



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für Mechatronik

# **Fachkunde Mechatronik**

**7. Auflage**

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 45119**

**Autoren:**

|                  |                     |                |
|------------------|---------------------|----------------|
| H. Hebel         | Dipl.-Ing.          | Melsbach       |
| D. Müller        | Dipl.-Ing.          | Hennef         |
| G. Lämmlin       | Dipl.-Ing.          | Neustadt/Wstr. |
| M. Link          | Dipl.-Ing.          | Karlsruhe      |
| Dr. C. Sartor    | Dipl.-Ing.          | Mettmann       |
| A. Scheib        | Dipl.-Ing.          | Hauenstein     |
| P. Schott        | Dipl. Päd.          | München        |
| S. Schwarzwälder | Dipl.-Gewerbelehrer | Karlsruhe      |
| E. Thiele        | Dipl.-Ing.          | Wildau         |

Autoren und Lektor bedanken sich bei den Herren Bartenschlager und Klatt für die Mitarbeit an den Auflagen 1 bis 5, sowie bei den Autoren W. Eichler, D. Spielvogel und K. Winter für die Zurverfügungstellung von Texten bis zur 6. Auflage.

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:  
G. Lämmlin

Bildentwürfe: Die Autoren  
Fotos: Leihgaben der Firmen (Verzeichnis Seite 679)

Illustrationen: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar  
Betreuung der Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern

7. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-4993-3

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt  
Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
Umschlagfoto: FESTO AG & Co. KG, Esslingen  
Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

## Vorwort

Der Begriff Mechatronik (engl. mechatronics) wurde vor über 30 Jahren in Japan geprägt. In Deutschland und der Schweiz entstanden in der Folge an mehreren Hochschulstandorten Lehrstühle für die neue Fachrichtung Mechatronik. In ihr sind maschinentechnische, elektrotechnische und informationstechnische Inhalte vereint. In der beruflichen Erstausbildung erfolgte der Start für den neuen Beruf des Mechatronikers bzw. der Mechatronikerin im Jahre 1998. Grundlage der Ausbildung in diesem Beruf sind:

1. Die Verordnung über die Berufsausbildung zum Mechatroniker/zur Mechatronikerin
2. Der Rahmenlehrplan der Kultusministerkonferenz
3. Die Richtlinien und Lehrpläne der einzelnen Bundesländer

Die Fülle der in diesem Beruf vereinten Fertigkeiten und Kenntnisse sowie die unendlich große Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten und die unterschiedlichen Übernahmen der im KMK-Rahmenlehrplan beschriebenen dreizehn Lernfelder durch die einzelnen Bundesländer veranlassten die Autoren zu einem fachsystematischen Aufbau des Buches, der es den Lernenden ermöglicht sich ein fundiertes Fachwissen anzueignen. Die Kenntnis und die Beherrschung der funktionalen Zusammenhänge wird als Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung und Übertragung des neu erworbenen Wissens angesehen. Wo immer möglich, wird die Verbindung zu praxisrelevanten Anwendungen hergestellt. Der Bezug zu den Lernfeldern wird über die Zuordnung der Kapitel zu den Inhalten des KMK-Rahmenplanes geschaffen. Alle wichtigen Fachbegriffe wurden ins Englische übersetzt und sind im Sachwortverzeichnis den deutschen Begriffen zugeordnet. Das vorliegende Buch ist so eine verlässliche Quelle bei allen Fragen, die im Rahmen der Ausbildung zum Mechatroniker/zur Mechatronikerin zu beantworten sind.

Neben entwicklungsbedingten Anpassungen in vielen Bereichen wurden für die **dritte Auflage** die Bereiche „Elektronische Bauelemente“ und „Elektrische Messtechnik“ als eigenständige Kapitel neu aufgenommen und das Kapitel „Elektrische Antriebe“ neu gestaltet.

In der **vierten Auflage** wurde neben den erforderlichen allgemeinen Aktualisierungen vor allem das Kapitel „Grundlagen der Datenverarbeitung“ auf die neuesten Versionen der Office-Pakete umgestellt, sowie um die Bereiche „Grundlagen der Programmierung“ und „Bedrohung von Netzen und Computern“ erweitert. Das Kapitel „Bussysteme in der Automatisierungstechnik“ wurde an den derzeitigen Stand der Technik angepasst. Im Unterkapitel „CNC-Technik“ wurden die Neuerungen der PAL-Steuerung eingearbeitet.

Für die **5. Auflage** wurden alle verwendeten Normen auf den aktuellen Stand gebracht. Dies gilt vor allem für die Bezeichnungen in der Steuerungstechnik, wo teilweise Normen parallel verwendet werden (ISO 1219 und DIN EN 81346-1). In diesem Falle wird immer die DIN bzw. die EN zugrunde gelegt. Neu aufgenommen wurde das Kapitel „**Kommunikation in Netzen**“, das einen immer größer werdenden Raum im Bereich der Mechatronik einnimmt. Erweitert bzw. ergänzt wurde im Bereich der Antriebstechnik bei den **Schrittmotoren** und den **EC-Motoren**.

Die **6. Auflage** wurde um das Kapitel **INDUSTRIE 4.0** ergänzt. Darüberhinaus wurde das Thema „**Additive Fertigung**“ (**3-D-Druck u. a.**) aufgenommen.

Die vorliegende **7. Auflage** beinhaltet neu neben einem Kapitel über **I/O-Links** auch die Darstellung der **elektrischen Netzsysteme**.

Aufgrund seines Aufbaus ist dieses Buch neben dem Einsatz im Unterricht auch zum Erarbeiten von fundiertem Fachwissen im Selbststudium geeignet.

Wie jedes andere Fachbuch, so wird sich auch das vorliegende durch die praktische Auseinandersetzung weiterentwickeln und den technischen Entwicklungen anpassen. Dies geschieht umso schneller und konsequenter, je mehr Kolleginnen und Kollegen sowie Schülerinnen und Schüler, die damit arbeiten, dem Autorenkreis ihre Kritik bzw. Änderungs- und Verbesserungswünsche an

übermitteln.

[lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)

Sommer 2022

Autoren und Verlag

# Inhaltsverzeichnis

|                                           |                                                                                                                   |                              |                                                                  |     |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Interpretation der Lernfelder</b>      | <b>9</b>                                                                                                          | 2.1.5                        | Gewindedarstellung.....                                          | 82  |
| LF 1                                      | Analysieren von Funktionszusammenhängen in mechatronischen Systemen .....                                         | 2.1.6                        | Genormte Einzelheiten .....                                      | 83  |
| LF 2                                      | Herstellen mechanischer Teilsysteme .....                                                                         | 2.1.7                        | Gruppenzeichnungen .....                                         | 84  |
| LF 3                                      | Installieren elektrischer Betriebsmittel unter Beachtung sicherheitstechnischer Aspekte.....                      | 2.2                          | Tabellen und Diagramme.....                                      | 85  |
| LF 4                                      | Untersuchen der Energie- und Informationsflüsse in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Baugruppen ..... | 2.2.1                        | Tabellen.....                                                    | 85  |
| LF 5                                      | Kommunizieren mithilfe von Datenverarbeitungsanlagen.....                                                         | 2.2.2                        | Diagramme .....                                                  | 85  |
| LF 6                                      | Planen und Organisieren von Arbeitsabläufen.....                                                                  | 2.3                          | Technische Kommunikation mithilfe von Plänen.....                | 86  |
| LF 7                                      | Realisieren mechatronischer Teilsysteme.....                                                                      | 2.4                          | Die Sprache als Kommunikationsmittel .....                       | 87  |
| LF 8                                      | Design und Erstellung mechatronischer Systeme.....                                                                | 2.4.1                        | Das Erstellen von Protokollen.....                               | 87  |
| LF 9                                      | Untersuchen des Informationsflusses in komplexen mechatronischen Systemen .....                                   | 2.4.2                        | Referate und Vorträge .....                                      | 88  |
| LF 10                                     | Planen der Montage und Demontage.....                                                                             | 2.4.3                        | Referaterstellung.....                                           | 88  |
| LF 11                                     | Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung .....                                                              | 2.4.4                        | Der Vortrag des Referates .....                                  | 88  |
| LF 12                                     | Vorbeugende Instandhaltung .....                                                                                  |                              |                                                                  |     |
| LF 13                                     | Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden.....                                                              |                              |                                                                  |     |
| <b>1 Grundlagen der Datenverarbeitung</b> | <b>21</b>                                                                                                         | <b>3 Prüftechnik</b>         | <b>89</b>                                                        |     |
| 1.1                                       | Betriebssysteme .....                                                                                             | 3.1                          | Längen- und Winkelprüfung .....                                  | 89  |
| 1.1.1                                     | Aufgaben eines Betriebssystems .....                                                                              | 3.2                          | Mechanische Prüfmittel.....                                      | 90  |
| 1.1.2                                     | Betriebssystem-Kategorien .....                                                                                   | 3.2.1                        | Messschieber.....                                                | 90  |
| 1.1.3                                     | Client-Server-Betriebssystem (von Windows) .....                                                                  | 3.2.2                        | Messschrauben .....                                              | 91  |
| 1.2                                       | Office-Anwendungen.....                                                                                           | 3.2.3                        | Messuhren .....                                                  | 91  |
| 1.2.1                                     | Textverarbeitung .....                                                                                            | 3.2.4                        | Winkelmesser .....                                               | 92  |
| 1.2.2                                     | Tabellenkalkulation .....                                                                                         | 3.3                          | Pneumatische Messgeräte .....                                    | 93  |
| 1.2.3                                     | Präsentationssoftware .....                                                                                       | 3.4                          | Elektrische Messgeräte .....                                     | 93  |
| 1.2.4                                     | Datenbanksysteme.....                                                                                             | 3.5                          | Elektronische Messgeräte .....                                   | 94  |
| 1.3                                       | Ergänzende Software.....                                                                                          | 3.6                          | Prüfen mit Lehren.....                                           | 94  |
| 1.3.1                                     | Bildbearbeitung .....                                                                                             | 3.7                          | Prüfung von Oberflächen .....                                    | 95  |
| 1.3.2                                     | Erzeugung von PDF-Dokumenten .....                                                                                | 3.7.1                        | Grundbegriffe der Oberflächenprüfung.....                        | 95  |
| 1.3.3                                     | Projektmanagement.....                                                                                            | 3.7.2                        | Oberflächenprüfverfahren.....                                    | 95  |
| 1.4                                       | Einführung in die Programmierung .....                                                                            | 3.7.3                        | Rauheitsmessgrößen.....                                          | 96  |
| 1.4.1                                     | Programmiersprachen.....                                                                                          | 3.7.4                        | Angabe von Oberflächengüten in Technischen Zeichnungen .....     | 97  |
| 1.4.2                                     | Der Algorithmus.....                                                                                              | 3.8                          | Toleranzen und Passungen .....                                   | 98  |
| 1.4.3                                     | Allgemeiner Aufbau eines Programms .....                                                                          | 3.8.1                        | Maßtoleranzen.....                                               | 98  |
| 1.4.4                                     | Datentypen und Variablen .....                                                                                    | 3.8.2                        | Passungen.....                                                   | 100 |
| 1.4.5                                     | Datentypen.....                                                                                                   | 3.8.3                        | Passungssysteme.....                                             | 100 |
| 1.4.6                                     | Ein- und Ausgabe bei Hochsprachen.....                                                                            | 3.8.4                        | Form- und Lagetoleranzen .....                                   | 102 |
| 1.4.7                                     | Verknüpfung von Datentypen.....                                                                                   |                              |                                                                  |     |
| 1.4.8                                     | Programmentwicklung .....                                                                                         | <b>4 Qualitätsmanagement</b> | <b>103</b>                                                       |     |
| 1.4.9                                     | Darstellungsarten von Algorithmen.....                                                                            | 4.1                          | Der Qualitätsbegriff.....                                        | 103 |
| 1.4.10                                    | Programmbeispiel.....                                                                                             | 4.2                          | Aufgaben des Qualitätsmanagements .....                          | 104 |
| 1.5                                       | Kommunikation in Netzen.....                                                                                      | 4.2.1                        | Qualitätsplanung.....                                            | 104 |
| 1.5.1                                     | Grundlagen .....                                                                                                  | 4.2.2                        | Qualitätslenkung .....                                           | 105 |
| 1.5.2                                     | Kommunikationsprotokolle.....                                                                                     | 4.2.3                        | Qualitätsprüfung .....                                           | 105 |
| 1.5.3                                     | Bedrohung von Netzen und Computern .....                                                                          | 4.2.4                        | Qualitätsverbesserung.....                                       | 105 |
| <b>2 Technische Kommunikation</b>         | <b>73</b>                                                                                                         | 4.3                          | Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000:2015 .....              | 106 |
| 2.1                                       | Die Technische Zeichnung als Kommunikationsmittel .....                                                           | 4.4                          | Qualität ist nicht nur Chefsache.....                            | 106 |
| 2.1.1                                     | Darstellungsarten .....                                                                                           | 4.5                          | Statistisches Qualitätsmanagement .....                          | 107 |
| 2.1.2                                     | Einzelteil-Zeichnungen .....                                                                                      | 4.5.1                        | Zufällige und systematische Fehler.....                          | 107 |
| 2.1.3                                     | Schnittdarstellungen.....                                                                                         | 4.5.2                        | Gauß'sche Normalverteilung.....                                  | 107 |
| 2.1.4                                     | Bemaßung von Einzelteilen .....                                                                                   | 4.5.3                        | Qualitätsregelkarten als Instrument der Qualitätskontrolle ..... | 108 |
|                                           |                                                                                                                   | <b>5 Werkstofftechnik</b>    | <b>109</b>                                                       |     |
|                                           |                                                                                                                   | 5.1                          | Einteilung der Werkstoffe.....                                   | 109 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.2                          | Eigenschaften von Werkstoffen.....                               | 110 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.2.1                        | Physikalische Eigenschaften .....                                | 110 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.2.2                        | Chemisch-technologische Eigenschaften.....                       | 111 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.2.3                        | Mechanisch-technologische Eigenschaften .....                    | 111 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.2.4                        | Fertigungstechnische Eigenschaften .....                         | 113 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.2.5                        | Ökologische Eigenschaften .....                                  | 113 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.3                          | Aufbau metallischer Stoffe.....                                  | 114 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.3.1                        | Innerer Aufbau der Metalle .....                                 | 114 |
|                                           |                                                                                                                   | 5.3.2                        | Kristallgitterarten .....                                        | 114 |

|          |                                             |            |          |                                             |            |
|----------|---------------------------------------------|------------|----------|---------------------------------------------|------------|
| 5.4      | Eisen- und Stahlwerkstoffe .....            | 115        | 7.5.3    | Sägen.....                                  | 178        |
| 5.4.1    | Einteilung nach der Verwendung.....         | 115        | 7.5.4    | Feilen .....                                | 180        |
| 5.4.2    | Einteilung nach Güteklassen.....            | 116        | 7.5.5    | Spanende Fertigung mit Werkzeugma-          |            |
| 5.4.3    | Normung von Eisen- und Stahlwerkstoffen     | 116        |          | schinen .....                               | 181        |
| 5.4.4    | Wichtige Stähle und Eisenwerkstoffe         |            | 7.5.6    | Bohren .....                                | 184        |
|          | (Auswahl) .....                             | 118        | 7.5.7    | Senken.....                                 | 189        |
| 5.5      | Nichteisenmetalle.....                      | 121        | 7.5.8    | Reiben.....                                 | 190        |
| 5.5.1    | Kupfer und Kupferlegierungen .....          | 121        | 7.5.9    | Gewindeschneiden .....                      | 191        |
| 5.5.2    | Aluminium und Aluminiumlegierungen .....    | 122        | 7.5.10   | Drehen .....                                | 195        |
| 5.6      | Weitere wichtige Metalle.....               | 123        | 7.5.11   | Fräsen.....                                 | 201        |
| 5.7      | Sinterwerkstoffe .....                      | 124        | 7.5.12   | Schleifen.....                              | 206        |
| 5.7.1    | Herstellung von Sinterteilen .....          | 124        | 7.6      | Fügen.....                                  | 209        |
| 5.7.2    | Einsatzbereiche von Sintermetallen .....    | 124        | 7.6.1    | Einteilung und Wirkweise.....               | 209        |
| 5.8      | Korrosion.....                              | 125        | 7.6.2    | Schraubverbindung .....                     | 210        |
| 5.8.1    | Korrosionsursachen .....                    | 125        | 7.6.3    | Stift- und Bolzenverbindung .....           | 219        |
| 5.8.2    | Erscheinungsformen der Korrosion .....      | 126        | 7.6.4    | Keilverbindung .....                        | 221        |
| 5.8.3    | Korrosionsschutzmaßnahmen .....             | 126        | 7.6.5    | Federverbindung.....                        | 222        |
| 5.9      | Kunststoffe .....                           | 127        | 7.6.6    | Löten.....                                  | 223        |
| 5.9.1    | Eigenschaften von Kunststoffen und ihre     |            | 7.6.7    | Schweißen .....                             | 226        |
|          | Verwendungsmöglichkeiten .....              | 127        | 7.6.8    | Kleben.....                                 | 230        |
| 5.9.2    | Einteilung von Kunststoffen.....            | 128        | 7.6.9    | Pressverbindungen .....                     | 232        |
| 5.10     | Verbundstoffe .....                         | 130        | 7.6.10   | Klemm- und Quetschverbindungen.....         | 233        |
| 5.11     | Hilfsstoffe .....                           | 131        | 7.7      | Fertigungsautomatisierung.....              | 235        |
| 5.12     | Werkstoffe und Umweltschutz.....            | 132        | 7.7.1    | Historische Entwicklung.....                | 235        |
| <b>6</b> | <b>Mechanische Systeme</b> .....            | <b>133</b> | 7.7.2    | Bausteine der Fertigungsautomatisierung..   | 237        |
| 6.1      | Grundlagen des Systemgedankens .....        | 133        | 7.8      | CNC-Steuerungen .....                       | 239        |
| 6.1.1    | Die Systemgrenzen .....                     | 134        | 7.8.1    | Historische Entwicklung .....               | 239        |
| 6.1.2    | Die Ein- und Ausgangsgrößen.....            | 134        | 7.8.2    | Merkmale von CNC-Maschinen.....             | 241        |
| 6.1.3    | Haupt- und Teilfunktionen eines             |            | 7.8.3    | Wegmesssysteme .....                        | 242        |
|          | technischen Systems .....                   | 134        | 7.8.4    | Positionsangabe und Koordinatensystem ..    | 243        |
| 6.2      | Physikalische Grundlagen von mecha-         |            | 7.8.5    | Werkzeugvermessung und                      |            |
|          | nischen Systemen.....                       | 136        |          | Werkzeugkorrekturen.....                    | 244        |
| 6.2.1    | Mechanische Arbeit .....                    | 136        | 7.8.6    | Steuerungsarten.....                        | 245        |
| 6.2.2    | Mechanische Leistung und Wirkungsgrad..     | 137        | 7.8.6.1  | Punktsteuerung .....                        | 245        |
| 6.3      | Funktionseinheiten von mechanischen         |            | 7.8.6.2  | Bahnsteuerung .....                         | 245        |
|          | Systemen .....                              | 139        | 7.8.7    | CNC-Programm .....                          | 248        |
| 6.3.1    | Funktionseinheiten zum Antreiben .....      | 140        | 7.8.8    | Programmieren von CNC-Fertigungs-           |            |
| 6.3.2    | Funktionseinheiten zur                      |            |          | maschinen .....                             | 259        |
|          | Energieübertragung .....                    | 140        | 7.8.9    | Beispiele numerisch gesteuerter Ferti-      |            |
| 6.3.2.1  | Wellen.....                                 | 141        |          | gungsmaschinen.....                         | 261        |
| 6.3.2.2  | Kupplungen .....                            | 142        | 7.9      | Handhabungstechnik und Robotertechnik ..    | 266        |
| 6.3.2.3  | Getriebe.....                               | 144        |          | Handhabungseinrichtungen .....              | 267        |
| 6.3.2.4  | Kenngrößen von Getrieben .....              | 148        | 7.9.1.1  | Balancer.....                               | 268        |
| 6.3.2.5  | Linearantriebe.....                         | 150        | 7.9.1.2  | Manipulatoren .....                         | 269        |
| 6.3.3    | Funktionseinheiten zum Arbeiten.....        | 151        | 7.9.1.3  | Teleoperatoren .....                        | 269        |
| 6.3.4    | Funktionseinheiten zum Stützen und          |            | 7.9.1.4  | Modulare Systeme.....                       | 269        |
|          | Tragen .....                                | 151        | 7.9.1.5  | Industrieroboter .....                      | 270        |
| 6.3.4.1  | Gehäuse und Gestelle.....                   | 151        | 7.9.2    | Kinematik des Roboters.....                 | 274        |
| 6.3.4.2  | Führungen.....                              | 152        | 7.9.2.1  | Getriebefreiheitsgrad.....                  | 275        |
| 6.3.4.3  | Lager.....                                  | 155        | 7.9.2.2  | Bauarten und Arbeitsräume.....              | 276        |
| <b>7</b> | <b>Herstellen mechanischer Systeme</b>      |            | 7.9.3    | Roboter-Steuerung .....                     | 279        |
|          | <b>(Fertigungstechnik)</b> .....            | <b>163</b> | 7.9.4    | Programmierung von IR.....                  | 283        |
| 7.1      | Grundlagen der Fertigungstechnik .....      | 163        | <b>8</b> | <b>Grundlagen der Elektrotechnik</b> .....  | <b>285</b> |
| 7.2      | Die Fertigungshauptgruppen.....             | 163        | 8.1      | Das Bohr'sche Atommodell .....              | 286        |
| 7.3      | Das Urformen .....                          | 166        | 8.2      | Ladungstrennung .....                       | 287        |
| 7.3.1    | Urformen durch Gießen.....                  | 166        | 8.2.1    | Erzeugung elektrischer Spannung .....       | 288        |
| 7.3.2    | Urformen durch Sintern.....                 | 167        | 8.2.2    | Spannungsarten .....                        | 288        |
| 7.3.3    | Additive Fertigungsverfahren (3-D-Druck)... | 168        | 8.3      | Elektrischer Strom.....                     | 289        |
| 7.4      | Umformen.....                               | 170        | 8.4      | Der elektrische Widerstand .....            | 291        |
| 7.4.1    | Einteilung der Umformverfahren .....        | 170        | 8.5      | Das Ohm'sche Gesetz .....                   | 292        |
| 7.4.2    | Biegen.....                                 | 171        | 8.6      | Elektrische Arbeit und elektrische Leistung | 293        |
| 7.4.2.1  | Technologische Grundlagen .....             | 171        | 8.7      | Wirkungsgrad .....                          | 294        |
| 7.4.2.2  | Biegen von Rohren .....                     | 172        | 8.8      | Elektrisches Feld.....                      | 295        |
| 7.4.2.3  | Zuschnittlängen .....                       | 174        | 8.9      | Magnetisches Feld .....                     | 297        |
| 7.5      | Trennen.....                                | 175        | 8.9.1    | Magnetische Kreise.....                     | 298        |
| 7.5.1    | Grundlagen der mechanischen Trenn-          |            | 8.9.2    | Grundgrößen des magnetischen Feldes .....   | 298        |
|          | verfahren .....                             | 175        | 8.9.3    | Magnetische Werkstoffe.....                 | 300        |
| 7.5.2    | Spanen .....                                | 176        | 8.9.4    | Magnetisierung ferromagnetischer            |            |
|          |                                             |            |          | Werkstoffe .....                            | 301        |

|          |                                                                       |            |          |                                                                                        |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.9.5    | Kraftwirkung auf parallel verlaufende stromdurchflossene Leiter ..... | 302        | 9.2.4.3  | Spannungsstellung bei vorhandenem Wechselspannungsnetz .....                           | 354 |
| 8.9.6    | Elektromagnetische Induktion .....                                    | 302        | 9.2.5    | Veränderung der Drehfeldrehzahl bei Asynchronmotoren .....                             | 355 |
| 8.10     | Grundschaltungen elektrischer Widerstände .....                       | 306        | 9.2.5.1  | Prinzip des Frequenzumrichters .....                                                   | 356 |
| 8.10.1   | Widerstandsbauelemente im Stromkreis .....                            | 306        | 9.2.5.2  | Verhalten der Asynchronmaschine bei Frequenzsteuerung .....                            | 358 |
| 8.10.2   | Widerstandskennzeichnung .....                                        | 306        | 9.2.6    | Servuantriebe .....                                                                    | 359 |
| 8.10.3   | Reihenschaltung von Widerständen .....                                | 307        | 9.2.7    | Schrittmotoren .....                                                                   | 361 |
| 8.10.4   | Maschensatz (zweites Kirchhoff'sches Gesetz) .....                    | 308        | 9.2.8    | EC-Motoren – Motoren mit elektronischer Kommutierung .....                             | 363 |
| 8.10.5   | Parallelschaltung von Widerständen .....                              | 308        | 9.2.9    | Schutz elektrischer Antriebe .....                                                     | 366 |
| 8.10.6   | Knotenpunktregel (erstes Kirchhoff'sches Gesetz) .....                | 309        | 9.2.10   | Einsatz eines variablen Antriebes in einer Applikation .....                           | 369 |
| 8.11     | Grundlagen der Wechselstromtechnik .....                              | 309        | 9.3      | Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ..                                            | 372 |
| 8.11.1   | Erzeugung von Wechselspannungen und Begriffsdefinitionen .....        | 309        | 9.3.1    | EMV-Messungen .....                                                                    | 373 |
| 8.11.2   | Zeiger zur Darstellung von Wechselgrößen ..                           | 311        | 9.3.2    | EMV-Schutzmaßnahmen .....                                                              | 374 |
| 8.11.3   | Frequenz und Periodendauer .....                                      | 311        | 9.3.3    | Frequenzspektrum elektromagnetischer Felder .....                                      | 375 |
| 8.11.4   | Kreisfrequenz .....                                                   | 311        | 9.4      | Schutzmaßnahmen .....                                                                  | 376 |
| 8.11.5   | Wellenlänge .....                                                     | 312        | 9.4.1    | Sicherheit in Niederspannungsanlagen .....                                             | 376 |
| 8.11.6   | Effektivwert .....                                                    | 312        | 9.4.1.1  | Wirkungen des elektrischen Stroms auf den Organismus .....                             | 376 |
| 8.12     | Der Kondensator im Stromkreis .....                                   | 313        | 9.4.1.2  | Fünf Sicherheitsregeln .....                                                           | 376 |
| 8.13     | Die Spule im Stromkreis .....                                         | 315        | 9.4.1.3  | Hilfsmaßnahmen bei Unfällen .....                                                      | 378 |
| 8.14     | Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) .....                              | 317        | 9.4.1.4  | Direktes und indirektes Berühren .....                                                 | 378 |
| 8.14.1   | Spannungserzeugung .....                                              | 317        | 9.4.1.5  | Fachbegriffe .....                                                                     | 378 |
| 8.14.2   | Verkettung .....                                                      | 317        | 9.4.2    | Sicherheitsbestimmungen für Niederspannungsanlagen .....                               | 379 |
| 8.14.3   | Verbraucherschaltungen im Drehstromnetz ..                            | 319        | 9.4.2.1  | Zulässige Berührungsspannung .....                                                     | 379 |
| 8.14.3.1 | Sternschaltung (Y) .....                                              | 319        | 9.4.2.2  | Schutzklassen .....                                                                    | 380 |
| 8.14.3.2 | Dreieckschaltung ( $\Delta$ ) .....                                   | 321        | 9.4.2.3  | IP Schutzarten .....                                                                   | 381 |
| 8.14.4   | Leistungen im Drehstromnetz .....                                     | 322        | 9.4.2.4  | Arbeiten an elektrischen Anlagen .....                                                 | 382 |
| 8.15     | Grundlagen elektronischer Bauelemente ..                              | 324        | 9.4.2.5  | Personen der Elektrotechnik .....                                                      | 382 |
| 8.15.1   | Die Diode .....                                                       | 324        | 9.4.2.6  | Fehlerarten in elektrischen Anlagen .....                                              | 384 |
| 8.15.1.1 | Die Zener-Diode .....                                                 | 325        | 9.4.2.7  | Spannungen im Fehlerfall .....                                                         | 384 |
| 8.15.1.2 | Die Leuchtdiode .....                                                 | 325        | 9.4.3    | Prinzip der dreifachen Sicherheit .....                                                | 385 |
| 8.15.2   | Der Transistor .....                                                  | 326        | 9.4.4    | Schutz gegen elektrischen Schlag .....                                                 | 386 |
| 8.15.3   | Bauelemente der Leistungselektronik .....                             | 327        | 9.4.4.1  | Schutz gegen direktes Berühren (Basischutz) .....                                      | 386 |
| 8.15.3.1 | Die Leistungsdiode .....                                              | 328        | 9.4.4.2  | Schutz gegen indirektes Berühren (Fehler-schutz) .....                                 | 387 |
| 8.15.3.2 | Der Diac .....                                                        | 328        | 9.4.5    | Netzsysteme .....                                                                      | 388 |
| 8.15.3.3 | Der p-Gate-Thyristor .....                                            | 328        | 9.4.5.1  | TN-C-S-System .....                                                                    | 388 |
| 8.15.3.4 | Der Triac .....                                                       | 328        | 9.4.5.2  | TN-S-System .....                                                                      | 388 |
| 8.15.3.5 | Der Insulated Gate Bipolar Transistor .....                           | 329        | 9.4.5.3  | TT-System .....                                                                        | 389 |
| 8.16     | Grundlagen der elektrischen Messtechnik ..                            | 330        | 9.4.5.4  | IT-System .....                                                                        | 389 |
| 8.16.1   | Erfassung elektrischer Größen: Messgeräte ..                          | 330        | 9.4.5.5  | Schleifenimpedanz $Z_s$ .....                                                          | 390 |
| 8.16.2   | Messung der elektrischen Spannung .....                               | 331        | 9.4.5.6  | Schutz im TN-Netz .....                                                                | 390 |
| 8.16.3   | Messung des elektrischen Stromes .....                                | 331        | 9.4.5.7  | Schutz im TT-Netz .....                                                                | 391 |
| 8.16.4   | Spannungsfehlerschaltung .....                                        | 332        | 9.4.5.8  | Schutz im IT-Netz .....                                                                | 391 |
| 8.16.5   | Stromfehlerschaltung .....                                            | 332        | 9.4.5.9  | Doppelte oder verstärkte Isolierung .....                                              | 392 |
| 8.16.6   | Messung zeitabhängiger elektrischer Größen .....                      | 332        | 9.4.5.10 | Schutztrennung .....                                                                   | 393 |
| <b>9</b> | <b>Elektrische Maschinen</b> .....                                    | <b>334</b> | 9.4.5.11 | Schutz durch Schutzkleinspannung .....                                                 | 393 |
| 9.1      | Transformatoren .....                                                 | 335        | 9.4.5.21 | Fehlerstromschutzeinrichtungen .....                                                   | 394 |
| 9.1.1    | Aufbau und Wirkungsweise .....                                        | 335        | 9.4.6    | Prüfung elektrischer Betriebsmittel .....                                              | 397 |
| 9.1.2    | Übersetzungsverhältnis .....                                          | 336        | 9.4.6.1  | Erstprüfung von ortsfesten elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln .....              | 397 |
| 9.1.3    | Verluste und Wirkungsgrad .....                                       | 337        | 9.4.6.2  | Wiederkehrende Prüfungen von elektrischen Anlagen und ortsfesten Betriebsmitteln ..... | 399 |
| 9.1.4    | Betriebsverhalten .....                                               | 338        | 9.4.6.3  | Prüfen der Schutzleiter und Potentialausgleichsleiter .....                            | 399 |
| 9.1.5    | Kennwerte .....                                                       | 339        | 9.4.6.4  | Messung der Isolationswiderstände in elektrischen Anlagen .....                        | 400 |
| 9.1.6    | Magnetische Kopplung und Streuung .....                               | 340        | 9.4.6.5  | Prüfung der Schutzmaßnahmen SELV .....                                                 | 400 |
| 9.1.7    | Bauformen von Transformatoren .....                                   | 341        | 9.4.6.6  | E-Check als Gütesiegel für die Elektroanlage .....                                     | 400 |
| 9.1.7.1  | Kleintransformatoren .....                                            | 341        | 9.4.7    | Überspannungen und Störspannungen .....                                                | 401 |
| 9.1.7.2  | Spartransformator .....                                               | 342        |          |                                                                                        |     |
| 9.1.7.3  | Drehstromtransformatoren .....                                        | 342        |          |                                                                                        |     |
| 9.2      | Elektrische Antriebe .....                                            | 343        |          |                                                                                        |     |
| 9.2.1    | Grundlagen elektrischer Maschinen .....                               | 344        |          |                                                                                        |     |
| 9.2.2    | Drehstromasynchronmotoren .....                                       | 346        |          |                                                                                        |     |
| 9.2.3    | Einphasen-Wechselstrommotoren .....                                   | 349        |          |                                                                                        |     |
| 9.2.4    | Gleichstrommotoren .....                                              | 350        |          |                                                                                        |     |
| 9.2.4.1  | Wirkungsweise von Gleichstrommotoren ..                               | 351        |          |                                                                                        |     |
| 9.2.4.2  | Arten von Gleichstrommotoren .....                                    | 352        |          |                                                                                        |     |

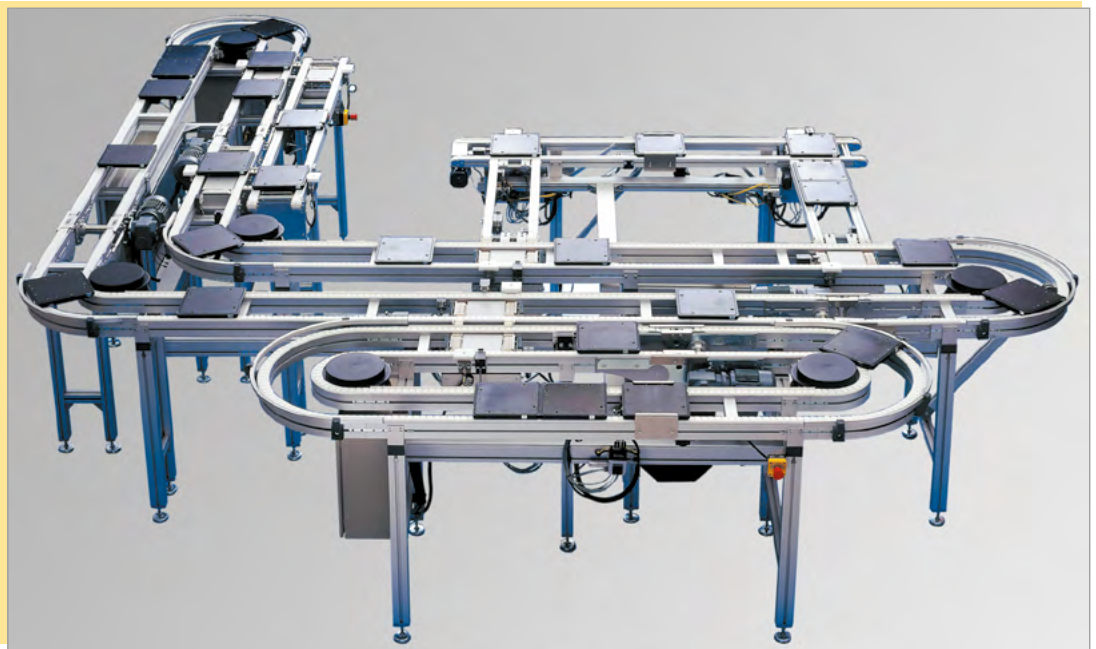
|           |                                                                                                    |            |           |                                                                          |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.4.7.1   | Elektrostatische Aufladung .....                                                                   | 401        | 10.5.2.3  | Schaltverzögerung .....                                                  | 473 |
| 9.4.7.2   | SEMP .....                                                                                         | 401        | 10.5.2.4  | Selbsthaltung .....                                                      | 475 |
| 9.4.7.3   | LEMP .....                                                                                         | 402        | 10.6      | Hydraulische Steuerungen .....                                           | 476 |
| 9.4.7.4   | Blitzschutz .....                                                                                  | 402        | 10.6.1    | Hydraulische Kreisläufe .....                                            | 477 |
| 9.4.7.5   | Schutz gegen Überspannung .....                                                                    | 403        | 10.6.2    | Hydraulikflüssigkeiten .....                                             | 478 |
| <b>10</b> | <b>Steuerungstechnik</b> .....                                                                     | <b>404</b> | 10.6.3    | Hydraulikpumpen und -motoren .....                                       | 484 |
| 10.1      | Grundlagen .....                                                                                   | 404        | 10.6.4    | Hydraulikzylinder .....                                                  | 489 |
| 10.1.1    | Steuervorgänge .....                                                                               | 404        | 10.6.5    | Hydraulikventile .....                                                   | 495 |
| 10.1.2    | Einteilung von Steuerungen .....                                                                   | 405        | 10.6.5.1  | Wegeventile .....                                                        | 495 |
| 10.1.3    | Regelungsvorgänge .....                                                                            | 407        | 10.6.5.2  | Druckventile .....                                                       | 498 |
| 10.2      | Digitaltechnik .....                                                                               | 408        | 10.6.5.3  | Strom- und Sperrventile .....                                            | 500 |
| 10.2.1    | Signalformen .....                                                                                 | 408        | 10.6.5.4  | Zubehör .....                                                            | 502 |
| 10.2.2    | Die logischen Grundverknüpfungen .....                                                             | 408        | 10.7      | Sensoren .....                                                           | 504 |
| 10.2.3    | Elektronische Schaltkreisfamilien .....                                                            | 411        | 10.7.1    | Bedeutung von Sensoren .....                                             | 504 |
| 10.2.4    | Entwerfen logischer Verknüpfungsschal-<br>tungen .....                                             | 412        | 10.7.2    | Mechanische Grenztaster<br>(Positionsschalter) .....                     | 506 |
| 10.2.5    | Vereinfachung von Funktionsgleichungen ..                                                          | 413        | 10.7.3    | Induktive Sensoren (Näherungsschalter) ...                               | 508 |
| 10.2.6    | Minimierung mit KV-Diagramm .....                                                                  | 414        | 10.7.4    | Korrekturfaktoren .....                                                  | 508 |
| 10.2.7    | Analyse logischer Schaltungen .....                                                                | 416        | 10.7.5    | Kapazitive Sensoren .....                                                | 511 |
| 10.2.8    | Speicherfunktionen .....                                                                           | 417        | 10.7.6    | Ultraschall-Sensoren .....                                               | 513 |
| 10.2.8.1  | JK-Master-Slave-Flipflop (JK-MS-FF) .....                                                          | 418        | 10.7.7    | Optische Sensoren .....                                                  | 516 |
| 10.2.8.2  | JK-Master-Slave-Flipflop mit statischen<br>Eingängen .....                                         | 419        | 10.7.7.1  | Einweg-Lichtschranke .....                                               | 517 |
| 10.2.9    | Zähler .....                                                                                       | 419        | 10.7.7.2  | Reflexionslichtschranke .....                                            | 517 |
| 10.2.9.1  | Asynchrone Zähler .....                                                                            | 419        | 10.7.7.3  | Reflexionslichttaster .....                                              | 518 |
| 10.2.9.2  | Synchrone Zähler .....                                                                             | 420        | 10.7.7.4  | Reflexionslichttaster mit<br>Hintergrundaussblendung .....               | 519 |
| 10.2.9.3  | Register .....                                                                                     | 422        | 10.7.7.5  | Sensoren mit Lichtwellenleiter (LWL) .....                               | 520 |
| 10.2.9.4  | Schieberegister (Prinzip) .....                                                                    | 422        | 10.7.7.6  | Elektronik von optischen Sensoren .....                                  | 522 |
| 10.2.10   | Spezielle Digitalbausteine .....                                                                   | 424        | 10.7.7.7  | Auswahlkriterien .....                                                   | 523 |
| 10.2.11   | Zahlensysteme .....                                                                                | 424        | 10.7.8    | Drehgeber als Sensoren zur Weg- und<br>Winkelmessung .....               | 525 |
| 10.2.12   | Codes .....                                                                                        | 425        | 10.7.9    | Spannungsversorgung und Lastanschluss ..                                 | 527 |
| 10.2.13   | Codewandler .....                                                                                  | 426        | 10.8      | Speicherprogrammierbare Steuerungen<br>SPS .....                         | 529 |
| 10.2.14   | Signalumsetzer .....                                                                               | 426        | 10.8.1    | Aufbau und Funktionsweise .....                                          | 529 |
| 10.3      | Zeichnerische Darstellung von Steue-<br>rungen .....                                               | 428        | 10.8.1.1  | Kompakte SPS-Steuerungen .....                                           | 529 |
| 10.3.1    | Bild- und Schaltzeichen der Bauteile von<br>pneumatischen und hydraulischen Steue-<br>rungen ..... | 428        | 10.8.1.2  | Modular aufgebaute SPS-Steuerungen .....                                 | 529 |
| 10.3.2    | Schaltpläne .....                                                                                  | 430        | 10.8.1.3  | Industrie-PC (Slot-SPS) .....                                            | 529 |
| 10.3.3    | GRAFCET .....                                                                                      | 432        | 10.8.1.4  | Soft-SPS .....                                                           | 530 |
| 10.3.4    | Zustandsdiagramme .....                                                                            | 436        | 10.8.1.5  | Verdrahtung der SPS .....                                                | 530 |
| 10.4      | Pneumatik .....                                                                                    | 437        | 10.8.1.6  | Die CPU (Central Processing Unit) .....                                  | 530 |
| 10.4.1    | Physikalische Grundlagen .....                                                                     | 437        | 10.8.1.7  | Programm in CPU laden; urlöschen .....                                   | 531 |
| 10.4.2    | Verdichter .....                                                                                   | 439        | 10.8.1.8  | Zyklische Bearbeitung des Programmes .....                               | 531 |
| 10.4.3    | Druckluftaufbereitung und -verteilung .....                                                        | 440        | 10.8.1.9  | Eingänge; Eingabebaugruppe .....                                         | 532 |
| 10.4.4    | Arbeitsglieder .....                                                                               | 443        | 10.8.1.10 | Ausgänge; Ausgangsbaugruppe .....                                        | 532 |
| 10.4.4.1  | Druckluftzylinder .....                                                                            | 443        | 10.8.1.11 | Merkel .....                                                             | 533 |
| 10.4.4.2  | Zylindersonderbauarten .....                                                                       | 444        | 10.8.2    | Projektierung .....                                                      | 533 |
| 10.4.4.3  | Druckluftmotoren .....                                                                             | 447        | 10.8.2.1  | Betriebssystem-Software .....                                            | 533 |
| 10.4.5    | Pneumatische Ventile .....                                                                         | 449        | 10.8.2.2  | Anwendersoftware .....                                                   | 533 |
| 10.4.5.1  | Wegeventile .....                                                                                  | 449        | 10.8.2.3  | Grundfunktionen .....                                                    | 537 |
| 10.4.5.2  | Sperr- und Stromventile .....                                                                      | 451        | 10.8.3.1  | Schließerkontakt; Öffnerkontakt .....                                    | 537 |
| 10.4.5.3  | Pneumatische Druckventile .....                                                                    | 452        | 10.8.3.2  | Binäre Verknüpfungen .....                                               | 537 |
| 10.4.6    | Grundsaltungen .....                                                                               | 453        | 10.8.3.3  | UND-Funktion .....                                                       | 538 |
| 10.4.6.1  | Einfacher Vor- und Rücklauf bei Zylindern ..                                                       | 453        | 10.8.3.4  | ODER-Funktion .....                                                      | 538 |
| 10.4.6.2  | Geschwindigkeitsbeeinflussung .....                                                                | 455        | 10.8.3.5  | Speicherfunktionen .....                                                 | 539 |
| 10.4.6.3  | Verknüpfung von Signalen .....                                                                     | 456        | 10.8.3.6  | Flankenbewertung .....                                                   | 541 |
| 10.4.6.4  | Druckabhängige Steuerungen .....                                                                   | 459        | 10.8.3.7  | Zeitfunktionen .....                                                     | 541 |
| 10.4.6.5  | Schaltverzögerung .....                                                                            | 460        | 10.8.3.8  | Zählfunktionen .....                                                     | 542 |
| 10.4.6.6  | Signalüberschneidung .....                                                                         | 462        | 10.8.3.9  | Vergleichsfunktionen .....                                               | 543 |
| 10.5      | Elektropneumatik .....                                                                             | 466        | 10.8.4    | Ablaufsteuerung .....                                                    | 543 |
| 10.5.1    | Bauteile in elektropneumatischen Anlagen                                                           | 466        | 10.8.4.1  | Prozessüberwachung mit<br>SPS-Programmen<br>(Befehl Fehlermeldung) ..... | 546 |
| 10.5.1.1  | Elektrische Eingabeelemente .....                                                                  | 466        | 10.8.4.2  | Betriebsarten von Ablaufsteuerungen .....                                | 549 |
| 10.5.1.2  | Sensoren .....                                                                                     | 466        | 10.8.4.3  | Grundformen von Ablaufsteuerungen .....                                  | 549 |
| 10.5.1.3  | Relais und Schütz .....                                                                            | 467        | 10.8.5    | Funktionale Sicherheit von Steuerungen ...                               | 552 |
| 10.5.1.4  | Magnetventile .....                                                                                | 468        | 10.9      | IO-Link .....                                                            | 556 |
| 10.5.2    | Grundsaltungen .....                                                                               | 470        | 10.9.1    | Komponenten eines IO-Link-Systems .....                                  | 556 |
| 10.5.2.1  | Vor- und Rücklauf bei Zylindern .....                                                              | 470        | 10.9.2    | IO-Link-Schnittstelle .....                                              | 557 |
| 10.5.2.2  | Verknüpfung von Signalen .....                                                                     | 471        |           |                                                                          |     |

|           |                                                                               |            |           |                                                                                             |                                               |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----|
| 10.9.2.1  | Porttypen in IP65/67 .....                                                    | 557        |           |                                                                                             | Systeme.....                                  | 619 |
| 10.9.3    | IO-Link-Protokoll.....                                                        | 557        | 14.2.1    |                                                                                             | Das mechanische Teilsystem.....               | 619 |
| 10.9.4    | IODD und Engineering.....                                                     | 558        | 14.2.2    |                                                                                             | Das hydraulische Teilsystem .....             | 619 |
| 10.9.5    | Unterschiede IO-Link-Spezifikation V1.0<br>und V1.1 .....                     | 559        | 14.2.3    |                                                                                             | Das pneumatische Teilsystem .....             | 622 |
| 10.9.6    | Einbindung des IO-Link-Masters in<br>übergeordnete Feldbusse .....            | 559        | 14.2.4    |                                                                                             | Das elektrische Teilsystem .....              | 623 |
| <b>11</b> | <b>Regelungstechnik</b> .....                                                 | <b>560</b> | <b>15</b> | <b>Montage, Inbetriebnahme und Instand-</b><br><b>haltung mechatronischer Systeme</b> ..... | <b>632</b>                                    |     |
| 11.1      | Grundbegriffe .....                                                           | 560        | 15.1      |                                                                                             | Die Montagetätigkeit Fügen.....               | 632 |
| 11.2      | Regelkreiselemente.....                                                       | 561        | 15.1.1    |                                                                                             | Formschlüssige Verbindungen.....              | 632 |
| 11.2.1    | Proportionalglied ohne Verzögerung<br>(P-Glied).....                          | 561        | 15.1.2    |                                                                                             | Kraftschlüssige Verbindungen.....             | 633 |
| 11.2.2    | Proportionalglied mit Verzögerung<br>1. Ordnung (PT <sub>1</sub> -Glied)..... | 561        | 15.1.3    |                                                                                             | Stoffschlüssige Verbindungen.....             | 633 |
| 11.2.3    | Proportionalglied mit Verzögerung<br>2. Ordnung (PT <sub>2</sub> -Glied)..... | 562        | 15.2      |                                                                                             | Montagetätigkeit Prüfen und Justieren .....   | 634 |
| 11.2.4    | Integralglied (I-Glied) .....                                                 | 563        | 15.2.1    |                                                                                             | Prüftätigkeiten vor der Montage.....          | 634 |
| 11.2.5    | Differenzierglied (D-Glied).....                                              | 564        | 15.2.2    |                                                                                             | Prüftätigkeiten während der Montage .....     | 634 |
| 11.2.6    | Totzeitglied (T <sub>1</sub> -Glied).....                                     | 565        | 15.2.3    |                                                                                             | Prüftätigkeiten nach der Montage .....        | 634 |
| 11.3      | Regelrichtungen und Regelglieder .....                                        | 565        | 15.3      |                                                                                             | Montageplanung.....                           | 635 |
| 11.3.1    | Unstetige Regelglieder .....                                                  | 565        | 15.3.1    |                                                                                             | Der Montageplan.....                          | 636 |
| 11.3.2    | Stetige Regelglieder.....                                                     | 566        | 15.3.2    |                                                                                             | Beispiel eines Montageplanes .....            | 636 |
| 11.3.3    | Digitale Regelglieder.....                                                    | 568        | 15.4      |                                                                                             | Organisationsformen der Montage.....          | 637 |
| 11.4      | Stabilität von Regelkreisen.....                                              | 569        | 15.5      |                                                                                             | Montagebeispiele.....                         | 639 |
| <b>12</b> | <b>Bussysteme in der Automatisierungs-</b><br><b>technik</b> .....            | <b>570</b> | 15.5.1    |                                                                                             | Beispiel für Montageplan eines elektro-       |     |
| 12.1      | Kommunikationsmodell .....                                                    | 574        |           |                                                                                             | pneumatischen Ventilblockes auf               |     |
| 12.2      | Topologien .....                                                              | 576        |           |                                                                                             | DIN-Schiene .....                             | 640 |
| 12.3      | Übertragungsmedien.....                                                       | 578        | 15.5.2    |                                                                                             | Auszug aus dem Montageplan eines              |     |
| 12.4      | Übertragungsarten.....                                                        | 580        |           |                                                                                             | Handlengerätes zur Realisierung von           |     |
| 12.5      | Buszugriffsverfahren.....                                                     | 581        |           |                                                                                             | Handhabungslösungen an Spritzguss-            |     |
| 12.5.1    | Master/Slave-Verfahren.....                                                   | 581        |           |                                                                                             | maschinen.....                                | 641 |
| 12.5.2    | Das Token-Prinzip.....                                                        | 582        | 15.6      |                                                                                             | Arbeitssicherheit bei der Montage.....        | 644 |
| 12.5.3    | Das CSMA-Verfahren .....                                                      | 583        | 15.6.1    |                                                                                             | Vorbeugende Sicherheitsmaßnahmen bei          |     |
| 12.5.4    | CSMA/CA .....                                                                 | 584        |           |                                                                                             | der Arbeit an Maschinen, Anlagen und          |     |
| 12.6      | Datensicherheit.....                                                          | 584        |           |                                                                                             | mechatronischen Systemen .....                | 644 |
| 12.7      | AS-Interface .....                                                            | 585        | 15.6.2    |                                                                                             | Maßnahmen bei einem Arbeitsunfall .....       | 645 |
| 12.7.1    | AS-Interface-Funktionsprinzip .....                                           | 585        | 15.6.3    |                                                                                             | Brandschutz und Maßnahmen im                  |     |
| 12.7.2    | AS-Interface-Verkabelung .....                                                | 587        |           |                                                                                             | Brandfalle.....                               | 646 |
| 12.7.3    | Inbetriebnahme einer AS-Interface-Anlage .....                                | 589        | 15.6.4    |                                                                                             | Umgang mit Gefahrstoffen .....                | 647 |
| 12.7.4    | Strukturen einer AS-Interface-Anlage .....                                    | 591        | 15.6.5    |                                                                                             | Richtlinien für die Maschinensicherheit ..... | 647 |
| 12.7.5    | Die AS-Interface-Spezifikation 2.11 .....                                     | 594        | 15.7      |                                                                                             | Inbetriebnahme .....                          | 648 |
| 12.7.6    | Die AS-Interface-Spezifikation 3.0 .....                                      | 596        | 15.7.1    |                                                                                             | Besonderheiten der Inbetriebnahme .....       | 648 |
| 12.7.7    | AS-i-Safety .....                                                             | 596        | 15.7.2    |                                                                                             | Grundsätzliches zum Verfahren der             |     |
| 12.8      | PROFIBUS .....                                                                | 596        |           |                                                                                             | Inbetriebnahme .....                          | 651 |
| 12.8.1    | PROFIBUS-DP .....                                                             | 597        | 15.7.3    |                                                                                             | Inbetriebnahme pneumatischer und elek-        |     |
| 12.8.2    | PROFIBUS-PA .....                                                             | 599        |           |                                                                                             | tropneumatischer Anlagen .....                | 653 |
| 12.9      | Ethernet.....                                                                 | 603        | 15.7.4    |                                                                                             | Inbetriebnahme hydraulischer und              |     |
| 12.9.1    | PROFINET.....                                                                 | 607        |           |                                                                                             | elektrohydraulischer Anlagen.....             | 653 |
| 12.10     | Zusammenfassung .....                                                         | 608        | 15.7.5    |                                                                                             | Inbetriebnahme elektrischer Maschinen .....   | 654 |
| <b>13</b> | <b>INDUSTRIE 4.0</b> .....                                                    | <b>610</b> | 15.7.6    |                                                                                             | Inbetriebnahme von SPS .....                  | 655 |
| 13.1      | Das nutzen wir bisher .....                                                   | 610        | 15.7.7    |                                                                                             | Fehler bei der Inbetriebnahme von             |     |
| 13.2      | Das ist neu bei Industrie 4.0.....                                            | 610        |           |                                                                                             | mechatronischen Systemen .....                | 655 |
| 13.3      | Die reale Fabrik und ihr virtuelles Abbild ....                               | 611        | 15.8      |                                                                                             | Instandhaltung von mechatronischen            |     |
| 13.4      | Einheitliche Standards für die digitale<br>Produktion .....                   | 613        |           |                                                                                             | Systemen .....                                | 658 |
| 13.5      | Aufbau einer Industrie 4.0-Komponente .....                                   | 613        | 15.8.1    |                                                                                             | Verlauf der Systemausfallrate .....           | 658 |
| 13.6      | Die Verwaltungsschale .....                                                   | 613        | 15.8.2    |                                                                                             | Instandhaltungsstrategien .....               | 659 |
| 13.7      | Cyber-Physisches-System, CPS.....                                             | 615        | 15.8.3    |                                                                                             | Die Wartung als vorbeugende                   |     |
| <b>14</b> | <b>Mechatronische Systeme</b> .....                                           | <b>618</b> |           |                                                                                             | Instandhaltungsmaßnahme.....                  | 660 |
| 14.1      | Teilsysteme des mechatronischen Systems .....                                 | 618        | 15.8.4    |                                                                                             | Die Inspektion als Maßnahme zur Ausfall-      |     |
| 14.2      | Die Komponenten des mechatronischen<br>Systems.....                           | 619        |           |                                                                                             | verhütung.....                                | 662 |
|           |                                                                               |            | 15.8.5    |                                                                                             | Die Instandsetzung.....                       | 663 |
|           |                                                                               |            | 15.8.6    |                                                                                             | Fehlerruche als Grundlage der Instand-        |     |
|           |                                                                               |            |           |                                                                                             | setzung .....                                 | 663 |
|           |                                                                               |            |           |                                                                                             | Sachwortverzeichnis.....                      | 667 |
|           |                                                                               |            |           |                                                                                             | Bildquellenverzeichnis.....                   | 679 |

# Interpretation der Lernfelder

Die Ausbildung des noch jungen Berufes des Mechatronikers und der Mechatronikerin ist in 13 Lernfelder gegliedert. Die Lernfelder orientieren sich an den beruflichen Handlungsabläufen und Tätigkeitsbereichen, die je nach Ausbildungsbetrieb sehr unterschiedlich sein können. In den verschiedenen Bundesländern können die Inhalte der Lernfelder unterschiedlichen Unterrichtsfächern zugeordnet werden. Im Rahmen des Berufsschulunterrichtes und der betrieblichen Ausbildung sollen die Ausbildungsinhalte auf regionale und betriebliche Gegebenheiten angepasst werden. Die Aufgabe dieses Fachbuches besteht darin, unabhängig von der jeweiligen Fächerstruktur und den regionalen Besonderheiten die fachlichen Informationen und Anregungen bereitzustellen, und dadurch den Unterricht und die betriebliche Ausbildung zu unterstützen. Aus diesem Grunde wurde von den Autoren bewusst auf eine Einteilung in Lernfelder verzichtet.

Im Folgenden sollen am Beispiel eines ausgewählten mechatronischen Systemes die Lernfelder interpretiert und der Einsatz des Fachbuches im Rahmen des Lernfeldkonzeptes gezeigt werden.

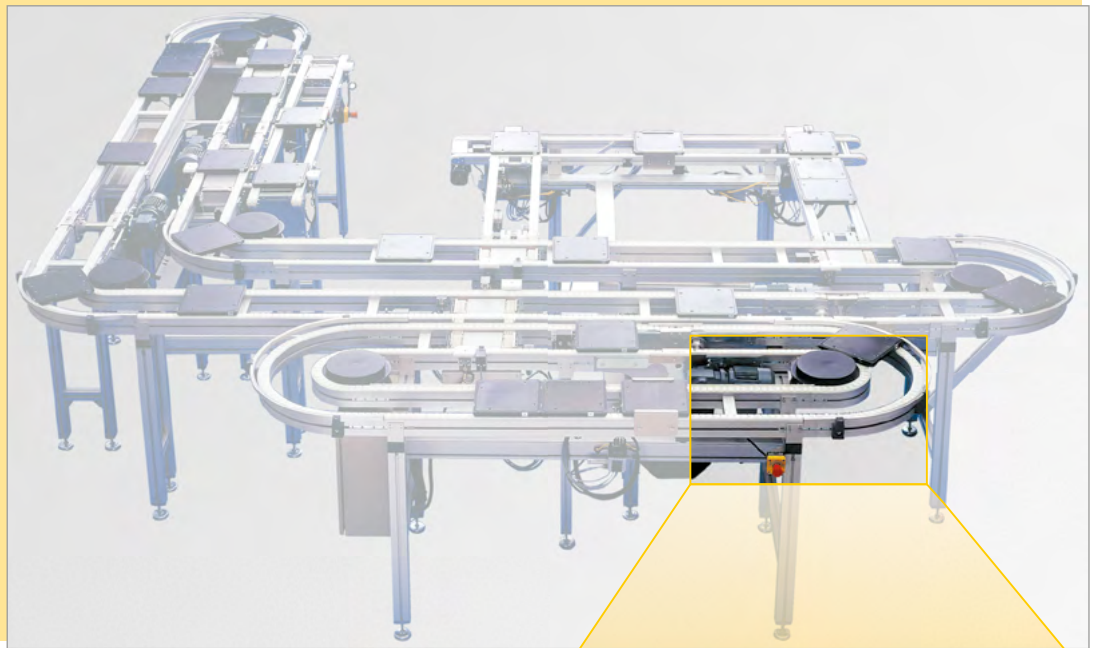


## LF 1 Analysieren von Funktionszusammenhängen in mechatronischen Systemen

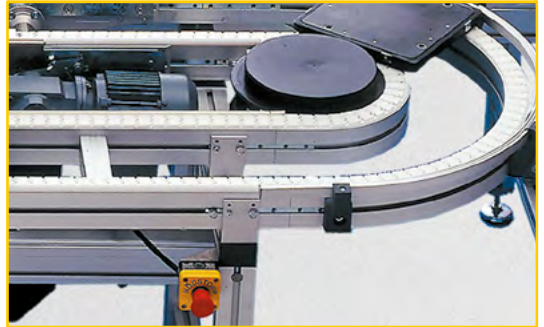
Dieses Lernfeld soll die Mechatroniker und Mechatronikerinnen in die Lage versetzen, Systeme ganzheitlich zu betrachten und zu analysieren. Dazu ist es erforderlich, dass die Systeme in ihre Teilsysteme und -elemente zerlegt werden können sowie ihre Aufgaben und Funktionszusammenhänge und die Signal-, Stoff- und Informationsflüsse beschrieben werden können. Wirksame Hilfsmittel sind dabei alle Formen von Dokumentationsmitteln und technischen Unterlagen wie Technische Zeichnungen, Schaltpläne, Blockschaltbilder, Funktionspläne, Pflichtenhefte u.a.

Da das Lernfeld 1 ein sogenanntes „Querschnittslernfeld“ ist, das in die restlichen Lernfelder einfließt, sind die zu vermittelnden inhaltlichen Schwerpunkte auch auf fast alle Kapitel des Buches verteilt und können je nach Lernsituation dort erarbeitet werden.

## LF 2 | Herstellen mechanischer Teilsysteme

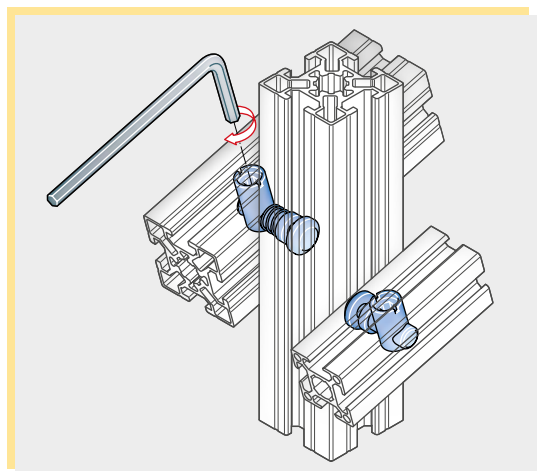


Mechatronische Systeme bestehen immer auch aus mechanischen Bauteilen und Systemen, die durch die Bearbeitung von Rohteilen oder Halbzeugen geschaffen wurden. So sind die in dem abgebildeten mechatronischen System verwendeten Einzelteile aus dem Halbzeug „Aluminium-Profilrohr“ hergestellt. Die in Form von Stangen angelieferten Rohre müssen auf die geforderten Maße „geschnitten“ werden und mit Bohrungen versehen werden. Dafür ist es erforderlich, dass die wesentlichen Grundlagen der Werkstofftechnik und der Bearbeitungsverfahren gekannt und beherrscht werden.



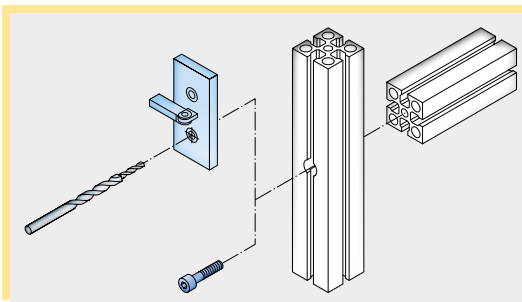
Das Lernfeld 2 beinhaltet die Grundlagen der Metalltechnik, die zur Herstellung, Bearbeitung und Montage von Metallen aber auch Kunststoffen erforderlich sind. Dazu zählen die Kenntnisse über Aufbau, Eigenschaften und Einsatzgebiete der verwendeten Werkstoffe ebenso, wie die Aspekte ihres ökonomischen, ökologischen und gesundheitsrelevanten Einsatzes.

Neben der Zusammensetzung von Werkstoffen sind die Möglichkeiten der Bearbeitung der daraus bestehenden Werkstücke wichtig. Im Lernfeld 2 werden alle Bearbeitungsverfahren, wie sie vom Mechatroniker benötigt werden, behandelt. Dazu gehören neben den spanabhebenden Verfahren vor allem auch die vielfältigen Möglichkeiten des Fügens, wie etwa das Kleben, das Verschrauben und das Lötten.



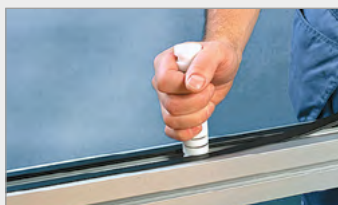
Um Werkstücke bearbeiten zu können, muss der Facharbeiter, der diese Arbeiten durchführen muss, mit anderen verständlich kommunizieren können. Dies bedeutet vor allem, dass er Technische Zeichnungen, Pläne, Diagramme und Schaubilder lesen kann.

Darüber hinaus muss er Skizzen erstellen und Vorgänge beschreiben können. Die in diesem Lernfeld vermittelten Fertigkeiten und Kenntnisse sind u.a. Voraussetzung für das Lernfeld 10.

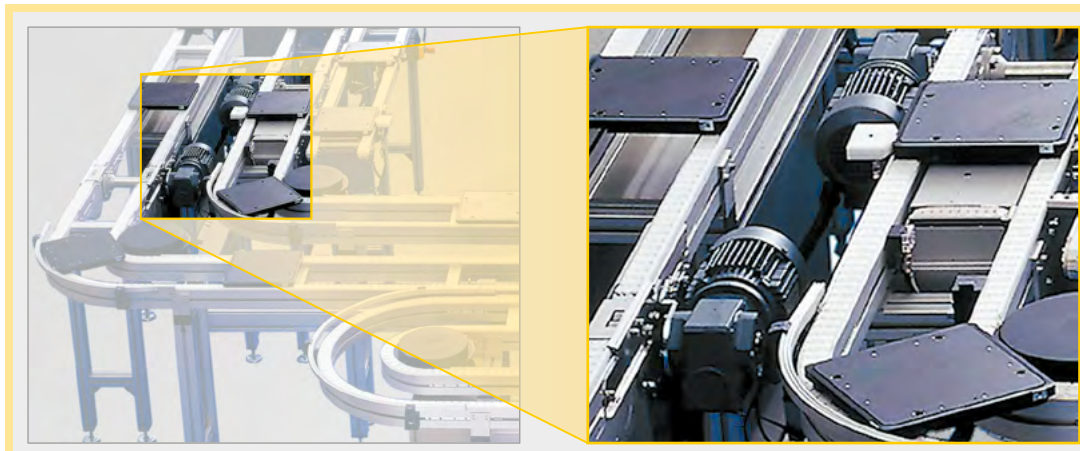


**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 2**

| Lerninhalte                                                     | Fachkapitel im Lehrbuch                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Einzel- und Baugruppenzeichnungen, Stücklisten                  | 2 Technische Kommunikation                                                                          |
| Maschinenelemente, Passungen und Toleranzen                     | 6 Mechanische Systeme<br>7 Herstellen mechanischer Systeme                                          |
| Montagepläne, Verbindungselemente                               | 6 Mechanische Systeme<br>14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen |
| Grundlagen des manuellen und maschinellen Spanens und Umformens | 6 Mechanische Systeme                                                                               |
| Herstellen von mechanischen Verbindungen                        | 6 Mechanische Systeme                                                                               |
| Betriebsspezifische Werk- und Hilfsstoffe                       | 5 Werk- und Hilfsstoffe                                                                             |
| Montagewerkzeuge und Hilfsgeräte                                | 6 Mechanische Systeme<br>14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen |
| Montagegerechte Lagerung, Sicherheit und Arbeitsschutz          | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                          |
| Prüf- und Messmittel                                            | 3 Prüftechnik<br>4 Qualitätsmanagement                                                              |



### LF 3 Installieren elektrischer Betriebsmittel unter Beachtung sicherheitstechnischer Aspekte



Beim Aufbau von Mechatronischen Systemen finden heute in aller Regel elektrische Betriebsmittel Anwendung. Der Umgang damit setzt fundierte Kenntnisse ihrer Funktionsweisen, der Gesetzmäßigkeiten der Installation und vor allem der geforderten Schutzmaßnahmen voraus.

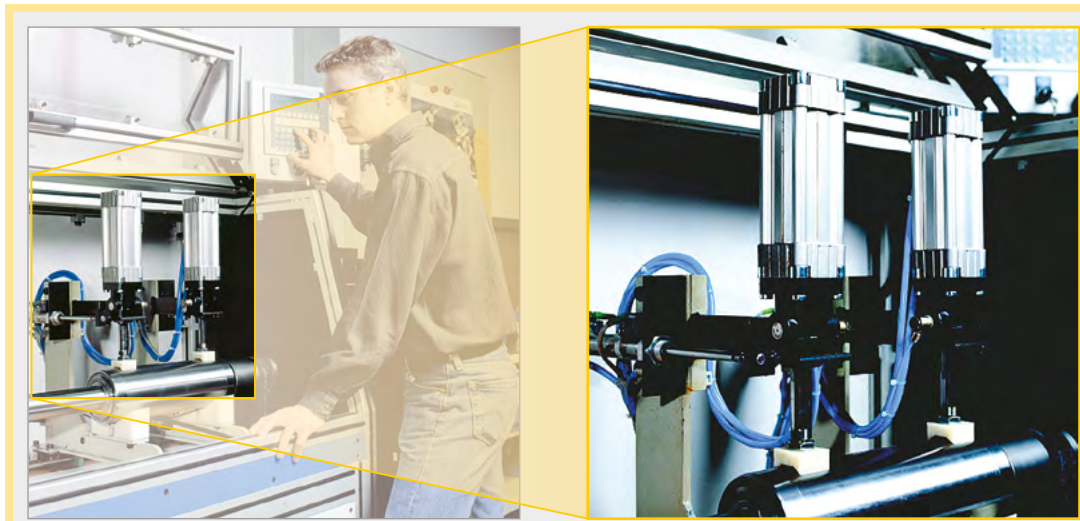
Mechatroniker und Mechatronikerinnen müssen elektrische Vorgänge verstehen und die notwendigen Installationsarbeiten unter Beachtung aller Sicherheitsanforderungen durchführen können. Sie müssen elektrische Größen berechnen können und deren Zusammenhänge und Darstellungsmöglichkeiten beherrschen sowie durch den Einsatz geeigneter Messmittel und -verfahren überprüfen können.

In Lernfeld 3 werden auch die Grundlagen für die folgenden Lernfelder gelegt.

**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 3**

| Lerninhalte                                                                                            | Fachkapitel im Lehrbuch                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Elektrische Größen, deren Zusammenhänge, Darstellungsmöglichkeiten und Berechnungen                    | 8 Grundlagen der Elektrotechnik                          |
| Bauteile im Gleich- und Wechselstromkreis                                                              | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen |
| Elektrische Messverfahren                                                                              | 8 Grundlagen der Elektrotechnik                          |
| Auswahl von Kabeln und Leitungen für die Energie- und Informationsübertragung                          | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>12 Bussysteme         |
| Elektrische Netze                                                                                      | 8 Grundlagen der Elektrotechnik                          |
| Gefahren durch Überlastung, Kurzschluss und Überspannung, Berechnung der erforderlichen Schutzelemente | 8 Grundlagen der Elektrotechnik                          |
| Handhabung von Tabellen und Formeln                                                                    | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen |
| Stromwirkung auf den Organismus, Sicherheitsregeln in der Elektrotechnik, Hilfsmaßnahmen bei Unfällen  | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen |
| Maßnahmen gegen gefährliche Körperströme nach den geltenden Vorschriften                               | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen |
| Prüfen elektrischer Betriebsmittel                                                                     | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen |
| Ursachen für Überspannungen und Störspannungen, deren Auswirkungen, Gegenmaßnahmen                     | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen |
| Elektromagnetische Verträglichkeit                                                                     | 9 Elektrische Anlagen                                    |

## LF 4 Untersuchen der Energie- und Informationsflüsse in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Baugruppen



Steuerungsprobleme können meist auf unterschiedliche Art und mit verschiedenen Techniken, wie z.B. Pneumatik, Hydraulik, gelöst werden. Häufig sind auch Kombinationen mehrerer Gerätetechniken erforderlich. So finden heute an Stelle der rein pneumatischen oder hydraulischen Steuerungen vielfach elektropneumatische oder elektrohydraulische Steuerungen Anwendung.

Voraussetzung für die fachgerechte Installation der Steuerungen ist auch hier die Kenntnis der Funktionsweisen und die Fähigkeit, Informationsflüsse zu erkennen und Installationspläne zu erstellen bzw. zu lesen und interpretieren.

Das Lernfeld 4 kann in enger Verbindung mit dem Lernfeld 1 gesehen werden. Dieses ist, wie an anderer Stelle schon erwähnt, ein Lernfeld, das viele andere tangiert, so auch hier, wo die im Lernfeld 1 erworbenen Fähigkeiten der Systemanalyse und des Analysierens von Funktionszusammenhängen angewandt werden müssen.

Die Inhalte dieses Lernfeldes werden in den Lernfeldern 7 und 8 vertieft und erweitert.

**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 4**

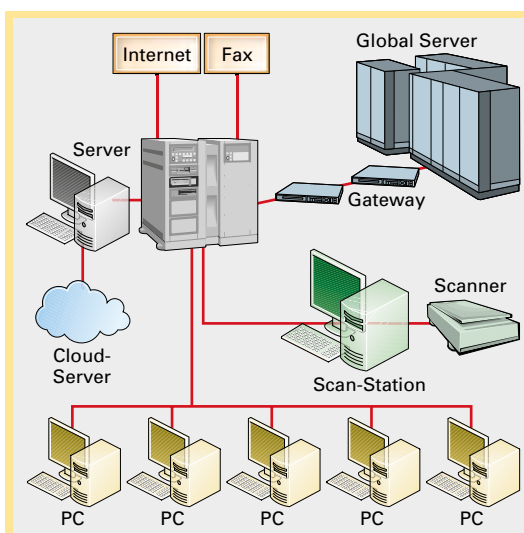
| Lerninhalte                                                                                           | Fachkapitel im Lehrbuch                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Pneumatische und hydraulische Größen, deren Zusammenhänge, Darstellungsmöglichkeiten und Berechnungen | 2 Technische Kommunikation<br>10 Steuerungstechnik                               |
| Versorgungseinheiten der Elektrotechnik, Pneumatik und Hydraulik                                      | 10 Steuerungstechnik<br>8 Grundlagen der Elektrotechnik                          |
| Grundschaltungen der Steuerungstechnik                                                                | 10 Steuerungstechnik                                                             |
| Technische Unterlagen                                                                                 | 10 Steuerungstechnik<br>2 Technische Kommunikation                               |
| Signale und Messwerte in Steuerungssystemen                                                           | 10 Steuerungstechnik                                                             |
| Gefahren beim Umgang mit elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Leistungsbaugruppen            | 10 Steuerungstechnik<br>8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen |
| Ökonomische Aspekte, Arbeits- und Umweltschutz, Recycling                                             | 10 Steuerungstechnik                                                             |

## LF 5 Kommunizieren mithilfe von Datenverarbeitungsanlagen

In diesem Lernfeld werden der Einsatz von Datenverarbeitungsanlagen und deren Einordnung in die betrieblichen Abläufe sowie Strukturen vernetzter Systeme und die daraus resultierenden Sicherheitssysteme betrachtet. Dies setzt im Wesentlichen die Einsicht in die Grundlagen der Datenverarbeitung und die Fähigkeit zur Anwendung branchenüblicher Standardsoftware voraus.

Im Falle der Mechatroniker können dies sowohl Betriebssysteme als auch Anwendungspakete, wie die zahlreichen Office-Programme, einfache CAD-Programme, aber auch Simulationssoftware oder Programmiersoftware für Roboter, firmeninterne Netzwerkprogramme o.Ä. sein.

Neben der Beherrschung der Software erstrecken sich die Inhalte dieses Lernfeldes auch über die Installation und Konfiguration von Peripheriegeräten.



**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 5**

| Lerninhalte                                                   | Fachkapitel im Lehrbuch                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Betriebssysteme                                               | <p>Alle diese Inhalte werden schwerpunktmäßig im Kapitel 1 behandelt.</p> <p>Auf branchenspezifische Soft- und Hardware wird in den jeweiligen Kapiteln, wie z.B.</p> <p>7 Flexible Fertigungssysteme oder 10.7 SPS</p> <p>eingegangen.</p> |
| Vernetzte Datenverarbeitungsanlagen                           |                                                                                                                                                                                                                                             |
| Datenschutz und Datensicherheit                               |                                                                                                                                                                                                                                             |
| Aufbereitung von Informationen mittels Branchensoftware       |                                                                                                                                                                                                                                             |
| Signale und Messwerte in Steuerungssystemen                   |                                                                                                                                                                                                                                             |
| Aufbereitung von Informationen mithilfe von Datenverarbeitung |                                                                                                                                                                                                                                             |
| Ergonomische Gesichtspunkte von Computerarbeitsplätzen        |                                                                                                                                                                                                                                             |

## LF 6 Planen und Organisieren von Arbeitsabläufen

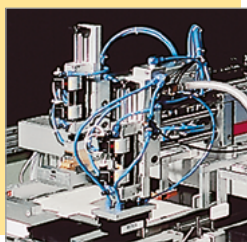
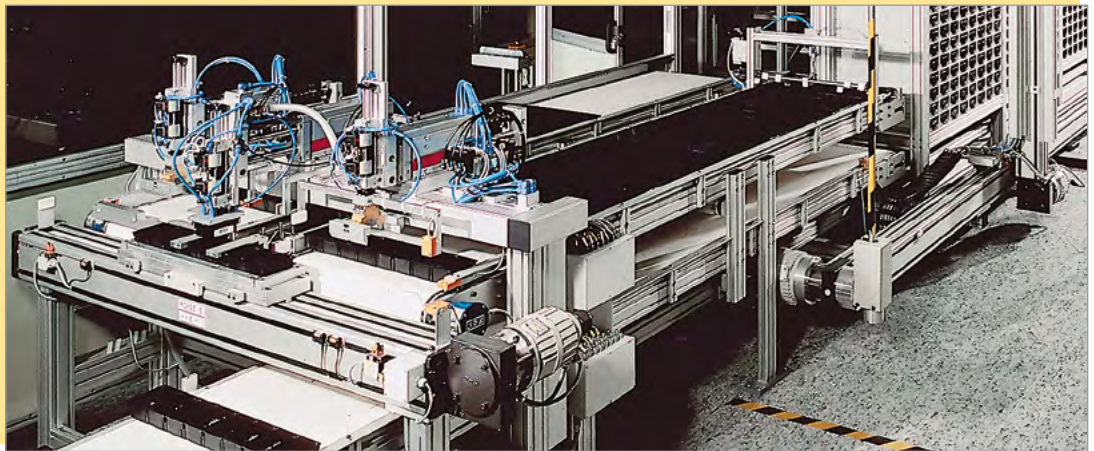
Betriebliche Organisationsstrukturen und die Organisation der Teamarbeit nach funktionalen, fertigungsgerechten und ökonomischen Kriterien stehen im Mittelpunkt dieses Lernfeldes.

Dazu ist es wichtig, dass die Mechatroniker und Mechatronikerinnen die betrieblichen Abläufe kennen und diese bei Eingriffen in Maschinen und Arbeitsabläufe berücksichtigen. Ablaufpläne müssen gelesen und interpretiert werden. Umfassende Kenntnisse über Unfallschutzmaßnahmen und die Bereitschaft zu deren Einhaltung müssen vorhanden sein. Bei allen Tätigkeiten muss der Qualitätsgedanke im Vordergrund stehen.

**Tabelle 2: Lerninhalte des Lernfeldes 6**

| Lerninhalte                                 | Fachkapitel im Lehrbuch                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Materialdisposition und Kalkulation         | <p>Ähnlich wie bei Lernfeld 5 tangiert auch das Lernfeld 6 mehrere andere Lernfelder. Die inhaltliche Behandlung in diesem Buch findet aus diesem Grund auch in verschiedenen Kapiteln statt. Die Dokumentationen werden z.B. in den Kapiteln 1 und 2, Arbeitsabläufe in den Kapiteln 10 und 14 behandelt.</p> |
| Analyse von Arbeitsabläufen                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Bewertung und Dokumentation von Ergebnissen |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Ergonomie und vorbeugender Unfallschutz     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Einfache Zeit- und Kostenkalkulation        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Darstellungsverfahren von Arbeitsabläufen   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Qualitätsmanagement                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

## LF 7 Realisieren mechatronischer Teilsysteme



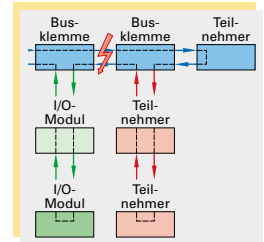
z. B. Pneumatische Steuerungen



z. B. Sensortechnik



z. B. Elektrische Anlagen



Informationsfluss in mechatronischen Systemen

Das Lernfeld 7 ist in engem Zusammenhang mit dem Lernfeld 8 zu sehen. Hier werden die Grundlagen der Steuerungstechnik gelegt, die das in Kapitel 8 formulierte Erstellen mechatronischer Systeme ermöglichen. Neben der Fähigkeit, den Einsatz und die Wirkungsweise von Aktoren und Sensoren zu beurteilen, steht vor allem die Lösung von steuerungs- und regelungstechnischen Teilproblemen durch die Anwendung von einfachen pneumatischen, elektropneumatischen, hydraulischen, elektrohydraulischen bzw. SPS-Steuerungen im Mittelpunkt.

**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 7**

| Lerninhalte                                                             | Fachkapitel im Lehrbuch                       |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Steuerkette und Regelkreis, Blockschaltbilder                           | 10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik   |
| Kenngrößen von Steuerungen und Regelungen                               | 10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik   |
| Wirkungsweise von Sensoren und Wandlern                                 | 10.6 Sensorik                                 |
| Signalverhalten von Sensoren und Wandlern                               | 10.6 Sensorik                                 |
| Programmierung von einfachen Bewegungsabläufen und Steuerungsfunktionen | 10 Steuerungstechnik                          |
| Entwurf von Schaltungen                                                 | 10 Steuerungstechnik                          |
| Grafische Darstellung von Steuerungs- und Regelungsabläufen             | 10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik   |
| Messen von Signalen                                                     | 10.6 Sensorik                                 |
| Grundschaltungen und Wirkungsweise von Antrieben                        | 10 Steuerungstechnik<br>9 Elektrische Anlagen |
| Darstellung von Antriebseinheiten in Funktionsplänen                    | 10 Steuerungstechnik<br>9 Elektrische Anlagen |

## LF 8 Design und Erstellung mechatronischer Systeme

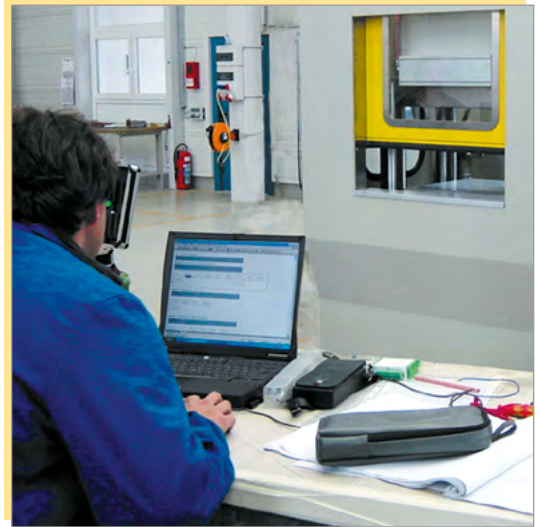
Der Schwerpunkt dieses Lernfeldes liegt im Bereich der Steuerungen und Regelungen von mechatronischen Systemen. Mechatronikerinnen und Mechatroniker beschreiben die Struktur und die Signalverläufe von komplexen mechatronischen Systemen. Sie müssen den Einfluss wechselnder Betriebsbedingungen auf den Prozessablauf erkennen und diese gegebenenfalls auch zielgerichtet verändern können.

Dazu ist es erforderlich, dass sie die Verfahren zur messtechnischen Erfassung von Steuerungs- und Regelungsabläufen beherrschen und anwenden können.

Sie müssen über fundamentale Kenntnisse der Steuerungs- und Regelungstechnik sowie der elektrischen Antriebstechnik verfügen. Sie sind befähigt, die Kopplung mechanischer Systeme mit mechatronischen durchzuführen. Wo erforderlich, müssen Bewegungsabläufe simuliert und optimiert werden. Dazu nutzen sie unterschiedliche Programme und Software-Tools.

Mechatronikerinnen und Mechatroniker werden in die Lage versetzt, komplexe Steuerungen und Regelungen von mechatronischen Systemen zu verstehen, zu montieren und demontieren, zu überprüfen und im Bedarfsfalle verändernd einzugreifen.

All dies hat unter strengster Beachtung der entsprechenden Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen zu geschehen.



**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 8**

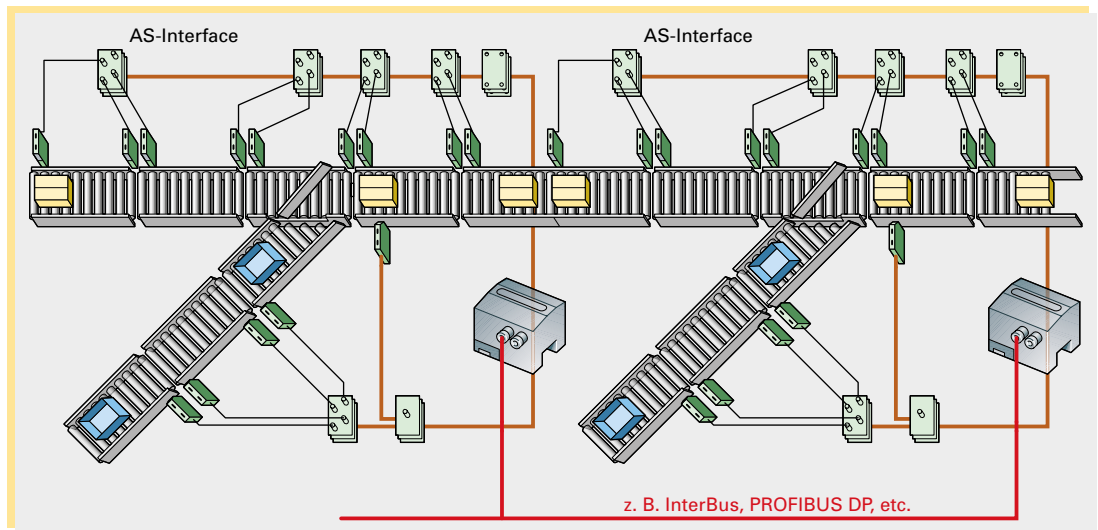
| Lerninhalte                                                     | Fachkapitel im Lehrbuch                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Betriebskennwerte und Kennlinien von Antrieben                  | 10 Steuerungstechnik<br>9 Elektrische Anlagen                                                                             |
| Funktionsweise, Auswahl und Einstellung von Schutzeinrichtungen | 6 Mechanische Systeme<br>9 Elektrische Anlagen<br>10 Steuerungstechnik                                                    |
| Steuern und Regeln von Antrieben                                | 9 Elektrische Anlagen<br>10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik                                                      |
| Positioniervorgänge, Freiheitsgrade                             | 7 Herstellen mechanischer Systeme<br>10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik                                          |
| Prüf- und Messverfahren zur Positionsbestimmung                 | 7 Herstellen mechanischer Systeme<br>10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik                                          |
| Getriebe und Kupplungen                                         | 6 Mechanische Systeme                                                                                                     |
| Einarbeiten von Änderungen in vorhandene Anlagen                | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                |
| Programmierung von Bewegungsabläufen und Steuerungsfunktionen   | 7 Herstellen mechanischer Systeme<br>10 Steuerungstechnik                                                                 |
| Computersimulation                                              | 1 EDV                                                                                                                     |
| Messwerterfassung an Schnittstellen                             | 10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik<br>14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen |

**LF 9****Untersuchen des Informationsflusses in komplexen mechatronischen Systemen**

Im Lernfeld 9 werden alle zuvor erlernten Fertigkeiten und Kenntnisse benötigt, um Informationsstrukturen zu erkennen und beschreiben zu können. Durch Verknüpfungen von mechanischen, elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Komponenten entstehen komplexe mechatronische Systeme. Signale, Signalerzeugungs- und Signaltransportarten werden unterschieden, Signale gemessen und Fehler durch geeignete Verfahren festgestellt, eingegrenzt und wo möglich beseitigt.

Voraussetzung dafür sind Kenntnisse geeigneter Mess- und Diagnoseverfahren sowie ein Überblick über die gängigen Bussysteme und ihre Hierarchien.

Beispielhaft an einem Bussystem soll die Vernetzung der Komponenten projiziert und durchgeführt werden.



**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 9**

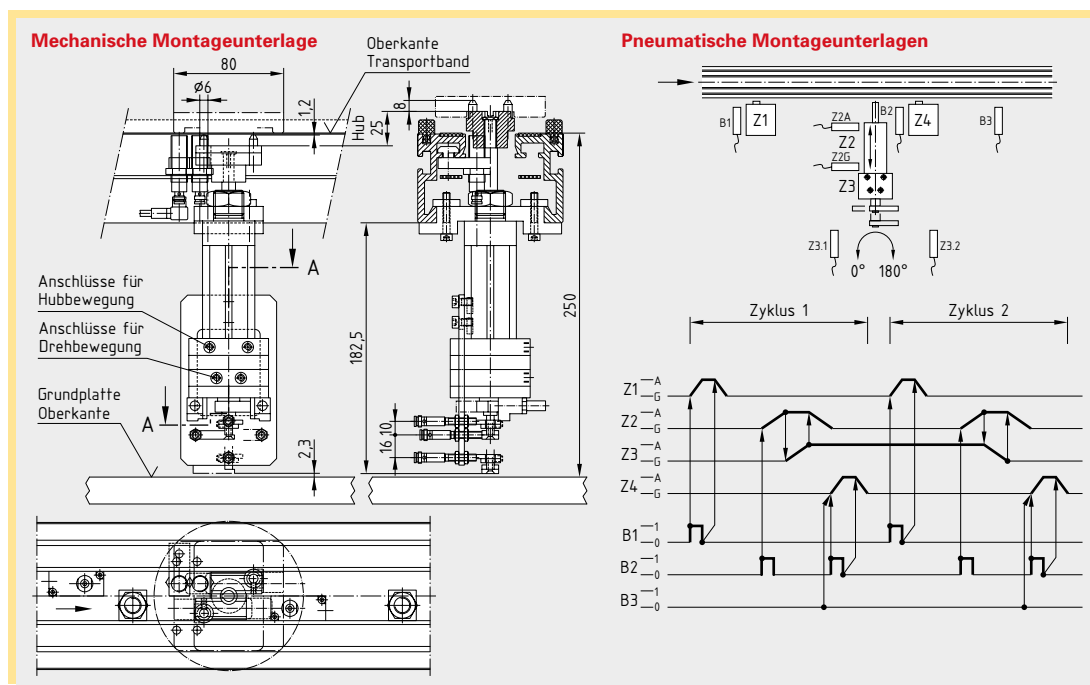
| Lerninhalte                                               | Fachkapitel im Lehrbuch                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Signalverläufe in Systemen                                | 10 Steuerungstechnik<br>13 Mechatronische Systeme                                                                                                                                                                  |
| Signalstruktur                                            | 10 Steuerungstechnik, speziell:<br>10.6 Sensorik                                                                                                                                                                   |
| Bussysteme                                                | 10 Steuerungstechnik<br>12 Bussysteme                                                                                                                                                                              |
| Prüf- und Messverfahren                                   | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen<br>10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik<br>13 Mechatronische Systeme<br>14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen |
| Untersuchung an Schnittstellen zwischen Systemkomponenten | 10 Steuerungstechnik<br>12 Bussysteme                                                                                                                                                                              |
| Vernetzung von Einzelkomponenten                          | 1 EDV<br>12 Bussysteme                                                                                                                                                                                             |
| Hierarchien in vernetzten Systemen                        | 12 Bussysteme                                                                                                                                                                                                      |
| Dokumentation von Messergebnissen                         | 2 Technische Kommunikation<br>Kapitel 10 ... 14                                                                                                                                                                    |

## LF 10 Planen der Montage und Demontage

Inhalt des Lernfeldes 10 ist es, die Fähigkeiten zu erwerben, die anfallenden Aufgaben im Bereich der Montage und Demontage zu planen. Dies beinhaltet sowohl die Fähigkeiten, Montagepläne zu erstellen, zu interpretieren und zu beurteilen als auch die Fähigkeit, Zusammenbauzeichnungen und andere betriebliche Montageunterlagen zu lesen.

Voraussetzung dafür ist u. a., dass die Mechatroniker und Mechatronikerinnen alle erforderlichen Messverfahren beherrschen, geeignete Montagewerkzeuge kennen und einsetzen können, die Sicherheitsvorschriften beachten, Transportmittel und Hebezeuge aufgabengerecht verwenden und Montageprotokolle erstellen können.

Gerade auch in diesem Lernfeld wird die Komplexität und Vielfältigkeit dieses Berufes deutlich, wird doch von Mechatronikern die Montage von kleinen Handhabungsgeräten aber auch von großen Werkzeugmaschinen und Fertigungsstraßen, die allesamt mechatronische Systeme darstellen, durchgeführt.



**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 10**

| Lerninhalte                                                                        | Fachkapitel im Lehrbuch                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Betriebliche Montageunterlagen                                                     | Die Inhalte dieses Lernfeldes sind im Wesentlichen alle im Kapitel         |
| Bedingungen für das Arbeiten am Montageort unter Berücksichtigung der Vorschriften | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen |
| Ver- und Entsorgungseinrichtungen mechatronischer Systeme                          | zusammengefasst.                                                           |
| Transportmittel, Hebezeuge und Montagehilfen                                       | Darüber hinaus sind die Kapitel                                            |
| Sicherheitsmaßnahmen und deren Prüfung                                             | 2 Technische Kommunikation                                                 |
| Prüfungen während der Montage                                                      | 3 Prüftechnik                                                              |
| Form- und Lagetoleranzen                                                           | 7 Herstellen mechanischer Systeme                                          |
| Justierarbeiten                                                                    | 9 Elektrische Anlagen und                                                  |
| Entsorgung und Recycling bei der Montage                                           | 10 Steuerungstechnik                                                       |
|                                                                                    | in bestimmten Fällen relevant.                                             |

## LF 11 Inbetriebnahme, Fehlersuche und Instandsetzung

Aufgabe dieses Lernfeldes ist es, den Mechatronikerinnen und Mechatronikern die Fähigkeit zu vermitteln, mechatronische Systeme anhand von technischen Unterlagen zu analysieren, indem sie die Systeme in Funktionsblöcke zerlegen und das Zusammenwirken sowie die wechselseitigen Beeinflussungen dieser Funktionsblöcke untersuchen. Dadurch werden sie u. a. in die Lage versetzt, mechatronische Systeme in Betrieb zu nehmen, Fehler zu vermeiden bzw. auftretende Fehler zu lokalisieren und ihre Ursachen zu beschreiben und letztendlich auch zu beheben.

Dazu werden die verschiedenen Verfahren der Inbetriebnahme vermittelt. Die Einsatzmöglichkeiten von Diagnosesystemen werden geprüft. Sensoren und Aktoren müssen justiert und Systemparameter eingestellt werden. Ergebnisse werden in die vorgesehenen Unterlagen eingetragen. Die systematische und methodische Vorgehensweise bei der Fehlersuche ist ein zentrales Anliegen dieses Lernfeldes.

**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 11**

| Lerninhalte                                                                                 | Fachkapitel im Lehrbuch                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                             | Die Inhalte dieses Lernfeldes sind überwiegend im Kapitel<br>14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen<br>enthalten.<br>Im Einzelfall wird zusätzlich auf folgende Kapitel verwiesen: |
| Blockschaltbilder, Wirkungs- und Funktionspläne von mechatronischen Systemen                | 6 Mechanische Systeme<br>10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik<br>12 Bussysteme                                                                                                                                  |
| Überprüfung und Einstellung von Sensoren und Aktoren                                        | 10 Steuerungstechnik<br>12 Bussysteme                                                                                                                                                                                  |
| Systemparameter                                                                             | 10 Steuerungstechnik<br>11 Regelungstechnik<br>12 Bussysteme                                                                                                                                                           |
| Bus-Parametrierung                                                                          | 12 Bussysteme                                                                                                                                                                                                          |
| Softwareinstallation                                                                        | 1 EDV<br>10 Steuerungstechnik                                                                                                                                                                                          |
| Verfahren zur Fehlersuche in elektrischen, pneumatischen und hydraulischen Systemen         | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                             |
| Störungsanalyse                                                                             | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                             |
| Strategie der Fehlersuche, typische Fehlerursachen                                          | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                             |
| Elektrische und mechanische Schutzmaßnahmen, Schutzvorschriften                             | 8 Grundlagen der Elektrotechnik<br>9 Elektrische Anlagen                                                                                                                                                               |
| Elektromagnetische Verträglichkeit                                                          | 9 Elektrische Anlagen                                                                                                                                                                                                  |
| Prozessvisualisierung, Diagnosesysteme, Ferndiagnose                                        | 10 Steuerungstechnik                                                                                                                                                                                                   |
| Inbetriebnahmeprotokoll, Fehlerdokumentation, Instandsetzungsprotokoll                      | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen<br>2 Technische Kommunikation                                                                                                               |
| Qualitätssicherungsverfahren                                                                | 4 Qualitätsmanagement                                                                                                                                                                                                  |
| Behebung von Programmfehlern                                                                | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                             |
| Berücksichtigung von Kundenanforderungen                                                    | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                             |
| Einflüsse von mechatronischen Systemen auf ökologische, ökonomische und soziale Bedingungen | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                             |

## LF 12 Vorbeugende Instandhaltung

In diesem Lernfeld steht die Betriebssicherheit von mechatronischen Systemen im Vordergrund. Aus den Kenntnissen über die funktionalen Zusammenhänge der einzelnen Systemkomponenten werden Rückschlüsse auf die Erzielung der Betriebssicherheit gezogen und gegebenenfalls geeignete Maßnahmen ergriffen. Aus Wartungsanleitungen und Betriebshandbüchern werden typische Instandhaltungsaufgaben ermittelt und beschrieben. Die Mechatronikerinnen und Mechatroniker werden befähigt, selbst Wartungspläne zu erstellen.

**Tabelle 1: Lerninhalte des Lernfeldes 12**

| Lerninhalte                                                           | Fachkapitel im Lehrbuch                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                       | Wie in Lernfeld 11 gilt auch für dieses Lernfeld, dass die Inhalte überwiegend im Kapitel 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen bearbeitet werden.<br>Zusätzlich sind bei verschiedenen Lerninhalten folgende Kapitel zu berücksichtigen: |
| Verschmutzung, Ermüdung, Verbrauch, Verschleiß und deren Auswirkungen | 6 Mechanische Systeme                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Systemzuverlässigkeit                                                 | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                                                                                     |
| Erstellung und Anpassung von Wartungsplänen                           | 2 Technische Kommunikation                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Inspektionen                                                          | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                                                                                     |
| Verfahren zur Überprüfung von Sicherheitseinrichtungen                | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                                                                                     |
| Anpassung von Systemkomponenten an veränderte Anforderungen           | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                                                                                     |
| Diagnoseverfahren und Wartungssysteme                                 | 14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen                                                                                                                                                                                                     |
| Qualitätsmanagement                                                   | 4 Qualitätsmanagement                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Dokumentation                                                         | 2 Technische Kommunikation                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Einarbeiten von Änderungen in technische Unterlagen                   | 2 Technische Kommunikation                                                                                                                                                                                                                                                     |

## LF 13 Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden

Mechatroniker müssen in der Lage sein, mechatronische Systeme zu beschreiben und zu erklären. Sie erstellen Bedienungsanleitungen selbst oder sind bei deren Erstellung durch die entsprechende Fachabteilung der Betriebe behilflich, indem sie die fachlichen Informationen in geeigneter Weise zur Verfügung stellen. Dazu ist es erforderlich, dass sie diese sowohl grafisch als auch textlich erfassen und aufbereiten können. Dabei müssen sie die Gesamtzusammenhänge des eigenen Betriebes und des Kunden bzw. des Lieferanten berücksichtigen.

Im Mittelpunkt dieses Lernfeldes steht die Fähigkeit zur Kommunikation. Für die Entwicklung dieser Fähigkeit gibt es wertvolle Grundlagentipps, das Training jedoch muss sich über alle Lernfelder erstrecken.

**Tabelle 2: Lerninhalte des Lernfeldes 13**

| Lerninhalte                                      | Fachkapitel im Lehrbuch                                                                                  |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nutzung innerbetrieblicher Kommunikationssysteme | 1 EDV                                                                                                    |
| Teamarbeit                                       |                                                                                                          |
| Kommunikation                                    | 2 Technische Kommunikation                                                                               |
| Moderation und Präsentation                      | 1 EDV                                                                                                    |
| Kunden-/Lieferantenbeziehung                     |                                                                                                          |
| Bedienungsanleitungen, Betriebsanleitungen       | 2 Technische Kommunikation<br>14 Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung von mechatronischen Systemen |