

Kernverfahrenstechnik

Eine Einführung für Ingenieure

Von

Dr.-Ing. Werner Mialki

o. Professor für Allgemeine und Kern-Verfahrenstechnik
an der Technischen Universität Berlin

Mit 179 Abbildungen



Springer-Verlag
Berlin / Göttingen / Heidelberg
1958

ISBN-13: 978-3-642-92742-3

e-ISBN-13: 978-3-642-92741-6

DOI: 10.1007/978-3-642-92741-6

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,

dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege

(Photokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen

© by Springer-Verlag OHG., Berlin / Göttingen / Heidelberg 1958

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1958

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

Meinem Vater

Geleitwort

Die Verfahrenstechnik ist als Ergebnis einer nicht immer spannungsfreien Entwicklung zu einer festumrissenen Disziplin geworden. Sie hat die wissenschaftlichen Grundlagen für ein umfassendes Gebiet der Ingenieur Tätigkeit geschaffen, das früher nur der Empirie zugänglich war und — in gewissem Gegensatz zu anderen Industrieländern — bei uns sowohl einer unzweckmäßigen Spezialisierung als auch der Entstehung heterogener Mischformen der Ingenieurausbildung erfolgreich entgegenwirkt.

Das vorliegende Werk geht daher mit Recht davon aus, daß die „Kernverfahrenstechnik“ ein Teilgebiet der Verfahrenstechnik ist. Es sucht dem Ingenieur ein Hilfsmittel zu bieten, diese neue technische Entwicklung logisch in seinen Fachbereich einzugliedern.

Es ergänzt damit die noch spärlich vorliegende deutsche Literatur über die technischen und wirtschaftlichen Fragen der Energiegewinnung aus Kernreaktionen und führt andererseits den Verfahreningenieur wieder an die physikalischen Grundlagen dieses neuen Fachgebietes heran, ohne ihn unnötigerweise zum „Kernphysiker“ machen zu wollen.

Die klare Abgrenzung dessen, was die Kernverfahrenstechnik voraussetzt, von dem, was sie selbst ist, und der Verzicht auf spekulative Erörterungen scheint mir ein Verdienst des Werkes zu sein, das um so höher ist, als das Buch einen ersten Versuch im deutschen Sprachbereich darstellt. Dem Kenner auch nur eines der vielfältigen Sachgebiete, die sich in der Verfahrenstechnik zusammenfinden, steht die Schwierigkeit des Bemühens vor Augen, ein noch in voller Entwicklung befindliches Arbeitsfeld mit einem schon bewährten übergeordneten Begriff zu verknüpfen und als Ingenieuraufgabe geschlossen darzustellen.

Nachdem in Deutschland die ersten Forschungsreaktoren kritisch geworden sind und die Entwicklung in anderen Ländern aus der „Kernverfahrenstechnik“ schon ein Teilgebiet der Industrietechnik und der

Wirtschaftspolitik gemacht hat, ist das Erscheinen eines Buches zu begrüßen, das die neuen Problemstellungen auch den Studierenden und dem praktisch tätigen Ingenieur im deutschen Sprachbereich näherbringt. Ich bin überzeugt, daß sich die vom Verfasser aufgewendete Mühe lohnen wird.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Balke', written in a cursive style.

Professor Dr.-Ing. SIEGFRIED BALKE,
Bundesminister für Atomkernenergie
und Wasserwirtschaft

Vorwort

Wenn man den gesamten Komplex aller technischen Aufgaben betrachtet, welche zu lösen sind, um die Kernenergie industriell und wirtschaftlich auszunutzen, sieht man sofort, daß die *Kernspaltungsreaktion* selbst nur ein Teil des Ganzen ist und daß sehr viele dieser Aufgaben dem *Ingenieur* längst aus anderen Gebieten der Technik, vornehmlich aus der *Verfahrenstechnik*, geläufig sind: Stofftrennung und Stoffvereinigung, Stoff- und Wärmeaustausch, Messung und Regelung. Die meisten Konstruktionsaufgaben bieten daher dem Ingenieur im Prinzip keine Schwierigkeiten. Es treten aber einige neue, zunächst ungewohnte Forderungen auf, mit denen er sich vertraut machen muß: Auswahl von Bau- und Betriebsstoffen nach kernphysikalischen Gesichtspunkten (ohne die mechanischen und thermischen Anforderungen zu vernachlässigen!), Befriedigung extrem hoher Reinheitsansprüche, ungewöhnlich hohe Anforderungen an die Dichtheit von Konstruktionsteilen und — als ganz neue Forderung — Schutz gegen gesundheitsschädliche oder materialgefährdende Strahlungen. Schließlich soll der Ingenieur aber auch den ihm als Wärmequelle dienenden Kernspaltreaktor in seinem Verhalten verstehen. Er muß einsehen, daß gewisse Forderungen des Physikers unabdingbar sind, die konstruktive Gestaltung sich ihnen also unterordnen muß. Dazu ist es aber weder erforderlich, den Reaktor selbst exakt berechnen zu können, noch in die Tiefen der strengen quantenmechanischen Atomtheorie einzudringen.

Jede technische Disziplin ist irgendwann einmal aus dem physikalischen oder chemischen Laboratorium gekommen und hat sich als Ingenieuraufgabe selbständig gemacht. Es spricht offenbar nichts gegen die Erwartung, daß es auch mit der Kernspaltung einmal so sein wird oder nach Ansicht amerikanischer Autoren sogar schon ist. R. STEPHENSON [1]¹ sagt z. B.:

“The field of nuclear engineering is now in the same transition period as all major branches of engineering have undergone. Although the original development of nuclear energy was carried out almost entirely by theoretical scientists, now that the fundamental principles have been established, the further use of nuclear energy is falling more and more into the province of the engineer. If the engineering profession is to accept the responsibilities created by this new scientific field, the younger engineers must be willing to undertake such problems as radiation shielding, radiation damage, chemical processing of radioisotopes, and the engineering design of nuclear chain reactors.”

¹ Die Ziffern in [] beziehen sich auf das Literaturverzeichnis S. 462.

Wir dürfen daher behaupten, daß es für den Ingenieur notwendig ist, sich mit den Grundlagen so vertraut zu machen, daß er den neuen, ihm als Konstrukteur und Betriebsmann zuwachsenden Aufgaben mit genügender Sachkenntnis entgegentreten kann; und zwar auch dann, wenn er nicht Kernreaktoren zu konstruieren, sondern das vielfältige Zubehör zu entwickeln, wirtschaftlich zu fertigen und zu betreiben hat, sei es nun ein einfaches Absperrventil für flüssiges Natrium oder schweres Wasser, sei es ein Wärmetauscher oder eine komplizierte Trennanlage.

Einen solchen Überblick auch dem *deutschen Ingenieur* zu verschaffen, hat sich der Verfasser zum Ziel gesetzt. Dieses Buch ist aus Vorlesungen und Übungen entstanden, die seit zwei Jahren an der *Technischen Universität Berlin* für Studierende des allgemeinen Maschinenbaues und speziell der *Verfahrenstechnik* abgehalten werden. Es soll also eine erste Information für alle diejenigen sein, die sich mit der Technik der Kernspaltung aus eigenem Antrieb oder aus beruflichen Gründen ernsthaft befassen wollen. Aus dieser Zielsetzung und den vorher genannten Gründen ergibt es sich, daß den physikalischen Begriffen nur derjenige Umfang eingeräumt wird, der ihnen auch in anderen technischen Disziplinen als Grundlage zugemessen zu werden pflegt. Für eine den Ingenieur in erster Linie angehende anschauliche Darstellung der *Reaktortechnik* sind sie nicht erforderlich, sondern wirken eher verwirrend. Wer ihrer nicht glaubt entraten zu können — eine Umfrage in den USA ergab, daß nur 12% der in diesem Bereich Beschäftigten die physikalischen Grundlagen für unbedingt erforderlich halten —, kann weitergehende Bedürfnisse aus amerikanischen, englischen und neuerdings auch deutschen Lehrbüchern [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] befriedigen.

Die Technischen Hochschulen bemühen sich seit geraumer Zeit, Ingenieure mit breiter Wissensgrundlage heranzubilden und lehnen eine vorzeitige Spezialisierung ab. Dazu gehört ganz selbstverständlich eine gute physikalische Grundausbildung, die in dem späteren Fachstudium immer wieder ergänzt und vertieft werden soll. Es ist daher nicht einzu- sehen, warum das auf diesem Gebiet der Technik nicht ebenfalls möglich sein könnte: Erweiterung der physikalischen Grundausbildung auf die Kernphysik unter Beschränkung auf die für den Ingenieur *wirklich notwendigen Bereiche* und Vertiefung dieser Kenntnisse in den speziellen Ingenieurfächern.

Einführende Vortragsreihen vor Ingenieurvereinigungen haben ebenso wie die Vorlesungen und Übungen selbst gezeigt, auf welche Schwierigkeiten es stößt, die Energiegewinnung aus der Kernspaltung deutschen Ingenieuren und Studierenden des Maschinenbaues verständlich zu machen. Es gilt ferner, die Scheu vor den dem Ingenieur so sehr ungewohnten kernphysikalischen Begriffen, an die unsere Physiker seit Jahrzehnten gewöhnt sind, überwinden zu helfen, ihm zu zeigen, daß

auch sie und ihre gegenseitigen Verknüpfungen lernbar sind wie jede andere, bereits seit langem gewohnte physikalische Grundlage der Technik. Aus diesen Erfahrungen heraus schien es dem Verfasser richtiger, ein deutsches Buch für den Ingenieur und Studierenden hierüber abzufassen, anstatt eine der vorzüglichen amerikanischen „Einführungen“ [1, 2] zu übersetzen. Es liegt in der Natur eines solchen Unternehmens, daß es sich nur auf die vorhandene angelsächsische Literatur und auf die aus Studienaufenthalten in den USA und England gewonnenen Eindrücke und Erfahrungen stützen kann. Zweifellos werden deutschsprachige Darstellungen der Kerntechnik in späteren Jahren vollständiger und besser sein können, sobald wir über *eigene Erfahrungen* auf diesem Gebiet verfügen werden. Möge daher dieses Buch trotz mancher Mängel den deutschen Ingenieuren auf dem vielfältig verschlungenen und dornenvollen Weg, den sie sich in dieses neue Gebiet der Technik und einer kommenden Industrie zu bahnen haben, ein bescheidener erster Helfer sein. Es hätte seinen Zweck erfüllt, wenn es ihnen beim Einarbeiten in die Spezialliteratur nützlich wäre.

Schließlich habe ich allen denen zu danken, die mir bei dieser Arbeit geholfen haben. Mein Dank gilt in erster Linie Herrn Dipl.-Ing. G. MARDUS, der unter großem Zeitopfer das Manuskript durchgesehen und viele wertvolle Vorschläge für Verbesserungen und Änderungen gemacht hat; ferner Frau JOHANNA HOFFMANN, die mit großer Geduld trotz vieler Änderungen das Manuskript geschrieben hat. Nicht zuletzt aber danke ich meiner Frau, die durch aufopferndes Verständnis die Durchführung der Arbeit neben meiner beruflichen Beanspruchung ermöglicht und die Hauptlast des Korrekturlesens getragen hat.

Der Verlag hat, wie stets, auch dieses Buch mit Sorgfalt betreut. Hierfür und für die gute Ausstattung sei ihm besonders gedankt.

Berlin-Lichterfelde, März 1958

W. Mialki

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	1
II. Das verfahrenstechnische Grundfließbild der Kernspalt- prozesse	5
1. Allgemeine Übersicht über die Grundverfahren	6
2. Das schematische Fließbild nach DIN 7091	8
3. Der Kernspaltprozeß als Wärmequelle	14
4. Die Grundverfahren der Kernenergiegewinnung	17
5. Das Fließbild der Kernenergiegewinnung	25
III. Physikalische Grundzüge	27
6. Die Atomhülle	30
7. Der Atomkern	41
8. Radioaktivität	59
9. Kernspaltung	80
IV. Reaktortechnik	89
10. Die Kettenreaktion	92
a) Neutronenreaktionen	94
b) Neutronendiffusion	112
c) Diffusionsgleichung	122
d) Neutronenbremsung	129
11. Bedingungen für den Ablauf einer Kettenreaktion im stationären Zustand	142
a) Vierfaktorenformel	142
b) Schneller Spaltfaktor ϵ	146
c) Resonanzfluchtfaktor p	149
d) Thermische Ausnutzung f und Störfaktor F	152
e) Thermische Spaltungsausbeute η	154
12. Der Thermische Reaktor	155
a) Typen thermischer Reaktoren	157
b) Kritische Größe des homogenen Reaktors	164
c) Thermischer Reaktor mit Reflektor	177
d) Massenverhältnis von Spaltstoff und Moderator	184
e) Heterogener Reaktor	187
13. Grundzüge der Reaktorregelung	197
14. Grundzüge des Brutverfahrens	211
V. Werkstofftechnik	219
15. Kernphysikalische Anforderungen an die Bau- und Betriebsstoffe für Reaktoren	221
16. Spaltstoffe	225

	Seite
17. Stoffe für Moderatoren, Reflektoren, Regel- und Sicherheits- elemente	226
18. Stoffe für den Strahlenschutz	229
19. Kühlmittel	231
VI. Strahlenschutztechnik	235
20. Maßeinheiten für radioaktive Strahlung und deren biologischer Wirkung	236
21. Wechselwirkung von Strahlung und Materie	245
22. Reaktorabschirmung	258
VII. Meß- und Regelungstechnik	260
23. Teilchenzählung	260
a) Proportionalzähler	262
b) Auslösezähler	265
c) Szintillationszähler	274
24. Neutronenmessung	279
25. Anfahren und Regeln von Reaktoren	283
a) Reaktivitätsreserven	284
b) Regelorgane	293
c) Anfahren von Reaktoren	300
26. Reaktor-Simulatoren	310
VIII. Isotopentechnik	314
27. Radioaktive Isotope und ihre Herstellung	315
28. Industrielle Anwendung von Radioisotopen	320
IX. Wärmeübertragung	329
29. Allgemeine Gesichtspunkte	331
30. Grundzüge der Wärmeübertragung im Reaktor	334
a) Temperaturverteilung	334
b) Wärmeübergang	353
31. Wärmeübertragung durch flüssige Metalle	358
X. Spaltstoffherstellung und -aufbereitung	372
32. Gewinnung von Uran	373
33. Isotopentrennung	383
34. Herstellung von Spaltstoffelementen	396
35. Spaltstofflösungen	404
36. Aufbereitung von Spaltstoffen	409
37. Beseitigung der radioaktiven Abfälle	415
Anhang 1. Tabellen (1—14): Maßeinheiten und deren Umrechnung, Stoff- werte, Formeln und Formelzeichen	419
Anhang 2. Englisch-deutsches Fachwörterverzeichnis	449
Anhang 3. Übersicht über die wichtigsten Reaktortypen	457
Literaturverzeichnis	462
Namenverzeichnis	465
Sachverzeichnis	465