



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Metallberufe

Daniel Brabec
Jürgen Burmester
Nadine Deichselsberger
Josef Dillinger
Walter Escherich
Markus Neumann

Stefan Oesterle
Ludwig Reißler
Bernhard Schellmann
Moritz Sedlmeier
Reinhard Vetter
Falko Wieneke

Fachwissen Metalltechnik in Lernfeldern

Industriemechanik

1. Auflage

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

Europa-Nr.: 15897

Autoren:

Daniel Brabec
Jürgen Burmester
Nadine Deichselsberger
Josef Dillinger
Walter Escherich
Markus Neumann
Stefan Oesterle
Ludwig Reißler
Bernhard Schellmann
Moritz Sedlmeier
Reinhard Vetter
Falko Wieneke

Die Autoren sind Fachlehrer der technischen Ausbildung und Ingenieure.

Lektorat: Josef Dillinger

Bildentwürfe: Die Autoren

Fotos: Leihgaben der Firmen

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Englische Übersetzung: StDin Christina Murphy, Wolfratshausen

1. Auflage 2024

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-7585-1589-7

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

© 2024 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Layout und Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Umschlag: braunwerbeagentur, 43477 Radevormwald

Umschlagfotos: SKF GmbH, Schweinfurt; Adobe Systems Software Ireland Ltd., Adobe Stock, IRL-Dublin

© Олександр Луценко, © Freely; Sauter Feinmechanik GmbH, Metzingen

Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

Vorwort

Das vorliegende Buch wendet sich bevorzugt an Auszubildende der Industrie- und der Feinwerkmechanik in dem zweiten, dritten und vierten Ausbildungsjahr. Die Themenbereiche des Werkes sind entsprechend dem Rahmenlehrplan nach Lernfeldern gegliedert und decken den Lernfeldorientierten Unterricht für **Industriemechaniker/-innen** und **Feinwerkmechaniker/-innen** ab.

Der Inhalt wurde durch **Animationen**  und **interaktive Simulationen**  dem Stand der Technik angepasst, sodass sich die Lernfeldkonzeption in Verbindung mit digitalen Medien im Unterricht umsetzen lässt. Die digitalen Inhalte sind auch zur Darstellung auf kleinen Displays (Smartphone, Tablet) geeignet.

Durch eine umfangreiche Visualisierung der technologischen Lernsituationen in Form von Fotos, mehrfarbigen und erklärend beschrifteten Abbildungen sollen die fachlichen Zusammenhänge den Schülerinnen und Schülern erklärt werden, sodass sie die geforderten Kompetenzen, entsprechend den Rahmenlehrplänen, erreichen.

Damit diese Kompetenzen erreicht werden, gliedert sich das Buch in 12 Kapitel, die den Lernfeldern 5–15 zugeordnet sind:

- Kapitel 01 LFS: Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen**
- Kapitel 02 LF6: Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme**
- Kapitel 03 LF7: Montieren von technischen Teilsystemen**
- Kapitel 04 LF8: Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen**
- Kapitel 05 LF9: Instandsetzen von technischen Systemen**
- Kapitel 06 LF10: Herstellen und Inbetriebnehmen von technischen Systemen**
- Kapitel 07 LF11: Überwachen der Produkt- und Prozessqualität**
- Kapitel 08 LF12: Instandhalten von technischen Systemen**
- Kapitel 09 LF13: Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme**
- Kapitel 10 LF14: Planen und Realisieren technischer Systeme**
- Kapitel 11 LF15: Optimieren von technischen Systemen**
- Kapitel 12 Lernfeld übergreifende Inhalte**
 - ISO GPS und Prüftechnik
 - Wärmebehandlung
 - Generative Fertigungsverfahren
 - Industrie 4.0

Die vom Rahmenlehrplan geforderten Kompetenzen werden den Auszubildenden anschaulich mit verschiedenen Projekten nähergebracht. Diese Projekte sind reelle Baugruppen und so gestaltet, dass sie im Lernfeldunterricht hergestellt werden können.

Ergänzt werden die Themen

- mit kurzen **Informationsbausteinen**, die mit folgendem Icon versehen sind 
- und durch **Aufgabenstellungen**, die durch dieses Icon gekennzeichnet sind 

Am Ende der einzelnen Kapitel befindet sich jeweils das Modul „Prüfen Sie Ihre Kompetenz“, in dem die Schülerinnen und Schüler an kleinen Projekten ihren Wissensstand überprüfen können.

Abgeschlossen wird jedes Kapitel mit „Discover your profession in English“. Der Inhalt dieses Kapitels bezieht sich auf die Theorie des entsprechenden Kapitels. Durch die Angabe der wichtigsten Vokabeln soll den schwächeren Schülerinnen und Schülern bei der Bearbeitung Hilfestellung gegeben werden.

Die Autoren des Buches wünschen den Nutzern dieses Buches viel Erfolg und sind für Kritik, Verbesserungsvorschläge, Hinweise und Anregungen an lektorat@europa-lehrmittel dankbar.

Inhalt

Lernfeld 5: Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen

1 Fertigen mit Werkzeugmaschinen

1.1	Bearbeitungsparameter beim Drehen und Fräsen	14
1.1.1	Schnittgrößen beim Drehen und Fräsen	14
1.1.2	Schneidengeometrie am Drehmeißel und Fräser	17
1.1.3	Spanbildung beim Drehen und Fräsen	18
1.1.4	Verschleiß und Standzeit	20
1.1.5	Schneidstoffe für Drehmeißel und Fräser	22
1.1.6	Wendeschneidplatten für Drehmeißel und Fräser	25
1.1.7	Kühlschmierstoffe (KSS)	27
1.2	Drehen	30
1.2.1	Fertigung des Gewindebolzens auf einer CNC-Drehmaschine	32
1.2.2	Weitere Drehverfahren	40
1.2.3	Drehwerkzeuge	43
1.2.4	Spannmittel für Werkstücke	45
1.2.5	Schnittkraft und Leistung beim Drehen	48
1.2.6	Zeitermittlung beim Drehen	51
1.2.7	Drehmaschinen	57
1.3	Fräsen	61
1.3.1	Fertigung der Konturplatte auf einer CNC-Fräsmaschine	64
1.3.2	Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC-Fräsen)	78
1.3.3	Schnittkraft und Leistung beim Fräsen	80
1.3.4	Zeitermittlung beim Fräsen	83
1.3.5	Teilen mit dem Teilapparat	86
1.3.6	Fräsmaschinen	88
1.4	Räumen	92
1.4.1	Verfahrensvarianten	93
1.4.2	Räummaschinen	94

1.5	Entgraten	95
1.5.1	Methoden und Verfahren (Auswahl) ..	95
1.5.2	Maschinelies Anfasen, Verrunden und Entgraten	96
1.6	Schleifen	99
1.6.1	Schleifkörper	99
1.6.2	Abrichten und Auswuchten	103
1.6.3	Sicherheit beim Schleifen	104
1.6.4	Einflüsse auf das Schleifergebnis	105
1.6.5	Schleifmaschinen und Schleifverfahren	107
1.6.6	Arbeitsplanung beim Schleifen	112
1.6.7	Zeitermittlung beim Schleifen	115
1.7	Honen	118
1.7.1	Langhubhonen	119
1.7.2	Kurzhubhonen	120
1.8	Läppen	121
1.9	Kosten im Betrieb	124
1.9.1	Kostenrechnung	124
1.9.2	Maschinenstundensatz	127
1.9.3	Belegungszeit/Hauptnutzungszeit.	127
1.9.4	Deckungsbeitrag (Teilkostenrechnung) ..	130
1.10	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz.</i>	131
1.11	<i>Discover your profession in English. ...</i>	134

Lernfeld 6: Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme

2 Steuerungstechnische Systeme

2.1	Pneumatiksteuerungen	137
2.1.1	Verknüpfungsteuerungen	137
2.1.2	Ablaufsteuerungen	141
2.1.3	Betriebsartenteil bei Ablaufsteuerungen	149

2.1.4	Vakuumtechnik	151
2.1.5	Inbetriebnahmeschritte mit Checkliste	154
2.2	Elektropneumatische Steuerungen	159
2.2.1	Zeit- und Druckfunktionen	159
2.2.2	Sensor als Signalelement	166
2.2.3	Ablaufsteuerungen – löschende Taktkette	174
2.3	Hydraulische Steuerungen	179
2.3.1	Physikalische Grundlagen	180
2.3.2	Aufbau einer Hydraulikanlage – Komponenten	184
2.3.3	Hydromotoren und Hydropumpen	187
2.3.4	Hydraulikzylinder – linearer Antriebsteil	190
2.3.5	Energieversorgungsteil – Hydraulikaggregat	194
2.3.6	Energiesteuerteil – Hydroventile und Schaltungen	200
2.3.7	Zubehör (Rohre, Schläuche) – Druckspeicher	217
2.4	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz.</i>	225
2.5	<i>Discover your profession in English.</i>	234

Lernfeld 7: Montieren von technischen Teilsystemen

3 Maschinentechnik und Montage

3.1	Belastung von Bauteilen	236
3.2	Wellen und Achsen, Wellen-Naben- Verbindungen	237
3.2.1	Wellen	237
3.2.2	Achsen	238
3.2.3	Welle-Nabe-Verbindungen	239
3.3	Lagerung und Dichtung	242
3.3.1	Lager	242
3.3.2	Führungen	254
3.3.3	Dichtungen	256
3.4	Festigkeit	258
3.4.1	Beanspruchung und Festigkeit der Bauteile	258

3.5	Passungen	260
3.5.1	Passungen in der Montage	260
3.6	Montage	262
3.6.1	Montageplanung	262
3.6.2	Automatisierung der Montage	263
3.6.3	Organisationsformen bei der Montage	263
3.6.4	Projektaufgabe: Montage eines Kegelradgetriebes	264
3.7	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz.</i>	267
3.8	<i>Discover your profession in English.</i>	268

Lernfeld 8: Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen

4 CNC-Technik

4.1	Aufbau von CNC-Maschinen	271
4.1.1	Antriebseinheiten	273
4.1.2	Wegmesssysteme	274
4.1.3	Schlittenführungen	276
4.2	Koordinatensysteme, Nullpunkte und Bezugspunkte	277
4.2.1	Koordinatensysteme	277
4.2.2	Null- und Bezugspunkte	278
4.2.3	Koordinatenvorzeichen und Verfahrenbewegungen	279
4.3	Steuerungsarten	280
4.4	Werkzeugvermessung	281
4.5	Bahnkorrekturen	283
4.6	CNC-Programme nach DIN	285
4.6.1	Programmaufbau	285
4.6.2	Wegbedingungen (G-Wort)	286
4.6.3	Maßangaben	287
4.6.4	Zusatzfunktionen (M-Wort)	289
4.6.5	Eilgang- und Arbeitsbewegungen nach DIN	289
4.7	CNC-Drehen nach PAL	293
4.7.1	Arbeitsbewegungen für das CNC- Drehen nach PAL	293
4.7.2	CNC-Drehen des Gewindebolzens nach PAL	295

4.8 CNC-Drehen mit angetriebenen Werkzeugen und Gegenspindelübernahme	304	5.4 Instandhaltungsstrategien	338
4.8.1 CNC-Drehen des Bolzenadapters	305	5.4.1 Störungsbedingte (korrektive) Instandhaltung	338
4.8.2 Umspannen des Werkstücks, Gegenspindelübernahme	305	5.4.2 Intervallabhängige Instandhaltung	339
4.8.3 Drehebene G18	306	5.4.3 Zustandsabhängige Instandhaltung	339
4.8.4 Stirnseitenbearbeitungsebene G17	306	5.4.4 Auswahl der Instandhaltungsstrategie	339
4.8.5 Mantelflächen-/Sehnenflächenbearbeitungsebene G19	307	5.5 Ausfallverhalten	340
4.9 CNC-Fräsen nach PAL	311	5.6 Instandhaltungsplanung	341
4.9.1 Arbeitsbewegungen für das Fräsen nach PAL	311	5.7 Vereinheitlichen von Instandhaltungsplänen	343
4.9.2 Tangentiales An- und Abfahren an eine Kontur	314	5.8 Instandhaltung mechanischer Bauelemente	346
4.9.3 Bearbeitungszyklen für Fräs- und Drehmaschinen mit angetriebenen Werkzeugen nach PAL	315	5.8.1 Führungen	346
4.10 CNC-Fräsen der Konturplatte nach PAL	318	5.8.2 Abdeckungen und Abstreifer	347
4.11 CNC-Fräsen mit Mehrseitenbearbeitung	323	5.8.3 Lager	348
4.12 Überprüfen Sie Ihre Kompetenz	324	5.8.4 Zahnstangen und Zahnräder	351
4.13 Discover your profession in English	328	5.8.5 Riementriebe	352
		5.8.6 Kettentriebe	354
		5.9 Verschleiß und Abnutzung	355
		5.9.1 Verschleißmechanismen	355
		5.9.2 Ursachen von Abnutzung	356
		5.9.3 Korrosion	357
		5.10 Reibung und Schmierung	359
		5.10.1 Reibungszustände	361
		5.10.2 Schmierstoffauswahl	361
		5.10.3 Schmieröle	361
		5.10.4 Schmierfette	364
		5.10.5 Festschmierstoffe	365
		5.10.6 Bezeichnungssystem der Schmierstoffe	366
		5.10.7 Schmiervverfahren	367
		5.10.8 Kühlschmierstoffe (KSS)	369
		5.10.9 Dokumentation der Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen	371
		5.11 Instandhaltung hydraulischer und pneumatischer Anlagen	372
		5.11.1 Pneumatische Systeme	372
		5.11.2 Hydraulische Systeme	374
		5.12 Überprüfen Sie Ihre Kompetenz	377
		5.13 Discover your profession in English	379

Lernfeld 9: Instandsetzen von technischen Systemen

5 Instandhalten von technischen Systemen

5.1 Elemente der Instandhaltung	331
5.2 Teilbereiche der Instandhaltung	333
5.2.1 Wartung	334
5.2.2 Inspektion	335
5.2.3 Instandsetzung	335
5.2.4 Verbesserung	336
5.3 Instandhaltungskosten	337

Lernfeld 10: Herstellen und Inbetriebnehmen von technischen Systemen

6 Technische Komponenten

6.1 Getriebe	380
6.1.1 Getriebearten	380
6.1.2 Zahnradgetriebe	380
6.1.3 Stirnradgetriebe	384
6.1.4 Kegelradgetriebe	385
6.1.5 Schneckengetriebe	385
6.1.6 Zahnstangengetriebe	386
6.1.7 Planetengetriebe	386
6.1.8 Harmonic-Drive-Getriebe	387
6.1.9 Herstellung von Zahnrädern	388
6.1.10 Zugmittelgetriebe	389
6.2 Kupplungen	393
6.2.1 Nicht schaltbare Kupplungen	393
6.2.2 Schaltbare Kupplungen	396
6.3 Elektrische Antriebe	401
6.3.1 Elektromagnetismus	401
6.3.2 Wechselspannung	404
6.3.3 Gleichspannung	406
6.3.4 Elektromotoren	407
6.3.5 Universalmotoren	411
6.4 Pumpen	417
6.4.1 Leistungsberechnung einer Pumpe	417
6.4.2 Pumpenbauarten	418
6.4.3 Kreiselpumpen	418
6.4.4 Pumpen für die industrielle Anwendung	419
6.4.5 Pumpen- und Anlagenkennlinien	420
6.5 Fördertechnik	422
6.5.1 Serienhebezeuge	422
6.5.2 Krane	423
6.5.3 Lastaufnahmeeinrichtungen	424
6.5.4 Arbeitssicherheit in der Fördertechnik	428
6.6 Schweißen	429
6.6.1 Schmelzschweißen	430
6.6.2 Pressschweißen	440
6.6.3 Gestaltung und Prüfung von Schweißverbindungen	443

6.7 Kleben	446
6.7.1 Grundlagen der Klebeverbindungen	448
6.7.2 Klebstoffarten	449
6.7.3 Vorbehandlung der Oberflächen	451
6.7.4 Klebstoffverarbeitung	451
6.7.5 Aushärtung von Klebstoffen	451
6.7.6 Weitere Anwendungsbeispiele	452
6.8 <i>Discover your profession in English</i>	453

Lernfeld 11: Überwachen der Produkt- und Prozessqualität

7 Qualitätsmanagement (QM)

7.1 Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000	455
7.1.1 Aufgabenbereiche und Grundsätze des Qualitätsmanagements	456
7.1.2 Qualitätsbegriff und Qualitätsmerkmale	457
7.1.3 Fehler und Fehlermanagement	458
7.1.4 Qualitätslenkung und Qualitätssicherung	459
7.1.5 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess	460
7.1.6 Auditierung	461
7.2 Qualitätswerkzeuge	462
7.2.1 Sieben Qualitätswerkzeuge zur Fehlervermeidung: Q7	462
7.2.2 Beispiel: Fehlersammelkarte und Paretoanalyse mit Excel	467
7.2.3 Beispiel: Ursachen-Wirkungs- Diagramm	468
7.2.4 Beispiel: Histogramm	469
7.3 Werkzeuge und Methoden der technischen Statistik	472
7.3.1 Verteilung von Messwerten	472
7.3.2 Die gaußsche Normalverteilung und ihre Kennwerte	474
7.3.3 Berechnung von statistischen Kennwerten	476

7.3.4	Beurteilung einer Stichprobe im Wahrscheinlichkeitsnetz	477
7.3.5	Qualitätsprüfung nach dem Stichprobenverfahren.	480
7.4	Statistische Prozesslenkung (Statistical Process Control, SPC) . .	485
7.4.1	Maschinenfähigkeit	486
7.4.2	Prozessfähigkeit	494
7.4.3	Statistische Prozesslenkung mit Qualitätsregelkarten (QRK)	495
7.5	Überprüfen Sie Ihre Kompetenz.	502
7.6	Discover your profession in English. . .	506

Lernfeld 12: Instandhalten von technischen Systemen

8 Instandhalten von technischen Systemen

8.1	Instandhaltung.	508
8.1.1	Inspektion.	508
8.1.2	Wartung	509
8.1.3	Instandsetzung.	509
8.1.4	Instandhaltungskonzepte.	510
8.1.5	Kaufvertrag und Verbraucherschutz . .	511
8.2	Schadens- und Paretoanalyse.	512
8.3	Werkstoffprüfverfahren	514
8.3.1	Technologische Prüfverfahren.	514
8.3.2	Fertigungstechnische Prüfverfahren. .	517
8.3.3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	517
8.3.4	Metallografische Prüfverfahren.	518
8.4	Überprüfen Sie Ihre Kompetenz.	519
8.5	Discover your profession in English. . .	522

Lernfeld 13: Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme

9 Automatisierungstechnik

9.1	Aufbau und Grundfunktionen der SPS-Systeme	525
9.2	Kleinststeuerung (auch Logikmodul oder Steuerrelais)	528
9.3	Modulare SPS-Programmierung im TIA-Portal	541
9.3.1	Merkmale einer modularen SPS	541
9.3.2	Programmierung einer kombinatorischen Aufgabenstellung . .	543
9.3.3	Programmierung einer Ablaufsteuerung mit Betriebsartenteil	554
9.3.4	Sicherheitseinrichtungen	562
9.3.5	Schnittstellen und Bussysteme	563
9.4	Handhabungstechnik	568
9.4.1	Arten von Handhabungsgeräten	569
9.4.2	Industrieroboter	570
9.4.3	Roboterkenngößen	574
9.4.4	Komponenten eines Robotersystems. .	576
9.4.5	Programmierung von Industrierobotern	580
9.5	Regelungstechnik	590
9.5.1	Der Regelkreis	590
9.5.2	Regelungsarten	591
9.5.3	Reglerarten.	592
9.6	Proportionalhydraulik	595
9.6.1	Steuer- und Regelelektronik.	595
9.6.2	Proportionalmagnet	595
9.6.3	Proportionalventile.	597
9.7	Überprüfen Sie Ihre Kompetenzen. . .	600
9.8	Discover your profession in English. . .	604

Lernfeld 14: Planen und Realisieren technischer Systeme

10 Projektmanagement

10.1 Projektdefinition	606
10.1.1 Projektvorbereitung	607
10.2 Projektorganisation	608
10.3 Projektstrukturierung	609
10.4 Projektdurchführung	613
10.5 Projektabschluss	614
10.6 <i>Discover your profession in English.</i> ...	615

Lernfeld 15: Optimieren von technischen Systemen

11 Optimieren von technischen Systemen

11.1 Wirtschaftliche Fertigung	616
11.1.1 Globalisierung	617
11.1.2 Innovation	617
11.2 Organisationsformen der Produktion	620
11.3 Energie- und Ressourceneffizienz ..	621
11.4 Umweltschutz	622
11.5 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	623
11.6 <i>Discover your profession in English.</i> ...	625

Lernfeldübergreifende Inhalte

12 Spezielle Themen

12.1 Geometrische Produktspezifikation (ISO GPS) ...	627
12.1.1 Das ISO-GPS-Normensystem	627
12.1.2 Spezifikation und Verifikation	630
12.1.3 Tolerierung von Bauteilen	644
12.2 Prüftechnik	678
12.2.1 Koordinatenmesstechnik	679
12.2.2 Optisches und optoelektronisches Messen	684
12.2.3 Form- und Lageprüfung bei rotationssymmetrischen Teilen	692
12.2.4 Kenngrößen und Prüfung von Oberflächen	700
12.3 Wärmebehandlung	708
12.3.1 Aufbau der Metalle	709
12.3.2 Entstehung des Metallgefüges	712
12.3.3 Gefügearten von Eisenwerkstoffen. ...	715
12.3.4 Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD)	717
12.3.5 Glühverfahren	720
12.3.6 Härten	724
12.3.7 Anlassen	731
12.3.8 Vergüten	733
12.3.9 Oberflächenhärtung	734
12.4 Generative Fertigungsverfahren ...	741
12.4.1 Rapid Prototyping	742
12.4.2 Selektives Schmelzen	744
12.5 Industrie 4.0	746
Bildquellenverzeichnis	10
Sachwortverzeichnis	748

...tronikDesign, Dr.-Ing. Ulf Šustek Seifert, Dresden: 356/4

Adobe Systems Software Irland Ltd., Adobe Stock, IRL-Dublin: 12/0 © Kadmy, 69/2 oben rechts © Andrey Armyagov, 78/2 © Robert Kneschke, 79/1a © Pixel_B, 86/1 © andov, 92/1 © lastfurianec, 95/2 © Yaroslav, 96/2 unten © WEERASAK, 98/3 © bayurov, 110/1 © Artinun, 111/4 © modul_a, 112/1 © Andrzej Tokarski, 118/1 © Дмитрий Алецкий, 136/0 © xiaoliangge, 224/1 © Voyagerix, 236/0 © Itsanan, 240/1 © nordroden, 247/2 © Temir, 247/3 © lastfurianec, 249/5 © Gunars, 256/2 © José-Loyer-72, 330/0 © bung, 334/1 © kelly marken, 334/T1a © pridannikov, 334/T1b © AK-DigiArt, 334/T1c © JacZia, 334/T1d © markobe, 334/T1f © SERHII, 335/1 © bung, 336/1 © Buiteone, 336/2 © Sergey Ryzhov, 338/1 © suradeach seatang, 339/1 © dreamnikon, 346/3 © sima, 347/1 © madrolly, 347/2 © suradeach seatang, 349/1 © Chaimongkol, 349/2 © Chaimongkol, 349/3 © geargodz, 349/4 © amedeoemaja, 349/5 © kot500, 350/1 © industrieblick, 351/1 © Олександр Луценко, 351/3 © Ban, 351/4 © Michal, 351/5 © Pavel, 351/6 © marek_usz, 352/3 b © CPN, 352/3 a © mat, 354/1 © Niquirk, 355/1 © andov, 355/2 © roostler, 356/1 © Igor Bastrakov, 358/1 rechts © harunyigit, 358/3 © Сергей Жмурчак, 359/1 © Stihl024, 360/2 © Pixel_B, 360/3 © Dmitry Dven, 362/1 © kostonkilla1985, 363/1 © alexionas, 364/3 © surakit, 364/4 © andov, 365/1 © RHJ, 367/2 © Marcel R, 367/3 © dima_pics, 369/2 © markus6318, 370/1 © Ольга Тернавская, 370/2 © kasamsawad, 372/1 © funfunphoto, 373/1 © Marlon Bönisch, 374/2 © Fotograf Oberberg, 374/3 © kanin, 375/1 © heavypong, 375/2 © Nelson, 375/3 © Ilya, 376/1 © June stocker, 376/2 © gen_A, 376/3 © OlegDoroshin, 376/4 © OlegDoroshin, 378/3 © turbomotion046, 379/1 © marek_usz, 380/0 © loraks, 386/1 © Sergey Ryzhov, 386/2 © Sergey Ryzhov, 401/1 © Industrial Arts, 401/2 © pgottschalk, 406/2 c © clarion450, 406/2 b © Suraphol, 406/2 a © wetzkaz, 407/1 © Maksym Yemelyanov, 408/3 © natatravel, 412/1 © den45foto, 412/2 © xiaoliangge, 412/3 © blackdiamond67, 412/4 © Kitithat, 413/1 © Audrius Merfeldas, 413/3 © nordroden, 415/1 © joyfotoliakid, 415/2 © RZ, 417/1 © klenger, 418/1 © Itsanan, 422/1 rechts © Fiedels, 422/2 © iconshow, 422/3 © Tmedia, 423/2 © heavypong, 423/3 © heavypong, 424/1 © heavypong, 425/2 © Dmitriy, 426/1 © boedefeld1969, 427/1 © Siarhei, 427/2 a © beermedia, 427/2 b © Hor, 427/2 c © nsky2, 429/1 © chitsanupong, 430/1 oben © alexlmx, 431/1 © Freely, 440/1 © wi6995, 446/1 © dmindphoto, 446/2 © Ivan Kurmyshov, 447/1 © fotofabrika, 454/0 © Philipp, 454/1 unten © XtravaganT, 457/2 © hkama, 468/2 © pikselstock, 469/2 links © CrazyCloud, 472/2 links © Peter Hermes Furian, 475/1 © hansmuench, 485/1 © Genestro, 502/1 © Dmitry Kovalchuk, 502/2 © mayucolor, 505/2 © jpambition, 506/1 b © Dmitry Kovalchuk, 506/1 c © mayucolor, 508/0 © industrieblick, 509/1 © zhu difeng, 509/3 © oneSHUTTER oneMEMORY, 512/1 © Ban, 514/1 © Chatchaphat, 521/1 © Apart Foto, 524/0 © mrdeeds, 568/1 © chesky, 568/2 © oyo, 569/1 © Александр Ивасенко, 572/3 © xiaoliangge, 573/2 © zapp2photo, 578/1 © Quality Stock Arts, 580/1 © Ridvan, 581/2 © Media Whale Stock, 587/1 © Quality Stock Arts, 591/3 oben © tiero, 603/1 © romaset, 603/2 © Ingo Bartussek, 603/3 © zyabich, 605/1 © pongsakorn, 606/1 © Aufwind-Luftbilder, 608/2 © Trueffelpix, 616/0 © Patrick Daxenbichler, 616/1 © snvv, 617/1 © Aunging, 617/2 © xiaoliangge, 619/1 © industrieblick, 619/2 © vizualni, 619/3 © I Viewfinder, 620/2 © Quarta, 622/1 © M.Dörr & M.Frommherz, 622/2 © Pixel_B, 622/3 © 35microstock, 623/1 © wonderisland, 623/2 © Gabriel Cassan, 623/3

© Mike Mareen, 626/0 b © bht2000, 626/0 a © Country-pixel, 626/0 c © Eric Milos, 626/0 d © MediaenLab, 626/0 e © Surasak, 679/1 © SmashingStocks, 679/3 © SmashingStocks, 687/3 © asb63, 689/3 © I Viewfinder, 708/2 © Dmitriy, 709/1 © nosorogua, 724/1 © Anterovium, 727/1 © primipil, 733/2 © josemperal, 734/1 © Redfox1980, 734/2 © Leonid, 736/1 © Валерий Моисеев, 743/1 © luchschenF, 747/2 © josefkubes

AGIROSSI GMBH, Waldlaubersheim: 191/4

AIRTEC Pneumatik GmbH, Kroneberg: 142/1 unten links

Alamy Ltd., Großbritannien: 389/1 © Borislav Marinic

ARGO-HYTOS Group AG, CH-Baar: 197/1

AS-International Association e. V., Gelnhausen: 567/T1a

Baumer GmbH, Friedberg: 171/4 unten

bdtronic GmbH, Weikersheim: 451/3

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, Verl: 525/1 d

Beneseller, München: 96/1 unten

Bosch Rexroth AG, Lohr: 595/2

Bucher Hydraulics GmbH, Klettgau: 190/1 links

Börger GmbH, Borken-Weseke: 419/1, 419/3, 420/1

Chr. Mayr GmbH & Co. KG, Mauerstetten: 396/1 rechts, 398/3, 453/1

CLAAS Industrietechnik GmbH, Paderborn: 452/1

Clean-Lasersysteme GmbH, Herzogenrath: 451/1 links

CMZ Deutschland GmbH, Stuttgart: 134/1, 271/1, 272/1, 325/1

DELO Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA, Windach: 447/2, 451/2, 452/2, 452/3

Dr. Baier-Entgrattechnik, Berlin: 98/2

Eaton Electric GmbH, Bonn: 525/1 b

Elb-Schliff Werkzeugmaschinen GmbH, Aschaffenburg: 111/1

EMZ Elektromaschinenzentrale GmbH, Recklinghausen: 415/3

EWM AG, Mündersbach: 434/1, 435/1, 436/1, 437/1, 444/1

Fachakademie der Schneid- & Schleiftechnik e. V., Brühl: 102/2

Festo Didactic SE, Adiro GmbH, Esslingen: 606/0, 607/1, 613/1

Festo Didactic SE, Esslingen: 142/1 oben rechts, 151/1 links oben, 152/1 oben, 153/2 rechts, 160/1 rechts, 563/2, 563/3, 567/1, 570/1 b

Fichtel Sachs AG, Schweinfurt: 397/1

Franz Kessler GmbH, Bad Dachau: 273/1

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen: 745/2

Freudenberg FST GmbH, Weinheim: 222/T1a

GGT Gleitlager AG, CH-Küssnacht am Rigi: 368/2

Gühring, Albstadt: 96/3, 98/1

H. Herzog KG, Mönchengladbach: 206/1

Harmonic Drive SE, Limburg: 387/2