

Klaus Hartmann & Wolfgang Fratzscher

## **Grundlagen der Herausbildung einer allgemeinen Technologie der Stoffwirtschaft**

### **– Neue Tendenzen und Entwicklungen –**

Einen Schwerpunkt innerhalb der Stoffwirtschaft stellt die chemische Industrie dar. Mehr als 22 Mio. verschiedener chemischer Verbindungen sind z. Z. bekannt, jährlich kommen 600.000 neue hinzu.

Aus wenigen Rohstoffen, wie Luft, Wasser, Kohle, Erdöl, Erdgas, Kochsalz, Phosphaten, Salzen u. a. werden mehr als 100.000 Stoffe industriell hergestellt, davon ungefähr 10.000 in Mengen größer als 1.000 t im Jahr. Charakteristisch für die Stoffwirtschaft sind die Stoffstromverbundsysteme (Verbundwirtschaft), die zu einer Verflechtung unterschiedlichster Herstellungsverfahren führen.

Die dazu eingesetzten Produktionssysteme sind Prozesssysteme, deshalb wird die Stoffwirtschaft auch Prozessindustrie genannt.

Prozesssysteme (siehe Abb. 1) sind verfahrenstechnische Systeme mit der Aufgabe, aus Rohstoffen (Zwischenprodukten, Abfallstoffen) Produkte (Zielprodukte) in vorgegebener Menge mit gleich bleibend hoher Qualität wirtschaftlich, zuverlässig, energiesparend und sicher herzustellen, anfallende unerwünschte Reststoffe sind dabei zu reduzieren (prozessintegrierter Umweltschutz) und umweltverträglich aufzuarbeiten.

Die Vielzahl der Prozesssysteme führt infolge der vielen unterschiedlichen Stoffe zu einer ebenso fast unüberschaubaren Menge an Verfahren und an „Technologie-Wissen“ zu deren Herstellung. Da sehr viele Industriezweige moderne Prozesstechniken nutzen, gehören sehr wichtige Zweige zur Prozessindustrie:

- Erdölverarbeitende Industrie;
- Kunststoffindustrie;
- Petrochemische Industrie;
- Baustoffindustrie;
- Pharmazeutische Industrie;

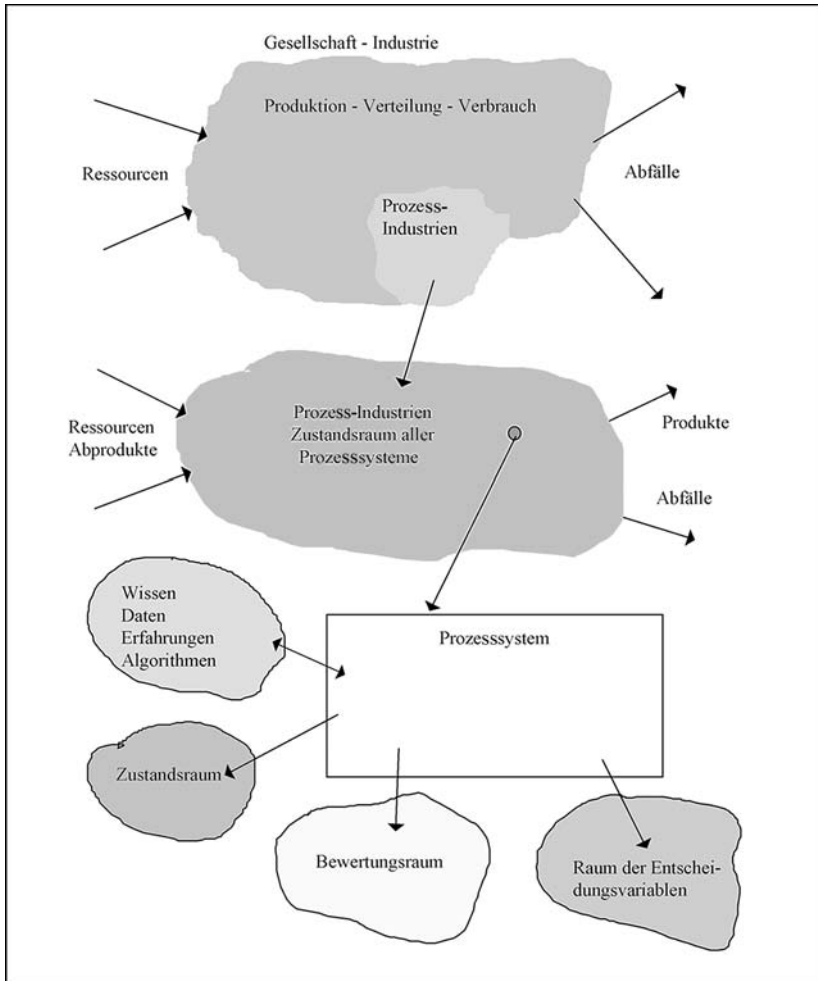


Abb. 1: Einordnung von Prozesssystemen und beschreibende Informationsmengen

- Lebensmittelindustrie;
- Papier- und Zellstoffindustrie;
- Farbstoffindustrie;
- Biotechnologische Industrie;
- Fotochemische Industrie
- Energie- und Brennstoffindustrie (Kohle, Erdöl, Gas);

- Metallurgie;
- Abfallverwertung;
- Feinchemikalienindustrie.

Gegenstand der Technologie ist eben dieses „Wissen“ über die Prozess-Systeme in den verschiedensten Formen (z. B. in Gestalt von Gesetzmäßigkeiten, Theorien, Regel- und Erfahrungswissen u. a.) über den Aufbau, den Entwurf, die Eigenschaften und den Betrieb, die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Elementen der Produktionsprozesse selbst und der Umgebung im weitesten Sinne.

Die Technologie als Wissenschaft hat einen langen Entwicklungsweg zurückgelegt, beginnend mit der von Andreas Libavius (1550–1616) 1597 in Frankfurt erschienenen „Alchemia“, einer Prozess- und Rezeptlehre. Im 18. Jh. stellte sie sich als Faktenwissen der Gewerbe, d. h. „Technologie als Wissenschaft von den Handwerken“, bei Johann Beckmann als „Verfahrenskunde“ dar. In ihrer Entstehungsphase wurde die Technologie als „Einheit“ aufgefasst, erst im 19. Jh. erfolgte dann die Gliederung in chemische und mechanische Technologie, in allgemeine und spezielle Technologie.

Sigismund Friedrich Hermbstädt (1760–1833) sammelte das gesamte technologische Wissen seiner Zeit und publizierte es in mehreren Büchern. In die 1. Hälfte des 19. Jh.s fällt auch die Gründung zahlreicher Technischer Hochschulen: Berlin – Technische Schule 1821/Gewerbeschule 1827; München – 1833 Gründung einer Technischen Hochschule, die an die Kameralistische Fakultät der Universität München angegliedert wurde; Dresden – Technische Bildungsanstalt 1828, St. Petersburg – Technologisches Institut 1828 u. a.

Obwohl Karl Karmarsch (1803–1879) noch einmal den Versuch machte, die Technologien unter dem Dach einer Allgemeinen Technologie zu vereinen, ist das 19. Jh. die Zeit der Herausbildung spezieller Technologien; Karmarsch selbst gilt als Begründer der mechanischen Technologie. Zusammen mit Johann Joseph Prechtl (1778–1854) gibt Karmarsch das Werk „Technologische Encyclopädie oder alphabetisches Handbuch der Technologie, der technischen Chemie und des Maschinenwesens zum Gebrauche für Kameralisten, Ökonomen, Künstler, Fabrikanten und Gewerbetreibende jeder Art“ in 30 Bänden zwischen 1830 und 1869 heraus. In seinem „Handbuch der mechanischen Technologie“ (1837) unterscheidet er bereits zwischen allgemeiner und spezieller Technologie. Es sollte über 150 Jahre dauern, um die allgemeine Technologie auf eine umfassende wissenschaftliche Grundlage zu stellen. Für die chemische Technologie ist Friedrich L. Knapp (1814–1904) von Bedeutung. Im Jahre 1847 publizierte er das erste umfassende Lehrbuch zur Chemischen Technologie.

Ende des 19. Jh.s setzte sich die Differenzierung der Technologie in Einzel- oder Gruppentechnologien fort, wobei aber gleichzeitig auch neue Gemeinsamkeiten von Prozessen und Prozessabläufen Grundlagen für diese Klassifizierung und Systematisierung waren. Ein solches Konzept für die Prozesstechnik waren die Grundoperationen der allgemeinen Technologie der Stoffwirtschaft (Georg Lunge und Eugen Hausbrand ab 1893; Arthur Little 1915) am Anfang des 20. Jh.s. Allerdings wurde dieses Konzept damals so nicht angesehen und erst recht nicht so bezeichnet, da es aus der Sicht der speziellen Verfahren eine „atechnologische“ Betrachtung, nämlich die aus der Grundoperation heraus, die eine Herauslösung aus der Technologie erforderte.

Das Konzept der Grundoperationen führte zur Herausbildung der Fachrichtungen „Chemical Engineering“ in den USA (1908) und „Prozesse und Apparate der chemischen Technologie“ 1909 am Petersburger Technologischen Institut. Die Anfang des 20. Jh.s begonnene Ausbildung eines Chemie-Ingenieurs an der TH Dresden fiel dem Hegemoniebestreben der Chemiker zum Opfer. Dieses Konzept wurde in den folgenden Jahrzehnten durch „spezielle“ Technologien ergänzt, vertieft und weiterentwickelt.

Ein breites wissenschaftliches Fundament erhielt diese Entwicklung durch Grundlagenwissenschaften wie die Thermodynamik (Josiah Willard Gibbs), die Wärme-Übertragung (Wilhelm Nusselt), die Strömungsmechanik zur Berechnung von Gas- oder Flüssigkeitsströmungen (Daniel Bernoulli, Osborne Reynolds u. a.), die Kinetik (Max Bodenstein), die Dimensionsanalyse und Ähnlichkeitstheorie u. v. a. m. auf die die das Konzept der Grundoperationen zurückgriff, um Prozessabläufe zu untersuchen, zu modellieren und für die Auslegung von Prozessen und Apparaten anzuwenden. Damit konnten neue Prozesse und Apparate unter Zuhilfenahme einer stufenweise Maßstabsübertragung auch für extreme Betriebsbedingungen wie bei der Ammoniak- und Methanolsynthese relativ sicher aber zumeist sehr aufwendig gebaut und betrieben werden.

Obwohl die Abbildung der Prozessabläufe in Formeln und Gleichungen in der Prozesstechnik im Zusammenhang mit dem Konzept der Grundoperationen umfangreich genutzt wurde, waren es die bahnbrechenden Arbeiten von Gerhard Damköhler (1936), die der mathematischen Modellierung der Prozesse (Grundoperationen) auf eine einheitliche und fundierte Grundlage stellte. Die von Damköhler formulierten allgemeinen Erhaltungssätze für Stoff, Masse und Energie sowie die Impuls Gleichung waren ein Meilenstein auf dem Wege zur modernen Allgemeinen Technologie, da mit diesem Satz von Gleichungen und den jeweils spezifischen Rand- und Anfangsbedingungen

gen praktisch jeder Prozess einheitlich beschrieben werden kann, wenn die entsprechenden Kenntnisse über den Prozess und seine Prozessgrundlagen bekannt sind. Damit waren die Grundlagen für allgemeine physikalisch-chemische Modelle verfahrenstechnischer Prozesse formuliert und der Übergang von der Grundoperation zur Prozesseinheit begründet.

Die Anforderungen an die Prozessindustrien nach dem 2. Weltkrieg waren charakterisiert durch

- ein starkes Wachstum des Bedarfs an Produkten der Stoffwirtschaft wie Erdölprodukte, Kunststoffe, agrochemische Produkte, Pharmaka;
- die Entwicklung von Anlagen mit hoher Einzelleistung (Erdölverarbeitung, petrochemische Produkte, Ammoniak u. v. a. m.);
- die Notwendigkeit der Gewährleistung hoher Sicherheits- und Zuverlässigkeitsstandards beim Betreiben von Großanlagen;
- Verkürzung der Entwicklungszeiten für neue Technologien;
- Einsatz von Rechenanlagen für die Berechnung, Projektierung und den Betrieb von Großanlagen;
- Notwendigkeit von modernen Werkzeugen für den Entwurf, die Untersuchung und Optimierung großer Systeme, d. h. Modellierung, Simulation und Automatisierung.

Diese Aufgaben, die effektiv mit Beginn der sechziger Jahre nur durch den Einsatz von Rechnern bewältigt werden konnten, erforderten zunehmend eine ganzheitliche, auf Modellen basierte Erweiterung des Objekts. Es war notwendig, neben den einzelnen Grundoperationen und „speziellen Technologien“ das Zusammenwirken aller Elemente eines komplexen Prozesssystems zu beschreiben. Es musste eine einheitliche Basis geschaffen werden, die es erlaubte, sehr große und komplexe Prozesssysteme und Industrieanlagen, insbesondere in der für die Stoffwirtschaft charakteristischen Verbundwirtschaft, optimal zu gestalten (Verfahrenstechnik und Wiedervereinigung). Dies führte zur Herausbildung des Konzepts der Systemverfahrenstechnik (Prozesssystemtechnik; process systems engineering) als eine Integration der Allgemeinen und speziellen Technologie auf neuem Niveau. Der Gegensatz von Element und System, Teil und Ganzheit wurde aufgehoben in einem Konzept des hierarchischen Aufbaus von Prozessen. Die Grundoperationen sind Prozesseinheiten, die zwar auch hochkomplex aufgebaut sind, aber für die Gestaltung eines Systems als Baustein, als Element auftreten. Diese modell- und hierarchiebasierte Technologiekonzeption gab gleichzeitig wichtige Impulse für die Prozessverfahrenstechnik (den klassischen Grundoperationen) für die Prozessgrundlagen, die Anlagentechnik u. a. durch Vorgaben für

die Pass-Fähigkeit der Elemente, die „Schnittstellen“ und Hierarchien, die Modellbildung und der modellbasierten Speicherung des „Wissens“ und der rechnergestützten An- und Verwendung (vgl. Fratzscher 2002; Krug 2002).

Diese Zerlegung, Dekomposition, in Teile und Teilprozesse macht eine wissenschaftliche Untersuchung eines komplexen Prozesses erst möglich, da die signifikanten Wirkprinzipien und Prozessabläufe mit differenzierten experimentellen Methoden untersucht, aufgeklärt und quantitativ beschrieben werden können. Die physikalisch-chemisch fundierten Modelle können gespeichert und für analoge Prozesse unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen wieder verwendet werden. Diese Methodik und die damit verbundenen Vorgehensweisen und Modelle sind, ausgehend von der chemischen Industrie, in deren Schoß sie entwickelt worden sind, inzwischen Standard auch für viele andere Zweige der Prozessindustrien (vgl. Hartmann 2002, 2004).

- Die Modelle der Objekte der Allgemeinen Technologie der Stoffwirtschaft gehen
- in die „Tiefe“, d. h. in das Innere der Apparate und Vorgänge, bis zur molekularen Struktur;
- in die „Breite“, d. h. in die Ebenen riesiger Industriekomplexe;
- werden heterogener, d. h. schließen nicht-stoffwirtschaftliche Komplexe verstärkt ein (Logistik, Fertigungsindustrie u. a.);
- werden zunehmend Grundlagen für andere Technologien (Metallurgie, Chip-Herstellung u. a.).

Dabei werden in Abhängigkeit von der Komplexität und der wissenschaftlichen Durchdringung eines Prozesses sehr unterschiedliche Modellformen eingesetzt. Neben den klassischen „weißen“ Modellen werden auch hybride „graue“ Modelle bzw. „schwarze“ Modelle eingesetzt. So ergibt sich ein breites Spektrum von Möglichkeiten zur mathematischen Beschreibung (Modellbildung) von Prozessen (siehe Abb. 2).

Die Prozesssystemtechnik beschäftigt sich mit der Gesamtheit der ein System bildenden Elemente. Aufgaben und Methoden der Prozesssystemtechnik betreffen die Entwicklung von Prozessen (Prozesssynthese, Rekonstruktion, Erweiterung, Intensivierung), die Planung von Verfahren und Prozessen sowie das Betreiben und Führen von Prozessen.

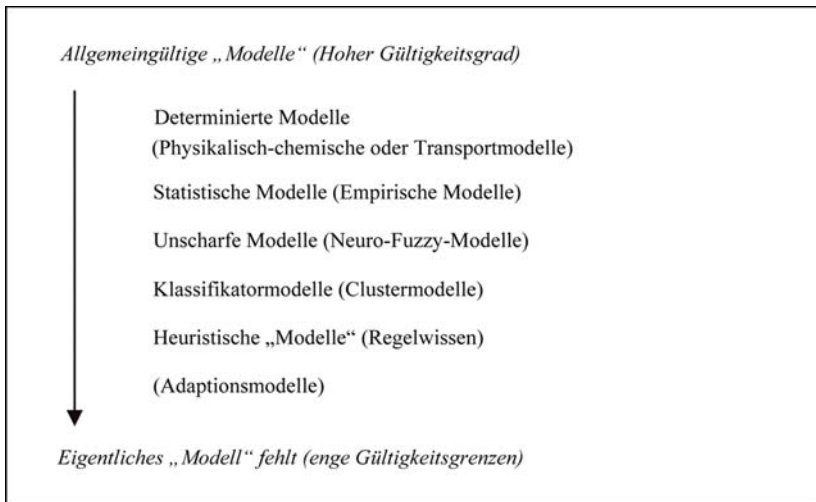


Abb. 2: Möglichkeiten zur mathematischen Beschreibung von Prozessen

Bedingt durch die Einheit von Stoff und Energie und die Stoffwirtschaft als einen der großen Energieverbraucher bildete sich gleichzeitig mit der System- und Prozessverfahrenstechnik die moderne Energieverfahrenstechnik heraus, als technologisch orientierte Disziplin der rationellen, umwelt- und klimaverträglichen Bereitstellung und Nutzung verschiedener Energieträger in industriellen Anlagen. Stoffwirtschaft und Energiewirtschaft stehen damit auf weitgehend ähnlichen wissenschaftlichen und methodischen Technologie-Konzepten und partizipieren Technologien des jeweils anderen Bereiches (so etwa bei Strategien zur Abfallenergieverwertung). Damit hat sich ein modernes Methodenkonzept der Allgemeinen Technologie etabliert, das die deskriptive allgemeine Technologie in eine leistungsfähige Plattform für die Entwicklung, Gestaltung und Beherrschung technologischer Prozesse umgewandelt hat.

Die großen Veränderungen und Fortschritte in den Technologien der Prozessindustrien selbst haben im letzten Jahrzehnt zu großen Veränderungen in deren Strukturen und Grenzen selbst geführt, die das moderne Konzept der Allgemeinen Technologie bestätigen. Im Weiteren können nur einige wichtige technologische Entwicklungen und Tendenzen beschrieben werden.

Eine dieser bemerkenswerten Veränderungen der letzten Jahre ist die beginnende Überlappung und Verschmelzung der traditionell getrennten Tech-

nologie-Objekte Stoffwirtschaft und Maschinenbau, d. h. der Verfahrens- und Fertigungstechnik (siehe Abb. 3).

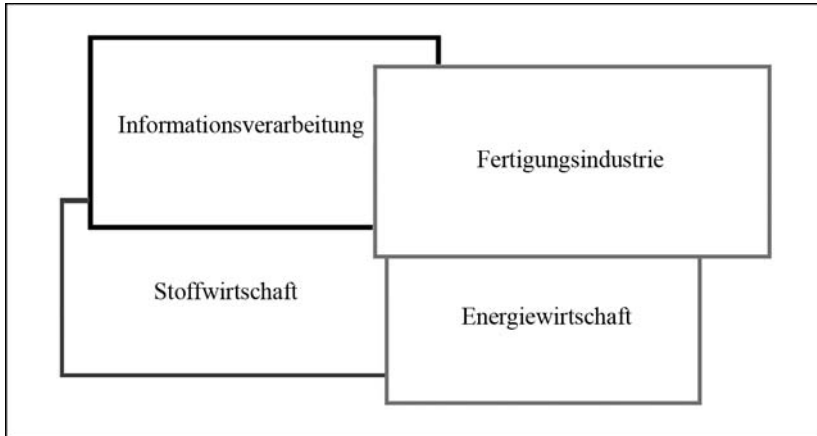


Abb. 3: Überlappung der Industriezweige – „Technologietransfer“

Unter dem Druck der Diversifizierung der Produktpalette der Stoffwirtschaft, insbesondere bei der Herstellung spezieller Werkstoffe und Wirkstoffe, Materialien und Produkte für Informationstechnologien (Chips, Datenträger unterschiedlichster Art), Feinchemikalien und Pharmaka, Lebens- und Genussmittel in unüberschaubarem Umfang u. a. hat dieser „Integrationsprozess“ eingesetzt und die Technologiebereiche verändert. Eine besondere Rolle hat dabei die Kunststoffindustrie gespielt, die über die Verarbeitungstechnik methodisch ein direktes Bindeglied zwischen Verfahrens- und Fertigungstechnik herausgebildet hat. Dabei haben beide Technologien jeweils voneinander profitiert. Die Technologie der Stoffwirtschaft hat insbesondere die weitentwickelte Logistik der Fertigungstechnologie übernommen, auch die Versorgungsketten- („supply chain“)-Methoden, die Planungsmethoden in Mehrproduktanlagen sowie die „Konstruktion“ von Produkten mit ganz speziellen Eigenschaften (Oberflächen- und Grenzflächendesign, Nanoteilchen, intelligente Pulver, Produktformulierung u. a.).

In der Fertigungsindustrie werden kontinuierliche Herstellungsverfahren der Stoffwirtschaft benutzt, kennzeichnend das Urformen, Methoden der Feststoff-Verfahrenstechnik, Beschichtungstechnologien und spezielle elektrochemische Verfahren. Bemerkenswert ist dabei, dass Modelle und systemtechnische Problemlösungsmethoden einen gemeinsamen Methodenvorrat



bilden und in beiden Bereichen erfolgreich angewendet werden (z. B. Modellbildungs- und Simulationstechniken und -werkzeuge).

Eine besonders enge Verknüpfung zwischen den Technologiebereichen Stoffwirtschaft und Energiewirtschaft existiert seit jeher und ist auch naturgesetzlich begründet, da jede Stoffänderung mit Energieänderungen verbunden ist. Wenn Pumpen, Verdichter und Wärmeübertrager als energetische Prozesseinheiten angesehen werden, so nehmen diese in Technologien der Stoffwirtschaft z. B. bei den Investaufwendungen häufig den größten Umfang ein. Moderne Technologien, wie z. B. die  $\text{NH}_3$ -Synthesen, stellen eine anlagentechnische Integration von Chemieanlage und Kraftwerk dar, deren Betriebsführung durch die energetischen Bedingungen des Kraftwerkes bestimmt wird. Demgegenüber besitzen moderne kohlenstoffträger-basierte Kraftwerke umfangreiche Technologien zur Abgasreinigung, die aus der Stoffwirtschaft kommen.

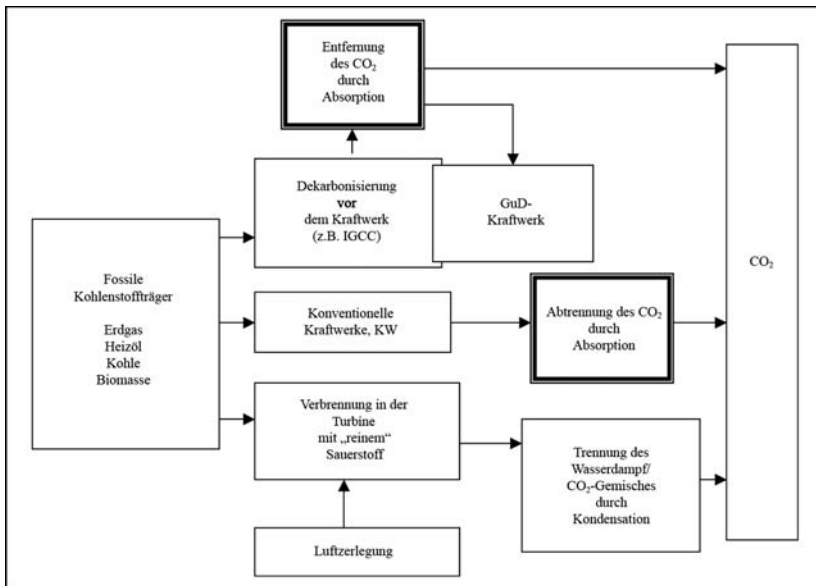


Abb. 4: GUD-Kraftwerk mit integrierter Kohlevergasung (IGCC)

Umweltfreundliche Kraftwerke der Zukunft, wie z. B. GUD-Kraftwerke mit integrierter Kohlevergasung (IGCC), sind praktisch Chemie-Betriebe mit Energiebereitstellung (siehe Abb. 4). Die notwendigen wasserstoffreichen Brenngase werden durch Kohlevergasung (teilweise mit reinem oder ange-

reichertem Sauerstoff aus Luftzerlegungsanlagen) und CO-Konvertierung hergestellt, das Kohlendioxid wird bereits vor der Verbrennung abgetrennt und gelangt damit nicht in die Atmosphäre (vgl. Hartmann 2004).

Es sind aber nicht nur Veränderungen in der Technologie selbst, die aus eigengesetzlichen Entwicklungen von Wissenschaft und Technik kommen, sondern auch aus Arbeitsteilungs- und Globalisierungsprozessen der Weltwirtschaft und der Umweltpolitik. Eine gravierende Veränderung in der Stoffwirtschaft ist die zunehmende Modifizierung der „Verbundwirtschaft“, d. h. der vertikalen und horizontalen Integration von Technologien, die, auf einem oder wenigen Rohstoffen oder Zwischenprodukten basierend, ein umfangreiches Netzwerk von Verfahren zur Herstellung unterschiedlichster Zwischen- oder Endprodukte bilden. Diese neuen „Verbundsysteme“ konzentrieren sich auf spezielle Produktgruppen oder höherveredelte Zwischenprodukte, die eigentlichen Rohstoffe oder Zwischenprodukte werden in anderen „Verbundsystemen“ hergestellt bzw. in den Rohstoff-Förderländern.

Auch die Umorientierung der Unternehmen auf Kernkompetenzen und weltweite Entwicklungsverbünde und Kooperationen führen schrittweise zur Abkehr von der traditionellen Verbundwirtschaft. Die Globalisierung der Beschaffungs- und Absatzmärkte führt zur Auskopplung „nichtprofitabler“ Prozesssysteme. Nichtprofitabel sind häufig die Produktion von Roh- und Zwischenprodukten, die wirtschaftlich nur noch von einigen wenigen Produzenten hergestellt werden.

Die Rationalisierung der Versorgungsketten (supply chain management) und der Logistik führt zu einer neuen räumlichen Verteilung der Interaktionspartner und zur komplexen Bewertung nicht nur der Hauptprozesse durch Kennziffern, sondern auch der produktorientierten Infrastruktur; Pipelines und Verkehrsmittel werden somit zu „Zwischenlagern“ für die Unternehmen. Durch die wachsende Bedeutung von Feinchemikalien und Wirkstoffen in sehr kleinen Mengen (siehe Abb. 5) werden neben den so genannten Mehrproduktanlagen, in denen eine Palette von Produkten hintereinander in Chargen in jeweils leicht modifizierten Anlagenstrukturen hergestellt werden, die aber ausrüstungsintensiv sind, in der letzten Zeit Anlagenstrukturen entwickelt, die in den Milli- bzw. Mikromaßstab reichen. Diese neue Richtung der Technologiegestaltung (Mikroverfahrenstechnik) besteht in der Miniaturisierung der Ausrüstungen zur Durchführung von industriellen Stoffwandlungen in so genannten Mikrostrukturapparaten, Chipreaktoren genannt. Diese haben sehr kleine Abmessungen, zwischen 1 mm und 10 µm. Dieser neuartige Ausrüstungstyp besitzt eine Reihe bemerkenswerter Eigenschaften:

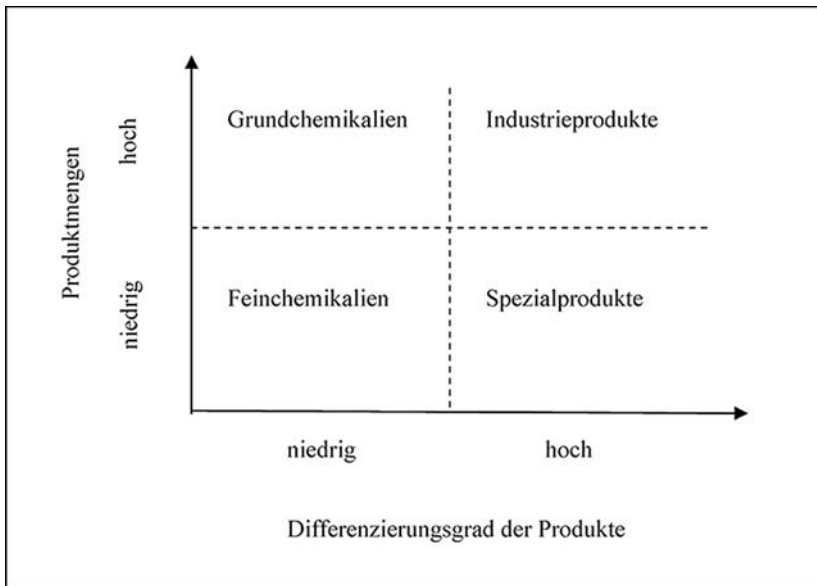


Abb. 5: Unterteilung der Produkte nach ihrem Differenzierungsgrad und den Produktmengen

- Hohe Prozessintensität durch Mikromischung der Komponenten. Die Mischzeit verringert sich gegenüber den traditionellen Mischern um Größenordnungen.
- Sehr große Oberflächen- zu Volumenverhältnisse. Dadurch können Stoffwandlungen bei höheren Temperaturen sogar isotherm durchgeführt werden (sehr schnelles Aufheizen und Abkühlen) ohne Zusatz von Lösungsmitteln.
- Erzielung sehr hoher Raum-Zeit-Ausbeuten und Selektivitäten; dadurch wird der Anfall von Nebenprodukten reduziert und die Produkte werden reiner.
- Einsparungen bei aufwendigen Trenn- und Aufbereitungsoperationen.
- Realisierung neuer Synthesewege, z. B. verändertes Isomerenverhältnis.
- Geringere Reaktionsvolumina und damit verbundene höhere Prozesssicherheit.
- Im Prinzip geringer Aufwand für die Modellierung, da die Auslegung stark experimentorientiert ist.

Prototypen dieser Technologien – in „Schuhkartongröße“ – werden bereits mit Jahreskapazitäten bis zu 50 t/a betrieben. Industrielle Anlagen wer-

den durch „scale out“ oder „numbering up“, d. h. durch mehrfache parallele Wiederholungen der miniaturisierten Prozesseinheiten ertüchtigt, um die gewünschte Kapazität zu erreichen (Mini-Konti-Betrieb). Wirtschaftliche Vorteile sind

- Schnellere Anforderungsentwicklung (von der Anfrage bis zum Produkt). Der „Modellierungsaufwand“ wie bei Großanlagen entfällt weitgehend.
- Verkürzung der Projektrealisierungszeiten – Parallelisierung der einzelnen Prozess-Schritte.
- Verteilte (kooperative), integrierte und parallele Produktentwicklung und modulare Produktgestaltung (simultaneous engineering).
- Punktgenaue Bedienung des Marktes mit den verlangten Produkten.
- Anpassung an unternehmensspezifische Anforderungen (customizing) im Produktspektrum.
- „Konstruktion“ von Produkten mit genau vorgegebenen Eigenschaften, z. B. bei Nanomaterialien.
- Vereinfachung des „Behördenengineerings“.

Haupteinsatzgebiete sind die Synthese von Feinchemikalien, pharmazeutischen Produkten, speziellen Pigmenten (Nanomaterialien), Synthesen, die in Großanlagen zu unerwünschten Nebenprodukten führen, und Screening im Laborbereich.

Neben der „prozessorientierten“ Komponente wird die „produktorientierte“ Komponente verstärkt Gegenstand der Prozessindustrie:

- Visualisierung von Vorgängen im Inneren der Apparate (FET);
- Orientierung auf das Moleküldesign.

Über das Produkt-Design kommt nicht nur der Aspekt der Rohstoffe/Ausgangsstoffe, sondern auch der der späteren Entsorgung in das Feld der Technologie (Konstruktion, Recycling, Demontage).

Ständig kürzer werdende Produktentwicklungszeiten erfordern eine frühzeitige Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen dem Produkt und aller damit in Verbindung stehenden Prozesse.

Weitere wichtige Entwicklungen in der Technologie sind mit den Forderungen nach Nachhaltigkeit, der Betrachtung der gesamten Lebenszyklen von Produkt und Prozess-System sowie der Entscheidungsfindung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewertungskriterien verbunden (z. B. life-cycle-/Lebenszyklusanalyse).

Entscheidungen über die optimale Gestaltung großer industrieller oder regionaler Systeme für die Zwecke einer langfristig Ressourcen sparenden und ökologisch orientierten Stoff- und Energiewirtschaft besitzen in der Regel

eine hohe Komplexität und erfordern eine aufwendige Modellierung sowohl der betreffenden Elemente des großen Systems, als auch der Bedarfssituationen und der notwendigen Infrastruktur. Die mit der Entscheidungsfindung verbundenen Operationen sind dergestalt, dass sie nur unter Verwendung rechnergestützter Werkzeuge, so genannter modellgestützter mehrkriterieller Entscheidungssysteme (decision support systems, DSS) sinnvoll durchgeführt werden können (siehe Abb. 6). Ein Entscheidungsträger erhält damit umfassende Möglichkeiten, Entscheidungssituationen bzw. alternative Entwicklungsvarianten nutzerfreundlich zu entwerfen, quantitativ umfassend zu berechnen und zu bewerten, d. h. eine fundierte Grundlage dafür zu schaffen, das technologisch Machbare, das kostenmäßig Vertretbare und das ökologisch Wünschenswerte rechnergestützt zu generieren und individuellen Bewertungen – auch durch weitere Kriterien aus sozialer und politischer Sicht z. B. im Sinne von Technologiefolgeabschätzungen – zugänglich zu machen.

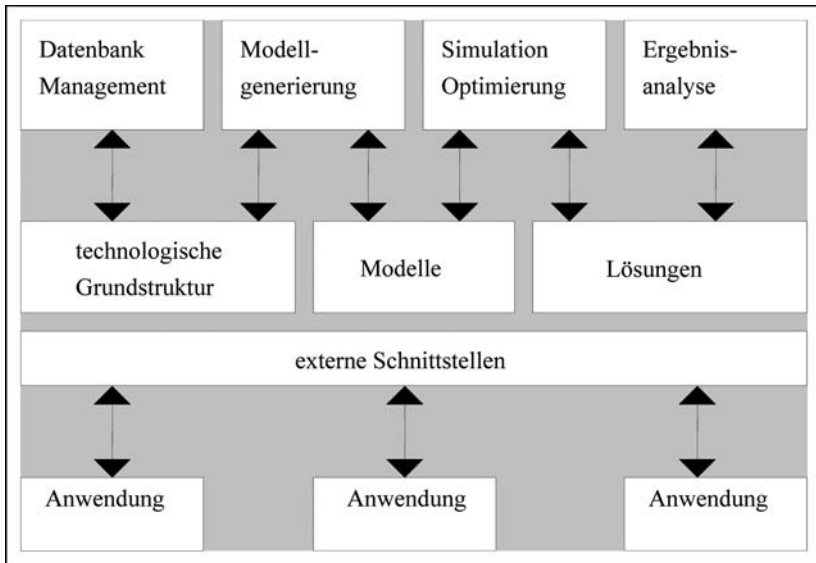


Abb. 6: Struktur entscheidungsunterstützender Systeme für große Verbundsysteme

Entscheidungsunterstützende Systeme bestehen aus Bausteinen zur modellmäßigen Abbildung der Objektbereiche. Um Entscheidungen und Optionen unter sich ständig ändernden äußeren Bedingungen optimal zu bewerten, ist eine komfortable Handhabung der Modelldaten in Form von Datenbanken

von der Datenerfassung bzw. ständigen Aktualisierung bis zur flexiblen Erzeugung aufgabenabhängiger Modelle notwendig. Kernstück eines DSS ist daher ein Datenbanksystem, das die zur Abbildung des Problembereichs notwendigen Daten und Datenstrukturen bereitstellt, sowie ein Modell- und Methodenbanksystem mit einem zugehörigen Problemgenerator und -löser. Weiterhin ist die Optimierung unter mehreren Zielkriterien möglich, um optimale Kompromissmengen zu berechnen. Wichtig in einem solchen DSS sind interaktive, graphische Problem- und Lösungsdarstellungen, damit der Entscheidungsträger die generierten Alternativen nachvollziehen und in seinem Problemverständnis erfassen kann. Scenario-Manager gestatten, eine größere Anzahl von Simulationsrechnungen nutzerfreundlich durchzuführen.

Derartige Werkzeuge für die Analyse, Modellierung, Bewertung und Optimierung sowie Synthese optimaler Strukturen und Entwicklungspfade können zu großen Einsparungen beim Einsatz von Ressourcen (Rohstoffe und Energien), Anlagenkapital und zur Reduzierung der Umweltbelastung beitragen, um Ziele wie prozess- bzw. produktionsintegrierten Umweltschutz und Systemeffekte in großen Systemen z. B. mit dem Ziel der optimalen Abfallenergieverwertung, der CO<sub>2</sub>-Reduktion, der Reduzierung der Entropieproduktion u. a. in großen Systemen umzusetzen.

Diese Entscheidungshilfesysteme sind somit geeignet, zur Untersuchung und Optimierung komplexer, hierarchisch gegliederter Systeme beizutragen, wobei die Teilsysteme (Elemente) durch Stoff-, Energie-, Kosten- und Informationsströme miteinander und mit der Umgebung verbunden sind.

Seit der Einführung der rechnerbasierten Leittechnik in den Prozessindustrien vor ungefähr 40 bis 45 Jahren waren zentrale Leitwarten ein Kennzeichen moderner Prozessführungssysteme. Die Fortschritte in der Prozessleittechnik ermöglichten die Errichtung und Betrieb sehr kompakter Leitwarten, allerdings als Teil der Prozessanlage.

Mit den Fortschritten in der Telekommunikationstechnik wie Internet, Breitbandtechnik, satellitengestützte Kommunikation, Multimedia u. a. entsteht die Möglichkeit, die Leittechnik örtlich von der technologischen Anlage zu trennen. D. h., nur die erforderliche Basisautomatisierung (Sensoren, Aktuatoren, intelligente dezentrale Automatisierungsgeräte/Feldgeräte) verbleibt in den dezentralen technologischen Anlagen, die aufwendige Leittechnik wird jedoch für mehrere dezentrale Anlagen zentral eingerichtet (siehe Abb. 7). Die dadurch mögliche Einsparung von leittechnischer Ausrüstung (für jede dezentrale Anlage) erlaubt die kostengünstige Einführung komfortabler Automatisierungsfunktionen in zentralen Leitwarten. Bevorzugte Einsatzgebiete

werden nicht die Kernbereiche der Stoff- und Energiewirtschaft sein, sondern kleinere dezentrale Anlagen, wie Kommunale Ver- und Entsorgungsanlagen, biotechnologische Anlagen, Windkraftanlagen, Photovoltaik-Anlagen, Wassergewinnungs- und Abwasseranlagen u. a.

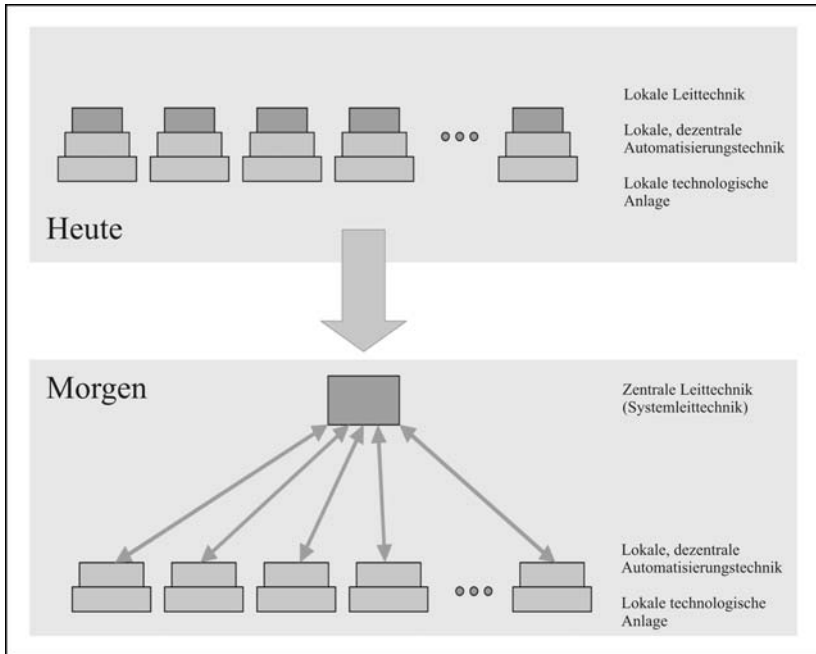


Abb. 7: Dezentralisierung von Prozessleitsystemen – Optimale Lösung für kleine Anlagen

Diese wenigen Beispiele, die alle in und aus dem Konzept der modernen, modell- und system- sowie rechnergestützten Allgemeinen Technologie integriert und entwickelt worden sind, zeigen, dass diese Idee nicht nur fruchtbar ist, sondern auch eine stetig erweiterbare und schöpferische Basis für neue technologische Entwicklungen darstellt.

## Literatur

- Fratzscher, W. (2002): Technologie und Ingenieursausbildung. In Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie. Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Berlin, S. 207–217 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 50, Jg. 2001, H. 7)
- Fratzscher, W.; Meinicke, K.-P. (Hg.) (1997): Verfahrenstechnik und Wiedervereinigung. Berlin

- Fratzcher, W.; Stephan, K. (Hg.) (2000): Strategien zur Abfallenergieverwertung. Braunschweig
- Hartmann, K. (2002): Systemtechnische Aspekte der modernen Technologie am Beispiel der Stoffwirtschaft. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie. Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Berlin, S. 103–120 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 50, Jg. 2001, H. 7)
- Hartmann, K. (2004): Neue Technologien zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes von Rauchgasen aus Kraftwerken und anderen CO<sub>2</sub>-haltigen Gasströmen. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 64, S. 111–134
- Krug, K. (2002): Technologie und Chemieingenieurwesen aus historischer Sicht. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie. Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft. Berlin, S. 175–185 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 50, Jg. 2001, H. 7)