

Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau

Dubbel

Taschenbuch für den Maschinenbau

24., aktualisierte und erweiterte Auflage

Herausgegeben von

Karl-Heinrich Grote und Jörg Feldhusen

Mit mehr als 3000 Abbildungen und Tabellen

 Springer Vieweg

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote
Institut für Maschinenkonstruktion
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Magdeburg, Deutschland

Prof. Dr. Ing. Jörg Feldhusen
Institut für Allg. Konstruktionstechnik des
Maschinenbaus IKT
RWTH Aachen
Aachen, Deutschland

ISBN 978-3-642-38890-3
DOI 10.1007/978-3-642-38891-0

ISBN 978-3-642-38891-0 (eBook)

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

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1914, 1929, 1935, 1940, 1941, 1943, 1953, 1961, 1970, 1974, 1981, 1983, 1986, 1987, 1990, 1995, 1997, 2001, 2005, 2007, 2011, 2014

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

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

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Mitarbeiter der 24. Auflage

Anderl, R., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt
Bähr, R., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Becker, F. H., Dipl.-Ing., becker energy consulting, Wendelstein
Berger, C., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt
Bohnet, M., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig
Böllinghaus, T., Prof. Dr.-Ing., BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
Bongards, M., Prof. Dr.-Ing., Fachhochschule Köln, Gummersbach
Bös, J., Technische Universität Darmstadt
Botterweck, H., Fachhochschule Lübeck
Brecher, C., Prof. Dr.-Ing., RWTH Aachen
Bruns, R., Prof. Dr.-Ing., Helmut-Schmidt-Universität Hamburg
Büttgenbach, S., Prof. Dr. rer. nat., Technische Universität Braunschweig
Colani, L., Prof., Dr.-Ing. J. Postnikov, Magdeburg
Corves, B., Prof. Dr.-Ing., RWTH Aachen
Czichos, H., Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c., BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
Daum, W., Prof. Dr.-Ing., BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
Denkena, B., Prof. Dr.-Ing., Leibniz Universität Hannover
Deters, L., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Dietz †, P., Clausthal-Zellerfeld
Dietzel, A., Prof. Dr. rer. nat., Technische Universität Braunschweig
Dilger, K., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig
Dorn, L., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Epple, A., Aachen
Feldhusen, J., Prof. Dr. Ing., RWTH Aachen
Feldmann, D. G., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Hamburg-Harburg
Füssel, U., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Dresden
Gevatter †, H.-J., Heidelberg
Gier, J., Dr., MTU Aero Engines AG, München
Göhlich, D., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Göhner, P., Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c., Universität Stuttgart
Göllner, J., Magdeburg
Grote, K.-H., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Grünhaupt, U., Prof. Dr.-Ing., Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Günthner, W. A., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität München, Garching
Gust, P., Prof. Dr.-Ing., Bergische Universität Wuppertal
Haarstrick, A., Prof. Dr. rer. nat., UAB Umweltprozesse, Braunschweig
Habig, K.-H., Prof. Dr.-Ing., BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
Hainbach, C., Dr.-Ing., Institut für Kälte-, Klima- und Energietechnik (IKET) GmbH, Essen
Hanke, H., Dr.-Ing., Olympus Surgical Technologies Europe, Hamburg
Hanselka, H., Prof. Dr.-Ing., Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Hecht, M., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Hempel, D. C., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig
Herold, S., Groß-Umstadt
Hofmann, W., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Dresden
Höhn, B.-R., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität München, Garching
Hölscher, U. M., Fachhochschule Münster
Hölz †, H., Berlin
Hompel, M. ten, Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Dortmund
Kaßner, M., Braunschweig
Katterfeld, A., Jun.-Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Keilig, T., Stuttgart
Kerle, H., Braunschweig

Kessler, F., Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont., Montanuniversität Leoben
Kleemann, U., Prof. Dr.-Ing., Faiveley Transport Witten GmbH
Klein, S., Prof. Dr.-Ing., Fachhochschule Lübeck
Kloos, K.-H., Prof. Dr.-Ing., Darmstadt
Kraft, M., TU Berlin
Krämer, E., Prof. Dipl.-Ing., Alstom Switzerland AG, Baden
Kranzmann, A., Berlin
Krause, F., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Krömer, M., Aachen
Krüger, J., Berlin
Krull, R., Prof. Dr. rer. nat., Technische Universität Braunschweig
Kübler, M., Dr.-Ing., Untergruppenbach
Kunze, G., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Dresden
Kwade, A., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig
Lackmann, J., Prof. Dr.-Ing., Beuth Hochschule für Technik, Berlin
Lehr, H., Prof. Dr. rer. nat., Technische Universität Berlin
Liebich, R., Berlin
Liebich, R., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Liebich, R., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Liewald, M., Prof. Dr.-Ing., Universität Stuttgart
Lohrengel, A., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Clausthal-Zellerfeld
Lombardi, P. A., Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Lüder, A., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Ludwig, T., Gummersbach
Mailach, R., Prof. Dr.-Ing., Ruhr-Universität Bochum
Majschak, J.-P., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Dresden
Manigel, J., Fachhochschule Lübeck
Marquardt, H.-G., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Dresden
Mersmann, A., Prof. Dr.-Ing., München
Mertens, H., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Mollenhauer, K., Prof. Dr., Berlin
Mörl, L., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Motz, H. D., Prof. Dr. rer. sec., Bergische Universität Wuppertal
Müller, A. K., Dr.-Ing., Nordheim
Nerheim, L. M., Stuttgart
Nordmann, R., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt
Oechsner, M., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt
Orloff, M., Prof. Dr. Dr. Sc. techn., Academy of Modern TRIZ, Berlin
Overmeyer, L., Prof. Dr.-Ing., Leibniz Universität Hannover, Garbsen
Polach, O., Prof. Dr.-Ing. habil., Technische Universität Berlin
Poll, G., Prof. Dr.-Ing., Leibniz Universität Hannover
Poppy, W., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Pritschow, G., Prof. Dr.-Ing., Universität Stuttgart
Pyttel, B., Darmstadt
Reinhardt, H., Köln
Ruge, P., Prof. Dr.-Ing. habil., Technische Universität Dresden
Ryschka, M., Fachhochschule Lübeck
Schädlich, S., Dr.-Ing., Institut für Energie-, Kälte- und Klimatechnik Gladbeck GmbH
(InEKK), Raesfeld
Schindler, V., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Schlemmer-Kelling, U., Dr.-Ing., FEV Motorentechnik GmbH, Aachen
Schmidt, S., Aachen
Schmidt, T., Prof. Dr.-Ing. habil., Technische Universität Dresden
Scholl, S., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig
Scholten, J., Prof. Dr.-Ing., Ruhr-Universität Bochum
Schouwink, P., Olympus Surgical Technologies Europe, Hamburg
Schürmann, H., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt
Schwedes, J., Berlin
Seidel-Morgenstern, A., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Seliger, G., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Seume, J., Prof. Dr.-Ing., Leibniz Universität Hannover

Specht, E., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Stephan, K., Prof. Dr.-Ing., Universität Stuttgart
Stephan, P., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt
Stiebler, M., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Stötzer, M., Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Stricker, H., Dr.-Ing., MAN Diesel & Turbo SE, Berlin
Styczynski, Z. A., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Thamsen, P. U., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Thomas, K., Braunschweig
Tönshoff, H. K., Prof. Dr.-Ing., Leibniz Universität Hannover
Troßmann, T., Darmstadt
Tschöke, H., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Uhlmann, E., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin
Verl, A., Prof. Dr.-Ing., Universität Stuttgart
Villwock, J., Prof. Dr.-Ing., Beuth Hochschule für Technik, Berlin
Vogel-Heuser, B., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität München, Garching bei München
Voit-Nitschmann, R., Prof. Dipl.-Ing., Universität Stuttgart
Wachtendorf, V., Berlin
Wagner, G., Prof. Dr.-Ing., Ruhr-Universität Bochum
Wagner, N., Dr.-Ing., INTES GmbH, Stuttgart
Wagner, S., Universität Stuttgart
Weck, M., Prof. Dr.-Ing., RWTH Aachen
Wehking, K.-H., Prof. Dr.-Ing., Universität Stuttgart
Westkämper, E., Prof. Dr.-Ing., Universität Stuttgart
Widder, T., Braunschweig
Wohlfahrt, H., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig
Woydt, M., Dr.-Ing., BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Wegen der durch die Hochschulgesetzgebung der Bundesländer vorliegenden unterschiedlichen Regelungen zur Titelgebung werden die Professorentitel der Autoren undifferenziert angegeben.

Die Mitarbeiter von zurückliegenden Auflagen des DUBBEL (ab der 15. Auflage) sind auf den Folgeseiten genannt. Damit werden diese Autoren gewürdigt und deren Beiträge, die für die vorliegende und für vorherige Auflagen kontinuierlich auch durch neue Autoren weiterentwickelt wurden.

Da die kontinuierlich weiterhin erfolgenden Ehrungen (Dr.-Ing. E.h., Dr. h.c., Prof. E.h.) der Autorinnen und Autoren der jetzigen und der bisherigen Auflagen des DUBBEL den Herausgebern nicht umfassend bekannt sind bzw. angezeigt werden, sind alle verliehenen Ehrentitel hier einheitlich weggelassen.

Weitere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Autoren sind im Vorspann zu den entsprechenden Kapiteln namentlich genannt. Des Weiteren wird die den Herausgebern bzw. dem Verlag bekannte Wirkungsstätte (Ort) der Autoren genannt.

Mitarbeiter der 16. bis 23. Auflage

Mitarbeiter	mitgearbeitet bei Auflage
Anderl, R., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Darmstadt	21 22 23
Bähr, R., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	23
Becker, F.H., Dipl.-Ing., Wendelstein	23
Behr, B., Dipl.-Ing., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	17 18
Beitz, W., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16 17 18
Berger, C., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Darmstadt	19 20 21 22 23
Blaich, M., Dipl.-Ing., Stuttgart	16
Bohnet, M., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Braunschweig	17 18 19 20 22 23
Böllinghaus, T., Prof. Dr.-Ing., BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin	23
Bongards, M., Prof. Dr.-Ing., Fachhochschule Köln	23
Bothe, A., Dr., Prof., Fachhochschule Gelsenkirchen	19 20
Böttcher, C., Dipl.-Ing., Brandi Ingenieure GmbH bzw. IWS Ing. Consult, Köln	16 17 18 19 20 21
Brecher, C., Dr.-Ing., Prof., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	22 23
Bretthauer, K., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Clausthal	16
Brockmann, H.-J., Dr.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin	16
Bruns, R., Dr.-Ing., Prof., Universität der Bundeswehr, Hamburg	21 22 23
Burr, A., Dr.-Ing., Prof., Hochschule Heilbronn	17 18 19 20 21 22
Busse, L., Dr.-Ing., ASEA Brown Boveri, Mannheim	17 18 19
Büttgenbach, S., Dr. rer. nat., Prof., Technische Universität Braunschweig	22 23
Colani, L., Prof., Mailand	23
Corves, B., Dr.-Ing., Prof., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	22 23
Czichos, H., Dr.-Ing., Prof., Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin	17 18 19 20 21 22 23
Daum, W., Dr.-Ing., Prof., Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin	21 22 23
Dannenmann, E., Dipl.-Ing., Universität Stuttgart	16 17 18 19
Denkena, B., Dr.-Ing., Prof., Leibniz Universität Hannover	21 22 23
Deters, L., Dr.-Ing., Prof., Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg	20 21 22 23
Dibelius, G., Dr.-Ing., Prof., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	16 17 18 19 20 21
Diehl, H., Dr.-Ing., Hochtemperatur-Reaktorbau GmbH, Mannheim	16
Dietz, P., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Clausthal	19 20 21 22 23
Dilger, K., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig	23
Dorn, L., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16 17 18 19 20 21 22 23
Düssler, W., Obering., Ratingen	16
Ebert, K.-A., Dr.-Ing., Hattersheim	16 17 18
Ehrlenspiel, K., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität München	16 17 18
Engel, G., Dr.-Ing., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	16
Federn, K., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16
Feldhusen, J., Dr.-Ing., Prof., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	21 22
Feldmann, D.G., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Hamburg-Harburg	19 20 21 22 23
Fiala, E., Dr. techn., Prof., Volkswagenwerk AG, Wolfsburg	16
Fischer, C., Dipl.-Ing., Vattenfall, Berlin	20 21 22
Füssel, U., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Dresden	23
Flemming, M., Dr.-Ing., Prof., ETH Zürich, Schweiz	19 20 21
Föllner, D., Dr.-Ing., Prof., Battelle-Institut e.V., Frankfurt a.M.	16 17 18
Gašparovic, N., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16 17 18
Gast, Th., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16
Geiger, M., Dr.-Ing., Prof., Universität Erlangen-Nürnberg	16
Geiger, R., Dr.-Ing., Preß- und Stanzwerk Eschen, Liechtenstein	16
Gelbe, H., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16 17 18 19 20 21 22
Gevatter, H.-J., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	17 18 19 20 21 22 23
Gold, P.W., Dr.-Ing., Prof., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	19 20 21 22

Mitarbeiter	mitgearbeitet bei Auflage						
Goldhahn, H., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Dresden				20	21	22	
Grabowski, H., Dr.-Ing., Prof., Universität Karlsruhe	16	17	18	19	20	21	22
Grote, K.-H., Dr.-Ing., Prof., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg				19	20	21	22 23
Grünhaupt, U., Dr.-Ing., Prof., Hochschule Karlsruhe					21	22	23
Gugau, M., Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt				20	21	22	
Günthner, W.A., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität München					21	22	23
Haarstrick, A., Prof. Dr. rer. nat., UAB Umweltprozesse, Braunschweig							23
Habig, K.-H., Dr.-Ing., Prof., Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin		17	18	19	20	21	22 23
Hager, M., Dr.-Ing., Prof., Universität Hannover		17	18	19	20	21	
Hain, K., Dr.-Ing. E.h., Braunschweig	16						
Hainbach, C., Dr.-Ing., Institut für Kälte-, Klima- und Energietechnik (IKET) GmbH, Essen					21	22	23
Hanselka, H., Prof. Dr.-Ing., Karlsruher Institut für Technologie (KIT)							23
Harsch, G., Dipl.-Ing., Prof., Hochschule Heilbronn	17	18	19	20	21	22	
Hecht, M., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin					20	21	22 23
Hempel, D.C., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Braunschweig					20	21	22 23
Herfurth, K., Dr.-Ing., Prof., TU Chemnitz und Verein Deutscher Gießereifachleute (VDG)	17	18	19	20	21	22	
Hofmann, W., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Dresden							22 23
Höhn, B.-R., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität München		18	19	20	21	22	23
Hözl, H., Dipl.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin			19	20	21	22	23
ten Hompel, M., Dr.-Ing., Prof., Universität Dortmund							22 23
Höner, K.E., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16						
Jäger, B., Dr.-Ing., Prof., Kraftwerk Union bzw. Siemens AG, Berlin	16	17	18				
Jarecki, U., Dipl.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin	16	17	18				
Jünemann, R., Dr.-Ing., Prof., Universität Dortmund	16	17	18				
Katterfeld, A., Jun.-Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg							23
Keilig, T., Dr.-Ing., Jun.-Prof., Universität Stuttgart							23
Kerle, H., Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig	17	18	19	20	21	22	23
Kessler, F., Dr.-Ing., Prof., Montanuniversität Leoben							22 23
Kiesewetter, L., Dr.-Ing., Prof., Brandenburgische Technische Universität Cottbus	17	18	19	20	21	22	
Klapp, E., Dr.-Ing., Prof., Universität Erlangen-Nürnberg	16						
Kleemann, U., Prof. Dr.-Ing., Faiveley Transport Witten GmbH, Witten							23
Klepper, H., Dr.-Ing., ASEA Brown Boveri, Mannheim		17	18				
Kloos, K.H., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Darmstadt	16	17	18				23
Koch, E., Dipl.-Ing., BBC, Mannheim	16						
Krämer, E., Dipl.-Ing., ABB Kraftwerke AG, Baden/Schweiz				20	21	22	23
Krause, F., Dr.-Ing., Prof., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg					21	22	23
Krull, R., Prof. Dr. rer. nat., Technische Universität Braunschweig							23
Kunze, G., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Dresden						22	23
Küttner, K.-H., Dipl.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin	16	17	18				
Kwade, A., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig							23
Lackmann, J., Dr.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin			19	20	21	22	23
Ladwig, J., Dipl.-Ing., Universität Stuttgart		17	18				
Lambrecht, D., Dr.-Ing., Universität Erlangen-Nürnberg	16						
Lange, K., Dr.-Ing., Prof., Universität Stuttgart	16						
Lehr, H., Dr. rer. nat., Prof., Technische Universität Berlin			19	20	21	22	23
Lenz, H., Dipl.-Ing., Köln	16						
Lenz, W., Dr.-Ing., Daisendorf	16						
Liebich, R., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin							23
Liedtke, G., Ing., Borsig GmbH, Berlin	16						
Lüdtke, K., Dipl.-Ing., MAN Turbo AG, Oberhausen/Berlin	17	18	19	20	21	22	
Majschak, J.-P., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Dresden							22 23
Mareske, A., Dr.-Ing., Vattenfall, Berlin	17	18	19	20	21	22	
Marquardt, H.-G., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Dresden							22 23
Mauer, G., Dipl.-Ing., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	17	18					
Mersmann, A., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität München	17	18	19	20	21	22	23
Mertens, H., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	17	18	19	20	21	22	23
Mollenhauer, K., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16	17	18	19	20	21	22 23
Mörl, L., Dr.-Ing., Prof., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg						21	22 23

Mitarbeiter	mitgearbeitet bei Auflage						
Motz, H.D., Dr. rer. sec., Dipl.-Ing., Prof., Bergische Universität Wuppertal	20	21	22	23			
Müller, H.W., Dr.-Ing., Prof., Technische Hochschule Darmstadt	16	17	18				
Nieth, F., Dr.-Ing., Technische Hochschule Darmstadt	16						
Nordmann, R., Dr.-Ing., Prof., Technische Hochschule Darmstadt	17	18	19	20	21	22	23
Oehmen, H., Dr.-Ing., Prof., Universität Hannover	16						
Opitz, W., Dr. techn., Graz	16						
Orloff, M., Dr. Dr. sc. techn., Prof., Academy of Modern TRIZ, Berlin						22	23
Overmeyer, L., Dr.-Ing., Prof., Universität Hannover						22	23
Pahl, G., Dr.-Ing., Prof., Technische Hochschule Darmstadt	16	17	18	19	20	21	22
Peeken, H., Dr.-Ing., Prof., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	16	17	18	19			
Polach, O., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin							23
Poll, G., Dr.-Ing., Prof., Universität Hannover		20	21	22	23		
Poppy, W., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	17	18					
Poppy, W., Dr.-Ing., Prof., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg		19	20	21	22	23	
Pritschow, G., Dr.-Ing., Prof., Universität Stuttgart	17	18	19	20	21	22	23
Pucher, H., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin		19	20	21	22		
Rákóczy, T., Dr.-Ing., Brandi-IGH Ingenieure GmbH, Köln	17	18	19	20	21	22	
Reinhardt, H., Dr.-Ing., Prof., Fachhochschule Köln		20	21	22	23		
Reuter, W., Dipl.-Ing., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	17	18	19				
Röper, R., Dr.-Ing., Prof., Universität Dortmund	16	17	18	19			
Ruge, J., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Braunschweig	16	17	18				
Ruge, P., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Dresden		20	21	22	23		
Rulla, P., Dipl.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin	16						
Rumpel, G., Dr.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin	16	17	18				
Schädlich, S., Dr.-Ing., Informationszentrum Hochschulgruppe Ruhr e. V., Essen						22	23
Schindler, V., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Berlin							23
Schmidt, T., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Dresden							23
Scholl, S., Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig							23
Scholten, J., Dr.-Ing., Jun. Prof., Ruhr-Universität Bochum						22	23
Schürmann, H., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Darmstadt						22	23
Schriefer, H., Dipl.-Ing., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	16						
Schulz, H.-J., Dr.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin	16	17	18	19			
Schwedes, J., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Braunschweig	17	18	19	20	21	22	
Seidel-Morgenstern, A., Dr.-Ing., Prof., Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg			20	21	22	23	
Seiffert, U., Dr.-Ing., Prof., WiTech Engineering GmbH, Braunschweig		19	20	21	22		
Seliger, G., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	17	18	19	20	21	22	23
Severin, D., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	17	18	19	20	21		
Siegert, K., Dr.-Ing., Prof., Universität Stuttgart	17	18	19	20	21	22	23
Siekman, H.E., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16	17	18	19	20	21	22
Sondershausen, H.D., Dipl.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin	16	17	18				
Specht, E., Prof. Dr.-Ing., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg							23
Speckhardt, H., Dr., Prof., Technische Universität Darmstadt		19					
Spur, G., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16	17	18	19	20	21	22
Stephan, K., Dr.-Ing., Prof., Universität Stuttgart	17	18	19	20	21	22	23
Stephan, P., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Darmstadt					21	22	23
Stiebler, M., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	17	18	19	20	21	22	23
Stoff, H., Dr. ès. sc. techn. (EPFL), Prof., Ruhr-Universität, Bochum				20	21	22	
Stricker, H., Dr.-Ing., MAN Diesel & Turbo SE, Berlin							23
Stute, G., Dr.-Ing., Prof., Universität Stuttgart	16						
Thamsen, P.U., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin					21	22	23
Thomala, W., Dr.-Ing., Richard Bergner GmbH, Schwabach	16						
Tönshoff, H.K., Dr.-Ing., Prof., Leibniz Universität Hannover	17	18	19	20	21	22	23
Tschöke, H., Dr.-Ing., Prof., Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg					21	22	23
Uhlmann, E., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin		20	21	22	23		
Verl, A., Prof. Dr.-Ing., Universität Stuttgart							23
Victor, H., Dr.-Ing., Prof., Universität Karlsruhe	16						
Vierling, A., Dr.-Ing., Prof., Universität Hannover	16						
Voit-Nitschmann, R., Dipl.-Ing., Prof., Universität Stuttgart		20	21	22	23		
Wagner, G., Dr.-Ing., Prof., Ruhr-Universität Bochum					21	22	23

Mitarbeiter	mitgearbeitet bei Auflage
Wagner, N., Dr.-Ing., INTES GmbH, Stuttgart	23
Warnecke, H.-J., Dr.-Ing., Prof., Universität Stuttgart	16 17 18 19
Weber, R., Dr.-Ing., Prof., Universität Hannover	17 18
Weck, M., Dr.-Ing., Prof., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	16 17 18 19 20 21 22 23
Wehking, K.-H., Dr.-Ing., Prof., Universität Stuttgart	22 23
Weißbrod, G., Dipl.-Ing., Prof., Technische Fachhochschule Berlin	16
Werle, T., Dipl.-Ing., Universität Stuttgart	17 18 19
Westkämper, E., Dr.-Ing., Prof., Universität Stuttgart	20 21 22 23
Wilhelm, H., Dr.-Ing., MTU München	16
Winter, H., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität München	16 17 18 19 20 21
Wohlfahrt, H., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Braunschweig	19 20 21 22 23
Ziegmann, G., Dr.-Ing., Prof., Technische Universität Clausthal-Zellerfeld	21
Zupke, B., Dipl.-Ing., Prof., Technische Universität Berlin	16

Vorwort zur 24. Auflage (Jubiläumsausgabe)

Der DUBBEL ist seit 1914 – also nunmehr seit 100 Jahren – für Generationen von Studenten und in der Praxis tätigen Ingenieuren das Standardwerk für die produkt- und fertigungsorientierten Fachgebiete des Maschinenbaus. Er dient gleichermaßen als Nachschlagewerk für alle Technischen Hochschulen und technikorientierte Aus- und Weiterbildungsinstitute wie auch zur Lösung konkreter Ingenieuraufgaben in der Praxis. Diese Breite des Leserkreises spiegelt sich auch in den Erfahrungen der Herausgeber und Autoren wider, die aus einer Lehr- und Forschungstätigkeit oder aus einer verantwortlichen Industrietätigkeit kommen.

100 Jahre Fachbuchautorität im Maschinenbau mit über einer Million verkaufter Exemplare sind Beweis der großen Bedeutung des DUBBEL für den Maschinenbau, der mit allen seinen Branchen und Technologien für die Bundesrepublik Deutschland Wirtschaftsmotor Nummer eins ist. Der Erfolg der Firmen, ob Klein-, Mittelständisches- oder Großunternehmen, wird Jahr für Jahr an den Exportzahlen und dem Exportüberschuss, den Deutschland dadurch erwirtschaftet, allen Bundesbürgern deutlich und trägt damit in besonderem Maße zum Wohlstand aller bei. Auf diese Leistungen sind die Ingenieurinnen und Ingenieure berechtigt stolz. Diese Position des deutschen Maschinenbaus im internationalen Wettbewerb, die besonders durch die Leistungen des Ingenieurfachpersonals in den Unternehmen erreicht wurde, muss für die Zukunft gesichert werden. Dieses Ziel lässt sich am Besten und vorausschauend mit einem hohen Wirkungsgrad und überschaubaren Investitionsleistungen realisieren, wenn die Ingenieurausbildung weiterhin auf höchstem Niveau erfolgt.

Die Vielfalt des Maschinenbaus hinsichtlich Ingenieur Tätigkeiten und Fachgebieten, der enorme Erkenntniszuwachs sowie die vielschichtigen Zielsetzungen des DUBBEL erforderten bei der Stoffzusammenstellung eine enge Zusammenarbeit zwischen Herausgebern und Autoren. Es müssen die wesentlichen Grundlagen und die unbedingt erforderlichen, allgemein anwendbaren und gesicherten Erkenntnisse der einzelnen Fachgebiete ausgewählt werden. Trotz der im Hinblick auf die Umfangsbeschränkung erforderlichen Konzentration auf das Wesentliche und Allgemeingültige werden auch neueste Forschungsergebnisse und Entwicklungen behandelt, ohne die eine umfassende Anwendung eines solchen Buches in Praxis und Lehre nicht mehr auskommt. Die Stoffauswahl wurde so getroffen, dass Studierende in der Lage sind, sich problemlos Informationen aus der gesamten Breite des Maschinenbaus zu erschließen. Die Ingenieure der Praxis erhalten darüber hinaus ein weitgehend vollständiges Arbeitsmittel zur Lösung von Ingenieuraufgaben. Ihnen wird auch ein schneller Einblick vor allem in solche Fachgebiete gegeben, in denen sie kein Spezialist sind. So sind zum Beispiel die Ausführungen über Fertigungstechnik nicht nur für den Betriebsingenieur gedacht, sondern beispielsweise auch für den Konstrukteur, der fertigungsorientiert gestalten muss; die Fördertechnik soll nicht nur den Konstrukteur für Hebezeuge ansprechen, sondern auch den Betriebsingenieur, der seine Fördermittel mitgestalten und auswählen muss.

Der DUBBEL hilft den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in allen Unternehmensbereichen der Herstellung und Anwendung maschinenbaulicher Produkte (Anlagen, Maschinen, Apparate und Geräte) bei der Lösung von Problemen: Angefangen bei der Produktplanung, Forschung, Entwicklung, Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Normung, Materialwirtschaft, Fertigung, Montage und Qualitätssicherung über den technischen Vertrieb bis zur Bedienung, Überwachung, Instandsetzung und zum Recycling.

Der DUBBEL wird laufend überarbeitet und damit auf dem aktuellen Stand der Technik und Wissenschaft gehalten. Die Autoren haben wieder in beispielhafter Zusammenarbeit untereinander, mit den Herausgebern und mit dem Verlag ihre jeweiligen Kapitel gründlich überarbeitet und erweitert, dafür danken die Herausgeber und der Springer-Verlag den Autoren sehr herzlich.

Die Gliederung der letzten Auflage wurde beibehalten. Beibehalten wurden auch die am Ende jedes Hauptkapitels aufgeführten quantitativen Arbeitsunterlagen in Form von Tabellen, Diagrammen und Normenauszügen (Stoff- und Richtwerte).

Die Benutzungsanleitung hilft, die Buchstruktur einschließlich Anhang sowie die Abkürzungen zu verstehen. Die zahlreichen Hinweise und Querverweise zwischen den einzelnen Teilen und Kapiteln erlauben eine optimale Nutzung des Werkes. Infolge der Uneinheitlichkeit nationaler und internationaler Normen sowie der Gewohnheiten einzelner Fachgebiete ließen sich in wenigen Fällen unterschiedliche Bezeichnungen für gleiche Begriffe nicht vermeiden.

„Informationen aus der Industrie“ mit technisch relevanten Anzeigen bekannter Firmen zeigen industrielle Ausführungsformen ihre Bezugsquellen.

Hinweise, Vorschläge und konstruktive Kritik unserer Leser wurden dankbar verwertet. Wir sind auch weiterhin sehr an Anregungen und Hinweisen interessiert.

Die Herausgeber danken allen am Werk Beteiligten: den Autoren für ihr Engagement und ihre Kommissbereitschaft bei der Abfassung ihrer Beiträge unter den starken Restriktionen hinsichtlich Umfang und Abstimmung der Kapitel, Frau B. Münch vom Springer-Verlag für viele erfahrungsbedingte Ratschläge, Frau J. Krause und Frau N. Kroke von der Fa. le-tex für die engagierte und sachkundige Zusammenarbeit bei der redaktionellen Bearbeitung der schwierigen Text- und Bildvorlagen. Frau E. Hestermann-Beyerle, Senior Editor und verantwortlich für den DUBBEL beim Springer-Verlag hat die Weiterentwicklung des Buches kontinuierlich vorangetrieben und auch für die sehr gute Ausstattung des Buches gesorgt, wobei sie wirkungsvoll von Frau B. Kollmar-Thoni unterstützt wurde. Der DUBBEL ist nun, wie oben erwähnt, seit 100 Jahren eins der meistgelesenen und meistverkauften Bücher des wissenschaftlichen Springer-Verlages. Die Geschäftsleitung des Verlages, insbesondere Herr Dr. rer.nat. H. Frh. von Riedesel, haben den DUBBEL für Studierende stets erschwinglich gehalten und dadurch das Studium des Maschinenbaus mit beworben. Die nun etwa zwei Jahrzehnte andauernde, sehr gute Zusammenarbeit der Herausgeber mit dem Springer-Verlag wirkt sich ebenso kontinuierlich auf die Qualität und Ausstattung des DUBBEL aus.

Abschließend sei auch den vorangegangenen Generationen von Herausgebern und Autoren gedacht – die im Mitarbeiterverzeichnis ab der 16. Auflage gewürdigt werden. Sie haben durch ihre gewissenhafte Arbeit die Anerkennung des DUBBEL begründet, die mit der jetzt vorliegenden 24. Auflage und dem 100-jährigen Jubiläum des DUBBEL weiter gefestigt wird.

Magdeburg und Aachen
im Sommer 2014

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinrich Grote
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Feldhusen

Inhaltsverzeichnis

Hinweise zur Benutzung	XLIX
Chronik des Taschenbuchs	LI
A Mathematik	
A1 Mathematik für Ingenieure	A 2
A2 Ergänzungen zur Höheren Mathematik	A 3
A3 Numerische Methoden	A 4
A3.1 Numerische – Analytische Lösung	A 4
A3.2 Standardaufgabe der linearen Algebra	A 4
A3.3 Interpolation, Integration	A 5
A3.4 Rand- und Anfangswertprobleme	A 6
A3.5 Optimierungsprobleme	A 6
Literatur zu Teil A Mathematik	A 8
B Mechanik	
B1 Statik starrer Körper	B 2
B1.1 Allgemeines	B 2
B1.2 Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften mit gemeinsamem Angriffspunkt B1.2.1 Ebene Kräftegruppe. – B1.2.2 Räumliche Kräftegruppe.	B 2
B1.3 Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften mit verschiedenen Angriffspunkten B1.3.1 Kräfte in der Ebene. – B1.3.2 Kräfte im Raum.	B 4
B1.4 Gleichgewicht und Gleichgewichtsbedingungen B1.4.1 Kräftesystem im Raum. – B1.4.2 Kräftesystem in der Ebene. – B1.4.3 Prinzip der virtuellen Arbeiten. – B1.4.4 Arten des Gleichgewichts. – B1.4.5 Standsicherheit.	B 5
B1.5 Lagerungsarten, Freimachungsprinzip	B 7
B1.6 Auflagerreaktionen an Körpern B1.6.1 Auflagerreaktionen an Körpern. – B1.6.2 Körper im Raum.	B 7
B1.7 Systeme starrer Körper	B 8
B1.8 Fachwerke B1.8.1 Fachwerke. – B1.8.2 Räumliche Fachwerke.	B 9
B1.9 Seile und Ketten B1.9.1 Seile und Ketten. – B1.9.2 Seil unter konstanter Streckenlast. – B1.9.3 Seil mit Einzellast.	B 10
B1.10 Schwerpunkt (Massenmittelpunkt)	B 12
B1.11 Haftung und Reibung B1.11.1 Anwendungen zur Haftung und Gleitreibung. – B1.11.2 Schraube (Bewegungsschraube). – B1.11.3 Rollwiderstand. – B1.11.4 Widerstand an Seilrollen.	B 12
Literatur	B 16
B2 Kinematik	B 17
B2.1 Bewegung eines Punkts B2.1.1 Bewegung eines Punkts. – B2.1.2 Ebene Bewegung. – B2.1.3 Räumliche Bewegung.	B 17
B2.2 Bewegung starrer Körper B2.2.1 Bewegung starrer Körper. – B2.2.2 Rotation (Drehbewegung, Drehung). – B2.2.3 Allgemeine Bewegung des starren Körpers.	B 21
B3 Kinetik	B 26
B3.1 Energetische Grundbegriffe – Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad B3.1.1 Spezielle Arbeiten.	B 26

B3.2	Kinetik des Massenpunkts und des translatorisch bewegten Körpers	B 27
	B3.2.1 Kinetik des Massenpunkts und des translatorisch bewegten Körpers. – B3.2.2 Arbeits- und Energiesatz. – B3.2.3 Impulssatz. – B3.2.4 Prinzip von d'Alembert und geführte Bewegungen. – B3.2.5 Impulsmomenten- (Flächen-) und Drehimpulssatz.	
B3.3	Kinetik des Massenpunktsystems	B 28
	B3.3.1 Kinetik des Massenpunktsystems. – B3.3.2 Arbeits- und Energiesatz. – B3.3.3 Impulssatz. – B3.3.4 Prinzip von d'Alembert und geführte Bewegungen. – B3.3.5 Impulsmomenten- und Drehimpulssatz. – B3.3.6 Lagrange'sche Gleichungen. – B3.3.7 Prinzip von Hamilton. – B3.3.8 Systeme mit veränderlicher Masse.	
B3.4	Kinetik starrer Körper	B 31
	B3.4.1 Kinetik starrer Körper. – B3.4.2 Allgemeines über Massenträgheitsmomente. – B3.4.3 Allgemeine ebene Bewegung starrer Körper. – B3.4.4 Allgemeine räumliche Bewegung.	
B3.5	Kinetik der Relativbewegung	B 36
B3.6	Stoß	B 37
	B3.6.1 Stoß. – B3.6.2 Schiefer zentraler Stoß. – B3.6.3 Exzentrischer Stoß. – B3.6.4 Drehstoß.	
Literatur	. . . . .	B 38
B4	Schwingungslehre	B 39
B4.1	Systeme mit einem Freiheitsgrad	B 39
	B4.1.1 Systeme mit einem Freiheitsgrad. – B4.1.2 Freie gedämpfte Schwingungen. – B4.1.3 Ungedämpfte erzwungene Schwingungen. – B4.1.4 Gedämpfte erzwungene Schwingungen. – B4.1.5 Kritische Drehzahl und Biegeschwingung der einfach besetzten Welle.	
B4.2	Systeme mit mehreren Freiheitsgraden (Koppelschwingungen)	B 42
	B4.2.1 Systeme mit mehreren Freiheitsgraden (Koppelschwingungen). – B4.2.2 Erzwungene Schwingungen mit zwei und mehr Freiheitsgraden. – B4.2.3 Eigenfrequenzen ungedämpfter Systeme. – B4.2.4 Schwingungen der Kontinua.	
B4.3	Nichtlineare Schwingungen	B 46
	B4.3.1 Nichtlineare Schwingungen. – B4.3.2 Schwingungen mit periodischen Koeffizienten (rheolineare Schwingungen).	
Literatur	. . . . .	B 47
B5	Hydrostatik (Statik der Flüssigkeiten)	B 48
B6	Hydro- und Aerodynamik (Strömungslehre, Dynamik der Fluide)	B 50
B6.1	Eindimensionale Strömungen idealer Flüssigkeiten	B 50
	B6.1.1 Anwendungen der Bernoulli'schen Gleichung für den stationären Fall. – B6.1.2 Anwendung der Bernoulli'schen Gleichung für den instationären Fall.	
B6.2	Eindimensionale Strömungen zäher Newton'scher Flüssigkeiten (Rohrhydraulik) B 52	
	B6.2.1 Stationäre laminare Strömung in Rohren mit Kreisquerschnitt. – B6.2.2 Stationäre turbulente Strömung in Rohren mit Kreisquerschnitt. – B6.2.3 Strömung in Leitungen mit nicht vollkreisförmigen Querschnitten. – B6.2.4 Strömungsverluste durch spezielle Rohrleitungselemente und Einbauten. – B6.2.5 Stationärer Ausfluss aus Behältern. – B6.2.6 Stationäre Strömung durch offene Gerinne. – B6.2.7 Instationäre Strömung zäher Newton'scher Flüssigkeiten. – B6.2.8 Freier Strahl.	
B6.3	Eindimensionale Strömung Nicht-Newton'scher Flüssigkeiten	B 57
	B6.3.1 Berechnung von Rohrströmungen.	
B6.4	Kraftwirkungen strömender inkompressibler Flüssigkeiten	B 58
	B6.4.1 Kraftwirkungen strömender inkompressibler Flüssigkeiten. – B6.4.2 Anwendungen.	
B6.5	Mehrdimensionale Strömung idealer Flüssigkeiten	B 59
	B6.5.1 Mehrdimensionale Strömung idealer Flüssigkeiten. – B6.5.2 Potentialströmungen.	
B6.6	Mehrdimensionale Strömung zäher Flüssigkeiten	B 62
	B6.6.1 Mehrdimensionale Strömung zäher Flüssigkeiten. – B6.6.2 Einige Lösungen für kleine Reynolds'sche Zahlen (laminare Strömung). – B6.6.3 Grenzschichttheorie. – B6.6.4 Strömungswiderstand von Körpern. – B6.6.5 Tragflügel und Schaufeln. – B6.6.6 Schaufeln und Profile im Gitterverband.	
Literatur	. . . . .	B 67
B7	Ähnlichkeitsmechanik	B 68
B7.1	Allgemeines	B 68
B7.2	Ähnlichkeitsgesetze (Modellgesetze)	B 68
	B7.2.1 Ähnlichkeitsgesetze (Modellgesetze). – B7.2.2 Dynamische Ähnlichkeit. – B7.2.3 Thermische Ähnlichkeit. – B7.2.4 Analyse der Einheiten (Dimensionsanalyse) und Π -Theorem.	

Literatur	B 70
Literatur zu Teil B Mechanik	B 71
C Festigkeitslehre	
C1 Allgemeine Grundlagen	C 2
C1.1 Spannungen und Verformungen	C 2
C1.1.1 Spannungen. – C1.1.2 Verformungen. – C1.1.3 Formänderungsarbeit.	
C1.2 Festigkeitsverhalten der Werkstoffe	C 5
C1.3 Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannungen	C 6
C1.3.1 Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannungen. – C1.3.2 Schubspannungshypothese. – C1.3.3 Gestaltänderungsenergiehypothese. – C1.3.4 Anstrengungsverhältnis nach Bach.	
Literatur	C 7
C2 Beanspruchung stabförmiger Bauteile	C 8
C2.1 Zug- und Druckbeanspruchung	C 8
C2.1.1 Zug- und Druckbeanspruchung. – C2.1.2 Stäbe mit veränderlicher Längskraft. – C2.1.3 Stäbe mit veränderlichem Querschnitt. – C2.1.4 Stäbe mit Kerben. – C2.1.5 Stäbe unter Temperatureinfluss.	
C2.2 Abscherbeanspruchung	C 8
C2.3 Flächenpressung und Lochleibung	C 9
C2.3.1 Flächenpressung und Lochleibung. – C2.3.2 Gewölbte Flächen.	
C2.4 Biegebeanspruchung	C 9
C2.4.1 Biegebeanspruchung. – C2.4.2 Schnittlasten am geraden Träger in der Ebene. – C2.4.3 Schnittlasten an gekrümmten ebenen Trägern. – C2.4.4 Schnittlasten an räumlichen Trägern. – C2.4.5 Biegespannungen in geraden Balken. – C2.4.6 Schubspannungen und Schubmittelpunkt am geraden Träger. – C2.4.7 Biegespannungen in stark gekrümmten Trägern. – C2.4.8 Durchbiegung von Trägern. – C2.4.9 Formänderungsarbeit bei Biegung und Energiemethoden zur Berechnung von Einzeldurchbiegungen.	
C2.5 Torsionsbeanspruchung	C 26
C2.5.1 Stäbe mit Kreisquerschnitt und konstantem Durchmesser. – C2.5.2 Stäbe mit Kreisquerschnitt und veränderlichem Durchmesser. – C2.5.3 Dünnwandige Hohlquerschnitte (Bredt'sche Formeln). – C2.5.4 Stäbe mit beliebigem Querschnitt. – C2.5.5 Wölbkrafttorsion.	
C2.6 Zusammengesetzte Beanspruchung	C 29
C2.6.1 Zusammengesetzte Beanspruchung. – C2.6.2 Biegung und Schub. – C2.6.3 Biegung und Torsion. – C2.6.4 Längskraft und Torsion. – C2.6.5 Schub und Torsion. – C2.6.6 Biegung mit Längskraft sowie Schub und Torsion.	
C2.7 Statisch unbestimmte Systeme	C 30
Literatur	C 31
C3 Elastizitätstheorie	C 33
C3.1 Allgemeines	C 33
C3.2 Rotationssymmetrischer Spannungszustand	C 33
C3.3 Ebener Spannungszustand	C 34
Literatur	C 35
C4 Beanspruchung bei Berührung zweier Körper (Hertz'sche Formeln)	C 36
C4.1 Kugel	C 36
C4.2 Zylinder	C 36
C4.3 Beliebig gewölbte Fläche	C 36
Literatur	C 37
C5 Flächentragwerke	C 38
C5.1 Platten	C 38
C5.1.1 Platten. – C5.1.2 Kreisplatten. – C5.1.3 Elliptische Platten. – C5.1.4 Gleichseitige Dreieckplatte. – C5.1.5 Temperaturspannungen in Platten.	
C5.2 Scheiben	C 40
C5.2.1 Scheiben. – C5.2.2 Ringförmige Scheibe. – C5.2.3 Unendlich ausgedehnte Scheibe mit Bohrung. – C5.2.4 Keilförmige Scheibe unter Einzelkräften.	

C5.3	Schalen	C 41
	C5.3.1 Biegeschlaffe Rotationsschalen und Membrantheorie für Innendruck. – C5.3.2 Biegesteife Schalen.	
Literatur	. . . . .	C 42
C6	Dynamische Beanspruchung umlaufender Bauteile durch Fliehkräfte	C 43
C6.1	Umlaufender Stab	C 43
C6.2	Umlaufender dünnwandiger Ring oder Hohlzylinder	C 43
C6.3	Umlaufende Scheiben	C 43
	C6.3.1 Vollscheibe konstanter Dicke. – C6.3.2 Ringförmige Scheibe konstanter Dicke. – C6.3.3 Scheiben gleicher Festigkeit. – C6.3.4 Scheiben veränderlicher Dicke. – C6.3.5 Umlaufender dickwandiger Hohlzylinder.	
Literatur	. . . . .	C 44
C7	Stabilitätsprobleme	C 45
C7.1	Knickung	C 45
	C7.1.1 Knickung. – C7.1.2 Knicken im unelastischen (Tetmajer-)Bereich. – C7.1.3 Näherungsverfahren zur Knicklastberechnung. – C7.1.4 Stäbe bei Änderung des Querschnitts bzw. der Längskraft. – C7.1.5 Knicken von Ringen, Rahmen und Stabsystemen. – C7.1.6 Biegedrillknicken.	
C7.2	Kugel	C 47
	C7.2.1 Kugel. – C7.2.2 Träger mit I-Querschnitt.	
C7.3	Beulung	C 48
	C7.3.1 Beulung. – C7.3.2 Beulen von Schalen. – C7.3.3 Beulspannungen im unelastischen (plastischen) Bereich.	
Literatur	. . . . .	C 50
C8	Finite Berechnungsverfahren	C 51
C8.1	Finite Elemente Methode	C 51
C8.2	Randelemente	C 54
C8.3	Finite Differenzen Methode	C 55
Literatur	. . . . .	C 56
C9	Plastizitätstheorie	C 57
C9.1	Allgemeines	C 57
C9.2	Anwendungen	C 57
	C9.2.1 Biegung des Rechteckbalkens. – C9.2.2 Räumlicher und ebener Spannungszustand.	
Literatur	. . . . .	C 59
C10	Festigkeitsnachweis	C 60
C10.1	Berechnungs- und Bewertungskonzepte	C 60
C10.2	Nennspannungskonzepte	C 60
C10.3	Kerbgrundkonzepte	C 61
Literatur	. . . . .	C 63
C11	Anhang C: Diagramme und Tabellen	C 64
Literatur zu Teil C Festigkeitslehre	. . . . .	C 69
D	Thermodynamik	
D1	Thermodynamik. Grundbegriffe	D 2
D1.1	Systeme, Systemgrenzen, Umgebung	D 2
D1.2	Beschreibung des Zustands eines Systems. Thermodynamische Prozesse	D 2
D2	Temperaturen. Gleichgewichte	D 3
D2.1	Thermisches Gleichgewicht	D 3
D2.2	Nullter Hauptsatz und empirische Temperatur	D 3

D2.3	Temperaturskalen	D 3
	D2.3.1 Temperaturskalen.	
	Literatur	D 4
D3	Erster Hauptsatz	D 5
D3.1	Allgemeine Formulierung	D 5
D3.2	Die verschiedenen Energieformen	D 5
	D3.2.1 Die verschiedenen Energieformen. – D3.2.2 Innere Energie und Systemenergie. – D3.2.3 Wärme.	
D3.3	Anwendung auf geschlossene Systeme	D 6
D3.4	Anwendung auf offene Systeme	D 6
	D3.4.1 Stationäre Prozesse. – D3.4.2 Instationäre Prozesse.	
D4	Zweiter Hauptsatz	D 8
D4.1	Das Prinzip der Irreversibilität	D 8
D4.2	Allgemeine Formulierung	D 8
D4.3	Spezielle Formulierungen	D 9
	D4.3.1 Adiabate, geschlossene Systeme. – D4.3.2 Systeme mit Wärmezufuhr.	
D5	Exergie und Anergie	D 10
D5.1	Exergie eines geschlossenen Systems	D 10
D5.2	Exergie eines offenen Systems	D 10
D5.3	Exergie einer Wärme	D 10
D5.4	Anergie	D 11
D5.5	Exergieverluste	D 11
D6	Stoffthermodynamik	D 12
D6.1	Thermische Zustandsgrößen von Gasen und Dämpfen	D 12
	D6.1.1 Ideale Gase. – D6.1.2 Gaskonstante und das Gesetz von Avogadro. – D6.1.3 Reale Gase. – D6.1.4 Dämpfe.	
D6.2	Kalorische Zustandsgrößen von Gasen und Dämpfen	D 14
	D6.2.1 Kalorische Zustandsgrößen von Gasen und Dämpfen. – D6.2.2 Reale Gase und Dämpfe.	
D6.3	Inkompressible Fluide	D 16
D6.4	Feste Stoffe	D 16
	D6.4.1 Feste Stoffe. – D6.4.2 Schmelz- und Sublimationsdruckkurve. – D6.4.3 Kalorische Zustandsgrößen.	
	Literatur	D 16
D7	Zustandsänderungen von Gasen und Dämpfen	D 17
D7.1	Zustandsänderungen ruhender Gase und Dämpfe	D 17
D7.2	Zustandsänderungen strömender Gase und Dämpfe	D 18
	D7.2.1 Zustandsänderungen strömender Gase und Dämpfe. – D7.2.2 Düsen- und Diffusorströmung.	
D8	Thermodynamische Prozesse	D 20
D8.1	Energiewandlung mittels Kreisprozessen	D 20
D8.2	Carnot-Prozess	D 20
D8.3	Wärmeanlagen	D 20
	D8.3.1 Ackeret-Keller-Prozess. – D8.3.2 Geschlossene Gasturbinenanlage. – D8.3.3 Dampfkraftanlage.	
D8.4	Verbrennungskraftanlagen	D 23
	D8.4.1 Verbrennungskraftanlagen. – D8.4.2 Ottomotor. – D8.4.3 Dieselmotor. – D8.4.4 Brennstoffzellen.	
D8.5	Kälteanlagen und Wärmepumpen	D 24
	D8.5.1 Kompressionskälteanlage. – D8.5.2 Kompressionswärmepumpe.	
D8.6	Kraft-Wärme-Kopplung	D 25
	Literatur	D 26

D9	Gemische	D 27
D9.1	Gemische idealer Gase	D 27
D9.2	Gas-Dampf-Gemische	D 27
	D9.2.1 Mollier-Diagramm der feuchten Luft. – D9.2.2 Zustandsänderungen feuchter Luft.	
D10	Verbrennung	D 30
D10.1	Reaktionsgleichungen	D 30
D10.2	Heizwert und Brennwert	D 30
D10.3	Verbrennungstemperatur	D 31
	Literatur	D 31
D11	Wärmeübertragung	D 32
D11.1	Stationäre Wärmeleitung	D 32
D11.2	Wärmeübergang und Wärmedurchgang	D 32
D11.3	Nichtstationäre Wärmeleitung	D 33
	D11.3.1 Der halbunendliche Körper. – D11.3.2 Zwei halbunendliche Körper in thermischem Kontakt. – D11.3.3 Temperaturausgleich in einfachen Körpern.	
D11.4	Wärmeübergang durch Konvektion	D 35
	D11.4.1 Wärmeübergang ohne Phasenumwandlung. – D11.4.2 Wärmeübergang beim Kondensieren und beim Sieden.	
D11.5	Wärmeübertragung durch Strahlung	D 38
	D11.5.1 Wärmeübertragung durch Strahlung. – D11.5.2 Kirchhoffsches Gesetz. – D11.5.3 Wärmeaustausch durch Strahlung. – D11.5.4 Gasstrahlung.	
	Literatur	D 39
D12	Anhang D: Diagramme und Tabellen	D 40
	Literatur	D 55
	Literatur zu Teil D Thermodynamik	D 56
E	Werkstofftechnik	
E1	Werkstoff- und Bauteileigenschaften	E 2
E1.1	Beanspruchungs- und Versagensarten	E 2
	E1.1.1 Beanspruchungs- und Versagensarten. – E1.1.2 Versagen durch mechanische Beanspruchung. – E1.1.3 Versagen durch komplexe Beanspruchungen.	
E1.2	Grundlegende Konzepte für den Festigkeitsnachweis	E 5
	E1.2.1 Festigkeitshypothesen. – E1.2.2 Nenn-, Struktur- und Kerbspannungskonzept. – E1.2.3 Örtliches Konzept. – E1.2.4 Plastisches Grenzlastkonzept. – E1.2.5 Bruchmechanikkonzepte.	
E1.3	Werkstoffkennwerte für die Bauteildimensionierung	E 8
	E1.3.1 Werkstoffkennwerte für die Bauteildimensionierung. – E1.3.2 Schwingfestigkeit. – E1.3.3 Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei statischer Beanspruchung. – E1.3.4 Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei zyklischer Beanspruchung.	
E1.4	Einflüsse auf die Werkstoffeigenschaften	E 13
	E1.4.1 Werkstoffphysikalische Grundlagen der Festigkeit und Zähigkeit metallischer Werkstoffe. – E1.4.2 Metallurgische Einflüsse. – E1.4.3 Technologische Einflüsse. – E1.4.4 Oberflächeneinflüsse. – E1.4.5 Umgebungseinflüsse. – E1.4.6 Gestalteinfluss auf statische Festigkeitseigenschaften. – E1.4.7 Gestalteinfluss auf Schwingfestigkeitseigenschaften.	
E1.5	Festigkeitsnachweis von Bauteilen	E 16
	E1.5.1 Festigkeitsnachweis bei statischer Beanspruchung. – E1.5.2 Festigkeitsnachweis bei Schwingbeanspruchung mit konstanter Amplitude. – E1.5.3 Festigkeitsnachweis bei Schwingbeanspruchung mit variabler Amplitude (Betriebsfestigkeitsnachweis). – E1.5.4 Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis unter statischer Beanspruchung. – E1.5.5 Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis unter zyklischer Beanspruchung. – E1.5.6 Festigkeitsnachweis unter Zeitstand- und Kriechermüdungsbeanspruchung.	
	Literatur	E 23
E2	Werkstoffprüfung	E 25
E2.1	Grundlagen	E 25
	E2.1.1 Probenentnahme. – E2.1.2 Versuchsauswertung.	

E2.2	Prüfverfahren	E 26
	E2.2.1 Prüfverfahren. – E2.2.2 Druckversuch. – E2.2.3 Biegeversuch. – E2.2.4 Härteprüfverfahren. – E2.2.5 Kerbschlagbiegeversuch. – E2.2.6 Bruchmechanische Prüfungen. – E2.2.7 Chemische und physikalische Analysemethoden. – E2.2.8 Materialgraphische Untersuchungen. – E2.2.9 Technologische Prüfungen. – E2.2.10 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. – E2.2.11 Dauerversuche.	
	Literatur	E 33
E3	Eigenschaften und Verwendung der Werkstoffe	E 34
E3.1	Eisenwerkstoffe	E 34
	E3.1.1 Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff. – E3.1.2 Stahlerzeugung. – E3.1.3 Wärmebehandlung. – E3.1.4 Stähle. – E3.1.5 Gusseisenwerkstoffe.	
E3.2	Nichteisenmetalle	E 54
	E3.2.1 Kupfer und seine Legierungen. – E3.2.2 Aluminium und seine Legierungen. – E3.2.3 Magnesiumlegierungen. – E3.2.4 Titanlegierungen. – E3.2.5 Nickel und seine Legierungen. – E3.2.6 Zink und seine Legierungen. – E3.2.7 Blei. – E3.2.8 Zinn. – E3.2.9 Überzüge auf Metallen.	
E3.3	Nichtmetallische anorganische Werkstoffe	E 63
	E3.3.1 Keramische Werkstoffe. – E3.3.2 Glas. – E3.3.3 Beton. – E3.3.4 Holz.	
E3.4	Werkstoffauswahl	E 71
	Literatur	E 72
E4	Kunststoffe	E 73
E4.1	Einführung	E 73
E4.2	Aufbau und Verhalten von Kunststoffen	E 73
E4.3	Eigenschaften	E 73
E4.4	Wichtige Thermoplaste	E 74
E4.5	Fluorhaltige Kunststoffe	E 76
E4.6	Duroplaste	E 76
E4.7	Kunststoffschäume	E 77
E4.8	Elastomere	E 77
E4.9	Prüfung von Kunststoffen	E 78
	E4.9.1 Prüfung von Kunststoffen. – E4.9.2 Prüfung von Fertigteilen.	
E4.10	Verarbeiten von Kunststoffen	E 82
	E4.10.1 Verarbeiten von Kunststoffen. – E4.10.2 Umformen von Kunststoffen. – E4.10.3 Fügen von Kunststoffen.	
E4.11	Gestalten und Fertigungsgenauigkeit von Kunststoff-Formteilen	E 86
E4.12	Nachbehandlungen	E 86
	Literatur	E 87
E5	Tribologie	E 89
E5.1	Reibung	E 89
E5.2	Verschleiß	E 89
E5.3	Systemanalyse von Reibungs- und Verschleißvorgängen	E 90
	E5.3.1 Systemanalyse von Reibungs- und Verschleißvorgängen. – E5.3.2 Beanspruchungskollektiv. – E5.3.3 Struktur tribologischer Systeme. – E5.3.4 Tribologische Kenngrößen. – E5.3.5 Checkliste zur Erfassung der wichtigsten tribologisch relevanten Größen.	
E5.4	Schmierung	E 93
E5.5	Schmierstoffe	E 93
	E5.5.1 Schmieröle. – E5.5.2 Schmierfette. – E5.5.3 Festschmierstoffe.	
E5.6	Tribotechnische Werkstoffe	E 96
	Literatur	E 96
E6	Korrosion und Korrosionsschutz	E 98
E6.1	Einleitung	E 98

E6.2	Elektrochemische Korrosion	E 99
	E6.2.1 Allgemeine Korrosion. – E6.2.2 Lokalkorrosion und Passivität. – E6.2.3 Galvanische Korrosion. – E6.2.4 Interkristalline Korrosion. – E6.2.5 Rissphänomene. – E6.2.6 Korrosion unter Verschleißbeanspruchung. – E6.2.7 Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion.	
E6.3	Chemische Korrosion und Hochtemperaturkorrosion	E 111
	E6.3.1 Chemische Korrosion und Hochtemperaturkorrosion. – E6.3.2 Hochtemperaturkorrosion mit mechanischer Beanspruchung.	
E6.4	Korrosion nichtmetallischer Werkstoffe	E 113
	E6.4.1 Korrosion von anorganischen nichtmetallischen Werkstoffen. – E6.4.2 Korrosionsartige Schädigung von organischen Werkstoffen.	
E6.5	Korrosionsprüfung	E 114
Literatur	. . . . .	E 115
E7	Anhang E: Diagramme und Tabellen	E 116
F	Grundlagen der Konstruktionstechnik	
F1	Grundlagen technischer Systeme und des methodischen Vorgehens	F 2
F1.1	Technische Systeme	F 2
	F1.1.1 Energie-, Stoff- und Signalumsatz. – F1.1.2 Funktionszusammenhang. – F1.1.3 Wirkzusammenhang. – F1.1.4 Bauzusammenhang. – F1.1.5 Systemzusammenhang. – F1.1.6 Generelle Zielsetzung und Bedingungen.	
F1.2	Methodisches Vorgehen	F 5
	F1.2.1 Allgemeine Arbeitsmethodik. – F1.2.2 Allgemeiner Lösungsprozess. – F1.2.3 Abstrahieren zum Erkennen der Funktionen. – F1.2.4 Suche nach Lösungsprinzipien. – F1.2.5 Beurteilen von Lösungen.	
F1.3	Konstruktionsprozess	F 11
	F1.3.1 Konstruktionsprozess. – F1.3.2 Konzipieren. – F1.3.3 Entwerfen. – F1.3.4 Ausarbeiten. – F1.3.5 Effektive Organisationsformen. – F1.3.6 Rapid Prototyping. – F1.3.7 Konstruktionsarten.	
F1.4	Gestaltung	F 15
	F1.4.1 Grundregeln. – F1.4.2 Gestaltungsprinzipien. – F1.4.3 Gestaltungsrichtlinien. – F1.4.4 Faser-Kunststoff-Verbunde.	
F1.5	Baureihen- und Baukastenentwicklung	F 25
	F1.5.1 Ähnlichkeitsbeziehung. – F1.5.2 Dezimalgeometrische Normzahlreihen. – F1.5.3 Geometrisch ähnliche Baureihe. – F1.5.4 Halbähnliche Baureihen. – F1.5.5 Anwenden von Exponentengleichungen. – F1.5.6 Baukasten.	
F1.6	Normen- und Zeichnungswesen	F 29
	F1.6.1 Normenwerk. – F1.6.2 Grundnormen. – F1.6.3 Zeichnungen und Stücklisten. – F1.6.4 Sachnummernsysteme.	
Literatur	. . . . .	F 36
F2	Anwendung für Maschinensysteme der Stoffverarbeitung	F 39
F2.1	Aufgabe und Einordnung	F 39
F2.2	Struktur von Verarbeitungsmaschinen	F 39
	F2.2.1 Verarbeitungssystem. – F2.2.2 Antriebs- und Steuerungssystem. – F2.2.3 Raumsystem.	
F2.3	Verarbeitungsanlagen	F 49
Literatur	. . . . .	F 49
F3	Biomedizinische Technik	F 50
F3.1	Einführung	F 50
F3.2	Einteilung von Medizinprodukten	F 50
F3.3	Ausgewählte Beispiele wichtiger medizintechnischer Geräte	F 51
	F3.3.1 Bildgebung. – F3.3.2 Monitoring. – F3.3.3 Beatmung, Inhalationsnarkose. – F3.3.4 Therapie von Herzrhythmusstörungen. – F3.3.5 Blutreinigung (Dialyse). – F3.3.6 Pumpen für Infusionen und Herzunterstützung. – F3.3.7 Minimal-invasive Technologien. – F3.3.8 Orthopädische Implantate. – F3.3.9 Gliedmaßenprothetik (Exoprothetik der Extremitäten).	
F3.4	Entwicklung und Zulassung von Medizinprodukten	F 71
F3.5	Aufbereitung	F 73
Literatur	. . . . .	F 73

F4	Bio-Industrie-Design: Herausforderungen und Visionen	F 75
	Literatur	F 76
	Literatur zu Teil F Grundlagen der Konstruktionstechnik	F 77
G	Mechanische Konstruktionselemente	
G1	Bauteilverbindungen	G 2
G1.1	Schweißen	G 2
	G1.1.1 Schweißen. – G1.1.2 Schweißbarkeit der Werkstoffe. – G1.1.3 Stoß- und Nahtarten. – G1.1.4 Darstellung der Schweißnähte. – G1.1.5 Festigkeit von Schweißverbindungen. – G1.1.6 Thermisches Abtragen.	
G1.2	Löten und alternative Fügeverfahren	G 20
	G1.2.1 Lötvorgang. – G1.2.2 Weichlöten. – G1.2.3 Hartlöten und Schweißblöten (Fugenlöten). – G1.2.4 Hochtemperaturlöten. – G1.2.5 Lichtbogenlöten, Laserlöten. – G1.2.6 Umformtechnische Fügeverfahren.	
G1.3	Kleben	G 24
	G1.3.1 Kleben. – G1.3.2 Klebstoffe. – G1.3.3 Tragfähigkeit.	
G1.4	Reibschlussverbindungen	G 26
	G1.4.1 Reibschlussverbindungen. – G1.4.2 Pressverbände. – G1.4.3 Klemmverbindungen.	
G1.5	Formschlussverbindungen	G 30
	G1.5.1 Formschlussverbindungen. – G1.5.2 Stiftverbindungen. – G1.5.3 Bolzenverbindungen. – G1.5.4 Keilverbindungen. – G1.5.5 Pass- und Scheibenfeder-Verbindungen. – G1.5.6 Zahn- und Keilwellenverbindungen. – G1.5.7 Polygonwellenverbindungen. – G1.5.8 Vorgespannte Welle-Nabe-Verbindungen. – G1.5.9 Axiale Sicherungselemente. – G1.5.10 Nietverbindungen.	
G1.6	Schraubenverbindungen	G 36
	G1.6.1 Aufgaben. – G1.6.2 Kenngrößen der Schraubenbewegung. – G1.6.3 Gewindearten. – G1.6.4 Schrauben- und Mutterarten. – G1.6.5 Schrauben- und Mutterwerkstoffe. – G1.6.6 Kräfte und Verformungen beim Anziehen von Schraubenverbindungen. – G1.6.7 Überlagerung von Vorspannkraft und Betriebslast. – G1.6.8 Auslegung und Dauerfestigkeitsberechnung von Schraubenverbindungen. – G1.6.9 Sicherung von Schraubenverbindungen.	
	Literatur	G 47
G2	Federnde Verbindungen (Federn)	G 51
G2.1	Aufgaben, Eigenschaften, Kenngrößen	G 51
	G2.1.1 Aufgaben. – G2.1.2 Federkennlinie, Federsteifigkeit, Federnachgiebigkeit. – G2.1.3 Arbeitsaufnahmefähigkeit, Nutzungsgrad, Dämpfungsvermögen, Dämpfungsfaktor.	
G2.2	Metallfedern	G 52
	G2.2.1 Zug/Druck-beanspruchte Zug- oder Druckfedern. – G2.2.2 Einfache und geschichtete Blattfedern (gerade oder schwachgekrümmte, biegebeanspruchte Federn). – G2.2.3 Spiralfedern (ebene gewundene, biegebeanspruchte Federn) und Schenkelfedern (biegebeanspruchte Schraubenfedern). – G2.2.4 Tellerfedern (scheibenförmige, biegebeanspruchte Federn). – G2.2.5 Drehstabfedern (gerade, drehbeanspruchte Federn). – G2.2.6 Zylindrische Schraubendruckfedern und Schraubenzugfedern.	
G2.3	Gummifedern	G 59
	G2.3.1 Der Werkstoff „Gummi“ und seine Eigenschaften. – G2.3.2 Gummifederelemente.	
G2.4	Federn aus Faser-Kunststoff-Verbunden	G 60
G2.5	Gasfedern	G 62
G2.6	Industrie-Stoßdämpfer	G 62
	G2.6.1 Anwendungsgebiete. – G2.6.2 Funktionsweise des Industrie-Stoßdämpfers. – G2.6.3 Aufbau eines Industrie-Stoßdämpfers. – G2.6.4 Berechnung und Auswahl.	
	Literatur	G 63
G3	Kupplungen und Bremsen	G 65
G3.1	Überblick, Aufgaben	G 65
G3.2	Drehstarre, nicht schaltbare Kupplungen	G 65
	G3.2.1 Starre Kupplungen. – G3.2.2 Drehstarre Ausgleichskupplungen.	
G3.3	Elastische, nicht schaltbare Kupplungen	G 67
	G3.3.1 Feder- und Dämpfungsverhalten. – G3.3.2 Auslegungsgesichtspunkte, Schwingungsverhalten. – G3.3.3 Bauarten. – G3.3.4 Auswahlgesichtspunkte.	
G3.4	Drehnachgiebige, nicht schaltbare Kupplungen	G 71

G3.5	Fremdgeschaltete Kupplungen	G 72
	G3.5.1 Formschlüssige Schaltkupplungen. – G3.5.2 Kraft-(Reib-)schlüssige Schaltkupplungen. – G3.5.3 Der Schaltvorgang bei reibschlüssigen Schaltkupplungen. – G3.5.4 Auslegung einer reibschlüssigen Schaltkupplung. – G3.5.5 Auswahl einer Kupplungsgröße. – G3.5.6 Allgemeine Auswahlkriterien. – G3.5.7 Bremsen.	
G3.6	Selbsttätig schaltende Kupplungen	G 77
	G3.6.1 Drehmomentgeschaltete Kupplungen. – G3.6.2 Drehzahlgeschaltete Kupplungen. – G3.6.3 Richtungsgeschaltete Kupplungen (Freiläufe).	
Literatur	. . . . .	G 78
G4	Wälzlager	G 80
G4.1	Kennzeichen und Eigenschaften der Wälzlager	G 80
G4.2	Bauarten der Wälzlager	G 80
	G4.2.1 Lager für rotierende Bewegungen. – G4.2.2 Linearwälzlager.	
G4.3	Wälzlagerkäfige	G 84
G4.4	Wälzlagerwerkstoffe	G 84
G4.5	Bezeichnungen für Wälzlager	G 85
G4.6	Konstruktive Ausführung von Lagerungen	G 85
	G4.6.1 Konstruktive Ausführung von Lagerungen. – G4.6.2 Schwimmende oder Stütz-Traglagerung und angestellte Lagerung. – G4.6.3 Lagersitze, axiale und radiale Festlegung der Lagerringe. – G4.6.4 Lagerluft.	
G4.7	Wälzlagerschmierung	G 87
	G4.7.1 Allgemeines. – G4.7.2 Fettschmierung. – G4.7.3 Ölschmierung. – G4.7.4 Feststoffschmierung.	
G4.8	Wälzlagerdichtungen	G 90
G4.9	Belastbarkeit und Lebensdauer der Wälzlager	G 91
	G4.9.1 Belastbarkeit und Lebensdauer der Wälzlager. – G4.9.2 Statische bzw. dynamische Tragfähigkeit und Lebensdauerberechnung.	
G4.10	Bewegungswiderstand und Referenzdrehzahlen der Wälzlager	G 94
Literatur	. . . . .	G 95
G5	Gleitlagerungen	G 96
G5.1	Grundlagen	G 96
	G5.1.1 Aufgabe, Einteilung und Anwendungen. – G5.1.2 Wirkungsweise. – G5.1.3 Reibungszustände.	
G5.2	Berechnung hydrodynamischer Gleitlager	G 97
	G5.2.1 Stationär belastete Radialgleitlager. – G5.2.2 Radialgleitlager im instationären Betrieb. – G5.2.3 Stationär belastete Axialgleitlager. – G5.2.4 Mehrgleitflächenlager.	
G5.3	Hydrostatische Anfahrhilfen	G 104
G5.4	Berechnung Gleitlager	G 104
	G5.4.1 Hydrostatische Radialgleitlager. – G5.4.2 Hydrostatische Axialgleitlager.	
G5.5	Dichtungen	G 106
G5.6	Wartungsfreie Gleitlager	G 106
G5.7	Konstruktive Gestaltung	G 106
	G5.7.1 Konstruktion und Schmierspaltbildung. – G5.7.2 Lagerschmierung. – G5.7.3 Lagerkühlung. – G5.7.4 Lagerwerkstoffe. – G5.7.5 Lagerbauformen.	
Literatur	. . . . .	G 109
G6	Zugmittelgetriebe	G 111
G6.1	Bauarten, Anwendungen	G 111
G6.2	Flachriemengetriebe	G 111
	G6.2.1 Kräfte am Flachriemengetriebe. – G6.2.2 Beanspruchungen. – G6.2.3 Geometrische Beziehungen. – G6.2.4 Kinematik, Leistung, Wirkungsgrad. – G6.2.5 Riemenlauf und Vorspannung. – G6.2.6 Riemenwerkstoffe. – G6.2.7 Entwurfsberechnung.	
G6.3	Keilriemen	G 116
	G6.3.1 Anwendungen und Eigenschaften. – G6.3.2 Typen und Bauarten von Keilriemen. – G6.3.3 Entwurfsberechnung.	
G6.4	Synchronriemen (Zahnriemen)	G 117
	G6.4.1 Aufbau, Eigenschaften, Anwendung. – G6.4.2 Gestaltungshinweise. – G6.4.3 Entwurfsberechnung.	

G6.5	Kettengetriebe	G 118
	G6.5.1 Bauarten, Eigenschaften, Anwendung. – G6.5.2 Gestaltungshinweise. – G6.5.3 Entwurfsberechnung.	
	Literatur	G 119
G7	Reibradgetriebe	G 120
G7.1	Wirkungsweise, Definitionen	G 120
G7.2	Bauarten, Beispiele	G 120
	G7.2.1 Reibradgetriebe mit festem Übersetzungsverhältnis. – G7.2.2 Wälzgetriebe mit stufenlos einstellbarer Übersetzung.	
G7.3	Berechnungsgrundlagen	G 123
	G7.3.1 Bohrbewegung. – G7.3.2 Schlupf. – G7.3.3 Übertragbare Leistung und Wirkungsgrad. – G7.3.4 Gebräuchliche Werkstoffpaarungen.	
G7.4	Hinweise für Anwendung und Betrieb	G 126
	Literatur	G 126
G8	Zahnradgetriebe	G 127
G8.1	Stirnräder	G 127
	G8.1.1 Verzahnungsgesetz. – G8.1.2 Übersetzung, Zähnezahlverhältnis, Momentenverhältnis. – G8.1.3 Konstruktion von Eingriffslinie und Gegenflanke. – G8.1.4 Flankenlinien und Formen der Verzahnung. – G8.1.5 Allgemeine Verzahnungsgrößen. – G8.1.6 Gleit- und Rollbewegung. – G8.1.7 Evolventenverzahnung. – G8.1.8 Sonstige Verzahnungen (außer Evolventen) und ungleichmäßig übersetzende Zahnräder.	
G8.2	Verzahnungsabweichungen und -toleranzen, Flankenspiel	G 133
G8.3	Schmierung und Kühlung	G 134
	G8.3.1 Schmierstoff und Schmierungsart.	
G8.4	Werkstoffe und Wärmebehandlung – Verzahnungsherstellung	G 136
	G8.4.1 Typische Beispiele aus verschiedenen Anwendungsgebieten. – G8.4.2 Werkstoffe und Wärmebehandlung – Gesichtspunkte für die Auswahl.	
G8.5	Tragfähigkeit von Gerad- und Schrägstirnrädern	G 136
	G8.5.1 Zahnschäden und Abhilfen. – G8.5.2 Pflichtenheft. – G8.5.3 Anhaltswerte für die Dimensionierung. – G8.5.4 Nachrechnung der Tragfähigkeit.	
G8.6	Kegelräder	G 144
	G8.6.1 Geradzahn-Kegelräder. – G8.6.2 Kegelräder mit Schräg- oder Bogenverzahnung. – G8.6.3 Zahnform. – G8.6.4 Kegelrad-Geometrie. – G8.6.5 Tragfähigkeit. – G8.6.6 Lagerkräfte. – G8.6.7 Hinweise zur Konstruktion von Kegelrädern. – G8.6.8 Sondergetriebe.	
G8.7	Stirnschraubräder	G 147
G8.8	Schneckengetriebe	G 147
	G8.8.1 Zylinderschnecken-Geometrie. – G8.8.2 Auslegung. – G8.8.3 Zahnkräfte, Lagerkräfte. – G8.8.4 Geschwindigkeiten, Beanspruchungskennwerte. – G8.8.5 Reibungszahl, Wirkungsgrad. – G8.8.6 Nachrechnung der Tragfähigkeit. – G8.8.7 Gestaltung, Werkstoffe, Lagerung, Genauigkeit, Schmierung, Montage.	
G8.9	Umlaufgetriebe	G 152
	G8.9.1 Kinematische Grundlagen, Bezeichnungen. – G8.9.2 Allgemeingültigkeit der Berechnungsgleichungen. – G8.9.3 Vorzeichenregeln. – G8.9.4 Drehmomente, Leistungen, Wirkungsgrade. – G8.9.5 Selbsthemmung und Teilhemmung. – G8.9.6 Konstruktive Hinweise. – G8.9.7 Auslegung einfacher Planetengetriebe. – G8.9.8 Zusammengesetzte Planetengetriebe.	
G8.10	Gestaltung der Zahnradgetriebe	G 161
	G8.10.1 Bauarten. – G8.10.2 Anschluss an Motor und Arbeitsmaschine. – G8.10.3 Gestalten und Bemaßen der Zahnräder. – G8.10.4 Gestalten der Gehäuse. – G8.10.5 Lagerung.	
	Literatur	G 164
G9	Getriebetechnik	G 167
G9.1	Getriebesystematik	G 167
	G9.1.1 Grundlagen. – G9.1.2 Arten ebener Getriebe.	
G9.2	Getriebeanalyse	G 170
	G9.2.1 Kinematische Analyse ebener Getriebe. – G9.2.2 Kinetostatische Analyse ebener Getriebe. – G9.2.3 Kinematische Analyse räumlicher Getriebe. – G9.2.4 Laufgüter der Getriebe.	
G9.3	Getriebesynthese	G 175
	G9.3.1 Viergelenkgetriebe. – G9.3.2 Kurvengetriebe.	

G9.4	Sondergetriebe	G 177
	Literatur	G 177
G10	Anhang G: Diagramme und Tabellen	G 178
	Literatur zu Teil G Mechanische Konstruktionselemente	G 195

H Fluidische Antriebe

H1	Grundlagen der fluidischen Energieübertragung	H 2
H1.1	Der Fließprozess	H 2
	H1.1.1 Energieübertragung durch Flüssigkeiten. – H1.1.2 Energieübertragung durch Gase.	
H1.2	Hydraulikflüssigkeiten	H 4
H1.3	Systematik	H 4
	H1.3.1 Aufbau und Funktion der Hydrogetriebe. – H1.3.2 Ordnung der Fluidgetriebe.	
H2	Bauelemente hydrostatischer Getriebe	H 6
H2.1	Verdrängermaschinen mit rotierender Welle	H 6
	H2.1.1 Verdrängermaschinen mit rotierender Welle. – H2.1.2 Flügelzellenpumpen. – H2.1.3 Kolbenpumpen. – H2.1.4 Andere Pumpenbauarten. – H2.1.5 Hydromotoren in Umlaufverdrängerbauart. – H2.1.6 Hydromotoren in Hubverdränger-(Kolben-)bauart.	
H2.2	Verdrängermaschinen mit translatorischem (Ein- und) Ausgang	H 12
H2.3	Hydroventile	H 12
	H2.3.1 Hydroventile. – H2.3.2 Sperrventile. – H2.3.3 Druckventile. – H2.3.4 Stromventile. – H2.3.5 Proportionalventile. – H2.3.6 Servoventile.	
H2.4	Hydraulikzubehör	H 15
H3	Aufbau und Funktion der Hydrogetriebe	H 16
H3.1	Hydrokreise	H 16
	H3.1.1 Offener Kreislauf. – H3.1.2 Geschlossener Kreislauf. – H3.1.3 Halboffener Kreislauf.	
H3.2	Funktion der Hydrogetriebe	H 16
	H3.2.1 Funktion der Hydrogetriebe. – H3.2.2 Dynamisches Betriebsverhalten.	
H3.3	Steuerung der Getriebeübersetzung	H 17
	H3.3.1 Steuerung der Getriebeübersetzung. – H3.3.2 Selbsttätig arbeitende Regler und Verstellungen an Verstellmaschinen. – H3.3.3 Stromteilgetriebe.	
H4	Ausführung und Auslegung von Hydrogetrieben	H 19
H4.1	Getriebeschaltung	H 19
H4.2	Auslegung von Hydrokreisen	H 20
H5	Pneumatische Antriebe	H 21
H5.1	Bauelemente	H 21
H5.2	Schaltung	H 21
H6	Anhang H: Diagramme und Tabellen	H 22
	Literatur zu Teil H Fluidische Antriebe	H 25

I Mechatronische Systeme

I1	Mechatronik: Methodik und Komponenten	I 2
I1.1	Einführung	I 2
I1.2	Basisdisziplinen	I 2
I1.3	Modellbildung und Entwurf	I 2
I1.4	Komponenten mechatronischer Systeme	I 5
	I1.4.1 Sensoren. – I1.4.2 Aktoren. – I1.4.3 Prozessdatenverarbeitung und Bussysteme.	
	Literatur	I 8

I2	Elektronische Bauelemente	I 10
I2.1	Passive Komponenten	I 10
	I2.1.1 Aufbau elektronischer Schaltungen. – I2.1.2 Widerstände. – I2.1.3 Kapazitäten. – I2.1.4 Induktivitäten.	
I2.2	Dioden	I 11
	I2.2.1 Diodenkennlinien. – I2.2.2 Schottky-Dioden. – I2.2.3 Kapazitätsdioden. – I2.2.4 Z-Dioden. – I2.2.5 Leistungsdioden.	
I2.3	Transistoren	I 12
	I2.3.1 Transistoren. – I2.3.2 Feldeffekttransistoren. – I2.3.3 IGB-Transistoren.	
I2.4	Thyristoren	I 15
	I2.4.1 Thyristorkennlinien. – I2.4.2 Steuerung des Thyristors. – I2.4.3 Triacs, Diacs. – I2.4.4 Abschaltbare Thyristoren.	
I2.5	Operationsverstärker	I 18
I2.6	Optoelektronische Komponenten	I 18
	I2.6.1 Optoelektronische Empfänger. – I2.6.2 Optoelektronische Sender. – I2.6.3 Optokoppler.	
	Literatur	I 20
I3	Aufbau mechatronischer Systeme	I 21
I3.1	Einführung	I 21
I3.2	Beispiele mechatronischer Systeme	I 21
	Literatur	I 23
K	Thermischer Apparatebau und Industrieöfen	
K1	Industrieöfen	K 2
K1.1	Grundlagen	K 2
K1.2	Charakterisierung	K 2
K1.3	Spezifischer Energieverbrauch	K 5
K1.4	Wärmetückgewinnung durch Luftvorwärmung	K 6
	Literatur	K 7
K2	Drehrohröfen	K 8
K2.1	Bauarten und Prozesse	K 8
	K2.1.1 Wirkungsweise. – K2.1.2 Materialtransport. – K2.1.3 Beheizung. – K2.1.4 Drehrohrmantel. – K2.1.5 Lagerung und Antrieb. – K2.1.6 Ofenköpfe. – K2.1.7 Sonderbauarten. – K2.1.8 Anbackungen. – K2.1.9 Historische Entwicklung. – K2.1.10 Thermische Behandlungsprozesse.	
K2.2	Quertransport	K 13
	K2.2.1 Arten der Querbewegung. – K2.2.2 Rolling Motion. – K2.2.3 Segregation.	
K2.3	Axialtransport	K 15
	K2.3.1 Bettiefenprofil. – K2.3.2 Mittlere Verweilzeit.	
K2.4	Wärmeübergang	K 15
	K2.4.1 Gesamtmechanismus. – K2.4.2 Direkter Wärmeübergang. – K2.4.3 Regenerativer Wärmeübergang. – K2.4.4 Axiale Temperaturverläufe.	
	Literatur	K 17
K3	Schacht-, Kupol- und Hochöfen	K 18
K3.1	Prozesse und Funktionsweisen	K 18
K3.2	Strömung	K 18
	K3.2.1 Druckverlust. – K3.2.2 Lückengrad. – K3.2.3 Quereinblasung.	
K3.3	Wärme- und Stoffübertragung	K 21
K3.4	Axiale Temperatur- und Massenstromprofile	K 21
	Literatur	K 22
K4	Öfen für geformtes Gut	K 23
K4.1	Betriebsweise	K 23

K4.2	Durchlauföfen	K 23
	K4.2.1 Stoßofen. – K4.2.2 Hubbalkenöfen. – K4.2.3 Tunnelwagenöfen. – K4.2.4 Rollenherdofen. – K4.2.5 Konstruktive Merkmale. – K4.2.6 Verfahrenstechnische Merkmale.	
K4.3	Beschreibung von Chargenöfen	K 30
K4.4	Beheizung	K 31
	K4.4.1 Direkte Beheizung. – K4.4.2 Indirekte Beheizung. – K4.4.3 Elektrobeheizung.	
K4.5	Wärmeübertragung	K 36
	K4.5.1 Strahlung in Industrieöfen. – K4.5.2 Konvektion. – K4.5.3 Wärmeübergang ins Solid.	
Literatur	. . . . .	K 43
K5	Feuerfestmaterialien	K 45
Literatur	. . . . .	K 47
K6	Wärmeübertrager	K 48
K6.1	Konstante Wärmestromdichte	K 48
K6.2	Konstante Wandtemperatur	K 48
K6.3	Wärmeübertragung Fluid–Fluid	K 49
	K6.3.1 Temperaturverläufe. – K6.3.2 Gleiche Kapazitätsströme (Gegenstrom). – K6.3.3 Ungleiche Kapazitätsstromverhältnisse.	
K6.4	Auslegung von Wärmeübertragern	K 50
K6.5	Kondensatoren	K 51
	K6.5.1 Grundbegriffe der Kondensation. – K6.5.2 Oberflächenkondensatoren. – K6.5.3 Luftgekühlte Kondensatoren.	
Literatur	. . . . .	K 54
K7	Konstruktionselemente von Apparaten und Rohrleitungen	K 55
K7.1	Berechnungsgrundlagen	K 55
K7.2	Zylindrische Mäntel und Rohre unter innerem Überdruck	K 55
K7.3	Zylindrische Mäntel unter äußerem Überdruck	K 56
K7.4	Ebene Böden	K 57
	K7.4.1 Wanddicke verschraubter runder ebener Böden ohne Ausschnitt. – K7.4.2 Wanddicke ebener Böden mit Ausschnitten.	
K7.5	Gewölbte Böden	K 58
K7.6	Ausschnitte	K 59
	K7.6.1 Spannungsbeanspruchte Querschnitte. – K7.6.2 Druckbeanspruchte Querschnittsflächen A_p .	
K7.7	Flanschverbindungen	K 60
	K7.7.1 Schrauben. – K7.7.2 Flansche.	
K7.8	Rohrleitungen	K 64
	K7.8.1 Rohrleitungen. – K7.8.2 Strömungsverluste. – K7.8.3 Rohrarten, Normen, Werkstoffe. – K7.8.4 Rohrverbindungen. – K7.8.5 Dehnungsausgleicher. – K7.8.6 Rohralterungen.	
K7.9	Absperr- und Regelorgane	K 68
	K7.9.1 Absperr- und Regelorgane. – K7.9.2 Ventile. – K7.9.3 Schieber. – K7.9.4 Hähne (Drehschieber). – K7.9.5 Klappen.	
K7.10	Dichtungen	K 72
	K7.10.1 Berührungsdichtungen an ruhenden Flächen. – K7.10.2 Berührungsdichtungen an gleitenden Flächen.	
Literatur	. . . . .	K 74
K8	Intensivkühlung heißer Metalle mit Flüssigkeiten	K 75
K8.1	Phänomenologie	K 75
K8.2	Tauchkühlung	K 77
K8.3	Spritzkühlung	K 78
	K8.3.1 Düsentechnik. – K8.3.2 Wärmeübergangsmechanismus. – K8.3.3 Filmverdampfung. – K8.3.4 Leidenfrosttemperatur. – K8.3.5 Blasenverdampfung. – K8.3.6 Einfluss der Wassertemperatur.	
K8.4	Wasserqualität	K 83
	K8.4.1 Gelöste Salze. – K8.4.2 Gelöste Gase. – K8.4.3 Polymere.	
Literatur	. . . . .	K 86

K9	Anhang K: Diagramme und Tabellen	K 88
	Literatur zu Teil K Thermischer Apparatebau und Industrieöfen	K 91
L	Energietechnik und Wirtschaft	
L1	Grundsätze der Energieversorgung	L 2
L1.1	Planung und Investitionen	L 3
L1.2	Elektrizitätswirtschaft	L 3
L1.3	Gaswirtschaft	L 6
L1.4	Fernwärmewirtschaft	L 7
	L1.4.1 Stand der Fernwärmeversorgung und Entwicklungsmöglichkeiten.	
L2	Primärenergien	L 9
L2.1	Definitionen	L 9
L2.2	Feste Brennstoffe	L 9
	L2.2.1 Natürliche feste Brennstoffe. – L2.2.2 Künstliche feste Brennstoffe. – L2.2.3 Abfallbrennstoffe. – L2.2.4 Eigenschaften. – L2.2.5 Mineralische Bestandteile.	
L2.3	Flüssige Brennstoffe	L 11
	L2.3.1 Zusammensetzung. – L2.3.2 Natürliche flüssige Brennstoffe. – L2.3.3 Künstliche flüssige Brennstoffe. – L2.3.4 Abfallbrennstoffe. – L2.3.5 Eigenschaften.	
L2.4	Gasförmige Brennstoffe oder Brenngase	L 13
	L2.4.1 Natürliche Brenngase. – L2.4.2 Künstliche Brenngase. – L2.4.3 Eigenschaften.	
L2.5	Kernbrennstoffe	L 14
	L2.5.1 Brutprozess. – L2.5.2 Brennstoffkreislauf. – L2.5.3 Endlagerung radioaktiver Abfälle.	
L2.6	Regenerative Energien	L 17
	L2.6.1 Wasserenergie. – L2.6.2 Windenergie. – L2.6.3 Solarenergie. – L2.6.4 Geothermische Energie. – L2.6.5 Biogas. – L2.6.6 Biomasse.	
	Literatur	L 21
L3	Wandlung von Primärenergie in Nutzenergie	L 22
L3.1	Erzeugung elektrischer Energie	L 22
	L3.1.1 Wärmekraftwerke. – L3.1.2 Kernkraftwerke. – L3.1.3 Kombi-Kraftwerke. – L3.1.4 Motorkraftwerke. – L3.1.5 Brennstoffzelle.	
L3.2	Kraft-Wärme-Kopplung	L 30
L3.3	Wandlung regenerativer Energien	L 32
	L3.3.1 Wasserkraftanlagen. – L3.3.2 Windkraftanlagen. – L3.3.3 Anlagen zur Nutzung der Sonnenenergie. – L3.3.4 Wärmepumpen. – L3.3.5 Prognose Windenergie.	
	Literatur	L 37
L4	Verteilen und Speicherung von Nutzenergie	L 38
L4.1	Energietransport	L 38
	L4.1.1 Mineralöltransporte. – L4.1.2 Erdgastransporte. – L4.1.3 Elektrische Verbundnetze. – L4.1.4 Fernwärmetransporte.	
L4.2	Energiespeicherung	L 40
	L4.2.1 Pumpspeicherwerke. – L4.2.2 Druckluftspeicherwerke. – L4.2.3 Dampfspeicherung. – L4.2.4 Elektrische Speicher.	
L5	Feuerungen	L 44
L5.1	Allgemeines	L 44
	L5.1.1 Verbrennungsvorgang. – L5.1.2 Kennzahlen. – L5.1.3 Druckzustände. – L5.1.4 Emissionen.	
L5.2	Feuerungen für feste Brennstoffe	L 46
	L5.2.1 Rostfeuerungen. – L5.2.2 Kohlenstaubfeuerung. – L5.2.3 Wirbelschichtfeuerung.	
L5.3	Feuerungen für flüssige Brennstoffe	L 52
	L5.3.1 Besondere Eigenschaften. – L5.3.2 Brenner. – L5.3.3 Gesamtanlage.	
L5.4	Feuerungen für gasförmige Brennstoffe	L 53
	L5.4.1 Verbrennung und Brennereinteilung. – L5.4.2 Brennerbauarten.	
L5.5	Allgemeines Feuerungszubehör	L 53
	L5.5.1 Gebläse. – L5.5.2 Schornstein.	

L5.6	Umweltschutztechnologien	L 54
	L5.6.1 Rauchgasstaubung. – L5.6.2 Rauchgasentschwefelung. – L5.6.3 Rauchgasentstickung. – L5.6.4 Entsorgung der Kraftwerksnebenprodukte. – L5.6.5 Kohlendioxidabscheidung.	
Literatur	. . . . .	L 57
L6	Dampferzeuger	L 59
L6.1	Angaben zum System	L 59
	L6.1.1 Bauarten. – L6.1.2 Dampferzeugersysteme. – L6.1.3 Drücke. – L6.1.4 Temperaturen. – L6.1.5 Leistung. – L6.1.6 Sicherheit.	
L6.2	Ausgeführte Dampferzeuger	L 60
	L6.2.1 Großwasserraumkessel. – L6.2.2 Naturumlaufkessel für fossile Brennstoffe. – L6.2.3 Zwanglaufkessel für fossile Brennstoffe. – L6.2.4 Dampferzeuger für Kernreaktoren.	
L6.3	Teile und Bauelemente von Dampferzeugern	L 65
	L6.3.1 Teile und Bauelemente von Dampferzeugern. – L6.3.2 Überhitzer und Zwischenüberhitzer. – L6.3.3 Speisewasservorwärmer (Eco). – L6.3.4 Luftvorwärmer (Luvo). – L6.3.5 Speisewasseraufbereitung.	
L6.4	Wärmetechnische Berechnung	L 68
	L6.4.1 Energiebilanz und Wirkungsgrad. – L6.4.2 Ermittlung der Heizfläche. – L6.4.3 Strömungswiderstände. – L6.4.4 Festigkeitsberechnung.	
Literatur	. . . . .	L 69
L7	Kernreaktoren	L 70
L7.1	Bauteile des Reaktors und Reaktorgebäude	L 70
L7.2	Sicherheitstechnik	L 70
L7.3	Funktionsbedingungen für Kernreaktoren	L 71
L7.4	Bauarten von Kernreaktoren	L 71
	L7.4.1 Leichtwasserreaktoren (LWR). – L7.4.2 Schwerwasserreaktoren. – L7.4.3 Gasgekühlte thermische Reaktoren. – L7.4.4 Schnelle Brutreaktoren (SNR). – L7.4.5 Kennwerte von Reaktortypen.	
Literatur	. . . . .	L 74
L8	Anhang L: Diagramme und Tabellen	L 75
Literatur zu Teil L	Energietechnik und Wirtschaft	L 78
M	Kälte-, Klima- und Heizungstechnik	
M1	Kältetechnik	M 2
M1.1	Einsatzgebiete	M 2
M1.2	Kältetechnische Verfahren	M 2
	M1.2.1 Kaldampf-Kompressionskälteanlage. – M1.2.2 Absorptionskälteanlage. – M1.2.3 Verdunstungskühlverfahren.	
M1.3	Kältetechnische Betriebsstoffe	M 5
	M1.3.1 Kältemittel. – M1.3.2 Kältemaschinen-Öle. – M1.3.3 Kältsolen.	
M1.4	Systeme und Bauteile der kältetechnischen Anlagen	M 9
	M1.4.1 Kältemittelverdichter. – M1.4.2 Verdampfer. – M1.4.3 Verflüssiger. – M1.4.4 Sonstige Bauteile.	
M1.5	Direktverdampfer-Anlagen	M 13
	M1.5.1 Verflüssigersätze, Splittergeräte für Klimaanlage.	
M1.6	Kaltwassersätze	M 14
	M1.6.1 Kompressions-Kaltwassersätze. – M1.6.2 Absorptions-Kaltwassersatz.	
M1.7	Rückkühlwerke	M 16
	M1.7.1 Kühlwassertemperaturen im Jahresverlauf. – M1.7.2 Wasserbehandlung.	
M1.8	Freie Kühlung	M 17
	M1.8.1 Freie Kühlung. – M1.8.2 Freie Kühlung durch Solekreislauf. – M1.8.3 Freie Kühlung durch Kältemittel-Pumpen-System. – M1.8.4 Freie Kühlung durch Rückkühlwerk.	
M1.9	Speichersysteme	M 18
	M1.9.1 Eisspeichersysteme. – M1.9.2 Kältespeicherung in eutektischer Lösung. – M1.9.3 Kältespeicherung in Binäris.	
M1.10	Wärmepumpenanlagen	M 20
	M1.10.1 Wärmequellen. – M1.10.2 Kleinwärmepumpen. – M1.10.3 Wärmepumpen größerer Leistung. – M1.10.4 Absorptionswärmepumpen. – M1.10.5 Wärmepumpensysteme Heizbetrieb. – M1.10.6 Systeme für gleichzeitigen Kühl- und Heizbetrieb. – M1.10.7 Wärmepumpen in Heizsystemen.	

Literatur	M 25
M2 Klimatechnik	M 28
M2.1 Anforderungen an das Raumklima	M 28
M2.1.1 Raumluftfeuchte. – M2.1.2 Raumluftgeschwindigkeit. – M2.1.3 Schadstoffgehalt. – M2.1.4 Weitere Einflussgrößen.	
M2.2 Auslegung von Klimaanlage	M 32
M2.2.1 Meteorologische Grundlagen. – M2.2.2 Heizlast. – M2.2.3 Kühllast. – M2.2.4 Luft-Volumenstrom.	
M2.3 Luftführung und Luftdurchlässe	M 35
M2.3.1 Luftführung. – M2.3.2 Luftdurchlässe.	
M2.4 Komponenten von Lüftungs- und Klimaanlage	M 40
M2.4.1 Ventilatoren. – M2.4.2 Lufterhitzer, -kühler. – M2.4.3 Luftbefeuchter. – M2.4.4 Wärmerückgewinnung. – M2.4.5 Luftfilter. – M2.4.6 Schalldämpfer. – M2.4.7 Luftkanalsystem. – M2.4.8 Mess- und Regelungstechnik.	
M2.5 Lüftungsanlage	M 59
M2.5.1 Einrichtungen zur freien Lüftung. – M2.5.2 Mechanische Lüftungsanlagen.	
M2.6 Zentrale Raumlufttechnische Anlagen	M 60
M2.6.1 Zentrale Raumlufttechnische Anlagen. – M2.6.2 Nur-Luft-Anlagen. – M2.6.3 Luft-Wasser-Anlagen.	
M2.7 Dezentrale Klimaanlage	M 66
M2.8 Berücksichtigung von Klimaanlage nach Energieeinsparverordnung	M 68
Literatur	M 71
M3 Systeme und Bauteile der Heizungstechnik	M 73
M3.1 Einzelheizung	M 73
M3.2 Zentralheizung	M 73
M3.2.1 Systeme. – M3.2.2 Raum-Heizkörper, -Heizflächen. – M3.2.3 Rohrnetz. – M3.2.4 Armaturen. – M3.2.5 Umwälzpumpen. – M3.2.6 Wärmeerzeugung. – M3.2.7 Heizzentrale. – M3.2.8 Wärmeverbrauchsermittlung.	
Literatur	M 81
M4 Anhang M: Diagramme und Tabellen	M 84
N Grundlagen der Verfahrenstechnik	
N1 Einführung	N 2
Literatur	N 3
N2 Mechanische Verfahrenstechnik	N 4
N2.1 Einführung	N 4
N2.2 Zerkleinern	N 4
N2.2.1 Bruchphysik. – N2.2.2 Zerkleinerungsmaschinen.	
N2.3 Agglomerieren/Granulieren	N 5
N2.3.1 Bindemechanismen, Agglomeratfestigkeit. – N2.3.2 Agglomerationstechnik.	
N2.4 Trennen	N 7
N2.4.1 Abscheiden von Partikeln aus Gasen. – N2.4.2 Abscheiden von Feststoffpartikeln aus Flüssigkeiten. – N2.4.3 Klassieren in Gasen.	
N2.5 Mischen von Feststoffen	N 9
N2.6 Lagern	N 9
N2.6.1 Fließverhalten von Schüttgütern. – N2.6.2 Dimensionierung von Silos.	
Literatur	N 10
N3 Thermische Verfahrenstechnik	N 11
N3.1 Absorbieren, Rektifizieren, Flüssig-flüssig-Extrahieren	N 11
N3.1.1 Durchsatz. – N3.1.2 Stofftrennung.	
N3.2 Verdampfen und Kristallisieren	N 14
N3.3 Adsorbieren, Trocknen, Fest-flüssig-Extrahieren	N 16

N3.4	Membrantrennverfahren	N 18
	Literatur	N 19
N4	Chemische Verfahrenstechnik	N 20
N4.1	Einleitung	N 20
N4.2	Stöchiometrie	N 20
N4.3	Chemische Thermodynamik	N 21
N4.4	Kinetik chemischer Reaktionen	N 22
N4.5	Ideale isotherme Reaktoren	N 23
N4.6	Reale Reaktoren	N 25
	Literatur	N 27
N5	Mehrphasenströmungen	N 28
N5.1	Einphasenströmung	N 28
N5.2	Widerstand fester und fluider Partikel	N 28
N5.3	Feststoff/Fluidströmung N5.3.1 Pneumatische Förderung. – N5.3.2 Hydraulische Förderung. – N5.3.3 Wirbelschicht.	N 29
N5.4	Gas-/Flüssigkeitsströmung N5.4.1 Strömungsform. – N5.4.2 Druckverlust. – N5.4.3 Filmströmung.	N 34
	Literatur	N 35
N6	Bioverfahrenstechnik	N 36
N6.1	Mikroorganismen mit technischer Bedeutung N6.1.1 Bakterien. – N6.1.2 Pilze. – N6.1.3 Hefen. – N6.1.4 Algen. – N6.1.5 Viren. – N6.1.6 Pflanzliche und tierische Zellen.	N 36
N6.2	Kultivierungsbedingungen N6.2.1 Wachstumsbedingungen. – N6.2.2 Phänomenologie des Wachstums. – N6.2.3 Ablauf technischer Kultivierungen.	N 38
N6.3	Sterilisation N6.3.1 Hitzesterilisation. – N6.3.2 Sterilfiltration.	N 42
N6.4	Bioreaktoren N6.4.1 Oberflächenkultivierung. – N6.4.2 Submerskultivierung. – N6.4.3 Mess- und Regelungstechnik. – N6.4.4 Schaumzerstörung. – N6.4.5 Steriler Betrieb.	N 44
N6.5	Kinetik enzymatischer Reaktionen N6.5.1 Kinetik enzymatischer Reaktionen. – N6.5.2 Michaelis-Menten-Kinetik. – N6.5.3 Transformationen der Michaelis-Menten-Gleichung. – N6.5.4 Einfluss von Temperatur, pH-Wert, Inhibitoren und Aktivatoren.	N 47
N6.6	Kinetik des mikrobiellen Wachstums N6.6.1 Substratlimitiertes Wachstum. – N6.6.2 Wachstumshemmung. – N6.6.3 Wachstum mit Transportlimitierung. – N6.6.4 Wachstum in kontinuierlicher Kultivierung. – N6.6.5 Fed-Batch-Kultivierung. – N6.6.6 Zellerhaltung. – N6.6.7 Filamentöses Wachstum. – N6.6.8 Produktbildungskinetik.	N 49
	Literatur	N 56
O	Maschinendynamik	
O1	Kurbeltrieb, Massenkräfte und -momente, Schwungradberechnung	O 2
O1.1	Drehkraftdiagramm von Mehrzylindermaschinen	O 2
O1.2	Massenkräfte und Momente O1.2.1 Massenkräfte und Momente. – O1.2.2 Ausgleich der Kräfte und Momente.	O 4
	Literatur	O 9
O2	Schwingungen	O 10
O2.1	Problematik der Maschinenschwingungen	O 10
O2.2	Einige Grundbegriffe O2.2.1 Mechanisches Ersatzsystem. – O2.2.2 Bewegungsgleichungen, Systemmatrizen. – O2.2.3 Modale Parameter – Eigenfrequenzen, modale Dämpfungen, Eigenvektoren. – O2.2.4 Modale Analyse. – O2.2.5 Frequenzgangfunktionen mechanischer Systeme, Amplituden- und Phasengang.	O 10

O2.3	Grundaufgaben der Maschinendynamik	O 13
	O2.3.1 Direktes Problem. – O2.3.2 Eingangsproblem. – O2.3.3 Identifikationsproblem. – O2.3.4 Entwurfsproblem. – O2.3.5 Verbesserung des Schwingungszustands einer Maschine.	
O2.4	Darstellung von Schwingungen im Zeit- und Frequenzbereich	O 14
	O2.4.1 Darstellung von Schwingungen im Zeit- und Frequenzbereich. – O2.4.2 Darstellung von Schwingungen im Frequenzbereich.	
O2.5	Entstehung von Maschinenschwingungen, Erregerkräfte $F(t)$	O 16
	O2.5.1 Entstehung von Maschinenschwingungen, Erregerkräfte $F(t)$. – O2.5.2 Selbsterregte Schwingungen. – O2.5.3 Parametererregte Schwingungen. – O2.5.4 Erzwungene Schwingungen.	
O2.6	Mechanische Ersatzsysteme, Bewegungsgleichungen	O 20
	O2.6.1 Strukturfestlegung. – O2.6.2 Parameterermittlung.	
O2.7	Anwendungsbeispiele für Maschinenschwingungen	O 21
	O2.7.1 Drehschwinger mit zwei Drehmassen. – O2.7.2 Torsionsschwingungen einer Turbogruppe. – O2.7.3 Maschinenwelle mit einem Laufrad (Ventilator). – O2.7.4 Tragstruktur (Balken) mit aufgesetzter Maschine.	
Literatur	. . . . .	O 29
O3	Maschinenakustik	O 30
O3.1	Grundbegriffe	O 30
	O3.1.1 Schall, Frequenz, Hörbereich, Schalldruck, Schalldruckpegel, Lautstärke. – O3.1.2 Schnelle, Schnellepegel, Kennimpedanz. – O3.1.3 Schallintensität, Schallintensitätspegel. – O3.1.4 Schalleistung, Schalleistungspegel. – O3.1.5 Fourierspektrum, Spektrogramm, Geräuschanalyse. – O3.1.6 Frequenzbewertung, A-, C- und Z-Bewertung. – O3.1.7 Bezugswerte, Pegelarithmetik.	
O3.2	Geräuschenstehung	O 32
	O3.2.1 Direkte und indirekte Geräuschenstehung. – O3.2.2 Maschinenakustische Grundgleichung. – O3.2.3 Anregungskräfte. – O3.2.4 Körperschallfunktion. – O3.2.5 Luftschallabstrahlung.	
O3.3	Möglichkeiten zur Geräuschkürzung	O 35
	O3.3.1 Möglichkeiten zur Geräuschkürzung. – O3.3.2 Verminderung der Körperschallfunktion. – O3.3.3 Verminderung der Luftschallabstrahlung.	
O3.4	Aktive Maßnahmen zur Lärm- und Schwingungskürzung	O 37
O3.5	Numerische Verfahren zur Simulation von Luft- und Körperschall	O 38
O3.6	Strukturintensität und Körperschallfluss	O 39
Literatur	. . . . .	O 41
P	Kolbenmaschinen	
P1	Allgemeine Grundlagen der Kolbenmaschinen	P 2
P1.1	Definition und Einteilung der Kolbenmaschinen	P 2
P1.2	Vollkommene und reale Kolbenmaschine	P 2
	P1.2.1 Die vollkommene Maschine. – P1.2.2 Die reale Maschine.	
P1.3	Hubkolbenmaschinen	P 4
	P1.3.1 Hubkolbenmaschinen. – P1.3.2 Kinematik des Kurbeltriebs. – P1.3.3 Kräfte am Kurbeltrieb.	
P1.4	Elemente der Kolbenmaschine	P 8
	P1.4.1 Elemente der Kolbenmaschine. – P1.4.2 Abdichten des Arbeitsraumes. – P1.4.3 Zylinderanordnung und -zahl. – P1.4.4 Lagerung und Schmierung. – P1.4.5 Kühlung.	
Literatur	. . . . .	P 13
P2	Verdrängerpumpen	P 14
P2.1	Bauarten und Anwendungsgebiete	P 14
P2.2	Berechnungsgrundlagen	P 15
	P2.2.1 Berechnungsgrundlagen. – P2.2.2 Förderleistung, Antriebsleistung, Gesamtwirkungsgrad. – P2.2.3 Instationäre Strömung. – P2.2.4 Kavitation. – P2.2.5 Pulsationsdämpfung.	
P2.3	Verlustteilung	P 18
	P2.3.1 Verlustteilung. – P2.3.2 Definition von Wirkungsgraden. – P2.3.3 Volumetrische Verluste. – P2.3.4 Mechanisch-hydraulische Verluste. – P2.3.5 Nutzliefergrad und Gesamtwirkungsgrad.	
P2.4	Auslegung und Hauptabmessungen	P 20
	P2.4.1 Auslegung und Hauptabmessungen. – P2.4.2 Rotierende Verdrängerpumpen.	

P2.5	Baugruppen und konstruktive Gestaltung	P 22
	P2.5.1 Baugruppen und konstruktive Gestaltung. – P2.5.2 Verstellung und Regelung. – P2.5.3 Verwendungsbedingte Gestaltung.	
Literatur	. . . . .	P 26
P3	Kompressoren, Verdichter	P 27
P3.1	Bauarten und Anwendungsgebiete	P 27
P3.2	Grundlagen und Vergleichsprozesse	P 27
	P3.2.1 Grundlagen und Vergleichsprozesse. – P3.2.2 Verdichtung idealer und realer Gase. – P3.2.3 Vergleichsprozesse für einstufige Verdichtung. – P3.2.4 Definition von Wirkungsgraden. – P3.2.5 Mehrstufige Verdichtung. – P3.2.6 Verdichtung feuchter Gase.	
P3.3	Arbeitszyklus, Liefergrade und Druckverluste	P 31
	P3.3.1 Arbeitszyklus. – P3.3.2 Liefergrade. – P3.3.3 Druckverluste.	
P3.4	Auslegung und Hauptabmessungen	P 34
	P3.4.1 Hubkolbenverdichter. – P3.4.2 Schraubenverdichter. – P3.4.3 Rotationsverdichter. – P3.4.4 Flüssigkeitsringverdichter. – P3.4.5 Roots-Gebläse.	
P3.5	Ein- und Auslassteuerung	P 37
	P3.5.1 Aufbau selbsttätiger Ventile. – P3.5.2 Ventileinbau. – P3.5.3 Ventilauslegung.	
P3.6	Regelung und Betriebsverhalten	P 40
	P3.6.1 Regelung. – P3.6.2 Betriebsverhalten.	
P3.7	Bauformen und Baugruppen	P 43
	P3.7.1 Hubkolbenverdichter. – P3.7.2 Membranverdichter. – P3.7.3 Schraubenverdichter. – P3.7.4 Rotationsverdichter.	
Literatur	. . . . .	P 46
P4	Verbrennungsmotoren	P 48
P4.1	Einteilung und Verwendung	P 48
P4.2	Arbeitsverfahren und Arbeitsprozesse	P 48
	P4.2.1 Arbeitsverfahren und Arbeitsprozesse. – P4.2.2 Vergleichsprozesse. – P4.2.3 Wirklicher Arbeitsprozess.	
P4.3	Ladungswechsel	P 54
	P4.3.1 Ladungswechsel. – P4.3.2 Steuerorgane für den Ladungswechsel. – P4.3.3 Ladungswechsel des Viertaktmotors. – P4.3.4 Ladungswechsel des Zweitaktmotors. – P4.3.5 Aufladung von Motoren.	
P4.4	Verbrennung im Motor	P 62
	P4.4.1 Motoren-Kraftstoffe. – P4.4.2 Gemischbildung und Verbrennung im Ottomotor. – P4.4.3 Gemischbildung und Verbrennung im Dieselmotor. – P4.4.4 Hybride Verfahren für Gemischbildung und Verbrennung.	
P4.5	Verfahren zur Gemischbildung und Zündung bei Ottomotoren	P 66
	P4.5.1 Verfahren zur Gemischbildung und Zündung bei Ottomotoren. – P4.5.2 Vergaser. – P4.5.3 Saugrohr-Benzin-Einspritzung. – P4.5.4 Direkte Benzin-Einspritzung. – P4.5.5 Zündausrüstung.	
P4.6	Einrichtungen zur Gemischbildung und Zündung bei Dieselmotoren	P 69
	P4.6.1 Einrichtungen zur Gemischbildung und Zündung bei Dieselmotoren. – P4.6.2 Einspritzdüse. – P4.6.3 Start- und Zündhilfen.	
P4.7	Betriebsverhalten und Kenngrößen	P 73
	P4.7.1 Leistung, Drehmoment und Verbrauch. – P4.7.2 Kenngrößen. – P4.7.3 Umweltverhalten. – P4.7.4 Verbrennungsmotor als Antriebsaggregat.	
P4.8	Konstruktion von Motoren	P 81
	P4.8.1 Ähnlichkeitsbeziehungen und Beanspruchung. – P4.8.2 Motorbauarten. – P4.8.3 Motorbauteile. – P4.8.4 Ausgeführte Motorkonstruktionen.	
Literatur	. . . . .	P 91
P5	Motoren für den maritimen Betrieb	P 93
P5.1	Grundsätzliches	P 93
P5.2	Kraftstoffe	P 95
	P5.2.1 Flüssige Kraftstoffe. – P5.2.2 Gasförmige Kraftstoffe.	
P5.3	Motor Auslegung und Design	P 98
P5.4	Thermodynamik	P 104
	P5.4.1 Grundausslegung. – P5.4.2 Brennverfahren. – P5.4.3 Emissionen. – P5.4.4 Motorapplikation und Betrieb.	

Literatur	P 109
Q Fahrzeugtechnik	
Q1 Kraftfahrzeugtechnik	Q 2
Q1.1 Definition von Kraftfahrzeugen	Q 2
Q1.2 Bedeutung von Kraftfahrzeugen	Q 2
Q1.3 Karosserie	Q 3
Q1.4 Fahrwerk	Q 5
Q1.4.1 Räder. – Q1.4.2 Radführungen. – Q1.4.3 Federung und Dämpfung. – Q1.4.4 Lenkung.	
Q1.5 Antrieb und Bremsen	Q 11
Q1.5.1 Bremsen. – Q1.5.2 Fahrdynamikregelsysteme. – Q1.5.3 Energiewandlung. – Q1.5.4 Kupplung und Kennungswandler. – Q1.5.5 Achsgetriebe.	
Q1.6 Ausstattungen	Q 22
Q1.6.1 Verglasung, Scheibenwischer. – Q1.6.2 Sitzanlage, Bedienelemente, Anzeigen. – Q1.6.3 Heizung und Klimatisierung. – Q1.6.4 Systeme für den Insassenschutz. – Q1.6.5 Licht und Beleuchtung. – Q1.6.6 Fahrerassistenzsysteme.	
Q1.7 Elektrische Infrastruktur	Q 25
Q1.8 Eigenschaften des Gesamtfahrzeugs	Q 27
Q1.8.1 Package, Ergonomie, Mensch-Maschine-Interface. – Q1.8.2 Fahrdynamik. – Q1.8.3 Aerodynamik. – Q1.8.4 Verbrauch und CO ₂ -Emission. – Q1.8.5 Abgasverhalten. – Q1.8.6 Geräusch. – Q1.8.7 Fahrzeugsicherheit. – Q1.8.8 Betriebsfestigkeit.	
Q1.9 Typgenehmigung	Q 33
Q1.10 Entwicklungsprozesse und -methoden	Q 33
Literatur	Q 35
Q2 Schienenfahrzeuge	Q 37
Q2.1 Generelle Anforderungen	Q 37
Q2.1.1 Fahrzeugbegrenzungsprofil. – Q2.1.2 Fahrgastwechselzeiten. – Q2.1.3 Lebenszykluskosten LCC.	
Q2.2 Fahrwerke	Q 39
Q2.2.1 Grundbegriffe der Spurführungstechnik. – Q2.2.2 Radbauarten. – Q2.2.3 Radsatz. – Q2.2.4 Rad-Schiene-Kontakt. – Q2.2.5 Fahrwerkskonstruktionen. – Q2.2.6 Neigetechnik.	
Q2.3 Aufbau, Fahrzeugarten	Q 47
Q2.3.1 Rohbau. – Q2.3.2 Klimaanlage. – Q2.3.3 Türen. – Q2.3.4 Fenster. – Q2.3.5 Führerräume. – Q2.3.6 Zug-Stoßeinrichtungen. – Q2.3.7 Fahrzeugarten.	
Q2.4 Antriebe	Q 55
Q2.4.1 Antriebe. – Q2.4.2 Konstruktionen.	
Q2.5 Elektrische/Elektronische Ausrüstung/Diagnose	Q 57
Q2.5.1 Elektrische/Elektronische Ausrüstung/Diagnose. – Q2.5.2 Diagnosetechnik.	
Q2.6 Sicherheitstechnik	Q 59
Q2.6.1 Sicherheitstechnik. – Q2.6.2 Passive Sicherheit.	
Q2.7 Entwicklungsmethodik	Q 63
Q2.7.1 Entwicklungsmethodik. – Q2.7.2 Fahrkomfort. – Q2.7.3 Rad-Schiene-Kräfte.	
Q2.8 Zuverlässigkeitsprüfung	Q 67
Literatur	Q 67
Q3 Luftfahrzeuge	Q 69
Q3.1 Allgemeines	Q 69
Q3.1.1 Luftverkehr. – Q3.1.2 Anforderungen an den Luftverkehr und an Luftfahrzeuge. – Q3.1.3 Einordnung und Konstruktionsgruppen von Luftfahrzeugen. – Q3.1.4 Einordnung von Luftfahrzeugen nach Vorschriften.	
Q3.2 Definitionen	Q 72
Q3.2.1 Die internationale Standardatmosphäre (ISA). – Q3.2.2 Achsenkreuze. – Q3.2.3 Winkel. – Q3.2.4 Gewichte. – Q3.2.5 Fluggeschwindigkeiten. – Q3.2.6 Geometrische Beschreibung des Luftfahrzeuges. – Q3.2.7 Kräfte und Winkel im Flug. – Q3.2.8 Flugsteuerung. – Q3.2.9 Flugstabilitäten.	
Q3.3 Grundlagen der Flugphysik	Q 81
Q3.3.1 Grundlagen der Flugphysik. – Q3.3.2 Flugzeugpolare. – Q3.3.3 Flugleistungen.	

Q3.4	Zelle, Struktur	Q 91
	Q3.4.1 Konstruktionsphilosophien und -prinzipien. – Q3.4.2 Lasten, Lastannahmen. – Q3.4.3 Leichtbau. – Q3.4.4 Werkstoffe und Bauweisen. – Q3.4.5 Rumpf. – Q3.4.6 Tragflügel. – Q3.4.7 Wartung und Instandhaltung.	
Literatur	. . . . .	Q 102
R	Strömungsmaschinen	
R1	Grundlagen der Strömungsmaschinen	R 2
R1.1	Strömungstechnik	R 2
	R1.1.1 Einleitung und Definitionen. – R1.1.2 Wirkungsweise. – R1.1.3 Strömungsgesetze. – R1.1.4 Absolute und relative Strömung. – R1.1.5 Schaufelanordnung für Pumpen und Verdichter (Arbeitsmaschinen). – R1.1.6 Schaufelanordnung für Turbinen (Kraftmaschinen). – R1.1.7 Schaufelgitter, Stufe, Maschine, Anlage.	
R1.2	Thermodynamik	R 5
	R1.2.1 Thermodynamische Gesetze. – R1.2.2 Zustandsänderung. – R1.2.3 Totaler Wirkungsgrad. – R1.2.4 Statischer Wirkungsgrad. – R1.2.5 Polytroper und isentroper Wirkungsgrad. – R1.2.6 Mechanische Verluste.	
R1.3	Arbeitsfluid	R 7
	R1.3.1 Allgemeiner Zusammenhang zwischen thermischen und kalorischen Zustandsgrößen. – R1.3.2 Ideale Flüssigkeit. – R1.3.3 Ideales Gas. – R1.3.4 Reales Fluid. – R1.3.5 Kavitation bei Flüssigkeiten. – R1.3.6 Kondensation bei Dämpfen.	
R1.4	Schaufelgitter	R 10
	R1.4.1 Anordnung der Schaufeln im Gitter. – R1.4.2 Leit- und Laufgitter. – R1.4.3 Einteilung nach Geschwindigkeits- und Druckänderung. – R1.4.4 Reale Strömung in Schaufelgittern. – R1.4.5 Gitterauslegung. – R1.4.6 Strömungsverluste.	
R1.5	Stufen	R 13
	R1.5.1 Zusammensetzen von Gittern zu Stufen. – R1.5.2 Stufenkenngrößen. – R1.5.3 Axiale Repetierstufe eines vielstufigen Verdichters. – R1.5.4 Radiale Repetierstufe eines Verdichters. – R1.5.5 Kenngrößen-Bereiche für Verdichterstufen. – R1.5.6 Axiale Repetierstufe einer Turbine. – R1.5.7 Radiale Turbinenstufe. – R1.5.8 Kenngrößen-Bereiche für Turbinenstufen.	
R1.6	Maschine	R 18
	R1.6.1 Beschauelung, Ein- und Austrittsgehäuse. – R1.6.2 Maschinenkenngrößen. – R1.6.3 Wahl der Bauweise.	
R1.7	Betriebsverhalten und Regelmöglichkeiten	R 20
	R1.7.1 Zusammenwirken von Strömungsmaschine und Anlage. – R1.7.2 Regelung von Strömungsmaschinen. – R1.7.3 Kennfeld und Betriebsverhalten von Verdichtern.	
R1.8	Beanspruchung und Festigkeit der wichtigsten Bauteile	R 22
	R1.8.1 Rotierende Scheibe, rotierender Zylinder. – R1.8.2 Durchbiegung, kritische Drehzahlen von Rotoren. – R1.8.3 Beanspruchung der Schaufeln durch Fliehkräfte. – R1.8.4 Beanspruchung der Schaufeln durch stationäre Strömungskräfte. – R1.8.5 Schaufelschwingungen. – R1.8.6 Gehäuse. – R1.8.7 Thermische Beanspruchung.	
Literatur	. . . . .	R 29
R2	Wasserturbinen	R 30
R2.1	Allgemeines	R 30
	R2.1.1 Allgemeines. – R2.1.2 Wasserkraftwerke. – R2.1.3 Wirtschaftliches.	
R2.2	Gleichdruckturbinen	R 31
	R2.2.1 Gleichdruckturbinen. – R2.2.2 Ossbergerturbinen.	
R2.3	Überdruckturbinen	R 32
	R2.3.1 Überdruckturbinen. – R2.3.2 Kaplanurbinen. – R2.3.3 Dériazturbinen.	
R2.4	Werkstoffe	R 33
R2.5	Kennliniendarstellungen	R 34
R2.6	Extreme Betriebsverhältnisse	R 34
R2.7	Laufwasser- und Speicherkraftwerke	R 35
Literatur	. . . . .	R 36
R3	Kreiselpumpen	R 37
R3.1	Allgemeines	R 37

R3.2	Bauarten	R 37
	R3.2.1 Bauarten. – R3.2.2 Gehäuse. – R3.2.3 Fluid. – R3.2.4 Werkstoff. – R3.2.5 Antrieb.	
R3.3	Betriebsverhalten	R 39
	R3.3.1 Betriebsverhalten. – R3.3.2 Kennlinien. – R3.3.3 Anpassung der Kreiselpumpe an den Leistungsbedarf. – R3.3.4 Achsschubausgleich.	
R3.4	Ausgeführte Pumpen	R 46
	R3.4.1 Wasserwirtschaft. – R3.4.2 Kraftwerkstechnik. – R3.4.3 Verfahrenstechnik. – R3.4.4 Andere Einsatzgebiete.	
	Literatur	R 48
R4	Schiffspropeller	R 49
R4.1	Allgemeines	R 49
R4.2	Schiffspropeller	R 49
	Literatur	R 50
R5	Föttinger-Getriebe	R 51
R5.1	Prinzip und Bauformen	R 51
R5.2	Auslegung	R 52
R5.3	Föttinger-Kupplungen	R 53
R5.4	Bremsen	R 53
R5.5	Föttinger-Wandler	R 54
	Literatur	R 54
R6	Dampfturbinen	R 55
R6.1	Benennungen	R 55
R6.2	Bauarten	R 55
	R6.2.1 Bauarten. – R6.2.2 Industrieturbinen. – R6.2.3 Kleinturbinen.	
R6.3	Konstruktionselemente	R 61
	R6.3.1 Konstruktionselemente. – R6.3.2 Ventile und Klappen. – R6.3.3 Beschauelung. – R6.3.4 Wellendichtungen. – R6.3.5 Läufer-Dreheinrichtung. – R6.3.6 Lager.	
R6.4	Anfahren und Betrieb	R 64
R6.5	Regelung, Sicherheits- und Schutzeinrichtungen	R 64
R6.6	Berechnungsverfahren	R 65
	R6.6.1 Allgemeines. – R6.6.2 Auslegung von Industrieturbinen.	
R7	Turboverdichter	R 67
R7.1	Einteilung und Einsatzbereiche	R 67
	R7.1.1 Allgemeines. – R7.1.2 Ventilatoren. – R7.1.3 Axialverdichter. – R7.1.4 Radialverdichter.	
R7.2	Radiale Laufradbauarten	R 68
	R7.2.1 Allgemeine Anforderungen. – R7.2.2 Das geschlossene 2D-Laufrad. – R7.2.3 Das geschlossene 3D-Laufrad. – R7.2.4 Das offene 3D-Laufrad. – R7.2.5 Laufradverwendung. – R7.2.6 Laufradherstellung. – R7.2.7 Laufradfestigkeit und Strukturndynamik.	
R7.3	Radiale Verdichterbauarten	R 71
	R7.3.1 Einwellenverdichter. – R7.3.2 Getriebeverdichter.	
R7.4	Regelung und Maschinenschutz	R 74
	R7.4.1 Verdichterkennfeld. – R7.4.2 Drehzahlregelung. – R7.4.3 Saugdrosselregelung. – R7.4.4 Eintrittsleitschaufel-Regelung. – R7.4.5 Bypass-Regelung. – R7.4.6 Maschinenüberwachung und -schutz.	
R7.5	Beispiel einer Radialverdichterauslegung	R 77
	R7.5.1 Beispiel einer Radialverdichterauslegung. – R7.5.2 Betriebsbedingungen (vorgegeben). – R7.5.3 Gasdaten. – R7.5.4 Volumenstrom, Laufraddurchmesser, Drehzahl. – R7.5.5 Endtemperatur, spezifische polytrope Arbeit. – R7.5.6 Wirkungsgrad, Stufenzahl. – R7.5.7 Leistung.	
	Literatur	R 79
R8	Gasturbinen	R 80
R8.1	Einteilung und Verwendung	R 80
R8.2	Thermodynamische Grundlagen	R 80
	R8.2.1 Thermodynamische Grundlagen. – R8.2.2 Reale Gasturbinenprozesse.	

R8.3	Baugruppen	R 83
	R8.3.1 Baugruppen. – R8.3.2 Turbine. – R8.3.3 Brennkammer.	
R8.4	Gasturbine im Kraftwerk	R 85
	R8.4.1 Gasturbine im Kraftwerk. – R8.4.2 Gas- und Dampf-Anlagen. – R8.4.3 Luftspeicher-Kraftwerk.	
R8.5	Gasturbinen im Verkehr	R 85
	R8.5.1 Gasturbinen im Verkehr. – R8.5.2 Schifffahrt. – R8.5.3 Straßenfahrzeuge. – R8.5.4 Abgasturbolader.	
R8.6	Brennstoffe	R 91
R8.7	Beanspruchungen und Werkstoffe	R 92
R8.8	Betriebsverhalten	R 92
	R8.8.1 Betriebsverhalten. – R8.8.2 Teillastbetrieb.	
R8.9	Abgasemission	R 93
Literatur	. . . . .	R 94
Literatur zu Teil R	Strömungsmaschinen	R 95

S Fertungsverfahren

S1	Übersicht über die Fertigungsverfahren	S 2
S1.1	Definition und Kriterien	S 2
S1.2	Systematik	S 2
Literatur	. . . . .	S 2
S2	Urformen	S 3
S2.1	Einordnung des Urformens in die Fertigungsverfahren	S 3
S2.2	Begriffsbestimmung	S 3
S2.3	Das Urformen im Prozess der Herstellung von Einzelteilen	S 3
S2.4	Wirtschaftliche Bedeutung des Formgießens	S 4
S2.5	Technologischer Prozess des Formgießens	S 5
S2.6	Formverfahren und -ausrüstungen	S 5
	S2.6.1 Urformwerkzeuge. – S2.6.2 Verfahren mit verlorenen Formen. – S2.6.3 Dauerformverfahren.	
Literatur	. . . . .	S 26
S3	Umformen	S 28
S3.1	Systematik der Umformverfahren	S 28
S3.2	Grundlagen der Umformtechnik	S 28
	S3.2.1 Fließspannung. – S3.2.2 Formänderung. – S3.2.3 Fließkriterien. – S3.2.4 Fließgesetz. – S3.2.5 Fließkurve. – S3.2.6 Umformvermögen.	
S3.3	Verfahren der Druckumformung	S 30
	S3.3.1 Kaltfließpressen. – S3.3.2 Warm Schmieden. – S3.3.3 Strangpressen. – S3.3.4 Walzen.	
S3.4	Verfahren der Zug-Druckumformung	S 35
	S3.4.1 Gleitziehen. – S3.4.2 Tiefziehen. – S3.4.3 Ziehen von unsymmetrischen Blechformteilen. – S3.4.4 Tiefziehen im Weiterzug. – S3.4.5 Stülpziehen.	
S3.5	Verfahren der Zugumformung	S 40
	S3.5.1 Streckziehen.	
S3.6	Verfahren der Biegeumformung	S 41
	S3.6.1 Biegeverfahren. – S3.6.2 Rückfederung. – S3.6.3 Biegen mit geradliniger Werkzeugbewegung. – S3.6.4 Biegen mit drehender Werkzeugbewegung.	
S3.7	Sonderverfahren	S 44
	S3.7.1 Hydromechanisches Tiefziehen. – S3.7.2 Superplastisches Umformen.	
Literatur	. . . . .	S 46
S4	Trennen	S 47
S4.1	Allgemeines	S 47
S4.2	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	S 47
	S4.2.1 Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden. – S4.2.2 Drehen. – S4.2.3 Bohren. – S4.2.4 Fräsen. – S4.2.5 Sonstige Verfahren: Hobeln und Stoßen, Räumen, Sägen. – S4.2.6 Schneidstoffe.	

S4.3	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	S 61
	S4.3.1 Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide. – S4.3.2 Schleifen mit rotierendem Werkzeug. – S4.3.3 Honen. – S4.3.4 Sonstige Verfahren: Läppen, Innendurchmesser-Trennschleifen.	
S4.4	Abtragen	S 66
	S4.4.1 Abtragen. – S4.4.2 Thermisches Abtragen mit Funken (Funkenerosives Abtragen). – S4.4.3 Lasertrennen. – S4.4.4 Elektrochemisches Abtragen. – S4.4.5 Chemisches Abtragen.	
S4.5	Scheren und Schneiden	S 70
	S4.5.1 Scheren und Schneiden. – S4.5.2 Technologie des Scherschneidens. – S4.5.3 Kräfte beim Schneiden. – S4.5.4 Werkstückeigenschaften. – S4.5.5 Materialausnutzungsgrad. – S4.5.6 Schneidwerkzeuge. – S4.5.7 Sonderschneidverfahren.	
Literatur	. . . . .	S 79
S5	Sonderverfahren	S 81
S5.1	Gewindefertigung	S 81
	S5.1.1 Gewindefertigung. – S5.1.2 Gewindefertigung mit geometrisch bestimmter Schneide. – S5.1.3 Gewindefertigung mit geometrisch unbestimmter Schneide. – S5.1.4 Gewindefertigung mit abtragenden und umformenden Verfahren. – S5.1.5 Entwicklungstrends.	
S5.2	Verzahnen	S 86
	S5.2.1 Verzahnen von Stirnrädern. – S5.2.2 Verzahnen von Schnecken. – S5.2.3 Verzahnen von Schneckenrädern. – S5.2.4 Verzahnen von Kegelrädern.	
S5.3	Fertigungsverfahren der Mikrotechnik	S 96
	S5.3.1 Einführung. – S5.3.2 Maskengebundene Fertigungsverfahren. – S5.3.3 Direkte Strukturierungsmethoden.	
S5.4	Beschichten	S 105
S5.5	Additive Fertigungsverfahren	S 106
	S5.5.1 Einleitung. – S5.5.2 Pulverbasierte Verfahren. – S5.5.3 Flüssigkeitsbasierte Verfahren. – S5.5.4 Drahtbasierte Verfahren. – S5.5.5 Folienbasierte Verfahren.	
Literatur	. . . . .	S 114
S6	Montage und Demontage	S 117
S6.1	Begriffe	S 117
S6.2	Aufgaben der Montage und Demontage	S 118
	S6.2.1 Aufgaben der Montage und Demontage. – S6.2.2 Demontage.	
S6.3	Durchführung der Montage und Demontage	S 119
	S6.3.1 Montageprozess. – S6.3.2 Demontageprozess. – S6.3.3 Montageplanung. – S6.3.4 Organisationsformen der Montage. – S6.3.5 Montagesysteme. – S6.3.6 Automatisierte Montage.	
Literatur	. . . . .	S 122
S7	Fertigungs- und Fabrikbetrieb	S 124
S7.1	Management der Produktion	S 124
S7.2	Qualitätsmanagement	S 124
	S7.2.1 Aufgaben. – S7.2.2 Qualitätsmanagementsysteme (QM-Systeme). – S7.2.3 Excellence-Modelle. – S7.2.4 Werkzeuge. – S7.2.5 Methoden. – S7.2.6 Prüfverfahren. – S7.2.7 CAQ-Systeme. – S7.2.8 Literatur.	
S7.3	Organisation der Produktion	S 133
	S7.3.1 Formen der Organisation. – S7.3.2 Bereiche der Produktion.	
S7.4	Arbeitsvorbereitung	S 133
	S7.4.1 Arbeitsvorbereitung. – S7.4.2 Arbeitssteuerung.	
S7.5	Fertigungssysteme	S 137
	S7.5.1 Fertigungssysteme. – S7.5.2 Einteilung von Fertigungssystemen. – S7.5.3 Automatisierung von Handhabungsfunktionen. – S7.5.4 Transferstraßen und automatische Fertigungslinien. – S7.5.5 Flexible Fertigungssysteme. – S7.5.6 Wandlungsfähige Fertigungssysteme.	
S7.6	Betriebliche Kostenrechnung	S 141
	S7.6.1 Betriebliche Kostenrechnung. – S7.6.2 Kostenartenrechnung. – S7.6.3 Kostenstellenrechnung und Betriebsabrechnungsbögen. – S7.6.4 Maschinenstundensatzrechnung. – S7.6.5 Kalkulation. – S7.6.6 Prozesskostenrechnung/-kalkulation. – S7.6.7 Lebenslaufkostenrechnung.	
S7.7	Arbeitswissenschaftliche Grundlagen	S 143
Literatur	. . . . .	S 144

S8	Anhang S: Diagramme und Tabellen	S 146
T	Fertigungsmittel	
T1	Elemente der Werkzeugmaschinen	T 2
T1.1	Grundlagen	T 2
	T1.1.1 Funktionsgliederung. – T1.1.2 Mechanisches Verhalten.	
T1.2	Antriebe	T 5
	T1.2.1 Motoren. – T1.2.2 Getriebe. – T1.2.3 Mechanische Vorschubübertragungselemente.	
T1.3	Gestelle	T 22
	T1.3.1 Anforderungen und Bauformen. – T1.3.2 Werkstoffe für Gestellbauteile. – T1.3.3 Gestaltung der Gestellbauteile. – T1.3.4 Berechnung und Optimierung.	
T1.4	Führungen	T 28
	T1.4.1 Linearführungen. – T1.4.2 Drehführungen.	
Literatur		T 35
T2	Steuerungen	T 37
T2.1	Steuerungstechnische Grundlagen	T 37
	T2.1.1 Zum Begriff Steuerung. – T2.1.2 Informationsdarstellung. – T2.1.3 Programmsteuerung und Funktionssteuerung. – T2.1.4 Signaleingabe und -ausgabe. – T2.1.5 Signalbildung. – T2.1.6 Signalverarbeitung. – T2.1.7 Steuerungsprogramme. – T2.1.8 Aufbauorganisation von Steuerungen. – T2.1.9 Aufbau von Steuerungssystemen. – T2.1.10 Dezentralisierung durch den Einsatz industrieller Kommunikationssysteme. – T2.1.11 Feldbusse. – T2.1.12 Offene Steuerungssysteme.	
T2.2	Steuerungsmittel	T 43
	T2.2.1 Mechanische Speicher und Steuerungen. – T2.2.2 Fluidische Steuerungen. – T2.2.3 Elektrische Steuerungen.	
T2.3	Speicherprogrammierbare Steuerungen	T 45
	T2.3.1 Speicherprogrammierbare Steuerungen. – T2.3.2 Arbeitsweise. – T2.3.3 Programmierung.	
T2.4	Numerische Steuerungen	T 47
	T2.4.1 Zum Begriff. – T2.4.2 Bewegungssteuerungen. – T2.4.3 NC-Programmierung. – T2.4.4 Datenschnittstellen. – T2.4.5 Steuerdatenverarbeitung. – T2.4.6 Numerische Grundfunktionen. – T2.4.7 Lageeinstellung.	
Literatur		T 53
T3	Maschinen zum Scheren und Schneiden	T 54
T3.1	Kraft- und Arbeitsbedarf	T 54
T3.2	Maschinen zum Scheren	T 54
T3.3	Längs- und Querteilanlagen	T 54
T3.4	Platinenschneidanlagen	T 55
T3.5	Feinschneidpressen	T 56
T3.6	Stanz- und Nibbelmaschinen	T 57
Literatur		T 57
T4	Werkzeugmaschinen zum Umformen	T 58
T4.1	Aufbau von Pressen	T 58
	T4.1.1 Pressengestell. – T4.1.2 Stößel. – T4.1.3 Stößelantrieb. – T4.1.4 Antrieb von Tiefziehpressen. – T4.1.5 Zieheinrichtungen.	
T4.2	Pressenkenngrößen	T 60
	T4.2.1 Leistungskenngrößen. – T4.2.2 Genauigkeitskenngrößen. – T4.2.3 Geometrische Kenngrößen. – T4.2.4 Umweltkenngrößen. – T4.2.5 Normen.	
T4.3	Weggebundene Pressen	T 62
	T4.3.1 Arbeitsprinzip. – T4.3.2 Bauarten. – T4.3.3 Servopressen. – T4.3.4 Anwendungen.	
T4.4	Kraftgebundene Pressen	T 66
	T4.4.1 Wirkprinzip. – T4.4.2 Antrieb. – T4.4.3 Pressengestell. – T4.4.4 Anwendungen.	
T4.5	Arbeitsgebundene Pressen	T 68
	T4.5.1 Hämmer. – T4.5.2 Spindelpressen.	
Literatur		T 70

T5	Spanende Werkzeugmaschinen	T 71
T5.1	Drehmaschinen	T 71
	T5.1.1 Einleitung . – T5.1.2 Universaldrehmaschinen. – T5.1.3 Frontdrehmaschinen. – T5.1.4 Drehautomaten. – T5.1.5 Vertikal-drehmaschinen. – T5.1.6 Drehbearbeitungszentren. – T5.1.7 Sonderdrehmaschinen. – T5.1.8 Entwicklungstrends.	
T5.2	Bohrmaschinen	T 78
	T5.2.1 Einleitung . – T5.2.2 Tischbohrmaschinen. – T5.2.3 Säulenbohrmaschinen. – T5.2.4 Ständerbohrmaschinen. – T5.2.5 Schwenkbohrmaschinen. – T5.2.6 Bohrwerke. – T5.2.7 Tiefbohrmaschine. – T5.2.8 Weitere Typen. – T5.2.9 Entwicklungstrends.	
T5.3	Fräsmaschinen	T 82
	T5.3.1 Einleitung. – T5.3.2 Konsolfräsmaschinen. – T5.3.3 Bettfräsmaschinen. – T5.3.4 Portalfräsmaschinen. – T5.3.5 Universal-Werkzeugfräsmaschinen. – T5.3.6 Waagrecht-Bohr-Fräsmaschinen. – T5.3.7 Hochgeschwindigkeitsfräsmaschinen. – T5.3.8 Hochleistungsfräsmaschinen. – T5.3.9 Fräsmaschinen mit Parallelkinematik. – T5.3.10 Sonderfräsmaschinen. – T5.3.11 Entwicklungstrends.	
T5.4	Bearbeitungszentren	T 86
	T5.4.1 Einleitung. – T5.4.2 Bauformen. – T5.4.3 Werkzeugsysteme. – T5.4.4 Werkzeug- und Werkstückwechseleinrichtungen. – T5.4.5 Integration von Fertigungsverfahren zur Komplettbearbeitung. – T5.4.6 Entwicklungstrends.	
T5.5	Hobel- und Stoßmaschinen	T 89
	T5.5.1 Einleitung. – T5.5.2 Hobelmaschinen. – T5.5.3 Stoßmaschinen. – T5.5.4 Nutenstoß- und Nutenziehmaschinen. – T5.5.5 Entwicklungstrends.	
T5.6	Räummaschinen	T 91
	T5.6.1 Einleitung. – T5.6.2 Innen- und Außenräummaschinen. – T5.6.3 Senkrecht-, Waagrecht- und Hubtisch-Räummaschinen. – T5.6.4 Entwicklungstrends.	
T5.7	Säge- und Feilmaschinen	T 92
	T5.7.1 Einleitung. – T5.7.2 Bügel-/Hubsäge- und Hubfeilmaschinen. – T5.7.3 Bandsäge- und Bandfeilmaschinen. – T5.7.4 Kreissägemaschinen.	
T5.8	Schleifmaschinen	T 94
	T5.8.1 Einleitung. – T5.8.2 Planschleifmaschinen. – T5.8.3 Profilschleifmaschinen. – T5.8.4 Rundschleifmaschinen. – T5.8.5 Unrund- und Exzenterschleifmaschinen. – T5.8.6 Koordinatenschleifmaschinen. – T5.8.7 Verzahnungsschleifmaschinen. – T5.8.8 Schraubenschleif-/Gewindeschleifmaschinen. – T5.8.9 Kugelschleifmaschinen. – T5.8.10 Werkzeugschleifmaschinen. – T5.8.11 Schleifzentren. – T5.8.12 Sonderschleifmaschinen. – T5.8.13 Bandschleifmaschinen. – T5.8.14 Entwicklungstrends.	
T5.9	Honmaschinen	T 97
	T5.9.1 Einleitung. – T5.9.2 Langhubhonmaschinen. – T5.9.3 Kurzhubhonmaschinen. – T5.9.4 Sondermaschinen. – T5.9.5 Entwicklungstrends.	
T5.10	Läppmaschinen	T 100
	T5.10.1 Einleitung. – T5.10.2 Einscheiben-Läppmaschinen. – T5.10.3 Zweisheiben-Läppmaschinen. – T5.10.4 Rundläppmaschinen. – T5.10.5 Entwicklungstrends.	
T5.11	Mehrmaschinensysteme	T 102
	T5.11.1 Einleitung. – T5.11.2 Flexible Fertigungszellen. – T5.11.3 Flexible Fertigungssysteme. – T5.11.4 Transferstraßen. – T5.11.5 Entwicklungstrends.	
	Literatur	T 104
T6	Schweiß- und Lötmaschinen	T 106
T6.1	Lichtbogenschweißmaschinen	T 106
	T6.1.1 Bauausführungen.	
T6.2	Widerstandsschweißmaschinen	T 107
T6.3	Laserstrahl-Schweiß- und Löteinrichtungen	T 108
T6.4	Löteinrichtungen	T 108
	T6.4.1 Löteinrichtungen. – T6.4.2 Ofenlötten mit Weich- und Hartloten. – T6.4.3 Weichlöteinrichtungen in der Elektronik.	
	Literatur	T 108
T7	Industrieroboter	T 109
T7.1	Definition, Abgrenzung und Grundlagen	T 109
T7.2	Mechatronischer Aufbau	T 109
T7.3	Kinematik und Dynamik	T 111
	T7.3.1 Kinematisches Modell. – T7.3.2 Dynamisches Modell.	

T7.4	Leistungskenngrößen und Kalibrierung	T 112
	T7.4.1 Leistungskenngrößen. – T7.4.2 Kalibrierung.	
T7.5	Steuerung und Regelung	T 113
	T7.5.1 Aufbau der Robotersteuerung. – T7.5.2 Regelungsverfahren. – T7.5.3 Betriebsarten.	
T7.6	Programmierung	T 115
	T7.6.1 Online-Verfahren. – T7.6.2 Offline-Verfahren. – T7.6.3 Weitere Programmierverfahren.	
T7.7	Integration und Anwendungen industrieller Roboter	T 116
Literatur	. . . . .	T 116
T8	Werkzeugmaschinen für die Mikroproduktion	T 118
T8.1	Einleitung	T 118
T8.2	Hochpräzisionsmaschinen	T 118
	T8.2.1 Allgemeines. – T8.2.2 Anwendung. – T8.2.3 Ausrüstung. – T8.2.4 Entwicklungstrends.	
T8.3	Ultrapräzisionsmaschinen	T 119
	T8.3.1 Allgemeines. – T8.3.2 Anwendung. – T8.3.3 Ausrüstung. – T8.3.4 Entwicklungstrends.	
T8.4	Mikrofunkenerosionsmaschinen	T 121
	T8.4.1 Allgemeines. – T8.4.2 Anwendung. – T8.4.3 Ausrüstung. – T8.4.4 Entwicklungstrends.	
T8.5	Laserbearbeitungsmaschinen	T 122
	T8.5.1 Allgemeines. – T8.5.2 Anwendung. – T8.5.3 Ausrüstung. – T8.5.4 Entwicklungstrends.	
Literatur	. . . . .	T 122
U	Fördertechnik	
U1	Grundlagen	U 2
U1.1	Begriffsbestimmungen und Übersicht	U 2
	U1.1.1 Einordnung der Fördertechnik. – U1.1.2 Fördergüter und Fördermaschinen. – U1.1.3 Kenngrößen des Fördervorgangs.	
U1.2	Antriebe der Fördermaschinen	U 3
	U1.2.1 Hubwerke. – U1.2.2 Fahrwerke. – U1.2.3 Drehwerke. – U1.2.4 Einzieh- und Wippwerke. – U1.2.5 Kraftschlüssige Antriebe. – U1.2.6 Formschlüssige Antriebe. – U1.2.7 Antriebsmotoren und Steuerungen.	
U1.3	Tragwerke	U 10
	U1.3.1 Tragwerksgestaltung. – U1.3.2 Grundlagen der Tragwerksberechnung. – U1.3.3 Lasten und Lastkombinationen. – U1.3.4 Zu führende Einzelnachweise.	
U1.4	Charakteristische Maschinenelemente der Fördertechnik	U 15
	U1.4.1 Ketten und Kettentriebe. – U1.4.2 Seile und Seiltriebe. – U1.4.3 Faserseile. – U1.4.4 Mechanische Elemente der Antriebe. – U1.4.5 Laufrad und Schiene (Schienenfahrwerke).	
Literatur	. . . . .	U 33
U2	Hebezeuge und Krane	U 35
U2.1	Tragmittel und Lastaufnahmemittel	U 35
	U2.1.1 Lasthaken. – U2.1.2 Lastaufnahmemittel für Stückgüter. – U2.1.3 Lastaufnahmemittel für Schüttgüter.	
U2.2	Hubwerksausführungen	U 37
	U2.2.1 Serienhebezeuge. – U2.2.2 Einzelhebezeuge.	
U2.3	Kranarten	U 39
	U2.3.1 Brücken- und Portalkrane. – U2.3.2 Drehkrane. – U2.3.3 Fahrzeugkrane. – U2.3.4 Weitere Kranarten.	
Literatur	. . . . .	U 47
U3	Flurförderzeuge	U 48
U3.1	Baugruppen	U 48
	U3.1.1 Fahrwerk. – U3.1.2 Fahrtrieb. – U3.1.3 Hubgerüst. – U3.1.4 Lastaufnahmeverrichtung. – U3.1.5 Hubantrieb, Antrieb der Nebenfunktionen.	
U3.2	Handbetriebene Flurförderzeuge	U 49
	U3.2.1 Handwagen. – U3.2.2 Rollwagen. – U3.2.3 Handgabelhubwagen.	

U3.3	Motorisch betriebene Flurförderzeuge	U 50
	U3.3.1 Niederhubwagen. – U3.3.2 Gabelhochhubwagen. – U3.3.3 Spreizenstapler. – U3.3.4 Gegengewichtstapler. – U3.3.5 Schubstapler. – U3.3.6 Mehrwegestapler. – U3.3.7 Querstapler. – U3.3.8 Schmalgangstapler. – U3.3.9 Kommissionier-Flurförderzeuge. – U3.3.10 Wagen. – U3.3.11 Schlepper. – U3.3.12 Schleppzüge. – U3.3.13 Portalstapler. – U3.3.14 Fahrerlose Transportsysteme (FTS).	
	Literatur	U 55
U4	Weitere Unstetigförderer	U 56
U4.1	Elektrohängebahn	U 56
	Literatur	U 56
U5	Aufzüge und Schachtförderanlagen	U 57
U5.1	Übersicht	U 57
U5.2	Aufzüge	U 57
	U5.2.1 Hydraulikaufzüge. – U5.2.2 Seilaufzüge. – U5.2.3 Bemessung, Förderstrom, Steuerung. – U5.2.4 Steuerungen. – U5.2.5 Spezifische Sicherheitseinrichtungen.	
U5.3	Schachtförderanlagen	U 60
	Literatur	U 60
U6	Stetigförderer	U 61
U6.1	Berechnungsgrundlagen	U 61
U6.2	Stetigförderer mit Zugmittel	U 61
	U6.2.1 Grundlagen der Berechnung. – U6.2.2 Gurtförderer. – U6.2.3 Becherwerke (Becherförderer). – U6.2.4 Kreisförderer. – U6.2.5 Gliederbandförderer. – U6.2.6 Kratzerförderer. – U6.2.7 Trogkettenförderer.	
U6.3	Stetigförderer ohne Zugmittel	U 79
	U6.3.1 Förderer mit Schnecken. – U6.3.2 Schwingförderer. – U6.3.3 Rollen- und Kugelbahnen.	
U6.4	Sorter	U 83
	U6.4.1 Sortiersystem – Sortieranlage – Sorter. – U6.4.2 Systematik der Verteilförderer. – U6.4.3 Quergurtsorter. – U6.4.4 Kippschalensorter. – U6.4.5 Schiebeschusorter.	
U6.5	Weitere Stetigförderer	U 84
	U6.5.1 Plattenbandförderer. – U6.5.2 Schubplattformförderer. – U6.5.3 Schuppenförderer. – U6.5.4 Umlauf-S-Förderer. – U6.5.5 Rutschen und Fallrohre.	
U6.6	Strömungsförderer	U 86
	U6.6.1 Pneumatische Förderer. – U6.6.2 Hydraulische Förderer. – U6.6.3 Berechnungsgrundlagen.	
	Literatur	U 88
U7	Lager- und Systemtechnik	U 89
U7.1	Stückgut-Systemtechnik	U 89
	U7.1.1 Transporteinheiten (TE) und Transporthilfsmittel (THM). – U7.1.2 Funktion und Subsysteme. – U7.1.3 Theoretische Behandlung von Materialflusssystemen. – U7.1.4 Lagereinrichtung und Lagerbedienung. – U7.1.5 Belegungs- und Bedienstrategien. – U7.1.6 Lagerkennzahlen. – U7.1.7 Kommissionierung. – U7.1.8 Steuerung automatischer Lagersysteme. – U7.1.9 Betrieb von Lagersystemen.	
U7.2	Schüttgut-Systemtechnik	U 103
	U7.2.1 Übersicht. – U7.2.2 Schüttgutlager.	
	Literatur	U 104
U8	Automatisierung in der Materialflusstechnik	U 105
U8.1	Materialflussteuerungen	U 105
U8.2	Sensorik	U 105
U8.3	Aktuatoren	U 105
U8.4	Identifikationssysteme	U 105
	U8.4.1 Identifikation durch Personen und Geräte. – U8.4.2 Optische Datenerfassung und -übertragung. – U8.4.3 Elektronische Datenerfassung und -übertragung durch RFID. – U8.4.4 Magnetische Datenübertragung. – U8.4.5 Mechanische Datenübertragung. – U8.4.6 Weiterverarbeitung der gewonnenen Daten.	
	Literatur	U 111

U9	Baumaschinen	U 112
U9.1	Einteilung und Begriffe	U 112
U9.2	Hochbaumaschinen	U 112
	U9.2.1 Hochbaumaschinen. – U9.2.2 Betonmischanlagen. – U9.2.3 Transportbetonmischer. – U9.2.4 Betonpumpen. – U9.2.5 Verteilermasten.	
U9.3	Erdbaumaschinen	U 115
	U9.3.1 Erdbaumaschinen. – U9.3.2 Schaufellader. – U9.3.3 Planiermaschinen. – U9.3.4 Transportfahrzeuge.	
Literatur		U 121
V	Elektrotechnik	
V1	Grundlagen	V 2
V1.1	Grundgesetze	V 2
	V1.1.1 Feldgrößen und -gleichungen. – V1.1.2 Elektrostatisches Feld. – V1.1.3 Stationäres Strömungsfeld. – V1.1.4 Stationäres magnetisches Feld. – V1.1.5 Quasistationäres elektromagnetisches Feld.	
V1.2	Elektrische Stromkreise	V 4
	V1.2.1 Gleichstromkreise. – V1.2.2 Kirchhoff'sche Sätze. – V1.2.3 Kapazitäten. – V1.2.4 Induktionsgesetz. – V1.2.5 Induktivitäten. – V1.2.6 Magnetische Materialien. – V1.2.7 Kraftwirkungen im elektromagnetischen Feld.	
V1.3	Wechselstromtechnik	V 8
	V1.3.1 Wechselstromgrößen. – V1.3.2 Leistung. – V1.3.3 Drehstrom. – V1.3.4 Schwingkreise und Filter.	
V1.4	Netzwerke	V 13
	V1.4.1 Ausgleichsvorgänge. – V1.4.2 Netzwerkberechnung.	
V1.5	Werkstoffe und Bauelemente	V 15
	V1.5.1 Leiter, Halbleiter, Isolatoren. – V1.5.2 Besondere Eigenschaften bei Leitern. – V1.5.3 Stoffe im elektrischen Feld. – V1.5.4 Stoffe im Magnetfeld. – V1.5.5 Elektrolyte.	
Literatur		V 17
V2	Transformatoren und Wandler	V 18
V2.1	Einphasentransformatoren	V 18
	V2.1.1 Wirkungsweise und Ersatzschaltbilder. – V2.1.2 Spannungsinduktion. – V2.1.3 Leerlauf und Kurzschluss. – V2.1.4 Zeigerdiagramm.	
V2.2	Messwandler	V 19
	V2.2.1 Stromwandler. – V2.2.2 Spannungswandler.	
V2.3	Drehstromtransformatoren	V 20
V2.4	Spezielle Anwendungen von Transformatoren	V 21
	V2.4.1 Spezielle Anwendungen von Transformatoren. – V2.4.2 Mittelfrequenztransformatoren. – V2.4.3 Berührungslose Energieübertragung.	
Literatur		V 23
V3	Elektrische Maschinen	V 24
V3.1	Allgemeines	V 24
	V3.1.1 Maschinenarten. – V3.1.2 Bauformen und Achshöhen. – V3.1.3 Schutzarten. – V3.1.4 Elektromagnetische Ausnutzung. – V3.1.5 Verluste und Wirkungsgrad. – V3.1.6 Erwärmung und Kühlung. – V3.1.7 Betriebsarten. – V3.1.8 Schwingungen und Geräusche. – V3.1.9 Drehfelder in Drehstrommaschinen.	
V3.2	Asynchronmaschinen	V 29
	V3.2.1 Ausführungen. – V3.2.2 Ersatzschaltbild und Kreisdiagramm. – V3.2.3 Betriebskennlinien. – V3.2.4 Einfluss der Stromverdrängung. – V3.2.5 Einphasenmotoren.	
V3.3	Synchronmaschinen	V 31
	V3.3.1 Ausführungen. – V3.3.2 Betriebsverhalten. – V3.3.3 Kurzschlussverhalten.	
V3.4	Gleichstrommaschinen	V 35
	V3.4.1 Ausführungen. – V3.4.2 Stationäres Betriebsverhalten. – V3.4.3 Instationäres Betriebsverhalten.	
V3.5	Kleinmotoren	V 36
	V3.5.1 Allgemeines. – V3.5.2 Asynchron-Kleinmotoren. – V3.5.3 Synchron-Kleinmotoren für Netzbetrieb. – V3.5.4 Schrittmotoren. – V3.5.5 Elektronisch kommutierte Motoren. – V3.5.6 Gleichstrom-Kleinmotoren. – V3.5.7 Universalmotoren.	

V3.6	Linearmotoren	V 39
	V3.6.1 Gleichstromlinearmotoren. – V3.6.2 Asynchronlinearmotoren. – V3.6.3 Synchronlinearmotoren.	
V3.7	Torquemotoren	V 40
V3.8	High-Speed-Motoren	V 40
Literatur	. . . . .	V 41
V4	Leistungselektronik	V 42
V4.1	Grundlagen und Bauelemente	V 42
	V4.1.1 Allgemeines. – V4.1.2 Ausführungen von Halbleiterventilen. – V4.1.3 Leistungsmerkmale der Ventile. – V4.1.4 Einteilung der Stromrichter.	
V4.2	Wechselstrom- und Drehstromsteller	V 44
V4.3	Netzgeführte Stromrichter	V 45
	V4.3.1 Netzgeführte Gleich- und Wechselrichter. – V4.3.2 Steuerkennlinien. – V4.3.3 Umkehrstromrichter. – V4.3.4 Netzurückwirkungen. – V4.3.5 Direktumrichter.	
V4.4	Selbstgeführte Stromrichter	V 48
	V4.4.1 Gleichstromsteller. – V4.4.2 Selbstgeführte Wechselrichter und Umrichter. – V4.4.3 Blindleistungskompensation.	
Literatur	. . . . .	V 50
V5	Elektrische Antriebstechnik	V 51
V5.1	Allgemeines	V 51
	V5.1.1 Aufgaben. – V5.1.2 Stationärer Betrieb. – V5.1.3 Anfahren. – V5.1.4 Drehzahlverstellung. – V5.1.5 Drehschwingungen. – V5.1.6 Elektrische Bremsung. – V5.1.7 Elektromagnetische Verträglichkeit.	
V5.2	Gleichstromantriebe	V 54
	V5.2.1 Gleichstromantriebe mit netzgeführten Stromrichtern. – V5.2.2 Regelung in der Antriebstechnik. – V5.2.3 Drehzahlregelung.	
V5.3	Drehstromantriebe	V 57
	V5.3.1 Antriebe mit Drehstromsteller. – V5.3.2 Stromrichteraskaden. – V5.3.3 Stromrichtermotor. – V5.3.4 Umrichterantriebe mit selbstgeführtem Wechselrichter. – V5.3.5 Regelung von Drehstromantrieben.	
V5.4	Elektroantriebe in speziellen Anwendungen	V 62
	V5.4.1 Servoantriebe. – V5.4.2 Hybridantriebe in der Fahrzeugtechnik. – V5.4.3 Antriebe für Elektrofahrzeuge.	
Literatur	. . . . .	V 68
V6	Energieverteilung	V 69
V6.1	Allgemeines	V 69
V6.2	Kabel und Leitungen	V 70
	V6.2.1 Leitungsnachbildung. – V6.2.2 Kenngrößen der Leitungen.	
V6.3	Schaltgeräte	V 71
	V6.3.1 Schaltanlagen. – V6.3.2 Hochspannungsschaltgeräte. – V6.3.3 Niederspannungsschaltgeräte.	
V6.4	Schutzeinrichtungen	V 71
	V6.4.1 Kurzschlusschutz. – V6.4.2 Schutzschalter. – V6.4.3 Thermischer Überstromschutz. – V6.4.4 Kurzschlussströme. – V6.4.5 Selektiver Netzschutz. – V6.4.6 Berührungsschutz.	
V6.5	Energiespeicherung	V 74
	V6.5.1 Energiespeicherung. – V6.5.2 Batterien. – V6.5.3 Andere Energiespeicher.	
V6.6	Elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen	V 75
	V6.6.1 Solarenergie. – V6.6.2 Windenergie. – V6.6.3 Antriebsstränge in Windenergieanlagen.	
Literatur	. . . . .	V 82
V7	Elektrowärme	V 83
V7.1	Widerstandserwärmung	V 83
V7.2	Lichtbogenerwärmung	V 84
	V7.2.1 Lichtbogenofen. – V7.2.2 Lichtbogenschweißen.	
V7.3	Induktive Erwärmung	V 84
	V7.3.1 Stromverdrängung, Eindringtiefe. – V7.3.2 Aufwölbung und Bewegungen im Schmelzgut. – V7.3.3 Oberflächenerwärmung. – V7.3.4 Stromversorgung.	
V7.4	Dielektrische Erwärmung	V 85

Literatur	V 86
V8 Anhang V: Diagramme und Tabellen	V 87
Literatur zu Teil V Elektrotechnik	V 90
W Messtechnik und Sensorik	
W1 Grundlagen	W 2
W1.1 Aufgabe der Messtechnik	W 2
W1.2 Strukturen der Messtechnik	W 2
W1.2.1 Messkette. – W1.2.2 Kenngrößen von Messgliedern. – W1.2.3 Messabweichung von Messgliedern. – W1.2.4 Dynamische Übertragungseigenschaften von Messgliedern.	
W1.3 Planung von Messungen	W 4
W1.4 Auswertung von Messungen	W 5
W1.4.1 Typ A – Methode zur Ermittlung der Standardmessunsicherheit durch statistische Analyse von Messreihen. – W1.4.2 Typ B – Methode zur Ermittlung der Standardmessunsicherheit.	
W1.5 Ergebnisdarstellung und Dokumentation	W 6
Literatur	W 7
W2 Messgrößen und Messverfahren	W 8
W2.1 Einheitensystem und Gliederung der Messgrößen der Technik	W 8
W2.1.1 Internationales Einheitensystem. – W2.1.2 Gliederung der Messgrößen.	
W2.2 Sensoren und Aktoren	W 8
W2.2.1 Messgrößenumformung. – W2.2.2 Zerstörungsfreie Bauteil- und Maschinendiagnostik.	
W2.3 Geometrische Messgrößen	W 8
W2.3.1 Längenmesstechnik. – W2.3.2 Gewinde- und Zahnradmesstechnik. – W2.3.3 Oberflächenmesstechnik. – W2.3.4 Mustererkennung und Bildverarbeitung.	
W2.4 Kinematische und schwingungstechnische Messgrößen	W 14
W2.4.1 Wegmesstechnik. – W2.4.2 Geschwindigkeits- und Drehzahlmessungstechnik. – W2.4.3 Beschleunigungsmesstechnik.	
W2.5 Mechanische Beanspruchungen	W 16
W2.5.1 Kraftmesstechnik. – W2.5.2 Dehnungsmesstechnik. – W2.5.3 Experimentelle Spannungsanalyse. – W2.5.4 Druckmesstechnik.	
W2.6 Strömungstechnische Messgrößen	W 20
W2.6.1 Flüssigkeitsstand. – W2.6.2 Volumen, Durchfluss, Strömungsgeschwindigkeit. – W2.6.3 Viskosimetrie.	
W2.7 Thermische Messgrößen	W 23
W2.7.1 Temperaturmesstechnik. – W2.7.2 Kalorimetrie.	
W2.8 Optische Messgrößen	W 24
W2.8.1 Licht- und Farbmessungstechnik. – W2.8.2 Refraktometrie. – W2.8.3 Polarimetrie.	
W2.9 Umweltmessgrößen	W 26
W2.9.1 Strahlungsmesstechnik. – W2.9.2 Akustische Messtechnik. – W2.9.3 Klimamessungstechnik.	
W2.10 Stoffmessgrößen	W 28
W2.10.1 Anorganisch-chemische Analytik. – W2.10.2 Organisch-chemische Analytik. – W2.10.3 Oberflächenanalytik.	
Literatur	W 29
W3 Messsignalverarbeitung	W 31
W3.1 Signalarten	W 31
W3.2 Analoge elektrische Messtechnik	W 31
W3.2.1 Strom-, Spannungs- und Widerstandsmesstechnik. – W3.2.2 Kompensatoren und Messbrücken. – W3.2.3 Messverstärker. – W3.2.4 Funktionsbausteine.	
W3.3 Digitale elektrische Messtechnik	W 34
W3.3.1 Digitale Messsignaldarstellung. – W3.3.2 Analog-Digital-Umsetzer.	
W3.4 Rechnerunterstützte Messsignalverarbeitung	W 35
Literatur	W 37

W4	Messwertausgabe	W 38
W4.1	Messwertanzeige W4.1.1 Messwerke. – W4.1.2 Digitalvoltmeter, Digitalmultimeter. – W4.1.3 Oszilloskope.	W 38
W4.2	Messwertregistrierung W4.2.1 Schreiber. – W4.2.2 Drucker. – W4.2.3 Messwertspeicherung.	W 39
W5	Anhang W: Diagramme und Tabellen	W 41
	Literatur zu Teil W Messtechnik und Sensorik	W 44
X	Regelungstechnik	
X1	Grundbegriffe	X 2
X2	Lineare Übertragungsglieder	X 4
X2.1	Statisches Verhalten X2.1.1 Lineare Kennlinie. – X2.1.2 Nichtlinearitäten.	X 4
X2.2	Dynamisches Verhalten linearer zeitinvarianter Übertragungsglieder X2.2.1 Sprungantwort und Übergangsfunktion. – X2.2.2 Frequenzgang und Ortskurve. – X2.2.3 Differentialgleichung und Übertragungsfunktion.	X 4
X2.3	Lineare Grundglieder X2.3.1 P -Glied. – X2.3.2 I -Glied. – X2.3.3 D -Glied. – X2.3.4 T_1 -Glied. – X2.3.5 T_1 -Glied. – X2.3.6 $T_{2/n}$ -Glied.	X 6
X2.4	Grundstrukturen des Wirkungsplans X2.4.1 Reihenstruktur. – X2.4.2 Parallelstruktur. – X2.4.3 Kreisstruktur.	X 7
X3	Regelstrecken	X 9
X3.1	Struktur und Größen des Regelkreises X3.1.1 Funktionsblöcke des Regelkreises. – X3.1.2 Größen des Regelkreises. – X3.1.3 Stell- und Störverhalten der Strecke.	X 9
X3.2	Regelstrecken mit Ausgleich (P-Strecken) X3.2.1 Regelstrecken mit Ausgleich (P-Strecken). – X3.2.2 P -Strecke 1. Ordnung ($P-T_1$). – X3.2.3 P -Strecke 2. und höherer Ordnung ($P-T_n$). – X3.2.4 P -Strecke mit Totzeit $P-T_1$. – X3.2.5 Strecke mit Ausgleich i -ter Ordnung und Totzeit $P-T_1-T_1$.	X 10
X3.3	Regelstrecken ohne Ausgleich (I-Strecken) X3.3.1 Regelstrecken ohne Ausgleich (I-Strecken). – X3.3.2 I -Strecke 1. Ordnung ($I-T_1$). – X3.3.3 I -Strecke i -ter Ordnung und Totzeit ($I-T_1-T_1$).	X 11
X4	Regler	X 13
X4.1	Arten linearer Regler X4.1.1 P -Anteil, P -Regler. – X4.1.2 I -Anteil, I -Regler. – X4.1.3 PI -Regler. – X4.1.4 PD -Regler. – X4.1.5 PID -Regler.	X 13
X4.2	Technische Ausführung der Regler X4.2.1 Verstärker mit Rückführung. – X4.2.2 Rechnergestützter Regler. – X4.2.3 Entwicklungstendenzen.	X 14
X5	Linearer Regelkreis	X 16
X5.1	Führungs- und Störungsverhalten des Regelkreises X5.1.1 Führungsverhalten des Regelkreises. – X5.1.2 Störungsverhalten des Regelkreises.	X 16
X5.2	Stabilität des Regelkreises	X 17
X5.3	Optimierung von Regelkreisen X5.3.1 Güte der Regelung. – X5.3.2 Einstellregeln für Regelkreise.	X 18
X6	Spezielle Formen der Regelung	X 20
X6.1	Mehrschleifige Regelung X6.1.1 Mehrschleifige Regelung. – X6.1.2 Kaskadenregelung.	X 20
X6.2	Zweipunkt-Regelung	X 20
X6.3	Adaptive Regelung	X 21
	Literatur zu Teil X Regelungstechnik	X 22

Y	Elektronische Datenverarbeitung	
Y1	Einführung	Y 2
Y2	Informationstechnologie	Y 3
Y2.1	Grundlagen und Begriffe	Y 3
	Y2.1.1 Zahlendarstellungen und arithmetische Operationen. – Y2.1.2 Datenstrukturen und Datentypen. – Y2.1.3 Algorithmen. – Y2.1.4 Numerische Berechnungsverfahren. – Y2.1.5 Programmiermethoden. – Y2.1.6 Programmiersprachen. – Y2.1.7 Objektorientierte Programmierung. – Y2.1.8 Softwareentwicklung.	
Y2.2	Digitalrechnerntechnologie	Y 9
	Y2.2.1 Hardwarekomponenten. – Y2.2.2 Hardwarearchitekturen. – Y2.2.3 Rechnernetze. – Y2.2.4 Client-/Serverarchitekturen. – Y2.2.5 Betriebssysteme.	
Y2.3	Internet	Y 13
Y2.4	Integrationstechnologien	Y 14
Y2.5	Sicherheit	Y 14
	Y2.5.1 Sicherheit. – Y2.5.2 Security.	
Literatur		Y 15
Y3	Virtuelle Produktentstehung	Y 17
Y3.1	Produktentstehungsprozess	Y 17
Y3.2	Basismethoden	Y 17
	Y3.2.1 Geometrische Modellierung. – Y3.2.2 Featuretechnologie. – Y3.2.3 Parametrik und Zwangsbedingungen. – Y3.2.4 Wissensbasierte Modellierung. – Y3.2.5 Strukturmodellierung. – Y3.2.6 Durchgängige Erstellung von Dokumenten.	
Y3.3	Systeme der rechnerunterstützten Produktentstehung	Y 24
	Y3.3.1 CAA-Systeme. – Y3.3.2 CAD-Systeme. – Y3.3.3 CAE-Systeme. – Y3.3.4 CAI-Systeme. – Y3.3.5 CAM-Systeme. – Y3.3.6 CAP-Systeme. – Y3.3.7 CAPP-Systeme. – Y3.3.8 CAR-Systeme. – Y3.3.9 CAS-Systeme. – Y3.3.10 CAF-Systeme. – Y3.3.11 DMU-Systeme. – Y3.3.12 VR-/AR-Systeme. – Y3.3.13 RPT-Systeme. – Y3.3.14 TDM-/PDM-Systeme. – Y3.3.15 ERP-Systeme. – Y3.3.16 PPS-Systeme.	
Y3.4	Produktdatenmanagement	Y 26
Y3.5	Kooperative Produktentwicklung	Y 30
Y3.6	Schnittstellen	Y 30
Literatur		Y 31
Y4	Elektronische Datenverarbeitung – Agentenbasiertes Steuern	Y 32
Y4.1	Einleitung	Y 32
Y4.2	Agentenbegriff	Y 32
Y4.3	Entwurfsprozess für Agentensysteme	Y 33
Y4.4	Anwendungsbeispiele	Y 34
	Y4.4.1 Agentenbasierte Produktionsplanung. – Y4.4.2 Agentenbasierte Feldsteuerung.	
Literatur		Y 36
Y5	Anhang Y: Diagramme und Tabellen	Y 37
Literatur zu Teil Y Elektronische Datenverarbeitung		Y 40
Z	Allgemeine Tabellen	
Z1	Allgemeine Tabellen	Z 2
Fachausdrücke		1
Autorenporträts		47
Sachverzeichnis		69

Hinweise zur Benutzung

Gliederung. Das Werk umfasst 25 Teile, die in Kapitel, Abschnitte und Unterabschnitte gegliedert sind. Die Teile sind durch Großbuchstaben gekennzeichnet und ihre Seiten werden, jeweils mit eins beginnend, getrennt durchnummeriert. Bei den Untergliederungen bezeichnet die erste Ziffer das Kapitel, die zweite den Abschnitt und die dritte den Unterabschnitt. Sie stehen jeweils vor ihrer Überschrift, die auch ins Englische übersetzt ist.

Weitere Unterteilungen werden durch fette (unnummerierte) Überschriften sowie fette und kursive Zeilenanfänge (sog. Spitzmarken) vorgenommen. Sie sollen dem Leser das schnelle Auffinden spezieller Themen erleichtern.

Kolummentitel oder Seitenüberschriften enthalten auf den linken Seiten (gerade Endziffern) die Namen der Teile und Kapitel, auf den rechten die Abschnitte.

Kleindruck. Er wurde für Bildunterschriften und Tabellenüberschriften sowie für Beispiele und längere Bildbeschreibungen angewandt, um diese Teile besser vom übrigen Text abzuheben und Druckraum zu sparen.

Inhalts- und Sachverzeichnis sind zur Erleichterung der Benutzung des Werkes ausführlich gestaltet. Sie enthalten ebenfalls die Seitenbezeichnung nach Teilen.

Kapitel. Es bildet die Grundeinheit, in der Gleichungen, Bilder und Tabellen jeweils wieder von 1 ab nummeriert sind. Fett gesetzte Bild- und Tabellenbezeichnungen sollen ein schnelles Erkennen der Zuordnung von Bildern und Tabellen zum Text ermöglichen.

Anhang. Am Ende fast aller Teile befinden sich die Kapitel „Anhang: Diagramme und Tabellen“ und „Spezielle Literatur“. Sie enthalten die für die praktische Zahlenrechnung notwendigen Kenn- und Stoffwerte sowie Sinnbilder und Normenauszüge des betreffenden Fachgebietes und das im Text angezogene Schrifttum. Am Ende des Werkes liegt der Teil Z „Allgemeine Tabellen“. Er enthält die wichtigsten physikalischen Konstanten, die Umrechnungsfaktoren für die Einheiten, das periodische System der Elemente sowie ein Verzeichnis von Bezugsquellen für Technische Regelwerke und Normen. Außerdem sind die Grundgrößen von Gebieten, deren ausführliche Behandlung den Rahmen des Buches sprengen würden, aufgeführt. Hierzu zählen die Kern-, Licht-, Schall- und Umwelttechnik.

Numerierung und Verweise. Die *Numerierung* der Bilder, Tabellen, Gleichungen und Literatur gilt für das jeweilige Kapitel. Gleichungsnummern stehen in runden (), Literaturziffern in eckigen [] Klammern.

Bei *Verweisen* auf ein anderes Kapitel stehen vor den Bezeichnungen zusätzlich der Buchstabe des Teils und die Nummer des Kapitels, z.B. C 2 Tab. 1, G 1 Bild 6, Anh. X 5 Tab. 1, B 3 Gl. (22) bzw. B 1.7 bei Textabschnitten, für die „Allgemeinen Tabellen“ am Buchende z. B. Z Tab. 3.

Bilder. Hierzu gehören konstruktive und Funktionsdarstellungen, Diagramme, Flussbilder und Schaltpläne.

Bildgruppen. Sie sind, soweit notwendig, in Teilbilder **a**, **b**, **c** usw. untergliedert (z. B. U 1 Bild 5). Sind diese nicht in der Bildunterschrift erläutert, so befinden sich die betreffenden Erläuterungen im Text (z. B. B 6 Bild 12). Kompliziertere Bauteile oder Pläne enthalten Positionen, die entweder im Text (z. B. P 2 Bild 26) oder in der Bildunterschrift erläutert sind (z. B. L 5 Bild 5).

Sinnbilder für Schaltpläne von Leitungen, Schaltern, Maschinen und ihren Teilen sowie für Aggregate sind nach Möglichkeit den zugeordneten DIN-Normen oder den Richtlinien entnommen. In Einzelfällen wurde von den Zeichnungsnormen abgewichen, um die Übersicht der Bilder zu verbessern.

Tabellen. Sie ermöglichen es, Zahlenwerte mathematischer und physikalischer Funktionen schnell aufzufinden. In den Beispielen sollen sie den Rechnungsgang einprägsam erläutern und die Ergebnisse übersichtlich darstellen. Aber auch Gleichungen, Sinnbilder und Diagramme sind zum besseren Vergleich bestimmter Verfahren tabellarisch zusammengefasst.

Literatur. Spezielle Literatur. Sie ist auf das Sachgebiet eines Kapitels bezogen und befindet sich am Ende eines Kapitels. Eine Ziffer in eckiger [] Klammer weist im Text auf das entsprechende Zitat hin. Diese Verzeichnisse enthalten häufig auch grundlegende Normen, Richtlinien und Sicherheitsbestimmungen.

Allgemeine Literatur. Auf das Sachgebiet eines Kapitels bezogene Literatur befindet sich ebenfalls am Ende eines Kapitels und enthält die betreffenden Grundlagenwerke. Literatur, die sich auf das Sachgebiet eines ganzen Teils bezieht, befindet sich am Ende des Teils.

Sachverzeichnis. Nach wichtigen Einzelstichwörtern sind die Stichworte für allgemeine, mehrere Kapitel umfassende Begriffe wie z. B. „Arbeit“, „Federn“ und „Steuerungen“ zusammengefasst. Zur besseren Übersicht ersetzt ein Querstrich nur ein Wort. In diesen Gruppen sind nur die wichtigsten Begriffe auch als Einzelstichwörter aufgeführt. Dieses raumsparende Verfahren lässt natürlich immer einige berechtigte Wünsche der Leser offen, vermeidet aber ein zu langes und daher unübersichtliches Verzeichnis.

Gleichungen. Sie sind der Vorteile wegen als Größengleichungen geschrieben. Sind Zahlenwertgleichungen, wie z. B. bei empirischen Gesetzen oder bei sehr häufig vorkommenden Berechnungen erforderlich, so erhalten sie den Zusatz „Zgl.“ und die gesondert aufgeführten Einheiten den Zusatz „in“. Für einfachere Zahlenwertgleichungen werden gelegentlich auch zugeschnittene Größengleichungen benutzt. Exponentialfunktionen sind meist in der Form „exp(x)“ geschrieben. Wo möglich, wurden aus Platzgründen schräge statt waagerechte Bruchstriche verwendet.

Formelzeichen. Sie wurden in der Regel nach DIN 1304 gewählt. Dies ließ sich aber nicht konsequent durchführen, da die einzelnen Fachnormenausschüsse unabhängig sind und eine laufende Anpassung an die internationale Normung erfolgt. Daher mussten in einzelnen Fachgebieten gleiche Größen mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet werden. Aus diesen Gründen, aber auch um lästiges Umblättern zu ersparen, wurden die in jeder Gleichung vorkommenden Größen meist in ihrer unmittelbaren Nähe erläutert. Bei Verweisen werden innerhalb eines Kapitels die in den angezogenen Gleichungen erfolgten Erläuterungen nicht wiederholt. Wurden Kompromisse bei Formelzeichen der einzelnen Normen notwendig, so ist dies an den betreffenden Stellen vermerkt.

Zeichen, die sich auf die Zeiteinheit beziehen, tragen einen Punkt. Beispiel: B 6 Gl. (5). Variable sind kursiv, Vektoren und Matrizen fett kursiv und Einheiten steil gesetzt.

Einheiten. In diesem Werk ist das Internationale bzw. das SI-Einheitensystem (Système international) verbindlich. Eingeführt ist es durch das „Gesetz über Einheiten im Messwesen“ vom 2. 7. 1969 mit seiner Ausführungsverordnung vom 26. 6. 1970. Außer seinen sechs Basiseinheiten m, kg, s, A, K und cd werden auch die abgeleiteten Einheiten N, Pa, J, W und Pa s benutzt. Unzweckmäßige Zahlenwerte können dabei nach DIN 1301 durch Vorsätze für dezimale Vielfache und Teile nach Z Tab. 3 ersetzt werden. Hierzu lässt auch die Ausführungsverordnung folgende Einheiten bzw. Namen zu:

Masse	1 t = 1000 kg	Zeit	1 h = 60 min = 3600 s
Volumen	1 l = 10 ⁻³ m ³	Temperaturdifferenz	1 °C = 1 K
Druck	1 bar = 10 ⁵ Pa	Winkel	1° = π rad/180

Für die Einheit 1 rad = 1 m/m darf nach DIN 1301 bei Zahlenrechnungen auch 1 stehen.

Da ältere Urkunden, Verträge und älteres Schrifttum noch die früheren Einheitensysteme enthalten, sind ihre Umrechnungsfaktoren für das internationale Maßsystem in Z Tab. 5 aufgeführt.

Druck. Nach DIN 1314 wird der Druck **p** meist in der Einheit bar angegeben und zählt vom Nullpunkt aus. Druckdifferenzen werden durch die Formelzeichen, nicht aber durch die Einheit gekennzeichnet. Dies gilt besonders für die Manometerablesung bzw. atmosphärischen Druckdifferenzen.

DIN-Normen. Hier sind die bei Abschluss der Manuskripte gültigen Ausgaben maßgebend. Dies gilt auch für die dort gegebenen Definitionen und für die angezogenen Richtlinien.

Chronik des Taschenbuchs

Der Plan eines Taschenbuchs für den Maschinenbau geht auf eine Anregung von Heinrich Dubbel, Dozent und später Professor an der Berliner Beuth-Schule, der namhaftesten deutschen Ingenieurschule, im Jahre 1912 zurück. Die Diskussion mit Julius Springer, dem für die technische Literatur zuständigen Teilhaber der „Verlagsbuchhandlung Julius Springer“ (wie die Firma damals hieß), dem Dubbel bereits durch mehrere Fachveröffentlichungen verbunden war, führte rasch zu einem positiven Ergebnis. Dubbel übernahm die Herausgeberschaft, stellte die – in ihren Grundzügen bis heute unverändert gebliebene – Gliederung auf und gewann, soweit er die Bearbeitung nicht selbst durchführte, geeignete Autoren, zum erheblichen Teil Kollegen aus der Beuth-Schule. Bereits Mitte 1914 konnte die 1. Auflage erscheinen.

Zunächst war der Absatz unbefriedigend, da der 1. Weltkrieg ausbrach. Das besserte sich aber nach Kriegsende und schon im Jahre 1919 erschien die 2. Auflage, dicht gefolgt von weiteren in den Jahren 1920, 1924, 1929, 1934, 1939, 1941 und 1943. Am 1. 3. 1933 wurde das Taschenbuch als „Lehrbuch an den Preußischen Ingenieurschulen“ anerkannt.

H. Dubbel bearbeitete sein Taschenbuch bis zur 9. Auflage im Jahre 1943 selbst. Die 10. Auflage, die Dubbel noch vorbereitete, deren Erscheinen er aber nicht mehr erlebte, war im wesentlichen ein Nachdruck der 9. Auflage.

Nach dem Krieg ergab sich bei der Planung der 11. Auflage der Wunsch, das Taschenbuch gleichermaßen bei den Technischen Hochschulen und den Ingenieurschulen zu verankern. In diesem Sinn wurden gemeinsam Prof. Dr.-Ing. Fr. Sass, Ordinarius für Dieselmaschinen an der Technischen Universität Berlin, und Baudirektor Dipl.-Ing. Charles Bouché, Direktor der Beuth-Schule, unter Mitwirkung des Oberingenieurs Dr.-Ing. Alois Leitner, als Herausgeber gewonnen. Durch Spezialwerke standen Sass und Bouché schon mit dem Springer-Verlag in Verbindung; Fr. Sass durch seine „Dieselmaschinen“, Ch. Bouché durch seine „Kolbenverdichter“. Das gesamte Taschenbuch wurde nach der bewährten Disposition H. Dubbels neu bearbeitet und mehrere Fachgebiete neu eingeführt: Ähnlichkeitsmechanik, Gasdynamik, Gaserzeuger und Kältetechnik. So gelang es, den technischen Fortschritt zu berücksichtigen und eine breitere Absatzbasis für das Taschenbuch zu schaffen.

In der 13. Auflage wurden im Vorgriff auf das Einheitensgesetz das technische und das internationale Maßsystem nebeneinander benutzt. In dieser Auflage wurde Prof. Dr.-Ing. Egon Martyrer von der Technischen Universität Hannover als Mitherausgeber herangezogen. Am 26. 2. 1968 verstarb Fr. Sass, am 5. 11. 1975 E. Martyrer, am 6. 2. 1978 Ch. Bouché.

Die 14. Auflage wurde von den Herausgebern W. Beitz und K.-H. Küttner und den Autoren vollständig neu bearbeitet und erschien 1981, also 67 Jahre nach der ersten. Auch hier wurde im Prinzip die Disposition und die Art der Auswahl der Autoren und Herausgeber beibehalten. Inzwischen haben aber besonders die Computertechnik, die Elektronik, die Regelung und die Statistik den Maschinenbau beeinflusst. So wurden

umfangreichere Berechnungs- und Steuerverfahren entwickelt, und es entstanden sogar neue Spezialgebiete. Eine Auswahl unter der erforderlichen Berücksichtigung des klassischen Maschinenbaus und bei der notwendigen Beschränkung der Seitenzahl zu treffen, die der Kritik standhält, ist eine außerordentlich schwierige Aufgabe. Der Umfang des unbedingt nötigen Stoffes führte zu zwespaltiger Darstellung bei größerem Satzspiegel. So ist wohl die unveränderte Bezeichnung „Taschenbuch“ in der Tradition und nicht im Format begründet.

Das Ansehen, dessen sich das Taschenbuch überall erfreute, führte im Lauf der Jahre auch zu verschiedenen Übersetzungen in fremde Sprachen. Eine erste russische Ausgabe gab in den zwanziger Jahren der Springer-Verlag selbst heraus, eine weitere erschien unautorisiert. Nach dem 2. Weltkrieg wurden Lizenzen für griechische, italienische, jugoslawische, portugiesische, spanische und tschechische Ausgaben erteilt. Von der Neubearbeitung (14. Auflage) erschienen 1984 eine italienische, 1991 eine chinesische und 1994 eine englische Übersetzung.

Nach dem Tod von K.-H. Küttner wurde K.-H. Grote für die 1997 erschienene 19. Auflage Mitherausgeber des DUBBEL. Wolfgang Beitz verstarb leider ganz plötzlich im November 1998. Im Jahr darauf erschien der DUBBEL als erstes interaktives, elektronisches Taschenbuch für den Maschinenbau in erster, 2002 in zweiter Version. Jörg Feldhusen ist ab der 21. Auflage Mitherausgeber des DUBBEL, der mit der 20. Auflage (2001) die Marke von 1 Millionen verkauften Exemplaren seit der Erstauflage überschritt. Dieses beachtliche Gesamtergebnis wurde durch die gewissenhaft arbeitenden Autoren und Herausgeber, die sorgfältige Bearbeitung im Verlag und die exakte drucktechnische Herstellung möglich.

Biographische Daten über H. Dubbel

Heinrich Dubbel, der Schöpfer des Taschenbuches, wurde am 8. 4. 1873 als Sohn eines Ingenieurs in Aachen geboren. Dort studierte er an der Technischen Hochschule Maschinenbau und arbeitete in der väterlichen Fabrik als Konstrukteur, nachdem er in Ohio/USA Auslandserfahrungen gesammelt hatte. Vom Jahre 1899 ab lehrte er an den Maschinenbau-Schulen in Köln, Aachen und Essen. Im Jahre 1911 ging er an die Berliner Beuth-Schule, wo er nach fünf Jahren den Titel Professor erhielt. 1934 trat er wegen politischer Differenzen mit den Behörden aus dem öffentlichen Dienst aus und widmete sich in den folgenden Jahren vorwiegend der Beratung des Springer-Verlages auf dem Gebiet des Maschinenbaus. Er starb am 24. 5. 1947 in Berlin.

Dubbel hat sich in hohem Maße auf literarischem Gebiet betätigt. Seine Aufsätze und Bücher, insbesondere über Dampfmaschinen und ihre Steuerungen, Dampfturbinen, Öl- und Gasmaschinen und Fabrikbetrieb genossen großes Ansehen.

Durch das „Taschenbuch für den Maschinenbau“ wird sein Name noch bei mancher Ingenieurgeneration in wohlverdienter Erinnerung bleiben.