Anlage für Industriechemikalien

Verfahrenstechnik/Chemieingenieurwesen

Berufs- und Studieninformation
für Schüler und Lehrer

Herausgeber:

GVC • VDI-Gesellschaft
Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen

Fachausschuß Aus- und Weiterbildung
in Verfahrenstechnik

Graf-Recke-Straße 84, 40239 Düsseldorf

Verfasser:

em. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. Ing. E.h. E. Blaß, München

Prof. Dipl.-Ing. H. Broermann, Willich

Dr.- Ing. E. Buhr, Ludwigshafen

Prof. Dr.-Ing. H. Cremer, Düsseldorf

Prof. Dr.-Ing. K. Elgeti, Bergisch-Gladbach

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Hortig, Frankfurt/Main

Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Mersmann, München

Dr.-Ing. M. Molzahn, Ludwigshafen

Dr.-Ing. O. Neuhaus, Bergkamen

Prof. Dipl.-Ing. K. Plassmeier, Köln

Dipl.-Ing. J. Rebhan, Ludwigshafen

Dr.-Ing. D. Redeker, Leverkusen

Dr.-Ing. R. Röper, Frankfurt/Main

Prof. Dr.-Ing. W. A. Stein, Eppstein-Niederjosbach

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. mult. K. Stephan, Stuttgart

Dr.-Ing. M. Ulrich, Frankfurt/Main

Bildnachweis:

BASF AG

Bayer AG

Henkel KGaA

Hoechst AG

Opel AG

Uhde GmbH

Wacker-Chemie GmbH

Westfalia-Seperator AG

3. vollständig überarbeitete Auflage 1997 (Version 2000)

Inhalt

1. Was ist Verfahrenstechnik? ... 5
Verfahrenstechnik als Ingenieurwissenschaft ... 5
Geschichte ... 5
Der Verfahrensingenieur ... 5
Die Arbeit des Verfahrensingenieurs ... 5
Das Konzept der Grundverfahren ... 7
2. Grundverfahren - Bausteine der Verfahrenstechnik ... 8
Reagieren ... 8
Gären ... 8
Destillieren/Rektifizieren ... 8
Extrahieren ... 9
Absorbieren/Adsorbieren ... 9
Kristallisieren ... 9
Trocknen ... 9
Trennen mittels Membranen ... 9
Zerkleinern ... 9
Sichten ... 9
Filtrieren ... 9
3. Prozesse - Systeme der Verfahrenstechnik ... 10
4. Verfahrenstechnik in der Industrie ... 11
Chemie und Petrochemie ... 12
Pharmazeutische Industrie und Medizintechnik ... 12
Lebensmittelindustrie ... 12
Werkstofftechnik ... 12
Verfahrenstechnik in der Erdölgewinnung (Abbau von Lagerstätten mit niedrigen Gehalten) ... 12
Bioverfahrenstechnik ... 14
Sicherheit und Umweltschutz ... 14
5. Die Praxis des Verfahrensingenieurs ... 16
5.1 Verfahrensingenieure in Forschung, Entwicklung und Lehre ... 16
5.2 Verfahrensingenieure in Planung, Konstruktion, Apparate- und Anlagenbau ... 16
5.3 Verfahrensingenieure in Betrieb und Produktion ... 16
5.4 Verfahrensingenieure in Anwendungstechnik, Einkauf und Verkauf ... 17
5.5 Verfahrensingenieure im Management ... 17
5.6 Verfahrensingenieure in Verwaltung, Behörden, Technischer Überwachung, Patentwesen ... 17
6. Wie studiert man Verfahrenstechnik? ... 18
6.1 Ausbildung von Verfahrensingenieuren an Fachhochschulen ... 19
6.1.1 Zulassung zum Studium ... 19
6.1.2 Studium ... 19
6.2 Ausbildung von Verfahrensingenieuren an Universitäten und Technischen Hochschulen ... 20
6.2.1 Zulassung zum Studium ... 20
6.2.2 Studium ... 21
6.2.3 Aufbaustudium und Promotion ... 21
6.3 Entwicklung der Absolventenzahlen in der Verfahrenstechnik ... 21
7. Verfahrensingenieur, ein Beruf mit Zukunft ... 23
8. Verzeichnis der Fachhochschulen, Universitäten und Technischen Hochschulen ... 24
Studium der Verfahrenstechnik/Chemieingenieurwesen an Fachhochschulen ... 24
Studium der Verfahrenstechnik/Chemieingenieurwesen an Universitäten/Technischen Hochschulen/Gesamthochschulen 26

1. Was ist Verfahrenstechnik?

Verfahrenstechnik als Ingenieurwissenschaft

Verfahrenstechnik ist die Ingenieurdisziplin, die Stoffänderungsverfahren erforscht, entwickelt und verwirklicht. Sie befaßt sich damit, mittels physikalischer, chemischer, biologischer und nuklearer Prozesse Stoffe in ihrer Art, ihren Eigenschaften oder ihrer Zusammensetzung umzuwandeln mit dem Ziel, nutzbare Treibstoffe, Zucker, Kunststoffe, Proteine, Kosmetika, Farbstoffe, Alkohole, Pflanzenschutzmittel oder Medikamente zu erzeugen. Gelegentlich kann das Ziel auch darin bestehen, Stoffeigenschaften unverändert zu erhalten, z.B. bei verpackten Lebens-, Genuß-, und Arzneimitteln. Neben der Aufgabe der ständigen Weiterentwicklung dieser Prozesse haben die Anforderungen an Sicherheit und Umweltschutz weitere verfahrenstechnische Anwendungsbereiche erschlossen.
Für die genannten Ziele muß der Verfahrensingenieur die Vorgänge bei Stoffänderungsprozessen erforschen. Damit kann er Gesetzmäßigkeiten erkennen und formulieren, mit denen er Apparate, Maschinen und ganze Produktionsanlagen planen, berechnen, konstruieren, bauen und betreiben kann. Hauptaugenmerk aller Aktivitäten muß sein, die erforderliche Produktqualität mit sicheren und umweltverträglichen Prozessen und Produktionsanlagen bei rationellem Rohstoff- und Energieeinsatz zu erreichen. Dabei dienen das gleiche Wissen und die gleichen Methoden, die zur Gestaltung der wirtschaftlichen Eigenschaften eines Verfahrens eingesetzt werden, auch zur Ausbildung der ökologischen Qualitäten.

Geschichte

Schon unsere frühen Vorfahren haben sich der Verfahrenstechnik bedient.
Durch die Entdeckung des Feuers wurde es dem Menschen möglich, Stoffe die er in der Natur vorfand, in eine ihm genehme Form umzuwandeln. Ton wurde unter Wasserzusatz geformt - durch Brennen im Feuer wurden haltbare Gefäße hergestellt, die als Keramik Jahrtausende überdauerten. In der Terminologie der Verfahrenstechnik handelt es sich hier um das Anmaischen von Ton und das Trocknen. In der Bronzezeit, etwa ab 6000 v.Chr., gewann der Mensch durch Rösten von Erzen die reinen Metalle und schmiedete daraus Waffen und Gebrauchsgegenstände. Hier handelt es sich um die Verfahrenstechniken des Sichtens zum Abtrennen der tauben Gesteine vom Erz und das Schmelzen.
Der Gärungsprozeß wurde bereits von den Babyloniern um 6000 v.Chr. angewendet. Dabei gelang es, durch Zusatz von Hefe aus Fruchtsäften alkoholische Getränke zu gewinnen. Für diesen Stoffumwandlungsprozeß sind biologische Katalysatoren, sogenannte Enzyme, verantwortlich. In ähnlichen Prozessen verwandeln Milchsäurebakterien Milch in Joghurt oder Schimmelpilze verwandeln Milch in Käse. Die hierzu gehörenden Begriffe der Verfahrenstechnik sind das Gären und das Fermentieren, wobei das Fermentieren eine Veredelung von Stoffen durch Einsatz von Mikroorganismen oder tierischen Zellen darstellt.
Viele für den Menschen interessante Stoffe fallen in der Natur stark verdünnt in wäßrigen Lösungen an. Sind es ungelöste Feststoffe, so können sie durch Abfiltrieren des Wassers gewonnen werden. Bei gelösten Feststoffen wird das Wasser verdampft, z.B. bei der Gewinnung von Kochsalz aus Salzsolen. In südlichen Ländern geschieht das in den Salinen, in denen Salz durch Verdunstung des Meerwassers mit Hilfe der Sonnenwärme gewonnen wird. Schon die alten Ägypter dürften nach diesem Verfahren Salz gewonnen haben. Flüssige Gemische lassen sich durch Destillieren und Rektifizieren anreichern. Diese Verfahrensschritte wurden etwa ab 1000 n.Chr. im größeren Maßstab bei der Aufkonzentrierung des Alkohols im Wein eingesetzt. Heute prägen die zahlreichen Rektifikationskolonnen das Bild der Raffinerien. In ihnen wird das Erdöl, ein Vielstoffgemisch aus Kohlenwasserstoffen, in einzelne Fraktionen aufgetrennt, wie Benzin oder Dieselkraftstoff. Die vorgestellten Beispiele für die Behandlung von Lösungen zeigten die Nutzung der verfahrenstechnischen Operationen Filtration, Verdunstung, Destillation und Rektifikation.

Der Verfahrensingenieur

Die Entwicklung der Verfahrenstechnik zu einer Ingenieurdisziplin ist eng mit der Entwicklung der Chemischen Industrie seit der Mitte des 19. Jahrhunderts verknüpft. Der Verfahrensingenieur hatte (und hat) dort die Aufgabe, die vom Chemiker in Laborversuchen erarbeiteten Ergebnisse in den Produktionsmaßstab zu übertragen. Markante Beispiele hierfür aus späterer Zeit sind Hochdruckverfahren wie die Ammoniaksynthese, die Methanolsynthese und die Kohlehydrierung. Bei solchen Entwicklungen sind von Anfang an Vorstellungen und Denkweisen des Chemikers und des Physikers mit denen des Ingenieurs zu verbinden. Aus den geschilderten Aufgaben folgt ein Anforderungsprofil, das damals nur durch Weiterbildung der Ingenieure im Rahmen der industriellen Praxis erfüllt werden konnte. Heute ist die Verfahrenstechnik im Rahmen der Ingenieurwissenschaften ein eigenständiges und interdisziplinäres Fachgebiet, das an Technischen Hochschulen, Technischen Universitäten, Universitäten und Fachhochschulen als Studiengang oder Vertiefungsrichtung gelehrt wird.

Die Arbeit des Verfahrensingenieurs

Eine breite Ausbildung ermöglicht es dem Verfahrensingenieur, in vielen bedeutenden Industriezweigen tätig zu werden. Mehr als die Hälfte der deutschen Industrieproduktion benötigt maßgeblich verfahrenstechnische Prozesse. So trifft man auf Verfahrensingenieure in folgenden Bereichen:

> Nahrungsmittelherstellung, Hüttenwesen und Bergbau, Baustoffindustrie, Petrochemie, Papierindustrie, Anlagen-, Apparate- und Maschinenbau, Pharmazie, Kunststoffindustrie, Farbstoff- und Chemiekalienherstellung, Dünge- und Pflanzenschutzproduktion, Kosmetikindustrie, Automobilindustrie, Energieerzeugung etc...

In allen genannten Industriezweigen muß sich der Verfahrensingenieur auch mit den spezifischen Problemen des Umweltschutzes und der Sicherheitstechnik auseinandersetzen. Außerdem stellen Unternehmen, die speziell mit der Produktion und Weiterentwicklung umwelttechnischer Einrichtungen befaßt sind, einen weiteren anspruchsvollen Einsatzbereich für Verfahrensingenieure dar.
Auch im Dienstleistungsbereich sind Verfahrensingenieure zu finden, z.B. in Ingenieurfirmen, bei Behörden (Gewerbeaufsicht, Technische Überwachung usw.), bei den Berufsgenossenschaften, bei Patentämtern, in Forschungsanstalten und nicht zuletzt auch an den Hochschulen und Universitäten.
Je nach Neigung und Eignung kann ein Verfahrensingenieur in all den genannten Bereichen vielseitige und verantwortungsvolle Aufgaben wahrnehmen, z.B. in

Forschung und Entwicklung,
Planung und Konstruktion,
Betrieb und Produktion,
Einkauf und Verkauf,
Technische Überwachung,
Lehre,
Dokumentation, Erfahrungsaustausch und Patentwesen,
Geschäftsführung und Kontrolle etc.

Auch an dieser Stelle soll ein Beispiel zum Verständnis beitragen: Denken Sie an einen neuen Kunststoff, der in der Forschungsabteilung eines chemischen Werkes entdeckt wurde und der neuartige Eigenschaften zeigt, etwa eine gute biologische Abbaubarkeit auf der Mülldeponie. Jetzt soll dieser Kunststoff in großen Mengen in einem neu zu erstellenden Betrieb produziert werden.
Zunächst wird das Gesamtverfahren betrachtet, das in unserem Beispiel die Herstellung der Ausgangsstoffe (etwa Monomere - das ist ein Stoff der aus kleinen Molekülen mit wenigen Atomen besteht), die Abtrennung der Nebenprodukte, die Polymerisierung der Monomere (das ist die Verbindung der Monomere) zu einem Riesenmolekül in einem Lösungsmittel, seine Abtrennung und die Gewinnung des gewünschten Kunststoffgranulates umfaßt. Dabei ist zu bedenken, daß sich die einzelnen Verfahrensschritte gegenseitig beeinflussen. Läuft z.B. die Reaktion im Reaktor nicht vollständig ab und das Reaktionsprodukt erhält noch Einsatzstoffe, so werden diese abgetrennt und wieder zugeführt. Einerseits ist die Aufarbeitung um so kostenintensiver, je unvollständiger die Reaktion abläuft, also um so mehr an Einsatzprodukten das Reakionsprodukt noch enthält; andererseits erfordert eine Reaktion, in der alle Reaktionspartner vollständig verbraucht werden, längere Reaktionszeiten und damit größere Reaktoren. Zwischen diesen beiden Positionen sucht der Verfahrensingenieur nach der optimalen Lösung.
Mit dieser Betrachtung des Geamtverfahrens legt in der Regel die Forschungs- und Entwicklungsabteilung die einzelnen Verfahrensschritte unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und umweltverträglicher Gesichtspunkte fest. Erst dann erfolgt die Dimensionierung der dazugehörigen Einzelapparate. In vielen Fällen stehen dabei auch mathematische Modelle zur Verfügung, deren Auswertung mittel Computern erfolgt. Für eine praxisgerechte Auslegung müssen auch empirische Parameter herangezogen werden, die durch Experimente ermittelt werden müssen. Der Trend geht dahin, die Zahl der erforderlichen teuren Experimente einzuschränken und die Leistungsfähigkeit der Modelle zu erhöhen.

Nun erfolgt die Bearbeitung des Projekts in der Planungsabteilung, wo u.a. die Konstruktion und Aufstellung der Einzelapparate, die Verrohrung der Gesamtanlage und das Regelkonzept festgelegt wird. Hier ist die enge Zusammenarbeit zwischen Verfahrensingenieur, Bauingenieur, Regelungstechniker, Werkstoffachmann, Maschinenbauer usw. notwendig. Außerdem erfolgt in diesem Bereich die Vergabe der Aufträge zur Fertigung der Einzelapparate an die Apparatebaufirmen. An dieser Schnittstelle liegt der Übergang vom Papier, sprich der Konstruktionsbezeichnung, zur fertigen Anlage. Bei den Apparatebaufirmen ergeben sich aufgrund eigenen Engineering- und Fertigungs-Know-hows Kontroll- und Optimierungsfunktionen für den Verfahrensingenieur, der dafür sorgt, daß die verfahrenstechnische Idee nach seinen Vorstellungen umgesetzt wird. Auch beim nächsten Schritt, der Aufstellung der Einzelapparate und ihrer Zusammenschaltung, hat der Verfahrensingenieur Überwachungsfunktionen und gewährleistet schließlich ein sicheres Anfahren und einen sicheren Betrieb der Gesamtanlage.
Beim laufenden Betrieb der Anlage benötigt man Verfahrensingenieure als Betriebsingenieure. Ziel ist es, die Produktion zu optimieren, d.h. die Anlage auf Schwachstellen hin zu untersuchen und falls erforderlich, ganze Verfahrensschritte durch andere zu ersetzen. Eine Umstellung einzelner Verfahrensschritte wird z.B. auch dann erforderlich, wenn sich bei dem neuen Kunststoff die Rohstoffbasis zu preiswerteren Ausgangsstoffen mit anderer Zusammensetzung verschiebt.

Technische Kunststoffe: Styrol-Anlage

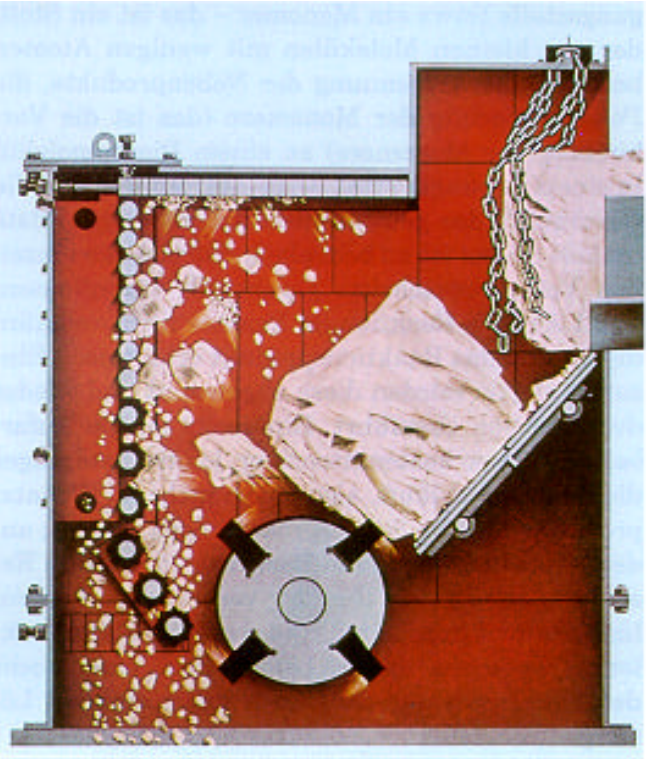
Der Kunststoff verläßt als Granulat die chemische Fabrik; die Herstellung der gewünschten Gebrauchsgegenstände erfolgt z.B. auf Spritzgußmaschinen in der kunststoffverarbeitenden Industrie. Hier werden Verfahrensingenieure benötigt, um die Ausführung der Gußformen an Hand der Stoffeigenschaften des Kunststoffes festzulegen. Der Entwurf und der Betrieb von Anlagen in der kunststoffverarbeitenden Industrie sind auch Aufgaben von Verfahrensingenieuren.

Das Konzept der Grundverfahren

Es drängt sich die Fragen auf, warum eine einzige Disziplin die technisch wissenschaftliche Grundlage so vieler verschiedenartiger Einsatzmöglichkeiten sein kann. Am Anfang aller Chemie, Physik und Biologie stand die Erkenntnis, daß sich viele Stoffe gleichartig verhalten. Ganz analog laufen die Verfahren der Stoffänderung in allen Industriezweigen mit prinzipiell gleichen Grundverfahren und mit prinzipiell gleichen, technischen Einrichtungen ab, wie z.B.

Mischen von Brotteig oder pharmazeutischen Wirkstoffen mit Mischern,
Mahlen von Zement oder Getreide mit Mühlen,
Zentrifugieren zum Entrahmen von Mich oder zum Trennen von Öl aus Abwasser mit Zentrifugen,
Trocknen von Papier oder von Lebensmitteln mit Trocknern,
Dialysieren zur Blutreinigung (künstliche Niere) oder zur Meerwasserentsalzung mit Membranen.

Die Verfahrenstechnik kennt einige Dutzend physikalische, chemische und biologische Grundverfahren. Bei der Herstellung eines Produktes durch Umwandlung der Ausgangsstoffe werden in der Regel mehrere Grundverfahren gleichzeitig oder nacheinander durchlaufen. Das Zusammenwirken der ineinandergreifenden Grundverfahren während der Stoffumwandlung ergibt "das Verfahren". Die Grundverfahren stellen also gewissermaßen die "Bausteine" eines jeden Verfahrens dar, mit denen der Verfahrensingenieur beliebige, vollständig neue Verfahren entwickeln kann. Diesen Vorgang bezeichnet man als Prozeßsynthese. Die Vielfalt möglicher Verfahren ist sehr groß. Die richtige Gestaltung und Auswahl verlangen besonderes Wissen und Kreativität.



Schematische Darstellung einen Prallbrechers

Einige ausgewählte Grundverfahren werden im Abschnitt 2 erläutert, um den dichten Praxisbezug der Verfahrenstechnik und ihr interdisziplinäres Wesen herauszustellen.

2. Grundverfahren - Bausteine der Verfahrenstechnik

Um die Vielzahl an Grundverfahren übersichtlich zu halten, sind sie entsprechend den ihnen zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten in die Hauptgruppen physikalische, chemische, biologische und kernverfahrenstechnische Verfahren eingeteilt, die wiederum weiter untergliedert sind. So werden z.B. die physikalischen Grundverfahren in mechanische und thermische sowie elektrische, elektromagnetische und weitere Verfahren klassifiziert. Anstelle der Unterteilung in mechanische und thermische Verfahren trifft man zunehmend auch die Klassifizierung nach Feststoff- und Fluidverfahren an. Chemische oder biologische Grundverfahren werden entsprechend der Art der Reaktion klassifiziert. Oft laufen Sie gemeinsam mit physikalischen Grundverfahren ab, z.B. Polymerisieren mit Suspendieren.

Dies Systematik zeigt auszugsweise die folgende Zusammenstellung:

- Reagieren	chemisch oder biologisch
- Vereinigen	physikalisch: mechanisch (Fluide, Feststoffe)
- Trennen	physikalisch: thermisch oder mechanisch
- Zerteilen	physikalisch: mechanisch (Feststoffe, Fluide)
- Übertragen von Wärme	physikalisch: thermisch
- Lagern, Verpacken, Fördern	physikalisch: mechanisch elektromagnetisch

Die Grundverfahren und ihre Einsatzmöglichkeit in verschiedenen technischen Aufgabenstellungen soll an einigen Beispielen verdeutlicht werden.

Reagieren

Hierbei laufen Stoffumwandlungen durch chemische Reaktionen ab, bei denen aus Einsatzstoffen neue Stoffe entstehen, häufig verbunden mit der Freisetzung von Energie. Beispiele sind die Bildung von Salzen und Wasser bei der Neutralisierung von Säuren und Basen oder die Verbrennung von Erdgas oder Benzin, bei der neben der Energieerzeugung im wesentlichen Kohlendioxid und Wasser gebildet werden.

Katalysatoren beschleunigen chemische Reaktionen und senken den nötigen Energieaufwand für deren Aktivierung, Autoabgaskatalysatoren haben unter den ständig wechselnden Bedingungen des Fahrzeugbetriebes die Aufgabe, organische Abgase und Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid und Wasser umzusetzen sowie Stickoxide zu reduzieren. In der Chemischen Industrie sind großtechnische Prozesse zu fast 90% auf Katalysatoren angewiesen. Das Spektrum reicht von der Schwefelsäuresynthese (aus Schwefeldioxid und Luftsauerstoff) mit Vanadiumpumpentoxid als Katalysator über die Ammoniaksynthese (aus Luftstickstoff und Wasserstoff) mit Eisen als Katalysator, die Methanolsynthese (aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff) mit Zinkoxid als Katalysator bis hin zur Herstellung von Kunststoffen wie Polyethylen mittels sogenannter Ziegler-Katalysatoren.

Ohne körpereigene Biokatalysatoren, die Enzyme, welche die Stoffwechselvorgänge im Organismus entscheidend beeinflussen, gäbe es kein menschliches Leben. Industriell werden immobilisierte Biokatalysatoren eingesetzt, mit denen die Durchführung von schwierigen chemischen Reaktionen im Bereich der Synthese von Feinchemikalien und Arzneimitteln gelingt.

Gären

Vor 8000 Jahren haben die Sumerer und Babylonier mit Hilfe von Hefen durch Gärung alkoholische Getränke hergestellt. Sie beschritten damit einen neuen Weg zu Stoffumwandlungen, die durch Bakterien mit Hilfe biologischer Katalysatoren ausgeführt wurden.

Zu solchen Fermentierungsverfahren, deren Anfänge bis ins Altertum zurück reichen, gehören auch die Kultivierung von Essigsäurebakterien (Acetobacter aceti) zur Essigbereitung, von Milchsäurebakterien (Streptococcus latis) zur Haltbarmachung von Milch (Joghurt, Quark), von Bakterien und Schimmelpilzen zur Käseherstellung. Nach dem gleichen Grundverfahren werden in der modernen Mikrobiologie Industriechemikalien wie beispielsweise Aceton und Butanol gewonnen. Die Herstellung wird hauptsächlich in Rührbehältern ausgeführt, die entsprechend den Bedürfnissen der Bakterien belüftet oder unter Luftabschluß gehalten werden. An die mikrobiolisch durchgeführte Stoffumwandlung schließen sich dann physikalische oder chemische Grundverfahren an, um das meist verdünnt in Wasser vorliegende Produkt zu gewinnen.

Destillieren/Rektifizieren

Destillation und Rektifikation gehören zu den am häufigsten angewandten Grundverfahren. Erdöl läßt sich durch Destillieren in gewünschte Fraktionen zerlegen, das sind z.B. Vergaserkraftstoffe, Dieselkraftstoffe, Kerosin, schweres Heizöl. Beim Fraktionieren wird das Gemisch unter Energiezufuhr in seine Bestandteile aufgetrennt. Eine Trennung durch Destillation wird auch bei wäßrigen Alkoholgemischen angewendet, seien diese aus Kohlenwasserstoffen in der Chemischen Industrie oder aus landwirtschaftlichen Produkten hergestellt. Der Verfahrensingenieur kennt die Wirkungsweise von Destillationskolonnen und ist in der Lage, solche Apparate zu entwerfen, zu berechnen und zu betreiben. Ergänzend sei angemerkt, daß das Destillieren schon ein altes Verfahren ist. Bereits um 50 n.Chr. beschreibt Plinius der Ältere die Zedernölgewinnung durch Destillation, von den alexandrischen Alchimisten im ersten und zweiten Jahrhundert n.Ch. gibt es konkrete Hinweise auf Destillationsapparaturen, richtig auf den "Geschmack" gekommen sind aber erst die Italiener um 1100 n.Chr.

Extrahieren

In den Extrakationsanlagen von Erdölraffinierien werden Aromaten mit Hilfe von flüssigen organischen Lösungsmitteln aus Kohlenwasserstoff-Fraktionen abgetrennt, z.B. Benzol. In Zuckerfabriken extrahiert man Zucker mit Wasser als Extrakionsmittel aus den Zuckerrübenschnitzeln. Extrahiert werden bei der Zubereitung Kaffee schließlich Geschmacks- oder Aromastoffe aus den gemahlenen Kaffeebohnen.

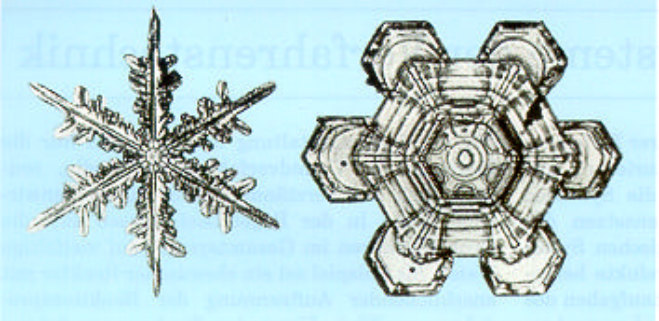
Wertstoffe können also aus Feststoffen oder aus Flüssigkeiten extrahiert werden. Die Extraktion ist im Gegensatz zur Destillation ein Trennverfahren, daß nur wenig Trennenergie benötigt.

Absorbieren/Adsorbieren

Abgas- und Abluftströme aus Produktionsanlagen werden mit *flüssigen* Waschmitteln in Kontakt gebracht, die Schadstoffe oder Wertstoffe aus dem beladenen Gasstrom selektiv *ab*sorbieren und Lösungen bilden, die an anderer Stelle wieder aufbereitet werden können. Ein Beispiel hierfür ist die SO_2-Rückgewinnung aus Rauchgasen zur Gipsherstellung.

In biologischen Kläranlagen wird das Abwasser belüftet, wobei der Luftsauerstoff vom Wasser absorbiert wird. Der Sauerstoff wird von den Mikroorganismen benötigt, die den biologische Abbau der organischen Schmutzstoffe bewirken. Biologisch nicht abbaubare organische Stoffe lassen sich mit einem Glas Abwasser desorbieren.

Lösemitteldämpfe können aus Abluft entfernt werden, indem diese durch eine Schüttung von *fester* Aktivkohle geleitet wird, an der die Lösungsmittel *ad*sorbiert werden.



Eiskristalle – eine Schneeflocke ist ein einziger Kristall aus Wasser

Kristallisieren

In Zuckerfabriken wird durch Abkühlen der wäßrigen Zuckerlösung Zucker kristallisiert, wobei anschließend die festen Kristalle mit Hilfe von Zentrifugen von der Lösung getrennt werden.

In der Salzindustrie werden Salzlösungen kristallisiert, um das für Düngezwecke verwendete Kaliumchlorid vom Kochsalz abzutrennen. Auch hochreines Silizium für elektronische Bauelemente gewinnt man aus gleicher Art verfahrenstechnisch gereinigten Schmelzen.

Trocknen

Feuchte Feststoffe, seien es nun Salzkristalle, Düngemittel, frisch geformte Ziegel oder die Lackschicht auf einer frischlackierten Autokarosserie, müssen getrocknet werden, um sie gebrauchsfertig zu machen. Dazu wird durch Energiezufuhr Wasser oder Lösungsmittel verdunstet.

Trennen mittels Membranen

Meerwasser ist stark salzhaltig und läßt sich z.B. durch Umkehrosmose mittels Membranen von Salz befreien und zu Trinkwasser aufbereiten. Derartige Membrantrennverfahren laufen auch in der menschlichen Niere ab und werden mit der "künstlichen Niere" in der Dialyse apparativ nachvollzogen. Ebenso können mit Membranen Abwasserströme so aufbereitet werden, daß das Konzentrat in den Prozeß zurückgeführt werden kann und ein Abwasser an0fällt, das sich biologisch problemlos nachbehandeln läßt.

Zahlreiche physikalische Grundverfahren lassen sich zur Stofftrennung oder Stoffvereinigung einsetzen. Die vorgestellten Verfahren Destillieren, Extrahieren, Absorbieren, Kristallisieren, Trocknen und Trennen mittels Membranen sind Grundoperationen der thermischen Verfahrenstechnik. Zusätzlich seien noch Beispiele aus der Gruppe der mechanischen Grundverfahren angeführt.

Zerkleinern

In der Lebensmitteltechnik werden z.B. Körnerfrüchte, in der Zementindustrie Kalkstein und in der Umwelttechnik beispielsweise alte Autoreifen und recyclingfähige Kunststoffe zerkleinert. Hier beschäftigt sich der Verfahrensingenieur mit den dabei ablaufenden physikalisch-mechanischen Vorgängen und entwirft Apparate und Anlagen, z.B. Brecher, Mühlen oder ganze Mahlstraßen.

Sichten

Die beim Zerkleinern entstehenden Schüttgüter sind häufig in Kornfraktionen zu zerlegen, d.h. in Anteile mit unterschiedlichen Korngrößenbereichen (Grobgut - Feingut). Hierfür kommen mechanische Grundverfahren wie Sichten und Sieben zum Einsatz. Dabei entstehende staubbeladene Abluft ist mit Rücksicht auf den Umweltschutz vor der Emission in die Atmosphäre zu entstauben.

Filtrieren

Zur Entstaubung von Abluft eignen sich mechanische oder elektrische Grundverfahren (Tuchfilter bzw. Elektrostatische Filter). Feststoffe, z.B. Kristalle oder Katalysator-Partikel, können aus Flüssigkeiten mit Filtern verschiedener Bauformen abgetrennt werden. Die Auswahl und Berechnung derartiger Filter auf der Basis von einfachen Experimenten, die das stoffliche Verhalten des Fest-Flüssigkeits-systems charakterisieren, ist eine typische Aufgabe des Verfahrensingenieurs.

3. Prozesse - Systeme der Verfahrenstechnik

Neben der Analyse von Verfahren, ihrer Zerlegung in Grundverfahren und deren Strukturierung entsprechend den Wirkprinzipien ist die Synthese von Verfahren, also das Zusammensetzen der Grundverfahren zu verfahrenstechnischen Systemen, in denen gewünschte neue Produkte hergestellt werden können, eine der Hauptaufgaben des Verfahrensingenieurs. Die Entwicklung eines neuen Verfahrens ist für ihn eine "Pioniersituation", da er einer Problemstellung gegenübersteht, die bisher nicht gelöst wurde. Neu sind nicht die zur Verfügung stehenden Grundverfahren und dafür bewährte konstruktive Lösungen, sondern das Neue besteht darin, daß die Grundverfahren aus einem alternativen Angebot auszuwählen und auf geeignete Weise zu verknüpfen sind.

Unabhängig vom aufzubauenden System ist folgende Vorgehensweise kennzeichnend für die Verfahrensentwicklung:

1. Festlegung der Funktion:
   - Festlegung der zu erfüllenden Aufgabe des aufzubauenden Systems
   - Definition und Abgrenzung des Systems
   - Abschätzen von äußeren und inneren Einflüssen auf das System und vom System auf die Umwelt
   - Festlegung der grundsätzlichen Systemstruktur
   - Erarbeitung eines Grundfließbildes.
2. Festlegung des Prozesses (Synthese und Prozeßoptimierung):
   - Abschätzung des sinnvollen Systemaufwandes und der sinnvoll einzusetzenden Grundverfahren
   - Schaffen von Lösungsvarianten - auch durch Analogieschlüsse von ähnlichen Verfahren
   - Analyse der Lösungsvarianten und Bewertung nach Eignung und Kosten
   - Studium des Systemverhaltens
   - Auswahl des geeignetsten Systems
   - Erarbeitung eines verfahrenstechnischen Fließbildes.
3. Festlegung der Bauart (Design):
   - Festlegung der konstruktiven Gestalt der Apparate/Maschinen
   - Erarbeitung eines Rohrleitungs- und Instrumentierungsfließbildes
4. Optimierung (Anlagenverbesserung

Für die Systemgestaltung ist aber nicht nur die Kenntnis der Grundverfahren notwendig, sondern auch das Verständnis ihres Zusammenwirkens. Denn in der Regel beeinflussen sich die Grundverfahren im Gesamtsystem auf vielfältige Weise. Als Beispiel sei ein chemischer Reaktor mit anschließender Auftrennung der Reaktionsprodukte angeführt. Unter den Reaktionsprodukten finden sich stets auch nicht reagierte Ausgangskomponenten, die aus Gründen der Wirtschaftlichkeit in den Reaktor "zurückgeführt" werden müssen. Ebenso können Energieströme zwischen verschiedenen Grundverfahren ausgetauscht, also beispielsweise eine im Reaktor entstehende Reaktionswärme zur Beheizung anderer Stelle im Gesamtsystem genutzt werden. Derartige "stoffliche" und "energetische" Rückführungen bewirken ein komplexes Systemverhalten.

Aus diesem Grund wird heutzutage in der Verfahrenstechnik verstärkt Wert auf ein ganzheitliches Systemverständnis gelegt, das als Grundlage für die Prozeßentwicklung unabdingbar ist. Hierzu müssen auch die Prozeßoptimierung, beispielsweise durch Reduzierung der Anzahl der benötigten Grundverfahren oder durch verbesserte Prozeßführung aufgrund tieferen Prozeßverständnisses und die Betrachtung der Prozeßdynamik, d.h. des zeitlichen Prozeßablaufes gerechnet werden. Ein wesentliches Hilfsmittel ist hierbei die mathematische Modellierung, in die wichtigsten Prozeßeigenschaften durch Aufstellen von Gleichungen für die Grundverfahren und deren Verschaltung abgebildet werden. Sie ist die Voraussetzung zur statischen und dynamischen Prozeßsimulation auf leistungsstarken Digitalrechnern. Die stationäre Simulation dient der Berechnung der Stoff- und Energieströme, wobei Energiebedarf, Produkte und Schadstoffe nach Menge und Zusammensetzung vorausberechnet werden. Diese Daten sind die Voraussetzung für die Apparateauslegung, wohingegen mit Hilfe der dynamischen Simulation die regelungstechnische Ausrüstung erarbeitet und das An- und Abfahrverhalten studiert werden können. Die Prozeßsimulation erlaubt den Einblick in das Systemverhalten bereits vor der apparativen Realisierung, ein Vorteil, der insbesondere bei komplexen und damit hinsichtlich ihres Verhaltens schwer abzuschätzenden Verfahren zum Tragen kommt.

Informationen, die nicht in Form mathematischer Zusammenhänge formulierbar sind oder eine zu hohe Komplexität besitzen, werden heute zunehmend in sogenannten Expertensystemen gesammelt und zur Systemgestaltung herangezogen.

Angesichts der knapper werdenden Rohstoff- und Energieressourcen und des wachsenden ökologischen Bewußtseins gewinnt die Verfahrensentwicklung auf der Grundlage des angesprochenen systemtechnischen Denkens zunehmend an Bedeutung, da die Anforderungen an die Qualität der verfahrenstechnischen Prozesse ständig zunehmen, und zwar durch Ansprüche der Ökologie, Sicherheit, Produktqualität und Wirtschaftlichkeit.

Polyolefine und PVC: Ethylen-Anlage (ROW Wesseling)

4. Verfahrenstechnik in der Industrie

Weite Teile der Industrie sind durch die Verfahrenstechnik geprägt. Sie ist zu einem erheblichen Teil an der gesamten Industrieproduktion der Welt beteiligt, in Deutschland zu ca. 50 %. Insbesondere zählen hierzu die Erdöl- und Kohleindustrie, Chemische und Pharmazeutische Industrie, Nahrungsmittelindustrie, Papier- und Textilindustrie, Apparatebau, Anlagenplanung und -bau, Kraftwerksindustrie, Kerntechnik, Kältetechnik, Baustoffindustrie, Heizungs- und Klimatechnik, Medizintechnik. Die Erzeugnisse dieser Industriezweige decken einen großen Teil des Verbrauchsgüterbedarfs und bestimmen maßgeblich den Lebensstandard und die Lebensqualität.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung einiger wichtiger Zweige der verfahrenstechnischen Industrie verdeutlicht die nachfolgende Tabelle, in der Umsätze, Wertschöpfung und Anteile am Bruttosozialprodukt zusammengestellt sind.
Man sieht, daß auf die genannten Industriezweige rund 56 % des Umsatzes und der Wertschöpfung der gesamten Industrie und 17,1 % des Bruttosozialproduktes entfallen.
Die exportorientierte deutsche Industrie kann auf dem Weltmarkt nur durch technischen Vorsprung bestehen.

Dazu muß die Verfahrenstechnik wirtschaftliche, d.h. Energie- und rohstoffsparende Verfahren unter gleichzeitiger Erfüllung ökologischer Anforderungen entwickeln. Dabei zeigt sich, daß hiermit keine widersprüchlichen, sondern sich ergänzende oder sogar gleichwertige Anforderungen bestehen. Beim produktionsintegrierten Umweltschutz werden Verfahren verwirklicht, die Luft, Wasser und Boden so wenig wie möglich belasten und durch Verbundproduktion Reststoffe weitgehend verwerten, ohne daß die Wirtschaftlichkeit der Verfahren gemindert wird. Dazu benötigt man neue Synthesewege der chemischen Prozesse, etwa durch Einsatz von Katalysatoren mit erhöhter Selektivität oder durch Substitution von umweltbelastenden Hilfsstoffen. Auf diese Weise kann oftmals die Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens sogar erhöht werden.

Um den Umfang und die Vielfalt der Verfahrenstechnik im industriellen Produktionsbereich sowie die Produktionsmittel herstellenden Maschinen und Apparatebau zu verdeutlichen, seien im folgenden einige Industriebereiche vorgestellt, deren Grundlage die Verfahrenstechnik ist.

Wichtige Zweige der Verfahrenstechnischen Industrie (*alte Bundesländer*)

Zweige	Umsätze [1]		Wertschöpfung [2]		
	Mrd. DM	Anteil Industrie %	Mrd. DM	Anteil Industrie %	Anteil BSP %
Erdöl	48,8	2,9	23,1	3,5	1,1
Kohle	26,1	1,5	8,4	1,3	0,4
Baustoffe	41,0	2,4	16,3	2,5	0,8
Chemie	164,7	9,7	64,6	9,9	3,0
Maschinen- und Apparatebau	199,1	11,7	73,7	11,3	3,5
Elektrotechnik	192,6	11,3	91,6	14,0	4,3
Papier	43,4	2,5	14,3	2,2	0,7
Textil	36,4	2,1	13,0	2,0	0,6
Nahrungs- und Genußmittel	200,7	11,8	59,9	9,2	2,8
Verfahrenstechnische Industrie	954,1	56,0	365,2	55,9	17,1
Industrie insgesamt	1704,6	100,0	653,0	100,0	30,7
BSP [3]	-	-	2130,5	-	100,0

[1] 1992, zu jeweiligen Preisen

[2] Wertschöpfung des Jahres 1990 zu Preisen von 1985. Wertschöpfung = Umsatz - Vorleistungen

[3] BSP = Bruttosozialprodukt

Quelle: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden

Chemie und Petrochemie

Ob in Beruf oder privater Sphäre, ständig sind wir von Chemieprodukten umgeben, sei es das Gehäuse unseres Computers, der Sitzbezug eines Stuhles, auf dem wir gerade sitzen, der Teppichboden unsere Kleidung usw.

Alle diese Produkte sind bei ihrer Herstellung meist mehrfach "durch die Hände des Verfahrensingenieurs" gegangen. Insbesondere in den ersten Veredelungsschritten ihrer Entstehungsgeschichte haben sie großtechnische, verfahrenstechnische Anlagen durchlaufen. So wird z.B. das Erdöl durch "Destillation" zerlegt, und die einzelnen Fraktionen wie Vergaserkraftstoffe, Dieselöl, Kerosin, Aromate, hochmolekulare Rückstände usw. mittels vielfältiger anderer Grundverfahren weiterbehandelt.

Aus den hochmolekularen Bestandteilen erhält man durch eine katalytische chemische Umwandlung, das "Cracken", ein Gemisch aus Stoffen niedriger Molmasse, die, aufgetrennt durch gezielte Reaktionen zu neuen Produkten umgesetzt und zu Kunststoffen, Chemikalien, Farbstoffen, Pharmazeutika, Waschmittel usw. weiterverarbeitet werden.

Die "ersten Veredelungsschritte" werden meist in kontinuierlich arbeitenden Anlagen mit sehr großen Mengendurchsätzen vorgenommen, von einigen 100 000 t/Jahr bis zu Millionen t/Jahr, Anlagen, die als – technisch optimierte – Einstranganlagen konzipiert sind.

Bei hochwertigen, durch eine vielstufige Veredelung erzeugten Feinchemikalien, wie z.B. Farbstoffen, sind die Anlagen nach anderen Konzeptionen aufgebaut, auch deshalb, weil die Produktionsmengen deutlich kleiner sind. So findet man bei hochwertigen Spezialitäten auch heute noch Anlagen, die absatzweise betrieben werden und gelegentlich auch Mehrzweckanlagen, bei denen in einer "Garnitur" (z.B. Rührreaktor mit Zubehör) ein ganzes Bündel von Spezialitäten "gekocht" wird.

Pharmazeutische Industrie und Medizintechnik

In der Pharmazeutischen Industrie spielt die Verfahrenstechnik in allen Produktionsstufen eine bedeutsame Rolle.

Wie bereits erwähnt, gelangt man zu den meist hochveredelten Stoffen nur über eine komplexe verfahrenstechnische Produktionskette. Aber auch die Endverarbeitung von Pharmazeutika mit einer ganzen Palette von speziellen Verfahrensschritten ist Tätigkeitsfeld für den Verfahrensingenieur: von der Produktendreinigung mit den verschiedensten "klassischen" Methoden bis hin zur Durchführung der Reinigung und Sterilisation der Behältnisse für die Abfüllung, des Verschlusses usw. So ist ein Trocken-Hitze-Sterilisationsprozeß nichts anderes als ein reaktionstechnisches, die Kinetik der Keimabtötung betreffendes Problem und die Bereitstellung der Temperatur ein klassisch instationäres Wärmetransportproblem.

Daß eine künstlich Niere die typische Verkörperung von Stoffwechselvorgängen á la Verfahrenstechnik ist, muß nicht weiter erläutert werden.

Aber auch ein Hochleistungsautomat der modernen Humandiagnostik ist nichts anderes als eine chemisch-technische Fabrik im kleinen mit den verfahrenstechnischen Operationen Mischen, Dosieren, Homogenisieren, Heizen, Kühlen, Reagieren, Messen, Ausspülen usw.

Lebensmittelindustrie

Auch die Lebensmittelindustrie ist durch die Verknüpfung verfahrenstechnischer Operationen geprägt. Sie stellt spezifische Anforderungen u.a. hinsichtlich Keimarmut bzw. -freiheit, Verpackung und Lebensdauer der Produkte.

Werkstofftechnik

Neue Erkenntnisse im Bereich der Festkörperforschung führten zu einer Vielzahl von neuen Werkstoffen. Damit gelingt es heute beispielsweise, die genaue geometrische Anordnung der Atome im Kristallgitter kristalliner Stoffe auch bei kompliziertestem Aufbau in kürzester Zeit aufzuklären und damit physikalische Eigenschaften vorherzuberechnen.
Auch auf dem Gebiet der Polymere führte dies zu neuartigen Werkstoffen. Dazu gehören unter anderem neue Polymere (Kunststoffe), Fasern, Folien, Kunstharze), Verbundwerkstoffe und technische Keramik, die in den verschiedensten Bereichen Anwendung finden: Polyester-Filamentgarne für hochfeste Gewebe im Hoch- und Tiefbau; Polymerfasern für Textilgewebe mit feinstkapillaren Poren; flüssigkristalline Polymere und carbonfaserverstärkte Kunststoffe mit extremen Bruchfestigkeiten, hohen Steifigkeiten und niedrigem spezifischen Gewicht für die Automobilindustrie, die Flugzeugindustrie und weitere Bereiche; keramische Werkstoffe mit hoher Beständigkeit gegen Hitze und chemische Umwandlung für den Motorenbau, die Elektronik und Sensorik; Polyacrylnitrilfasern als Asbestersatz; Bohröle im Bereich der Erdölförderung; körperverträgliche Polymere für die medizinische Prothetik.

Verfahrenstechnik in der Erdölgewinnung (Abbau von Lagerstätten mit niedrigen Gehalten)

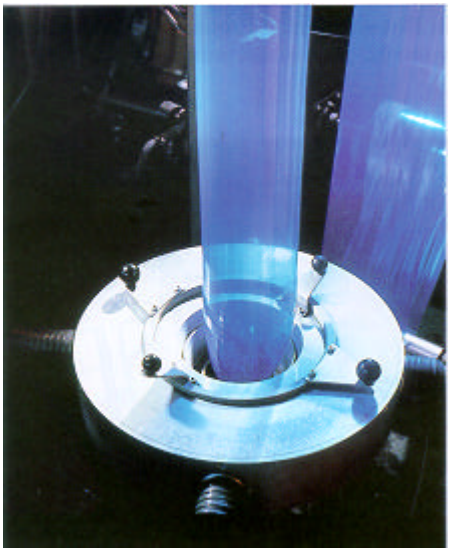
In nahezu allen Ölfeldern der Welt ist das geförderte Erdöl mit Lagerstättenwasser "verwässert". Wasser und Öl, miteinander nicht mischbar, werden als Rohölemulsion gefördert und müssen in Aufbereitungsanlagen voneinander getrennt werden. Die Wasser-in-Öl-Emulsion besitzt aufgrund einer Mikroverkapselung der Wassertröpfchen im Öl eine hohe Stabilität. Grenzflächenaktive Stoffe, sogenannte Emulsionsspalter oder Demulgatoren "brechen" diese Rohölemulsionen auf und bewirken das Zusammenfließen der Wassertröpfchen, mithin die Trennung der beiden Stoffe.

Die ersten Erdölemulsionsspalter in den zwanziger Jahren wurden in Mengen bis zu 1000 ppm zudosiert, heutzutage sind oft nur 50 bis 5 ppm Polyesteramine ausreichend. Mit der Leistungssteigerung der Emulsionsspalter konnte die Menge verringert und ein aktiver Beitrag zum Umweltschutz geleistet werden.

Zusätzlich zur Spaltung dieser Emulsion müssen auch mitgeförderte Feststoffe und Gase abgetrennt werden, bevor das Erdöl in Raffinerien durch destillative Verfahren weiterverarbeitet werden kann.

Recyclingfähige Automobilteile

Herstellung von Zitrussaft



Thermoplastische Verarbeitung eines Kunststoffes (Dabei verbessern Wachse die Fließfähigkeit)

Druckfarbenherstellung

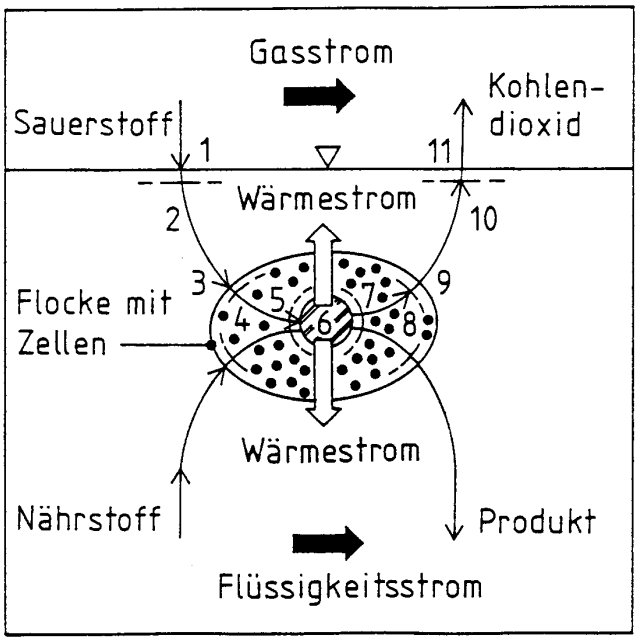
Medizinische Prothetik: Hüftgelenk (Gelenkkopf aus Keramik, Schaft aus Kobaltlegierung, Hüftpfanne aus Chirulen)

Bioverfahrenstechnik

Die Bioverfahrenstechnik beschäftigt sich mit der Produktion von Stoffen unter Zuhilfenahme einfacher Lebewesen wie Bakterien, Pilze oder Algen.

Das Bioverfahren wird in einer Bioanlage aus Bioreaktoren und Aufbereitungsapparaten durchgeführt. Der Bioprozeß in einem Bioreaktor kann in einzelne physikalische und chemische Vorgänge unterteilt werden. Im nächsten Bild sind flockenförmige, feste Zellagglomerate in einer belüfteten, nährstoffhaltigen Flüssigkeit dargestellt. Bedeutungsvoll sind folgende Vorgänge:

1. Durchgang des Sauerstoffs vom Gasstrom in die Flüssigkeit;
2. Transport von gelöstem Sauerstoff und gelöstem Nährstoff durch die Flüssigkeitsströmung zur festen Flocke;
3. Durchgang des gelösten Sauerstoff und des gelösten Nährstoffs von der Flüssigkeit in die feste Flocke;
4. Diffusion von Sauerstoff und Nährstoff in der festen Flocke zur Zelle;
5. Durchgang des Sauerstoffs und des Nährstoffs durch die Zellmembranen in die Zelle;
6. Reaktion in der Zelle zu Kohlendioxid und dem Produkt unter Freisetzung der Reaktionswärme die an die Flüssigkeit abgeführt wird;
7. bis 11. Transport von Kohlendioxid zum Gasstrom und Transport von Produkt zum Flüssigkeitsstrom analog zu den Vorgängen 5. bis 1.



Schema für einen Bioprozeß in einer Flocke mit Zellen

Sicherheit und Umweltschutz

Der Schutz der Umwelt und die Anlagensicherheit stellen dem Verfahrensingenieur interessante Aufgaben.

Sicherheitstechnik umfassend anzuwenden, bedeutet, eine verfahrenstechnische Anlage sicherheitsgerecht zu entwerfen, zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben. Dazu gehört die Zusammenarbeit des Verfahrensingenieurs mit den Betreibern und vor allem den Prozeßleittechnikern, aber auch anderen Fachleuten aus beteiligten Disziplinen

Nach der Abschätzung des Gefahrenpotentials ist ein Sicherheitskonzept zu entwerfen und umzusetzen. Dafür gibt es kein generelles Lösungskonzept, vielmehr sind heute wie früher gute Kenntnisse über Ursache und Entstehen von potentiellen Schadensfällen für sicherheitstechnische Maßnahmen Vorbedingung.

Aufgaben in der **Umwelttechnik** für den Verfahrensingenieur ergeben sich auf den Arbeitsgebieten:

- Abluft- und Abgasreinigung,
- Abwasserreinigung,
- Abfallbehandlung und -entsorgung,
- produktionsintegrierter Umweltschutz

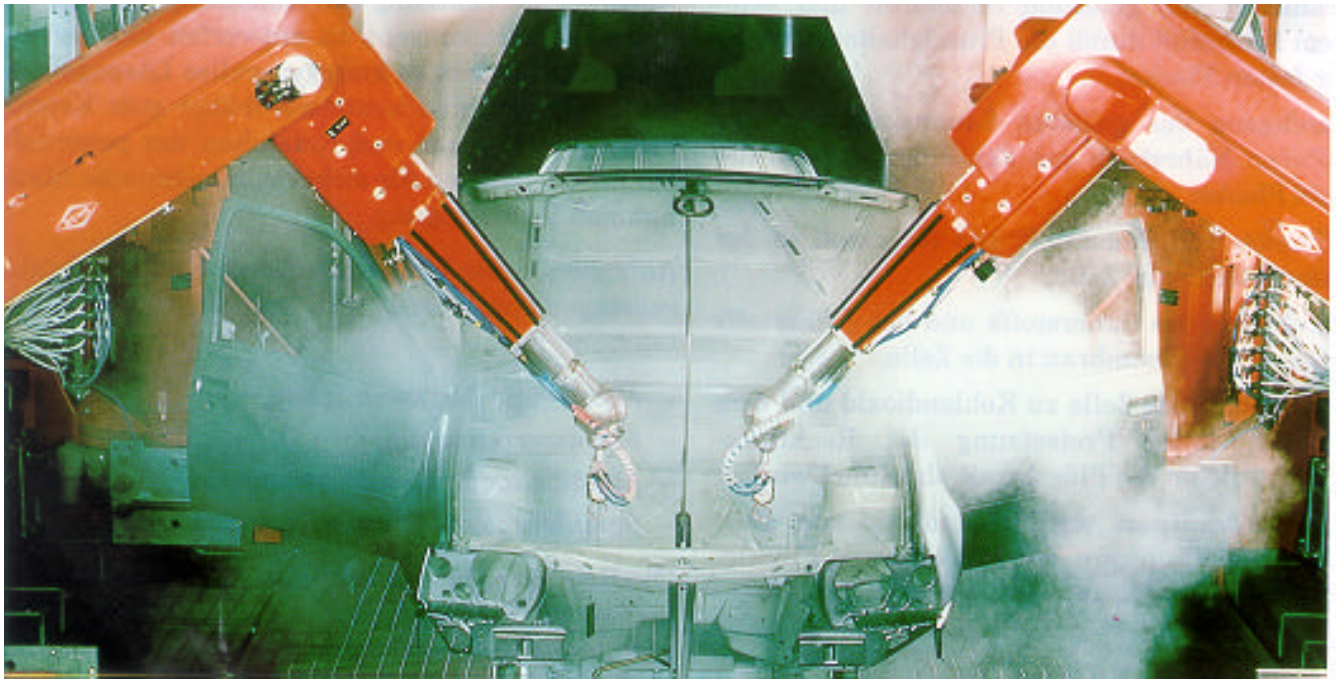
Die Reinigung von Abluft- und Abgasströmungen aus industriellen Anlagen und die gleichzeitige Rückgewinnung von Wertstoffen gewinnen immer mehr an Bedeutung. Einerseits fordern dies gesetzliche Verordnungen, andererseits werden durch die Wiederverwertung von Wertstoffen die Ressourcen geschont. Beispielsweise ist die Absorption von Komponenten aus Gasströmen mit Hilfe geeigneter Waschflüssigkeiten ein wirksames Reinigungsverfahren wie etwa bei

- Entschwefelung von Stadt- bzw. Naturgas,
- Reinigung von Gasströmen, die organische Lösungsmittel enthalten,
- Gewinnung des Wertstoffes Salzsäure mit Wasser aus chlorwasserstoffhaltigen Abgasen.

Zur Reinigung von Abwässern stehen drei Prinzipien zur Verfügung, die sich gegenseitig ergänzen: die mechanische, die physikalisch/chemische und die biologische Reinigung, welche mittlerweile die größte Bedeutung erlangt hat. Die biologischen Abwasser-Reinigungsprozesse gleichen denen der Natur, der Unterschied besteht lediglich darin, daß die Vorgänge in der Technik durch Einsatz großer Mengen von Bakterien und kontinuierliche Belüftung gezielt verstärkt und beschleunigt werden. Früher bereitete es Schwierigkeiten, Abwässer der chemischen Industrie biologisch zu reinigen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß Bakterien daran "gewöhnt" werden können, auch Stoffe abzubauen, die in der Natur nicht vorkommen. So gelingt es heute, den überwiegenden Teil der organischen Verunreinigungen der Chemiewässer abzubauen. Die Endprodukte sind im wesentlichen Kohlendioxid und Wasser, wie in kommunalen Anlagen oder beim natürlichen Abbau in freien Gewässern.

Wie Umweltbelastungen durch Änderungen des Produktionsprozesses verringert werden, zeigt ein Beispiel aus der Automobilindustrie. Hier vollzieht sich ein grundlegender Wechsel bei den Lacksystemen. Anstelle der herkömmlichen Lacke auf Basis organischer Lösemittel kommen zunehmend die wasserlöslichen Lacke zum Einsatz. Beim Lackieren mit konventionellen Lacken entstehen Lösemittel-Emissionen, welche die Umwelt erheblich belasten und die Arbeitssicherheit sowie die Gesundheit der Mitarbeiter in den Lackiereien gefährden können. Seit Jahren bemühen sich Chemische Industrie und Automobilhersteller, den Einsatz organischer Lösemittel zu verringern. Die Forschung hat sich deshalb auf zukunftsweisende Lacksysteme konzentriert, die umweltschonend, sicher und energiesparend sind - von denen somit minimale oder gar keine Lösemittel-Emissionen ausgehen. Das Ergebnis sind neue wasserlösliche Lacke, in denen die umweltbelastende Lösemittel weitestgehend durch Wasser ersetzt werden.

Biohoch-Reaktoren zur Abwasseraufbereitung



Lackierungsanlage; wasserlösliche Lacke

5. Die Praxis des Verfahrensingenieurs

Das verfahrenstechnische Berufsfeld umfaßt viele Wirtschaftszweige und bietet dementsprechend vielfältige Aufgaben und Tätigkeiten innerhalb der einzelnen Unternehmen. Zudem sind Lösungen verfahrenstechnischer Aufgaben meist nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit im Team mit Chemikern, Physikern, Biologen und Werkstoffwissenschaftlern zu finden.

Aufgrund der breit gefächerten Einsatzgebiete sind die Berufsaussichten für Verfahrensingenieure nach wie vor gut. Einige Tätigkeitsfelder sollen im folgenden kurz skizziert werden.

5.1 Verfahrensingenieure in Forschung, Entwicklung und Lehre

Etwa 15% der Verfahrensingenieure arbeiten in Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Industrie, privater und staatlicher Institutionen sowie an Wissenschaftlichen Hochschulen

- an experimentellen und theoretischen Untersuchungen zur mathematisch-physikalisch-chemischen Beschreibung der Grundverfahren und der technisch-wirtschaftlichen Gestaltung der Maschinen und Apparate zur Durchführung der Grundverfahren.
- an der Entwicklung von Verfahren auf der Basis des Systemzusammenwirkens und der systematischen Entwicklung von Anlagen zur Durchführung von Produktionsprozessen. Die Entwicklung im Labor- und Technikumsmaßstab zu Großproduktionsanlagen, wobei heute zunehmend mit mathematischer Modellierung und rechnergestützter Optimierung die Versuchszeiten reduziert werden.

Diesem Bereich sind außerdem zuzuordnen:

- Lehrtätigkeit an Universitäten, Technischen Universitäten und Hochschulen, Fachhochschulen, Technischen Gymnasien, Technikerschulen, Höheren Gewerbeschulen,
- Literaturwesen, Dokumentation, Erfahrungsaustausch etc.

Anforderungsprofil:

Voraussetzung für ein solche Tätigkeit sind Freude an wissenschaftlicher Arbeit, Neigung zu Theorie, Experiment und Konstruktion, Eignung zu kooperativer Zusammenarbeit mit Fachleuten aus anderen Disziplinen, Interesse an der Erschließung von technisch-wissenschaftlichem Neuland und ggf. der technisch-wissenschaftlichen Lehrtätigkeiten sowie die Beherrschung von Fremdsprachen, zumindest sind gute Englischkenntnisse gefragt.

5.2 Verfahrensingenieure in Planung, Konstruktion, Apparate- und Anlagenbau

Etwa 30% der Verfahrensingenieure arbeiten in Planungs- und Konstruktionsabteilungen der verfahrenstechnischen Industrie, des Maschinen-, Apparate- und Anlagenbaus.

- Sie planen und errichten verfahrenstechnische Anlagen, bestehend aus Apparaten, Maschinen, Rohrleitungen, Armaturen, Meß- und Regelgeräten etc., die umweltfreundlich und von hoher Betriebssicherheit sind. Dabei besitzen moderne Hilfsmittel, wie computergestützte Auslegung von Behältern oder die Anfertigung von Rohrleitungs- und Aufstellungsplänen besondere Bedeutung. Ausgegangen wird von der Prozeßbeschreibung, den Mengenschemata und den bauartbeschreibenden Fließbildern.
- Sie berechnen und konstruieren für die einzuhaltenden Betriebsbedingungen funktionsgerechte, betriebssichere, umweltgerechte und wirtschaftliche Apparate, Maschinen und Anlagen.

Anforderungsprofil:

Hierzu benötigt der Verfahrensingenieur die Befähigung zu Planungs- und Organisationsaufgaben, die Eignung und Neigung für technische-wissenschaftliche Berechnungen, Abstraktionsvermögen, die Befähigung zu planerisch-konstruktiver Ingenieurarbeit, breite Kenntnisse der Grundlagenfächer und der Nachbardisziplinen, Teamfähigkeit, Verhandlungsgeschick, einen Blick für die ökonomischen, ökologischen und soziologischen Wechselwirkungen der Technik und die Bereitschaft zum Reisen und zu Auslandsaufenthalten.

5.3 Verfahrensingenieure in Betrieb und Produktion

Etwa 35%, der größte Teil aller Verfahrensingenieure, arbeiten in Betrieb und Produktion. In diesem Bereich

- sorgen Verfahrensingenieure für den reibungslosen Betrieb von Produktionsanlagen, die Instandhaltung und Pflege des Produktions-Know-hows. Sie organisieren, leiten oder überwachen Wartung, Inspektion, Instandhaltung und Montage von verfahrenstechnischen Anlagen. Teilweise arbeitet der Verfahrensingenieur auch als Betriebsleiter, insbesondere in hochtechnisierten Betrieben (z.B. petrochemische Anlagen) und in ausländischen Unternehmensteilen bzw. Unternehmen.
- geben Verfahrensingenieure Anstöße zu Verfahrensverbesserungen, die im Rahmen der Betriebstechnik umgesetzt werden, sind in Werkstätten für den Bau spezieller Apparate und Vorrichtungen zuständig, arbeiten in Energieerzeugung und -verteilung, in der Rohstoffgewinnung und im Produktvertrieb, im Transport- und Verkehrswesen, im Sicherheitswesen, bei der Technischen Überwachung und in vielen Bereichen der Umwelttechnik.

Anforderungsprofil:

Voraussetzung für diese Tätigkeit sind Eignung zur Organisation und Menschenführung in Verbindung mit der Bereitschaft zur Verantwortung für Sicherheit, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit sowie Kreativität, Abstraktionsvermögen und breite Grundlagenausbildung.

5.4 Verfahrensingenieure in Anwendungstechnik, Einkauf und Verkauf

Etwa 5 bis 10% der Verfahrensingenieure arbeiten in Einkauf und Verkauf. Verfahrensingenieure auf diesem Tätigkeitsfeld

- analysieren und prognostizieren Markt- und Absatzchancen der erzeugten Produkte und erschließen neue Einsatzgebiete und Märkte,
- verhandeln mit Zulieferern und Kunden,
- bearbeiten technische Anfragen, Angebote und Bestellungen,
- beraten die Käufer verfahrenstechnischer Apparate, Maschine und Anlagen.

Anforderungsprofil:

Geeignet für diese Tätigkeit sind Verfahrensingenieure mit Kontaktfreudigkeit, Verhandlungsgeschick Anpassungsfähigkeit und betriebswirtschaftlichen Kenntnissen. Die Beherrschung von Fremdsprachen ist erforderlich, um im Außendienst im In- und Ausland beim Kundengespräch erfolgreich zu sein.

5.5 Verfahrensingenieure im Management

Ein Anteil von 5 bis 10% der Verfahrensingenieure nimmt Managementaufgaben wahr. Sie führen Unternehmen und haben leitende Funktionen inne; sie sind in Verbänden (Industrieverbände, technisch-wissenschaftliche Vereine, Industrie- und Handelskammern u.ä.) tätig.

Anforderungsprofil:

Für diese Tätigkeit sind Befähigung zu Integration und Kooperation im Zusammenwirken mit Menschen verschiedener Herkunft und Ausbildung gefragt, besondere Kommunikationsfähigkeit und Überzeugungskraft, die Befähigung zur Wahrnehmung strategischer Planungs-, Organistations- und Führungsaufgaben, Kenntnisse der Volks- und Betriebswirtschaft- und Wirtschaftsrechtes Engagement in Gesellschafts- und Wirtschaftspolitik.

5.6 Verfahrensingenieure in Verwaltung, Behörden, Technischer Überwachung, Patentwesen

Etwa 1 bis 5% der Verfahrensingenieure arbeiten in der Verwaltung, bei Behörden (in Ministerien, Gewerbeaufsichtsämtern) und in der Technischen Überwachung. Sie prüfen die von der Industrie zur Genehmigung eingereichten Anträge und technischen Dokumente auf die Erfüllung der gesetzlichen Vorschriften, insbesondere im Hinblick auf Sicherheit und Umweltschutz, prüfen und überwachen im Betrieb befindliche Industrieanlagen und Apparate etc. Im Patentwesen, d.h. in Patentstellen der Industrie, als Patentanwälte oder in Patentämtern, bearbeiten, prüfen und begutachten sie Patentanmeldungen.

Anforderungsprofil:

Diese Tätigkeit erfordert ein breites Grundlagenwissen und Abstraktionsvermögen, den Blick für technisch-wissenschaftliche, ökologische, ökonomische und soziale Zusammenhänge, technisches Einfindungsvermögen, Kenntnisse im Verwaltungs- und Rechtswesen in den Bereichen Sicherheitswesen, Arbeitsschutz, Patentrecht usw.

Diese Aufzählung von Tätigkeitsfeldern ist aufgrund der vielseitigen Ausbildung des Verfahrensingenieurs und der dynamischen Entwicklung des Gebietes der Verfahrenstechnik nicht abgeschlossen, da ständig neue Tätigkeitsgebiete entstehen.

Wie die Auflistung zeigt, finden sich Verfahrensingenieure in vielen unterschiedlichen Aufgabenbereichen. Das technische Handeln ist in seiner Struktur in der Regel durch zwei Merkmale gekennzeichnet.

- zum einen müssen die anerkannten Regeln der Technik beherrscht und zur Lösung praktischer Probleme angewendet werden
- zum andern müssen die Regeln der Technik hinterfragt und weiterentwickelt werden. Dieses erfordert ein tiefes Eindringen in die wissenschaftlichen Grundlagen der Technik, aber auch die Auseinandersetzung mit dem gesellschaftlichen Umfeld.

Je nach Eigenart des betreffenden Tätigkeitsfeldes sind die Aufgaben mehr durch das eine oder andere der beiden Merkmale gekennzeichnet.

Besonderes Verständnis wird von Verfahrensingenieur auch für allgemeine Problemstellungen verlangt. So sind Fragen des Umweltschutzes, der Sicherheit und des Recycling Arbeitsgebiete der Verfahrenstechnik. Ökologische Gegebenheiten sind zu beachten und bestimmen auch die Ziele verfahrenstechnischer Entwicklungsarbeit.

Die komplexen Problemstellungen, die breite Auffächerung auf verschiedene Industriezweige und die differenzierten Arbeitsgebiete machen deutlich, daß der Verfahrensingenieur imstande sein muß, Probleme in interdisziplinärer Zusammenarbeit zu lösen. Wechselbeziehungen bestehen in ausgeprägter Form - außer mit den klassischen Ingenieurwissenschaften - zu Chemie und Physik, darüber hinaus zu Biologie, Pharmazie und Medizin. Die verantwortliche Umsetzung rechtlicher Vorgaben verlangt auch in diesem Bereich eine ausreichende Orientierungsfähigkeit.

6. Wie studiert man Verfahrenstechnik?

In Wechselwirkung zwischen den "Abnehmern" für Ingenieure, den Ausbildungseinrichtungen und den Neigungen und Begabungen der Studenten haben sich in Deutschland in der Vergangenheit zwei Ausbildungswege für Ingenieure herausgebildet und bewährt. Sie sind einerseits gegeben durch die Fachhochschulen, an denen eine am bewährten technischen Wissen orientierte, praxisnahe und kürzere Ausbildung geboten wird, und andererseits durch die Universitäten und Technischen Hochschulen mit einem längeren, wissenschaftlich orientierten Ausbildungsweg.

Die Ausbildung an den Fachhochschulen zielt auf Tätigkeitsbereiche, deren fachliche Anforderungen im Schwerpunkt die Kenntnis und das Anwenden des anerkannt technischen Wissens betreffen. Dabei werden die theoretischen Grundlagen technischer Prozesse knapper behandelt. Die Ausbildung ist besonders anwendungsbezogen und verlangt ein ausreichendes Praktikum der Studenten vor dem Studium oder während des Studiums.

Die Ausbildung an den Technischen Hochschulen und Universitäten strebt eine besondere Tiefe und Breite des fachlichen Wissens sowie der wissenschaftlichen Grundlagen an. Die Ausbildung zielt auf Tätigkeitsbereiche, in denen vornehmlich neue Fragestellungen anstehen oder fachlich besonders komplexe Probleme zu lösen sind. Sie kann durch Promotion und Habilitation weiter in wissenschaftlicher Richtung ausgebaut werden.

Diese Unterteilung entspricht dem Bedarf an Ingenieuren und den unterschiedlichen Neigungen der Studenten.
Die hier vornehmlich verwendete Bezeichnung "Verfahrenstechnik" steht als umfassender Begriff für die verfahrenstechnisch orientierten Studiengänge mit unterschiedlich ausgeprägten Schwerpunkten. Dies umfaßt die Spanne vom klassischen Maschinenbaustudium mit verfahrenstechnischer Vertiefungsrichtung, über das Verfahrenstechnik-Studium, das Studium der Chemietechnik und des Chemieingenieurwesens bis hin zum Studium der Technischen Chemie. Innerhalb dieser Spanne verschieben sich die Studienschwerpunkte von der konstruktiv/ apparatetechnischen hin zur chemisch/technischen Ausrichtung. Die vorgestellten Studiengänge kann man an allen deutschen Universitäten studieren, die früher Technische Hochschulen waren oder Technische Fakultäten haben, an Technischen Hochschulen sowie an einer Reihe von Fachhochschulen. Am Ende dieser Broschüre befindet sich eine entsprechende Zusammenstellung.

An den Fachhochschulen beträgt die Regelstudienzeit acht Semester. Sie umfaßt die theoretischen Studiensemester, die praktischen Studiensemester und die Prüfungen einschließlich der Diplomarbeit. Die örtlichen Prüfungsordnungen können einen Studienaufbau mit entweder einem oder zwei praktischen Studiensemestern vorsehen. Bei einem Studienaufbau mit einem praktischen Studiensemester liegt dieses im Hauptstudium. Bei einem Studienaufbau mit zwei praktischen Studiensemestern liegt das erste praktische Studiensemester in der Regel innerhalb der ersten vier Fachsemester, das zweite in einem höheren Fachsemester. Die Rahmenordnungen einiger Fachhochschulen verlangen eine zusätzliche praktische Tätigkeit von mindestens acht Wochen vor Aufnahme des Studiums.

An den wissenschaftlichen Hochschulen beträgt die Regelstudienzeit einschließlich der berufspraktischen Ausbildung, der Studien- und Projektarbeit zehn Semester, davon entfallen acht Semester auf Lehrveranstaltungen, ein Semester auf Studien- und Projektarbeit, Diplomprüfung und Diplomarbeit. Hinzu kommen 26 Wochen für die berufspraktische Ausbildung, wovon mindestens sechs Wochen vor Aufnahme des Studiums zu erbringen und 20 Wochen im Hauptstudium abzuleisten sind, die auf die Regelstudienzeit angerechnet werden. In einigen Bundesländern wird die 20 Wochen dauernde berufspraktische Ausbildung nicht zur Regelstudienzeit gerechnet, obwohl sie während des Hauptstudiums abzuleisten ist. Dort werden vom Gesetzgeber nur neun Semester zur Regelstudienzeit gerechnet, gleichwohl dauert dieses Studium ebenfalls zehn Semester.

Erfahrungsgemäß fehlen Studienanfängern klare Vorstellungen von den verschiedenartigen Lehrveranstaltungen, die im Rahmen des Studiums zu absolvieren sind. Deshalb sei an dieser Stelle dazu eine Kurzinformation eingefügt:

- **Vorlesungen** stellen die erste Information über den Inhalt des Studiums dar. Hier werden wissenschaftliche Kenntnisse und Methoden vermittelt, und zwar in der Regel durch "Vortrag" des fachlich zuständigen Professors.
- **Übungen** sind vorlesungsbegleitende Lehrveranstaltungen zur Erläuterung, beispielhaften Anwendung und Vertiefung des Vorlesungsstoffes. Im wesentlichen werden von den Studenten unter Betreuung der wissenschaftlichen Assistenten Beispiele bearbeitet oder von wissenschaftlichen Assistenten Beispiele vorgerechnet und besprochen.
- **Praktika** dienen zur experimentellen Anwendung und Vertiefung des theoretischen Vorlesungsstoffes, indem die Studierenden einzeln oder in kleinen Gruppen unter Anleitung von Assistenten Versuche im Labor oder Technikum selbst durchführen und auswerten.
- Die **Studienarbeit** wird vom Studenten allein bearbeitet, und er soll dabei lernen, ein konkretes Problem aus einem bestimmten Fachgebiet der Verfahrenstechnik zu lösen. Die Studienarbeit ist in der Regel in eine Forschungsarbeit eingebunden und hat ein Teilproblem daraus zum Gegenstand. Im Unterschied dazu wird in der Projektarbeit ein mehr praxisbezogenes und breiter angelegtes interdisziplinäres Projekt bearbeitet.
- **Seminare** bieten dem Studenten Gelegenheit, über die eigene Studienarbeit oder die das Studium abschließende Diplomarbeit vor Studenten, Assistenten oder Professoren zu berichten und sich dabei in Vorträgen, freier Rede und fachlicher Diskussion zu üben.
- **Kolloquien** bringen Vorträge mit Diskussion über technisch-wissenschaftliche Arbeiten aus der Universität und der Industrie, über aktuelle Probleme und Entwicklungstendenzen der Technik, über ihre Wechselwirkungen mit der Wirtschaft, Gesellschaft, Politik.
- Die **Diplomarbeit** soll zeigen, daß der Kandidat in der Lage ist, ein Problem weitgehend selbständig nach wissenschaftlichen Methoden in einer vorgeschriebenen Zeit zu bearbeiten.

Ergänzend sei auch auf die Inhalte einiger der für diese Studium charakteristischen Fächer eingegangen:

- Die **Thermodynamik** ist eine allgemeine Energielehre. Sie behandelt die Gesetzmäßigkeiten für die Umwandlung der verschiedenen Energieformen ineinander. Sie liefert damit die Gesetze der Umwandlung und Übertragung von Energie und Materie. Diese werden genutzt z. B zur Auslegung von Wärmekraftmaschinen und Wärmeüberträgern, zur Beschreibung von Stofftrennprozessen oder zur Berechnung von Kältemaschinen und Wärmepumpen.
- Die **Mechanische Verfahrenstechnik** behandelt die Stoffumwandlung durch mechanische Einwirkungen; häufig wird dabei ein Feststoff, eine Paste oder eine Dispersion mit definierten Eigenschaften wie z. B. Partikelgröße und -form sowie Grenzflächenzustand angestrebt. Sie beschäftigt sich mit Trennverfahren zwischen Feststoffen und Fluiden (Klassieren, Sortieren, Abscheiden, Filtrieren, Zentrifugieren), Mischvorgängen (Rühren, Kneten, Wirbelschichttechnik) sowie Zerkleinerungs- (Mahlen, Brechen) und Agglomerationsprozessen (Tablettieren, Brikettieren), daneben mit der Bunkerung von Schüttgütern und dem Transport von Feststoffen (hydraulisches und pneumatisches Fördern).
- Die **Thermische Verfahrenstechnik** behandelt die Stoffumwandlungen durch thermische Energie. Wesentliche Grundlagen sind die Gesetze des Wärme- und Stofftransports. Das Gebiet umfaßt daher außer der Wärme- und Stoffübertragung die verschiedenen thermischen Trennverfahren von den klassischen Prozessen der Destillation und Rektifikation bis hin zu den modernen Methoden der Stofftrennung mittels Membranen.
- Die **Chemische Verfahrenstechnik** oder Reaktionstechnik behandelt die Stoffumwandlung und chemischen Reaktionen. Wichtig für die Stoffumsetzung ist das Zusammenspiel von chemischen Reaktionen mit Transportvorgängen. Eines der Ziele ist dabei das Festlegen optimaler Bedingungen für die Führung einer Reaktion unter gegebenen Voraussetzungen; hierzu gehören u. a. Zusammensetzung, Zustand, Verteilungsgrad der Ausgangsstoffe; Konzentration, Druck und Temperatur im Reaktionsraum; der Einsatz von Katalysatoren, Inhibitoren, Reglern, Löse- und Verdünnungsmitteln; die Verweilzeit, Vermischung und Absonderung der Reaktionsmasse; die Führung der Stoff- und Wärmeströme; die Art, Größe und Werkstoffausstattung des Reaktionsapparates.

6.1 Ausbildung von Verfahrensingenieuren an Fachhochschulen

6.1.1 Zulassung zum Studium

Als Zulassungsvoraussetzung ist die Fachhochschulreife oder eine als gleichwertige anerkannte Vorbildung oder die allgemeine Hochschulreife einschließlich eines Praktikums erforderlich. Die Anerkennung einer der Fachhochschulreife gleichwertigen Vorbildung ist in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich geregelt.
Zur Vermittlung handwerklicher und betrieblicher Kenntnisse wird eine praktische Ausbildung von mindestens acht Wochen vor Aufnahme des Studiums verlangt. Eine Lehre in einem technischen Beruf, die vor dem Studium abgeschlossen wird, ist eine sinnvolle Möglichkeit zum Erwerb praktischer Vorkenntnisse und wird als praktische Ausbildung anerkannt.

6.1.2 Studium

Der erste Studienabschnitt ist das sogenannte Grundstudium, das spätestens nach vier Semestern mit der Diplomvorprüfung abschließt. In diesem Abschnitt werden mathematisch/naturwissenschaftliche Kenntnisse und ingenieurtechnische Grundlagen vermittelt. Zu letzteren gehören die Fächer Konstruktionslehre, Technische Mechanik, Werkstoffkunde, Thermodynamik, Strömungslehre, Datenverarbeitung. Der Übergang zum Hauptstudium ist oft fließend gestaltet.

Das **Hauptstudium** wird im Pflichtteil bestimmt durch die Fachgebiete Mechanische, Thermische und Chemische Verfahrenstechnik sowie Apparate- und Anlagenbau. Es wird ergänzt durch Lehrveranstaltungen in Meß- und Regelungstechnik, Elektrotechnik sowie eine Einführung in Maschinenbaufächer. Im Wahlpflichtteil des Hauptstudium wird dem Studenten Gelegenheit zur Vertiefung seiner Kenntnisse in ausgewählten Teilgebieten der Verfahrenstechnik und ihren Grenzbereichen geboten.

Die Lehre dieser Fächer geschieht in seminaristischen Unterrichtsveranstaltungen mit Übungen, Laborpraktika und Studienarbeiten.

Üblicherweise muß der Student in allen Pflicht- und Wahlfächern sowie auch in einigen allgemeinbildenden Fächern Fachprüfungen ablegen. Fachprüfungen werden in der Regel studienbegleitend abgenommen. Außerdem werden Prüfungsvorleistungen in Form von Übungs- und Praktikumsscheinen und von Studienarbeiten verlangt.

Das Grundstudium wird durch die Vorprüfung, das Hauptstudium durch die in der Regel dreimonatige Diplomarbeit abgeschlossen. Die Regelungen sind in den einzelnen Bundesländern und an den einzelnen Fachhochschulen unterschiedlich und liegen bei den jeweiligen Prüfungsämtern in Form der Prüfungsordnung vor. Nach erfolgreichem Studienabschluß wird der Grad "Diplomingenieur (FH)" verliehen. In einigen Bundesländern, wie z. B in Nordrhein-Westfalen, wird der Grad ohne den Zusatz FH verliehen.

Die Studienpläne der Fachhochschulen orientieren sich weitgehend am Rahmenstudienplan. Unterschiede bestehen vor allem in dem Angebot an Vertiefungsfächern.

In einem oder zwei praktischen Studiensemestern hat der Student Gelegenheit in der Industrie, Apparate und Maschinen verfahrenstechnischer Anlagen in Fertigungswerkstätten, im Technikum oder im Betrieb kennenzulernen und an Ingenieuraufgaben mitzuwirken.

Die Tabelle zeigt einen Studienplan der Verfahrenstechnik nach den Empfehlungen der GVC (Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen im Verein Deutscher Ingenieure) für die Ausbildung an Fachhochschulen. Die Angaben zum Umfang einzelner Lehrfächer sind als Beispiel anzusehen, da die Gewichtung in einem chemisch / technischen Studiengang zwangsläufig anders ist als in einem konstruktiv/apparatetechnischen.

Für Absolventen von Fachhochschulen gibt es nach Abschluß des Fachhochschulstudiums die Möglichkeit, zu Universitäten zu wechseln. Dazu bestehen unterschiedliche, ausbildungsortabhängige Regelungen.

Beispiel eines Studienplans der Verfahrenstechnik nach dem Empfehlungen der GVC für die Ausbildung an Fachhochschulen

Seminaristische Unterrichtsveranstaltungen, Übungen, Laborpraktika	%[3]
Mathematik, Datenverarbeitung	10
Physik	4
Chemie, phys. Chemie	7
Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung	7
Mechanik und Strömungslehre	10
Werkstoffkunde, Materialprüfung	2
Apparatebau[1]	10
Meß-, Regelungs- und Prozeßleittechnik	5
Elektrotechnik	3
Verfahrenstechnik:	
Thermische Verfahrenstechnik	
Mechanische Verfahrenstechnik	13
Chemische Verfahrenstechnik	
Prozeß- und Anlagentechnik, Umweltschutztechnik, Sicherheitstechnik	8
Technische Wahlpflichtfächer	12
Pumpen und Verdichter	2
Arbeits- und Betriebslehre	2
Nichttechnische Wahlpflichtfächer	3
Diplomandenseminar	2
Industriepraktikum[2]	26 Wochen
Praxissemester	22 Wochen
Studienarbeit	6 Wochen
Diplomarbeit	4 Monate
Studiendauer	8 Semester (einschließlich Diplomarbeit, Praktika und Prüfungen)

[1] Konstruktionslehre mit Apparatekonstruktion, Rechnergestütztes Entwerfen (CAD), Rohrleitungsbau.

[2] Industriepraktikum währen oder (teilweise) vor dem Studium; entfällt bei einschlägig absolvierter Lehre.

[3] Die angegebenen Prozentzahlen sind Richtwerte.

6.2 Ausbildung von Verfahrensingenieuren an Universitäten und Technischen Hochschulen

6.2.1 Zulassung zum Studium

Als Zulassungsvoraussetzung ist die Allgemeine Hochschulreife in Verbindung mit einer mindestens sechswöchigen berufspraktischen Ausbildung (Grundpraktikum) oder der Abschluß eines Fachhochschulstudiums in Maschinenbau, Verfahrenstechnik oder Chemieingenieurwesen erforderlich; dabei ist die Möglichkeit der Anerkennung von gleichwertigen Leistungen gegeben. Auch für das Studium an Universitäten ist ein Mindestmaß an handwerklicher und praktischer Erfahrung unerläßlich. Während des Hauptstudiums ist eine berufspraktische Ausbildung (Fachpraktikum) von mindestens 20 Wochen erforderlich. Diese Praktikantentätigkeit soll dem Studenten einen Einblick verschaffen in die grundlegenden Bearbeitungs- und Fertigungsverfahren des Maschinen- und Apparatebaus, in die Arbeitsweise verfahrenstechnischer Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionsbetriebe und in die Arbeitsatmosphäre im industriellen Betrieb.

Der Fakultätentag Maschinenbau und Verfahrenstechnik hat Richtlinien für eine einheitliche praktische Ausbildung an Universitäten beschlossen, die praktisch von allen Mitgliedshochschulen in Form von Praktikantenrichtlinien übernommen wurden.

Neben diesen formalen Voraussetzungen sollten Studierende der Verfahrenstechnik Interesse für Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften und ihre gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Zusammenhänge mitbringen.

Vor Beginn des Studiums - sinnvollerweise bereits in der Oberstufe der weiterführenden Schulen - sollten Sie die Möglichkeit nutzen, sich von Professoren, Dozenten und Assistenten, Praktikantenämtern und Studienkommissionen beraten zu lassen. Wenden Sie sich dazu bitte an die zum Ende dieser Broschüre genannten Stelle den der Universitäten und an die Berufsberater der Arbeitsämter.

6.2.2 Studium

Auch an den Technischen Hochschulen und Universitäten gliedert sich das Studium in Grund- und Hauptstudium. Das Grundstudium umfaßt vier Semester. In diesem Abschnitt werden die mathematischen, naturwissenschaftlichen und ingenieur-wissenschaftlichen Grundlagen vermittelt. Dieser erste Studienabschnitt wird mit der Diplomvorprüfung abgeschlossen.

Der zweite Studienabschnitt umfaßt das eigentliche Fachstudium und ist so auf vier Fachsemester verteilt, daß sich eine sachlich günstige Zeitfolge der Lehrveranstaltungen ergibt. Es wird deshalb auch hier empfohlen, sich an die jeweiligen Studienpläne zu halten, wenngleich dieser zweite Studienabschnitt hinsichtlich der Gestaltung des Studienplan besonders in den letzten beiden Studiensemestern eine gewisse "akademische Freiheit" läßt.

Der zweite Studienabschnitt führt mit der Diplom-Hauptprüfung und der Diplomarbeit zum akademischen Grad "Diplomingenieur" (Dipl.-Ing.) ggf. auch mit einem Zusatz "TU", "Univ." o.ä.

Zur **Diplom-Hauptprüfung** gehören in der Regel

- Prüfungen in Pflichtfächern wie z. B. Strömungslehre/Rheologie, Wärme- und Stoffübertragung, Chemie für Verfahrensingenieure, Thermische Verfahrenstechnik, Mechanische Verfahrenstechnik, Chemische Verfahrenstechnik, Apparate- und Anlagentechnik, Regelungstechnik.
- eine Prüfung in dem Fach der gewählten Vertiefungsrichtung, die der Student aus einem Katalog von Vertiefungsrichtungen auswählen kann. Einige Universitäten verlangen Prüfungen in zwei Vertiefungsrichtungen.
- eine Prüfung in einem Nichttechnischen Wahlpflichtfach, das der Student aus einem Katalog von Nichttechnischen Wahlpflichtfächern, beispielsweise aus dem Bereich der Wirtschaftswissenschaften, des Rechts, der Medizin, der Soziologie u.a. auswählen kann.
- eine Diplomarbeit, die zeigen soll, daß der Studierende in der Lage ist, ein Problem weitgehend selbständig nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten.

Die Pflichtfächer sollen das breite verfahrenstechnische Grundlagenwissen vermitteln, das den Absolventen befähigt, nach angemessener Einarbeitungszeit in jedem der in Abschnitt 5 genannten Tätigkeitsfelder zu arbeiten.

Die Vertiefungs- oder Wahlfächer, hierzu gehören auch Studien- und Diplomarbeiten, geben darüber hinaus die Möglichkeit, das Studium in zweierlei Hinsicht nach eigenem Interesse zu erweitern und zu vertiefen, und zwar

- in Grundlagengebieten wie Mechanik, Technische Thermodynamik, Strömungslehre, Regelungstechnik, Systemdynamik, Chemische/Mechanische/Thermische Verfahrenstechnik;
- in verfahrenstechnischen Anwendungsgebieten wie Apparatebau und Anlagentechnik, Biomedizinische Technik, Chemische Technik, Energieverfahrenstechnik, Umwelttechnik, Kunststofftechnik, Landtechnik, Lebensmitteltechnik, Textiltechnik.

Wie für die Fachhochschulen gilt auch hier, daß sich die Studienpläne der Universitäten am Rahmenstudienplan orientieren. Unterschiede bestehen insbesondere im Vertiefungsfächerangebot.

In der Tabelle wird ein Beispiel für einen Studienplan der Verfahrenstechnik nach den Empfehlungen der GVC für die Ausbildung an Universitäten gegeben.

6.2.3 Aufbaustudium und Promotion

Nach Abschluß des Studiums der Verfahrenstechnik kann an einigen Universitäten ein Aufbaustudium von mindestens zwei aufeinanderfolgenden Semestern angeschlossen werden. Darin sollen Lehrveranstaltungen und Forschungsarbeiten Gelegenheit geben, Kenntnisse in angrenzenden Fachgebieten zu erlangen sowie das vorangegangene Studium in ausgewählten Themenbereichen zu vertiefen.

Ingenieurwissenschaftliche Forschung und Grundlagenforschung werden insbesondere an staatlichen Forschungseinrichtungen sowie an den Universitäten betrieben. In diesem Fall stehen sie in enger Wechselwirkung mit der akademischen Lehre. Die Vorbereitung auf eine Tätigkeit in Forschung und Entwicklung sowie in der Lehre an den Wissenschaftlichen Hochschulen oder an den Fachhochschulen bedarf einer besonderen Vertiefung ingenieurwissenschaftlicher Kenntnisse und forschungsorientierter Arbeitsweise.

Den Absolventen des Studiums der Verfahrenstechnik, die eine Berufstätigkeit in Forschung, Entwicklung und wissenschaftlicher Lehre anstreben und sich auch in ihrem Studium entsprechend orientiert und qualifiziert haben, bietet sich daher nach dem Diplom die Gelegenheit zur Promotion zum "Doktor-Ingenieur" (Dr.-Ing.) und ggf. weiter zur Habilitation (Dr.-Ing. habil., oder Privatdozent).

Die Erarbeitung einer ingenieurwissenschaftlichen Dissertation (Doktorarbeit) erfordert großen persönlichen Einsatz und sollte in der Regel drei Jahre nicht überschreiten. Für den Fall, daß sich ein wissenschaftlicher Mitarbeiter an Lehrveranstaltungen beteiligt, wird die Verweilzeit höher sein.

Jeder Absolvent des Verfahrenstechnik-Studiums sollte sich darüber klar sein, daß der "Diplomingenieur" den voll berufsqualifizierenden Abschlußgrad des akademischen Studiums darstellt und die berufliche Entfaltung ermöglicht.

6.3 Entwicklung der Absolventenzahlen in der Verfahrenstechnik

Die Absolventenzahlen sowohl von den Universitäten als auch von den Fachhochschulen stiegen am Ende der 80er Jahre steil an (vgl. Diagramm); der Anteil aus den Neuen Bundesländern konnte bei den Fachhochschulen nicht ermittelt werden; bei den Universitäten liegt der Anteil aus den Neuen Bundesländern ab 1990 unter 10 % der Gesamtzahlen.

Seit etwa 1992 fallen die Anfängerzahlen in allen Studiengängen der Ingenieurwissenschaft, auch in der Verfahrenstechnik, z. T. auf weniger als ein Viertel früherer Anfängerzahlen. Das wird in einigen Jahren nach der "Studiendurchlaufzeit" zu entsprechen reduzierten Absolventenzahlen führen.

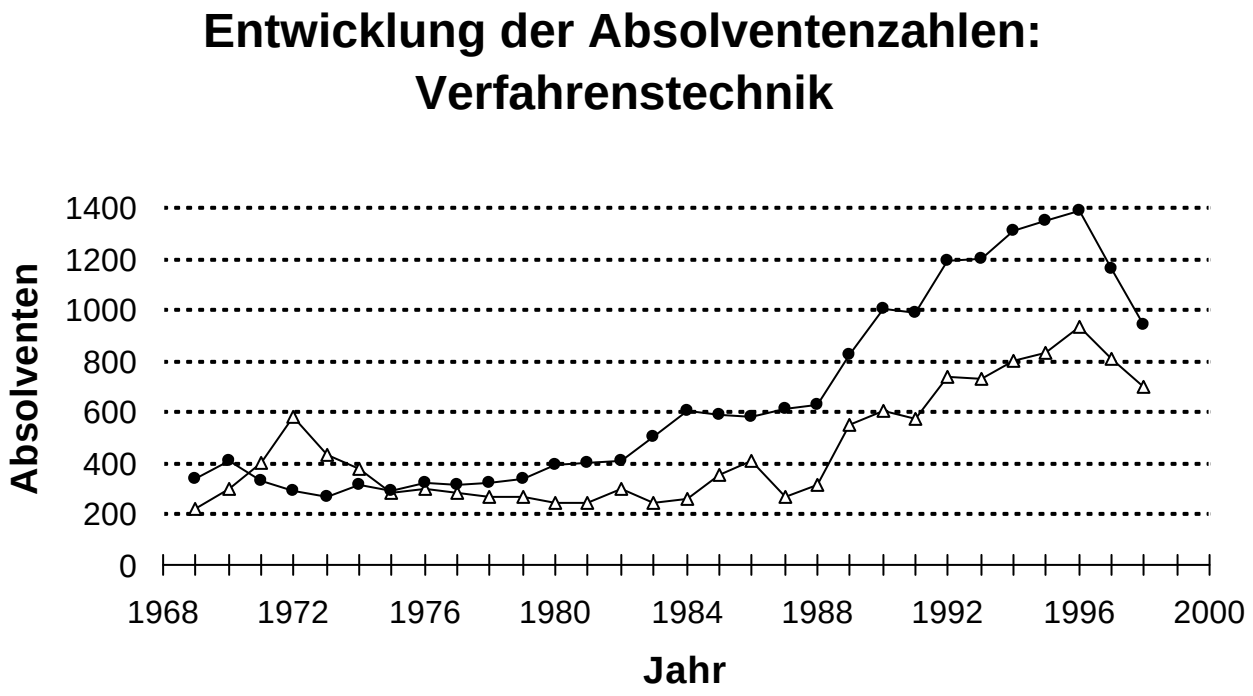
Beispiel eines Studienplans der Verfahrenstechnik nach den Empfehlungen der GVC für die Ausbildung an Universitäten

Vorlesungen, Übungen, Praktika, Seminare	%3)
Mathematik, Datenverarbeitung	14
Physik	4
Chemie	8
Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung	7
Mechanik, Strömungslehre	9
Werkstoffwissenschaften	4
Apparatebau	4
Meß-, Regelungs- und Prozeßleittechnik	6
Elektrotechnik	2
Verfahrenstechnik:	
Thermische Verfahrenstechnik ⎫	
Mechanische Verfahrenstechnik ⎬	14
Chemische Verfahrenstechnik ⎭	
Prozeß- und Anlagentechnik, Umweltschutztechnik, Sicherheitstechnik	7
Bioverfahrenstechnik	2
Technische Wahlpflichtfächer	14
Orientierungsseminar	11
Nichttechnische Wahlpflichtfächer	4
Industriepraktikum [2]	26 Wochen
Projektierungskurs	3 Wochen
Studienarbeit	6 Wochen
Diplomarbeit	6 Monate
Studiendauer	10 Semester (einschließlich Diplomarbeit, Praktika und Prüfungen)

[1] Konstruktionslehre mit Apparatekonstruktion, Rechnergestütztes Entwerfen (CAD).

[2] Industriepraktikum während oder (teilweise) vor dem Studium.

[3] Die angegebenen Prozentzahlen sind Richtwerte.“



7. Verfahrensingenieur, ein Beruf mit Zukunft

Nach so vielen Worten zum Thema Verfahrenstechnik und dem Berufsbild Verfahrensingenieur könnte man schließen: Verfahrensingenieur – das ist der größte, der spannendste, der bestbezahlte Job...

Doch bleiben wir sachlich: Können und Leistung sind auch in diesem attraktiven Beruf dafür entscheidend, was man erreicht. Das gilt sowohl für Absolventen der Universitäten als auch der Fachhochschulen.

Der Beruf des Verfahrensingenieurs ist interessant und fordert heraus, denn viele große, in Zukunft bedeutsame Aufgaben warten auf ihre Lösung.

Wichtige Aufgaben werden in der Schaffung von Herstellprozessen für neuartige Wirk-, Werk- und Farbstoffe sowie sonstige Chemikalien und Zwischenprodukte bestehen.

Biotechnik und Biomedizin werden zunehmend Beiträge leisten für das Gesundheitswesen, für die Landwirtschaft, für eine saubere Umwelt und für eine rationellere Herstellung von Chemikalien.

Auch in Zukunft werden der Umweltschutz und die Ressourcenschonung zentrale Themen sein.

Als Beispiel für den Beginn der Entwicklung von "Intelligenten Werkstoffen" seien optische Werkstoffe genannt, die Reflexion und Durchlässigkeit als Antwort auf Änderungen des magnetischen und elektrischen Feldes oder der Temperatur regeln können.

Auch die Entwicklung systematischen Wissens - erhöhtes Prozeßwissen anstelle von Empirie, fortgeschrittene Computermethoden und Prozeßregelung - als Grundlage neuer Verfahren gehört zur zukünftigen Aufgabenstellung für Verfahrensingenieure. Beispielsweise sind die selektive Adsorption aus der Gasphase (eine energiesparende Alternative zur Destillation für die Trennung von Gasen und leichten Kohlenwasserstoffen etc.) und die Schmelzkristallisation als energiesparender Weg der Trennung und Reinigung organischer Komponenten neue Methoden, deren industrielle Anwendung durch den heutigen Mangel an Basiswissen noch behindert ist.

Die Antworten auf solche Herausforderungen müssen aus der interdisziplinären Zusammenarbeit von Physikern, Chemikern, Werkstoffwissenschaftlern, Biologen und Verfahrensingenieuren kommen.

Lösungen hierzu erfordern jedoch nicht nur den Verfahrensingenieur, der sich bessere Prozesse ausdenkt und realisiert, sondern auch den, der neue Wege erkennt, versteht, interpretieren und anderen vermitteln kann. Der Bevölkerung müssen verantwortungsbewußt initiierte Entwicklungen verständlich gemacht werden.

Der Bürger will gefragt und rechtzeitig informiert werden, will mit diskutieren und ggf. mitentscheiden. Dazu müssen ihm die oft komplizierten Vorgänge sachlich richtig und begreifbar dargestellt werden, damit er sein Urteil ohne Ängste finden kann: eine wichtige und schwierige Aufgaben mit hoher gesellschaftlicher Verantwortung.

In diesem Zusammenhang rücken die Reizworte "Öko-Bilanzen/Stoffkreisläufe" in den Vordergrund auch der öffentlichen Diskussion. Verfahrensingenieure beherrschen die Methoden, um Stoffkreisläufe zu erstellen - wenn das national oder sogar global erfolgen soll, fehlt es heute an ausreichendem Datenmaterial; werden aus Stoffkreisläufen Öko-Bilanzen abgeleitet, dann muß eine ökologische Bewertung der unterschiedlichen Stoffe erfolgen. die damit verbundenen Schwierigkeiten werden verständlich, wenn z B. die Frage beantwortet werden soll "Wie ist die Emission einer bestimmtem Menge CO_2 in der Luft absolut zu bewerten und relativ etwa im Vergleich zu einer bestimmten Salzfracht in einem Fluß?" Verfahrensingenieure werden sich in Zukunft auch Fragen dieser Art stellen müssen.

Heute wie in der Zukunft ist der gute Verfahrensingenieur in allen Lebenslagen und Berufsfeldern gekennzeichnet durch: Fähigkeit zum Denken in komplexen Zusammenhängen und zum Herausarbeiten der wesentlichen Inhalte, ganzheitliche Betrachtungsweise und die Bereitschaft zur Zusammenarbeit mit anderen Berufen und Gesellschaftsgruppen.

Mit dieser Broschüre wollen wir fähige, junge Menschen ansprechen, die ihre Zukunft mitgestalten wollen. Für Könner gibt es immer gute Arbeit. Anwendung durch den heutigen Mangel an Basiswissen noch behindert ist.

Wir wünschen Ihnen, daß Sie sich richtig entscheiden und Freude an Ihrem Beruf haben werden. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die rechtzeitige Information über die möglichen persönlichen Berufswege. Diese Broschüre soll Ihnen dabei eine Hilfe sein.

Viel Erfolg!

Ihre

GVC • VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen

8. Verzeichnis der Fachhochschulen, Universitäten und Technischen Hochschulen

Studium der Verfahrenstechnik/Chemieingenieurwesen an Fachhochschulen

Fachhochschule Aachen
Worringer Weg 1
52074 Aachen
www.fh-aachen.de

Fachhochschule Albstadt-Sigmaringen
FB Pharmatechnik
Anton-Günther-Str. 51
72488 Sigmaringen
www.fh-albsig.de

Fachhochschule Anhalt
Abteilung Köthen
FB Lebensmitteltechnologie / Bio-Technologie /
Verfahrens und Umwelttechnik
Bernburger Str. 52 - 57
06366 Köthen
www.lbv.hs-anhalt.de

Technische Fachhochschule Berlin
FB 8 Verfahrens- und Umwelttechnik
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
www.tfh-berlin.de

Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
FB 2 Ingenieurwissenschaften II
Blankenburger Pflasterweg 102
13129 Berlin
www.fhtw-berlin.de

Fachhochschule Bielefeld
FB Maschinenbau
Wilhelm-Bertelsmann-Straße 10
33602 Bielefeld
www.fh-bielefeld.de

FH Bingen
FB Verfahrenstechnik
Berlinstraße 109
55411 Bingen
www.fh-bingen.de

Technische Fachhochschule
”Georg Agricola” zu Bochum
Herner Straße 45
44787 Bochum
www.fh-bochum.de

Fachhochschule Braunschweig / Wolfenbüttel
FB Produktions- und Verfahrenstechnik
Robert-Koch-Platz 10-14
38440 Wolfenbüttel
www.fh-wolfenbuettel.de

Hochschule Bremerhaven
Interimsfachbereich Verfahrenstechnik
An der Karlstadt 8
27668 Bremerhaven
www.hs-bremerhaven.de

Fachhochschule Darmstadt
Fachbereich Chemische Technologie
Hochschulstraße 2
64289 Darmstadt
www.fh-darmstadt.de

Fachhochschule Düsseldorf
FB 4 Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Josef-Gockeln-Straße 9
40474 Düsseldorf
www.fh-duesseldorf.de

Fachhochschule Esslingen - Hochschule für Technik
FB Chemieingenieurwesen
Kanalstr. 33
73728 Esslingen
www.fht-esslingen.de

Fachhochschule Flensburg
FB Technik - Institut für Verfahrenstechnik
Kanzleistraße 91-93
24943 Flensburg
www.fh-flensburg.de

Fachhochschule Frankfurt am Main
FB Verfahrenstechnik
Kleiststraße 3
60318 Frankfurt am Main
www.fh-frankfurt.de

Fachhochschule Furtwangen
FB Umwelt- und Verfahrenstechnik
Jakob-Kienzle-Straße 17
78054 Villingen-Schwenningen
www.fh-furtwangen.de

Fachhochschule Hamburg
Fachbereich 8 Bio-Ingenieurwesen,
Produktionstechnik und Verfahrenstechnik
Logbücher Kirchstraße 65
21033 Hamburg
www.fh-hamburg.de

Fachhochschule Hannover
FB Maschinenbau, Verfahrens- und Umwelttechnik
Ricklinger Straße 120
30459 Hannover
www.fh-hannover.de

Fachhochschule Heilbronn
FB Technik 1 Verfahrens- und Umwelttechnik
Max-Planck-Straße 39
74081 Heilbronn
www.fh-heilbronn.de

Fachhochschule Kaiserslautern
FB Maschinenbau
Postfach 1573
67604 Kaiserslautern
www.fh-kl.de

Fachhochschule Köln
FB 2 Anlagen- und Verfahrenstechnik
Betzdorfer Straße 2
50679 Köln
www.fh-koeln.de

Fachhochschule Lausitz
FB Chemieingenieurwesen / Verfahrenstechnik
Großenhainer Straße 57
01968 Senftenberg
www.fh-lausitz.de

Fachhochschule Lippe
FB4: Lebensmitteltechnologie / Pharmatechnik
Liebigstr. 87
32657 Lemgo
www.fh-lippe.de

Fachhochschule Mannheim
Hochschule für Technik und Gestaltung
FB Verfahrens- und Umwelttechnik
Windeckstraße 110
68163 Mannheim
www.fh-mannheim.de

Fachhochschule Merseburg
FB 2 Chemie- und Umweltingenieurwesen
Geusaer Straße
06217 Merseburg
www.fh-merseburg.de

Fachhochschule Münster
FB Chemieingenieurwesen
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt
www.fh-muenster.de

Fachhochschule Niederrhein
FB 4 Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Reinarzstaße 49
47805 Krefeld
www.fh-niederrhein.de

Georg-Simon-Ohm FH Nürnberg
FB Verfahrenstechnik
Wassertorstraße 10
90489 Nürnberg
www.fh-nuernberg.de

Fachhochschule Osnabrück
FB Werkstoffe und Verfahren
Albrechtstraße 30
49076 Osnabrück
www.fh-osnabrueck.de

Fachhochschule Ostfriesland
FB Maschinenbau
Constantiaplatz 4
26723 Emden
www.fho-emden.de

Fachhochschule Trier
Umwelt-Campus Birkenfeld
Postfach 1380
55761 Birkenfeld
www.umwelt-campus.de

Technische Fachhochschule Wildau
FB Ingenieur- und Wirtschaftsingenieurwesen
Friedrich-Engels-Straße 63
15745 Wildau
www.tfh-wildau.de

Studium der Verfahrenstechnik/Chemieingenieurwesen an Universitäten/ Technischen Hochschulen/Gesamthochschulen

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Tempergraben 55
52062 Aachen
www.rwth-aachen.de

Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin
www.tu-berlin.de

Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150
44801 Bochum
www.ruhr-uni-bochum.de

Technische Universität Braunschweig
Pockelsstraße 14
38106 Braunschweig
www.tu-bs.de

Universität Bremen
Bibliothekstraße 1
28359 Bremen
www.uni-bremen.de

Technische Universität Chemnitz-Zwickau
Reichenhainer Straße 70
09107 Chemnitz
www.tu-chemnitz.de

Technische Universität Clausthal
Adolf-Römer-Straße 2A
38678 Clausthal-Zellerfeld
www.tu-clausthal.de

Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Karl-Marx-Straße 17
03044 Cottbus
www.tu-cottbus.de

Technische Hochschule Darmstadt
Karolinenplatz 5
64289 Darmstadt
www.tu-darmstadt.de

Universität Dortmund
August-Schmidt-Straße 4
44227 Dortmund
www.uni-dortmund.de

Technische Universität Dresden
Mommsenstraße 13
01069 Dresden
www.tu-dresden.de

Gerhard-Mercator-Universität-GH Duisburg
Lotharstraße 65
47048 Duisburg
www.uni-duisburg.de

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen/Nürnberg
Schloßplatz 4
91054 Erlangen
www.uni-erlangen.de

Universität GH Essen
Universitätsstraße 2
45141 Essen
www.uni-essen.de

Technische Universität Bergakadamie Freiberg
Agricolastraße 6
09596 Freiburg
www.tu-freiberg.de

Universität Halle-Wittenberg
Geusaer Straße
06217 Merseburg
www.uni.halle.de

Technische Universität Hamburg-Harburg
Harburger Schloßstraße 20
21079 Hamburg-Harburg
www.tu-harburg.de

Universität Hannover
Welfengarten 1
30167 Hannover
www.uni-hannover.de

Universität Hohenheim
Lebensmitteltechnologie
70593 Stuttgart
www.uni-hohenheim.de

Universität Kaiserslautern
Gottlieb-Daimler-Straße
67663 Kaiserslautern
www.uni-kl.de

Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12
76128 Karlsruhe
www.uni-karlsruhe.de

Universität Magdeburg
Postfach 41 20
39016 Magdeburg
www.uni-magdeburg.de

Technische Universität München
Arcisstraße 19
80290 München
www.tu-münchen.de

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Ammerländer Heerstr. 114 - 118
26129 Oldenburg
www.uni-oldenburg.de

Gesamthochschule Paderborn
Warburger Straße 100
33098 Paderborn
www.uni-paderborn.de

Universität - GH Siegen
Fachbereich 11 - Maschinentechnik
57068 Siegen
www.uni-siegen.de

Universität Stuttgart
Keplerstraße 7
70174 Stuttgart
www.uni-stuttgart.de