

Vorwort

Zentrale Aufgabe der **Hochspannungstechnik** ist die *technologische Beherrschung hoher elektrischer Feldstärken und Spannungen*. Ihre Wirkungen können in der Natur (oder auch in einem Hochspannungslabor) eindrucksvoll als „Blitz und Donner“ wahrgenommen werden, wenn das „Isoliersystem aus Luft“ versagt. Für diese Naturgewalten und ihre Gefahren waren einmal historische Autoritäten wie Zeus, Jupiter oder Wotan zuständig. Heute aber garantieren die Ingenieurinnen und Ingenieure der Hochspannungstechnik die sichere und zuverlässige Funktion aller elektrischen Isoliersysteme. Sie ermöglichen dadurch erst alle anderen technischen Anwendungen der Elektrizität. Hochspannungstechnik ist deshalb sowohl eine *Schlüsseltechnologie* für ein weites Spektrum technischer Anwendungen, die aus der modernen Gesellschaft nicht fortzudenken sind, als auch eine *Querschnittstechnologie*, die verschiedene wissenschaftliche Gebiete zusammenführt. Die Hochspannungstechnik ist ein faszinierendes, herausforderndes, interdisziplinäres und vielseitiges Aufgabengebiet, das immer auch Voraussetzung und unverzichtbarer Begleiter des technischen Fortschritts sein wird.

Hohe Spannungen ermöglichen die *Erzeugung, Übertragung und Verteilung* elektrischer Energie mit verhältnismäßig geringen Strömen und Verlusten. Die Minimierung der Verluste schont die Ressourcen und verringert die Emissionen, sie erlaubt somit eine sichere, wirtschaftliche und umweltfreundliche Stromversorgung. Außerdem sind Hoch- und Höchstspannungsnetze mit *Wechsel- und mit Gleichspannungen* Voraussetzung für die Erschließung abgelegener Ressourcen, für den weiträumigen Belastungsausgleich und für einen überregionalen Energiemarkt. Darüber hinaus lässt sich eine große Vielfalt hochspannungstechnischer *industrieller Anwendungen* nennen, wie z.B. Röntgengeräte, Laser, Hochleistungslichtquellen, Nierensteinzertrümmerer, Stoßwellengeneratoren, Fragmentierungsanlagen, Beschleuniger, Senderöhren, Kopiergeräte, Elektrofilter oder Beschichtungs- und Lackieranlagen. Probleme der Hochspannungstechnik sind auch in der Leistungselektronik und in der Elektromobilität, auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit, in der physikalischen und technologischen Forschung oder beim Einsatz der Hochtemperatur-Supraleitung zu bewältigen. Allen Anwendungen ist gemein, dass man einerseits versucht, **hohe elektrische Feldstärken** zu wählen, um Abmessungen, Gewicht, Materialeinsatz, Kosten, Verluste und Umweltbelastungen so gering wie möglich zu halten. Andererseits muss

die **elektrische Feldstärke** immer *niedriger* bleiben als
die **elektrische Festigkeit** der Isoliermaterialien,

so dass ein zerstörender Durchschlag sicher ausgeschlossen werden kann. In diesem Spannungsfeld besteht die Aufgabe der Ingenieurinnen und Ingenieure meist darin, wirtschaftlich und technisch optimale *Systemlösungen* zu verwirklichen. Die Hochspannungstechniker sollten hierfür in erster Linie vielseitig und praxisorientiert sein sowie einen theoretisch gut fundierten Überblick besitzen.

Das **Konzept des Buches** ist eine systematische, zusammenhängende und umfassende Darstellung
von *Grundlagen, Technologien und Anwendungen*.

Zu diesem Zweck wird die Hochspannungstechnik in sechs Themenbereiche gegliedert:

- **Elektrische Beanspruchungen** durch Felder und Wellen (Kapitel 2),
- **Elektrische Festigkeiten** von Gasen, Flüssigkeiten und festen Stoffen (Kapitel 3),
- **Dielektrische Systemeigenschaften** von Isolierstoffen (Kapitel 4),
- **Isolierwerkstoffe** und ihre Technologie (Kapitel 5),
- **Prüfen, Messen, Diagnose** (Kapitel 6) und
- **typische Isoliersysteme** für verschiedene Beanspruchungsarten (Kapitel 7).

Schon in den grundlegenden Kapiteln 2, 3 und 4 sind praktische Beispiele, Anwendungen, Anmerkungen und Aufgaben enthalten. Bei der Beschreibung von Technologien und Anwendungen in den Kapiteln 5, 6 und 7 wird immer auch der Bezug zu den entsprechenden Grundlagen hergestellt. Besonderer Wert wird dabei auf die Darstellung von wissenschaftlichen und praktischen *Zusammenhängen* sowie auf *Anschaulichkeit in Wort und Bild* gelegt. Umfangreiche *Sachwort- und Literaturverzeichnisse* sollen dem Leser den Zugriff auf spezielle Fragen und auf weiterführende Quellen erleichtern.

Das Buch ist deshalb sowohl für die grundlegende Erarbeitung der Hochspannungstechnik in der Vorlesung oder im Selbststudium als auch für den tiefergehenden Zugang zu speziellen Teilgebieten und spezieller technischer Fachliteratur geeignet. Es soll den Leser als *Arbeitsbuch im Studium und im Beruf* begleiten.

Die bisherigen Auflagen der „Hochspannungstechnik“ werden seit mehr als 20 Jahren als deutsches Standardwerk in großer Breite von Studierenden, Ingenieuren, Doktoranden, Wissenschaftlern, Hochschulen, Universitäten, Herstellern, Dienstleistern und Stromversorgern genutzt. Die erste Auflage ist 1996 u.a. aus den Vorlesungen des Autors an der Hochschule Würzburg-Schweinfurt entstanden. Die Neuauflagen von 2004, 2009 und 2017 wurden jeweils durch ein starkes Interesse in der Leserschaft angeregt. In jedem Falle erfolgte dabei eine vollständige Überarbeitung, die Anpassung an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik sowie eine starke Erweiterung des Anwendungsbezugs unter Berücksichtigung der neuen und innovativen Themen.

Deshalb bietet auch die vorliegende **vierte Auflage** wiederum neben zahlreichen Verbesserungen im Detail auch viele Erweiterungen und Neuerungen, die den großen *aktuellen Herausforderungen* in der Hochspannungstechnik geschuldet sind. Beispielsweise werden Höchstspannungsnetze für Gleich- und Wechselspannungen von 1.000 kV und mehr, Gleichspannungskabelstrecken von mehr als 500 kV, Schaltanlagen mit alternativen Isoliergasen und Transformatoren mit alternativen Isolierflüssigkeiten realisiert. In Kap. 7 wurden deshalb die Abschnitte über Isoliersysteme für die *Hochspannungsgleichstromübertragung* (HGÜ) grundlegend überarbeitet und stark erweitert, insbesondere bzgl. Beanspruchung, Festigkeit und Design bei Gleichspannung sowie bzgl. der Transformatoren, Durchführungen, Kabel und Kabelgarnituren für die HGÜ. Dies wird in Kap. 3 und 6 ergänzt durch Abschnitte zur Entstehung und Bewertung von *Teilentladungen* bei Gleichspannung. Weitere aktuelle Themen werden in Kap. 5 auch mit der Einführung sog. „*alternativer*“ *klimafreundlicher Isoliergase* anstelle von SF₆ sowie sog. „*alternativer*“ *umweltfreundlicher Isolierflüssigkeiten* anstelle von Mineralöl aufgegriffen. Eine Revision haben auch die Abschnitte über das *Leitungsverhalten* und das *dielektrische Verhalten* von festen und flüssigen Isolierstoffen (Kap. 4), über das *Schwingungsverhalten* bei Stoßspannungsprüfungen (Kap. 6) und über die *Prüfung von Transformatoren* (Kap. 7) erfahren. Schließlich wird in Kap. 3 auf Anregung renommierter Fachkollegen vorgeschlagen, den in der Hochspannungstechnik seit langem üblichen Begriff der „*Elektronegativität*“ durch den Begriff der „*Elektronenaffinität*“ zu ersetzen.

An vielen Stellen wird außerdem auf neue *Normen und Standards* Bezug genommen. Dies ist allerdings nur auszugsweise, beispielhaft und nach dem heutigen, aber vergänglichen Stand des Normenwesens möglich. Der Anwender muss letztlich selbst die jeweils gültigen und aktuellen Normen und Standards direkt zu Rate ziehen. Natürlich erfordert der begrenzte Umfang des Buches auch eine starke Verkürzung vieler Inhalte und einen sehr subjektiven Kompromiss zwischen *Vollständigkeit* und *Tiefgang*. Ich bitte deshalb alle Fachleute um Nachsicht, die ihr Spezialgebiet nur unvollkommen behandelt finden. Mit der Bitte um Kritik und Anregungen, die immer willkommen sind, übergebe ich das Buch dem Leser.

Meine persönliche Empfehlung wäre es nun, auch die vierte Auflage "*mit einem Stift zu lesen*", d.h. Beispiele, Aufgaben und Feldbilder durch eigene Rechnung nachzuvollziehen und interessierende Themen durch schriftliche Randnotizen und Auszüge zu vertiefen. Nützliche Begleiter könnten dabei auch eine mathematische Formelsammlung, sowie Fachbücher zur Experimentalphysik, zur Einführung in die Elektrotechnik oder zu den Materialwissenschaften sein.

Zahlreiche **Fachkollegen und Freunde** haben mir bei der Erstellung der ersten drei Auflagen sehr geholfen. Nachdem ich ihnen meinen Dank bereits in den vorherigen Auflagen aussprechen konnte, möchte ich hier nun allen direkten und indirekten Unterstützern, ohne die die vierte Auflage der Hochspannungstechnik in dieser Form nicht zustande gekommen wäre, ganz herzlich danken.

Einen intensiven wissenschaftlichen Diskurs durfte ich mit vielen Kollegen aus Hochschulen und Universitäten führen, für den ich hier den Professoren Dr. R. Bärsch, Dr. F. Berger, Dr. G. Chen, Dr. Ch. Frank, Dr. S. Grossmann, Dr. S. Gubanski, Dr. V. Hinrichsen, Dr. F. Jenau, Dr. M. Koch, Dr. J. Kindersberger, Dr. M. Liebschner, Dr. H. Okubo, Dr. R. Patsch, Dr. R. Plath, Dr. K. Rethmeier, Dr. M. Rossner, Dr. S. Tenbohlen, Dr. W. S. Zaengl (†) und Dr. M.H. Zink besonders danken möchte.

Mein herzlicher Dank gilt auch Dr. I. Atanasova-Höhlen, Dr. K. Backhaus, S. Bhumiwat, M. Chmielewski, Dr. W. Exner, S. Eyring, Dr. J. Fabian, Dr. R. Färber, R. Fritsche, Dr. J. Fuhr, Dr. W. Hauschild, A. Hopf, M. Hörmann, Dr. Ch. Hurm, Dr. S. Jaufer, Dr. U. Kaltenborn, Ch. Krause, Dr. M. Krüger, N. Kurda, A. Langens, Dr. C. Leu, L. Lundgaard, M. Pegelau, Dr. R. Pietsch, Dr. U. Piovan, B. Preidecker, Dr. U. Prucker, K. Rädlinger, M. Rösner, J. Roßmann, Dr. J. Schiessling, B. Schlittler, Ph. Schmitt, T. Schnitzer, J. Seiler, B. Spatta, Dr. J. Speck, Th. Steiner, J. Titze und E. Zerr für zahlreiche Anregungen und Fachdiskussionen. Dankbar bin ich außerdem den Unternehmen, die durch Bildmaterial und fachlichen Austausch ebenfalls sehr zum Gelingen aller Auflagen maßgeblich beigetragen haben.

Die Hochschule Würzburg-Schweinfurt (FHWS) und die Fakultät Elektrotechnik haben durch Verankerung der Hochspannungstechnik in Lehre und Forschung eine wichtige wissenschaftliche Basis für diese Publikation gebildet. Und natürlich waren meine Studentinnen und Studenten durch ihre Fragen, Beiträge und Arbeiten eine große Hilfe. Wichtige wissenschaftliche und fachliche Unterstützung habe ich auch von den ehemaligen und gegenwärtigen Mitarbeiterinnen bzw. Mitarbeitern M. Fell, S. Harrer, B. Hochbrückner, F. Hüllmandel, F. Klauer, H.-P. Öftering, A. Reumann, Dr. F. Schober, S. Sturm, F. Swobodnik und I. Wirth erhalten. Auch hierfür bin ich sehr dankbar.

Schließlich richtet sich ein besonderer Dank an Frau S. Bromby, an Herrn Th. Lehnert und an den Springer-Verlag für die Neuauflage des Buches, für die Geduld und das Verständnis und für die sehr gute Zusammenarbeit.

Nicht zuletzt möchte ich auch meine Familie in meinen Dank einschließen. Meine Söhne *Florian* und *Sebastian* konnten mir wichtige Tipps aus ihrer studentischen Sicht geben. Auch meine Eltern *Ursula* und *Johannes* haben durch ihre stetige Ermutigung und permanente Unterstützung sehr zur Entstehung des Werkes beigetragen. Die Verwirklichung des Neuauflage verdanke ich in erster Linie aber wiederum dem großen Verständnis, dem starken Rückhalt, und der großen Geduld meiner Frau *Christiane*.

Schweinfurt und Hammelburg, im April 2017

Andreas Küchler

Hochspannungstechnik

Grundlagen - Technologie - Anwendungen

Küchler, A.

2017, XXIII, 659 S. 489 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-662-54699-4