



Siegfried Ripperger
Kai Nikolaus

Entwicklung und Planung verfahrens- technischer Anlagen

VDI



Springer Vieweg

VDI-Buch

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/3482>

Siegfried Ripperger • Kai Nikolaus

Entwicklung und Planung verfahrenstechnischer Anlagen



Springer Vieweg

Siegfried Ripperger
Ehemaliger Leiter des Lehrstuhls für
Mechanische Verfahrenstechnik
Technische Universität Kaiserslautern
Kaiserslautern, Deutschland

Kai Nikolaus
Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik
Technische Universität Kaiserslautern
Kaiserslautern, Deutschland

ISSN 2512-5281

ISSN 2512-529X (electronic)

VDI-Buch

ISBN 978-3-662-60426-7

ISBN 978-3-662-60427-4 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-60427-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Ein Teilgebiet der Verfahrenstechnik, die Anlagentechnik, beschäftigt sich mit der technisch-wirtschaftlichen Umsetzung und dem Betrieb verfahrenstechnischer Prozesse. Das schließt die Entwicklung, die Planung sowie den Bau entsprechender Anlagen mit ein. Die Entwicklung und Planung solcher Anlagen ist ein stark arbeitsteiliger und interdisziplinärer Prozess, der in der Regel im Rahmen eines Projektes von einem Team mit vielen Mitgliedern durchgeführt wird. Steigende Qualitäts-, Sicherheits- und Umweltaanforderungen und ein hoher Kostendruck sowie der Kundenwunsch nach einer kurzen Projektlaufzeit zwingen die Anlagenplaner zu optimalen Projekt- und Arbeitsabläufen.

Verfahrenstechnische Anlagen sind in der Regel komplexe Industrieanlagen, die Apparate und Maschinen enthalten, die in ihrem Zusammenwirken so angeordnet sind, dass sie als Gesamtheit ein Stoffsystem so verändern, dass ein verkaufsfähiges End- oder Zwischenprodukt entsteht (Produktionsanlage) und/oder schädliche Stoffe in unschädliche oder weniger schädliche Stoffe umgewandelt werden (Anlagen zum Umweltschutz). Sie sind der Kern chemischer Produktionsprozesse, jedoch auch in vielen anderen Industriebereichen anzutreffen.

Bei der Entwicklung, Konstruktion und dem Bau der zugehörigen Apparate und Maschinen müssen neben den technischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Forderungen auch eine Vielzahl von rechtlichen Vorschriften beachtet werden. Daher wird in einem gesonderten Kapitel kurz in das technische Recht eingeführt. Die Dimensionierung und Gestaltung von Elementen des Apparate- und Maschinenbaus ist Gegenstand eigenständiger Fachdisziplinen innerhalb der Gebiete Maschinenbau und Verfahrenstechnik. Viele Elemente sind standardisiert (z. B. durch EN-, DIN- und ISO-Normen) und die Berechnungen zu ihrer Dimensionierung sind teilweise in technischen Regelwerken festgelegt.

Der vorliegende Band will in dieses Teilgebiet der Verfahrenstechnik einführen. Er basiert auf Vorlesungen, die an der Technischen Universität Kaiserslautern gehalten werden.

Es wird empfohlen für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Kaiserslautern, Deutschland
August 2019

Siegfried Ripperger
Kai Nikolaus

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einführung** 1
 - 1.1 Verfahrenstechnische Anlagen 1
 - 1.2 Entwicklung, Planung und Konstruktion 7
 - 1.3 Apparatebau, Maschinenbau, Apparatetechnik 9
 - 1.4 Literatur 11
 - Literatur 12
- 2 Einführung in das Projektmanagement** 13
 - 2.1 Kennzeichnung eines Projektes 13
 - 2.2 Projektablauf bei einer Anlagenplanung 15
 - 2.3 Projektmanagement 23
 - Literatur 24
- 3 Wirtschaftliche Betrachtungen** 25
 - 3.1 Einleitung 25
 - 3.2 Schema zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit 25
 - 3.2.1 Investitionskosten 26
 - 3.2.2 Betriebskosten 28
 - 3.2.3 Spezifische Produktions- bzw. Herstellkosten 29
 - Literatur 29
- 4 Modularisierung im Anlagenbau** 31
 - 4.1 Einführung 31
 - 4.2 Module und Modulgruppen 31
 - 4.3 Erwartete Vorteile der Modularisierung 33
 - 4.4 Standardisierung 34
 - Literatur 35

5	Die Rolle des Versuchs und der Simulation	37
5.1	Die Rolle des Versuchs	37
5.2	Ähnlichkeitslehre und dimensionslose Kennzahlen	39
5.2.1	Grundlagen	40
5.2.2	Bestimmung relevanter dimensionsloser Kennzahlen	42
5.3	Computereinsatz und Simulationstechniken	49
	Literatur	54
6	Technisches Recht zur Apparate- und Anlagentechnik	55
6.1	Einführung	55
6.2	Europäisches Recht	56
6.2.1	Historische Entwicklung	56
6.2.2	EU-Rechtsbeschlüsse	59
6.2.3	Das „Neue Konzept“	61
6.2.4	Europäische Normen	64
6.2.5	Harmonisierung von Prüfverfahren	65
6.2.6	Industrie-Emissionsrichtlinie (IED)	66
6.2.7	Maschinenrichtlinie und Produktsicherheitsrichtlinie	67
6.2.8	Druckgeräte richtlinie	68
6.2.8.1	Gültigkeitsbereich der Druckgeräte richtlinie	69
6.2.8.2	Analyse der Gefahren und Risiken	70
6.2.8.3	Eingruppierung der Druckgeräte	71
6.2.8.4	Konformitätsbewertung und -erklärung	76
6.2.8.5	Sicherheitsanforderungen an Druckgeräte und zugehörige EN-Normen	79
6.2.8.6	Einfache Druckbehälter	80
6.2.9	Explosionsschutz-Richtlinie (ATEX-Richtlinie)	83
6.3	Deutsches Recht	84
6.3.1	Einleitung	84
6.3.2	Deutsches Recht und Europarecht	86
6.3.3	Bundes-Immissionsschutzgesetz	86
6.3.4	Produktsicherheitsgesetz	87
6.3.5	Arbeitsschutzgesetz	88
	Literatur	89
7	Normung und Standardisierung	91
7.1	Einführung	91
7.2	Grundsätze der Normung	92
7.3	Ergebnisse der Normung	94
7.3.1	Terminologie	94
7.3.2	Anforderungsprofile und Testprozeduren	94
7.3.3	Vergleichbare Ermittlung von Parametern zur Auslegung	95

7.3.4	Rationalisierung	95
7.3.5	Anerkannte Regeln der Technik	96
7.3.6	Sicherheit und Verbraucherschutz	96
7.4	Normungsorganisationen	97
7.4.1	Deutsches Institut für Normung (DIN)	97
7.4.2	Europäische Normungsorganisationen	98
7.4.3	Internationale Organisation für Normung (ISO)	98
7.5	Weitere Richtlinien erarbeitende Organisationen	98
8	Werkstoffe und Werkstoffauswahl	101
8.1	Werkstoffgruppen der Apparatechnik	101
8.2	Auswahlkriterien für Werkstoffe	101
8.2.1	Mechanische Kennwerte	102
8.2.2	Form- und Umformbarkeit	105
8.2.3	Schweißbarkeit	106
8.2.4	Korrosion und Korrosionsschutz	106
8.2.5	Abrasion und Erosion	107
8.2.6	Anforderungen im Hinblick auf die Produkte	108
8.2.7	Anforderungen an Werkstoffe beim Bau von Druckgeräten	108
8.3	Stähle	109
8.3.1	Kennzeichnung und Einteilung	109
8.3.2	Nichtrostende Stähle	111
8.4	Gusseisen	115
8.5	Nichteisenmetalle	116
8.5.1	Kupfer und Kupferlegierungen	116
8.5.2	Aluminium und Aluminiumlegierungen	116
8.5.3	Nickel und Nickellegierungen	118
8.5.4	Titan und Titanlegierungen	118
8.5.5	Tantal	118
8.6	Kunststoffe	118
8.6.1	Einsatzgebiete	118
8.6.2	Kennzeichnende Merkmale und Einteilung	119
8.6.3	Eigenschaften	120
8.6.4	Thermoplaste	122
8.6.5	Duroplaste	125
8.6.6	Elastomere	126
8.7	Glas	127
8.8	Keramik, Porzellan	128
8.9	Kohlenstoff- und Graphit-Werkstoffe	130
8.10	Plattierungen, Auskleidungen und Beschichtungen	131
	Literatur	133

9 Beanspruchungen und Festigkeitsberechnungen	135
9.1 Grundlegende Anforderungen	135
9.2 Bauteile mit einer Belastung unter statischem Innendruck	139
9.2.1 Dünnwandige Druckbehälter und Rohre	140
9.2.2 Die Vergleichsspannung	145
9.2.3 Auslegung dünnwandiger Druckbehälter und Rohre nach AD 2000-Regelwerk	148
9.2.4 Dickwandige Druckbehälter und Rohre	152
9.2.5 Berechnung dickwandiger Druckbehälter nach AD 2000-Regelwerk	157
9.2.6 Berechnung dünn- und dickwandiger Druckbehälter und Rohre nach EU-Normen	160
9.2.7 Berechnung von Ausschnitten in Behälterwänden	162
9.2.8 Berechnung von Behälterabschlüssen	169
9.3 Auslegung von Druckbehältern und Rohren aus Kunststoff	174
9.3.1 Zeitstandverhalten	174
9.3.2 Temperaturbeständigkeit	178
9.3.3 Chemikalienbeständigkeit	179
9.3.4 Besonderheiten von Druckrohren oder Behältern aus GFK	180
9.4 Beanspruchung von Zentrifugentrommeln	181
9.5 Windlast	185
Literatur	187
Stichwortverzeichnis	189

1.1 Verfahrenstechnische Anlagen

In verfahrenstechnischen Anlagen werden

- a) Rohstoffe in nützliche Stoffe mit gewünschten Eigenschaften umgewandelt (Produktionstechnik, entsprechend Abb. 1.1),
- b) schädliche Stoffe in unschädliche umgewandelt (Umweltschutztechnik) oder
- c) beides miteinander verbunden und damit nützliche Stoffe erzeugt und „produktionsintegriert“ die Umwelt vor schädlichen Stoffen geschützt.

Die Entwicklung, Planung und Errichtung von solchen Anlagen war der Ausgangspunkt für die Entstehung des Fachgebietes Verfahrenstechnik. Eine verfahrenstechnische Anlage ist eine Kombination aus Apparaten und Maschinen zur Realisierung der Stoffumwandlung, die durch Rohrleitungen sowie Steuer- und Regeleinrichtungen miteinander verbunden sind. Sie sind in der Regel auch an die Ver- und Entsorgungssysteme eines Betriebes angeschlossen. Innerhalb einer Anlage werden Stoffe behandelt, umgewandelt, transportiert und/oder zeitweise auch gelagert. Im Inneren der zugehörigen Apparate und Maschinen werden die erforderlichen Bedingungen für eine Stoffumwandlung eingestellt.

Mit einer verfahrenstechnischen Anlage wird ein verfahrenstechnischer Prozess realisiert. Dieser besteht in der Regel aus einer Vielzahl von einzelnen Schritten, bei denen Stoffe verändert werden. Diese können nacheinander oder gleichzeitig ablaufen. Bei den Einzelschritten handelt es um die Vorgänge Lagern, Fördern und Umwandeln. Zum Umwandeln werden verfahrenstechnische Grundoperationen (Grundverfahren, engl. „unit operations“) angewendet, mit denen die Zusammensetzung der Ausgangsstoffe, ihre Eigenschaften und/oder ihre Art verändert werden. Zur Veränderung der Art eines Stoffes

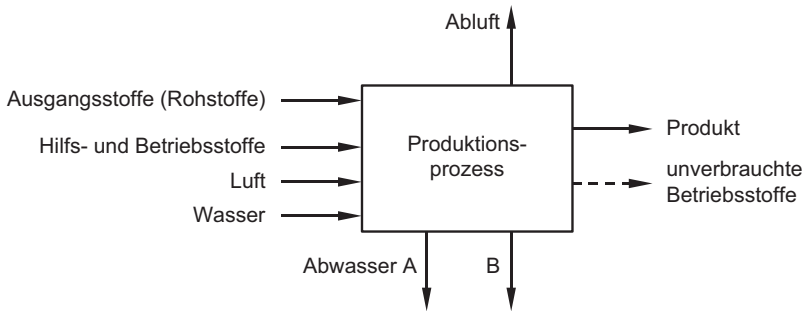


Abb. 1.1 Schematische Darstellung eines verfahrenstechnischen Produktionsprozesses

sind chemische oder biochemische Reaktionen notwendig. Generell ist man dabei bestrebt, die Stoffänderung so effektiv wie möglich zu gestalten und die Investitions- und Betriebskosten zu minimieren.

Der Entwurf solcher Prozesse beinhaltet die Prozesssynthese, d. h. die sinnvolle Anordnung von Grundoperationen derart, dass durch ihr Zusammenwirken die gewünschte Veränderung der zugeführten Stoffe erreicht wird. Die Prozesssynthese ist ein kreativer Vorgang, der solide verfahrenstechnische Grundkenntnisse erfordert. Oft kann die Stoffänderung mit mehreren Prozessvarianten erreicht werden, von denen dann eine auszuwählen ist. Nach der Prozesssynthese folgt die Prozessanalyse, bei der die Vor- und Nachteile sowie der notwendige Aufwand zur Realisierung von Prozessvarianten betrachtet werden. Nach der Entscheidung für einen Prozess, folgt die Auswahl der zugehörigen Apparate und Maschinen und ggf. auch ihre konstruktive Gestaltung entsprechend den Anforderungen. Die Umsetzung des verfahrenstechnischen Prozesses in Form einer Anlage sowie deren Betrieb ist Gegenstand der Anlagentechnik.

Die Grundoperationen zur Stoffwandlung, die in Verbindung mit den unterschiedlichsten Stoffen immer wieder angewendet werden, sind Gegenstand der in Abb. 1.2 aufgeführten Gebiete der Verfahrenstechnik. Die im Zusammenhang mit den Grundoperationen ablaufenden Vorgänge wurden und werden detailliert untersucht, mit dem Ziel, sie zu verstehen und physikalisch/mathematisch zu beschreiben. Dies ist eine Voraussetzung, um die Apparate und Anlagen optimal zu gestalten (auszulegen), und um sie im Hinblick auf die Produktqualität, die Betriebs- und Arbeitssicherheit, den Umweltschutz und die Wirtschaftlichkeit zu optimieren. Die jeweilige Grundoperation vollzieht sich im Verfahrensraum innerhalb eines Apparates oder einer Maschine (z. B. Trockner, Mühle oder Reaktor). Zur Erfassung der Vorgänge ist es üblich und notwendig, die Abläufe in weitere Einzelschritte zu zerlegen und diese zu beschreiben. Zur Erfassung der einzelnen Schritte müssen wesentlich kleinere Größenskalen berücksichtigt werden als die, welche dem Prozessraum entsprechen. Im Beispiel 1.1 wird das anhand der Sprühtrocknung verdeutlicht. Das Beispiel zeigt auch, dass in diesem Fall mechanische und thermische Grundoperationen simultan ablaufen und, dass diese für die Lehre des Fachgebietes sinnvolle Unterteilung entsprechend Abb. 1.2 bei der praktischen Anwendung nicht immer möglich ist.

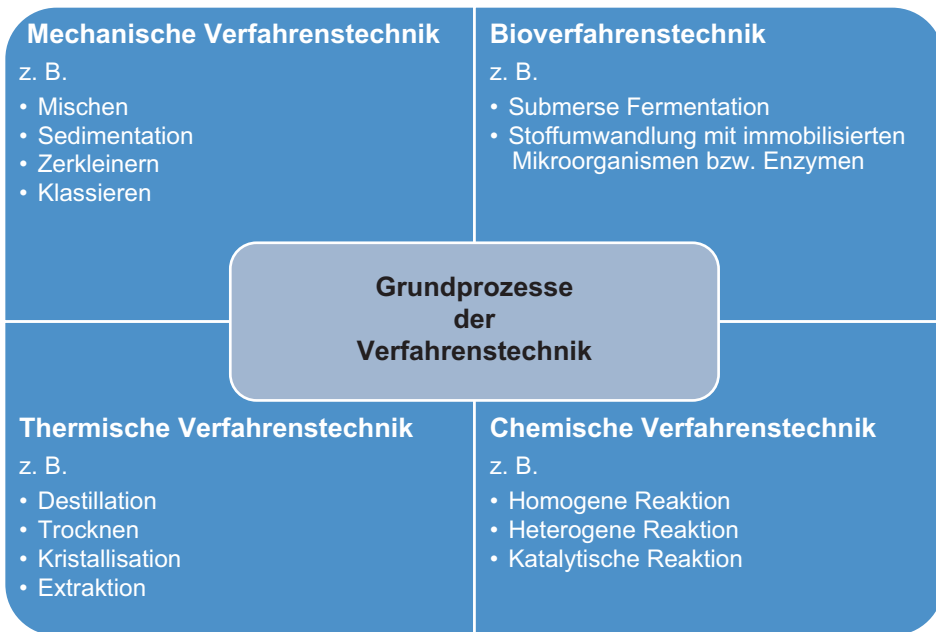


Abb. 1.2 Gliederung der Verfahrenstechnik und zugehörige Grundoperationen

Beispiel 1.1: *Sprühtrocknung*

Bei der Sprühtrocknung wird aus einer Suspension heraus ein trockener Feststoff, meist in Form eines Agglomerates feiner Partikeln, gewonnen. Man betrachtet beim Vorgang der Sprühtrocknung eines Feststoffes folgende Vorgänge:

- die Tropfenerzeugung,
- die Tropfenbewegung im Trockner,
- den gekoppelten Wärme- und Stoffaustausch an der Phasengrenze der Tropfen sowie
- die Agglomeratbildung und
- den Feuchttransport im Agglomerat.

Im Zusammenhang mit einem Produktionsprozess soll der Trocknungsvorgang so ablaufen, dass Agglomerate mit einer bestimmten Größe, inneren Struktur, Festigkeit und sonstigen gewünschten Eigenschaften erzeugt werden. An diesem Beispiel wird auch deutlich, dass im Fall eines Produktionsprozesses durch die Wahl der Bedingungen bei der Stoffwandlung wesentliche Eigenschaften des erzeugten Produktes eingestellt werden.

Anlagen zur Herstellung von Grundchemikalien werden in der Regel kontinuierlich betrieben und sind auf die Herstellung eines bestimmten Produktes abgestimmt. Dabei wird die „Economy of Scale“ ausgenutzt, was bedeutet, dass die Produktionskosten mit größer werdenden Produktionsmengen und einer entsprechenden Anlagengröße sinken. Im Fall von solchen „World-Scale-Anlagen“ wird die optimale Anlagenkonfiguration auf Basis der Produkthanforderungen des Marktes, den zur Verfügung stehenden Rohstoffen und dem Umfeld, in dem produziert wird, entwickelt. Oft werden die Anlagen im Verbund mit anderen Anlagen betrieben, sodass nicht verwertbare Energie- und Stoffströme mit anderen Anlagen ausgetauscht und genutzt werden können. Entsprechende Anlagen werden daher bevorzugt in so genannten Chemieparcs errichtet, in denen solche Synergieeffekte zum Vorteil für die darin angesiedelten Einzelunternehmen genutzt werden. Die meisten der dort installierten Anlagen sind einzigartig, d. h. sie wurden an die örtliche Situation angepasst.

Die große Zahl der Produkte der Feinchemie, Pharmazie, Biotechnologie und Lebensmitteltechnik können aus wirtschaftlichen Gründen oft nicht in einer eigens für ein Produkt errichteten Anlage produziert werden. Die herzustellende Menge eines Produktes ist oft zu gering, um eine Produktionsanlage dauerhaft auszulasten. In solchen Fällen sind so genannten Mehrproduktanlagen üblich, die flexibel an die jeweilige Aufgabe angepasst werden können. Bei einem Produktwechsel ist eine gründliche Reinigung der Anlagen und ggf. eine Anpassung an die etwas abweichenden Betriebsparameter der nächsten Produktionsphase notwendig. Die Anlagen werden jedoch so konzipiert, dass keine größeren Umbaumaßnahmen dabei erforderlich sind. Je nach Konzept werden die Anlagen kontinuierlich oder diskontinuierlich betrieben.

Die produzierenden Unternehmen konzentrieren sich zunehmend auf ihr Kerngeschäft. Die Kapazitäten ihrer Ingenieurabteilungen reichen oft nicht aus, um größere Investitionsprojekte zu bearbeiten. Daher kooperieren sie im Zusammenhang mit einer Anlagenplanung, Anlagenerweiterung oder der Anlageninstandhaltung zunehmend mit externen Dienstleistungsunternehmen. Diese haben sich in Form von Engineering-Unternehmen und Anlagenbauern zu einem unverzichtbaren Partner für diese Unternehmen entwickelt. Je nach Vertragsgestaltung, übernehmen sie die schlüsselfertige (engl.: Turnkey) Erstellung von verfahrenstechnischen Anlagen, inklusive der Ingenieurleistungen, der Beschaffung oder Fertigung von Komponenten, der Ausführung der Bau- und Montagetarbeiten und der Inbetriebnahme. Diese Form der Projektabwicklung, bei der ein Auftragnehmer als Generalunternehmer auftritt und sich verpflichtet eine Anlage schlüsselfertig zum Festpreis und zu einem mit Konventionalstrafen belegten Termin zu liefern, wird international mit den Schlagworten „Engineering, Procurement and Construction“ (kurz: EPC) beschrieben. Der EPC-Lieferant (engl.: Contractor) erbringt hierfür bis zur Übergabe alle notwendigen Leistungen.

In einem Unternehmen nicht vorhandene Technologien und Verfahren werden oft zugekauft oder lizenziert. Auch Neu- bzw. Weiterentwicklung von Prozessen und Anlagen werden im Rahmen von Kooperationen durchgeführt. Dabei zeichnet sich ein Trend zu standardisierten und modularisierten Anlagen ab. Dadurch sollen Produktideen schneller umgesetzt und an die Bedürfnisse des Marktes angepasst werden. Die Modularisierung im Anlagenbau wird im Kap. 4 näher betrachtet.

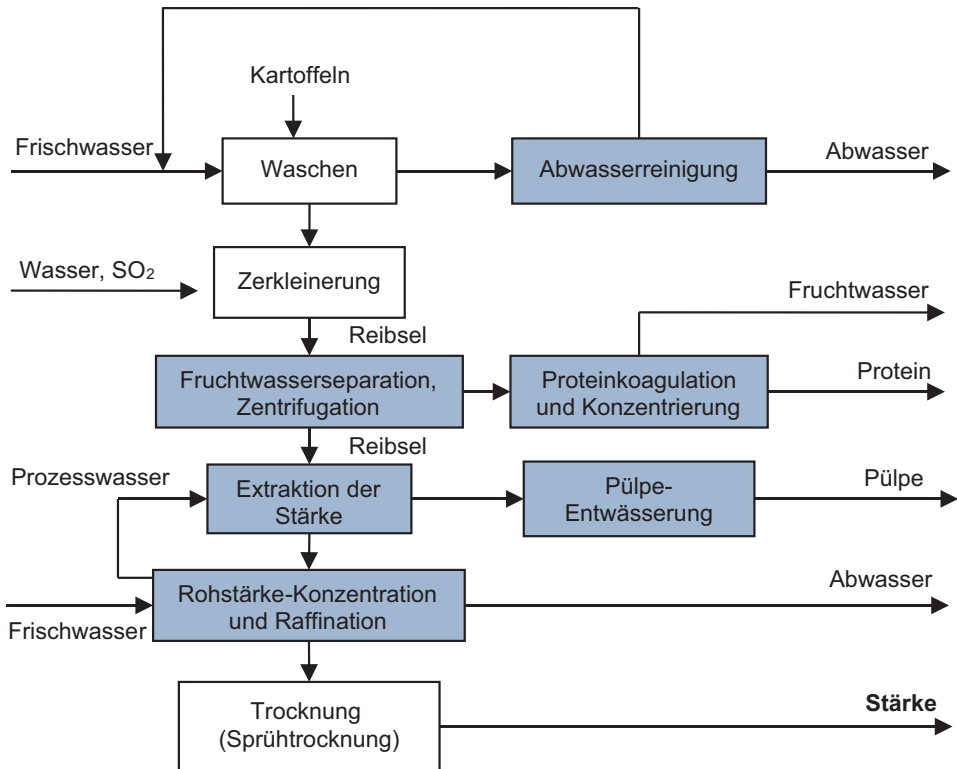


Abb. 1.3 Prozessschema zur Gewinnung von Kartoffelstärke

In Abb. 1.3 ist als Beispiel für einen verfahrenstechnischen Prozess ein Prozessschema zur Gewinnung von Kartoffelstärke aufgeführt. Daraus kann entnommen werden, dass in dem Prozess Grundoperationen aus vielen Gebieten der Verfahrenstechnik zusammenwirken, um die gewünschte Stoffumwandlung zu erreichen. Ziel ist, diese so führen, dass die Ausgangsstoffe mit möglichst wenigen Zwischenschritten in den Zustand des gewünschten Produktes überführt werden. Daher ist die Prozessentwicklung in der Verfahrenstechnik eng mit der Produktentwicklung verzahnt. Jeder verfahrenstechnische Prozess und die zugehörige Anlage müssen den Kriterien

- der Wirtschaftlichkeit,
- der Produktqualität,
- der Umweltverträglichkeit und des Umweltschutzes,
- des effizienten Rohstoffeinsatzes,
- der sparsamen Energienutzung und
- der Sicherheit genügen.

Die Apparate- und Anlagentechnik beschäftigt sich innerhalb der Verfahrenstechnik mit der technisch-wirtschaftlichen Umsetzung und dem Betrieb verfahrenstechnischer Prozesse in Form von Apparaten, Maschinen und Anlagen. Das schließt die Planung und Entwicklung sowie den Bau solcher Anlagen mit ein. Da dabei zum Teil erhebliche finanzielle Mittel eingesetzt und in den später betriebenen Anlagen oftmals große Stoff- und Energieströme umgewandelt werden, sind auch die mit der Umsetzung verbundenen umweltrelevanten sowie betriebs- und volkswirtschaftlichen Aspekte zu beachten.

Die Entwicklung, Planung, Errichtung und Inbetriebnahme einer verfahrenstechnischen Anlage werden von den jeweiligen örtlichen und zeitlichen Gegebenheiten geprägt. Es handelt sich in der Regel um ein einmaliges Vorhaben und damit um ein Projekt. Damit die gesetzten Ziele fristgemäß erreicht werden, ist es ratsam die Methoden des Projektmanagements anzuwenden. Grundlagen hierzu werden in Kap. 2 vermittelt.

Die Zahl der Verfahren und Prozesse, bei denen Stoffe verändert werden, ist sehr groß. Man geht davon aus, dass bei der Herstellung weit über der Hälfte aller Industrieprodukte die Verfahrenstechnik beteiligt ist. Somit ist ihr Beitrag an der Industrieproduktion erheblich. Sie ist eine Grundlage vieler Industriezweige, wie z. B.

- der chemischen Industrie (inkl. Petrochemie),
- dem Apparate- und Anlagenbau,
- der Kautschuk-, Gummi- und Kunststoffindustrie,
- der Textilindustrie,
- der Lebensmittel- und Genussmittelindustrie,
- der Futtermittelindustrie,
- der pharmazeutischen Industrie und Medizintechnik,
- der Papier- und Zellstoffindustrie,
- dem Bergbau und der Energie- und Brennstoffindustrie,
- dem Hüttenwesen,
- der Produktionstechnik,
- der Glas-, Keramik-, Zement-, Kalk-, Steine- und Erdenindustrie,
- der Wasseraufbereitung,
- der Umwelttechnik und Entsorgungsindustrie.

Die Aufzählung lässt auch erahnen, dass die Zahl der zu behandelnden Stoffe unüberschaubar ist.

Bereits bei der Planung der Anlagen und Auslegung der Apparate und Maschinen sind zahlreiche gesetzliche Anforderungen, die u. a. die Arbeitssicherheit, den Umweltschutz und die Unbedenklichkeit der Produkte betreffen, zu beachten. Hierzu ist es notwendig, die Struktur bzw. Hierarchie der gesetzlichen Regelwerke zu kennen. Diese werden für den Fall des „Technischen Rechts“ in Kap. 6 behandelt.

Zahlreiche Organisationen erarbeiten auf Basis der gesetzlichen Vorgaben und/oder dem aktuellen Stand der Technik und Wirtschaft qualifizierte Regeln bzw. Empfehlungen, die helfen, die hohen Anforderungen zu erfüllen. Diese Normen, Richtlinien oder Empfehlungen enthalten u. a. anerkannte Lösungen für wiederkehrende Aufgaben, oder

sie spezifizieren die z. T. komplexen Anforderungen, welchen die Anlagen genügen müssen. Kap. 7 behandelt daher Grundlagen dieser Standardisierungsarbeit und stellt die für die Anlagentechnik bedeutenden Organisationen vor.

1.2 Entwicklung, Planung und Konstruktion

Die Entwicklung und Planung einer Anlage beinhalten unzählige Arbeitsschritte, die ineinander übergehen oder aufeinander folgen. Dabei wird meist nicht zwischen einer Entwicklung und Planung unterschieden.

Entwicklung

Im engeren Sinne spricht man von einer Entwicklung, wenn technisches Neuland betreten wird. In diesem Fall gibt es für die durchzuführenden Arbeiten keinen Stand der Technik, an dem man sich orientieren kann, und keine anerkannten Regeln der Technik, nach denen man vorgehen kann. Die Neuerung bei einer Anlagenentwicklung kann sich z. B. auf die Verfahrensweise, die Gestaltung der Anlage, die Werkstoffe oder die Anwendung des Verfahrens beziehen. Da keine gesicherten Erfahrungen vorliegen, ist eine Entwicklung immer mit Risiken und Gefahren verbunden. Durch eine Erprobung von neu entwickelten Anlagen im kleineren Maßstab (Pilotmaßstab), können die Risiken und die darin begründeten Gefahren mit einer Anlage im Produktionsmaßstab minimiert werden. Solche Versuche sind oft ein wesentlicher Teil der Prozess- und Anlagenentwicklung. Zunehmend werden die experimentellen Arbeiten durch „virtuelle Versuche“ auf Basis von Simulationsprogrammen ergänzt. Die Bedeutung der Versuchs- und Simulationstechniken in Verbindung mit einer Prozess- und Anlagenentwicklung wird in Kap. 5 behandelt.

Im Laufe eines Entwicklungsprozesses wird auch neues Wissen generiert. Im Zusammenhang mit einem neuen Produkt und/oder einem neuen Prozess, die nutzbringend angewendet und wirtschaftlich verwertet werden, spricht man auch von einer Innovation. Bei verfahrenstechnisch hergestellten Produkten sind Innovationen häufig mit dem Herstellungsprozess verbunden. Es sind Beispiele bekannt, bei denen durch neue Synthesewege und/oder optimierte Aufarbeitungsschritte erhebliche Kosten eingespart und gleichzeitig die Produkteigenschaften verbessert werden konnten.

Ein Zwang zur stetigen Produkt- und Prozessentwicklung und zur Innovation ergibt sich für produzierende Unternehmen aufgrund der Konkurrenz und der stetigen Veränderungen des Umfeldes. In einer freien Marktwirtschaft, bei der staatliche Eingriffe in die Wirtschaft auf das notwendigste beschränkt werden, sind Innovationen der Unternehmen für das Gemeinwohl von großer Bedeutung. Sie sichern den Fortschritt innerhalb der Gemeinschaft und die Konkurrenzfähigkeit der Unternehmen in einem globalisierten Markt.

Planung, Konstruktion

Bei einer Planung und Konstruktion werden Verfahren und die zugehörigen Apparate und/oder Maschinen auf Basis anerkannter Regeln der Technik und/oder sonstiger gesicherter technischer und wissenschaftlicher Erkenntnisse entworfen bzw. konkretisiert. Dabei werden z. B. Konstruktionselemente sinnvoll ausgewählt und zusammengefügt. Die Wirkmechanismen sind in diesem Fall aufgrund von Erkenntnissen, Erfahrungen und der praktischen Bewährung unter definierten Einsatzbedingungen bekannt und beherrschbar. Das Verhalten der Anlagen und Verfahren ist im Rahmen der geplanten Betriebsbedingungen vorhersehbar. Fehler bei der Konstruktionsarbeit können durch Vergleich mit anerkannten Regeln der Technik oder sonstigem technischen Wissen eindeutig nachgewiesen werden. Dies ist ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zu Entwicklungsarbeiten, was auch für eine rechtliche Beurteilung von Fehlern von Bedeutung ist.

Bei der Planung und dem Bau einer Anlage müssen neben den technischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Forderungen auch eine Vielzahl von rechtlichen Vorschriften beachtet werden. Meist sind verschiedene Lösungen möglich. Die Dimensionierung und Gestaltung von Elementen des Apparate- und Maschinenbaues ist Gegenstand eigenständiger Fachdisziplinen mit einer umfangreichen Fachliteratur. Viele Elemente sind standardisiert (z. B. durch EN-, DIN- und ISO-Normen) und die Rechenverfahren zu ihrer Dimensionierung in technischen Regelwerken festgelegt. Für den Apparatebau geltende Regelwerke werden in Kap. 7 aufgeführt und in Kap. 9 näher behandelt.

Da verfahrenstechnische Methoden mit verschiedensten Stoffen in unterschiedlichen Industriezweigen angewendet werden, sind die Anforderungen an die Anlagentechnik entsprechend vielfältig und verschiedenartig. Daher sind die meisten verfahrenstechnischen Anlagen einzigartig. Eine Serienfertigung ist in der Regel für Komponenten, Bauteile sowie einzelne Module wirtschaftlich.

Anhand von Beispiel 1.2 werden Aspekte bzw. Gesichtspunkte, welche bei der Auslegung und apparatetechnischen Gestaltung eines Wärmeaustauschers zur Kühlung eines Gasstroms berücksichtigt werden müssen, aufgelistet. Die Liste zeigt, dass Wissen aus unterschiedlichen Disziplinen notwendig ist, um die gestellte Aufgabe zu lösen.

Beispiel 1.2: Zu berücksichtigende Aspekte bei der Auslegung und Gestaltung eines Wärmeaustauschers zur Gaskühlung

- Stoffdaten des Gasstroms,
- Stoffdaten des Kühlmediums (z. B. Kühlwasser),
- Betriebsdaten (u. a. Eintrittstemperaturen des Gases und des Kühlmediums, Gasvolumenstrom, Eintrittsdrücke),
- Betriebliche Anforderungen (u. a. Austrittstemperaturen),
- mögliche Betriebsweisen,
- Werkstoffauswahl unter Berücksichtigung von chemischer und thermischer Beständigkeit und Kosten,
- thermodynamische und strömungsmechanische Auslegung des Wärmeaustauschers (Berechnung der Wärmeübertragung und der Kühlfläche, Strömungsführung, Druckverlust, Temperaturen an den Heizflächen, Festlegung von Apparateabmessungen),

- Berücksichtigung von Verschmutzungseffekten (Fouling von Wärmetauscherflächen, ggf. Berücksichtigung von Reinigungsmaßnahmen),
- Mechanische Auslegung (Festigkeitsberechnung der Bauteile, Festlegung von Wanddicken), Überprüfung der Werkstoffauswahl, Berücksichtigung des Normalbetriebes und von möglichen Störfällen,
- Forderungen nach Gesetzen und Richtlinien (z. B. in Deutschland „Produktsicherheitsgesetz“, „Druckgeräterichtlinie“, Konformitätsbewertungsverfahren zur CE-Kennzeichnung)
- Überprüfung der Auslegung für den Fall von Anfahr- und Abschaltvorgängen (stationäre Betriebsphasen mit möglichen thermischen Spannungen),
- Berücksichtigung von Beanspruchungen durch Schwingungen und besondere Betriebszustände mit Druckschwankungen (z. B. Beanspruchung auf Einbeulen beim Entleeren),
- Ggf. Berücksichtigung von Veränderungen durch Erosion, Abrasion, Korrosion, Kriechen, Ermüden und Verspröden,
- Prüfung der Zugänglichkeit, Austauschbarkeit und Überprüfbarkeit,
- mögliche Fertigungsmethoden,
- Geforderte und geplante Abnahmeprüfungen,
- Berücksichtigung von Erfahrungen und des Standes der Technik,
- Herstellungskosten.

1.3 Apparatbau, Maschinenbau, Apparatetechnik

Der Apparat- und Maschinenbau beschäftigt sich mit der Entwicklung, Gestaltung und dem Bau von Apparaten und Maschinen, die u. a. in verfahrenstechnischen Anlagen zum Einsatz kommen. Apparate sind durch das Fehlen bewegter Teile gekennzeichnet. Sie dienen oft dem Wärme- und Stoffaustausch und werden entsprechend den ablaufenden Grundoperationen als Reaktor, Fermenter, Absorber, Extraktor, Kristallisor, Mischer, Filter, Wärmeaustauscher usw. bezeichnet. Apparate werden in der Regel in Kombination mit Arbeitsmaschinen, wie z. B. Pumpen und Verdichter, betrieben.

Maschinen beinhalten bewegte, vor allem rotierende und/oder pulsierende Teile. In einem verfahrenstechnischen Prozess kann oft alternativ zu einem Apparat auch eine Maschine eingesetzt werden, mit der dann die ablaufenden Operationen effektiver durchgeführt werden. So werden z. B. in Zentrifugen, die den Maschinen zugeordnet werden, Partikeln gegenüber dem Absetzvorgang in Sedimentationsbecken wesentlich höher durch Zentrifugalkräfte beschleunigt und effektiver abgetrennt. Dadurch wird der auf das Volumen bezogene spezifische Stoffdurchsatz vergrößert. Die Partikelabscheidung wird intensiviert, sodass man auch von einer Prozessintensivierung spricht. Die im Vergleich zu einem Apparat aufwändigere Konstruktion einer Maschine und der z. T. erhöhte Energieaufwand beim Betrieb sind dann gerechtfertigt, wenn die Operation mit einer Maschine insgesamt wirtschaftlicher durchgeführt werden kann. Beim Einsatz einer Zentrifuge ist dies

insbesondere bei kleinen Dichtedifferenzen und Partikelgrößen der Fall. Aufgrund der gegenüber der Erdbeschleunigung um ein Vielfaches höheren Zentrifugalbeschleunigung, ist die Separation feiner Partikel in einer Zentrifuge wesentlich schneller abgeschlossen. Die höhere Wirtschaftlichkeit der Maschine ist oft auch dadurch gegeben, dass ihr Bauvolumen kleiner ist als das, des möglichen Apparates (z. B. ein Sedimentationsbecken).

Die Vor- und Nachteile von Stoffaustauschmaschinen gegenüber Apparaten werden von Mersmann [1] und Brauer [2] anhand von Beispielen behandelt. Ein Rührkessel besitzt typische Bauteile eines Apparates (z. B. Behälter, Anschlüsse an Rohrleitungen) und einer Maschine (z. B. Rührwerk mit Motor, Welle und Getriebe). Er ist ein Beispiel dafür, dass der Übergang zwischen den beiden „Bausteinen“ einer Anlage fließend ist.

Eine Maschine bzw. ein Apparat wird von einem Hersteller produziert und geliefert. Apparate und Maschinen bestehen wiederum aus einer Vielzahl von gleichartigen Bauelementen (Maschinenelemente bzw. Elemente des Apparatebaues), die lösbar oder unlösbar miteinander verbunden sind. Abb. 1.4 zeigt exemplarisch einen liegenden Behälter. Er ist aus vielen Bauteilen (Elementen) zusammengesetzt. Die Auswahl der Elemente und ihr Zusammenfügen unter Berücksichtigung zahlreicher Forderungen, Gesichtspunkten und Bedingungen ist eine typische Entwicklungs- oder Konstruktionsaufgabe.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Apparatebau u. a. folgende Arbeitspakete bearbeitet werden:

- die Entwicklung von Apparaten und ihrer Elemente,
- die Auslegung, Dimensionierung von Apparaten,
- die Auswahl der Werkstoffe,
- die Auswahl von Bauelementen,
- die Apparatfertigung,

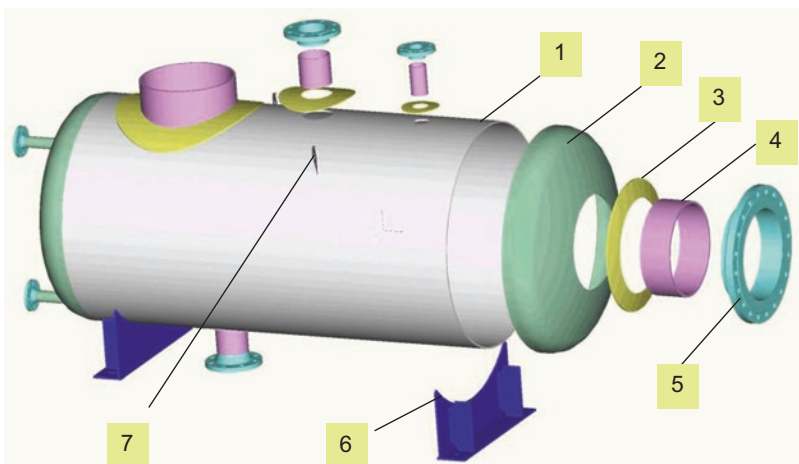


Abb. 1.4 Liegender Behälter und seine Bauelemente: 1 Zylinderschale, 2 Klörperboden, 3 Verstärkungsscheibe, 4 Stützenrohr, 5 Flansch, 6 Sattellager, 7 Tragöse