

1

Einführung*Ralf Goedecke*

Die Fluidverfahrenstechnik – früher als Thermische Verfahrenstechnik bekannt – hat in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewonnen, in der petrochemischen und pharmazeutischen, vor allem aber in der chemischen Industrie. Der Begriff Fluidverfahrenstechnik hat sich heute durchgesetzt und umfasst weit mehr als das physikalische und apparative Verständnis beim Trennen von Mehrstoffgemischen in Kolonnen. Die Fluidverfahrenstechnik befasst sich im weitesten Sinne mit der prozesstechnischen Behandlung von Flüssigkeits- oder Gasgemischen zur Reinigung, Auftrennung und Aufkonzentrierung der einzelnen Komponenten durch Einsatz selektiver Trenntechniken. Dabei spielen thermodynamische, apparative und besonders energetische Betrachtungen eine entscheidende Rolle. Das vorliegende Buch zeigt die Bedeutung der Fluidverfahrenstechnik als Teil der Verfahrenstechnik. Zugleich wird das Potenzial zur prozesstechnischen Verbesserung einzelner Verfahrensstufen und Optimierung des Gesamtverfahrens ausgewiesen.

Die Forderungen nach kürzeren Entwicklungszeiten, optimal und sicher ausgelegten Prozessstufen, das Bestreben komplexere, energetisch gekoppelte Chemieanlagen zu beherrschen, haben zur Entwicklung der Miniplant-Technologie, neuer messtechnischer Verfahren und zum Einsatz der Prozessmodellierung sowie -simulation geführt. Diese Entwicklungen hat sich die Fluidverfahrenstechnik zueigen gemacht und weiterentwickelt, so dass heute entsprechende Technologien und Werkzeuge wie Tomographie, Computational Fluid Dynamics (CFD), Kolonnen-Scanning oder Datenvalidierung fester Bestandteil der Fluidverfahrenstechnik sind.

Das Buch beschreibt die Methodik und konkrete Vorgehensweise des Ingenieurs im Rahmen einer ganzheitlichen Verfahrensentwicklung von der Grundidee über die Laborarbeiten, die Stoffdatenbeschaffung, den Einsatz der Prozesssynthese, die Miniplant, das Absichern einzelner Verfahrensstufen im Technikum und das Scale-up bis zur Simulation des Gesamtprozesses. Dabei werden die Vorteile, aber auch die Grenzen der Miniplant-Technologie, aufgezeigt. Darüber hinaus werden Methoden und Werkzeuge zur Unterstützung der Verfahrensentwicklung und die damit verbundenen Potenziale zur Reduzierung der Entwicklungszeiten erläutert.

Alle zum Verständnis der Unit Operations notwendigen Grundlagen aus den Bereichen Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung sowie zu Grenzflächenvorgängen sind ebenfalls Gegenstand des Buches.

Kernstück der Abhandlung bilden die praxisorientierten Kapitel der Unit Operations zur Trennung und Aufkonzentrierung von Stoffgemischen. Anhand zahlreicher Beispiele wird der aktuelle Stand der Technik aufgezeigt, und die folgenden Trenntechniken der Fluidverfahrenstechnik werden umfassend beschrieben:

- Verdampfung und Kondensation,
- Rektifikation,
- Absorption,
- Flüssig-Flüssig-Extraktion,
- Trenntechnik mit überkritischen Fluiden,
- Adsorption,
- Chromatographie,
- Membrantechnik,
- Schmelzkristallisation.

Die Darstellung der verschiedenen Trenntechniken beschränkt sich dabei nicht nur auf Grundlagen und Methodik der Fluidverfahrenstechnik, sondern ergänzt diese um betriebs- und apparatetechnische Aspekte, die vor allem den Entwicklungs- und Betriebsingenieuren eine Hilfe sein sollen:

- typische Apparateausführungen,
- Einbauten bei Kolonnen,
- Scale-up/vom Versuch zum Apparat,
- Auslegungsprogramme,
- Troubleshooting,
- vergleichende Kostenaspekte.

Die Erkenntnis von Wärme- und Stoffübertragung, besonders in Vielstoffsystemen, der Thermodynamik komplexer Gemische, der Mehrphasenströmung von Fluiden mit unterschiedlichen Eigenschaften, der Produktentwicklung in Kristallisationsprozessen erlauben heute nach 50 Jahren Forschung eine wesentlich bessere und sicherere Auslegung der klassischen Unit Operations wie Absorption, Rektifikation, Verdampfung, Kondensation, Flüssig-Flüssig-Extraktion, Adsorption und neuerdings auch Kristallisation. Nach Górak kann man den Reifegrad eines technischen Verfahrens in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Anwendung der einzelnen Unit Operations in der Industrie darstellen (Górak 1995).

Dabei wird deutlich, dass Anfang der neunziger Jahre die noch nicht etablierten Trennverfahren wie Membrantechnik, Chromatographie und Überkritische Extraktion nur bei wenigen technischen Anwendungen als „Proven Technology“ eingestuft wurden. Es ergeben sich jedoch zunehmend neue Einsatzmöglichkeiten in der Feinchemie, Pharmaindustrie, Biotechnologie sowie in den neuen Prozessindustrien wie Lebensmittel-, Medizin- und Elektrotechnik. Auch die Schmelzkristallisation – als Teilgebiet der Kristallisation – hat an Bedeutung ge-

Unit Operations in der Fluidverfahrenstechnik

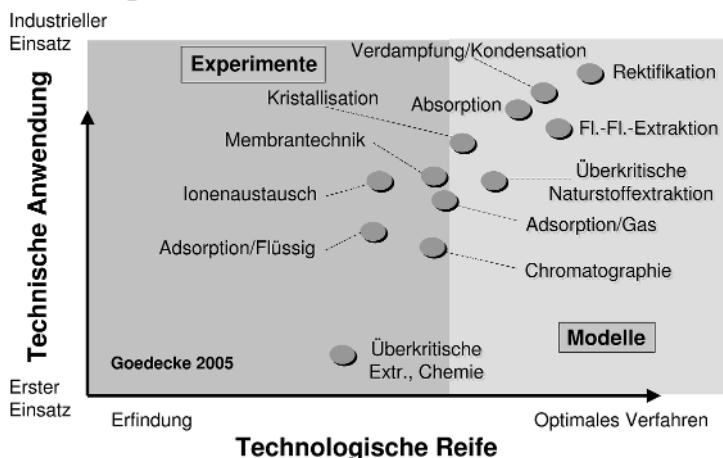


Abb. 1-1: Abhängigkeit zwischen der technologischen Reife und der technischen Anwendung eines Trennverfahrens nach Goedecke (basiert auf Strube, Schulte 2003).

wonnen, insbesondere bei der Behandlung temperaturempfindlicher Materialien wie im Monomerbereich und der Lebensmitteltechnik.

Im Jahr 2003 haben Strube und Schulte die in den letzten zehn Jahren erzielten Fortschritte bei der Anwendung der verschiedenen Trennverfahren neu bewertet und das Diagramm von Górak entsprechend aktualisiert (Strube und Schulte 2003). Eine erneute Anpassung erfolgte 2005 durch Goedecke, siehe Abb. 1-1.

Neben der umfassenden Beschreibung der Unit Operations kam es den Autoren darauf an, beispielhaft für Ingenieure und Chemiker den Weg aufzuzeigen von der Lehre zur praktischen Anwendung. Großes Erfahrungswissen von Fachkollegen aus der Industrie fand so erstmals Eingang in ein umfassendes Handbuch.

Folgende Aspekte dieses Buches sind für den planenden Ingenieur von besonderem Wert bei Entwicklung, Auslegung, Bau und Betrieb von Apparaten und Anlagen:

- Im Kapitel Extraktion werden erstmals aktuelle Ergebnisse zu neuen Auslegungsverfahren zusammenfassend vorgestellt, sowohl zu Settlern mit Einbauten als auch zur Beschreibung von Extraktionskolonnen, die auf Messungen an einzelnen oder wenigen Tropfen im Labormaßstab basieren. Hiermit lassen sich signifikante Zeit- und Kostenersparnisse realisieren.
- Als Unterstützung für den Ingenieur bei der Auswahl und Auslegung eines Apparates wurden die Auswahlkriterien einer Apparateklasse für einzelne Unit-Operations grundlegend überarbeitet. Darüber hinaus wurden aktuelle Vergleiche der Apparatkosten durchgeführt.

- Im Rahmen der Darstellung der Schmelzkristallisation – einem in der deutschsprachigen Literatur bisher vernachlässigten Aspekt bei der Behandlung der Trennverfahren – werden wertvolle Entscheidungshilfen zur Auswahl eines geeigneten Schmelzkristallisationsverfahrens gegeben.
- In dieser Form neu ist auch die Darstellung des Gleichgewichtsmodells, der kinetischen Stofftransportansätze sowie des HTU/NTU-Konzepts bei den Berechnungsmethoden für Absorber.
- Das Kapitel „Trenntechnik mit überkritischen Fluiden“ weist auf die neuen Einsatzmöglichkeiten sowie den technischen Durchbruch bei der Extraktion mit überkritischem CO₂ hin und zeigt auch die betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekte dieser noch jungen Trenntechnik auf.
- Am Beispiel eines konkreten Entwicklungsprojekts wird aufgezeigt, wie durch effiziente Verfahrensentwicklung und Simultaneous Engineering Projektdauer und -kosten maßgeblich reduziert werden können. Hierfür werden erstmalig die Gesamtkosten der Prozesskette von der Laborforschung bis hin zur Inbetriebnahme der Produktionsanlage aufgeschlüsselt, analysiert und dargestellt.

Anliegen des Buches war es auch zu zeigen, dass sich die Fluidverfahrenstechnik innerhalb der Verfahrenstechnik als eigenständiges Fachgebiet etabliert hat. Wesentlichen Anteil an dieser Entwicklung hat der GVC/VDI-Fachausschuss Fluidverfahrenstechnik durch seine fachübergreifende Arbeit zwischen Industrie und Hochschule (Arlt und Goedecke 2003).

Ziel des Ausschusses war es, alle wesentlichen Aspekte der thermischen Trennverfahren im Hinblick auf Grundlagen, Methodik und sichere Auslegung von Apparaten und Prozessen zu bündeln, gleichzeitig die Einführung und Entwicklung von neuartigen Unit Operations bekannt zu machen und zu unterstützen.

Wie sich die Fluidverfahrenstechnik in den nächsten Jahren in Deutschland entwickeln könnte, stellen Górak und Schoenmakers in ihrem Positionspapier „Fluidverfahrenstechnik: Trends und Antworten“ dar (Górak und Schoenmakers 2005).

Literatur

- Arlt, W.; Goedecke, R.: Thermische Zerlegung von Gas- und Flüssigkeitsgemischen im Spiegel des GVC- Fachausschusses- Rückblick und Ausblick, *Chem.-Ing.-Techn.* **2003**, 75 (10), 1496–1505.
- Górak, A.: Simulation thermischer Trennverfahren fluider Vielkomponentengemischen in Schuler, H.: *Prozesssimulation*, VCH Weinheim **1995**.
- Górak, A.; Schoenmakers, H.: *Fluidverfahrenstechnik: Trends und Antworten*, Positionspapier des GVC/VDI-Fachausschusses „Fluidverfahrenstechnik“, März **2005**.
- Strube, J.; Schulte, M.: *Thermische Trennverfahren als Schlüsseltechnologie in den Life Sciences*, Vortrag auf Dechema/GVC-Jahrestagung **2003** in Mannheim.