



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](http://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

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](mailto:lektorat@europa-lehrmittel) dankbar.

# Inhalt

## Lernfeld 5: Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen

### 1 Fertigen mit Werkzeugmaschinen

<b>1.1</b>	<b>Bearbeitungsparameter beim Drehen und Fräsen</b> .....	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
<b>1.2</b>	<b>Drehen</b> .....	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
<b>1.3</b>	<b>Fräsen</b> .....	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
<b>1.4</b>	<b>Räumen</b> .....	92
1.4.1	Verfahrensvarianten .....	93
1.4.2	Räummaschinen .....	94

<b>1.5</b>	<b>Entgraten</b> .....	95
1.5.1	Methoden und Verfahren (Auswahl) ..	95
1.5.2	Maschinelies Anfasen, Verrunden und Entgraten .....	96
<b>1.6</b>	<b>Schleifen</b> .....	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
<b>1.7</b>	<b>Honen</b> .....	118
1.7.1	Langhubhonen .....	119
1.7.2	Kurzhubhonen .....	120
<b>1.8</b>	<b>Läppen</b> .....	121
<b>1.9</b>	<b>Kosten im Betrieb</b> .....	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

<b>2.1</b>	<b>Pneumatiksteuerungen</b> .....	137
2.1.1	Verknüpfungsteuerungen .....	137
2.1.2	Ablaufsteuerungen .....	141
2.1.3	Betriebsartenteil bei Ablaufsteuerungen .....	149

2.1.4	Vakuumentchnik . . . . .	151
2.1.5	Inbetriebnahmeschritte mit Checkliste . . . . .	154
<b>2.2</b>	<b>Elektropneumatische Steuerungen</b> . . . . .	159
2.2.1	Zeit- und Druckfunktionen . . . . .	159
2.2.2	Sensor als Signalelement . . . . .	166
2.2.3	Ablaufsteuerungen – löschende Taktkette . . . . .	174
<b>2.3</b>	<b>Hydraulische Steuerungen</b> . . . . .	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**

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

<b>3.5</b>	<b>Passungen</b> . . . . .	260
3.5.1	Passungen in der Montage . . . . .	260
<b>3.6</b>	<b>Montage</b> . . . . .	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**

<b>4.1</b>	<b>Aufbau von CNC-Maschinen</b> . . . . .	271
4.1.1	Antriebseinheiten . . . . .	273
4.1.2	Wegmesssysteme . . . . .	274
4.1.3	Schlittenführungen . . . . .	276
<b>4.2</b>	<b>Koordinatensysteme, Nullpunkte und Bezugspunkte</b> . . . . .	277
4.2.1	Koordinatensysteme . . . . .	277
4.2.2	Null- und Bezugspunkte . . . . .	278
4.2.3	Koordinatenvorzeichen und Verfahrenbewegungen . . . . .	279
<b>4.3</b>	<b>Steuerungsarten</b> . . . . .	280
<b>4.4</b>	<b>Werkzeugvermessung</b> . . . . .	281
<b>4.5</b>	<b>Bahnkorrekturen</b> . . . . .	283
<b>4.6</b>	<b>CNC-Programme nach DIN</b> . . . . .	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
<b>4.7</b>	<b>CNC-Drehen nach PAL</b> . . . . .	293
4.7.1	Arbeitsbewegungen für das CNC- Drehen nach PAL . . . . .	293
4.7.2	CNC-Drehen des Gewindebolzens nach PAL . . . . .	295

<b>4.8</b>	<b>CNC-Drehen mit angetriebenen Werkzeugen und Gegenspindelübernahme</b> . . . . .	304	<b>5.4</b>	<b>Instandhaltungsstrategien</b> . . . . .	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	<b>5.5</b>	<b>Ausfallverhalten</b> . . . . .	340
<b>4.9</b>	<b>CNC-Fräsen nach PAL</b> . . . . .	311	<b>5.6</b>	<b>Instandhaltungsplanung</b> . . . . .	341
4.9.1	Arbeitsbewegungen für das Fräsen nach PAL . . . . .	311	<b>5.7</b>	<b>Vereinheitlichen von Instandhaltungsplänen</b> . . . . .	343
4.9.2	Tangentiales An- und Abfahren an eine Kontur . . . . .	314	<b>5.8</b>	<b>Instandhaltung mechanischer Bauelemente</b> . . . . .	346
4.9.3	Bearbeitungszyklen für Fräs- und Drehmaschinen mit angetriebenen Werkzeugen nach PAL . . . . .	315	5.8.1	Führungen . . . . .	346
<b>4.10</b>	<b>CNC-Fräsen der Konturplatte nach PAL</b> . . . . .	318	5.8.2	Abdeckungen und Abstreifer . . . . .	347
<b>4.11</b>	<b>CNC-Fräsen mit Mehrseitenbearbeitung</b> . . . . .	323	5.8.3	Lager . . . . .	348
4.12	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz</i> . . . . .	324	5.8.4	Zahnstangen und Zahnräder . . . . .	351
4.13	<i>Discover your profession in English</i> . . . . .	328	5.8.5	Riementriebe . . . . .	352
			5.8.6	Kettentriebe . . . . .	354
			<b>5.9</b>	<b>Verschleiß und Abnutzung</b> . . . . .	355
			5.9.1	Verschleißmechanismen . . . . .	355
			5.9.2	Ursachen von Abnutzung . . . . .	356
			5.9.3	Korrosion . . . . .	357
			<b>5.10</b>	<b>Reibung und Schmierung</b> . . . . .	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	Schmierverfahren . . . . .	367
			5.10.8	Kühlschmierstoffe (KSS) . . . . .	369
			5.10.9	Dokumentation der Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen . . . . .	371
			<b>5.11</b>	<b>Instandhaltung hydraulischer und pneumatischer Anlagen</b> . . . . .	372
			5.11.1	Pneumatische Systeme . . . . .	372
			5.11.2	Hydraulische Systeme . . . . .	374
			5.12	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz</i> . . . . .	377
			5.13	<i>Discover your profession in English</i> . . . . .	379

**Lernfeld 9:  
Instandsetzen von technischen Systemen**

**5 Instandhalten von technischen Systemen**

<b>5.1</b>	<b>Elemente der Instandhaltung</b> . . . . .	331
<b>5.2</b>	<b>Teilbereiche der Instandhaltung</b> . . . . .	333
5.2.1	Wartung . . . . .	334
5.2.2	Inspektion . . . . .	335
5.2.3	Instandsetzung . . . . .	335
5.2.4	Verbesserung . . . . .	336
<b>5.3</b>	<b>Instandhaltungskosten</b> . . . . .	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 *Discover your profession in English.* ... 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
<b>7.4</b>	<b>Statistische Prozesslenkung (Statistical Process Control, SPC) . . . . .</b>	<b>485</b>
7.4.1	Maschinenfähigkeit . . . . .	486
7.4.2	Prozessfähigkeit . . . . .	494
7.4.3	Statistische Prozesslenkung mit Qualitätsregelkarten (QRK) . . . . .	495
7.5	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz. . . . .</i>	502
7.6	<i>Discover your profession in English. . . . .</i>	506

**Lernfeld 12:  
Instandhalten von technischen Systemen**

**8 Instandhalten von technischen Systemen**

<b>8.1</b>	<b>Instandhaltung . . . . .</b>	<b>508</b>
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
<b>8.2</b>	<b>Schadens- und Paretoanalyse . . . . .</b>	<b>512</b>
<b>8.3</b>	<b>Werkstoffprüfverfahren . . . . .</b>	<b>514</b>
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	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenz. . . . .</i>	519
8.5	<i>Discover your profession in English. . . . .</i>	522

**Lernfeld 13:  
Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme**

**9 Automatisierungstechnik**

<b>9.1</b>	<b>Aufbau und Grundfunktionen der SPS-Systeme . . . . .</b>	<b>525</b>
<b>9.2</b>	<b>Kleinsteuerung (auch Logikmodul oder Steuerrelais) . . . . .</b>	<b>528</b>
<b>9.3</b>	<b>Modulare SPS-Programmierung im TIA-Portal . . . . .</b>	<b>541</b>
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
<b>9.4</b>	<b>Handhabungstechnik . . . . .</b>	<b>568</b>
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
<b>9.5</b>	<b>Regelungstechnik . . . . .</b>	<b>590</b>
9.5.1	Der Regelkreis . . . . .	590
9.5.2	Regelungsarten . . . . .	591
9.5.3	Reglerarten. . . . .	592
<b>9.6</b>	<b>Proportionalhydraulik . . . . .</b>	<b>595</b>
9.6.1	Steuer- und Regelelektronik. . . . .	595
9.6.2	Proportionalmagnet . . . . .	595
9.6.3	Proportionalventile . . . . .	597
9.7	<i>Überprüfen Sie Ihre Kompetenzen. . . . .</i>	600
9.8	<i>Discover your profession in English. . . . .</i>	604

**Lernfeld 14:  
Planen und Realisieren technischer  
Systeme**

**10 Projektmanagement**

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

**Lernfeld 15:  
Optimieren von technischen  
Systemen**

**11 Optimieren von technischen  
Systemen**

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

**Lernfeldübergreifende Inhalte**

**12 Spezielle Themen**

<b>12.1 Geometrische Produktspezifikation (ISO GPS)</b> ...	627
12.1.1 Das ISO-GPS-Normensystem .....	627
12.1.2 Spezifikation und Verifikation .....	630
12.1.3 Tolerierung von Bauteilen .....	644
<b>12.2 Prüftechnik</b> .....	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
<b>12.3 Wärmebehandlung</b> .....	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
<b>12.4 Generative Fertigungsverfahren</b> ...	741
12.4.1 Rapid Prototyping .....	742
12.4.2 Selektives Schmelzen .....	744
<b>12.5 Industrie 4.0</b> .....	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 © nskyr2, 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 © Countrypixel, 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

- HAWE Hydraulik SE, Aschheim/München:** 221/3
- HERMLE AG, Gosheim:** 63/3 links
- Heule, CH-Balgach:** 95/1, 97/1, 97/2
- Hoffmann Group, München:** 24/1, 25/1 b-e, 95/3
- horntools GmbH, A-Dornbirn:** 184/1
- ifm electronic GmbH, Essen:** 170/1, 173/1 oben, 566/1 a
- IHS INDUSTRIE HANDLING + FÖRDERTECHNIK GmbH, Freudenberg:** 570/1 a
- Internationale Hydraulik Akademie GmbH, Dresden:** 217/3, 224/3
- Iprotec GmbH, Bad Salzflen:** 240/3 rechts
- iStock by Getty Images, München:** 389/2 oben © Irnya, 391/1 © Alexsey, 454/1 oben © sanjeev kumar misra, 620/1 © Traimak Ivan
- Karl Klink, Niefern-Öschelbronn:** 94/1 © reinhardt-fotografie, 94/2
- Kellie Nordmann, Contrinex SA, CH-Corminboeuf:** 167/3 rechts oben
- Kjellberg, Finsterwalde:** 438/2
- KNUTH Werkzeugmaschinen GmbH, Wasbek:** 89/1 links
- KUKA Deutschland GmbH, Augsburg:** 441/1, 441/2, 441/3 oben, 442/2, 445/1, 570/1 c
- LEANTECHNIK AG, Oberhausen:** 572/1
- Leistritz Pumpen GmbH, Nürnberg:** 188/T1a
- Leuze electronic, GmbH + Co. KG, Owen:** 169/T1c
- Mahr GmbH, Esslingen:** 693/1, 700/2
- mbo Oßwald GmbH & Co. KG, Kilsheim-Steinbach:** 193/1 rechts
- Metal Work Deutschland GmbH, Landsberg:** 149/3 rechts
- Mitsubishi Electric Europe B.V., Ratingen:** 576/1 c+e
- NEIDLEIN-SPANNZEUGE GmbH, Bodelshausen:** 46/1
- Okuma DEUTSCHLAND GmbH, Köln:** 323/1, 329/1
- Parker Hannifin GmbH, Bielefeld:** 183/2 links, 195/2, 220/1, 220/2
- Pepperl+Fuchs SE, Mannheim:** 171/4 oben, 563/1
- Pierburg GmbH, Neuss:** 449/2
- Porsche AG, Stuttgart:** 360/3
- Pro beam GmbH & Co. KGaA, Gilching:** 439/4
- PROFIBUS-Nutzerorganisation e. V., Karlsruhe:** 566/1 b, 566/2 oben mitte, 566/3 oben+unten links, 567/T1b, 567/T1c rechts
- REMONDIS Industrie Service GmbH & Co.KG, Lünen:** 364/1
- SAINT-GOBAIN Abrasives GmbH, Wesseling:** 103/1
- Sampas GmbH, Kernen-Rommelshausen:** 96/2 oben
- Sandvik Coromant, Düsseldorf:** 62/1, 67/1
- Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Herzogenaurach:** 254/4, 276/1 rechts, 350/5, 353/1, 356/2
- Scheppach GmbH, Ichenhausen:** 112/2
- SCHUNK SE & Co. KG, Lauffen:** 152/2, 579/1
- Shutterstock, Inc., USA-New York:** 424/2 © Penka Todorova Vitkova, 424/3 © Aleksandr Petrunovskiy, 487/1 © Vadim Kulikov, 573/1 © MikeDotta, 589/1 © ROBOT RAP Technology
- SICK AG, Waldkirch:** 168/T1c links, 564/1, 564/2 rechts, 564/3 rechts
- Siemens AG, München:** 525/1 a+c, 528/3 links, 543/1 rechts, 565/1 oben
- SITEC Industrietechnologie GmbH, Chemnitz:** 439/1, 439/2
- SKF GmbH, Schweinfurt:** 349/6
- SMC Deutschland GmbH, Egelsbach:** 142/1 oben links, 142/1 unten rechts
- STAUFF Deutschland, Walter Stauffenberg GmbH & Co. KG, Werdohl:** 217/1
- Stiens Werkzeugmaschinen Handelsgesellschaft GmbH, Oelde:** 330/1, 341/1, 341/2
- Stirtec GmbH, A-Premstätten:** 442/1 rechts
- STR-Schweisstechnik PGmbH, Eupen:** 518/2
- Struers:** 518/3
- Trowal, Haan:** 95/4
- TRUMPF SE, Ditzingen:** 744/2, 745/1
- TSUBAKI KABELSCHLEPP GmbH, Wenden-Gerlingen:** 347/3
- TÜV Saarland Holding GmbH, Sulzbach:** 455/1 rechts
- Verlag Europa-Lehrmittel, aus Industrielle Fertigung, Europa-Nr.: 53510, Haan-Gruiten:** 618/1, 618/2, 618/3, 618/4
- Verlag Europa-Lehrmittel, aus Produktion, Europa-Nr.: 19127, Haan-Gruiten:** 624/1, 624/2
- Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg:** 367/1
- VOSS Fluid GmbH, Wipperfurth:** 219/2 oben
- WAGO GmbH & Co. KG, Minden:** 565/2 links
- Wikipedia:** 356/3 © Jean-Jaques Milan (CC BY-SA 3.0)
- Yaskawa Europe GmbH, Eschborn:** 570/1 d
- Zeros GmbH, Berlin:** 337/1
- ZOLLER GmbH & Co. KG, Pleidelsheim:** 282/1
- Autorenfotos:** 15/1, 20/1, 21/1, 22/1, 23/1, 27/1, 28/1, 32/1, 33/T1a, 33/T1b, 33/T1c, 33/T1d, 33/T1e, 33/T1f, 33/T1g, 40/2, 45/1, 50/1, 58/1, 59/1, 63/3, 65/1, 65/2, 65/3, 65/4, 66/1, 66/2, 66/3, 66/4, 69/1, 69/2, 70/1, 72/T1b, 72/T1c, 72/T1d, 72/T1e, 72/T1f, 72/T1g, 72/T1h, 72/T1i, 73/1, 74/1, 74/2, 74/3, 75/1, 76/1, 76/2, 76/3, 79/1b, 79/1c, 82/2, 89/1, 99/1, 109/1, 121/4, 123/1, 135/1, 166/1, 215/1, 220/3, 220/4, 224/4, 270/0, 295/1, 318/T1a, 318/T1b, 318/T1c, 318/T1d, 318/T1e, 318/T1f, 318/T1g, 318/T1h, 328/1, 334/T1e, 346/1, 351/2, 352/1, 352/2, 353/2, 357/1, 362/T1a, 362/T1b, 362/T1c, 362/T1d, 362/T1e, 364/2, 369/1, 377/1, 377/3, 377/4, 377/5, 378/1, 378/2, 379/T1a, 379/T1b, 379/T1c, 379/T1d, 379/T1e, 384/T1a, 384/T1b, 384/T1c, 387/1, 391/2, 395/3, 426/2, 427/2 d, e, 468/3, 469/1, 476/3, 477/1, 482/1, 517/1, 517/2, 522/1, 565/3, 638/1, 642/1, 642/2, 642/3, 678/1, 678/2, 678/3, 678/4, 684/1, 686/3, 687/1, 690/4, 690/7, 695/2, 700/1

Lernfeld 5:  
Fertigen von  
Einzelteilen mit  
Werkzeugmaschinen



# Kapitel 01

## Fertigen mit Werkzeugmaschinen

Für die spanende Fertigung werden je nach Fertigungsverfahren unterschiedliche Werkzeugmaschinen eingesetzt. Durch das Drehen und Fräsen wird das Rohteil in seine Form gebracht. Mit Schleifen kann eine Nachbearbeitung erfolgen.

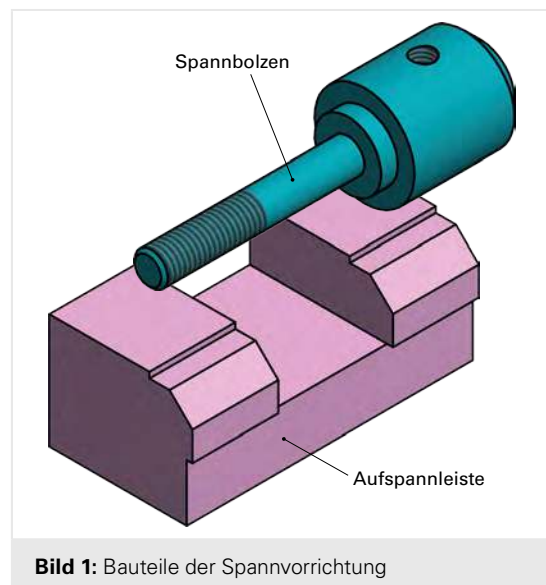
### // Bearbeitungsaufgabe: Fertigung von Bauteilen einer Spannvorrichtung

Für die auf der nachfolgenden Seite dargestellte Spannvorrichtung sollen verschiedene Bauteile gefertigt werden.

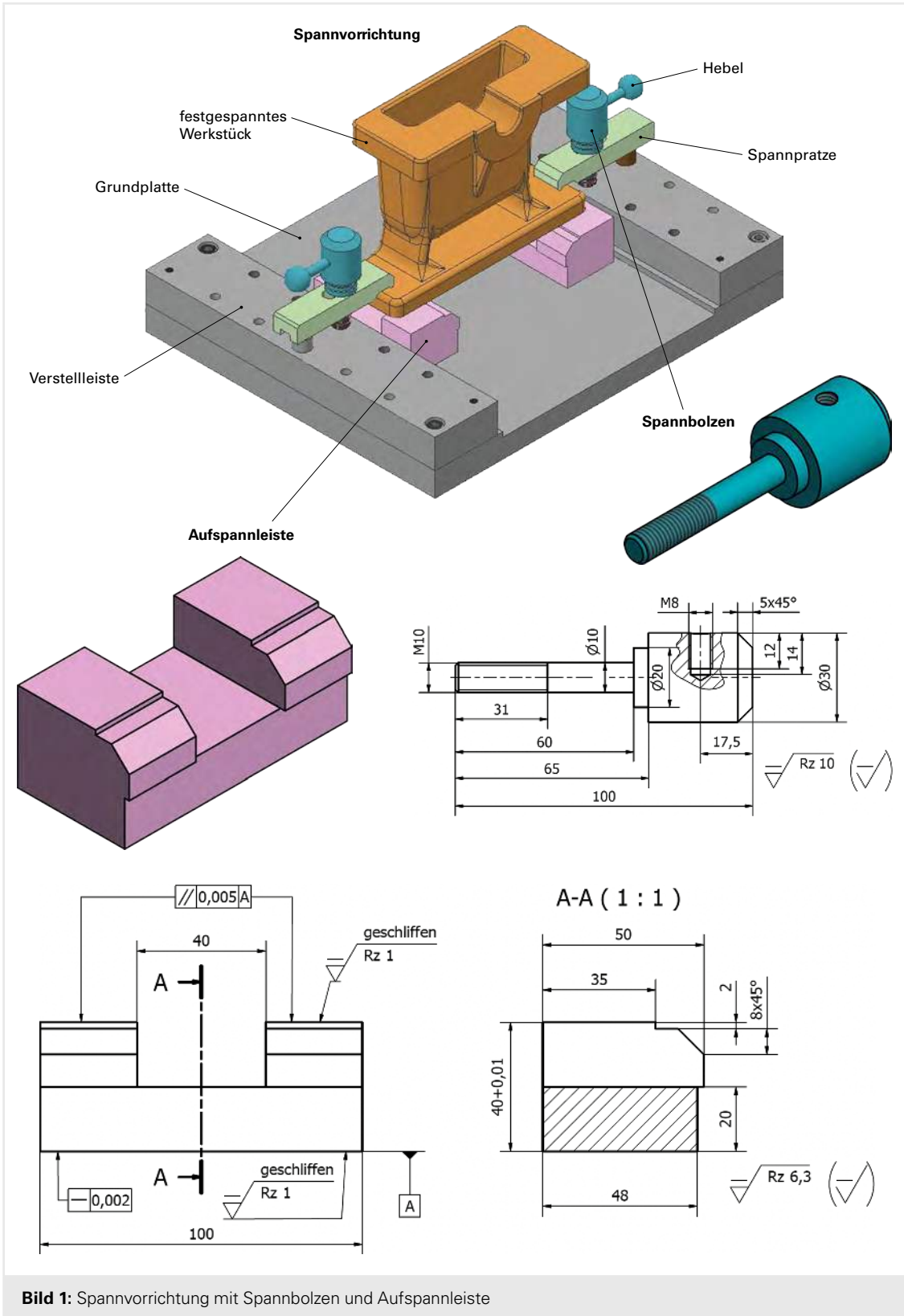
In **Bild 1** ist der **Spannbolzen** abgebildet. Er dient zum Festspannen der Werkstücke, die auf der Aufspannleiste der Spannvorrichtung aufliegen. Der Spannbolzen soll auf einer Drehmaschine hergestellt werden.

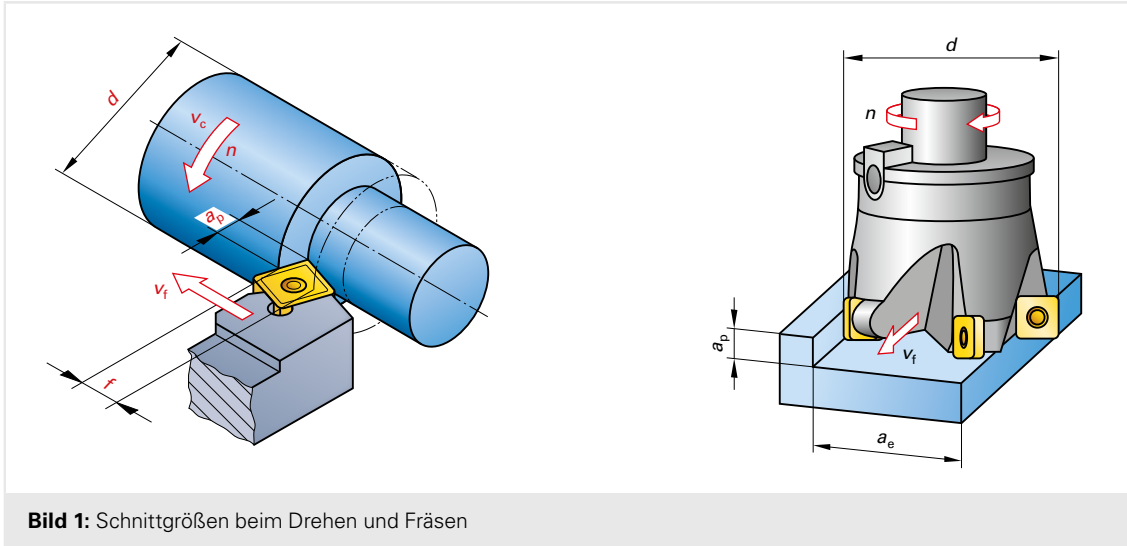
Die **Aufspannleiste** wird als Unterlage für die festzuspannenden Werkstücke verwendet. Sie soll auf einer Fräsmaschine gefertigt werden.

Ihre Aufgabe ist, die Dreh- und Fräsbearbeitung für die Bauteile der Spannvorrichtung zu planen.



**Bild 1:** Bauteile der Spannvorrichtung





**Bild 1:** Schnittgrößen beim Drehen und Fräsen

## 1.1 Bearbeitungsparameter beim Drehen und Fräsen

Für die Bearbeitung von Werkstücken auf einer Dreh- oder Fräsmaschine müssen an der Maschine geeignete Schnittgrößen eingestellt werden. Die Wahl der Schnittgrößen hängt von den Bearbeitungsbedingungen (**Bild 1, Seite 15**) und dem zu erzielenden Ergebnis ab. Jede Veränderung einer Schnittgröße führt zu Auswirkungen auf das Bearbeitungsergebnis.

Die Drehzahl  $n$  des Werkstücks berechnet sich aus der Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  und dem Durchmesser  $d$  des Werkstücks zu Beginn des Drehvorgangs.

$$n = \frac{v_c}{d \cdot \pi}$$

$v_c$  Schnittgeschwindigkeit  
 $d$  Durchmesser des Werkstücks

### 1.1.1 Schnittgrößen beim Drehen und Fräsen

Je nach Fertigungsverfahren und Bearbeitungsschritt werden unterschiedliche Schnittgrößen verwendet. Während beim konventionellen Drehen die Drehzahl angegeben wird, kann beim CNC-Drehen für einige Bearbeitungsschritte (z. B. das Querplan- und Längsrunddrehen) direkt die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  programmiert werden. Die Drehzahl des Werkstücks wird dann über die Position des Drehmeißels von der CNC-Drehmaschine berechnet.

Während beim Drehen die Vorschubbewegung des Drehmeißels mit dem Vorschub  $f$  pro Umdrehung angegeben wird, verwendet man beim Fräsen die Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  als Einstellgröße.

Für die Schnittbewegung des Fräasers wird als Einstellgröße die Drehzahl  $n$  angegeben.

Drehzahl  $n$  und Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  können für das Fräsen mit den folgenden Formeln berechnet werden:

$$n = \frac{v_c}{d \cdot \pi}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n$$

$v_c$  Schnittgeschwindigkeit  
 $v_f$  Vorschubgeschwindigkeit  
 $d$  Durchmesser des Fräasers  
 $f_z$  Vorschub pro Schneide  
 $z$  Anzahl der Schneiden



#### Schnittgrößen beim Drehen:

- Schnittgeschwindigkeit  $v_c$
- Drehzahl  $n$
- Vorschub  $f$
- Schnitttiefe  $a_p$



#### Schnittgrößen beim Fräsen:

- Drehzahl  $n$
- Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$
- Schnitttiefe  $a_p$
- Schnittbreite  $a_e$

## // Schnittgeschwindigkeit

Die Wahl der Schnittgeschwindigkeit beim Drehen und Fräsen ist vorwiegend abhängig vom

- Schneidstoff des Werkzeugs (Hartmetall, Schnellarbeitsstahl u. a.)
- Werkstoff des Werkstücks (Art, Festigkeit, Zähigkeit, Härte u. a.)
- Bearbeitungsverfahren (Plandrehen, Schruppen, Schlichten u. a.)
- Kühlschmierstoffeinsatz (mit oder ohne Kühlschmierstoff)

Einfluss auf die Größe der Schnittgeschwindigkeit haben auch die weiteren in **Bild 1** angegebenen Bearbeitungsbedingungen. Es wird zwischen ungünstigen, normalen und günstigen Bearbeitungsbedingungen unterschieden.

- **Ungünstige Bearbeitungsbedingungen** liegen beim konventionellen Drehen und Fräsen mit Hartmetallschneiden vor. Durch die offene Bauweise der konventionellen Dreh- und Fräsmaschinen kann nur eine Trockenbearbeitung ohne Kühlschmierstoff durchgeführt werden.
- **Normale Bearbeitungsbedingungen** findet man an CNC-Maschinen wieder. Durch die vollständige Verkleidung der CNC-Maschine kann das Werkzeug mit einem hohen Einsatz an Kühlschmierstoff gekühlt werden.
- **Günstige Bearbeitungsbedingungen** liegen bei CNC-Maschinen mit einer hohen Stabilität und Antriebsleistung vor.

**Tabelle 1** zeigt exemplarisch die Richtwerte für das Drehen je nach Bearbeitungsbedingung.



**Bild 1:** Bearbeitungsbedingungen



• Bei **ungünstigen Bearbeitungsbedingungen** (konventionelle Maschine) sollte eine kleinere Schnittgeschwindigkeit ausgewählt werden.

• Bei **normalen Bearbeitungsbedingungen** (CNC-Maschine) wird die mittlere Schnittgeschwindigkeit gewählt.

• Bei **günstigen Bearbeitungsbedingungen** kann eine höhere Schnittgeschwindigkeit verwendet werden.

**Tabelle 1:** Richtwerte für Schnittgeschwindigkeiten beim Drehen mit Hartmetall

Werkstoff der Werkstücke		Richtwerte für das Drehen mit Hartmetallwerkzeugen											
Werkstoffgruppe	mittlere Zugfestigkeit $R_m$ in N/mm <sup>2</sup> bzw. Härte HB	Planen			Schruppen			Schlichten					
		Schnittgeschwindigkeit $v_c$ in m/min											
Baustahl	$R_m \leq 500$	210	280	350	150	220	300	280	340	400			
	$R_m > 500$	160	230	300	100	170	240	220	290	350			
Automatenstahl	$R_m \leq 570$	180	250	320	130	200	270	240	300	360			
	$R_m > 570$	130	200	270	100	160	220	200	250	300			
Vergütungsstahl, unlegiert	$R_m \leq 650$	180	250	320	120	190	240	220	300	380			
	$R_m > 650$	110	200	280	110	150	200	190	250	310			
Vergütungsstahl, legiert	$R_m \leq 750$	100	160	220	90	130	180	125	185	245			
	$R_m > 750$	80	130	180	70	110	160	100	150	200			

## // Vorschub

Der Vorschub  $f$  bzw. Vorschub pro Schneide  $f_z$  ist hauptsächlich abhängig von

- dem Bearbeitungsverfahren (Drehen, Fräsen, Schruppen, Schlichten u. a.)
- der geforderten Oberflächenqualität (Rautiefe  $Rz$  u. a.)

Beim Drehen wird mit einem einschneidigen Werkzeug gearbeitet. Für die Vorschubbewegung des Drehmeißels wird der Vorschub  $f$  pro Umdrehung des Werkstücks angegeben.

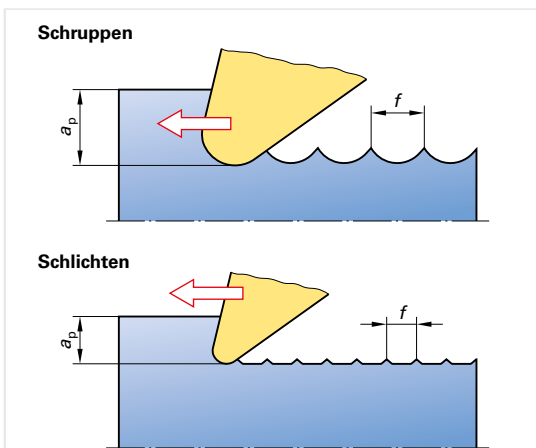
Beim Fräsen wird mit einem mehrschneidigen Werkzeug gearbeitet. Daher wird für die Vorschubbewegung des Werkzeugs zuerst der Vorschub pro Schneide  $f_z$  ermittelt. Je nach Anzahl der Schneiden  $z$  des Fräsers kann dann der gesamte Vorschub  $f$  berechnet werden.

$f = f_z \cdot z$	$f_z$ Vorschub pro Schneide $z$ Anzahl der Schneiden
-------------------	---



### Vorschub beim Schruppen und Schlichten (Bild 1):

- Beim Schruppen wird zur Reduzierung der Fertigungszeit mit einem möglichst großen Vorschub gearbeitet.
- Beim Schlichten wird je nach geforderter Oberflächenqualität ein kleiner Vorschub eingesetzt.



**Bild 1:** Vorschub und Schnitttiefe beim Schruppen und Schlichten

## // Schnitttiefe und Schnittbreite

Die Zustellung des Werkzeugs senkrecht zur Vorschubrichtung wird beim Drehen und Fräsen als Schnitttiefe  $a_p$  bezeichnet.

Je nachdem, wie weit der Fräser in das Werkstück eingreift, wird von der Schnittbreite  $a_e$  gesprochen (**Bild 2**). Eine günstige Schnittbreite  $a_e$  liegt dann vor, wenn sich der Fräser mit seinem Durchmesser ca. 2/3 auf dem Werkstück befindet.

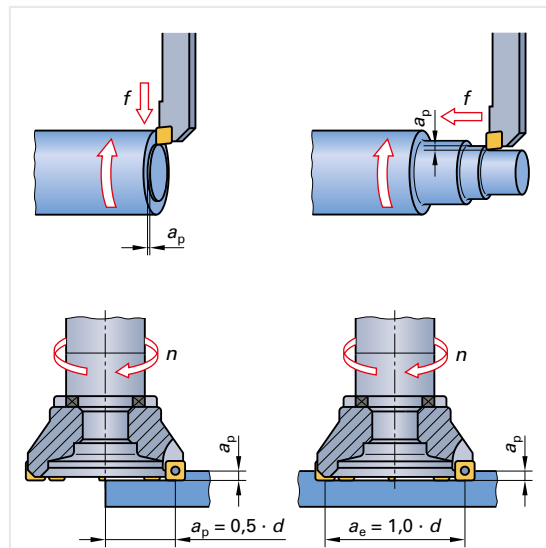
Die Schnitttiefe  $a_p$  wird in erster Linie aufgrund des Bearbeitungsverfahrens (Schruppen oder Schlichten) festgelegt.

Besonders beim Schruppen muss darauf geachtet werden, dass durch die große Schnitttiefe die Bearbeitungskräfte nicht zu groß werden.



### Schnitttiefe beim Schruppen und Schlichten (Bild 2):

- Beim Schruppen wird zur Reduzierung der Fertigungszeiten mit einer möglichst großen Schnitttiefe gefertigt.
- Beim Schlichten wird eine kleine Schnitttiefe verwendet, damit das Werkzeug wenig weggedrückt wird. Somit wird die Maßgenauigkeit in den geforderten Toleranzen erreicht.



**Bild 2:** Schnitttiefe und Schnittbreite beim Drehen und Fräsen



**Überlegen und beantworten Sie:**

1. Begründen Sie, warum beim Fräsen die Drehzahl und nicht die Schnittgeschwindigkeit angegeben wird.
2. Geben Sie sechs Einflussgrößen für die Wahl der Schnittgeschwindigkeit beim Drehen an und beschreiben Sie deren Auswirkung auf die Schnittgeschwindigkeit.
3. Erläutern Sie, warum beim Fräsen auf einer konventionellen Fräsmaschine eine ungünstige Bearbeitungsbedingung vorliegt.
4. Nennen Sie einen Grund, warum beim Schruppen mit einem großen Vorschub und einer großen Schnitttiefe gefertigt wird.

### 1.1.2 Schneidengeometrie am Drehmeißel und Fräser

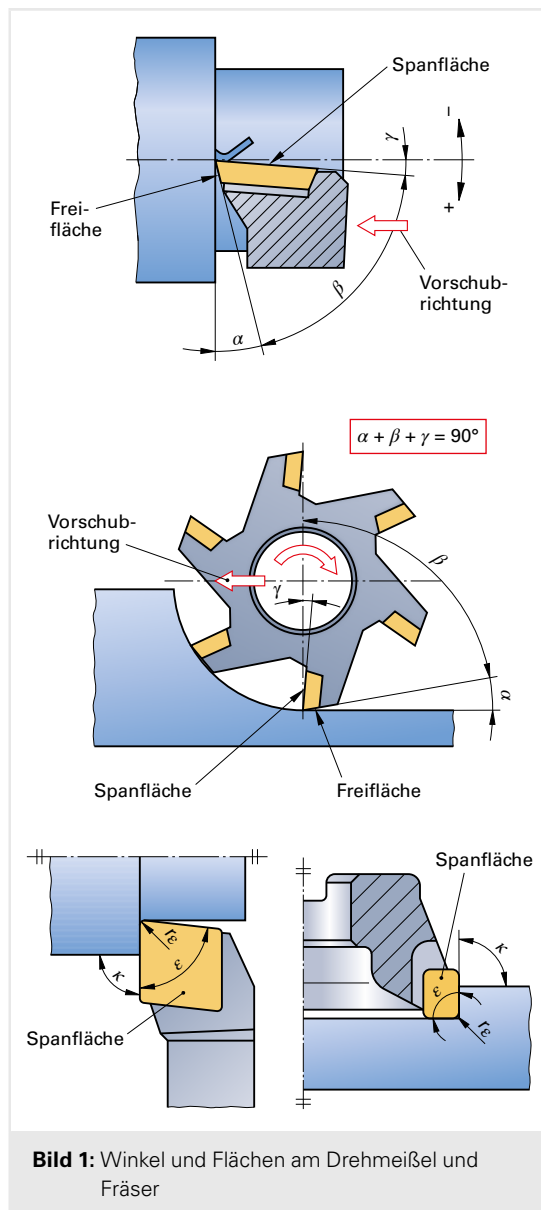
Der Schneidkeil des Drehmeißels und des Fräfers wird durch die Spanfläche und die Freifläche begrenzt (**Bild 1**). Die Schnittkanten der beiden Flächen bilden die Hauptschneide. Diese liegt in Vorschubrichtung und leistet die Hauptzerspanungsarbeit. Je nach Bearbeitungsverfahren ist die Hauptschneide scharfkantig, gefast oder gerundet.



- Die Span- und die Freifläche bilden den Keilwinkel  $\beta$ . Je größer der Keilwinkel ist, desto stabiler ist das Werkzeug. Bei einem Keilwinkel  $\beta = 90^\circ$  kann die Schneidplatte von der Unter- und Oberseite verwendet werden.
- Der Freiwinkel  $\alpha$  zwischen Freifläche und Werkstück vermindert die Reibung. Der Freiwinkel  $\alpha$  sollte mindestens  $5^\circ$  oder größer sein.
- Der Spanwinkel  $\gamma$  beeinflusst die Spanbildung. Bei einem Keilwinkel  $\gamma = 90^\circ$  wird der Spanwinkel negativ, da alle drei Winkel zusammen  $90^\circ$  ergeben.

Die Haupt- und die Nebenschneide bilden den Eckenwinkel  $\epsilon$ . Dieser sollte möglichst groß sein, um die Wärmeabfuhr und die Stabilität der Schneide zu verbessern. Zur Verbesserung der Oberflächenqualität ist die Schneidenecke gefast oder gerundet.

Der Winkel zwischen der Hauptschneide und dem Werkstück wird als Einstellwinkel  $\kappa$  bezeichnet. Je kleiner der Einstellwinkel ist, desto geringer werden die Schnittkräfte. Beim Drehen oder Fräsen von Abätzen muss der Einstellwinkel  $\kappa$  aber mindestens  $90^\circ$  oder größer sein.



**Bild 1:** Winkel und Flächen am Drehmeißel und Fräser



### 1.1.3 Spanbildung beim Drehen und Fräsen

Die Spanbildung erfolgt durch das Eindringen des Schneidkeils in den Werkstoff. Der sich bildende Span gleitet über die Spanfläche des Drehmeißels oder des Fräsers ab (vgl. 1.1.2).

#### // Spanarten (Bild 1)

- **Reißspäne** entstehen bei spröden Werkstoffen (Gusseisen, Messing u. a.), bei einer zu kleinen Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  und zu großer Schnitttiefe  $a_p$  sowie zu großem Vorschub  $f$ . Durch die Spanteile, die aus dem Werkstoff herausgerissen werden, entsteht eine raue Oberfläche.
- **Scherspäne** entstehen beim Drehen und Fräsen von Werkstoffen mit einer mittleren Festigkeit und Zähigkeit sowie bei einer mittleren Schnittgeschwindigkeit. Die abgetrennten Spanteilchen verschweißen in der Scherzone teilweise miteinander. Es entsteht ein schuppiger Span.
- **Fließspäne** entstehen bei Werkstoffen mit einer hohen Zähigkeit, bei einer hohen Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  und kleiner Schnitttiefe  $a_p$  sowie kleinem Vorschub  $f$ . Mit der Bildung von Fließspänen wird beim Zerspanen eine gute Oberfläche erreicht.



- Um eine gute Oberfläche zu erreichen, sind beim Drehen und Fräsen die Bildung von Fließspänen anzustreben.
- Durch den unterbrochenen Schnitt beim Fräsen liegen die Fließspäne in kurzer Form vor.
- Beim Drehen führen Fließspäne zu langen Spänen, die schlecht abgeführt werden können.

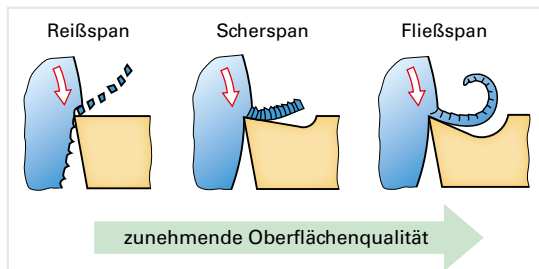


Bild 1: Spanarten

#### // Spanformen

Mit der Wahl geeigneter Zerspanungsbedingungen können günstige Spanformen erzeugt werden (Bild 2). Lange Späne lassen sich schlecht aus dem Arbeitsraum der Drehmaschine abführen. Sie wickeln sich um das Werkstück und führen zu einer Behinderung des Werkzeugs. Gleichzeitig kann auch die Werkstückoberfläche beschädigt werden.



Lange Späne wie Band-, Wirr- oder Wendel-späne (Bild 2) wickeln sich beim Drehen um das Werkstück und müssen mit einem Spänehook entfernt werden. Durch die scharfen Späne besteht die Gefahr der Verletzung.

Günstig bei der Fertigung an Dreh- und Fräsmaschinen sind kurze Wendel- oder Spiralspäne.

Lange Späne können beim Drehen durch die Zugabe von Schwefel im Stahlwerkstoff verhindert werden. Automatenstähle kennzeichnen sich durch den beigefügten Schwefelanteil.

Beispiel: **35S20** (Automatenstahl mit einem Anteil von 0,35 % Kohlenstoff und 0,2 % Schwefel)

Automatenstähle wurden speziell für die automatisierte Drehbearbeitung (heute spricht man vom CNC-Drehen) entwickelt. Durch den Schwefel wird eine bessere Spanbrüchigkeit erreicht.

Bandspäne	Wirrspäne	lange Wendel-späne
<b>ungünstig</b>		

kurze zylindr. Wendel-späne	Spiralwendel-späne	Spiralspäne	Bröckelspäne
<b>günstig</b>			

Bild 2: Spanformen



vel.plus/  
FILF201

## // Beeinflussung der Spanform durch Schnitttiefe, Vorschub und Spanbrecher

Die Spanform kann durch die Veränderung der Schnitttiefe und des Vorschubs beeinflusst werden. Daher werden von den Herstellern der Wendeschneidplatten Spanbruchdiagramme angegeben. Durch Zerspanungsversuche wird hierbei ein Bereich mit günstigen Spanformen ermittelt (**Bild 1**).



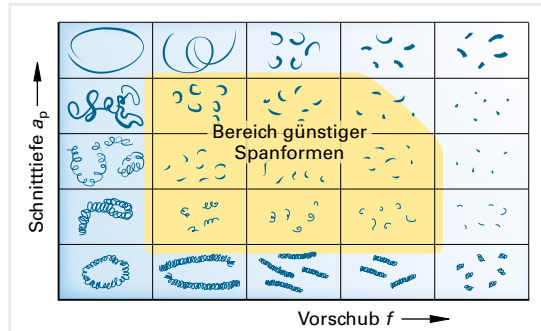
- Mit zunehmendem Vorschub  $f$  können sich günstige Bruchspäne bilden.
- Kleine Vorschübe  $f$  führen zu langen Spänen.
- Mit zunehmender Schnitttiefe  $a_p$  entwickeln sich ungünstige längere Späne, da der Span nicht so gut brechen kann.

Zur Verbesserung des Spanbruchs und für einen kontrollierten Spanablauf werden von den Schneidstoffherstellern Wendeschneidplatten mit Spanbrecher angeboten. Die Spanbrecher führen zu einer größeren plastischen Verformung des Spans, die dann in den Bruch übergeht.

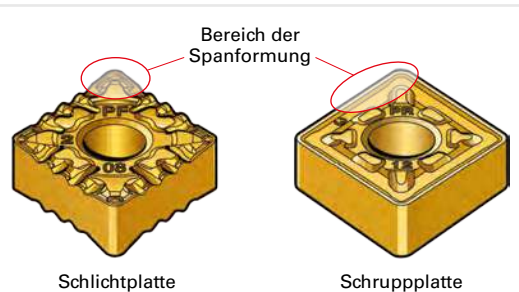
Die Wendeschneidplatten mit ihren Spanbrechern (**Bild 2**) sind entsprechend den Bearbeitungsverfahren (Schruppen, Schlichten) angepasst. Hierdurch können sich auch beim Schlichten günstige Spanformen mit kleinen Schnitttiefen und Vorschüben bilden. Für einen maximalen Materialabtrag können dann auch beim Schruppen günstigen Spanform mit großen Schnitttiefen genutzt werden.

Im Schnitttiefen-Vorschub-Diagramm (**Bild 3**) werden von den Herstellern die Schneidplatten in drei Arten eingeteilt:

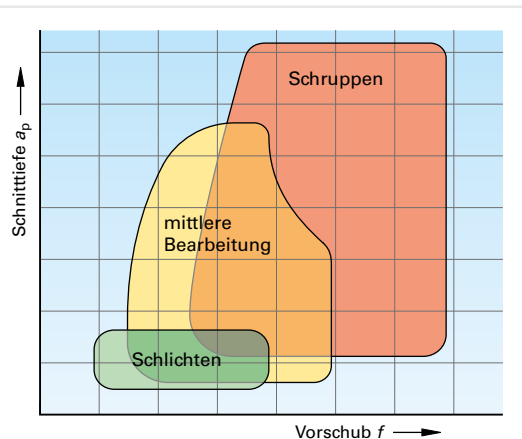
- **Schneidplatten zum Schruppen bei schwerer Bearbeitung.** Hier sollten beim Schruppen günstige Bearbeitungsbedingungen vorliegen (vgl. Seite 15).
- **Schneidplatten zum Schruppen bei mittlerer Bearbeitung.** Diese Platten werden für mittlere bis leichte Schruppbearbeitung eingesetzt und werden zum Schruppen am meisten verwendet.
- **Schneidplatten zum Schlichten bei niedrigen Vorschüben und Schnitttiefen**



**Bild 1:** Spanbruchdiagramm



**Bild 2:** Wendeschneidplatten mit Spanbrecher



**Bild 3:** Schnitttiefen-Vorschub-Diagramm



### Überlegen und beantworten Sie:

1. Beschreiben Sie den Unterschied der drei Spanarten.
2. Begründen Sie, warum lange Bandspäne beim Drehen ungünstig sind.
3. Nennen Sie Möglichkeiten, wie man günstige Späne beim Drehen bekommt.

### 1.1.4 Verschleiß und Standzeit

Als Standzeit wird die Zeit bezeichnet, die das Werkzeug im Eingriff ist, bis der zulässige Verschleiß erreicht ist. Beim Schlichten erkennt man das Ende der Standzeit mit der Bildung einer schlechten Oberfläche und an Maßabweichungen. Beim Schruppen kann man das Ende der Standzeit am Verschleiß der Werkzeugschneide sehen.

Vorschübe und Schnitttiefen haben nur eine geringe Auswirkung auf die Standzeit. Mit größeren Vorschüben und Schnitttiefen kann ein schnellerer Materialabtrag erreicht werden, gleichzeitig ist aber auch der Verschleiß an der Schneide größer.



Die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  hat die größte Auswirkung auf die Standzeit. Durch die Reduzierung der Schnittgeschwindigkeit in bestimmten Grenzen erhöht sich die Standzeit des Werkzeugs.

Eine zu geringe Schnittgeschwindigkeit führt zu einem erhöhten Verschleiß durch die Bildung von Aufbauschneiden. **Bild 1** verdeutlicht den Bereich der günstigen Schnittgeschwindigkeit bei einer wirtschaftlichen Fertigung.

**Der Verschleiß der Schneide wird durch Aufbauschneiden, den mechanischen Abrieb und die thermische Beanspruchung hervorgerufen.**

Bei niedrigen Schnittgeschwindigkeiten bilden sich **Aufbauschneiden**. Es können sich an der Spanfläche kleine Werkstoffteilchen festschweißen, die sich dann zu einer künstlichen Schneide aufbauen. Durch diese Veränderung der Schneide treten höhere Schnittkräfte auf. Mit der Zeit schert die Aufbauschneide ab, wodurch Teile der Schneidkante ausbrechen können.

Durch den ablaufenden Span auf der Spanfläche und die Reibung des Werkstücks an der Freifläche erfolgt ein **mechanischer Abrieb** an der Span- und der Freifläche.

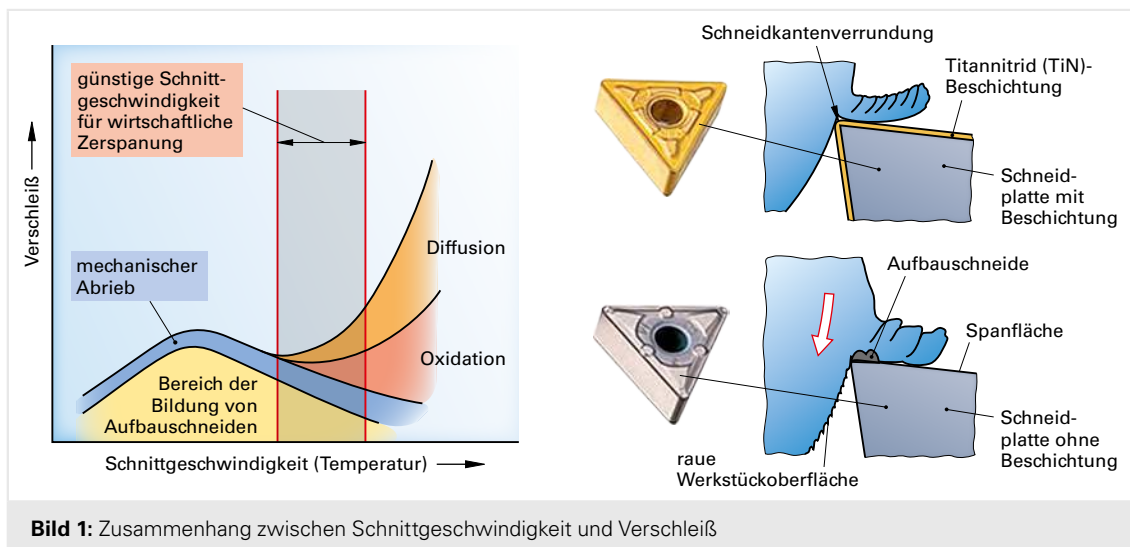
Bei hohen Temperaturen findet eine **Oxidation** des Schneidstoffs statt. Dies führt am Rande der Schneide zu Kerben und Ausbrüchen.

Wenn eine chemische Ähnlichkeit zwischen Schneidstoff und Werkstoff vorhanden ist (z. B. bei Hartmetall und Stahl), findet bei hohen Temperaturen ein Atomaustausch statt. Es wird von einer **Diffusion** gesprochen, die zum Abtrag der Spanfläche führt.



Durch die Beschichtung von Schneidstoffen (z. B. mit einer Schicht aus Titanitrid (TiN)) kann die Bildung von Aufbauschneiden vermindert werden.

Die Beschichtung führt auch zu einer Verringerung des mechanischen Abriebs, der Oxidation sowie der Diffusion.



**Bild 1:** Zusammenhang zwischen Schnittgeschwindigkeit und Verschleiß