
Methodisches Entwerfen integrierter Energiesysteme

Herbert Müller

*Fachbereich Maschinenbau, Verfahrens- und Umwelttechnik,
Hochschule Wismar - University of Technology, Business and Design
Philipp-Müller-Straße 21, D-23952 Wismar, Deutschland*

In Zukunft werden vom Ingenieur zunehmend *intelligente* Lösungen verlangt, also solche mit hoher Effizienz des Stoff- und Energieeinsatzes bei ökologischer Unbedenklichkeit. Dieses Ziel ist ohne eine höhere (technische!) Verknüpfung sonst isoliert ablaufender Prozesse nicht zu erreichen. Derartige *integrierte* Systeme sind insbesondere auf dem Energiesektor sehr effizient, aber bisher nur sporadisch entwickelt, keineswegs in der erforderlichen Breite. Diese Lücke zu schließen ist eine Aufgabe, der sich insbesondere die Ingenieurausbildung stellen muss, indem sie das Entwerfen solcher Systeme auf wissenschaftlich begründeter, methodischer Basis bereits im Ausbildungsprozess vermittelt. Im Beitrag wird gezeigt, wie eine solche Methodik beschaffen sein muss, wo der Schwerpunkt für die Ausbildung und für den in der Praxis tätigen Ingenieur liegt und welcher Stand im Bemühen, diese Aufgaben zu erfüllen, bisher erreicht wurde.

EINLEITUNG

Der Zugang zur Thematik ergibt sich unmittelbar aus 2 Prämissen:

Erst: alles Seiende, also auch die Technik als die *zweite* (weil künstliche) Natur ist qualitativ und quantitativ bestimmt. Der für die Technik Zuständige, der Ingenieur, muss also technische Systeme *so* entwickeln, dass beide Bestimmungen ihre Erfüllung erhalten. Analysiert man vor diesem Hintergrund die Ingenieurausbildung, wird deutlich, dass traditionell:

- Die Quantifizierung gegebener Strukturen - nämlich das Berechnen und Bemessen – auf der Grundlage der methodisch dafür aufbereiteten Naturgesetze im Vordergrund steht;
- Das Finden dieser zu bemessenden Strukturen aber gewöhnlich sporadisch-intuitiv erfolgt, üblicherweise erlernt aus Beispielen, aber nicht auf einer Methodik vergleichbar ausgerichtete Naturgesetze basierend.

Diese Disproportion ist dann unerheblich, wenn der junge Ingenieur Zeit hat, durch viele Beispiele in der Praxis unter Anleitung erfahrener Kollegen das Finden funktionserfüllender Strukturen zu erlernen. Dieser Zustand ist aber heutzutage selten, objektiv bedingt durch die Ausweitung der Technik und die

Beschleunigung ihrer Entwicklung und subjektiv bedingt durch die unsinnige Frühverrentung älterer Erfahrungsträger.

Die Ingenieurausbildung muss sich also der Behebung dieser Disproportion stellen, beginnend im Direktstudium, verstärkt sicher aber in der postgradualen Ausbildung.

In der klassischen Maschinenkonstruktion wurde diese Disproportion zuerst erkannt, ihrer Behebung diente die Entwicklung der Konstruktionswissenschaft (verbunden mit den Namen *Kesselring, Hansen, J. Müller, Polovinkin, Pahl, Beitz, Koller*) sowie der Erfindungsmethodik (verbunden mit den Namen *Altschuller, Herrlich* resp. der sog. TRIZ-Methodik) [1-6].

Im Bereich der Verfahrenstechnik (einschließlich der Energieverfahrenstechnik) fehlte lange eine analoge Entwicklung, BLASS schloss für die Verfahrenstechnik als erster diese Lücke [1][2][7].

Zwei: die Autoren Hennecke/Müller machen in ihrem Buch *Weltmacht Energie* drastisch deutlich, dass es bezüglich des Energieeinsatzes auf der Welt bereits *Eins vor Zwölf* ist und mit einem an intelligenten Lösungen orientierten Energiesparen endlich Ernst gemacht werden muss [8]. Aus technikphilosophischen Prämissen heraus gibt es – von trivialen Fällen also abgesehen – für das höherwertige (*intelligente*) Energiesparen zwei grundsätzliche Wege:

- Die Nutzung neuer oder bisher nicht angewandter natur- wissenschaftlicher Wirkprinzipie resp. Natürlicher Phänomene;
- Die Integration als das nutzenorientierte, wirkungsbehaftete Zusammenbringen von sonst isoliert Genutztem.

Der zweite Weg ist dadurch gekennzeichnet, dass die zum neuen System zu koppelnden Elemente *potentiell* alle bekannt sind. Trotzdem handelt es sich um eine Ingenieuraufgabe ersten Ranges, da die *aktuell* zu koppelnden Partner erst einmal gefunden, richtiger: ausgewählt werden müssen. Analysiert man vor diesem Hintergrund die Praxis, entstehen integrierte Systeme oft sporadisch-intuitiv, selten systematisch-gezielt gewollt und ganz sicher nicht in der erforderlichen Breite. Dieser künftig nötige Zwang zur Breite erfordert deshalb zunächst das Lehren eines systematisch orientierten *Aufbaus* integrierter Systeme auf dem Energiesektor im Ausbildungsprozess und nachfolgend methodische Unterstützung bei Entwicklungsaufgaben der Praxis.

Rationalisierungseffekte, also z.B. Material- oder Energieeinsparungen, durch Integration sind insbesondere dann zu erwarten, wenn die Träger der Wirkungsflüsse in den zu koppelnden verfahrenstechnischen Teilsystemen gleich oder ineinander umwandelbar sind, weil dann die Vielfalt der Verknüpfungsmöglichkeiten das Finden einer optimalen Lösung sehr erschwert. Diese Bedingung ist für Energiesysteme erfüllt, da sich Energieformen ineinander umwandeln lassen (wenn auch durch die Maßgaben des II. Hauptsatzes der Thermodynamik diktiert!). Dieser Umstand ist nicht nur bei reinen energietechnischen Systemen zu beachten, sondern gleichermaßen bei solchen der thermischen Verfahrenstechnik, da dort sehr oft die Energiekosten aus wirtschaftlicher Sicht dominierend sind!

Nunmehr gilt: Für den Chemie- oder Energieanlagenentwickler ist seit jeher eine Arbeitsweise typisch, die im Bereich der Maschinenkonstruktion als *projektierende* oder *wiederverwendende* Arbeitsweise bekannt ist, indem der Anlagenplaner entsprechend der Funktion der Anlagenelemente die zugehörigen Maschinen/Apparate/Geräte aus entsprechenden Dateien (im einfachsten Fall: Katalogen) auswählt. Ein methodisch-systematisches Entwickeln integrierter Energiesysteme muss es daher erlauben, die *funktionelle* Struktur des ganzen integrierten Systems vorausschauend zu komponieren und danach möglichst ganze Teilstrukturen durch Rückgriff auf bekannte, ausgeführte Lösungen wiederverwendend zu konkretisieren.

Für die Lehre energietechnischer Teilgebiete speziell bedeutet das, dass für alle diese Teilgebiete eine einheitliche, vernetzbare Methodik gefunden werden muss, da sonst z.B. die energetische Vernetzung thermisch-verfahrenstechnischer Prozesse mit solchen z.B. der Kraftwerkstechnik, Kühltechnik oder Gebäudetechnik gar nicht abbildbar und damit *manipulierbar* (einschließlich *optimierbar!*) wäre.

Diesem Anspruch wird eine im Auftrag des BMBF und mit Unterstützung des VDI in den vergangenen Jahren entwickelte Methodik unter der Bezeichnung *Konzipieren integrierter Energiesysteme mit der Funktionsstrukturanalyse* gerecht, bei der die *Datenbank* z.Z. als manuell nutzbarer funktionsorientierter Katalog zu zugehörigen Realisierungslösungen vorliegt. Physikalisch-systemtheoretische Grundlage ist ein mittels des II. Hauptsatzes der Thermodynamik präzisiertes Black-Box-Modell der Vorgänge bei Energieumwandlungen, wodurch einerseits die Besonderheiten der Energie beachtet und andererseits (über die In- und Outputs) die Verknüpfbarkeit der Elemente darstellbar wird.

Der bisherige Erkenntnisstand liegt vor:

- In einer (von der HS Wismar erarbeiteten) Infoschrift der VDI-Gesellschaft Energietechnik [9];
- In einer *den Umgang mit der Methodik schildernden Kurzfassung* in der Zeitschrift BWK [10];
- In einer die *system- und erkenntnistheoretischen Prämissen* beleuchtenden Darstellung in der Zeitschrift *Forschung im Ingenieurwesen* [11].

Im folgenden soll die Methodik aus der Sicht der Vermittlung in Lehrprozessen dargestellt werden.

PRÄMISSEN DER METHODIK

Jede Methodik muss den Weg von der Aufgabe zur Lösung aufzeigen. Weil erst dann etwas quantifiziert werden kann, wenn man dieses Etwas kennt, es also qualitativ bestimmt ist, ist dieser Weg immer 2-stufig (Stufe I und II). Abbildung 1 zeigt das schematisch für Energieprozesse.

Außerdem ist beim technischen Entwickeln i.allg. die Funktion vorgegeben und die funktionserfüllende Struktur wird – zumindest abstrahiert in Prinzip form - gesucht; es müssen folglich zwischen Aufgabe und Lösung mindestens $2 \times 2 = 4$ Zwischenzustände liegen.

Das eingezeichnete Beispiel zeigt aber noch mehr:

1. Die normale Thermodynamik-Ausbildung gibt z.B. bei der Besprechung des Dampfkraftprozesses das Schaltbild vor, das dann thermodynamisch analysiert wird, um den Prozess berechnen zu können. Und Schaltbilder sind Prinzipstrukturen, entsprechen also bereits dem *zweiten* Zwischen-zustand! Die zugehörige übliche Anforderung der Praxis (also *Funktion!*) lautet aber: Gewinnung von Arbeit aus durch Verbrennung freigesetzter Wärme, deshalb *Kraftprozess*, dessen Durchführung mittels eines Dampfprozesses bereits eine Einschränkung der Allgemeinheit darstellt. Dem Verfahrens-Schaltbild ist also eine Funktionsbeschreibung, am besten in Form einer *Funktionsstruktur*, vorzuschalten, die bei geringer Darstellungsschärfe (z.B. durch *Kästchenmalerei* mit verbal formulierten Inhalten) den zugehörigen Lösungsumfang (allgemein: Suchraumumfang) nicht von vornherein verringert;
2. Für das Berechnen und Bemessen technischer Objekte ist der Umgang mit sog. ingenieurtechnischen Diagrammen seit jeher ein Ausbildungsschwerpunkt. Der in Bild 1 im Kraftwerksbeispiel eingezeichnete Clausius-Rankine-Prozess

zeigt, warum: Die Diagramme erlauben es, die funktionsrelevanten Vorgänge in den Teilapparaten größenmäßig so zu bestimmen, dass die für Stufe II geforderten Quantifizierungen möglich werden. Prozessdarstellungen in ingenieurtechnischen Diagrammen sind deshalb Funktionsstrukturen der Stufe II.

Weil das (gedankliche) Entwickeln neuer technischer Lösungen keine Einbahnstraße ist, sondern – durch die Natur des Menschen bedingt - rückkoppelnd erfolgt, erfüllt das in Stufe I erarbeitete oder vorausgesetzte Schaltbild häufig nicht die gestellten Ansprüche, korrigierende Verbesserung ist nach Erkenntnissen aus der Quantifizierung erforderlich. Diesem zwangsläufig nötigen Wechselprozess zwischen Stufe I und II ist es nun sehr dienlich, dass in den ingenieurtechnischen Diagrammen die vorgenannten Prozessdarstellungen sehr *anschaulich* erfolgen, weil der Mensch dominierend bildhaft denkt. Diese Erkenntnis ist wichtig: Eine Ingenieurmethodik, die in Stufe I die Funktionsstrukturbildung einschließt, muss für diese ebenfalls eine flächenhaft-anschauliche Darstellungsform wählen.

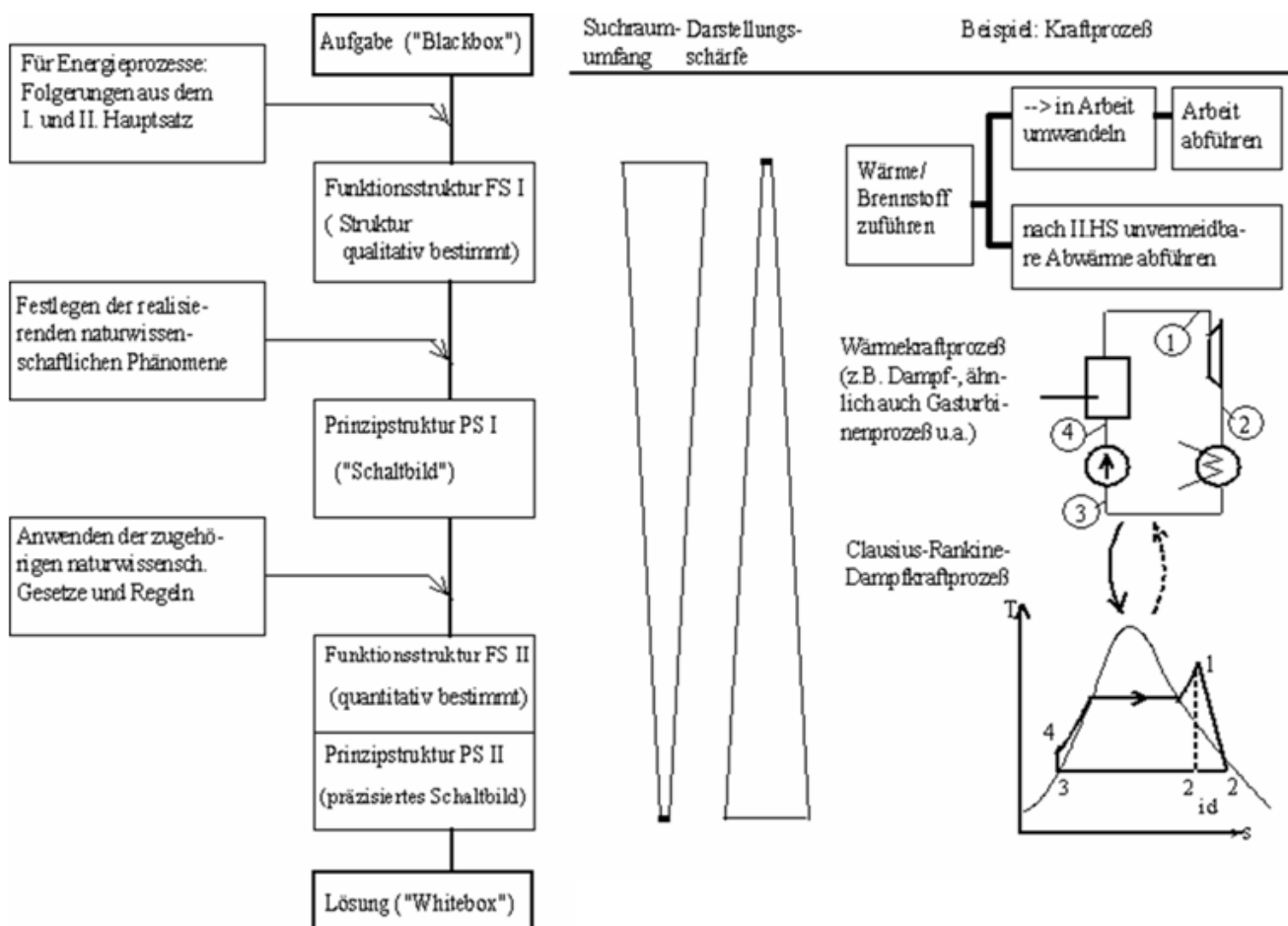


Abbildung 1: Beschreibungstufen zwischen Aufgabe und Lösung.

DARSTELLUNG DER METHODIK

Dass der Herausarbeitung der Funktionsstrukturen in Stufe I (kurz: FS I) bisher keine systematische Aufmerksamkeit geschenkt wurde, (die dann auch Grundlage einer systematischen Lehre dazu wäre) ist verständlich: Solange die Systeme resp. die zu ihnen führenden Aufgabenstellungen einfach sind, sind es auch die FS I; sie ergeben sich *quasi nebenbei* und der Student oder auch Ingenieur in der Praxis erlernt

bei der Quantifizierung solcher Systeme *nebenbei* auch die Regeln ihrer Bildung. Integrierte Systeme sind aber durch die beabsichtigten Verknüpfungen keine einfachen Systeme und die einleitend angesprochene erforderliche Breite in deren Durchsetzung erfordert dann zwangsläufig, diese methodische Schwachstelle zu beheben.

Abbildung 2 zeigt das FS-Grundmodell und einige einfache Funktionsstruktur-Fälle, die als *Bausteine* nach dem Baukastenprinzip zu komplexen Systemen zusammengesetzt werden können.

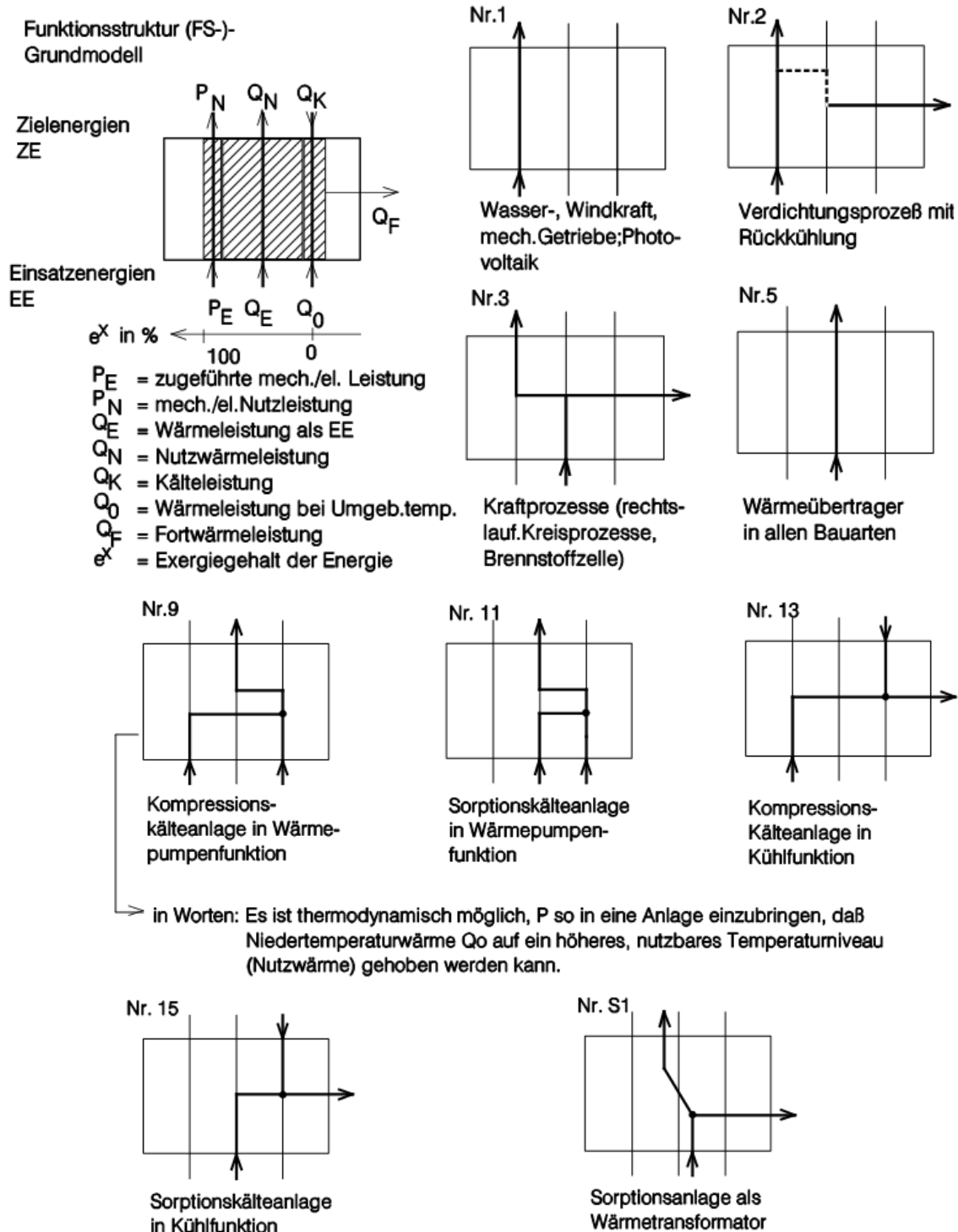


Abbildung 2: Funktionsstruktur-Grundmodell und FS - Elementarstrukturen (Auswahl).

Im einzelnen: in Energieprozessen werden Einsatzenergien in Zielenergien umgewandelt. Jede energetisch selbständige funktionelle Wirkung wird durch einen *Kasten* repräsentiert. Das funktionell Wesentliche wird vereinfacht durch 3 *Schienen* für Kraft, Wärme u. Kälte erfassbar. Dabei ist *e* der Exergiegehalt der jeweiligen Energie, die 3 Schienen sind also eine sehr grobe Form der Berücksichtigung der Qualität der Energie gemäß II. Hauptsatz. Die Verknüpfung der Funktionen erfolgt über die In- und Outputs der Kästen.

Das *Innere* der Kästen zeigt in allereinfachster Form, wie die am Kasten jeweils unten zugeführten Einsatzenergien in die am Kasten jeweils oben angeordneten Zielenergien umgewandelt werden, wobei Fortenergien seitlich abgeführt werden. Da das Verknüpfen nur über die In- und Outputs erfolgt, ist die Kenntnis des *Inneren* formal gesehen nicht erforderlich, sie ist aber für den Bearbeiter anschaulichkeitsfördernd!

Beispiel: die Nr. 15 in Abbildung 2 ist so zu lesen:

Es ist thermodynamisch möglich, Wärme hinreichend hoher Temperatur (= hinreichender Exergie) so in eine Anlage einzubringen, dass dem zu kühlenden Teil der Umgebung Niedertemperaturwärme (*Kälte*) entzogen wird und als Fortwärme (bei mittlerer Temperatur) an die Umgebung abgegeben wird. Ein weiteres Beispiel enthält Abbildung 2 bei Nr. 9.

Jeder *Kasten* steht also für eine bestimmte Funktion und repräsentiert damit ganz verschiedenartige technische Ausführungslösungen. Hat man einen Datenspeicher, im einfachsten Fall einen manuell zu nutzenden Katalog bekannter Lösungen, so können bei Kenntnis der *Kästen* diesen sofort funktionserfüllende Lösungen zugeordnet werden, was die Entwurfsarbeit insgesamt sehr beschleunigt.

Wie vorn bereits genannt liegt ein solcher Katalog mit der in der Einleitung zitierten VDI-Infoschrift vor [9]. Wie immer bei derartigen Vorhaben liegen die Probleme im Detail. Um die zu beherrschen, verfügt der Katalog über folgende Teile:

- a. FS-Katalogteil für Energieumwandlungsprozesse mit:
 - 31 Elementarfunktionen (= *Kästen*) und zugeordnet bekannte Realisierungen dieser Funktionen;
 - 32 typischen, d.h. häufig vorkommenden Kombinationen der Elementarfunktionen.
- b. Für Energietransport in Netzen: 7 Elementarfälle;
- c. Für Energiespeicherung: 5 Elementarfälle;

- d. Für die Belegung der Funktionen mit Verfahrensschaltbildern: 5 Zuordnungstabellen;
- e. Für den koppelnden Aufbau integrierter Energiesysteme 12 Kompositionsregeln.

Ein Katalogblatt für die Katalogteile a bis c enthält:

- Eine Auflistung aller zu diesem Fall gehörigen *Lösungen*;
- Eine Kurzcharakteristik der Lösungen (Vor- und Nachteile), um die Auswahl zu erleichtern;
- Literaturhinweise zu jeder Lösung;
- Ergänzende Hinweise zu integrativen Methoden der Leistungserhöhung, insbesondere unter Nutzung der Kompositionsregeln, zum Zwecke der Optimierung der gefunden Strukturen.

Es ist wohl unmittelbar einsichtig, dass ein solcher Katalog *kumulierte Erfahrung* darstellt und damit insbesondere für den noch unerfahrenen Bearbeiter eine große Hilfe ist!

Für die oben angeführte Nummer 15 – Sorptionskühlprozesse - nennt die Übersicht zur Demonstration die im zugehörigen Katalogblatt angegebenen *Lösungen* (zwei Seiten weiter!):

1. Ab-/Adsorptionskälteanlagen in Kühlfunktion
 - 1.1. Absorptionsanlagen
 - 1.1.1. Einstufige Anlagen
 - 1.1.1.1. Mit Lösungsumlaufpumpe
 - 1.1.1.2. Mit Trägergas-Naturumlauf (Platen-Munters-Prinzip)
 - 1.1.2. Mehrstufige Anlagen
 - 1.1.2.1. Multi-effect-Anlagen
 - 1.1.2.2. Multi-lift-Anlagen
 - 1.1.3. Offene Absorptionsanlagen
 - 1.2. Adsorptionsanlagen
 - 1.2.1. Geschlossene Anlagen
 - 1.2.2. Offene Anlagen
 - 1.2.1. und 1.2.2.
 - a) Als Sorptionswechseinrichtung
 - b) Als rotierendes Sorptionsgerät (DEC-Systeme)
 2. Resorptionsanlagen
 3. Integrative Methoden der Leistungserhöhung u.a. Überlagerung der vorgenannten Lösungen, z.B. Überlagerung von einstufigen Anlagenlösungen mit dem mehrstufigen Multi-lift-Konzept.

Insgesamt umfasst das Blatt Nr. 15 drei A4-Seiten. Diese Kürze ist beabsichtigt: Dem Nutzer soll es nicht zu mühsam sein, *alle* zugehörigen Lösungen zu betrachten, um nichts zu übersehen!

Der Ablauf gemäß Methodik soll an folgendem Beispiel demonstriert werden – vgl. dazu Abbildung 3.

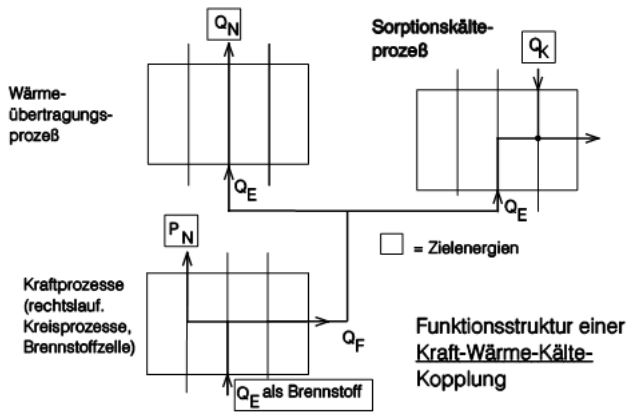


Abbildung 3: Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) erzeugt Strom (P_N) als erster Zielenergie in einem Verbrennungsmotor-Kraftprozess. Die normale Verwendung der anfallenden Fortwärme erfolgt in einem Wärmeübertragungsprozess etwa zum Zwecke des Heizens mit der Nutzwärme Q_N als zweiter Zielenergie. Im Sommer ist aber ein Heizen nicht erforderlich, es muss eine andere Nutzung der Abwärme des Kraftprozesses gefunden werden. Wird nun – was für den Sommerfall ja sehr wahrscheinlich ist – Kälte benötigt, muss eine Funktionsstruktur gefunden werden, die Kälte (Q_K) als Zielenergie und Wärme als Einsatzenergie hat – das ist nach Bild 2 offenbar Nr. 15. Das Ergebnis ist eine Funktionsstruktur gemäß Abbildung 3.

Ist nun das BHKW bereits gegeben, muss Nr. 15 verfahrenstechnisch anhand der Vor- und Nachteilangaben im Katalogblatt 15 präzisiert werden. Dieses Katalogblatt weist den Unterfall Nr. 1.1.2.1. (nach obiger Liste) als vorteilhaft aus, wenn die Einsatzwärme hohe Temperaturen hat. Die BHKW-Abgase haben 500 bis 600 °C, der Fall 1.1.2.1. – Multi-effect-Anlage – ist also sinnvoll. Über die im Katalog angegebenen Literaturstellen kann man sich dann über Einzelheiten informieren.

- Die bisherigen Ausführungen betreffen die Bearbeitungsstufe I;
- Die genannte VDI-Infoschrift enthält außerdem ausführliche Vorgaben für ein effektives Arbeiten in der Bearbeitungsstufe II. Einzelheiten hierzu würden hier zu weit führen, es wird auf die Infoschrift verwiesen.

Werden keine erfüllenden Funktionsstrukturen gefunden, muss man sich diese durch Verknüpfung der Elementarfunktionen komponieren. Dieses Komponieren betrifft auch die Zuordnung geeigneter Lösungen gemäß Katalog, um die Verfahrensprinzipstruktur der Stufe I zu erstellen. Zur Unterstützung dieses Prozesses wurde im Katalogteil e) eine

Reihe von (empirisch gewonnenen) *Kompositionsregeln* zusammengestellt.

Für die anlagentechnische Lehre ist diese Regelzusammenstellung besonders wertvoll, weil sie – wenn man so will – kumuliertes Erfahrungswissen beinhaltet. Es gibt hier eine Übersicht über die Kompositionsregeln:

- Regel 0: Ein bei einem Prozess zunächst als Fortenergie anfallender Energieoutput ist stets auf eine ggf. anteilige Wiederverwendung im eigenen oder anderen Prozess zu untersuchen;
- Regel 0-1: In Kreisprozessen lassen sich *Intensitätsgrößen* (z.B. Temperaturen) in ihrem Wert zwischen dem potentialerhöhenden und – senkenden Kreisprozesseil verschieben (sog. *Regenerativprinzip*, die zugehörigen Wärmeübertrager heißen i.allg. *Temperaturwechsler*);
- Regel 1: Werden nichteinfache Strukturen superponiert, so können Strukturelemente der Verknüpfungspartner einander *substituieren* oder auch *gegenseitig aufheben*;
- Regel 2: In einer Anlage kann die *gleiche* Funktion durch *verschiedene* Prinzipstrukturen bei gleichem oder verschiedenem zugrunde liegenden physikalischen Geschehen realisiert werden;
- Regel 3: Bei der Überlagerung von Strukturen können funktionell gleichartige Komponenten *gemeinsam* für die Überlagerungsstruktur vorgesehen und bemessen werden;
- Regel 4: Mit der Überlagerung *gleichartiger* Prinzipstrukturen entstehen *Stufenprozesse* in Kaskaden oder Mischschaltung. Mit diesen lassen sich große Potentialunterschiede, z.B. Temperaturdifferenzen, also letztlich Exergieunterschiede, effizient überbrücken;
- Regel 5: Die Gestaltung von Stufenprozessen beim Verdampfen/Kondensieren kann in 2 *grundsätzlich* unterschiedlichen Schaltungsarten erfolgen: Durchlauf- oder (Teil-)Umlaufschaltung;
- Regel 6: Werden zeitlich alternierend *verschiedene* Funktionen gefordert und sind dies' zueinander *inverse* Funktionen, so ist dieses Ziel vom Grundsatz her mit *nur einer* Anlagenkonfiguration ausführbar, wenn Umschaltmöglichkeiten zur Prozessumkehr vorgesehen werden;
- Regel 7: Genau so, wie das *Hinein-Integrieren* von Anlagenelementen in eine gegebene Anlage deren Wirkungsweise verändert, genauso kann das *Hinein-Koppeln* eines *weiteren* Arbeitstoffsystems veränderte Wirkungen erzielen;
- Regel 8: Diese Regel betrifft die Art und Weise von Zustandsänderungen in Kreisprozessen, zwei Unterformen sind zu beachten:

- Regel 8a: Die Veränderung eines geschlossenen in einen *offenen* Prozess kann zu wesentlichen apparativen Vereinfachungen (=Kostenvorteilen) führen;
- Regel 8b: Die bewusste Gestaltung von Systemen, die Zustandsänderungen abhängig von *Zeit und Ort* erlauben, verbreitern die Palette technischer Möglichkeiten zur Anpassung an vorgegebene Randbedingungen.
- Regel 9: In einem verfahrenstechnischen Prozess können Rationalisierungseffekte erwartet werden, wenn es möglich ist, das für den Prozessablauf nötige Verfahrensmittel (Arbeitsmittel) *stofflich gleich* dem Verfahrensgegenstand zu wählen;
- Regel 10: Funktionsintegration als das Zusammenfassen mehrerer funktionell gewünschter Vorgänge in einem technischen Gebilde wie auch Funktionsdifferentiation als das dazu Umgekehrte sind zwei sich gegenseitig ergänzende Gestaltungsoptionen, die beim Aufbau komplexer Strukturen *im ausgewogenen Verhältnis* zueinander einzusetzen sind.

Methodische Oberregel beim Aufbau von Integrierten Energiesystemen: ist aus der Aufgabenstellung zu erkennen, dass es sich um eine komplexe Integrationsaufgabe handelt und sind Realisierungsbedingungen (Leistungen, Temperaturen, Drücke u.ä.) bekannt, so ist es sinnvoll, die konstituierenden Teilfunktionen zu bestimmen und daraus die *prioritäre*, also bestimmende Funktionseinheit zu ermitteln und diese zu konkretisieren und über diese und die gegebenen Parameter die *restliche* Anlage zu konfigurieren.

Hinweis: Ausführliche Besprechung aller Regeln mit Beispielen → in der VDI-Infoschrift.

Nachfolgend soll deshalb nur Regel 7 besprochen werden:

Kälteprozesse sind sog. linksläufige Kreisprozesse, in denen ein Arbeitsstoff, das Kältemittel, ein Apparatesystem durchströmt, wobei die Zustandswerte dieses Kältemittels sich ändern, beispielsweise erfolgt eine Druckerhöhung mit mechanischen Verdichtern, eine Entspannung i.allg. durch Drosselung. Integriert man gemäß Regel 7 in dieses System einen zweiten (dafür geeigneten!) Stoff, also z.B. ein Lösungsmittel (z.B. Wasser) für das Kältemittel (z.B. Ammoniak), so ergibt sich die Möglichkeit, den mechan. Verdichter durch einen Lösungskreislauf mit Absorption und Desorption des Kältemittels zu ersetzen. Die Verdichtung benötigt dadurch keine Rotationsenergie, sondern (für die Desorption) höher

temperierte Wärme. Dadurch kann z.B. Abwärme nutzbar gemacht werden, die für eine z.B. elektrische Stromgewinnung zu niedrig temperiert wäre. Der Lösungskreislauf benötigt allerdings eine Lösungspumpe, die – wenn auch gegenüber Gasverdichtung sehr viel weniger – mechanische Energie erfordert. Will man nun gar keine mechanisch bewegten Teile mehr haben, kann man den Lösungsumlauf durch geeignetes Ein- und Ausschleusen eines Leichtgases (Helium oder Wasserstoff) erreichen – was offenbar nichts anderes ist, als das *Hineinintegrieren* eines weiteren (jetzt also dritten) Arbeitsstoffes. Das ist der Grundgedanke des in obiger Übersicht zu Nr. 15 genannten Platen-Munters-Prinzips.

Hinweis: Die VDI-Infoschrift kann z.B. über die Bibliothek der Hochschule Wismar eingesehen werden.

DISKUSSION

Die vorgestellte Methodik ist – wie das bei effektiven wissenschaftlichen Hilfsmitteln wohl immer der Fall ist – nicht ohne einen gewissen Lernaufwand zu nutzen. Leider ist nicht zu übersehen, dass in unserer Zeit der Informationsüberflutung die Bereitschaft, solchen Lernaufwand zu treiben, gering ist.

Deshalb erscheint es besonders wichtig, dass der werdende Ingenieur in der Lehre bereits mit dieser Methodik konfrontiert wird. Wir handhaben das an der Hochschule so seit etwa 4 Jahren und können auf gute Erfolge verweisen.

Ohne Nutzung dieses ingenieurtechnischen Hilfsmittels wäre es Arlt sicher nicht möglich gewesen, in der kurzen Zeit der Diplomarbeit eine Energiesparlösung für eine Wärmerückgewinnung aus Trocknungsprozess-Abwärme zu erarbeiten, die die Abwärme ohne Fremdenergieeinsatz zurück zu gewinnen gestattet [12]. Das ist eine thermodynamisch intelligente Lösung, wie sie in der Einleitung gefordert wurde.

(Arlt erhielt dafür den Innovationspreis des Landes MV des Fördervereins der Hochschule Wismar 2006; außerdem trug er über diese Lösung auf der renommierten VDI-Fachtagung *Fortschrittliche Energiewandlung und –anwendung* im Mai 2006 in Leverkusen vor [12]).

Dem starken Formalisierungsgrad der Methodik entsprechend wäre eine Aufbereitung als CAD-System möglich und wünschenswert!

REFERENZEN

1. Beitz, W. und Pahl, G., *Konstruktionslehre* (5.Aufl.). Berlin: Springer (2003).

2. Koller, R., *Konstruktionslehre für den Maschinenbau* (4.Aufl.). Berlin: Springer (1998).
3. Altshuller, G.S., *Erfinden – Wege zum Lösen Technischer Probleme*. Berlin: Verl. Technik (1984).
4. Herrlich, M. u.a., *Erfinderschule, Lehrbr. 1 und 2*. Berlin: KdT (1982).
5. Orloff, M.A., *Grundlagen der Klassischen TRIZ*. Berlin: Springer (2002).
6. Polovinkin, A.I., Popow, W.W. u.a. (aus Deutschland: Herrig, D. und Müller, H.), *Lexikon-Technisches Schöpfertum* (russ., Originaltitel: *Technitscheski Twortschestwo*). Moskau: Nauka (1995).
7. Blass, E., *Entwicklung Verfahrenstechnischer Prozesse* (2.Aufl.). Berlin: Springer (1997).
8. Hennicke, P. und Müller, M., *Weltmacht Energie*. Stuttgart: Hirzel (2005).
9. Müller, H. und Topp, K., *Konzipieren integrierter Energie- Systeme mit der Funktionsstrukturanalyse*. VDI-Infoschrift (Teil I: Methodik; Teil II: Katalog, zus. 280 S A4 in einem Band). Bezugsnachweis: VDI-Gesellschaft Energietechnik; PF 101139. Düsseldorf: VDI.
10. Müller, H., *Effizienzsteigerung durch integrierte Energiesysteme*. *Zeitschrift Brennstoff-Wärme-Kraft*, 55, 11, 43-45 (2003).
11. Müller, H., *Zum Aufbau integrierter technischer Systeme am Beispiel des Entwerfens integrierter Energiesysteme*. *Forschung im Ing.Wesen*, 69, 57-63 (2004).
12. Arlt, S., Müller, H. und Westphal, U., *Untersuchung zur Abwärmenutzung aus Trocknungsprozessen durch Double-lift-Anlagen*. Düsseldorf: VDI-Bericht 1924, 305-312 (2006).

BIOGRAPHIE



Prof. Dr.-Ing. habil. Herbert Müller ist 1940 in Leipzig geboren. Er ist Chemieingenieur und Diplomingenieur für Wärmetechnik. 1975 promovierte und 1980 erlangte er die Habilitation an der Universität in Rostock.

Nach mehreren Jahren Betriebseinsatz als Fachschullehrer in Wismar wurde

ist begann er 1980 als Dozent an der damaligen Technischen Hochschule Wismar und ist seit 1992 Professor für Thermodynamik und Thermische Verfahrenstechnik an der Hochschule Wismar. Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit in den letzten Jahren ist die Rationelle Energieverwendung, insbesondere durch integrierte Energiesysteme und deren methodische Aufbereitung durch Mittel der Kreativitäts- und Erfindungsmethodik. Die Ergebnisse seiner Forschungsarbeiten wurden in zahlreichen Artikeln, Patenten und Präsentationen veröffentlicht.