- und Ideenmanagement
- Personalmanagement und Psychologie

3. Angaben zum Stand der Wissenschaft und Technik beim Förderinteressenten

Der Stand von Wissenschaft und Technik in Kasachstan und der Ukraine wird bestimmt durch das hohe theoretische Niveau der akademischen Ausbildung und Forschung im russischen Sprachraum bis zum Ende der 1990er Jahre. Die wissensbasierte Kreislaufwirtschaft umfasst ein sehr breites Spektrum von Wissenschaftsdisziplinen. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die Ergebnisse auf den Gebieten der Künstlichen Intelligenz, die bereits Ende der 1960er Jahre unter der Bezeichnung „Verhaltensmodellierung (моделирование поведения)“ in die wissenschaftliche Literatur eingegangen sind, sowie die Ergebnisse der Allgemeinen Technologie einschließlich der mathematischen Modellierung und der Kybernetik. Von besonderer Bedeutung sind auch die Ergebnisse von Wissenschaft und Technik auf den Gebieten der Verfahrenstechnik, der Automatisierungstechnik, der Informatik sowie der Materialwissenschaften. Die Erfolge der Weltraumtechnik sind überzeugender Beweis dieser Einschätzung. Der Projektkoordinator und die anderen deutschen Projektpartner haben umfassende Erfahrungen bei

- der Vorbereitung und Realisierung von innovativen technologischen Anlagen der Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik einschließlich der Kreislaufwirtschaft
- der Realisierung von Forschungs- und Kundenprojekten sowie der Führung und Mitarbeit (auch von Studenten und Aspiranten) an Projekten in Industrie und Forschung
- der methodischen und technisch-organisatorischen Umsetzung und Mitwirkung von Großprojekten.
- Zusammenwirkens in Netzwerken mit Partnern aus Wissenschaft, Industrie und Forschung
- Aufbau und inhaltlichen Gestaltung und Betreiben von Einrichtungen in der Bildungs- und Ausbildungsbranche auch im Zusammenwirken mit ausländischen Partnern und Hochschuleinrichtungen

4.Einschätzung der Verwertungs-/Anwendungsmöglichkeiten,

Die Anwendung erfolgt in Kunden und FuE-Projektem in Deutschland und im Ausland auf dem Gebiet „Bauingenieurwesen“ und „Verfahreningenieurwesen“ in der Kreislaufwirtschaft. Ausgangspunkt dieser Anwendungen ist die Tatsache, dass bereits realisierte innovative technologische Anlagen vorliegen, die unter Verwendung der Ergebnisse des vorliegenden Vorhabens auf den neuen Anlagen angepasst werden und deren Innovationsgehalt grundsätzlich erweitert wird.

Auf dem Gebiet des Bauingenieurwesens besteht eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten innerhalb des kreislaforientierten Bauens einschließlich der Herstellung CO₂-neutraler Baustoffe. Die Auswahl der möglichen Kooperationsprojekte erfolgt in n einer Konzeptionsphase. Das Sammeln und die Verarbeitung der Stofffraktionen Kunststoffe, Holz- und Biomasse, sowie Glas und Metall spielen t dabei eine wichtige Rolle. Bisher sind folgende komplexe innovative Projekte vorbereitet:

- Gewinnung von Recycling-Baustoffen aus dem Rückbau von Gebäuden und anderen technischen Bauwerken mit den zusätzlichen Innovationen mit den zusätzlichen Innovationen: Anwendung der Polyoptimierung mit Nutzung der Künstlichen Intelligenz zur Bestimmung der Bewertungskoeffizienten der Teilzielfunktionen
- kreislaforientiertes Bauen unter Verwendung von mineralischen Abfällen mit den zusätzlichen Innovationen: Koordinierung von Methoden der Allgemeinen Technologie, der Kybernetik und der Spieltheorie

Auf dem Gebiet des Verfahreningenieurwesens erfolgt die Anwendung der Ergebnisse des vorliegenden Vorhabens in folgenden zukünftigen Projekten mit folgenden erweiterten Innovationen:

- Erzeugung von Agrosubstraten unter Verwendung kommunalen Klärschlammes mit den zusätzlichen Innovationen: Die angewendete Produktionstechnologie realisiert geschlossene Rohstoffnutzungskreisläufe im Einklang mit den neuen EU-Richtlinien mit den zusätzlichen Innovationen: Anwendung mathematischer Modelle als Bestandteil der Allgemeinen Technologie zur Projektierung und Steuerung der Anlage.
- - Zweistufiges Verfahren zur kampagneartigen Methanisierung biogener Abfall- und Reststoffe mit den zusätzlichen Innovationen: Ein neues modellbasiertes Systemkonzept einer transportgebundenen Technologie für die Auslegung und Steuerung von territorial verteilten autonomen und mobilen Fermenter-Anlagen mit verteilten und konzentrierten Parametern zur Erzeugung und Speicherung von Biogas aus territorial verteilten biogenen Abfall- und Reststoffen wird eingesetzt. Um die Vorteile der Mobilität und der Autonomie der Fermenter-Anlagen voll nutzen zu können erfolgt die Umsetzung der transportgebundenen Technologie unter Verwendung von Hochleistungsmethanreaktoren mit einer robusten, leistungsfähigen Population methanogener Archaeen, die tolerant gegenüber Standzeiten ist (d. h. Zeiträume ohne Substratzufuhr). Die Optimierung der Hochleistungsreaktoren erfolgt erstens durch die Nutzung von Aufwuchsträgern und zweitens durch die Entwicklung und Nutzung eines neuartigen Verfahrens für die Steuerung von Systemen mit verteilten Parametern.

- Nutzung von organischen Abfall- und Reststoffen (Kunststoffe, landwirtschaftliche Reststoffe u. a.) zur Herstellung von synthetischen Kohlenwasserstoffen (z. B. Diesel) mit den zusätzlichen Innovationen: Es werden Methoden der Mechano- bzw. Tribochemie genutzt (Einsatz einer Friktionsturbine). Es erfolgt eine Polymerisation der biogenen Abfälle und eine Depolymerisation der Kunststoffabfälle.

- Mobile Vergasung (Methanisierung) von Holzabfällen in Wäldern mit den zusätzlichen Innovationen: Mobilität der Ablage und Anwendung der Künstlichen Intelligenz.

- Virtuelle Energie-Handelsplattform (Autonome Energieversorgung) für energetische Kreislaufprozesse mit den zusätzlichen Innovationen: Die elektrische Energie wird selbst erzeugt, verbraucht und gehandelt

- Erzeugung von elektrischer Energie aus Abwärme und Restwärme mit den zusätzlichen Innovationen: Reduzierung der Wärmeverluste durch Nutzung thermodynamischer Zyklen

Im Rahmen des Vorhabens werden wichtige Beiträge zur Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms geleistet. Es werden die Indikatoren hinsichtlich ihrer Qualität und Aussagefähigkeit überprüft und weiterentwickelt. Des Weiteren werden Modelle auf Makroebene entwickelt, die es erlauben, zentrale Indikatoren zu ergänzen, die die ökonomischen, sozialen und ökologischen Wirkungen der Ressourcenpolitik transparenter machen. Damit können Synergien für andere Umweltbereiche (zum Beispiel Klima, Erhalt der Biodiversität) und für die Gesamtwirtschaft (zum Beispiel Arbeitsplätze, Wettbewerbsfähigkeit, Exporte von Effizienztechnologieanbietern) aufgezeigt werden. Auch auf Mesoebene sollen Ansätze zur Bewertung der Ressourceneffizienz entwickelt werden. Für den Bausektor wird ein solcher Ansatz momentan erarbeitet. Der Ansatz basiert auf einer umfassenden Ressourcendefinition. Beabsichtigt ist, die spezifischen Belange des Bauwesens in die Betrachtung zu integrieren. Die Beurteilung der Ressourceneffizienz soll dabei im Sinne einer lebenszyklusorientierten Denkweise die gesamte Wertschöpfungskette des Bauwesens einbeziehen... Was bisher noch kaum betrachtet wird, ist die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen im Ausland, die durch deutsche Güterimporte verursacht wird. Mit der Zunahme der Importe wird dieser Aspekt der deutschen Ressourceninanspruchnahme immer wichtiger. Daher soll zukünftig auch die mit Produktion und Transport der Importgüter einhergehende Inanspruchnahme von Boden, Wasser, Fläche, Energie und Rohstoffen sowie die Wirkung auf Luftqualität, Klima und Biodiversität ermittelt und einzeln ausgewiesen werden. So können die Größenordnungen der „exportierten“ Ressourceninanspruchnahmen dargestellt und Verlagerungseffekte ins Ausland erkannt werden

Als Beitrag zur Umsetzung des Vorhabens in konkrete Anwendungen wird die Errichtung eines euroregionalen Kompetenzzentrums „Kreislaufwirtschaft“ mit den Geschäftsfeldern Consulting/Beratung, Vermittlung, Bildung/Qualifizierung und Projektmanagement vorgeschlagen. Der Träger ist die Leibniz-Sozietät. Der Betreiber ist der Projektkoordinator LIFIS. Der Aufbau und der Betrieb dieses Kompetenzzentrum als Basis für die Schaffung nachhaltiger Strukturen im Forschungsbereich bei der Kooperation mit Zentralasien und Osteuropa erfolgt in folgenden Phasen:

- Definitionsphase (Dauer ½ Jahr)

- Entwicklungsphase (Dauer 1 Jahr)
- Aufbauphase (Dauer ½ Jahr)
- Inbetriebnahmephase (Dauer 1 Jahr)
- Betriebsphase (Dauer 3 Jahre, Ende offen)

5. Geschätzte Ausgaben/Kosten (einschließlich Beteiligung Dritter und voraussichtlicher Zuwendungsbedarf sowie gegebenenfalls Projektpauschale).

Die vorläufige Kalkulation geht von einer " Projektdauer 2 Jahre aus

Personalkosten (1 Leiter, 3 Mitarbeiter) = 312.000.€

Miete= 26400€

Technik =48.000€

Kopierer=14400€

Sachkosten=. 24000€

Reisekosten=. 18000€

Rechtsberatung = 24000€

Kooperationspartner= 466.800€

Aufwand für 2 Jahre= 1.732.800€

Staatliche Dokumente zur Kreislaufwirtschaft

Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz

**Gesetz
über die Kreislaufwirtschaft und den Bodenschutz
im Freistaat Sachsen
(Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz -
SächsKrWBodSchG)**

erlassen als Artikel 1 des Gesetzes zur Änderung des Sächsischen Abfall- und Bodenschutzrechtes

Vom 22. Februar 2019

Inhaltsübersicht

Teil 1
Kreislaufwirtschaft

- § 1 Ende der Abfalleigenschaft (zu § 5 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 2 Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (zu § 17 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 3 Abfallverbände
- § 4 Anzeigeverfahren für Sammlungen (zu § 18 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 5 Illegal abgelagerte Abfälle (zu § 20 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 6 Abfallwirtschaftskonzepte und Abfallbilanzen (zu § 21 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 7 Abfallwirtschaftsplan und Abfallvermeidungsprogramm (zu den §§ 30 bis 33 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 8 Standortvorsorge (zu § 30 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 9 Abfallgebühren (zu § 44 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 10 Pflichten der öffentlichen Hand (zu § 45 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 11 Abfallberatung (zu § 46 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

Teil 2
Bodenschutz

- § 12 Freistellung (zu § 4 des Bundes-Bodenschutzgesetzes und Artikel 1 § 4 des Umweltrahmengesetzes)
- § 13 Betretungsrechte und Mitteilungspflichten (zu den §§ 9 und 10 des Bundes-Bodenschutzgesetzes)
- § 14 Bodenplanungsgebiete (zu § 21 des Bundes-Bodenschutzgesetzes)

Teil 3
Sonstige Vorschriften

- § 15 Geowissenschaftliche Landesaufnahme
- § 16 Überwachung und Gefahrenabwehr (zu den §§ 47, 62 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und den §§ 4, 15 des Bundes-Bodenschutzgesetzes)
- § 17 Kosten (zu § 24 des Bundes-Bodenschutzgesetzes und den §§ 47, 62 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)
- § 18 Datenverarbeitung
- § 19 Abfall- und Bodenschutzbehörden
- § 20 Zuständigkeit, Aufsicht und Befugnisse
- § 21 Rechtsverordnungen
- § 22 Ordnungswidrigkeiten

**Teil 1
Kreislaufwirtschaft**

**§ 1
Ende der Abfalleigenschaft
(zu § 5 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)**

¹Das Durchlaufen eines Verwertungsverfahrens nach § 5 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes vom

24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 9 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, ist für gefährliche Abfälle nachvollziehbar zu dokumentieren. ²Soweit Abfall einer behördlichen Überwachung unterliegt und entweder von einem in einem Entsorgungsnachweis vorgesehenen Entsorgungsweg oder Verwertungsverfahren abgewichen werden soll oder Abfall Gegenstand sonstiger abfallbehördlicher Einzelentscheidungen ist, kann ein Verwertungsverfahren, das nur in der bloßen Sichtung eines Abfalls besteht, nicht ohne Beteiligung der zuständigen Abfallbehörde abgeschlossen werden.

§ 2

Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (zu § 17 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

- (1) Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger im Sinne von § 17 Absatz 1 Satz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sind die Landkreise und Kreisfreien Städte sowie die nach § 3 Absatz 1 gebildeten Abfallverbände jeweils im Rahmen ihrer Aufgaben.
- (2) ¹Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger regeln durch Satzung, wie Abfälle bereitzustellen sind. ²In der Satzung ist festzulegen, welche verwertbaren Abfälle den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern getrennt von anderen Abfällen zu überlassen sind. ³Dies gilt auch für Abfälle, die wegen ihrer Gefährlichkeit oder ihrer sonstigen Eigenschaften einer getrennten Erfassung bedürfen.
- (3) ¹Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger können durch Vereinbarung Gemeinden auf deren Antrag die Einsammlung und Beförderung von Abfällen sowie die Kompostierung von Garten- und Parkabfällen übertragen. ²Mit Zustimmung der oberen Abfallbehörde können auch andere Aufgaben durch Vereinbarung übertragen werden.

§ 3

Abfallverbände

(1) ¹Landkreise und Kreisfreie Städte als öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger können sich zur Erfüllung ihrer Aufgaben mit Zustimmung der obersten Abfallbehörde zu Zweckverbänden im Sinne des **Sächsischen Gesetzes über kommunale Zusammenarbeit** in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. März 2014 (SächsGVBl. S. 196), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 13. Dezember 2017 (SächsGVBl. S. 626) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, als Körperschaften des öffentlichen Rechts zusammenschließen (Abfallverbände). ²Sie sind hierzu verpflichtet, wenn die oberste Abfallbehörde ein dringendes öffentliches Bedürfnis hierfür feststellt. ³Ein dringendes öffentliches Bedürfnis besteht insbesondere dann, wenn

1. dadurch die Erfüllung der Entsorgungspflicht erst ermöglicht wird,
2. dies zur Sicherstellung der Entsorgung für einzelne oder mehrere Körperschaften erforderlich ist oder
3. insgesamt die Entsorgung umweltschonender oder wesentlich wirtschaftlicher gestaltet werden kann.

⁴Die Genehmigung der oberen Rechtsaufsichtsbehörde zur Auflösung eines Abfallverbandes, zum Ausschluss und zum Ausscheiden einzelner Verbandsmitglieder ergeht nach Zustimmung der obersten Abfallbehörde. ⁵Die oberste Abfallbehörde darf die Zustimmung nur verweigern, wenn der Genehmigung ein dringendes öffentliches Bedürfnis entgegensteht.

(2) ¹Die Abfallverbände haben die Aufgabe, die Abfallentsorgungsanlagen einschließlich der Anlagen zum Umschlagen von Abfällen zu errichten und zu betreiben. ²Unbeschadet von Satz 1 können die Landkreise und Kreisfreien Städte als öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger den Abfallverbänden durch Vereinbarung weitere abfallwirtschaftliche Aufgaben übertragen.

(3) Die Abfallverbände können mit Zustimmung aller Verbandsmitglieder und der oberen Abfallbehörde Aufgaben nach Absatz 2 Satz 1 durch Vereinbarung auf Landkreise und Gemeinden übertragen.

(4) ¹Abfallverbandsangehörige Landkreise und Kreisfreie Städte haben die eingesammelten Abfälle dem Abfallverband zu überlassen, soweit nicht nach Absatz 3 eine Aufgabenübertragung erfolgt ist. ²Der Abfallverband bestimmt den Ort der Überlassung.

§ 4

Anzeigeverfahren für Sammlungen (zu § 18 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

(1) Für die Durchführung von Anzeigeverfahren nach § 18 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes werden für gewerbliche Sammlungen Verwaltungskosten auch dann erhoben, wenn keine Entscheidungen nach § 18 Absatz 5 und 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes getroffen werden.

(2) ¹Der Träger der gewerblichen oder gemeinnützigen Sammlung berichtet der zuständigen Behörde bis zum 31. März des Folgejahres jeweils für das vorhergehende Jahr über die Art und Menge der eingesammelten Abfälle je Landkreis und Kreisfreier Stadt. ²Die zuständige Behörde informiert die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger über die eingesammelten Mengen je Abfallart im Entsorgungsgebiet.

§ 5

Illegal abgelagerte Abfälle (zu § 20 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

(1) ¹Die Pflichten nach § 20 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes gelten auch für diejenigen Abfälle, die auf tatsächlich und rechtlich frei zugänglichen Flächen illegal abgelagert wurden und an denen kein Besitz im Sinne des § 3 Absatz 9 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes besteht, soweit Maßnahmen gegen den Erzeuger nicht möglich sind und nach sonstigem Recht auch kein Dritter verantwortlich ist. ²In diesen Fällen können die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger von dem Verursacher Ersatz der entstandenen Kosten, einschließlich derjenigen für die weitere Entsorgung, verlangen.

(2) Gesetzliche oder auf Grund eines Gesetzes oder einer anderen Rechtsvorschrift begründete Unterhaltungs-, Verkehrssicherungs- und Reinigungspflichten bleiben unberührt.

§ 6

Abfallwirtschaftskonzepte und Abfallbilanzen (zu § 21 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

(1) ¹Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger erstellen als Grundlage für die abfallwirtschaftliche Tätigkeit für ihren Bereich ein Abfallwirtschaftskonzept und schreiben es bei wesentlichen Änderungen oder spätestens alle fünf Jahre fort. ²Sie legen das Abfallwirtschaftskonzept der oberen Abfallbehörde vor. ³Darin sind von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern im Rahmen ihrer Aufgaben insbesondere darzustellen:

1. Ziele der Abfallvermeidung und Abfallverwertung, insbesondere der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings sowie der Abfallbeseitigung,
2. die bestehenden und geplanten Abfallvermeidungsmaßnahmen des öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers, einschließlich einer Bewertung der Zweckmäßigkeit der Maßnahmen,
3. die bestehende Situation der Abfallbewirtschaftung, insbesondere
 - a) Art, Menge und Verbleib der den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern überlassenen Abfälle,
 - b) Angebote zur flächendeckenden Erfassung von Bioabfällen,
 - c) Angebote zur Getrenntsammlung von Papier-, Metall-, Kunststoff- und Glasabfällen,
 - d) Darstellung der Abfallsammelsysteme sowie der Aufteilung der Verantwortlichkeiten zwischen öffentlichen und privaten Akteuren durch den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sowie
 - e) Angaben zur Zusammenarbeit mit anderen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern,
4. die erforderlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Abfallverwertung, insbesondere erforderliche Maßnahmen zur Umsetzung von § 11 Absatz 1 und § 14 Absatz 1 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, und der Abfallbeseitigung einschließlich der Bewertung ihrer Eignung zur Zielerreichung,
5. eine Abschätzung der künftig anfallenden und dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger zu überlassenden Abfallmengen je Abfallart für einen Zeitraum von mindestens zehn Jahren,
6. Strategien für Abfälle, die besondere Bewirtschaftungsprobleme aufwerfen,
7. die durch den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger nach § 20 Absatz 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ausgeschlossenen Abfälle,
8. Strategien zum Umgang mit illegal abgelagerten Abfällen,
9. als geeignet identifizierte Vorhalteflächen für situationsbedingt anfallende Abfälle (zum Beispiel bei Hochwasser und Großschadensereignissen),
10. Ausweisung von Flächen, die für Deponien geeignet sind entsprechend § 30 Absatz 3 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.

⁴Sofern ein Abfallverband gebildet wurde, stimmen die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger ihre

Abfallwirtschaftskonzepte miteinander ab.

(2) Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger erstellen jährlich zum 1. April jeweils für das vorhergehende Jahr Abfallbilanzen über Art, Menge, Herkunft und Verbleib der Abfälle sowie über die Ergebnisse der eigenen Abfallvermeidungsmaßnahmen.

(3) ¹Abfallwirtschaftskonzept und Abfallbilanz sind in geeigneter Weise der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. ²Jeder Bürger hat das Recht, in das Abfallwirtschaftskonzept und in die Abfallbilanz Einsicht zu nehmen.

§ 7

Abfallwirtschaftsplan und Abfallvermeidungsprogramm (zu den §§ 30 bis 33 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

(1) ¹Der Abfallwirtschaftsplan des Freistaates Sachsen nach § 30 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird von der obersten Abfallbehörde aufgestellt und von der Staatsregierung beschlossen. ²Die Staatsministerien, deren Aufgaben berührt werden, sind zu beteiligen.

(2) Im Aufstellungsverfahren sind insbesondere zu beteiligen:

1. die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger,
2. die durch für verbindlich erklärte Flächenausweisungen nach § 30 Absatz 1 Satz 3 Nummer 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes betroffenen Gemeinden,
3. die kommunalen Landesverbände,
4. die Regionalen Planungsverbände,
5. die im Sinne von § 32 des **Sächsischen Naturschutzgesetzes** vom 6. Juni 2013 (SächsGVBl. S. 451), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 14. Dezember 2018 (SächsGVBl. S. 782) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, anerkannten Naturschutzvereinigungen.

(3) Der Abfallwirtschaftsplan kann in mehrere räumliche oder sachliche Teile untergliedert werden, soweit gewährleistet ist, dass sich die Teile in den gesamten Plan einfügen.

(4) ¹Ausweisungen nach § 30 Absatz 4 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes können durch Rechtsverordnung der Staatsregierung für verbindlich erklärt werden. ²Der Entwurf der Rechtsverordnung ist dem Landtag frühzeitig zuzuleiten, um ihm Gelegenheit zur Stellungnahme zu geben. ³Die oberste Abfallbehörde kann nach Anhörung der betroffenen Entsorgungsträger und Gemeinden sowie der Verbände im Sinne von Absatz 2 im Einzelfall Abweichungen von den verbindlichen Festlegungen zulassen, wenn dies wegen Änderung der ihnen zugrunde liegenden Sachlage oder Erkenntnisse erforderlich ist oder die Abweichung den Zielen der Abfallwirtschaft insgesamt besser entspricht.

(5) Der Abfallwirtschaftsplan enthält als selbständigen Teil das Abfallvermeidungsprogramm des Freistaates Sachsen (§ 33 Absatz 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes) oder den Beitrag des Freistaates Sachsen zum Abfallvermeidungsprogramm des Bundes (§ 33 Absatz 1 Satz 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes).

§ 8

Standortvorsorge (zu § 30 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

(1) ¹Sobald ein für verbindlich erklärter Abfallwirtschaftsplan vorliegt, kann die zuständige Behörde zur Sicherung der Planung neuer oder der geplanten Erweiterung bestehender öffentlich zugänglicher Abfallbeseitigungsanlagen auf Antrag des Trägers des Vorhabens Planungsgebiete festlegen.

²Vorgesehene Planungsgebiete sind vor ihrer Festlegung in den Gemeinden, deren Gebiet betroffen ist, durch die zuständige Behörde auf ortsübliche Weise bekannt zu machen. ³Anregungen und Bedenken können innerhalb eines Monats nach Bekanntmachung vorgebracht werden. ⁴Die zuständige Behörde prüft vor Festlegung der Planungsgebiete die fristgemäß eingegangenen Anregungen und Bedenken. ⁵Festgelegte Planungsgebiete sind in den Gemeinden, deren Gebiet betroffen wird, auf ortsübliche Weise bekannt zu machen. ⁶Mit der Bekanntmachung tritt die Festlegung in Kraft.

(2) ¹Auf den von der geplanten öffentlich zugänglichen Abfallbeseitigungsanlage betroffenen Flächen innerhalb des Planungsgebietes dürfen bis zum Abschluss des Verfahrens wertsteigernde oder die Errichtung der geplanten Abfallbeseitigungsanlage erheblich erschwerende Veränderungen nicht vorgenommen werden (Veränderungssperre). ²Dies gilt ab Festlegung des Planungsgebietes bis zur Aufhebung der Veränderungssperre durch die zuständige Behörde.

(3) Die zuständige Behörde kann im Einzelfall Ausnahmen von der Veränderungssperre nach Absatz 2 zulassen, wenn keine überwiegenden öffentlichen Belange entgegenstehen und die Einhaltung der Veränderungssperre zu einer offenbar nicht beabsichtigten Härte führen würde.

(4) ¹Dauert die Veränderungssperre länger als vier Jahre, können die Eigentümer und die Nutzungsberechtigten für die dadurch entstandenen Vermögensnachteile vom Träger des Vorhabens eine angemessene Entschädigung in Geld verlangen. ²Die Eigentümer können ferner die Übernahme der von dem Plan betroffenen Flächen vom Träger des Vorhabens verlangen, wenn es ihnen mit Rücksicht auf die Veränderungssperre wirtschaftlich nicht zuzumuten ist, die Grundstücksflächen in der bisherigen oder in einer anderen zulässigen Art zu nutzen. ³Kommt eine Einigung über die Übernahme nicht zustande, können die Eigentümer das Enteignungsverfahren beantragen.

§ 9

Abfallgebühren

(zu § 44 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

(1) ¹Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger haben für die Benutzung ihrer Entsorgungseinrichtungen Gebühren zu erheben, soweit nicht ein privatrechtliches Entgelt gefordert wird. ²Für die Gebührenerhebung gelten die Vorschriften des [Sächsischen Kommunalabgabengesetzes](#) in der Fassung der Bekanntmachung vom 9. März 2018 (SächsGVBl. S. 116) in der jeweils geltenden Fassung, soweit dieses Gesetz nichts anderes bestimmt. ³§ 11 Absatz 2 Nummer 3 des [Sächsischen Kommunalabgabengesetzes](#) findet auch auf die Kosten der Entsorgung nach § 20 Absatz 3 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und nach § 5 Absatz 1 Anwendung, soweit die Kostenlast bei dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger liegt.

(2) ¹Zur Bemessung der Abfallgebühren haben die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger eine Gebührenkalkulation zu erstellen. ²Entsprechendes gilt für die Bemessung privatrechtlicher Entgelte. ³Der Satzungsanzeige gemäß § 4 Absatz 3 Satz 3 der [Sächsischen Gemeindeordnung](#) in der Fassung der Bekanntmachung vom 9. März 2018 (SächsGVBl. S. 62) in der jeweils geltenden Fassung, und gemäß § 3 Absatz 4 Satz 3 der [Sächsischen Landkreisordnung](#) in der Fassung der Bekanntmachung vom 9. März 2018 (SächsGVBl. S. 99) in der jeweils geltenden Fassung, sind die Satzung und die ihr zugrunde liegende Gebührenkalkulation beizufügen. ⁴Die Entgeltkalkulation ist der zuständigen Aufsichtsbehörde vorzulegen.

(3) ¹Durch die Gestaltung der Gebühren und sonstiger Entgelte sind effektive Anreize zur Vermeidung, Verwertung und umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen zu schaffen. ²Satz 1 findet auf fixe Vorhaltekosten im Sinne von § 14 Absatz 1 Satz 3 des [Sächsischen Kommunalabgabengesetzes](#) keine Anwendung.

(4) ¹Die Landkreise, Kreisfreien Städte und Gemeinden übermitteln den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern die für die Heranziehung des Gebührenschuldners erforderlichen Daten. ²§ 38 der [Sächsischen Meldeverordnung](#) vom 9. Oktober 2015 (SächsGVBl. S. 515) bleibt unberührt.

§ 10

Pflichten der öffentlichen Hand

(zu § 45 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

¹Der Freistaat Sachsen, die Landkreise, Kreisfreien Städte und Gemeinden sowie sonstige juristische Personen des öffentlichen Rechts haben vorbildhaft zur Erreichung der Ziele der Kreislaufwirtschaft beizutragen. ²Diese Ziele sind insbesondere bei Planungen und Baumaßnahmen sowie im Beschaffungswesen zu beachten. ³Dazu sind finanzielle Mehrbelastungen und Minderungen unwesentlicher Gebrauchseigenschaften in angemessenem Umfang hinzunehmen. ⁴Ein Ausschluss von Recyclingmaterial oder -produkten kommt nur ausnahmsweise in Betracht und ist nachvollziehbar zu begründen. ⁵Die in Satz 1 genannten juristischen Personen verpflichten Dritte vertraglich zu einer entsprechenden Handhabung, wenn sie Einrichtungen oder Grundstücke zur Verfügung stellen. ⁶Sie haben auf die juristischen Personen des Privatrechts einzuwirken, an denen eine Beteiligung besteht, damit diese im Sinne von Satz 1 verfahren. ⁷Im Übrigen gilt § 45 Absatz 1 Satz 2 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes für die Behörden des Freistaates Sachsen, die Landkreise, Kreisfreien Städte und Gemeinden sowie sonstige juristische Personen des öffentlichen Rechts entsprechend.

§ 11
Abfallberatung
(zu § 46 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

Zur Abfallberatung nach § 46 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes bestellen die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger geeignete Fachkräfte.

Teil 2
Bodenschutz

§ 12
Freistellung
(zu § 4 des Bundes-Bodenschutzgesetzes und Artikel 1 § 4 des Umweltrahmengesetzes)

¹Das Erfordernis des Einvernehmens nach Artikel 1 § 4 Absatz 3 Satz 1 des Umweltrahmengesetzes vom 29. Juni 1990 (GBl. DDR 1990 I S. 649), das durch Artikel 12 des Gesetzes vom 22. März 1991 (BGBl. I S. 766, 1928) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, gilt entsprechend auch bei wesentlichen Entscheidungen im Vollzug der Altlastenfreistellung nach Artikel 1 § 4 Absatz 3 des Umweltrahmengesetzes. ²Näheres wird durch Verwaltungsvorschrift der obersten Abfall- und Bodenschutzbehörde geregelt.

§ 13
Betretungsrechte und Mitteilungspflichten
(zu den §§ 9 und 10 des Bundes-Bodenschutzgesetzes)

(1) ¹Die Verpflichteten nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 3 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, und nach diesem Gesetz sowie Eigentümer und sonstige Nutzungsberechtigte anderer Grundstücke, insbesondere im möglichen Einwirkungsbereich einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast, haben Bediensteten und Beauftragten der zuständigen Behörde zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben das Betreten von Grundstücken zu gestatten und die Durchführung von Untersuchungen und sonstigen erforderlichen Maßnahmen zu dulden. ²Für diese Pflichten gilt § 47 Absatz 3 bis 5 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes entsprechend. ³Das Grundrecht auf Unverletzlichkeit der Wohnung (Artikel 13 Absatz 1 des Grundgesetzes für die Bundesrepublik Deutschland, Artikel 30 Absatz 1 der [Verfassung des Freistaates Sachsen](#)) wird insoweit eingeschränkt. ⁴Entstehen durch Maßnahmen nach Satz 1 Schäden, hat der Geschädigte Anspruch auf Entschädigung. ⁵Kommt eine Einigung über die Höhe der Entschädigung nicht zustande, entscheidet die zuständige Behörde.

(2) ¹Die Eigentümer und sonstigen Nutzungsberechtigten von Grundstücken sowie die Betroffenen nach § 12 des Bundes-Bodenschutzgesetzes haben auf Anordnung der zuständigen Behörde dem Verpflichteten nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz und nach diesem Gesetz und den von ihm Beauftragten das Betreten und Befahren ihrer Grundstücke nach vorheriger Ankündigung zu gestatten und die Durchführung von jeweils in der Anordnung benannten Untersuchungen und sonstigen erforderlichen Maßnahmen zu dulden. ²Entstehen durch Maßnahmen nach Satz 1 Schäden, hat der Geschädigte gegen die Berechtigten nach Satz 1 einen Anspruch auf Schadensersatz. ³Absatz 1 Satz 2 und 3 gilt entsprechend.

(3) ¹Die Verpflichteten nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz und nach diesem Gesetz haben die ihnen bekannt gewordenen oder von ihnen verursachten schädlichen Bodenveränderungen oder Altlasten unverzüglich der zuständigen Behörde mitzuteilen. ²Sie haben der zuständigen Behörde auf Verlangen alle Auskünfte zu erteilen und die Unterlagen vorzulegen, die diese zur Erfüllung der Aufgaben nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz und nach diesem Gesetz benötigt. ³§ 47 Absatz 5 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes gilt entsprechend.

§ 14
Bodenplanungsgebiete
(zu § 21 des Bundes-Bodenschutzgesetzes)

¹Die zuständige Behörde kann Bodenplanungsgebiete zum Schutz oder zur Sanierung des Bodens, aus

Gründen der Vorsorge für die menschliche Gesundheit oder zur Vorsorge gegen erhebliche Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes durch Rechtsverordnung für Gebiete festlegen, in denen flächenhaft schädliche Bodenveränderungen auftreten oder zu erwarten sind.²In der Rechtsverordnung sind der räumliche Bereich festzulegen und die erforderlichen Verbote, Beschränkungen und Schutzmaßnahmen sowie weitere Regelungen über gebietsbezogene Maßnahmen zu bestimmen.³§ 8 Absatz 1 Satz 2 bis 4 gilt entsprechend.⁴Zur Durchführung der Rechtsverordnung soll die zuständige Behörde prüfen, ob der Schutzzweck auch durch vertragliche Vereinbarungen erreicht werden kann.⁵Das Verfahren nach Satz 3 wird nicht angewandt, wenn eine Rechtsverordnung nach Satz 1 geändert oder neu erlassen wird, ohne dass das Gebiet räumlich erweitert wird oder Verbote, Beschränkungen oder Maßnahmen nach Satz 2 erheblich geändert oder erweitert werden.

Teil 3 Sonstige Vorschriften

§ 15 Geowissenschaftliche Landesaufnahme

¹Zum Zwecke der geowissenschaftlichen Landesaufnahme gelten die Regelungen des § 13 entsprechend.
²Die Behörden des Freistaates Sachsen, die Landkreise, Kreisfreien Städte und Gemeinden sowie sonstige juristische Personen des öffentlichen Rechts sind verpflichtet, vorhandene Daten über den Zustand der Erdkruste (geowissenschaftliche Daten) der zuständigen Behörde anzuzeigen, Auskünfte zu erteilen und Unterlagen vorzulegen.³Die zuständige Behörde ist befugt, den zur Erfüllung ihrer Aufgaben notwendigen Umfang der Anzeige und die Einzelheiten des Verfahrens festzulegen.

§ 16 Überwachung und Gefahrenabwehr (zu den §§ 47, 62 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und den §§ 4, 15 des Bundes- Bodenschutzgesetzes)

(1) ¹Die zuständige Behörde hat

1. darüber zu wachen, dass die abfall- und bodenschutzrechtlichen Vorschriften eingehalten und auferlegte Pflichten erfüllt werden (Überwachung),
2. von dem Einzelnen und dem Gemeinwesen Gefahren abzuwehren, die von Abfällen, Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen ausgehen und durch die die öffentliche Sicherheit oder Ordnung bedroht wird (Gefahrenabwehr),
3. von Abfällen, Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen ausgehende Störungen der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung zu beseitigen, soweit es im öffentlichen Interesse geboten ist (Ordnungsmaßnahmen).

²Die Aufgaben anderer Behörden zur Ermittlung und Abwehr von Gefahren bleiben unberührt.³Bei Kontrollen im öffentlichen Straßenverkehr oder des Schiffsverkehrs auf Wasserstraßen ist auch der Polizeivollzugsdienst für die Überwachung zuständig.

(2) ¹Die zuständige Behörde kann zur Durchführung dieses Gesetzes die nach pflichtgemäßem Ermessen erforderlichen Maßnahmen ergreifen.²Die zuständige Behörde entscheidet nach pflichtgemäßem Ermessen, welcher der Verpflichteten heranzuziehen ist.

(3) ¹Können die nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz, dem Bundes-Bodenschutzgesetz und diesem Gesetz Verpflichteten nicht oder nicht rechtzeitig herangezogen werden, kann die zuständige Behörde die erforderlichen Maßnahmen, insbesondere Untersuchungsmaßnahmen, selbst durchführen.²Sie kann hierzu auch Dritte beauftragen.³Der von der Maßnahme Betroffene ist unverzüglich zu unterrichten.

§ 17 Kosten (zu § 24 des Bundes-Bodenschutzgesetzes und den §§ 47, 62 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes)

(1) ¹Die Kosten von Überwachungsmaßnahmen können demjenigen auferlegt werden, der sie verursacht, indem er unbefugt handelt oder Auflagen nicht erfüllt.²Die Kosten für Maßnahmen nach § 16 Absatz 2 und 3 trägt der Verpflichtete.³Sofern bundesrechtlich nichts anderes bestimmt ist, gehören zu

Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz

den Kosten auch die Kosten für die Gefahren- und Schadensermittlung sowie die Ermittlung der Verpflichteten. ⁴Mehrere Verpflichtete haften als Gesamtschuldner.

(2) Kosten für Maßnahmen, die im Wege der Ersatzvornahme durchgeführt werden, und Kosten für Maßnahmen nach § 16 Absatz 3 ruhen als öffentliche Last auf dem Grundstück, wenn der Eigentümer als Verpflichteter herangezogen wird.

§ 18

Datenverarbeitung

(1) Zum Zwecke der Erfüllung der ihnen durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz, das Abfallverbringungsgesetz vom 19. Juli 2007 (BGBl. I S. 1462), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 1. November 2016 (BGBl. I S. 2452) geändert worden ist, das Umweltrahmengesetz, das Bundes-Bodenschutzgesetz, dieses Gesetz sowie der dazu ergangenen Rechtsverordnungen zugewiesenen Aufgaben dürfen die zuständigen Behörden und die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger bei

1. natürlichen und juristischen Personen sowie Vereinigungen des Privatrechts,
2. Behörden und sonstigen öffentlichen Stellen des Freistaates Sachsen,
3. Landkreisen, Kreisfreien Städten und Gemeinden,
4. sonstigen juristischen Personen des öffentlichen Rechts

die erforderlichen Daten erheben und erhobene Daten weiterverarbeiten.

(2) Das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie ist befugt

1. zum Zwecke der Erfüllung der in Absatz 1 genannten Aufgaben sowie der Umweltüberwachung, -dokumentation und -berichterstattung nach § 15 Absatz 2 Satz 2 Nummer 1 des [Sächsischen Verwaltungsorganisationsgesetzes](#) vom 25. November 2003 (SächsGVBl. S. 899), das zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 14. Dezember 2018 (SächsGVBl. S. 782) geändert worden ist, im Rahmen des Umweltinformationssystems die Fachinformationssysteme Abfall, Altlasten, schädliche Bodenveränderungen und Geowissenschaften zu errichten und zu betreiben, die dazugehörigen Datenbanken, insbesondere die Kataster der Abfallentsorgungsanlagen und der Altlasten sowie die geowissenschaftliche Probenbank, zu führen und die im Rahmen der Fachinformationssysteme gespeicherten Daten zentral zu verarbeiten,
2. die geowissenschaftliche Landesaufnahme gemäß § 15 durchzuführen und die hierfür erforderlichen Daten zu verarbeiten.

(3) Die zuständigen Behörden und die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger dürfen personenbezogene Daten an öffentliche Stellen gemäß § 2 Absatz 1 des [Sächsischen Datenschutzgesetzes](#) vom 25. August 2003 (SächsGVBl. S. 330), das zuletzt durch Artikel 46 des Gesetzes vom 26. April 2018 (SächsGVBl. S. 198) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, übermitteln, soweit diese Aufgaben des Umweltschutzes, insbesondere solche der Information, der Vorsorge, der Überwachung, der Gefahrenabwehr, der Schadensbeseitigung oder der Forschung, wahrnehmen und die Daten zur Erfüllung dieser Aufgaben erforderlich sind.

(4) Durch Maßnahmen auf Grund dieser Regelung kann im Rahmen des Grundgesetzes für die Bundesrepublik Deutschland und der [Verfassung des Freistaates Sachsen](#) in das Recht auf informationelle Selbstbestimmung (Artikel 2 Absatz 1 in Verbindung mit Artikel 1 Absatz 1 des Grundgesetzes für die Bundesrepublik Deutschland, Artikel 33 der [Verfassung des Freistaates Sachsen](#)) eingegriffen werden.

§ 19

Abfall- und Bodenschutzbehörden

(1) Allgemeine Abfall- und Bodenschutzbehörden sind

1. das Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft als oberste Abfall- und Bodenschutzbehörde,
2. die Landesdirektion Sachsen als obere Abfall- und Bodenschutzbehörde,
3. die Landkreise und die Kreisfreien Städte als untere Abfall- und Bodenschutzbehörden.

(2) Das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie ist besondere Abfall- und Bodenschutzbehörde, auch als technische Fachbehörde zur fachlichen Beratung und Unterstützung der obersten Abfall- und Bodenschutzbehörde.

§ 20

Zuständigkeit, Aufsicht und Befugnisse

(1) Der Vollzug abfall- und bodenschutzrechtlicher Vorschriften, insbesondere des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, des Abfallverbringungsgesetzes, des Umweltrahmengesetzes, des Bundes-Bodenschutzgesetzes, dieses Gesetzes und der auf Grund dieser Gesetze erlassenen Rechtsverordnungen, obliegt den unteren Abfall- und Bodenschutzbehörden, soweit nichts anderes bestimmt ist.

(2) ¹Durch Rechtsverordnung der obersten Abfall- und Bodenschutzbehörde kann die Zuständigkeit für den Vollzug der Aufgaben nach Absatz 1 anderen Behörden übertragen werden. ²Dabei soll sie Aufgaben nur dann der oberen Abfall- und Bodenschutzbehörde übertragen, wenn sie nicht von den unteren Abfall- und Bodenschutzbehörden zuverlässig und zweckmäßig erfüllt werden können oder wenn die unteren Abfall- und Bodenschutzbehörden oder ein Zweckverband, dem sie angehören, beteiligt sind. ³Die oberste Abfall- und Bodenschutzbehörde kann unter den Voraussetzungen des Satzes 2 im Einzelfall zur Verhütung einer dringenden Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung eine Aufgabe auf eine andere nachgeordnete Behörde übertragen, wenn eine rechtzeitige oder zweckmäßige Aufgabenerfüllung durch die zuständige Abfall- und Bodenschutzbehörde nicht möglich ist.

(3) ¹Die den Landkreisen und Kreisfreien Städten nach Absatz 1 übertragenen Aufgaben sind Weisungsaufgaben. ²Das Weisungsrecht ist unbeschränkt. ³Die Befugnis, sich unterrichten zu lassen, erstreckt sich auf alle Informationen, die zur Erfüllung der Aufgaben der oberen Abfall- und Bodenschutzbehörde erforderlich sind, insbesondere auch zur Erstellung von Fachplanungen, Berichten und Verwaltungsstatistiken.

(4) ¹Die mit dem Vollzug dieses Gesetzes beauftragten Personen sind berechtigt, in Ausübung ihres Amtes Grundstücke und Anlagen zu betreten. ²Wohnungen dürfen nur zur Abwehr einer gemeinen Gefahr oder einer Lebensgefahr für einzelne Personen oder zur Verhütung dringender Gefahren für die öffentliche Sicherheit und Ordnung betreten werden. ³Das Grundrecht auf Unverletzlichkeit der Wohnung (Artikel 13 Absatz 1 des Grundgesetzes für die Bundesrepublik Deutschland, Artikel 30 Absatz 1 der **Verfassung des Freistaates Sachsen**) wird insoweit eingeschränkt.

(5) Die Rechte und Pflichten auf Grund abfall- und bodenschutzrechtlicher Entscheidungen gehen mit der Anlage oder, wenn sie sich auf ein Grundstück beziehen, mit diesem auf den Rechtsnachfolger des Grundstücks über, soweit in der Entscheidung nichts anderes bestimmt ist.

§ 21 Rechtsverordnungen

Die oberste Abfall- und Bodenschutzbehörde wird ermächtigt, durch Rechtsverordnung

1. nähere Anforderungen an Form und Inhalt der von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zu erstellenden Abfallwirtschaftskonzepte und Abfallbilanzen zu regeln,
2. die Einzelheiten zu Sachverständigen und Untersuchungsstellen nach § 18 des Bundes-Bodenschutzgesetzes zu regeln,
3. die Übertragung von Aufgaben der Überwachung nach Teil 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes in Verbindung mit den hierzu erlassenen Rechtsverordnungen auf Dritte vorzunehmen,
4. ergänzende Verfahrensregelungen gemäß § 21 Absatz 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes zu erlassen,
5. Anforderungen nach § 21 Absatz 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes zu bestimmen,
6. Maßgaben über den Ausgleich des verbliebenen wirtschaftlichen Nachteils nach § 10 Absatz 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes zu treffen; dabei kann die Rechtsverordnung auch Ausgleichsregelungen auf Grund eines öffentlich-rechtlichen Vertrages nach § 54 des Verwaltungsverfahrensgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 2003 (BGBl. I S. 102), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 18. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2639) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, vorsehen.

§ 22 Ordnungswidrigkeiten

(1) Ordnungswidrig handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig

1. einer auf Grund von § 2 Absatz 2 erlassenen Satzung oder einer Satzung, die einen Anschluss- oder Benutzungszwang für öffentliche Einrichtungen zur Abfallentsorgung vorsieht, zuwiderhandelt, soweit sie für einen bestimmten Tatbestand auf diese Bußgeldvorschrift verweist,
2. entgegen § 8 Absatz 2 Veränderungen vornimmt,

Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz

3. entgegen § 13 Absatz 1 Satz 1 das Betreten von Grundstücken nicht gestattet oder die Durchführung von Untersuchungen oder von sonstigen erforderlichen Maßnahmen nicht duldet,
 4. entgegen § 13 Absatz 3 der Anzeigepflicht nicht nachkommt, Auskünfte nicht erteilt oder Unterlagen nicht vorlegt,
 5. einer vollziehbaren Anordnung auf Grund von § 16 Absatz 2 nicht rechtzeitig oder nicht vollständig nachkommt,
 6. einer auf Grund von § 14 oder § 21 erlassenen Rechtsverordnung zuwiderhandelt, soweit für einen bestimmten Tatbestand auf diese Bußgeldvorschrift oder auf § 17 Absatz 1 Nummer 8 des **Sächsischen Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetzes** in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 1999 (SächsGVBl. S. 261), das zuletzt durch Artikel 31 des Gesetzes vom 26. April 2018 (SächsGVBl. S. 198) geändert worden ist, verwiesen wird.
- (2) Die Ordnungswidrigkeit kann mit einer Geldbuße bis zu fünfzigtausend Euro geahndet werden.
- (3) Verwaltungsbehörde im Sinne von § 36 Absatz 1 Nummer 1 des Gesetzes über Ordnungswidrigkeiten in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Februar 1987 (BGBl. I S. 602), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 17. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2571) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung, ist für die Verfolgung und Ahndung von Ordnungswidrigkeiten nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz, dem Abfallverbringungsgesetz, dem Bundes-Bodenschutzgesetz und diesem Gesetz sowie nach den Rechtsverordnungen auf Grund dieser Gesetze die Behörde, die für den Vollzug der verletzten Vorschrift zuständig ist.

Niedersächsisches Ministerium
für Umwelt, Energie und Klimaschutz

7. Regierungskommission
Europäische Umweltpolitik und Vorhabenplanung

Abschlussbericht
des Arbeitskreises
Kreislaufwirtschaft



Niedersachsen. Klar.

Zusammenfassung und Empfehlungen

Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes

Mit der Verkündung des „Gesetzes zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts“ im Februar 2012 wurden Anforderungen der novellierten Abfallrahmenrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt. Ziel des neuen Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) waren die nachhaltige Verbesserung des Umwelt- und Klimaschutzes, eine nachhaltige Verbesserung der Ressourceneffizienz und die Stärkung der Abfallvermeidung und des Recyclings von Abfällen.

Das neue KrWG beinhaltet u.a. neben EU-rechtlich harmonisierten Begriffsbestimmungen die Einführung einer fünfstufigen Abfallhierarchie, Anforderungen zur Abfallvermeidung und zur Verbesserung der Ressourceneffizienz, eine effiziente Überwachung sowie die Einführung einer Wertstofftonne.

Mit dem Inkrafttreten des Kreislaufwirtschaftsgesetzes im Juni 2012 sind eine Reihe von Fragestellungen zu spezifischen Kreislaufwirtschaftsthemen, aber auch zum Vollzug und zur praktischen Umsetzung verbunden. Der Arbeitskreis hat sich daher auf folgende Themenschwerpunkte zur Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes verständigt und diese im Weiteren bearbeitet:

- Ende der Abfalleigenschaft,
- Deponiebedarf/ Anschlusskapazitäten von DK I- Deponien,
- Sammler, Händler, Beförderer und Makler (Anzeige- und Erlaubnisverordnung),
- unbestimmte Rechtsbegriffe: Überwachungszuständigkeiten,
- Abfallhierarchie.

Im Einzelnen:

Ende der Abfalleigenschaft

Der Arbeitskreis hat sich mit dem neu im Kreislaufwirtschaftsgesetz eingeführten Instrument des § 5 „Ende der Abfalleigenschaft“ befasst, der den Artikel 6 der Abfallrahmenrichtlinie in nationales Recht umgesetzt, womit die Kategorie „Ende der Abfalleigenschaft“ unter Aufgreifen der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofs legal definiert wird.

Aus Sicht des Arbeitskreises bestand die besondere Relevanz, sich mit dem Ende der Abfalleigenschaft von Kunststoffen zu beschäftigen, weil hier erstmals ein Stoffstrom von großer Variabilität und mit sehr komplexen Anwendungsbereichen auf Ebene einer europäischen Verordnung geregelt werden soll. Durch Einflussnahme auf die Ausgestaltung der Regelungen sollten insbesondere befürchtete negative Auswirkungen auf das Recycling verhindert werden.

Deponiebedarf

Der Arbeitskreis hat sich mit dem Bedarf an Deponiekapazitäten in Niedersachsen für mäßig belastete mineralische Abfälle beschäftigt und eine Empfehlung zur „Sicherstellung ausreichender Deponiekapazitäten“ erarbeitet.

Ein Ausgangspunkt der Befassung war die Bestandsaufnahme im gültigen Abfallwirtschaftsplan Niedersachsen, demzufolge es aufgrund der europarechtlich bedingten Schließung von Deponien, die nicht vollständig der europäischen Deponierichtlinie entsprechen, einen erheblichen Einschnitt bei den Deponiekapazitäten der Klasse I (DK I) gegeben hat.

Korrespondierend haben die im Arbeitskreis vertretenen Unternehmerverbände Niedersachsen e. V. sowie der Bauindustrieverband Niedersachsen-Bremen e. V. von ihren Mitgliedsunternehmen Hinweise erhalten, dass vermehrt Schwierigkeiten bei der ortsnahen Entsorgung von solchen mineralischen Bauabfällen bestehen, die aufgrund ihrer Eigenschaften (z.B. wegen der Schadstoffkonzentration im Eluat) nicht verwertet werden können.

Seitens der Wirtschaftsbeteiligten besteht die Sorge, dass die erforderlichen Anschlusskapazitäten durch neue Deponieprojekte nicht bereitgestellt werden können, weil die Projekte vor Ort auf erhebliche Vorbehalte und Widerstände stoßen, die es auch an offensichtlich geeigneten Standorten immens erschweren, bestandskräftige Planfeststellungsbeschlüsse für den Bau neuer Deponien zu erwirken.

Zur Aufbereitung des Sachverhaltes hat eine Unterarbeitsgruppe mit Vertretern der Wirtschaft und der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sowie von Genehmigungs- und Planungsbehörden die Situation unter fachlichen und rechtlichen Gesichtspunkten analysiert und Maßnahmenvorschläge erarbeitet.

Sammler, Händler, Beförderer und Makler (Anzeige- und Erlaubnisverordnung)

Von besonderem praktischem Interesse für den Arbeitskreis war das abfallrechtliche Anzeige-, Erlaubnis- und Überwachungssystem für Sammler, Händler, Beförderer und Makler, das durch das neue Kreislaufwirtschaftsgesetz grundlegend verändert und an die Anforderungen der Abfallrahmenrichtlinie angepasst wurde. Im Vordergrund standen hier die Regelungen des § 53 KrWG zur Anzeigepflicht und des § 54 KrWG zur Erlaubnispflicht von Sammlern, Händlern, Beförderern und Maklern. Insofern war der Zeitpunkt dafür günstig, dass sich der Arbeitskreis mit der Verordnung über das Anzeige- und Erlaubnisverfahren für Sammler, Beförderer, Händler und Makler von Abfällen (Anzeige- und Erlaubnisverordnung – AbfAEV) auseinandergesetzt hat.

Im Arbeitskreis wurde der seinerzeitige Entwurf der Anzeige- und Erlaubnisverordnung vorgestellt und ausgiebig diskutiert.

Die Empfehlungen des Arbeitskreises wurden unmittelbar in die Bundesratsberatungen zur AbfAEV eingebracht.

Unbestimmte Rechtsbegriffe: Überwachungszuständigkeiten

Der Arbeitskreis Kreislaufwirtschaft hat im Rahmen einer Arbeitsgruppe Empfehlungen zur Auslegung der unbestimmten Rechtsbegriffe im Zusammenhang mit der abfallrechtlichen Überwachungsvorgabe erarbeitet (§ 47 Abs. 2 KrWG), wonach Erzeuger von gefährlichen Abfällen, Anlagen und Unternehmen die Abfälle entsorgen, sowie Sammler, Beförderer und Makler von Abfällen in regelmäßigen Abständen und in angemessenem Umfang zu überprüfen sind.

Hierzu hat der Arbeitskreis in einer Tabelle die Überwachungszuständigkeiten gemäß § 47 Abs. 2 aller niedersächsischen Behörden zusammengestellt und Überwachungsoptionen und Vorschläge zu den Überwachungsoptionen gemacht.

Der Arbeitskreis empfiehlt, den zuständigen Stellen die erarbeitete tabellarische Übersicht zu den Überwachungszuständigkeiten gemäß der neuen Anforderung einer „regelmäßigen Überwachung in angemessenem Umfang“ den zuständigen Stellen zur Verfügung zu stellen und als Material mit orientierendem Charakter für die Erarbeitung eigener Überwachungskonzepte, die den regionalen Besonderheiten vor Ort Rechnung tragen, zu nutzen.

Abfallhierarchie

Der Arbeitskreis hatte sich im Rahmen der Befassung mit den Änderungen durch das neugefasste Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 24. Februar 2012 auch vorgenommen, die Umsetzung der aus der Richtlinie über Abfälle (Artikel 4 der Richtlinie 2008/98/EG) stammenden, neuen fünfstufigen Abfallhierarchie in den §§ 6 bis 8 KrWG zu beleuchten. Nach einer ersten Unterrichtung über das Themenfeld insgesamt sollte die sogenannte Heizwertklausel genauer betrachtet werden.

Im Kreislaufwirtschaftsgesetz ist in § 8 die Rangfolge und Hochwertigkeit von Verwertungsmaßnahmen geregelt. Demnach ist anzunehmen, dass die energetische Verwertung einer stofflichen Verwertung gleichrangig ist, wenn der Heizwert des einzelnen Abfalls, ohne Vermischung mit anderen Stoffen, mindestens 11.000 Kilojoule pro Kilogramm beträgt. Diese sogenannte Heizwertklausel soll gemäß § 8 Abs. 3 Kreislaufwirtschaftsgesetz auf der Grundlage der abfallwirtschaftlichen Entwicklung durch die Bundesregierung bis zum 31. Dezember 2016 überprüft werden.

Da die Bundesregierung zur Evaluierung der Heizwertklausel bereits eine kurzfristige Abfrage bei den Länderressorts im Herbst 2015 durchgeführt hatte, bestand nicht mehr die Notwendigkeit, dass sich der Arbeitskreis mit diesem Thema beschäftigt.

Mittlerweile liegt der Referentenentwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes mit Stand vom 03. Mai 2016 vor, der als einzige Änderung die Streichung des § 8 Abs. 3 KrWG vorsieht, womit die Heizwertklausel ersatzlos entfallen würde.

Abfallvermeidung

Gemäß Artikel 29 der Abfallrahmenrichtlinie haben die Mitgliedsstaaten der EU Abfallvermeidungsprogramme aufzustellen, die folgenden Anforderungen genügen müssen:

- Festlegung von Zielen zur Abfallvermeidung, die darauf gerichtet sind, Wirtschaftswachstum und mit der Abfallerzeugung verbundene Umweltauswirkungen zu entkoppeln,
- Beschreibung bestehender Abfallvermeidungsmaßnahmen und ggf. Festlegung weiterer Maßnahmen,
- Bewertung der Zweckmäßigkeit der Maßnahmen anhand Anhang IV der Richtlinie oder eigener Maßstäben sowie
- Vorgabe von Maßstäben für die Bewertung und Überwachung des Fortschrittes der Maßnahmen.

Diese Vorgaben der Abfallrahmenrichtlinie wurden im Dezember 2013 mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) in deutsches Recht umgesetzt.

Gemäß § 33 des KrWG ist der Bund verpflichtet, ein Abfallvermeidungsprogramm aufzustellen. Die Länder können sich an der Erstellung des Abfallvermeidungsprogramms beteiligen. Soweit die Länder sich nicht an einem Abfallvermeidungsprogramm des Bundes beteiligen, haben sie eigene, landesspezifische Abfallvermeidungsprogramme zu erstellen, die denselben Anforderungen unterliegen.

Als Grundlage zur Aufstellung für ein deutsches Abfallvermeidungsprogramm hat der Bund Studien mit nachfolgenden Zielen gegeben:

- Systematisches Erfassen der durchgeführten Abfallvermeidungsmaßnahmen im öffentlichen Bereich sowie bestehender Abfallvermeidungsstrategien, sowie
- Vorschläge geeigneter Abfallvermeidungsmaßnahmen sowie die Entwicklung geeigneter Maßstäbe und Indikatoren zur Überwachung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen.

Das Land Niedersachsen hat sich entschieden, kein eigenständiges niedersächsisches Abfallvermeidungsprogramm zu erarbeiten, sondern hat von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, sich an dem Programm des Bundes zu beteiligen. Der Arbeitskreis Kreislaufwirtschaft der 7. Regierungskommission wurde gebeten, den Prozess zu begleiten.

Der Entwurf des Abfallvermeidungsprogramms wurde im AK diskutiert; es wurde kein Bedarf gesehen sich in den laufenden Abstimmungsprozess zwischen Bund und Ländern einzubringen und weitere Maßnahmen vorzuschlagen, sondern es bestand Einvernehmen, dass der Arbeitskreis nach Inkrafttreten des Abfallvermeidungsprogramms (Januar 2014) die Umsetzung einzelner Maßnahmen begleiten solle.

Der Arbeitskreis Kreislaufwirtschaft misst der Wiederverwendung von Produkten, bei denen ein hohes Wiederverwendungspotenzial besteht, eine große Bedeutung in der Abfallvermeidung zu und hat untersucht, welchen Beitrag die Wiederverwendung von Produkten zur Abfallvermeidung leisten kann. Um hierzu einen aktuellen Überblick über den Stand der Entwicklung im Bereich der öRE zu erhalten, wurde eine landesweite Umfrage des niedersächsischen Umweltministeriums vorbereitet. Die ausgewerteten Erkenntnisse dieser Umfrage mündeten in Vorschlägen zur Weiterverfolgung des Themas mit dem Ziel, die Förderung der Wiederverwendung in Niedersachsen weiter zu stärken.

Wertstoffgesetz

Innerhalb des Arbeitskreises bestand von Anfang an Einigkeit, sich nicht an Empfehlungen zu politischen Diskussionen zu versuchen. Daher wurde der Arbeitskreis zwar regelmäßig vom Vorsitzenden über die Entwicklungen zum Wertstoffgesetz unterrichtet, Empfehlungen hierzu wurden jedoch nicht verabschiedet.

Abfall als Ressource, Ressourceneffizienz/ Materialeffizienz

Im Arbeitskreis wurde das Thema Ressourceneffizienz zunächst von Unternehmen und Organisationen, deren Vertreter im Arbeitskreis mitarbeiten, vorgestellt. Es wurden die Strategien der Unternehmen Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, der Volkswagen GmbH und der TUI Group vorgestellt. Darüber hinaus wurde über den Rohstoffdialog des Niedersächsischen Industrie- und Handelskammertages berichtet.

Ebenfalls haben der für das Aufgabengebiet Ressourceneffizienz zuständige Abteilungsleiter und der zuständige Referatsleiter im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) im Arbeitskreis zum Deutschen Ressourceneffizienzprogramm ProgRess I vorgetragen.

Mit einem Vertreter der Technischen Universität Clausthal wurde das Thema „Rohstoffsicherung und Ressourceneffizienz – Herausforderungen, Perspektive und Aktivitäten in Niedersachsen“ diskutiert.

Schließlich hat sich der Arbeitskreis mit dem Thema „Hydrothermale Carbonisierung von Biomasse“ auseinandergesetzt.

Empfehlungen sind nicht erarbeitet worden.

Empfehlungen:

Empfehlung zur Sicherstellung ausreichender Deponiekapazitäten

1. Die 7. Regierungskommission empfiehlt der Niedersächsischen Landesregierung, dem Bedarf an Entsorgungsmöglichkeiten für mäßig belastete mineralische Abfälle Rechnung zu tragen und neben den Darstellungen im Abfallwirtschaftsplan im Rahmen des Landes-Raumordnungsprogramms einen entsprechenden Deponiebedarf zur Sicherstellung der Entsorgungssicherheit bei der Beseitigung von mineralischen Abfällen aus der Bauwirtschaft und anderen Bereichen aufkommensgerecht zu verankern.
2. Im Hinblick auf Vorhaben öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger ist zu prüfen, ob die kommunalrechtlichen Rahmenbedingungen verbessert werden können (z.B. im Gebührenrecht), um zusätzliche Spielräume für den Betrieb neuer Deponieabschnitte bei den vorhandenen Deponien der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger zu eröffnen. Hierzu sollen von einer Arbeitsgruppe konkrete Verbesserungsvorschläge erarbeitet werden. Dieser Prüfauftrag soll sich auch auf die Verbesserung der Rahmenbedingungen bei einer möglichen Einbeziehung der privaten Entsorgungswirtschaft beziehen.
3. Land, Kommunen, Wirtschaft und Verbände einschließlich Umweltverbände sind aufgerufen, zu einer Versachlichung der die Vorhaben begleitenden öffentlichen Diskussionen beizutragen. Einer Intensivierung der Öffentlichkeitsarbeit sowohl im Vorfeld konkreter Einzelvorhaben als auch vorhabenbegleitend kommt dabei eine besondere Bedeutung zu.

Das MU wird gebeten, die wesentlichen rechtlichen Vorgaben und allgemeine Standortvoraussetzungen einschließlich der Daten zum Deponiebestand und zum Abfallaufkommen in seinem Internetangebot darzustellen.

Den Vorhabenträgern wird empfohlen, die Gründe für die Standortwahl transparent darzustellen.

4. Es ist zu den außerhalb der umwelttechnischen und arbeitsschutzbezogenen sowie deponie- und verfahrensrechtlichen Belangen liegenden Themen organisatorisch sicherzustellen, dass andere Landesdienststellen mit ihrem dort vorhandenen Sachverstand (z. B. betreffend Naturschutz, Wasserwirtschaft und Hydrogeologie) die Zulassungsbehörden so unterstützen, dass die Zulassungsverfahren effektiv durchgeführt werden können.

Rundschreibendienst

Technik
05/2012

2. April 2012

1. **Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) tritt am 1. Juni 2012 in Kraft**
2. **Erhöhung der Förderbeträge für die Nachrüstung von Erdbaumaschinen und Baustellen-Lkw mit Rückfahrkameras**

Zu den o. g. Themen informieren wir wie folgt:

1. **Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) tritt am 1. Juni 2012 in Kraft**

Das KrWG ist nach Verabschiedung im Bundestag und Bundesrat am 29. Februar 2012 im Bundesgesetzblatt (BGBl. I S. 212) verkündet worden. Das BGBl finden Sie unter dem Link (<http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/abfallpolitik/kreislaufwirtschaft/doc/47201.php>). Das Gesetz wird am 1. Juni 2012 in Kraft treten.

Nachstehend Hinweise zur Umsetzung und weiteren Vorgehensweise des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie (HDB):

Was ändert sich für die Transporte von Bauunternehmen?

Sachlage:

Bislang benötigten Bauunternehmen, die im Rahmen einer Baumaßnahme Abfälle wie z. B. Bodenaushub, Straßenaufbruch oder Bauschutt transportieren, keine Genehmigung. Hintergrund ist, dass diese Transporte nicht gewerbsmäßig erfolgen, sondern bloß in Erfüllung einer Nebenpflicht aus dem Bauvertrag.

Änderung:

Da das KrWG auf das Tatbestandsmerkmal der „Gewerbsmäßigkeit“ verzichtet, werden auch Transporte von Bauabfällen durch Unternehmen der Bauwirtschaft erlaubnis- bzw. anzeigepflichtig. Es gilt eine Übergangsfrist bis zum 1. Juni 2014.

§ 72 Übergangsvorschrift

(4) § 53 und § 54 sind in Bezug auf Sammler und Beförderer, die Abfälle im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmen sammeln oder befördern, erst zwei Jahre nach Inkrafttreten des Gesetzes [Tag des Inkrafttretens des Gesetzes] anzuwenden.

(5) Eine Transportgenehmigung nach § 49 Abs. 1 des KrW-/AbfG vom 27. September 1994, ..., gilt bis zum Ende ihrer Befristung als Erlaubnis nach § 54 Absatz 1 fort.

Bis zum Ablauf der Übergangsfrist wird die Bundesregierung gem. Ermächtigungsgrundlagen nach § 53 (6) und § 54 (7) Rechtsverordnungen erarbeiten, für:

Bauindustrieverband
Sachsen/Sachsen-Anhalt e. V.
Hauptgeschäftsstelle
Heiterblickstraße 35
04347 Leipzig
Fon 0341 33637-0
Fax 0341 3363734
info@bauindustrie-ssa.de

Ihr Ansprechpartner
Kerstin Poznanski
GS Chemnitz
Fon 0371 46671-0
poznanski@bauindustrie-ssa.de

- den Transport von nicht gefährlichen Abfällen:

Gemäß § 53 (6) wird die Bundesregierung ermächtigt, durch Rechtsverordnung für die Anzeige und Tätigkeit der Sammler, Beförderer, ... von Abfällen, insbesondere unter Berücksichtigung der Besonderheiten der jeweiligen Verkehrsträger, Verkehrsträger oder Beförderungsart,

(1) Vorschriften zu erlassen über die Form, den Inhalt und das Verfahren zur Erstattung der Anzeige,

(3) Bestimmte Tätigkeiten von der Anzeigepflicht auszunehmen, soweit eine Anzeige aus Gründen des Wohls der Allgemeinheit nicht erforderlich ist

- den Transport von gefährlichen Abfällen:

Gemäß § 54 (7) wird die Bundesregierung ermächtigt, durch Rechtsverordnung für die Anzeige und Tätigkeit der Sammler, Beförderer, ... von Abfällen, insbesondere unter Berücksichtigung der Besonderheiten der jeweiligen Verkehrsträger, Verkehrsträger oder Beförderungsart,

(1) Vorschriften zu erlassen über die Form, den Inhalt und das Verfahren zur Erteilung der Erlaubnis,

(3) Bestimmte Tätigkeiten von der Anzeigepflicht auszunehmen, soweit eine Anzeige aus Gründen des Wohls der Allgemeinheit nicht erforderlich ist

Der HDB wird sich dafür einsetzen, im Rahmen der Erarbeitung der Rechtsverordnungen größtmögliche Vereinfachungen und Praktikabilität der Anzeige- und Erlaubnisverfahren für Transporte der Bauwirtschaft zu erwirken.

Weitere Eckpunkte des neuen KrWG

EU-Rechtliche Begriffsbestimmungen:

- Neu sind Regelungen zu den praxisrelevanten Fragen der Abgrenzung von Abfall und Nebenprodukt (§ 4 KrWG) sowie zum Ende der Abfalleigenschaft (§ 5 KrWG).

Fünfstufige Abfallhierarchie:

- Neu ist die nun fünfstufige Abfallhierarchie (§ 6 KrWG) und ihre Umsetzung im bisherigen Grundpflichtenmodell (§§ 6 bis 8 KrWG). Die neue Hierarchie legt die grundsätzliche Stufenfolge (Abfallvermeidung, Wiederverwendung, Recycling und sonstiger, u. a. energetischer Verwertung von Abfällen und schließlich der Abfallbeseitigung) fest. Vorrang hat die jeweils beste Option aus Sicht des Umweltschutzes, jedoch sind neben den ökologischen Auswirkungen auch technische, wirtschaftliche und soziale Folgen zu berücksichtigen. Die Festlegung des Vorrangs einer Verwertungsart gegenüber den Abfallerzeugern und -besitzern wird in erster Linie durch abfallspezifische Rechtsverordnungen erfolgen. Das BMU überprüft derzeit die bestehenden Verordnungen.

Abfallvermeidung/Produktverantwortung:

- Mit Blick auf den Aspekt Ressourceneffizienz sollen die Ansätze und Instrumente der Abfallvermeidung dynamisch und kontinuierlich fortentwickelt werden. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz verpflichtet primär den Bund zur Erstellung eines Abfallvermeidungsprogramms, an dem sich die Länder mit Beiträgen ihres eigenen Verantwortungsbereiches

beteiligen (§ 33 KrWG). Der bürokratische Aufwand für die Programmerstellung wird hierdurch minimiert.

Vermischungsverbote:

Um die Ressourceneffizienz der Abfallwirtschaft zu verbessern, werden die Vorgaben für das Recycling verstärkt:

- Neben den schon bislang festgelegten allgemeinen Getrennthaltungspflichten (§ 9 Abs. 1 und § 15 Abs. 3 KrWG) gilt für gefährliche Abfälle in Zukunft ein grundsätzliches Vermischungsverbot (§ 9 Abs. 2 KrWG).
- Die rechtlichen Grundlagen der Abfallbeseitigung (§§ 15 und 16 KrWG) und insbesondere des Deponierechts (§§ 28 ff. KrWG) sind weitgehend unverändert geblieben.

Klarstellung des Begriffes "Abfallerzeuger" - durch Bauindustrie weiterhin zu fordern!

Der HDB hatte gefordert, die Begriffsdefinition Abfallerzeuger gem. § 3 (8) dahingehend zu präzisieren, dass bei Baumaßnahmen Abfallerzeuger derjenige ist, der die Durchführung der Baumaßnahme veranlasst, also der Bauherr. Diese Forderung wurde jedoch seitens des BMU nicht berücksichtigt.

In der Praxis wird von Seiten des Bauherrn immer wieder versucht, die Eigenschaft des Abfallerzeugers den Bauunternehmen zuzuweisen, um sich so der Verantwortung für die Entsorgung des anfallenden Bodenaushubs, Bauschutts oder Straßenaufbruchs etc. zu entziehen. Unter Bezug auf aktuelle Rechtssprechungen (z. B. Oberlandesgericht Düsseldorf, Beschluss vom 10. August 2011 - Az.: Verg 34/11 und „Leitlinien Recycling“, herausgegeben vom BMVBS und BMV) verfolgen wir deshalb weiter das Ziel, durch den Gesetzgeber eine Klarstellung zu § 3(8) KrW-/AbfG erhalten, dass Erzeuger von Bauabfällen derjenige ist, durch dessen Veranlassung Abfälle anfallen (Ersterzeuger).

Der HDB wird die Thematik weiterhin intensiv verfolgen und begleiten. Wir werden Sie über die Entwicklungen auf dem Laufenden halten.

2. Erhöhung der Förderbeträge für die Nachrüstung von Erdbaumaschinen und Baustellen-Lkw mit Rückfahrkameras

Die BG BAU hat die finanzielle Förderung für die Nachrüstung von älteren Erdbaumaschinen und Baustellen-Lkw (ab 16 t zul. Gesamtgewicht) mit Rückfahrkameras auf 50 % der Anschaffungskosten bzw. max. 500 € je System erhöht. Hierdurch sollen diese Maschinen auf einen vergleichbaren Standard gebracht werden wie Neumaschinen, für die seit 2009 verschärfte Sichtfeldanforderungen gelten.

Die Förderung ist auf max. 4 Kamera-Monitor-Systeme pro Jahr und Unternehmen begrenzt (2 für Baumaschinen und 2 für Baustellen-Lkw).

Antragsformulare und weitere Informationen erhalten Sie auf der BG BAU Website: www.sehen-und-gesehen-werden.de.

Arbeitsgemeinschaft
KREISLAUFWIRTSCHAFTSTRÄGER
BAU



3. Monitoring-Bericht Bauabfälle

(Erhebung: 2000)

Teil 1 – Nachhaltige Bauwirtschaft
Teil 2 – Statistische Daten

Berlin/ Düsseldorf/ Duisburg, 31. Oktober 2003

0 Vorwort – Der KWTB positioniert sich neu

Die Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB) ist eine freiwillige Brancheninitiative, in der sich die am Bau beteiligten Wirtschaftsverbände zusammengeschlossen haben.

Übergeordnetes Ziel ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Konkrete Maßnahmen und Erfolge des Recyclings und der umweltgerechten Verwertung von Bauabfällen, zu denen auch Bodenaushub gehört, sind mit zwei Monitoring-Berichten publiziert, die dem Bundes-Umweltminister übergeben wurden.

Der KWTB positionierte sich im Herbst des Jahres 2002 – zu Beginn der 15. Legislaturperiode des Deutschen Bundestages - neu.

Gleichzeitig zum Beitritt des Bundesverbandes Baustoffe - Steine und Erden e.V. und dem Beitritt des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie e.V. hat sich der KWTB programmatisch und strukturell neu aufgestellt. Mit den nunmehr in der ARGE tätigen Gesellschaftern vereint der KWTB heute alle relevanten Spitzenverbände der Bauwirtschaft und der Baustoffindustrie.

Zur Neupositionierung gehört die Ausarbeitung intelligenter Lösungen und Konzepte auf allen Ebenen des Lebenszyklus der Bauwerke.

Die Arbeitsgemeinschaft KWTB, von diversen Wirtschaftsverbänden der Bauwirtschaft im Jahre 1995 formiert, ist in 1996 gegenüber dem Bundesumweltministerium die Selbstverpflichtung eingegangen, bis 2005 die auf Deponien abgelagerten Mengen zu halbieren und statt dessen dem Recycling zuzuführen und dies durch einen Maßnahmenkatalog sicherzustellen und hierüber im Rahmen von Monitoring-Berichten Rechenschaft abzulegen.

In den ersten Jahren war daher der Schwerpunkt der Arbeit auf das Recycling von Baureststoffen und die Aufbereitungstechnik und Qualitätssicherung gelegt worden und bereits in den 90iger Jahren der Nachweis hochgradigen Recyclings von Baurestmassen erbracht worden. Durch die vollzogenen Beitritte des Bundesverbandes Baustoffe Steine und Erden e.V. (2001) und des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie (2002/03) zum KWTB ist nunmehr die Chance gegeben, die Kreislaufwirtschaft im Bauwesen ganzheitlich darzustellen.

Von den beteiligten Akteuren kann der Wille zum Ziel jedoch nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn allorts auf noch bestehende Hemmnisse eingewirkt wird bzw. neue Hemmnisse nicht geduldet werden. Dies ist nicht allein die Aufgabe der Bauwirtschaft und Baustoffindustrie, sondern aller Verantwortlichen auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene.

Dem Lebenszyklus entsprechend gehören zur Umsetzung alle am Bau Beteiligte. Gemeinsames Ziel ist es, dass dem Bauen in Zukunft wieder die gesellschaftspolitische und wirtschaftliche Bedeutung unter Einbeziehung wichtiger Aspekte der Nachhaltigkeit zukommt, die ihm gebührt. Gegenwärtig entsteht leider allzu oft der Eindruck, dass es einen teilweise gewollten Boykott des Bauens durch Überregulierung aus Sicht von Umwelt und Technik gibt. Eine Analyse dieser Hemmnisse durch den KWTB zeigt, dass in erster Linie die Politik aufgerufen ist, die entsprechenden Rahmenbedingungen zu verbessern.

Die Forderungen in diesem, ersten Teil des 3. Monitoring-Berichtes zeigen klar die zu ergreifenden Handlungsfelder für die Politik auf. Der KWTB ist bereit, seinen Beitrag zu leisten.

Der KWTB wird mit vereinten Kräften seiner Mitglieder konsequent die Umsetzung der Koalitionsvereinbarungen der Bundesregierung zur Kreislaufwirtschaft aus 1998 und 2002 einfordern. Wer bekundet Kreislaufwirtschaft zu wollen, muss auch mit den Rahmenbedingungen hierfür ernst machen, muss Kreislaufwirtschaft praktikabel machen.

Es ist zweifellos zu begrüßen, dass sich Gesetzgeber, Politik und Behörden Gedanken um den Erhalt der Umwelt machen und dass heute – auch aufgrund gesteigerten Wissens und neuer Erkenntnisse – mit anderen Maßstäben gearbeitet wird. Da aber jedes Anziehen der Schraube bei Grenz-, Schwellen-, Zuordnungswerten von Umweltparametern nahezu ausnahmslos zu einer Belastung der Industrie führt, ist mehr denn je die Angemessenheit der Regelungen zu prüfen.

Richtig ist, dass die Legislative Vorsorgeprinzipien statuiert. Falsch wird es, wenn diese sich (z.T. schleichend) zur „Vor-Vorsorge“ entwickeln und andere Umweltziele, wie die im KrW-/AbfG verankerte Schonung der natürlichen Ressourcen, verhindern.

In der derzeitigen Diskussion ist zwischenzeitlich der Punkt erreicht, an dem sich Umwelterfordernisse aus Boden- und Grundwasserschutz und Belange der Abfallwirtschaft und der Ressourcenschonung diametral gegenüberstehen. Aus diesen Gründen sind allen Belangen gerecht werdende Kompromisse zwingend erforderlich.

Erklärtes Ziel der Gesellschafter der ARGE KWTB ist es daher, den Dialog zur Sache fortzusetzen und aufrechtzuerhalten und diesen auf einer von Vertrauen geprägten und wissenschaftlich untersetzten Basis zu führen.

1 Zusammenfassung / Summary / Brève récapitulation

Im Zuge der im Jahre 1996 seitens der Bauwirtschaft gegenüber dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung (BMU) eingegangenen Selbstverpflichtung legte die ARGE KWTB mit Stand 31. Oktober 2003 den 3. Monitoring-Bericht Bauabfälle vor.

Er dokumentiert die Ergebnisse der amtlichen Umweltstatistik für den Bereich Baureststoffe des Jahres 2000 (Berichtszeitraum: 1999/2000). Damit bildet er gleichzeitig die Fortsetzung zur Bauabfallstatistik der Jahre 1996 und 1998.

Der 3. Monitoring-Bericht Bauabfälle geht insbesondere auch auf aktuelle Grundsatzthemen des Bauabfall-Handlings im Berichtszeitraum ein, von den rechtlichen Rahmenbedingungen über den Stand aktueller Forschungsergebnisse bis hin zu den weiterhin bestehenden Hemmnissen einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft im Bauwesen.

Für den Zeitraum 1999 bis 2000 ist gegenüber dem Vorberichtszeitraum ein Anstieg der erfassten Menge an Baureststoffen der Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle von 77,1 Mio. t auf 88,6 Mio. t und damit um 11,5 Mio. t festzustellen. Dieser Anstieg begründet sich vornehmlich jedoch durch:

- die Erhöhung erfasster Anlagen von vormals ca. 1.900 auf 2.226 im Jahre 2000 (Erhöhung der Aussagengenauigkeit) sowie
- durch das Wirken zeitlich befristeter, regionaler Besonderheiten von Großbaumaßnahmen (z.B. Bau der ICE-Strecke Frankfurt/M - Köln).

Nach den statistischen Erfassungen wurden im Berichtszeitraum von der Menge angefallener Baureststoffe (ohne Erden und Steine) 61,4 Mio. t recycelt, was einer Recycling-Quote von 69,3 % entspricht. (1998: 55,2 Mio. t, entspricht: 71,6 %).

Unabhängig eines leichten, nicht signifikanten Rückgangs der RC-Quote, konnten somit rein quantitativ auch für den dritten Berichtszeitraum 1999-2000 die Verwertungsraten aus der Selbstverpflichtung 2005 nochmals erfüllt werden.

Bei objektiver Betrachtung zeigt sich im Berichtszeitraum 1999-2000 jedoch erstmals der, sich bereits vor zwei Jahren abzeichnende, Rückgang in der Verwertungsrate, d.h. dem Verhältnis Menge recycelter zur Menge beseitigter Bauabfälle, dessen Ursachen erkannt, benannt und bewertet werden müssen.

Wenn im Zeitraum 1997-1998 insgesamt 1.899 in die Erfassung eingegangene Aufbereitungsanlagen 55,2 Mio. t an Recyclaten produzierten (rein statistisch: 29.068 t / je Anlage) und im Folgezeitraum 1999-2000 von mehr als 2.200 (2.226)

Anlagen insgesamt 61,4 Mio. t an Recyclaten produziert wurden (rein statistisch: 27.583 t / je Anlage), entspricht dies zudem einem statistischem Rückgang von ca. 1.500 t/a/ je Anlage. D.h., einem Produktionsrückgang von RC-Baustoffen in der Größenordnung von 3,3 Mio. t (3.306 Tt), auf der Basis der im Berichtszeitraum produzierenden und erfassten Anlagen.

Der „Verzicht“ auf die Substitution dieses Sekundär-Rohstoffes entspricht damit größenordnungsmäßig der Jahresproduktion von ca. drei Festgesteins-Steinbrüchen im Dauereinsatz.

Ferner wird, da nicht Neuinbetriebnahmen als ursächlich für die Zunahme der erfassten Anlagen (+ 320) sondern die Erhöhung der statistischen Erfassung zu nennen ist, deutlich, dass das Verhältnis erfasster Mengen (Anfall) zu produzierten RC-Baustoffen zugunsten der in die Beseitigung gegangenen Mengen zugenommen hat. (vgl. nachstehende Darstellung)

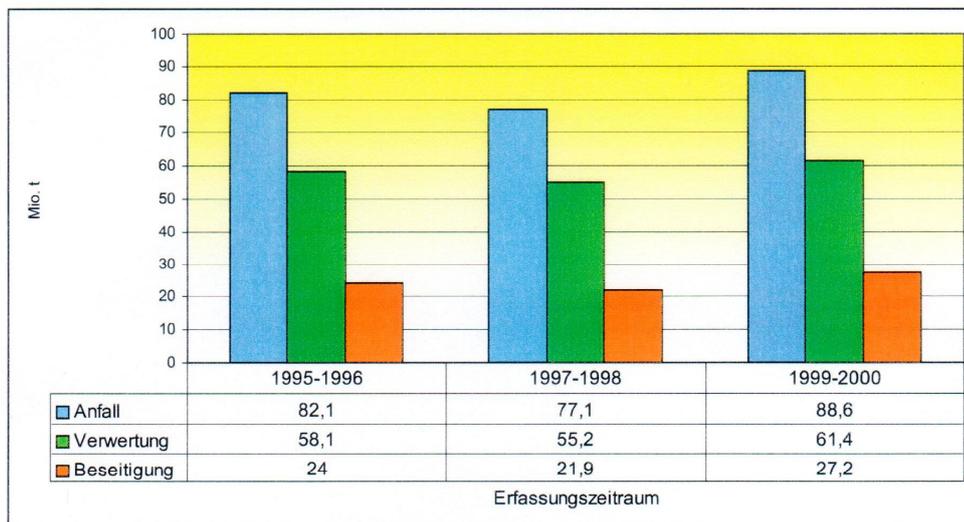


Abb. 1 Verhältnis Erfasste Mengen (Anfall) - Verwertung - Beseitigung (Fraktionen: Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfälle)

Neben den v.g. rein statistischen Zusammenhängen sind für den Berichtszeitraum 1999-2000 nachfolgende tendenzielle Entwicklungen festzuhalten:

1. Vom „Mehr“ an statistisch erfassten Baureststoffen von 11,5 Mio. t gegenüber dem Vorberichtszeitraum konnten lediglich 54 % (6,2 Mio. t) der Verwertung zugeführt werden. Um über 5,0 Mio. t (46 % des Anfalls) erhöhte sich ebenfalls die Menge der Beseitigung zugeführter Baureststoffe auf nunmehr 27,2 Mio. t gegenüber 21,9 Mio. t in 1998.
2. Seit dem Berichtszeitraum 1999/2000, d.h. seit den vergangenen drei Jahren, ist die gesamtwirtschaftliche Entwicklung gerade auch in der Bau- u. Baustoff-Recycling Branche massiv rückläufig. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird sich diese Tendenz mit weiter rückläufigen Verwertungszahlen in der kommenden Erhebung markant durchprägen.
3. Während im Berichtszeitraum noch eine Reihe, regional wirkender Großprojekte festzustellen waren, die durch ihre zeitlich befristete Wirkung maßgeblich die statistischen Erhebungen beeinflussten, entfallen diese in späteren Erhebungen.
4. Eine weitere regionale Besonderheit ist abschließend in der Form festzuhalten, dass vielen Orts politisch überprägte Einstellungen zum Baustoff-Recycling im Vergleich der Bundesländern untereinander vorhanden sind. Während zwischenzeitlich bspw. im Freistaat Bayern für aufbereitete RC-Baustoffe unter Einhaltung konkreter Bedingungen der Produkt-Status anerkannt wird, billigen Verwaltung und Politik in Nordrhein-Westfalen den RC-Baustoffen diesen Status erst unmittelbar nach bzw. mit der Verwertungsmaßnahme zu, d.h. dass der Abfallstatus bis zu diesem Zeitpunkt erhalten bleibt. Allein der schon damit verbundene Image-Verlust hat somit entscheidende Bedeutung auf die Absatzfähigkeit von güteüberwachten RC-Baustoffen.

Einerseits mag der hier geschilderte „Zustand 2000“ positiv erscheinen, Realität ist jedoch die „Praxis 2003“, in der u.a. die Deponieverordnung ihre Schatten voraus wirft. So kommen einerseits erhebliche Mengen an aufzubereitenden Baureststoffen an den Aufbereitungsanlagen an, vielfältige, tlw. künstlich geschaffene Hemmnisse, hindern jedoch ihren Abfluss, so dass die Betriebe vielenorts im Notstand stehen, da sie „vollgelaufen“ sind.

Bei der gesonderten statistischen Erhebung der Entsorgungswege der Fraktion des Straßenaufbruchs konnten gegenüber dem Vorberichtszeitraum keine gravierenden Veränderungen festgestellt werden – die sog. RC-Quote betrug wiederum rd. 85 %.

Veränderungen gab es dahingegen bei der Fraktion der Baustellenabfälle mit einem erheblich über früher ermittelten Werten gestiegenem Aufkommen von 11,8 Mio. t. Hintergrund hierfür ist u.a. die Tatsache, dass bei der Erhebung 1999/2000 erstmals kombinierte Anlagen zur Bauabfallsortierung und Aufbereitung erfasst wurden, als auch Unschärfen bei der Umstellung auf die neue Nomenklatur des EAK festzustellen waren (vgl. Kap. 10.2).

Im aktuellen 3. Monitoring-Bericht werden detailliert somit wiederum die Anstrengungen der beteiligten Wirtschaftskreise dargestellt, darunter auch die der ARGE KWTB im Berichtszeitraum neu hinzugetretenen Organisationen: der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (HVBI) und der Bundesverband Baustoffe, Steine und Erden e.V. (BSE).

Unabhängig der Tatsache, dass durch vielfältige Anstrengungen aller Beteiligten auch im Berichtszeitraum die gegenüber dem Umweltministerium eingegangene Selbstverpflichtung zur Sicherung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft im Bauwesen erfüllt werden konnte, ist festzustellen, dass gegenwärtige Entwicklungen nicht den Grundstein bieten, diese Erfolge dauerhaft zu sichern.

Auch bleiben hochwertige Anwendungsgebiete für Recycling-Baustoffe außerhalb traditioneller Einsatzgebiete wie dem Straßen- und Tiefbau durch vielfältige Ursachen nach wie vor tabu. Wenngleich bei ausgewählten Einsatzgebieten gewisse bautechnische Einschränkungen bei der Verwendung von Recyclaten nicht von der Hand zu weisen sind, beeinflussen Faktoren wie Bedenklichkeit, Missachtung und teilweise Diskriminierung noch immer entscheidend die hochwertige Verwertung güteüberwachter Recycling-Baustoffe.

Die in der ARGE KWTB vereinten bauwirtschaftlichen Spitzenverbände unterstreichen nochmals ihre volle Unterstützung des gerade auch im KrW/AbfG fixierten Postulats der Nachhaltigkeit, wenn es um Fragen des Ressourcenschutzes durch Substitution von Primärrohstoffen bei gleichzeitiger Reduzierung des Verbrauchs von Landschaft und Naturräumen geht.

Zu dessen Realisierung sind jedoch verlässliche und transparente politische Rahmenbedingungen zwingend erforderlich, ohne die die Umsetzung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft im Bauwesen dauerhaft nicht möglich sein wird.

Wenn ein möglichst hochwertiger Einsatz von Recyclaten, gewonnen aus Baurestoffen, unter Berücksichtigung weitsichtiger rechtlicher wie auch behördlicher Rahmenbedingungen langfristig gesichert werden soll, bedarf es hierzu:

- einer anziehenden **baukonjunkturellen Entwicklung**, da nur über diesen Weg ausreichende Ausgangsstoffe (Input) der Aufbereitung zugeführt werden können
- der Sekundär-Rohstoff-Produktion unter einem **vertretbaren Kostenaufwand**, d.h. insbesondere der Limitierung erforderlicher Prüfumfänge
- der **Anerkennung der Produkteigenschaft** güteüberwachter RC-Baustoffe mit Beendigung des Aufbereitungs- und Produktionsprozesses
- einer **stärkeren Berücksichtigung** von güteüberwachten RC-Baustoffen am Baustoffmarkt mit Vorbildfunktion der öffentlichen Hand
- der Stattgabe **reglementierender recyclingspezifischer Umweltauflagen nur in wissenschaftlich begründeten Fällen**, deren Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit plausibel ist und der damit in Zusammenhang stehenden
- **Harmonisierung** und Limitierung **von ökorelevanten Anforderungen** unter Berücksichtigung europäischer Entwicklungen

Mit diesem 3. Folgebericht zum Bauabfallhandling in der Bundesrepublik betonen die in der ARGE KWTB zusammengeschlossenen Wirtschaftskreise erneut und unmissverständlich ihren Willen und ihr Engagement, sich den zu lösenden Aufgaben zur Erzielung der erforderlichen Nachhaltigkeit im Sinne des Generationsvertrages weiterhin zu stellen und gemeinsam mit den für Umweltfragen zuständigen Institutionen an der Lösung offener Fragen aktiv mitzuarbeiten.

Um angesichts der zu erwartenden Steigerung des Abfallaufkommens und der sich abzeichnenden deutlichen Verschlechterung der Einsatzmöglichkeit aufgrund sich drastisch verschärfender Anforderungen durch den Boden- und Gewässerschutz dieses Ziel auch langfristig zu sichern, ist es heute zwingender denn je, dass die entsprechenden Rahmenbedingungen aus legislativer und exekutiver Sicht der Erfüllung der freiwilligen Selbstverpflichtung nicht entgegenstehen und die Voraussetzung geschaffen werden, dass diese auch auf allen Ebenen des Verwaltungsvollzuges ihre Beachtung und Umsetzung finden.

Abschließend gilt festzuhalten, dass sowohl die Zielvorgaben der Selbstverpflichtung der ARGE KWTB gegenüber dem Bundesumweltminister, wie sie für 2005 festgeschrieben sind, auch im Berichtszeitraum 1999-2000 nochmals erfüllt wurden.

Es spricht für sich, dass durch die Anstrengungen aller von 88,6 Mio. t angefallener Baureststoffe 61,4 Mio. t wiederum in den Kreislauf zurückgeführt werden konnten. Beachtung ist jedoch der Tatsache beizumessen, dass von dem

Mehr an erfassten Baureststoffen von knapp 12,0 Mio. t gegenüber 1998 nur in etwa die Hälfte zur Steigerung der Verwertungsmenge eingebracht wurde, während über 5 Mio. t den Anteil beseitigter Baureststoffe stiegen ließ.

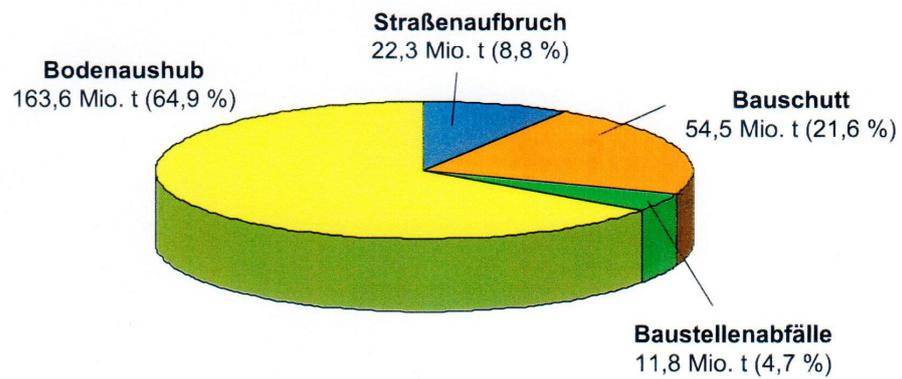
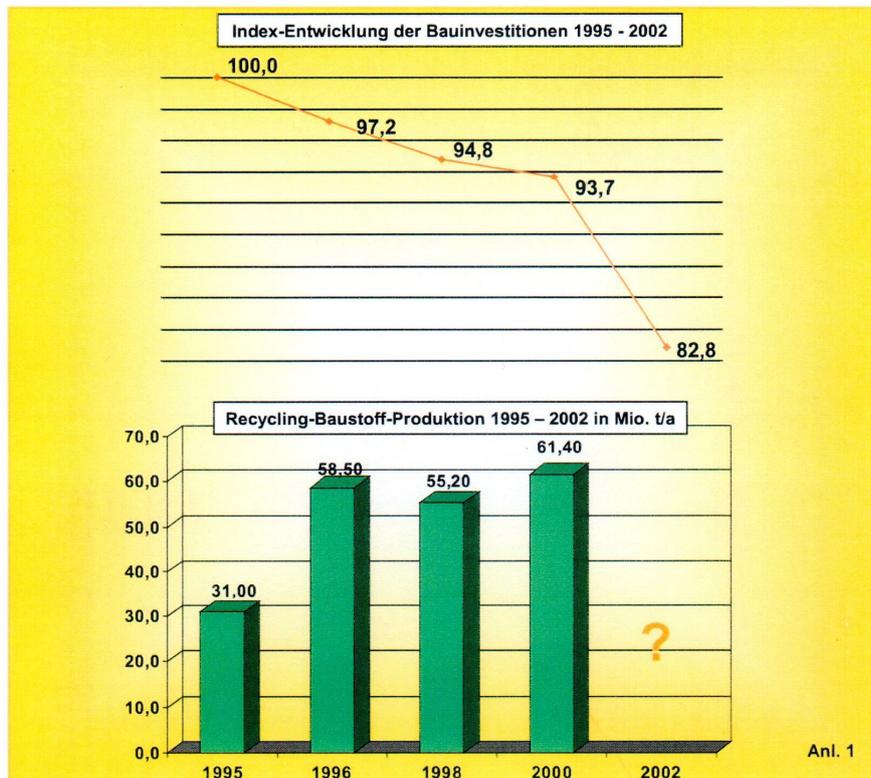
Nach den Zahlen der amtlichen Statistik sitzt Deutschland was den Erhebungszeitraum 1999-2000 betrifft noch in der „Klasse 2010“, entsprechend den Empfehlungen der EU.

Deutliche Anzeichen sprechen jedoch dafür, dass ein Überdenken im Abwägungsprozess divergierender Interessen zwingend stattfinden muss, wenn dieses Level bis zum Abschluss des Selbstverpflichtungszeitraumes und dauerhaft darüber hinaus gesichert werden soll.

Anlagenübersicht

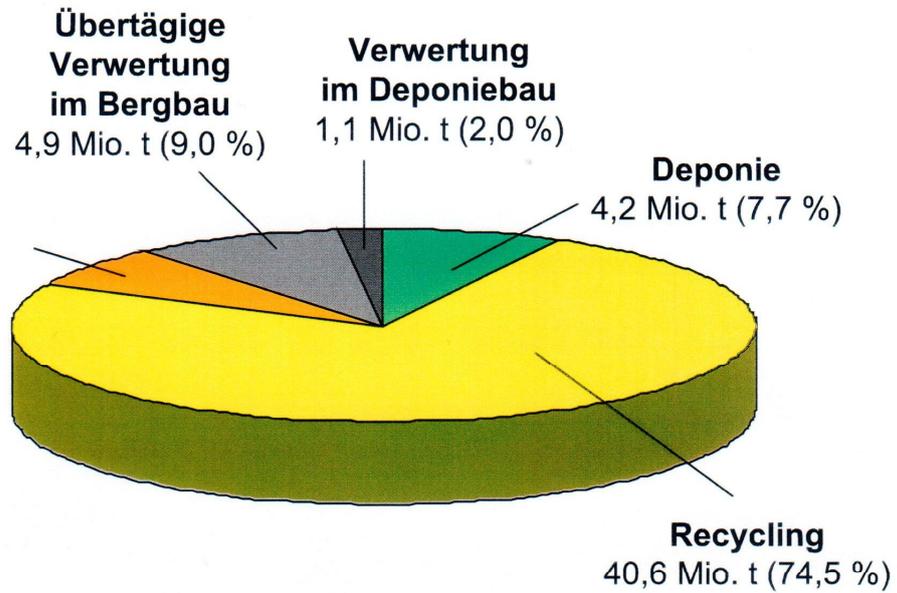
- Abb.1 Darstellung der Index-Entwicklung Bauinvestitionen zur RC-Baustoff-Produktion (Jahre 1995-2002)
- Abb. 2.1 Statistisch erfasste Menge von Bau- und Abbruchabfällen 2000
- Abb. 2.2 Verwertung und Beseitigung von Bauschutt 2000
- Abb. 2.3 Verwertung und Beseitigung von Straßenaufbruch 2000
- Abb. 2.4 Verwertung und Beseitigung von Baustellenabfällen 2000
- Abb. 3 Verwertung und Beseitigung von Boden und Steine 2000
- Abb. 4 RC- Baustoff- Verwendung 2000
- Abb. 5 Anfall/ Erfasste Menge an Baureststoffen 1998 u. 2000
- Abb. 6 Produktion von Gesteinskörnungen 2000
- Abb. 7 Anfall/ Verwertung v. Baureststoffen 1998 und 2000 im Vergleich
- Abb. 8 Recycling von Baureststoffen 1998 und 2000

3. Monitoring-Bericht KWTB -
 Teil 1 – Nachhaltige Bauwirtschaft, Teil 2 – Statistische Daten



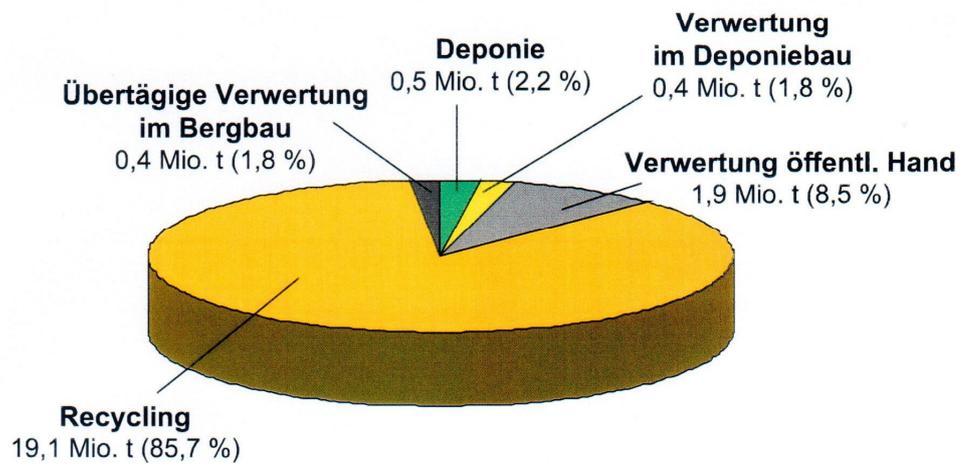
Quelle: Statistisches Bundesamt, Bonn

Anl. 2.1



Anl. 2.2

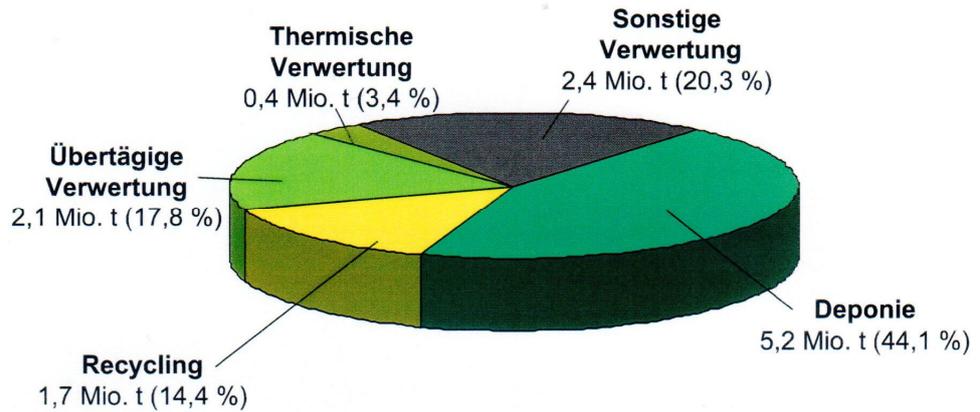
Verwertung und Beseitigung von Straßenaufbruch 2000 22,3 Mio. t (100%)



Anl. 2.3

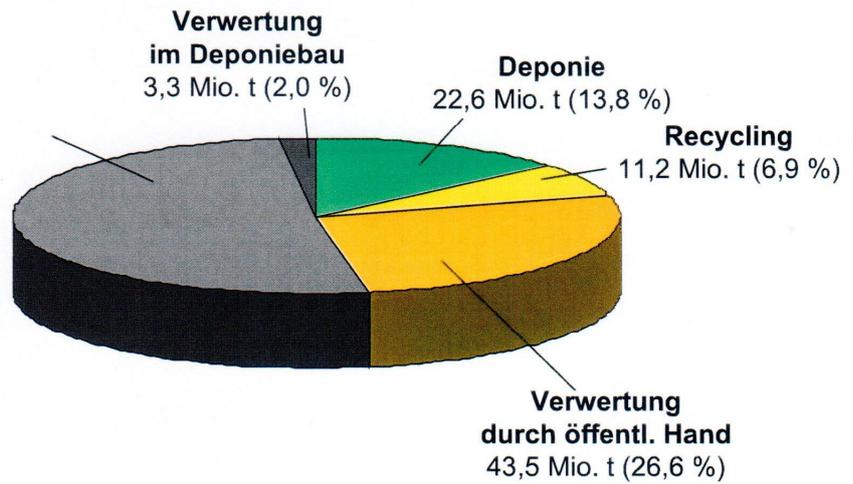
Quelle: Statistisches Bundesamt, Bonn

Verwertung und Beseitigung von Baustellenabfällen 2000 11,8 Mio. t (100%)



Quelle: Statistisches Bundesamt, Bonn

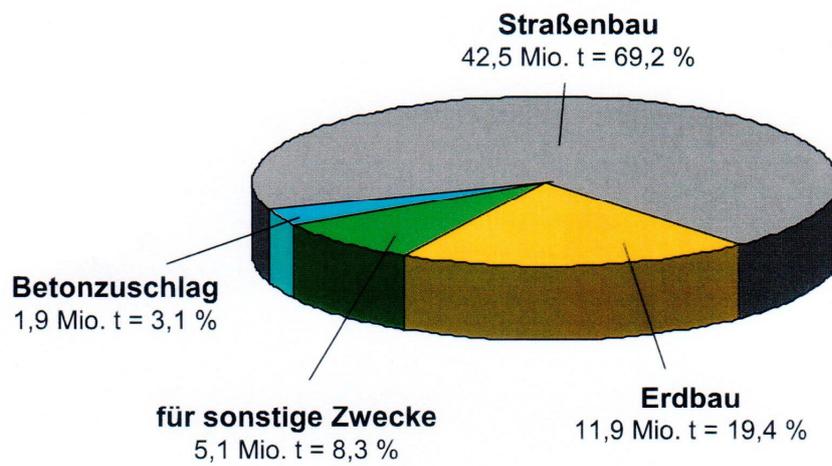
Anl. 2.4



Quelle: Statistisches Bundesamt, Bonn

Anl. 3

RC-Baustoff-Verwendung 2000 Gesamt: 61,4 Mio.t



Quelle: Statistisches Bundesamt, Bonn

Anl. 4

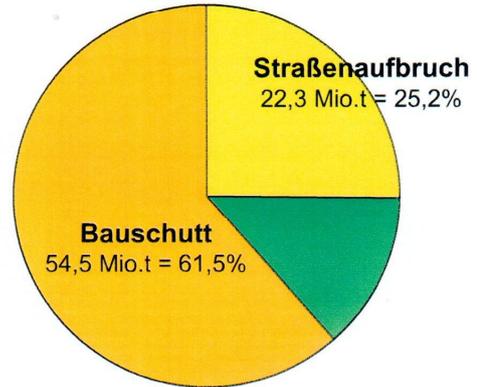
1998
 Gesamt: 77,1 Mio.t

2000
 Gesamt: 88,6 Mio.t

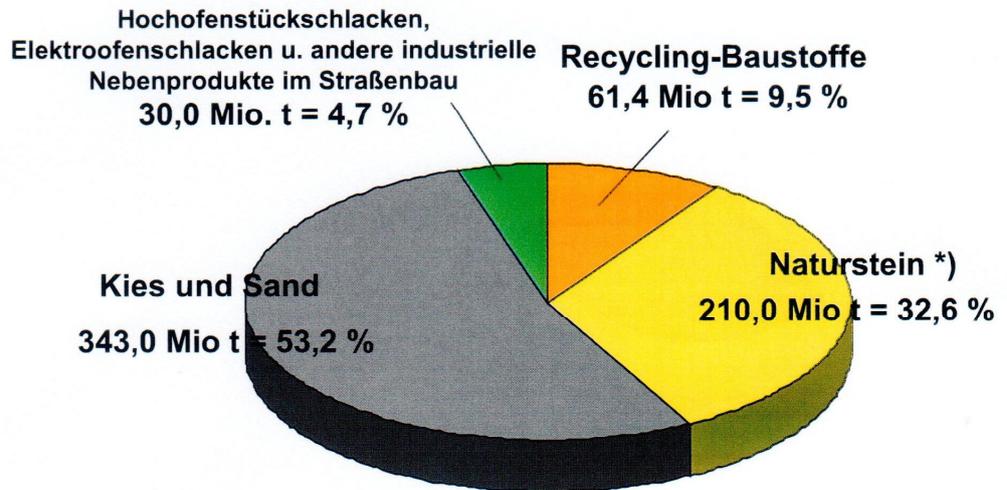
Straßenaufbruch
 14,6 Mio.t = 18,9%

Baustellenabfälle
 4,0 Mio.t = 5,2%

Bauschutt
 58,5 Mio.t = 75,9%



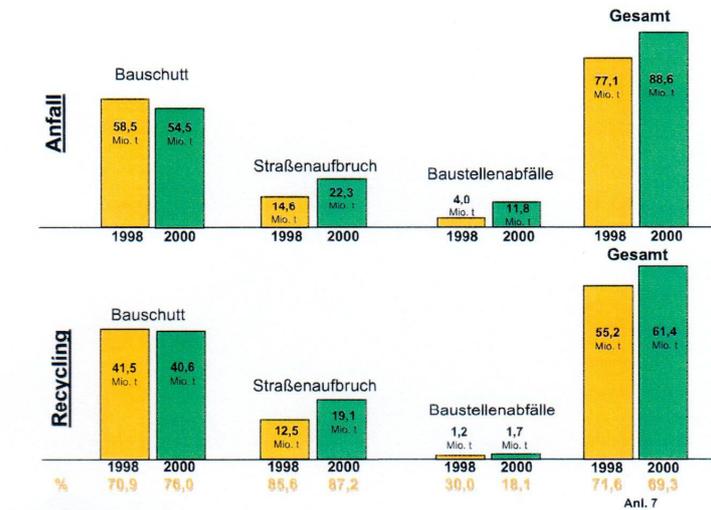
Anl. 5



*) ohne Natursteine zur Herstellung von Zement und Kalk

Anl. 6

Anfall und Verwertung von Baureststoffen 1998 und 2000 im Vergleich



Quelle: Statistisches Bundesamt, Bonn

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen (Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einführung	7
2 Aktuelle Herausforderungen einer nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen	8
3 Deutschlands Rohstoffeinsatz	10
3.1 Rohstoffproduktivität	10
3.2 Ungenutzte Entnahmen	11
3.3 Rohstoffaufwand der Im- und Exporte	11
3.4 Durch Sekundärrohstoffe eingesparte Primärrohstoffe.....	12
3.5 Anthropogenes Lager.....	12
4 Deutsches Ressourceneffizienzprogramm 2012 – 2015	13
4.1 Umsetzungsprozess.....	13
4.2 Ergebnisse	14
4.2.1 Nachhaltige Rohstoffversorgung sichern.....	14
4.2.2 Ressourceneffizienz in der Produktion steigern.....	17
4.2.3 Konsum ressourcenschonend gestalten.....	18
4.2.4 Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ausbauen.....	20
4.2.5 Übergreifende Instrumente nutzen.....	23
5 Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms	26
5.1 Gemeinsame Betrachtung von Materialeffizienz und Energieeffizienz	26
5.2 Schnittstellen zu den anderen natürlichen Ressourcen	28
5.2.1 Wasser.....	28
5.2.2 Luft.....	29

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit vom 3. März 2016 gemäß vom 8. März 2012 (Bundestagsdrucksache 17/8875).

1 Einführung

Zu den natürlichen Ressourcen gehören alle Bestandteile der Natur. Dazu zählen die biotischen und die abiotischen Rohstoffe, der physische Raum (zum Beispiel Fläche), die Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), die strömenden Ressourcen (zum Beispiel Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie alle lebenden Organismen in ihrer Vielfalt.

Die natürlichen Ressourcen sind Voraussetzung zur Erhaltung des aktuellen und zukünftigen Lebens auf unserem Planeten. Viele natürliche Ressourcen stehen jedoch nur begrenzt zur Verfügung. Deshalb ist der Schutz der natürlichen Ressourcen, auch für zukünftige Generationen, von existenzieller Bedeutung.

Die natürlichen Ressourcen nehmen verschiedene Funktionen wahr: Sie können als Quellen für die Herstellung von Produkten und als Senken zur Aufnahme von Emissionen dienen. Darüber hinaus erbringen sie, in ihrem Zusammenspiel als Ökosystem, weitere versorgende, regulierende und kulturelle Leistungen. Die Nutzung der natürlichen Ressourcen muss, auch im Hinblick auf zukünftige Generationen, nachhaltig erfolgen. Dabei gilt: Auch unabhängig von ihrem aktuellen Nutzen für den Menschen und von rein wirtschaftlichen Erwägungen, gibt es eine Verantwortung zum Schutz der Natur und ihrer Bestandteile; sie sind auch auf Grund ihres eigenen Wertes zu erhalten.

Die Steigerung der Ressourceneffizienz soll allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit zu Gute kommen und möglichst ohne Wohlstandseinbußen erreicht werden. Sie soll die Umweltbelastungen reduzieren, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und das Wachstum stärken, neue Arbeitsplätze schaffen und bestehende sichern. Freiwillige Maßnahmen und Anreize spielen dabei eine wichtige Rolle. Bei der Weiterentwicklung und Beobachtung der volkswirtschaftlichen Indikatoren zur Abbildung der Ressourceneffizienz müssen die Rahmenbedingungen des Industrie- und Produktionsstandortes Deutschland mit der erforderlichen Grundstoffindustrie angemessen reflektiert werden.

Das Thema Ressourceneffizienz ist in den letzten Jahren sowohl in Deutschland als auch auf der Ebene der Europäischen Union immer mehr in den Fokus der politischen Diskussion gerückt. Es gewinnt auch international zunehmend an Bedeutung. So haben sich 2015 unter deutschem Vorsitz auch die Mitgliedstaaten der G7 des Themas angenommen, um über Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz zu beraten. Dazu wurde unter anderem die Gründung einer G7-Allianz für Ressourceneffizienz zum freiwilligen Wissensaustausch und zur Netzwerkbildung beschlossen.

Die Bundesregierung stellt sich in diesem Zusammenhang ihrer Verantwortung. Bereits 2002 hat sie in ihrer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel verankert, Deutschlands Rohstoffproduktivität bis 2020 gegenüber 1994 zu verdoppeln. 2012 folgte das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), das dazu beitragen soll, dieses Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie zu erreichen.

Dabei soll der Fokus des Programms aber nicht nur auf der Steigerung der Effizienz liegen, sondern auch darstellen, inwieweit der Einsatz von Rohstoffen, zum Beispiel in Umwelttechnologien, vielfach auch natürliche Ressourcen schützt.

Die Bundesregierung hat mit ProgRess beschlossen, alle vier Jahre über die Entwicklung der Ressourceneffizienz in Deutschland zu berichten, die Fortschritte zu bewerten und das Ressourceneffizienzprogramm fortzuentwickeln. Mit ProgRess II liegt nun der erste dieser Fortschrittsberichte vor.

ProgRess hat bislang die Steigerung der Ressourceneffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette bei der Nutzung abiotischer und biotischer Rohstoffe betrachtet, nicht aber die damit verbundenen Aspekte der Energieeffizienz. Beide Bereiche, Materialeffizienz und Energieeffizienz, sind aber eng miteinander verflochten. Mit ProgRess II sollen deshalb, wo dies sinnvoll ist, verstärkt Energie- und Materialströme gemeinsam betrachtet werden, so dass sie sich gegenseitig unterstützen können.

ProgRess II basiert weiter auf den vier Leitideen von ProgRess I:

- Ökologische Notwendigkeiten mit ökonomischen Chancen, Innovationsorientierung und sozialer Verantwortung verbinden
- Globale Verantwortung als zentrale Orientierung unserer nationalen Ressourcenpolitik sehen
- Wirtschafts- und Produktionsweisen in Deutschland schrittweise von Primärrohstoffen unabhängiger machen, die Kreislaufwirtschaft weiterentwickeln und ausbauen
- Nachhaltige Ressourcennutzung durch gesellschaftliche Orientierung auf qualitatives Wachstum langfristig sichern.

Um diese Leitideen umzusetzen, werden die Indikatoren und Ziele zur Ressourcenschonung aus der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie um weitere Indikatoren und Ziele ergänzt und Gestaltungsansätze aufgezeigt, um die Ressourceneffizienz entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu verbessern. Es geht darum, eine nachhaltige Rohstoffversorgung zu sichern, Ressourceneffizienz in der Produktion zu steigern, Produkte und Konsum ressourcenschonender zu gestalten und eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft auszubauen. Dafür werden Maßnahmen für ressourcenrelevante Handlungsfelder wie Bauen, nachhaltige Stadtentwicklung und Informations- und Kommunikationstechnik in die Wege geleitet sowie übergreifende rechtliche, ökonomische und informatorische Instrumente genutzt.

ProgRess II ist wie ProgRess I ein partizipatives Dokument: 16 Länder sowie 40 Verbände und Institutionen stellen im Anhang ihre eigenen Beiträge zur Ressourceneffizienz in eigener Verantwortung dar. Darüber hinaus wurde im Rahmen von ProgRess II ein Bürgerdialog durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse dieses Dialogs formulierten die Bürgerinnen und Bürger einen Bürgerratschlag, der in den Anhang von ProgRess II aufgenommen wurde.

Mit der Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms wird der von der Bundesregierung unterstützte Prozess in Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft fortgeführt und ausgebaut.

2 Aktuelle Herausforderungen einer nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen

Die Nutzung der natürlichen Ressourcen steigt seit Jahren kontinuierlich. Der weltweite Primärmaterialeinsatz hat sich in den letzten 30 Jahren mehr als verdoppelt. Er stieg von circa 36 Milliarden Tonnen im Jahr 1980 auf rund 78 Milliarden Tonnen im Jahr 2011 an (SERI/WU Vienna 2014). Im Jahr 2050 wird die auf bis zu 10 Milliarden Menschen wachsende Weltbevölkerung schätzungsweise mehr als 140 Milliarden Tonnen Mineralien, Erze, fossile Brennstoffe und Biomasse in Anspruch nehmen, wenn die heute bevorzugten Konsummuster beibehalten werden (UNEP 2011). Besonders bedingt durch die steigende Nachfrage werden weltweit zunehmend Rohstoffvorkommen in Gebieten erschlossen, die besonders sensibel auf menschliche Einflüsse reagieren. Einige Rohstoffe werden zunehmend aus Lagerstätten mit geringer Rohstoffkonzentration, anspruchsvoller Mineralogie oder aus komplexen geologischen Formationen gefördert. Dies kann mit einer energie- und materialintensiven Gewinnung einhergehen, bei der die Umweltauswirkungen der Rohstoffgewinnung überproportional zum Anstieg der Förderung wachsen. Diese Entwicklung kann durch eine Steigerung der Ressourceneffizienz abgemildert werden. Der dafür notwendige Paradigmenwechsel zu einem effizienteren Umgang mit den Ressourcen bedarf der Unterstützung aus Forschung und Entwicklung, Wirtschaft und Politik. Es gilt, eine ausgewogene Balance zwischen dem Kostenaufwand für die Gewinnung, der Aufbereitung, der Umweltbelastung sowie den sozialen und ökonomischen Auswirkungen durch die Gewinnung zu finden.

Bei vielen Zukunftstechniken, die ein Erfolgsfaktor der deutschen Wirtschaft sind, wird die Nachfrage nach derzeit kaum substituierbaren wirtschaftsstrategischen Rohstoffen, deren Fördermenge aufgrund technischer Herausforderungen kurzfristig zum Teil kaum steigerbar ist, stark zunehmen. Hier zeichnen sich potenzielle Preis- und Lieferrisiken ab, die die wirtschaftliche Entwicklung gefährden können. Wie bei den Energierohstoffen gibt es auch bei wichtigen Rohstoffen für die stoffliche Nutzung ausgeprägte geographische Konzentrationen, und teilweise befinden sich die Abbaugebiete in Konfliktregionen. Einige Länder haben bereits begonnen, Reserven strategisch wichtiger Metalle zu bilden, ihren Export zu drosseln oder durch Partnerschaften oder Firmenübernahmen ihren Zugriff auf Rohstoffe in anderen Regionen zu stärken. Auch hier zeigt sich, wie wesentlich die Erhöhung der Ressourceneffizienz zur Minderung von Abhängigkeiten ist.

Mit der Förderung und Aufbereitung von abiotischen Rohstoffen kann in den Abbauländern, abhängig von der eingesetzten Technik, eine Belastung der Trinkwasserressourcen, der Gewässer, der Böden und der Luft mit der Folge von Gesundheitsschäden verbunden sein. Durch hohen Wasser- und Flächenbedarf kann es zu Nutzungskonflikten kommen, die die Lebensgrundlage der lokalen Bevölkerung gefährden.

In Entwicklungs- und Schwellenländern steht der Bergbau häufig im Zusammenhang mit schwerwiegenden Menschenrechtsverletzungen, wie Kinder- und Zwangsarbeit, Landvertreibungen, Zwangsumsiedlungen. Trotz seiner positiven Effekte für die ökonomische Entwicklung kann er auch bei mangelnder Teilhabe zur Zerstörung sozialer Strukturen führen und zur Verarmung der lokalen Bevölkerung beitragen. Die Einhaltung von breit akzeptierten Umwelt- und Sozialstandards bei der Rohstoffgewinnung ist daher Voraussetzung für eine nachhaltige Versorgung der deutschen Industrie mit Rohstoffen.

Mit Blick auf die Verwendung von Biomasse kommt hinzu, dass weltweit Menschen von Hunger und Unterernährung betroffen sind. Rund 60 Prozent der weltweit geernteten Agrarbiomasse wird heutzutage als Futtermittel verwendet, etwa acht Prozent des weiter verwendeten Aufwuchses wird als nachwachsender Roh-

stoff stofflich und energetisch genutzt und nur etwa 32 Prozent des Gesamtaufwuchses dienen als pflanzliche Nahrungsmittel (UBA 2014). Biomasse ist jedoch nicht nur Nahrungs- und Futtermittellieferant, Energieträger oder Industrierohstoff, sondern sie hat auch vielseitige ökologische Funktionen, beispielsweise als Lebensraum und als Kohlenstoffspeicher. Landflächen und andere natürliche Ressourcen für die Produktion von Biomasse geraten durch die steigende Nachfrage nach Agrar- und Forstgütern und durch Umwandlung in Siedlungs- und Infrastrukturfleichen weltweit immer stärker unter Druck. Dazu werden sie, ebenso wie die marinen Ressourcen, durch Eintrag von Schadstoffen belastet. Die ökologischen und sozio-ökonomischen Folgen dieses Nachfragesogs verschärfen vielerorts den kritischen Zustand der globalen Ökosysteme und ihrer produktiven und regulativen Funktion.

Immer deutlicher wird damit die Notwendigkeit einer integrierten Betrachtung der einzelnen Bereiche der Umweltpolitik. Der Schutz des Klimas, der Erhalt der Biodiversität und die nachhaltige Nutzung von natürlichen Ressourcen sind über vielfältige Wechselwirkungen eng miteinander verbunden. Zugleich stellt sich immer schärfer die Frage nach einer gerechten Verteilung der Ressourcen und der Zugänge zu ihnen sowohl innerhalb der heutigen Generationen (intragenerationelle Gerechtigkeit) als auch zwischen den heutigen und künftigen Generationen (intergenerationelle Gerechtigkeit). Darüber hinaus geht es auch darum, durch gutes Regierungshandeln (Good Governance) und gegebenenfalls bi- oder multilaterale Vereinbarungen (zum Beispiel Konventionen, Abkommen, Partnerschaften) die Gefahr von bewaffneten Auseinandersetzungen um Ressourcen zu minimieren.

Eine zeitgemäße und erfolgreiche Politik der Ressourcenschonung muss sich daher vielfältigen Herausforderungen und Fragen stellen. Unsere gelebte Art der Ressourceninanspruchnahme ist nicht weltweit übertragbar. Wir sind deshalb aufgefordert, eine möglichst weitgehende Entkopplung von Ressourceninanspruchnahme und Wirtschaftswachstum anzustreben.

Eine dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung verpflichtete Politik der Ressourceninanspruchnahme muss die Schnittstellen mit anderen Politikfeldern im Blick haben. Neben weiteren Umweltpolitikfeldern, wie Klimaschutz oder der Schutz der biologischen Vielfalt, sind dies Gesellschafts- und Sozialpolitik, Industrie- und Wirtschaftspolitik, Wohnungs- und Baupolitik, Verkehrspolitik, Energiepolitik, Ernährungs-, Agrar-, Wald- und Fischereipolitik und Finanzpolitik. So sollen mögliche unerwünschte Nebeneffekte vermieden, Zielkonflikte frühzeitig erkannt und durch ein besseres Zusammenwirken der einzelnen Politiken Synergien erschlossen werden. Ressourcenpolitik soll sich außerdem flexibel und initiativ an laufenden europäischen und internationalen Prozessen beteiligen.

Perspektivisch geht es auch darum, mit ProgRess II die Entwicklung einer globalen gesellschaftlichen Kultur zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen zu unterstützen. Neben einer Stärkung der nachhaltigen Effizienzkultur und der Steigerung der Resilienz unserer Wirtschaft hat die Ressourcenpolitik auch eine größere Konsistenz, das heißt Naturverträglichkeit der Stoffströme, zum Ziel.

Bei all diesen Herausforderungen kommt sowohl der Forschung als auch ihrer Umsetzung in die Praxis eine ganz besondere Bedeutung zu. Hier sind alle Säulen der deutschen Forschungslandschaft gefordert. Die angewandte Forschung mit ihrer Verzahnung zur Praxis hat hier eine hervorgehobene Rolle. Auch eine frühzeitige Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis in Forschungsprojekten ist entscheidend dafür, dass Forschungsergebnisse in das Handeln von Politik, Wirtschaft, Verwaltung und anderen Akteuren einfließen können.

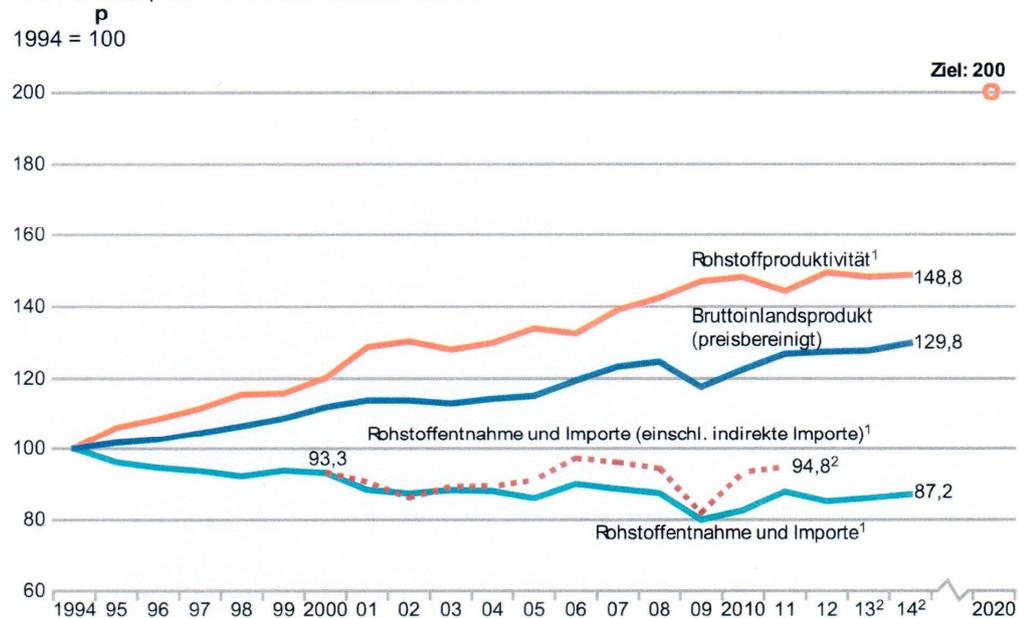
3 Deutschlands Rohstoffeinsatz

3.1 Rohstoffproduktivität

In der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie hat die Bundesregierung 2002 das Ziel festgelegt, die Rohstoffproduktivität (bezogen auf 1994) bis zum Jahr 2020 zu verdoppeln.

Die Rohstoffproduktivität drückt aus, wie viel Bruttoinlandsprodukt (BIP) je eingesetzter Tonne an abiotischem Primärmaterial erwirtschaftet wird. Im Gegensatz zu biotischen Rohstoffen etwa aus Fischerei, Land- und Forstwirtschaft werden abiotische Rohstoffe nicht aus Pflanzen oder Tieren gewonnen. Zum abiotischen Primärmaterial zählen heimische Rohstoffe wie Braunkohle und Baumineralien und alle importierten abiotischen Materialien (Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren). Abbildung 1 stellt die Entwicklung der Rohstoffproduktivität zwischen 1994 und 2014 (vorläufiges Ergebnis) dar. Die Rohstoffproduktivität erhöhte sich in diesem Zeitraum um 48,8 Prozent.

Abb. 1: Rohstoffproduktivität und Wirtschaftswachstum



1 Abiotisch. 2 Vorläufige Daten, Rechenstand: November 2015.

Quelle: Statistisches Bundesamt 2016

Der Anstieg der Rohstoffproduktivität zwischen 1994 und 2014 (vorläufiges Ergebnis) ist vor allem darauf zurückzuführen, dass 252 Millionen Tonnen weniger Baurohstoffe eingesetzt wurden (31,1 Prozent). Demgegenüber wurden 3,8 Prozent mehr fossile Energieträger sowie rund 48 Prozent mehr Erze und Erzeugnisse eingesetzt (circa 42 Millionen Tonnen). Die insgesamt rückläufigen Materialeinsätze (minus 12,8 Prozent) führten bei gestiegenem Bruttoinlandsprodukt (plus 29,8 Prozent) zu dem dargestellten Produktivitätsanstieg.

Auch wenn das Wirtschaftswachstum vom Rohstoffeinsatz entkoppelt wurde und sich die Rohstoffproduktivität insgesamt in die angestrebte Richtung entwickelt, würde das bisherige Tempo jedoch nicht ausreichen, um das Ziel der Bundesregierung zu erreichen. Bei einer Fortsetzung der Entwicklung der letzten fünf Jahre würde der Indikator im Zieljahr 2020 nur rund 50 Prozent des Zielwertes erreichen.

Wie sich die Rohstoffproduktivität entwickelt, hängt auch davon ab, wie viel abiotisches Material importiert wird (sogenannte direkte Importe). Der Anteil der importierten Güter am gesamten Primärmaterialeinsatz erhöhte sich zwischen 1994 und 2014 von 26 auf 39 Prozent. Getrieben wurde dieser Anstieg insbesondere

von Importzuwächsen bei den metallischen Halb- und Fertigwaren (plus 101 Prozent) sowie fossilen Energieträgern (plus 43 Prozent).

Diese Entwicklung gab Anlass, dem Rohstoffindikator eine zusätzliche Information zur Seite zu stellen, die ergänzend zur Rohstoffentnahme in Deutschland und zu den direkten Importen auch die „indirekten Importe“ enthält (s. auch Kap. 3.3). Die direkten und indirekten Importe zusammen umfassen alle Rohstoffe, die bei der Herstellung der deutschen Importgüter im Ausland verwendet wurden (beispielsweise Erze zur Herstellung von Maschinen oder die Energieträger bei der Produktion von Stahl). 2011 wurden rund 616 Millionen Tonnen Güter (biotische wie auch abiotische) direkt importiert. Um sie herzustellen, wurden im Ausland rund 1.700 Millionen Tonnen Rohstoffe eingesetzt, davon rund 1.500 Millionen Tonnen abiotische. Der abiotische Rohstoffeinsatz als Summe der inländischen Rohstoffentnahme und der Importe einschließlich der indirekten Importe ist zwischen 2000 und 2011 um circa 1,7 Prozent angestiegen. Der abiotische Primärmaterialeinsatz, der die indirekten Importe nicht enthält, verringerte sich dementsprechend im gleichen Zeitraum um circa 5,3 Prozent (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015a und 2016).

3.2 Ungenutzte Entnahmen

Mit der Förderung und dem Einsatz von Rohstoffen fallen Abraum, Bergematerial oder Bodenaushub an. Diese Materialien werden als „ungenutzte Entnahmen“ bezeichnet, da sie nicht direkt Eingang in Produktionsprozesse finden. Gleichwohl werden diese Materialien weiter verwendet. So wird zum Beispiel der Abraum unmittelbar nach seiner Entnahme gleich wieder zwecks Renaturierung an anderer Stelle des Tagebaus eingesetzt. Auch Bergematerial wird wirtschaftlich als Baustoff zum Beispiel im Straßenbau genutzt oder durch gezielte Aufschüttungen und Konstruktionen von Landschaftsbauwerken als Renaturierungsmaßnahme verwendet. Die im Inland anfallenden ungenutzten Entnahmen lagen 2013 bei circa zwei Milliarden Tonnen. Zwischen 1994 und 2013 ist in Deutschland die Menge an ungenutzten Entnahmen um rund 14 Prozent gesunken (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015b).

3.3 Rohstoffaufwand der Im- und Exporte

Von 2000 bis 2010 wuchs die Masse der nach Deutschland importierten Güter um 14 Prozent, die der Fertigwarenimporte sogar um 36 Prozent. Mit dem zunehmenden Import von Fertigwaren werden rohstoffintensive Herstellungsprozesse mitsamt den meist erheblichen Umwelteinwirkungen verstärkt ins Ausland verlagert.

Auch die Exporte sind in diesem Zeitraum deutlich angestiegen (plus 26 Prozent), wobei Deutschland vor allem Fertigwaren exportierte. Die steigenden Anteile von Fertigwaren im Außenhandel spiegeln die zunehmende internationale Arbeitsteilung wider.

Im Gewicht der ein- und ausgeführten Halb- und Fertigwaren findet sich in der Regel nur ein Bruchteil der zu ihrer Herstellung eingesetzten Rohstoffe wieder. Daher werden den Gütern sogenannte „Rohstoffäquivalente“ zugerechnet. Sie erfassen alle genutzten direkten und indirekten Rohstoffeinsätze der im- und exportierten Güter.

Im Mittel ergibt sich pro Tonne an direktem Import ein Rohstoffäquivalent von circa drei Tonnen. Bei den exportierten Gütern sind es sogar rund vier Tonnen, da die deutschen Exporte im Durchschnitt eine höhere Fertigungstiefe aufweisen.

Als Messgröße für den Primärrohstoffeinsatz wird der sogenannte RMI (Raw Material Input) verwendet. Er umfasst die im Inland genutzte Rohstoffentnahme sowie die Importe in Rohstoffäquivalenten. Der RMI lag in Deutschland im Jahr 2010 bei 2,72 Milliarden Tonnen. Davon entfielen 826 Millionen Tonnen auf Erze, 755 Millionen Tonnen auf fossile Energieträger, 587 Millionen Tonnen auf Baumineralien, 431 Millionen Tonnen auf Biomasse und 117 Millionen Tonnen auf Industriemineralien. Mehr als 54 Prozent der Rohstoffäquivalente (1,48 Milliarden Tonnen) wurden für den Export aufgebracht. Der Rest von 1,24 Milliarden Tonnen ist einer inländischen Verwendung zuzuschreiben (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015b).

Diese Größe wird als Raw Material Consumption (RMC) bezeichnet und bildet den Bedarf an Primärrohstoffen für inländischen Konsum und inländische Investitionen ab.

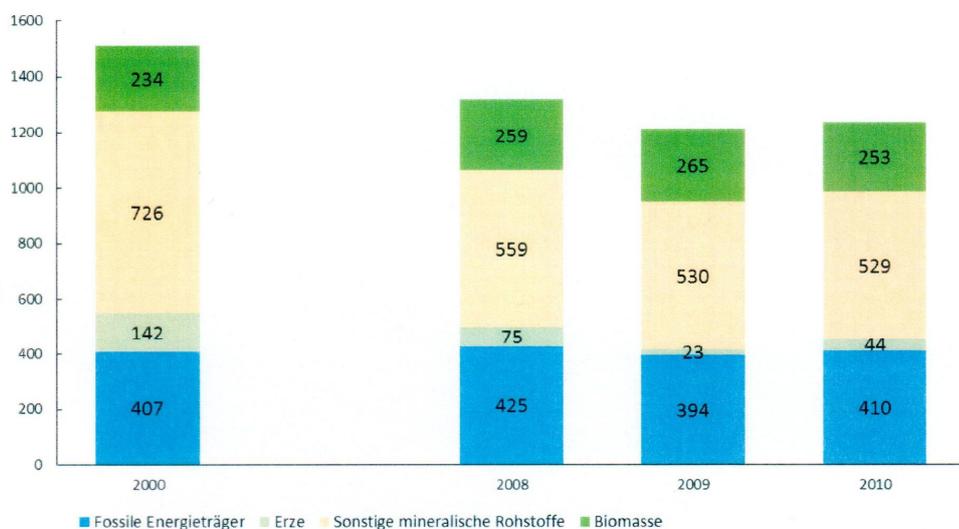
Der Rohstoffbedarf für den Konsum der privaten Haushalte und des Staates belief sich im Jahr 2010 auf circa 777 Millionen Tonnen, der der Investitionen auf rund 674 Millionen Tonnen. Beim Konsum dominiert der Verbrauch von Primärenergieträgern und von Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft, bei den Investitionen sind es die Baumineralien (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015b).

Der RMC ging von 2000 bis zum Jahr 2010 um circa 18 Prozent zurück. Vergleicht man die Entwicklung des RMI und des RMC, so zeigt sich ein deutlicher Unterschied, denn der RMI stieg zwischen 2000 und 2010 um

etwa drei Prozent. Das Absinken des RMC ist darauf zurückzuführen, dass in diesem Zeitraum die Exporte in Rohstoffäquivalenten deutlich stärker angewachsen sind als die Importe. Auch Effizienzsteigerungen und Innovations sprünge in der Industrie tragen zu dieser positiven Entwicklung bei. Ein Beispiel dafür ist der sinkende Einsatz von Erzen bei der Stahlgewinnung aufgrund der Substitution von Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe.

Abbildung 2 stellt die Entwicklung des RMC für Deutschland dar. Der RMC sank in Deutschland zwischen 2000 und 2010 von circa 1509 auf 1236 Millionen Tonnen.

Abb. 2: Entwicklung des RMC in Millionen Tonnen von 2000 bis 2010



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2014

3.4 Durch Sekundärrohstoffe eingesparte Primärrohstoffe

Vom deutschen Abfallaufkommen von netto rund 339 Millionen Tonnen (2013) wurden inklusive gefährlicher Abfälle 78 Prozent (rund 264 Millionen Tonnen) energetisch oder stofflich verwertet. Der Einsatz solcher Sekundärrohstoffe spart Primärrohstoffe ein. So kommen Modellrechnungen beispielsweise zu dem Ergebnis, dass die Verwertung von Abfällen und Produktionsrückständen bei Stahl, Kupfer, Gold und Kunststoffen 49,5 Millionen Tonnen abiotische Primärmaterialien im Jahr 2007 eingespart hat. In Rohstoffäquivalenten, das heißt unter Einbeziehung der Vorketten im Ausland, entspricht dies einer Einsparung von 242 Millionen Tonnen Primärrohstoffen und damit circa acht Prozent des RMI (UBA 2012c).

Bei der Entwicklung geeigneter Recyclingstrategien für bestimmte Metalle gilt es zu beachten, dass eine Verringerung der Primärrohstoffgewinnung nicht zu Knappheiten bei anderen Metallen führt, die als Koppelprodukt bei der Primärrohstoffgewinnung gewonnen werden und bisher noch nicht im ausreichenden Maße in den bestehenden Stoffströmen vorhanden sind.

3.5 Anthropogenes Lager

Die Zuflüsse aus Importen und inländisch extrahierten Rohstoffen in das sogenannte „anthropogene Lager“, also Materiallagerstätten menschlichen Ursprungs (zum Beispiel Gebäude, Infrastruktur, etc.), übersteigen in großem Maße die Abflüsse in Exporte und Abgaben an die Umwelt. Werden diese Inputs und Outputs saldiert, so ergibt sich in Deutschland ein jährlicher Bestandszuwachs im Umfang von circa 0,82 Milliarden Tonnen an Material (2010), circa 10 Tonnen pro Jahr und Einwohner/-in. Auf diese Weise haben sich allein in einem halben Jahrhundert (von 1960 bis 2010) schätzungsweise bis zu 42 Milliarden Tonnen Material im anthropogenen Lager angesammelt. Nicht alles davon lässt sich in bekannten Gütergruppen verorten. Circa 28 Milliarden Tonnen Material entfallen auf Gebäude, Infrastrukturen, Haustechnik sowie langlebige Kapital-

Resümee

Dietrich Balzer, Frieder Sieber

Auf dem Gebiet der wissensbasierten Kreislaufwirtschaft hat das LIFIS gemeinsam mit seinen Kooperationspartnern hier folgernde Forschungs- und Kundenprojekte durchgeführt:

1. Projektierung und Steuerung von Horizontalfermentern

Es handelt sich hier um ein neues System mit verteilten Parametern zur Herstellung von Biogas aus organischen Rest- und Abfallstoffen. Durch interne Stoffrückführungen wird die Anzahl der Konstruktions- und Steuergrößen wesentlich erhöht.

2. Automatisiertes Verfahren zur Herstellung von Dieselöl aus organischen Abfall- und Reststoffen

Zentraler Gedanke dieses Projektes ist die Herstellung von Kohlenwasserstoff(Diesel) einmal durch Polymerisation biogener Abfälle (Zellulose) sowie durch Depolymerisation hochkalorischer Abfälle (Kunststoffe). Diese Reaktionen finden in einer Turbine statt. In einer Destillationskolonne erfolgt die die Auftrennung des Kohlenwasserstoffgemisches in einzelne Fraktionen.

3. Projektierung und Steuerung dezentraler, mobiler und energieautarker Biogasanlagen

Die Ausgangstoffe für die Produktion von Biogas werden an mehreren örtlich verteilten Punkten gesammelt. Die Biogasanlagen sind mobil und werden unter Nutzung virtueller Automatisierungssysteme gesteuert. Dabei wird Funkkommunikation verwendet. Dabei spielen Echtzeitfähigkeit und Funktionssicherheit eine zentrale Rolle.

4. Erzeugung von Agrosubstrat aus Klär- und Gärresten

Es werden folgende Produkte aus Klär- und Gärresten erzeugt:

- organisch-biologischer Dünger mit verbesserten Eigenschaften (hoher Nährstoffgehalt, bessere Wasserspeicherung im Boden, langsame pflanzenverfügbare Nährstoffabgabe, Verbesserung der Bodenstruktur u.a.)
- Organischer Brennstoff, der geeignet ist für Pelletheizungen und industrielle Brennwertechnik

5. Umwandlung von Niedertemperaturrestwärme in elektrischen Strom

Es können in der Stromerzeugungsanlage Abwärmeströme mit einer Temperatur ab 60 Grad verwendet werden. Das Abwärmemedium wird in einen Wärmeüberträger geleitet, in dem die angesaugte Außenluft aufgeheizt wird. Ein Rotationskolbendruckluftmotor, ein Rotationskolbenverdichter und ein Generator befinden sich auf einer Welle, wodurch Strom erzeugt wird. Der den Wärmeüberträger verlassende Abwärmestrom wird in die nächste Stromerzeugungsanlage geleitet, wodurch eine Reihenschaltung von Stromerzeugungsanlagen entsteht.

Die methodischen Grundlagen der Projektarbeit waren und sind:

- allgemeine Technologie,
- Interdisziplinarität,
- Koordinierung von Innovationstechnologien,
- spezialisierte TRIZ für das Verfahreningenieurwesen.

Die durchgeführten Projekte leisteten wesentliche Beiträge zur Wissenschaftsentwicklung.

Ein derartiger Beitrag besteht darin, dass das Problem der Vektoroptimierung praktisch gelöst wurde. Der Widerspruch zwischen der Lösung einer komplexen Optimierungsaufgabe mit mehreren Zielfunktionen und den Lösungen der einzelnen Optimierungsaufgaben mit einer Zielfunktion wurde dadurch beseitigt, dass Wichtungskoeffizienten in Kombination mit Methoden der Kommunikationswissenschaften eingesetzt wurden.

Ein weiterer leistete vornehmlich die Schaffung der neuen Wissenschaftsdisziplin „Biosystemverfahrenstechnik“. Der wesentliche Inhalt der Biosystemverfahrenstechnik ist die Integration von Systemtheorie und biotechnologischem Prozesswissen. Dabei kommt es darauf an, mathematische und informationstechnologische Techniken mit biotechnischen Stoffumwandlungen zu verknüpfen.

Als zukünftiges Vorhaben wurde ein internationales Innovations- und Bildungszentrum „**Wissensbasierte Kreislaufwirtschaft**“ konzipiert.

Die nationalen und internationalen Partner dieses Zentrums wurden im Vorwort bereits dargestellt. Der Inhalt dieses Zentrums ist die Weiterführung der Projektarbeit des LIFIS und zweitens die Aus- und Weiterbildung.

Bei der Planung und Durchführung der Aus- und Weiterbildung gehen wir unter Nutzung unserer jahrelangen Erfahrungen von folgenden Grundprinzipien aus:

- Die Ausbildung erfolgt in Einheit von Lehre, Forschung und Praxis. Die Studenten werden in Forschungsprojekte der Industrie integriert, die mit dem Studieninhalt korrespondieren. Diese Forschungsprojekte sind inhaltlich und organisatorisch zum großen Teil Bestandteil der bereits genannten Kooperationsnetzwerke.
- Während des Studiums werden Praktika in führenden Unternehmen in Europa durchgeführt.
- Studienvoraussetzungen sind Grundkenntnisse in Mathematik, Physik, Chemie, Ökonomie,
- Die Ausbildung umfasst Vorlesungen und Seminare.

Für die Realisierung dieser Grundprinzipien wird eine internationale Universität für Kreislaufwirtschaft vorbereitet und gegründet, unter Nutzung der Erfahrungen in Deutschland und in den Ländern der Kooperationspartner.

In der Lehr- und Forschungstätigkeit werden die Ergebnisse und Erfahrungen des LIFIS genutzt. Mitglieder des LIFIS werden in den Lehrkörper integriert. Die Studenten sind in den Forschungs- und Kundenprojekten des LIFIS tätig. Es wird eine spezielle Lehrveranstaltung „Projektmanagement“ eingeführt.

Vita der Autoren

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 Prozessrechentchnik 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.

Frieder Sieber

Curriculum Vitae

Frieder Sieber, Jahrgang 1943, ist verheiratet mit der Gutachterin für Bauwesen Dr. Ursula Schaarschmidt. Er hat eine Tochter und zwei Söhne. Familiär ist er verpflichtend verbunden mit seinem älteren Bruder, Pfarrer Rolf Sieber.

Frieder Sieber erwarb das Abitur auf dem Abendgymnasium. Von 1959 bis 1962 erlernte er den Beruf des Bauzeichners bei der Wasserwirtschaft Chemnitz. Anschließend studierte er an der TU Dresden Bauingenieurwesen / Wasserwirtschaft. In dieser Zeit erfolgte eine zweijährige Tätigkeit als Hilfsassistent am Lehrstuhl Gruner in Geologie

und zweieinhalb Jahre Hilfsassistent im Bereich Grundwasserhydraulik.

Die Bauingenieurausbildung war geprägt von Zumpe und Bürgermeister.

1982 erwarb er die facultas docteri an der Technischen Hochschule Leipzig

und habilitierte 1994 an der Bauuniversität St. Petersburg.

1970 erfolgte eine Tätigkeit in der Lausitz Rationalisierung Braunkohle und der Mitarbeit am Tagebau „Jänschwalde“.

Anschließend begann die Arbeitsaufnahme im Ingenieur Tief- und Verkehrsbaukombinat Karl-Marx-Stadt. Beginnend 1971 bis 1990 als Entwicklungsingenieur, Hauptabteilungsleiter, Betriebsdirektor sowie ab 1985 als Kombinatdirektor.

Das Kombinat mit 12 Betrieben, 6000 Mitarbeitern war mit Schwerpunkt Tunnelbau sowohl in Berlin als auch in der Ukraine und der Sowjetunion tätig.

Bereits seit 1972 ist Sieber in Arbeitsgruppen und Projekten der Bauakademie der DDR eingebunden. Zunächst bei Wölfel, später bei Bosold und Sperling.

Auf Grund dieser Tätigkeit wurde Sieber durch den Präsidenten der Bauakademie zum 15.02.1990 als Direktor des Institutes für Ingenieur Tiefbau Leipzig in der Nachfolge von Wolfgang Rattey verpflichtet.

Da die Bauakademie im Rahmen der Deutschen Einheit aufgelöst wurde, konnte dieser Vertrag nicht realisiert werden.

1990 bis 1991 arbeitete er als Geschäftsführer bei Züblin AG, die die wesentlichen Teile des Kombinat übernahm.

Danach gründete er eine selbständige Unternehmensgruppe für Bau, Planung und Ausbildung. Er dozierte an verschiedenen Hochschulen.

Mitte der 1990-er Jahre habilitierte er an der Universität für Architektur und

Bauwesen St. Petersburg, von der er bereits 1993 den Ehrendokortitel für sein nationales und internationales Engagement erhielt.

Von 1997 bis 2007 erhielt er Honorarprofessuren in Sofia und Moskau.

Beide Universitäten verliehen ihm die Ehrendoktorwürde.

Als ehemaliger langjähriger Präsident des Sächsischen Bauindustrieverbandes und Vizepräsident der Vereinigung der Sächsischen Wirtschaft sowie als Verfasser wichtiger Grundlagen- und Hochschulliteratur ist er heute ein national und international gefragter Dozent auf dem Gebiet des Bauwesens, so u.a. in Berlin, Sofia, St. Petersburg, Moskau, USA und China.

2009 wurde er zum Mitglied der Leibniz-Sozietät gewählt.